

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

"Diseño de una Caja Caliente bajo la norma ASTM C 1363"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Edgar Xavier Mendoza Arce

Fernando Xavier Erazo Navarrete

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, mis padres, hermanos, y amigos.

Xavier Mendoza

A Dios, a mi madre por ser cimiento de mi desarrollo, ejemplo de vida, sacrificio inigualable y mi mayor motivación, a mis amigos por su invaluable apoyo y a todos todas las personas que contribuyeron para la culminación de este proyecto.

Fernando Erazo

## DECLARACIÓN EXPRESA

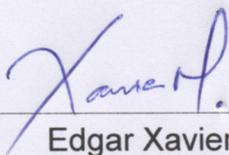
“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Edgar Xavier Mendoza Arce

Fernando Xavier Erazo Navarrete

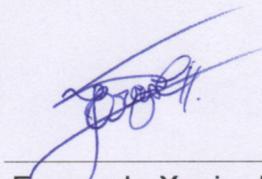
Guillermo Soriano Idrovo

Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



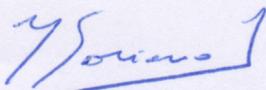
---

Edgar Xavier  
Mendoza Arce



---

Fernando Xavier Erazo  
Navarrete



---

Guillermo Soriano Idrovo  
Director

## RESUMEN

En este trabajo se diseñó un banco de prueba para la determinación del coeficiente global de transferencia de calor,  $U$ , de puertas y ventanas. Se buscan las condiciones atmosféricas a las que el banco de prueba, caja caliente, va a ser sometida en su vida útil, evaluándose también el desarrollo de nuevos materiales.

Se propone utilizar para el diseño del banco de prueba, un aparato que consta de tres secciones principales que son: lado caliente, lado frío y porta probeta. Dicho aparato contiene paredes aislantes con su respectiva estructura de acero, la cual está provista con ruedas para facilitar la instalación y montaje de los diferentes tipos de probetas como de los instrumentos de medición. Para la sección del lado caliente se tiene un calefactor por resistencia eléctrica de 8 [kW], un ventilador de 162 [ $m^3/h$ ] para lograr alcanzar temperaturas hasta los 40 [ $^{\circ}C$ ] y velocidades del aire hasta 0,3 [ $m/s$ ], que son las condiciones de ensayo. En el interior de la caja de medida se encuentra también ocho ventiladores de computadora con un caudal de 21.15 [CFM] para la recirculación del aire y en la caja fría se presentan 5 ventiladores de 32.1 [CFM], además para el sistema de enfriamiento se obtiene una potencia de 6 [kW], con controladores de temperatura y humedad, contando con un sistema de ductos de 50x30 [cm].

Con la finalidad de mantener estable la temperatura del aire y los coeficientes de transferencia de calor se mantienen las secciones selladas con tiras de caucho y a presión, tales que el flujo térmico a través de las paredes del cajón de medida y el flujo térmico de desequilibrio en la superficie de la probeta que va de la zona de medida a la zona de guarda sean mínimas. La medida de la temperatura se realizará mediante termocuplas, en donde la ubicación y tolerancia de dichos instrumentos está en función de la norma ASTM C1363.

Como referencia, para la nomenclatura de los equipos de instrumentación y control se usa la norma norteamericana ANSI/ISA S5.1- 1984 (R 1992).

Como producto del presente estudio se obtuvo el respectivo procedimiento experimental, en donde se hace una descripción de los equipos y materiales involucrados en el ensayo, los pasos a seguir para la preparación del equipo, la toma de datos realizada por el sistema de adquisición de datos, guías y referencias para el cálculo de incertidumbre. Adicionalmente, se realizó los planos del equipo, esquema del sistema de adquisición de datos, se estimó el costo total y se elaboró el cronograma de montaje.

Se mencionó con anterioridad que el banco de pruebas fue diseñado priorizando la exactitud especificada por la norma ASTM C1363, con preferencia en la obtención de materiales y equipos que se encuentren en el medio local. Actualmente, el Ecuador no cuenta con un banco de prueba donde se puedan realizar pruebas para determinar el coeficiente de transferencia global "U" para paredes, puertas y ventanas de forma rápida y exacta, para disminuir la incertidumbre en los resultados finales. Cabe señalar que cuando un laboratorio adquiere un equipo, este tiene que seguir un proceso de acreditación la cual le confiere potestad a los informes emitidos de ser técnicamente válidos a nivel nacional e internacional, brindando categóricamente confianza y seguridad a los clientes, dicho proceso hace alusión a un estudio completo del proceso de caracterización de los factores de incertidumbre necesarios para la acreditación de un laboratorio y ensayo, tomando como referencia la norma ISO/IEC 17025 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración".

Palabras Clave: Caja caliente, Coeficiente de transferencia, calefacción, refrigeración, caja fría, banco de prueba.

## **ABSTRACT**

*In this project, a test bench was design to determine the overall coefficient of heat transfer,  $U$ , of doors and windows. The atmospheric conditions are selected, to which the test bench will be submitted in its useful life, evaluating also the development of new materials.*

*It is proposed to use for the design of the test bench, an apparatus that have three main sections: hot box, cold box, and specimen holder. This apparatus has insulating walls with their respective steel structure, which is provided with wheels to be easier the installation and assembly of the different types of specimens as measuring instruments. For the section of the hot side it has a heater by electric resistance of 8 [kW], an axial fan of 162 [ $m^3/h$ ], to achieve temperatures up to 40 [ $^{\circ}C$ ] and airspeeds up to 0,3 [ $m/s$ ], that are the test conditions. In the inside of the metering chamber is also eight computer fans with a volumetric flow of 21.15 [CFM] for recirculation of the air and the cold side presents 5 fans of 32.1 [CFM], also for the cooling system is obtained a power of 6 [kW], with controllers of temperature and humidity.*

*In order of maintain an stable temperature of the air and the overall coefficient of heat transfer it remain the sealed sections with rubber strips and pressure, such that the heat flow through the walls of the metering chamber and the thermal flow in the surface of the specimen which flow from the metering chamber to the surrounding ambient are minimal. The temperature measurement is made by thermocouples, where the location and tolerance of the instruments are in function of the standard ASTM C 1363.*

*As reference, for the nomenclature of the instrumentation equipment and control is used the American standard ANSI/ISA S5.1- 1984 (R 1992).*

*As a result of the actual project is obtained the respective experimental procedure, where describe the equipment and materials involved in the test, the steps to follow for the preparation of the machine, the data collection realized for the data acquisition system and reference guide for calculating uncertainty. Additionally drawings of*

*equipment was conducted, data acquisition system, and estimate the total cost is estimated and the installation schedule is developed.*

*It was mentioned earlier that the test bench was designed giving priority to the accuracy specified for the standard ASTM C1363, with preference in obtaining materials and equipment located in the local environment. Actually, the Ecuador doesn't have a test bench where you can perform tests to determine the overall transfer coefficient "U" for walls, doors and windows quickly and accurately, to reduce uncertainty in the final results. It is important mention when a laboratory acquire an equipment, this has to follow a process of accreditation, which confers the power to the reports issued to be technically valid national and international level, providing categorically confidence and security to customers, the process refers to a comprehensive study of the process of characterizing the uncertainty factors needed for accrediting a laboratory and testing with reference to ISO / IEC 17025 "General requirements for the laboratory proficiency testing and calibration ".*

*Keywords: hot box, cold box, heat transfer, heating system, cooling system, test bench.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	III
ÍNDICE GENERAL.....	V
ABREVIATURAS .....	IX
SIMBOLOGÍA .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV
ÍNDICE DE PLANOS .....	XVII
CAPÍTULO 1 .....	18
1. Introducción.....	18
1.1 Descripción del problema .....	18
1.2 Objetivos.....	19
1.2.1 Objetivo general .....	19
1.2.2 Objetivos específicos .....	19
1.3 Marco teórico .....	20
1.3.1 Aparato.....	20
1.3.2 Tipo de caja caliente .....	21
1.3.3 Caja caliente o lado caliente .....	22
1.3.4 Caja fría o lado frío.....	23
1.3.5 Caja de medida .....	23
1.3.6 Porta Probeta .....	23
1.3.7 Espécimen .....	24
1.3.8 Alcance de la norma ASTM C 1363 .....	24
1.3.9 Necesidad de obtener condiciones de confort en una vivienda .....	25

1.3.10	Requerimientos para la selección de equipos.....	25
1.3.11	Factores que influyen en la eficiencia de un equipo .....	28
1.3.12	Normas aplicadas en el proceso de diseño .....	29
CAPÍTULO 2.....		32
2.	Metodología del Diseño.....	32
2.1	Estudio de alternativas.....	32
2.2	Análisis y selección de alternativa .....	33
2.3	Diseño de forma y configuración de banco de prueba.....	36
2.3.1	Configuración de banco de prueba .....	36
2.3.2	Área asignada para el banco de prueba .....	37
2.4	Diagrama P&ID del sistema.....	38
2.5	Parámetros generales del proceso .....	40
2.6	Espécimen .....	43
2.6.1	Puertas.....	43
2.6.2	Ventanas .....	46
2.7	Dimensionamiento de carga .....	49
2.7.1	Cargas térmicas del lado frío.....	52
2.7.2	Cargas térmicas del lado caliente .....	55
2.8	Alternativa de equipos .....	57
2.8.1	Calentador eléctrico .....	57
2.9	Selección de equipos de instrumentación.....	59
2.9.1	Selección de medidores de temperatura.....	60
2.9.2	Medidor de presión.....	63
2.9.3	Selección de medidor de temperatura y humedad relativa .....	65
2.9.4	Selección de medidor de velocidad del aire .....	65
2.9.5	Selección de medidor de potencia .....	66

2.10	Selección del sistema de ventilación .....	66
2.11	Selección de Aislamiento Térmico.....	68
2.12	Sistema de ductos .....	69
2.13	Selección de adquisición de datos .....	70
2.14	Selección del sistema de presurización de la caja de medida.....	74
CAPÍTULO 3.....		76
3.	Resultados .....	76
3.1	Cargas Térmicas .....	76
3.1.1	Cargas Térmicas del Lado Frio .....	76
3.1.2	Cargas Térmicas del Lado Caliente .....	77
3.2	Selección de equipos.....	78
3.2.1	Calentador eléctrico .....	78
3.2.2	Medidor de temperatura .....	78
3.2.3	Medidor de presión.....	79
3.2.4	Medidor de temperatura y humedad relativa.....	79
3.2.5	Medidor de velocidad de aire .....	80
3.2.6	Medidor de potencia.....	80
3.2.7	Selección del sistema de ventilación.....	81
3.3	Sistema de ducto .....	83
3.4	Selección de sistema de presurización de la caja de medida.....	84
3.5	Propuestas de procedimiento .....	84
3.6	Seguridad durante el ensayo .....	91
3.7	Análisis de costos .....	91
3.7.1	Costos directos.....	92
3.7.2	Costos indirectos.....	97
3.7.3	Costos totales .....	98

3.8 Cronograma de montaje .....	99
CAPÍTULO 4 .....	101
4. Discusión y Conclusiones.....	101
4.1 Conclusiones .....	102
4.2 Recomendaciones .....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	105
APÉNDICES .....	107
Gráficos de Índice de Confort .....	128
Ecuación de la Continuidad .....	134

## ABREVIATURAS

AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación.
ANSI	American National Standard Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares).
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Ensayos y Material).
EPP	Equipos de Protección Personal.
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral.
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
GPE	Guía Práctica Ecuatoriana
INAMI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización.
INTEC	Instituto de Tecnologías de la ESPOL
ISA	International Society of Automation (Sociedad Internacional de Automatización).
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Estandarización).
LABET	Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética.
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana.
PROTMEC	Programa de Tecnología en Mecánica
P&ID	A Pipe and Instrumentation Diagram (Diagrama de Tuberías e Instrumentación).
REEL	Riverside Energy Efficiency Laboratory (Laboratorio de Eficiencia Energética Riverside).
RITE	Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios.
A	Amperio
CFM	Pies cúbicos sobre minutos
°C	Grados Centígrados
cm	Centímetro
g	Fuerza G

Gb	Gigabyte
GHz	Giga Hertz
h	Hora
HP	Caballos de Fuerza
in	Pulgada
J	Joules
K	Grados Kelvin
kg	Kilogramo
kW	Kilovatio
m	Metro
min	Minuto
mm	Milímetros
Mv	Mili voltios
N	Newton
Pa	Pascal
Vrms	Virtual Richard M. Stallman. Voltaje equivalente en corriente continua.
W	Vatios

## SIMBOLOGÍA

$A_A$	Área del aislante que rodea al espécimen perpendicular al flujo de calor
$A_d$	Área transversal del ducto
$A_E$	Área del espécimen perpendicular al flujo de calor
$A_i$	Área entre las uniones que permite infiltraciones de aire
$A_P$	Área de la Pared
$A_{TP}$	Área Total de las Paredes
AA	Año
$C_p$	Calor Específico del Aire
D	Diámetro equivalente del ducto
DD	Día
$f$	Coefficiente de rozamiento adimensional entre el ducto y el fluido en movimiento
$F_{aire}$	Tiempo de Reposición del aire
H	Altura del ducto
$h_A$	Coefficiente Convectivo del ambiente con la pared
$h_{1LC}$	Coefficiente Convectivo Interno del Lado Caliente
$h_{1LF}$	Coefficiente Convectivo Interno del Lado Frio
J	Variable de Potencia en el diagrama P&ID
$k_1$	Coefficiente Conductivo del Material 1 de la Pared
$k_2$	Coefficiente Conductivo del Material 2 de la Pared
$k_3$	Coefficiente Conductivo del Material 3 de la Pared
L	Largo del ducto
$L_1$	Espesor del Material 1 de la Pared
$L_2$	Espesor del Material 2 de la Pared
$L_3$	Espesor del Material 3 de la Pared
M	Variable de humedad relativa en el diagrama P&ID
MM	Mes
$MPa$	Mega Pascales

P	Variable de presión en el diagrama P&ID
$P_{CE}$	Potencia de Calentador Electrico
Q	Caudal de Aire
$Q_v$	Caudal de ventiladores
$q_{ALC}$	Flujo de Calor a través del aislante que rodea al espécimen del Lado Caliente
$q_{ALF}$	Flujo de Calor a través del aislante que rodea al espécimen del Lado Frio
$q_{FLC}$	Flujo de Calor a través del espécimen del Lado Caliente
$q_{FLF}$	Flujo de Calor a través del espécimen del Lado Frio
$q_{IALC}$	Flujo de Calor por Infiltración de Aire en el Lado Caliente
$q_{IALF}$	Flujo de Calor por Infiltración de Aire en el Lado Frio
$q_{PHLC}$	Flujo de Calor a través de la Pared Horizontal del Lado Caliente
$q_{PHLF}$	Flujo de Calor a través de la Pared Horizontal del Lado Frio
$q_{PLLC}$	Flujo de Calor a través de la Pared lateral del Lado Caliente
$q_{PLLF}$	Flujo de Calor a través de la Pared lateral del Lado Frio
$q_{PTLC}$	Flujo de Calor a través de la Pared Trasera del Lado Caliente
$q_{PTLF}$	Flujo de Calor a través de la Pared Trasera del Lado Frio
$q_{TPLC}$	Flujo de Calor Total a través de las Pared Lateral del Lado Caliente
$q_{TPLF}$	Flujo de Calor Total a través de las Pared Lateral del Lado Frio
r	Rugosidad de superficie en milímetros
$R_T$	Resistencia Total en las paredes
S	Variable de velocidad de aire en el diagrama P&ID
S	Área de paso de la sección recta del ducto
T	Variable de temperatura en el diagrama P&ID
$T_A$	Temperatura Ambiente
$T_{LC}$	Temperatura del Lado Caliente
$T_{LF}$	Temperatura del Lado Frio
U	Coeficiente Global de Transferencia de Calor
$U_A$	Coeficiente Global de Transferencia de Calor del aislante que rodea al espécimen
$U_E$	Coeficiente Global de Transferencia de Calor del espécimen

$U_p$	Coeficiente Global de Transferencia de Calor de la pared
$v$	Velocidad del aire
$\dot{V}$	Flujo Volumétrico
$\dot{V}_{LF}$	Flujo Volumétrico en el Lado Frio
$W$	Ancho del ducto
$\Delta p$	Diferencial de presión en el ducto
$\Delta T$	Diferencial de Temperatura
$\rho$	Densidad del Aire

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una caja caliente calibrada .....	21
Figura 2. Esquema de una caja caliente guardada.....	22
Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología del diseño .....	32
Figura 4. Diseño de forma del aparato.....	37
Figura 5. Área Asignada para el Aparato en LABET.....	38
Figura 6. Diagrama P&ID de la caja caliente .....	40
Figura 7. Dimensiones de puertas con marco de madera .....	44
Figura 8. Sección vertical de la puerta de madera.....	45
Figura 9. Dimensiones sección horizontal de ventanas .....	47
Figura 10. Dimensiones sección vertical de ventanas .....	48
Figura 11. Esquema del flujo de calor a través de la caja fría .....	52
Figura 12. Esquema del flujo de calor a través de la caja caliente .....	55
Figura 13. Calentador Eléctrico.....	58
Figura 14. Curva característica del ventilador.....	68
Figura 15. Partes de un sistema DAQ .....	71
Figura 16. Chasis NI cDAQ modelo NI cDAQ-9133.....	71
Figura 17. Módulo NI 9219 de entrada analógica universal .....	72
Figura 18. NI 9213 Módulo de entrada de termopares de $\pm 78$ mV, 75 kS/s, 1 .....	73
Figura 19. . Fuente de alimentación NI PS-155 A, 24 VDC .....	73
Figura 20. Sistema de adquisición de datos ensamblado.....	74
Figura 21. Curva característica del ventilador.....	82
Figura 22. Ventilador de PC 21 cfm .....	82
Figura 23. Ventilador de PC 32 cfm .....	83
Figura 24. Cronograma de montaje .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones de confort .....	26
Tabla 2. Rango de temperatura en ciudades principales de Ecuador 2015.....	27
Tabla 3. Vientos dominantes de las principales ciudades del Ecuador.....	28
Tabla 4. Matriz de ponderación.....	35
Tabla 5. Matriz de Decisión .....	36
Tabla 6. Dimensiones del ancho de las puertas de madera .....	46
Tabla 7. Dimensiones de la altura de las puertas de madera .....	46
Tabla 8. Medidas horizontales de ventanas.....	49
Tabla 9. Medidas verticales de ventanas.....	49
Tabla 10. Condiciones climáticas ensayo nocturno .....	50
Tabla 11. Condiciones climáticas ensayo diurno .....	50
Tabla 12. Dimensiones de caja caliente seleccionado.....	51
Tabla 13. Características de las paredes.....	51
Tabla 14. Características de especímenes.....	52
Tabla 15. Parámetros requeridos para el calentador eléctrico.....	58
Tabla 16. Reposición del aire por minuto.....	59
Tabla 17. Exactitud requerida para las variables de prueba y control.....	60
Tabla 18. Características de los termopares más comunes .....	61
Tabla 19. Características de los RTD .....	62
Tabla 20. Parámetros para la selección del medidor de temperatura.....	63
Tabla 21. Características de los elementos electromecánicos para medir presión....	64
Tabla 22. Parámetros requeridos para el transductor de presión .....	65
Tabla 23. Parámetros requeridos para el medidor de temperatura y humedad relativa .....	65
Tabla 24. Características del anemómetro de hilo caliente .....	66
Tabla 25. Valores de acondicionamiento recomendados para el laboratorio.....	66
Tabla 26. Materiales de aislamiento térmico.....	69
Tabla 27. Componentes del Sistema de Adquisición de Datos .....	74
Tabla 28. Características comparativas de los sistemas neumáticos e hidráulicos. ..	75
Tabla 29. Resultados de las pérdidas de calor en el lado frío.....	76

Tabla 30. Resultados de las pérdidas de calor en el lado caliente .....	77
Tabla 31. Especificaciones Técnicas del Medidor de Temperatura .....	79
Tabla 32. Especificaciones técnicas del transductor de presión .....	79
Tabla 33. Especificaciones técnicas del termohigrómetro .....	80
Tabla 34. Especificaciones técnicas del anemómetro .....	80
Tabla 35. Especificaciones del transductor de potencia .....	81
Tabla 36. Especificaciones técnicas del ventilador .....	81
Tabla 37. Especificaciones técnicas del ventilador de 21 cfm .....	83
Tabla 38. Especificaciones técnicas del ventilador de 32 cfm .....	83
Tabla 39. Componentes del sistema neumático .....	84
Tabla 40 Procedimiento experimental: rango de temperaturas .....	86
Tabla 41. Procedimiento experimental: resultados del espécimen .....	90
Tabla 42. Costo de materiales .....	93
Tabla 43. Costos de equipos .....	94
Tabla 44. Costo de sensores .....	95
Tabla 45. Costos de construcción .....	95
Tabla 46. Costo de montaje e instalación .....	96
Tabla 47. Costos indirectos .....	97
Tabla 48. Resumen de costos .....	99
Tabla 49. Dimensionamiento del Actuador .....	134
Tabla 50. Dimensionamiento de la Extensión .....	135
Tabla 51. Dimensionamiento de la Retracción .....	136
Tabla 52. Dimensionamiento del Compresor .....	137
Tabla 53. Característica del Compresor .....	137
Tabla 54. Ficha Técnica del Thermolon .....	138

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Vista en Planta con Plano Acoplado .....	109
Plano 2 Vista General del Aparato Acoplado .....	110
Plano 3 Vista Auxiliar del Aparato Sin Acople .....	111
Plano 4 Descripción de Equipos y Vistas Generales de Planos .....	112
Plano 5 Descripción de Caja Caliente.....	113
Plano 6 Caja Caliente – Vista General de Planos.....	114
Plano 7 Descripción de Caja de Medida .....	115
Plano 8 Caja de Medida – Vista General de Planos .....	116
Plano 9 Descripción del Porta Probeta .....	117
Plano 10 Porta Probeta – Vista General de Planos .....	118
Plano 11 Descripción de Caja Fría .....	119
Plano 12 Caja Fría – Vista General de Planos .....	120
Plano 13 Descripción de Espécimen 1 .....	121
Plano 14 Espécimen 1 – Vista General de Planos.....	122
Plano 15 Descripción de Espécimen 2 .....	123
Plano 16 Espécimen 2 – Vista General de Planos.....	124
Plano 17 Aíslate Espécimen 1 – Vista General de Planos.....	125
Plano 18 Aíslate Espécimen 2 – Vista General de Planos.....	126

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La transformación que ha vivido el país en estos últimos años es una consecuencia de priorizar las propuestas del cambio de la matriz productiva y energética, en donde prima la visión de la soberanía, protección ambiental y sostenibilidad. Con la aplicación de las nuevas políticas públicas para el sector energético, se busca trabajar en el cambio y mejora de los beneficios sociales garantizando el servicio de los ciudadanos y su calidad de vida; la protección al medio ambiente conlleva la implementación de materiales, equipos y sistemas de energía más eficientes que no alteren el sistema ecológico o disminuyen significativamente el impacto ambiental. La eficiencia energética tiene como objetivo reducir el consumo de energía y como resultado, se puede observar una relación directa con la economía familiar, ya que estas mejoras contribuyen a la eficiencia y al ahorro.

### 1.1 Descripción del problema

La mayoría de los hogares en Ecuador tienen acondicionadores de aire, dado la necesidad de alcanzar condiciones de confort (Carrier Air Conditioning Co., 2009), y éste como cualquier sistema de refrigeración siempre tendrá pérdidas de calor. Con dichas pérdidas se hace referencia a las puertas y ventanas que se encuentran en todo domicilio, no al rendimiento que pudiera tener el equipo. Para minimizar las pérdidas, que se reflejan en el consumo de energía eléctrica y en un tiempo de vida útil menor a lo estimado, es obligatorio y trascendental la necesidad de investigar y realizar pruebas experimentales de la resistencia térmica de los materiales, mejorando el aislamiento térmico para prevenir la transferencia de calor hacia adentro y hacia fuera de los hogares. Por lo tanto, queda claro que la reducción de estas pérdidas va en virtud del cambio de la matriz energética. Logrando con esto, una disminución en el aumento de las necesidades del acondicionador de aire y consecuentemente los costos de mantenimiento para lograr las condiciones de confort.

En relación con la ciencia y tecnología, el país está viviendo una profunda transformación en el sistema educativo y en la investigación logrando esfuerzos mancomunados entre el sector público y privado para institucionalizar la sociedad del conocimiento con inversión en infraestructura y personal capacitado. Estos proyectos son la piedra angular de futuros estudios de investigación y pruebas experimentales, que servirán para implementar sistemas de control de calidad para materiales de fabricación nacional y extranjera, controlando las importaciones que quieran entrar al mercado ecuatoriano, siempre y cuando cumplan con las normas vigentes establecidas por la autoridad competente que para el caso del Ecuador será el Servicio de Ecuatoriano de Normalización (INEN).

Entre uno de los proyectos que tiene el Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética (LABET) está la construcción de un aparato llamado Caja Caliente y estará ubicado dentro de sus instalaciones. Con este aparato se puede determinar las propiedades térmicas de materiales de construcción con la finalidad de encontrar materiales que lleven a un mayor ahorro y eficiencia energética.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Diseñar una caja caliente para determinar el coeficiente de transmisión de calor de puertas y ventanas bajo la norma ASTM C 1363, con un área transversal de 3,5 m x 3,5 m.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Diseñar un equipo de prueba para determinar el coeficiente universal de transferencia de calor (U) para puertas y ventanas, las cuales son expuestas a condiciones controladas de laboratorio.

- Establecer un tamaño promedio de puertas y ventanas con el fin de dimensionar y seleccionar el tipo de configuración requerida para el banco de pruebas.
- Especificar los componentes que forman parte del aparato.
- Realizar la ingeniería de detalle del sistema según la configuración seleccionada.
- Elaborar un cronograma de montaje con su respectivo análisis de costos.
- Elaborar un procedimiento de ensayo.
- Utilizar el software ANSYS para simular el flujo de calor en estado estable a través de la porta probeta y la distribución de temperaturas.

### **1.3 Marco teórico**

Caja Caliente es un aparato diseñado para determinar el coeficiente de transmisión de calor y la resistencia térmica de paneles de construcción. Su funcionamiento se basa en mantener una diferencia de temperatura sobre ambas caras del espécimen, con propiedades térmicas conocidas, y a través del mismo el paso de un flujo de calor constante. Existen dos métodos para la determinación de estas variables: la caja caliente calibrada y la caja caliente guardada. (INEN, 2014).

A continuación se describirá la diferencia entre los tipos de cajas calientes, definirán las partes principales como son: la caja de medida, porta probeta, espécimen, caja caliente, caja fría.

#### **1.3.1 Aparato**

Nombre técnico que se da a la Caja Caliente. De aquí en adelante nos referiremos a la Caja Caliente como “aparato” para evitar confusiones con la sección caliente del equipo que lleva el mismo nombre.

### 1.3.2 Tipo de caja caliente

Existen dos tipos: la caja caliente guardada y la caja caliente calibrada. A continuación se describirán cada una de ellas.

#### Caja caliente calibrada

En esta configuración, la caja de medida tiene dimensiones iguales o mayores a las del espécimen. La caja de medida cubre toda la sección del lado caliente. En la Figura 1 se presenta un esquema de la caja caliente calibrada obtenida de la ASTM C 1363, en ella encontramos las partes principales del aparato como son la caja caliente, caja fría, espécimen, fuente de calor y adicionalmente se puede encontrar la dirección del flujo del calor a través del espécimen y las principales pérdidas de calor. También se puede notar que La caja de medida, en este caso es la caja caliente.

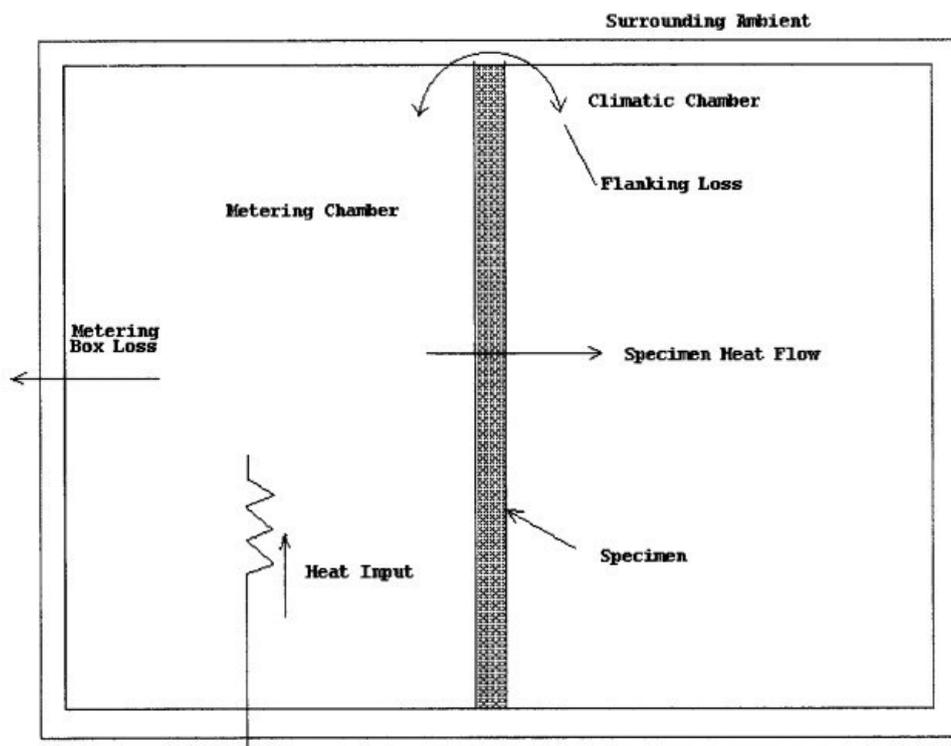


Figura 1. Esquema de una caja caliente calibrada

Fuente: ASTM C 1363

### Caja caliente guardada

En esta configuración, la caja de medida es menor que las dimensiones del elemento de construcción. La caja de medida se encuentra dentro de la sección de lado caliente. En la Figura 2 se muestra un esquema de la caja caliente guardada obtenida de la norma ASTM C 1363, en la cual la principal diferencia con la caja caliente calibrada se muestra en la caja de medida que se encuentra dentro de la caja caliente y desde donde la fuente de calor genera flujo térmico hacia el espécimen. También se observan las principales pérdidas de calor en el aparato.

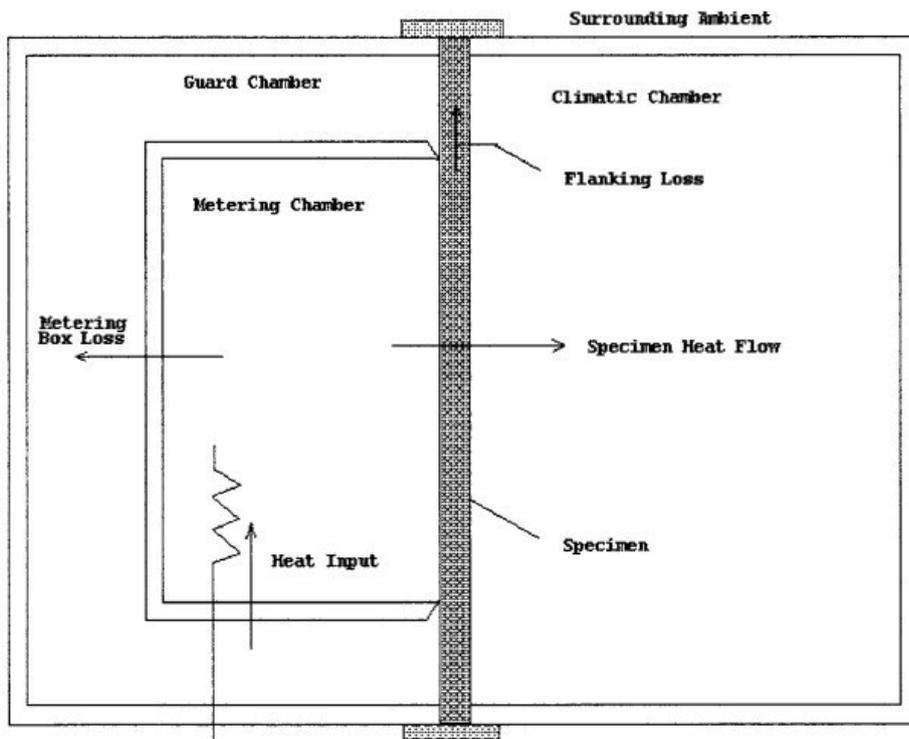


Figura 2. Esquema de una caja caliente guardada

Fuente: ASTM C 1363

### 1.3.3 Caja caliente o lado caliente

Esta sección lleva el mismo nombre que el equipo, en su interior se encuentra alojada la caja de medida. Su función principal es entregar calor hacia una cara del porta probeta manteniendo una temperatura estable y mayor a la del medio ambiente, tratando en lo posible de reducir pérdidas

de calor por medio de las paredes e infiltraciones. La instrumentación debe ser capaz de controlar y medir la temperatura y velocidad del aire para mantener los valores constantes.

#### **1.3.4 Caja fría o lado frío**

El propósito de la caja fría es proveer de condiciones controladas en el lado opuesto a la caja de medida manteniendo una temperatura estable menor a la del medio ambiente. En su interior se encuentra un baffle o placa que permite que el flujo del viento sea paralelo al espécimen. Al igual que en la caja caliente la instrumentación debe ser capaz de controlar y medir las temperaturas y velocidades del aire.

#### **1.3.5 Caja de medida**

El propósito de la caja de medida es proveer el control y las medidas de las temperaturas, velocidad del aire y los coeficientes térmicos de superficie de la cara del espécimen, bajo condiciones prescritas para medir la transferencia de calor neta a través del espécimen. En su interior se aloja un baffle para mantener el flujo de aire paralelo al espécimen. Otra función muy importante de la caja de medida es la de disminuir el flujo de calor o pérdida de calor hacia el medio ambiente, ya que va a mantener la misma temperatura que la caja caliente.

#### **1.3.6 Porta Probeta**

Es un marco que brinda soporte, alojamiento y el perímetro necesario para el espécimen y el aislamiento que rodea al espécimen. Este marco estará montado sobre ruedas para permitir el rápido montaje y desmontaje en un ensayo.

### **1.3.7 Espécimen**

Nombre general que se le da al objeto sobre el cual se realizarán las pruebas. En este proyecto se estudiarán las puertas de madera y ventanas compuestas de vidrio y aluminio. En el capítulo 2.6 se darán detalles con más profundidad como dimensiones y materiales.

### **1.3.8 Alcance de la norma ASTM C 1363**

Establecer los principios para el diseño del aparato, Caja Caliente, y los requerimientos mínimos para la determinación del rendimiento térmico de los elementos de construcción en estado estable, expuestos a condiciones controladas de laboratorio.

Los especímenes a ser analizados pueden ser homogéneos y no homogéneos. Este método es aplicable para estructuras de construcción o muestras de los materiales de construcción que sean representativos. La operación del aparato requiere el conocimiento de las temperaturas, áreas y potencias. Dicha norma expone también la necesidad de verificar los resultados del aparato sobre especímenes de los que se conoce los valores de transferencia de calor y comparar estos resultados con los obtenidos en el ensayo, ya que no existe la guarda o caja de medida estándar. Según lo expuesto, se realizan correcciones para caracterizar con exactitud todas las vías de los flujos de calor de la caja de medida.

El operador del aparato debe ser capaz de desarrollar las ecuaciones adicionales que predicen la magnitud de las correcciones del flujo de calor neto a través del espécimen como por ejemplo, pérdidas por paredes y laterales.

El proyecto se centra en la selección de materiales, equipos, dimensionamiento de la caja caliente y las condiciones de laboratorio que simulan las condiciones climáticas de nuestro país. Siendo el área

transversal de 3,5 m x 3,5m y el espesor de la porta probeta 180mm, el espécimen podrá tener una altura máxima de 3,1 m, ancho máximo de 3,1m y espesor máximo de 180mm. Las temperatura de ensayo se encontraran en un rango de 10°C a 40°C definido por el historial de temperaturas en el Ecuador (INAMHI, 2015). Adicionalmente, se realizará el procedimiento experimental que incluye seguridad ocupacional y los pasos a seguir antes, durante y después de haber realizado el ensayo.

### **1.3.9 Necesidad de obtener condiciones de confort en una vivienda**

Para el desarrollo de un proyecto en edificios se debe considerar las condiciones de confort tanto externas e internas. Convenientemente en el diseño, el proyectista debe establecer las condiciones de confort y las condiciones establecidas en el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios).

Dichas condiciones de confort según el manual de aire acondicionado de Carrier (Carrier Air Conditioning Co., 2009) son:

- Temperatura de Bulbo Húmedo
- Temperatura de Bulbo Seco
- Temperatura de Operación
- Humedad
- Altitud
- Velocidad de Aire

### **1.3.10 Requerimientos para la selección de equipos**

Para el diseño del aparato, Caja Caliente, se debe considerar los parámetros de: temperatura ambiente, temperatura de confort, velocidad del viento.

Para establecer el rango de temperaturas, se requiere una temperatura máxima y una mínima a las que el aparato funcionará. Para obtener el valor

de la temperatura máxima, se escoge una ciudad de la costa ecuatoriana, en este caso la ciudad de Guayaquil que es en donde se realizarán las pruebas. Para la temperatura mínima se escoge una ciudad de la sierra ecuatoriana y representativamente se eligió Quito, que es una de las ciudades de la cual se espera un número considerable de solicitudes de ensayos.

En la Tabla 1 se encuentran los rangos de temperatura y de humedad que logran el confort dentro de edificaciones o instalaciones, cuyos datos fueron obtenidos del Manual de aire acondicionado de Carrier.

**Tabla 1. Condiciones de confort**

Estaciones	Temperatura de Confort °C		Humedad de Confort %	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Verano	23	24	45	60
Invierno	21	23	40	50

Fuente: Carrier Air Conditioning Co., 2009.

En la Tabla 2 se colocaron los rangos de temperatura de las ciudades de Guayaquil y Quito a lo largo del año 2015. Estos datos mostrados en la siguiente tabla fueron obtenidas de los boletines meteorológicos que mes a mes entrega el INAMHI, sin embargo no está disponible los datos de temperaturas máximas y mínimas del mes de Diciembre. El confort dentro de viviendas en la región costa se alcanza con el uso de acondicionadores de aire, cuando las temperaturas ambientales sobrepasan la temperatura de confort, valores que se encuentran en la Tabla 1.

**Tabla 2. Rango de temperatura en ciudades principales de Ecuador 2015**

Guayaquil			Quito		
Meses	Temperatura Mínima °C	Temperatura Máxima °C	Meses	Temperatura Mínima °C	Temperatura Máxima °C
Enero	22	35	Enero	9	25
Febrero	23	34	Febrero	9	25
Marzo	23	35	Marzo	8	26
Abril	23	34	Abril	9	24
Mayo	24	34	Mayo	9	25
Junio	22	33	Junio	10	25
Julio	22	34	Julio	8	26
Agosto	19	33	Agosto	9	25
Septiembre	21	34	Septiembre	9	26
Octubre	21	34	Octubre	10	26
Noviembre	22	34	Noviembre	8	26
<b>Valores Críticos</b>	<b>19</b>	<b>35</b>	<b>Valores Críticos</b>	<b>8</b>	<b>26</b>

Fuente: INAMHI, 2015

Según los datos mostrados en la Tabla 2 en la ciudad de Guayaquil es necesario el acondicionamiento del ambiente ya que las temperaturas ambientales superan la temperatura de confort. En la ciudad de Quito, la temperatura máxima promedio es de 25 o 26 °C, se excede con 1 o 2 °C las temperaturas de confort por lo que queda a decisión de la persona el uso de acondicionamientos de aires, considerando la facilidad de instalación y los costos de electricidad. Por la noche, las temperaturas en Quito descienden, por lo que se necesitaría de un equipo de calefacción para alcanzar las temperaturas de confort. Sin embargo, en esta ciudad y en todas las demás ciudades de la serranía ecuatoriana no es costumbre usar calefactores en viviendas por lo tanto, para contrarrestar los efectos del frío se utilizan vestimentas o bebidas calientes.

Dentro de la caja caliente y la caja fría circula aire paralelo al espécimen, para determinar las velocidades del aire en el aparato se deben analizar las velocidades del viento en el Ecuador.

En la Tabla 3 se observa los valores de la velocidad del viento en distintas ciudades lo que sirve para modelar la velocidad del aire dentro del aparato.

**Tabla 3. Vientos dominantes de las principales ciudades del Ecuador**

Ciudad	Velocidad Media m/s	Velocidad Máxima m/s	Mes del año
San Lorenzo	1,8	5,2	-
Esmeraldas	3,2	5,2	Agosto
Portoviejo	1,8	2,0	Agosto
Quevedo	0,8	2,0	Marzo
Guayaquil	3,2	5,2	Octubre
Salinas	4,6	6,0	Julio
Machala	2,0	3,5	Septiembre
Tulcán	2,5	6,8	Julio
Ibarra	1,5	5,0	Agosto
Quito	0,9	1,5	Julio
Santo Domingo	1,2	3,4	Febrero
Ambato	2,5	6,8	Septiembre
Baños	2,2	5,2	Abril
Cañar	3,6	9,0	Julio
Cuenca	2,4	6,0	Enero
Loja	3,3	5,3	Julio
Saraguro	4,9	7,7	Julio
Tena	2,1	3,4	Noviembre
Pto. Baquerizo M.	3,2	5,4	Octubre
<b>Valores Max</b>	<b>4,9</b>	<b>9,0</b>	

Fuente: (INEN, 1984)

El mes del año de los vientos dominantes de la ciudad de San Lorenzo no está disponible en la norma NTE INEN 1125.

### 1.3.11 Factores que influyen en la eficiencia de un equipo

#### Caja de medida

El tamaño mínimo de la caja de medición está regida por norma ISO 12567:2010, que establece que dichas dimensiones mínimas deben ser 200 mm adicionales al tamaño del espécimen en cada lado.

Para minimizar los errores de medición hay que prestar vital importancia a los siguientes factores que van dirigidos a las paredes de la caja de medición y su espacio circundante:

- Dimensión de las paredes de la cámara de medición.

- Diferencia de temperatura a través de las paredes tanto de la caja caliente como fría.
- Resistencia térmica de las paredes de la caja de medición.
- Relación entre las pérdidas por las paredes de la caja de medición y la transferencia de calor neto.
- Uniformidad de la transferencia de calor por radiación con todas las superficies que intercambian radiación con el espécimen.
- La transferencia de calor a través de la cámara de medición debe ser uniforme.
- Los miembros estructurales con sus respectivos aislamientos.
- Se deben evitar puentes térmicos, grietas estructurales, agujeros de aislamientos, fugas de aire.
- Sello hermético que debe existir entre las paredes de la caja de medida y el espécimen.

### **Porta probeta o Marco del espécimen**

Las condiciones establecidas en el diseño y la construcción deben cuidar las pérdidas de calor laterales de cualquier elemento o componente estructural que se tenga en consideración.

Para finalizar, la humedad, condensación y congelamiento también son factores importantes que pueden causar variación del flujo de calor.

### **1.3.12 Normas aplicadas en el proceso de diseño**

Normas utilizadas para el diseño de la Caja Caliente:

Normas Nacionales

- GPE INEN 011(1987). Guía de Práctica. Uso de Medidas Preferidas para la Viviendas. Ventanas.

En esta norma se detallan las dimensiones típicas de las ventanas residenciales las cuales se usan para dimensionar el tamaño de las ventanas y la simulación en ANSYS.

- NTE INEN 1126(1984). Ventilación Natural de Edificios. Requisitos.  
En esta norma se presenta una lista de las ciudades principales del Ecuador con la velocidad dominante de los vientos. A partir de estos datos se selecciona el rango de velocidades del aire en las pruebas y dimensionamiento de equipo.
- NTE INEN 1995(2015). Puertas de Madera. Requisitos e Inspección.  
En esta norma se detallan las dimensiones típicas de las puertas residenciales las cuales son usadas para dimensionar el tamaño de las puertas y la simulación en ANSYS.
- NTE INEN-ISO 8990(2014). Determinación de las propiedades de transmisión térmica en régimen estacionario. Método de la caja caliente guardada y calibrada.  
Norma que muestra los requisitos para el dimensionamiento de las partes principales de la caja caliente.

#### Normas Internacionales

- ASTM C 1363(2011). Método estándar de prueba para el Rendimiento Térmico de los materiales de construcción y ensamble de cubiertas mediante el aparato de la Caja Caliente. (Standard Test Method for Thermal Performance of Building Materials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus).  
Norma base de la investigación, en esta se presentan requisitos de importancia para el dimensionamiento de la caja caliente.
- ASTM C 1199(2000). Método estándar de prueba para la medición de la transmitancia térmica en estado estable de un sistema de ventanaje usando el método de la Caja Caliente. (Standard Test Method for Measuring the Steady-State Thermal Transmittance of Fenestration Systems Using Hot Box Methods).

Norma que presenta los requisitos de calibración de los equipos que forman parte de la caja caliente.

- EN ISO 12567(2010). Rendimiento Térmico de ventanas y puertas – Determinación de la transmitancia térmica mediante el método de la caja caliente – Parte 1: Ventanas y puertas enteras. (Thermal performance of windows and doors – Determination of thermal transmittance by the hot-box method - Part 1: Complete windows and doors).

Norma que muestra el tamaño adecuado del espécimen y su ubicación en la porta probeta para un ensayo en estado estable en una caja caliente.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

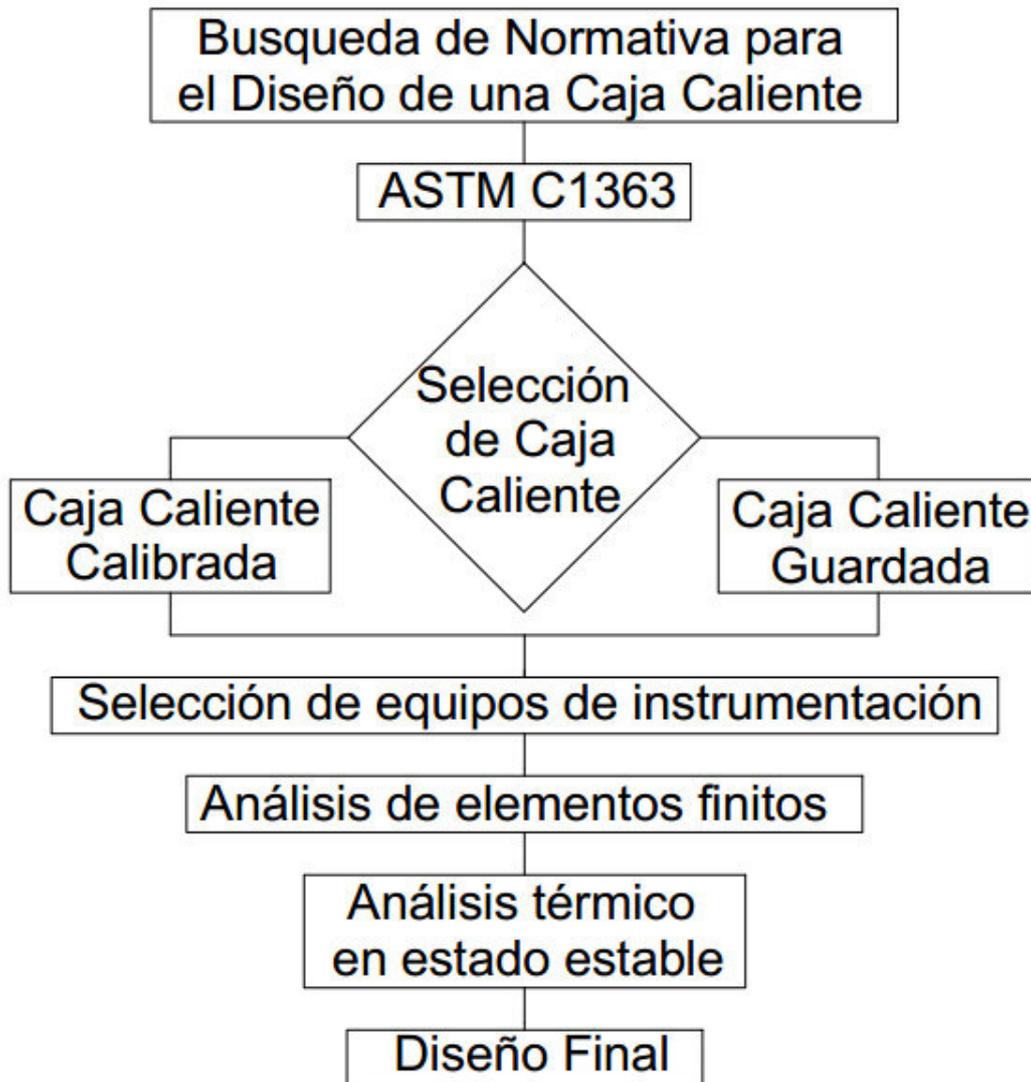


Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología del diseño

Fuente: Elaboración Propia

### 2.1 Estudio de alternativas

El diseño de la caja caliente se basa en la norma ASTM C1363, que cuenta con dos métodos, a continuación se presentan las ventajas y desventajas de cada uno de ellas.

### **Opción A: Caja caliente guardada**

#### Ventajas

- Mayor exactitud en los datos obtenidos.
- Minimiza el intercambio de calor directo desde la caja de medida hacia el ambiente.
- Disminuye el flujo de calor lateral de la probeta.
- Potencia calorífica dirigida directamente hacia el espécimen.

#### Desventajas

- Costo elevado.
- Sistema de Control que demanda una mayor complejidad.
- Mayor número de equipos dentro de la zona caliente.

### **Opción B: Caja caliente calibrada**

#### Ventajas

- Rápido ensamble en cada ensayo a realizar.
- Sistema de calefacción simple.
- Menos equipos dentro de la zona caliente por lo tanto, mejor calor aportado por equipos adicionales.

#### Desventajas

- Pérdida de calor de la caja de medida hacia el medio externo o ambiente.
- Potencia calorífica no unidireccional hacia el espécimen.
- Mayor pérdida lateral de calor

## **2.2 Análisis y selección de alternativa**

Conocidas las ventajas y desventajas de cada método de caja caliente, se realiza la selección de la mejor alternativa mediante el método ponderado. Para esto, se realiza una matriz de decisión con las variables más influyentes e importantes, las cuales son: precisión, costo, disponibilidad local,

confiabilidad, manufacturabilidad, utilidad, operatividad, propiedades térmicas y mantenimiento. A continuación se definen cada una de las variables:

- Precisión: se refiere a la dispersión de los resultados o valores en una toma de medidas. Mientras menos dispersión exista entre los resultados, el equipo será más preciso.
- Costo: valor monetario total del aparato una vez colocado en las instalaciones del laboratorio de LABET.
- Disponibilidad Local: existencia de los equipos a utilizar en el mercado local.
- Confiabilidad: se refiere a la baja probabilidad de que el equipo falle, se produzca un daño o accidente.
- Manufacturabilidad: facilidad de construir o ensamblar.
- Utilidad: diversidad de funciones del aparato.
- Operatividad: facilidad para utilizar el operador el aparato.
- Propiedades Térmicas: ahorro energético evitando pérdida de calor.
- Mantenimiento: facilidad para que el operador realice el mantenimiento del equipo.

### **Método Ponderado**

En este método se especifican los criterios o las variables en las que las alternativas van a ser evaluadas, luego cada una de las variables va a ser comparado con los demás. En el caso de considerarse un criterio por ejemplo, A más importante que B, su valor será de uno, de ser iguales su valor será 0.5 y en el caso de ser menos importante su valor será de 0. En la Tabla 4 se aplica dicho método con nueve criterios considerados.

**Tabla 4. Matriz de ponderación**

MATRIZ DE CRITERIOS	Precisión	Costo	Disponibilidad Local	Confiabilidad	Manufacturabilidad	Utilidad	Operatividad	Propiedades Térmicas	Mantenimiento	valores	Ponderación
	x	x	x	x	x	x	x	x			
<b>Precisión</b>	x	1,0	0,0	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	6,5	0,14
<b>Costo</b>		x	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	5,0	0,11
<b>Disponibilidad Local</b>			x	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	8,0	0,18
<b>Confiabilidad</b>				x	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	6,5	0,14
<b>Manufacturabilidad</b>					x	1,0	0,0	0,0	1,0	3,0	0,07
<b>Utilidad</b>						x	0,0	0,0	0,0	1,0	0,02
<b>Operatividad</b>							x	0,0	1,0	6,0	0,13
<b>Propiedades Térmicas</b>								x	1,0	7,0	0,16
<b>Mantenimiento</b>									x	2,0	0,04
										45,0	1,00

Fuente: Elaboración Propia

En la calificación de las variables se mantuvo una postura de preferencia a la disponibilidad local, ya que esto reduce el tiempo de ensamble del aparato, importación, movilidad de equipos, etc. Otra de las razones fue la asistencia técnica por parte de los proveedores y la facilidad de adquirir equipos de repuestos. Se consideró de mucha importancia en la calificación de importancia de las variables el aislamiento térmico, la generación de calor y el intercambio de calor con el medio ambiente, pérdidas de calor sean reducidas al mínimo. Los errores en la toma de datos o lecturas ya sean humanos o sistemáticos también sean reducidos lo más posible.

Se comprueba mediante la columna de Ponderación de la Tabla 4 que las variables más influyentes para la selección de la mejor opción es la disponibilidad local, seguido por las propiedades térmicas y las variables menos influyentes son la utilidad y el mantenimiento. Una vez obtenidos los valores de ponderación se procede a la calificación basada en el nivel de importancia de dicha variable en cada diseño. Siendo 100 “Importante”, 50 “Indiferente” y 0 “No importante”. Se muestra en Tabla 5 la Matriz de decisión

final en la cual se plasman los resultados sobre 100 de los dos criterios, calibrada y guardada.

**Tabla 5. Matriz de Decisión**

<b>MATRIZ DE DECISIONES</b>	<b>Precisión</b>	<b>Costo</b>	<b>Disponibilidad Local</b>	<b>Confiabilidad</b>	<b>Manufacturabilidad</b>	<b>Utilidad</b>	<b>Operatividad</b>	<b>Propiedades Térmicas</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Caja Caliente Calibrada</b>	7,0	11,0	18,0	7,0	7,0	0,0	13,0	0,0	5,0	68,0
<b>Caja Caliente Guardada</b>	14,0	5,5	18,0	14,0	3,5	1,0	13,0	16,0	2,5	87,5

Fuete: Elaboración Propia

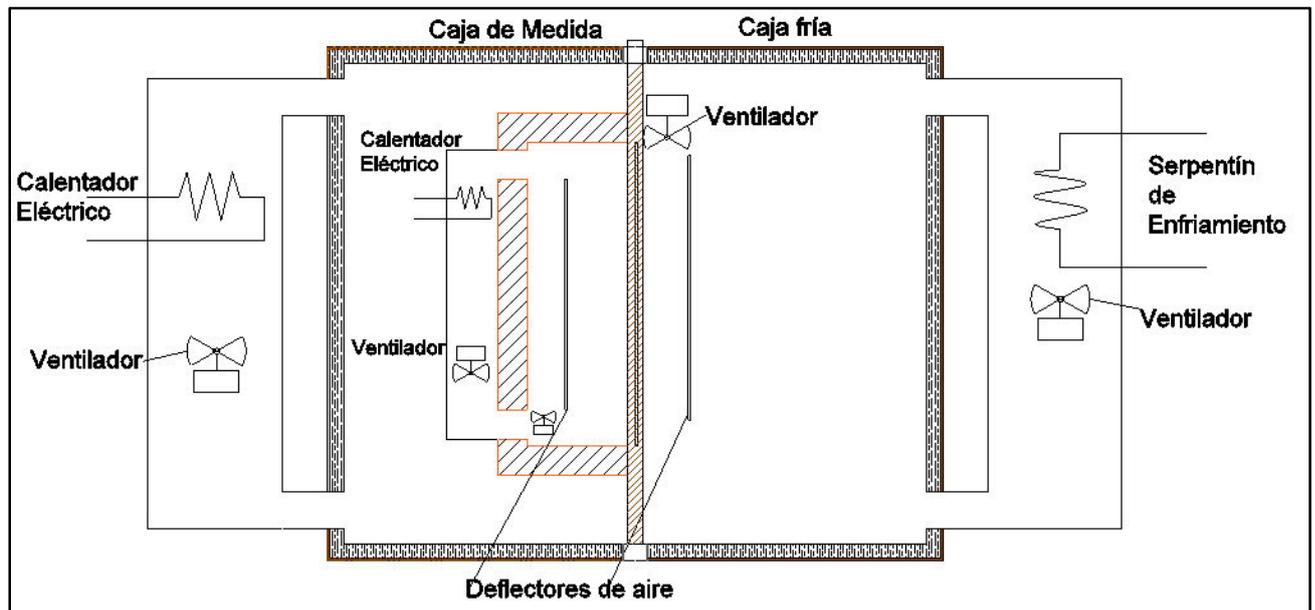
Se concluye que el tipo de caja caliente que se implementará será la Guardada que tuvo una puntuación mayor que la Calibrada.

### **2.3 Diseño de forma y configuración de banco de prueba**

En esta sección se presentara el diseño de forma del aparato, en donde se identificaran con mayor detalle los equipos y partes internas, así mismo la ubicación del aparato en el LABET.

#### **2.3.1 Configuración de banco de prueba**

En la Figura 4 se encuentra el diagrama de forma en la que se muestra además de las partes principales y los equipos de refrigeración, calefacción y ventilación.

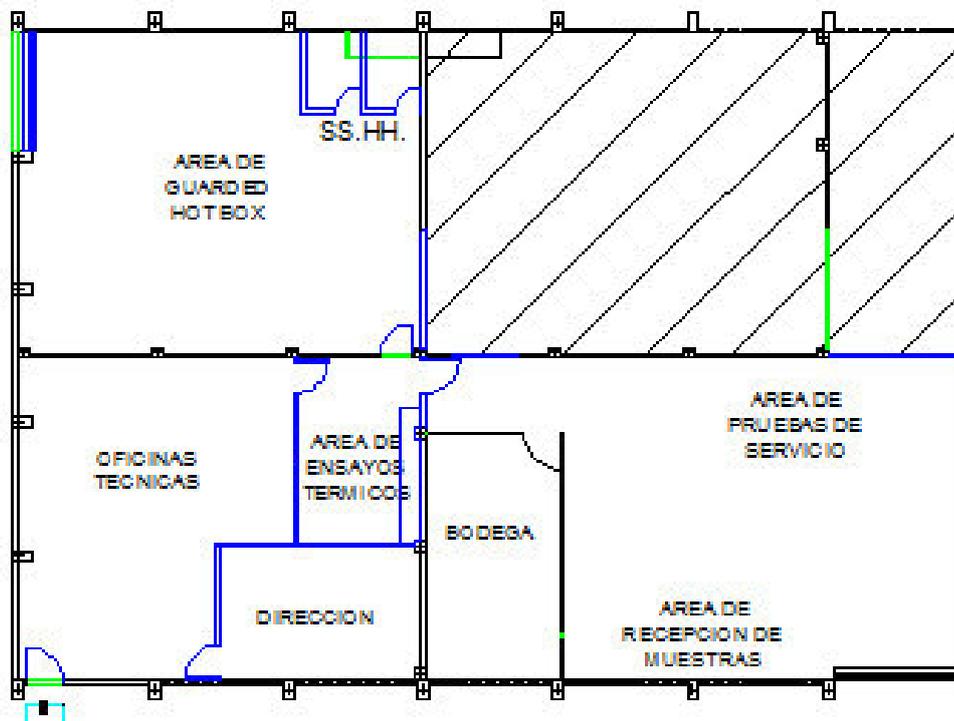


**Figura 4. Diseño de forma del aparato**

Fuente: Elaboración Propia

### 2.3.2 Área asignada para el banco de prueba

El aparato será instalado en las instalaciones del INTEC en el edificio PROTMEC. En la Figura 5 se muestra un esquema en donde será ubicada la Caja Caliente (Guarded Hot Box).



**Figura 5. Área Asignada para el Aparato en LABET**

Fuente: Elaboración Propia

## 2.4 Diagrama P&ID del sistema

En la Figura 6 se observa el diagrama P&ID, el cual está realizado siguiendo la norma ANSI/ISA S5.1- 1984 (R 1992), donde se muestra el proceso de control con sus equipos y dispositivos de instrumentación necesarios para el ensayo. Los símbolos asignados por la norma mencionada, son aplicables para toda clase de procesos de medición y control, también sirve para describir sus funciones en el banco de prueba.

La identificación de los diferentes elementos de instrumentación para la caja de medida y la caja fría se muestra a continuación, en donde la primera letra identifica la variable de medición:

- T = Temperatura
- P = Presión
- S = Velocidad de Aire
- M = Humedad Relativa

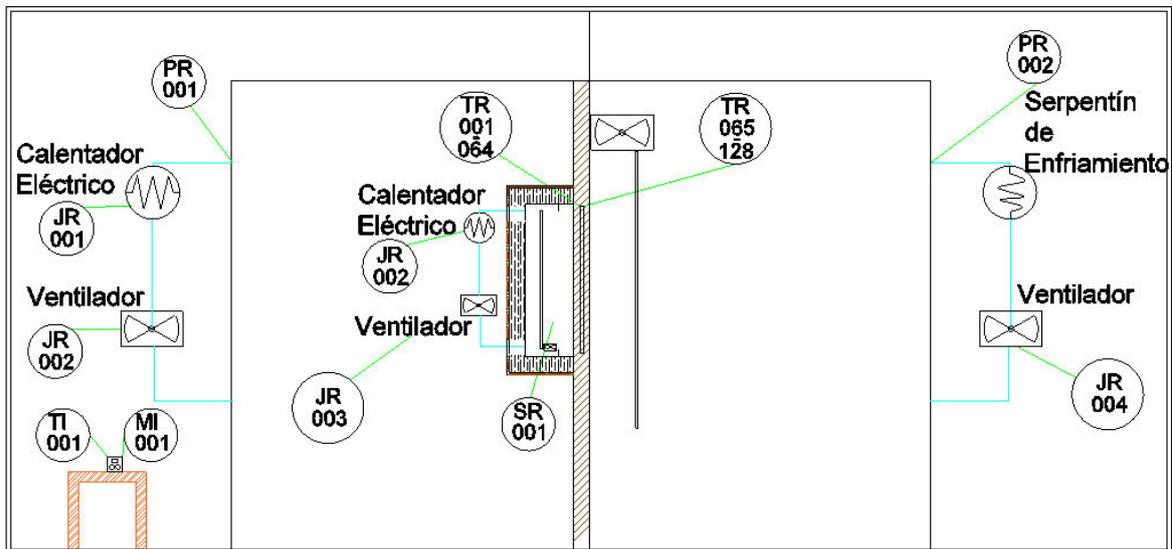
- J = Potencia

La segunda letra señala la lectura de salida:

- R= Registra los valores
- I= Indica el valor, por lo general mediante un dispositivo LED.

En la caja caliente se encuentran el calentador eléctrico y el ventilador, con su respectivo medidor de potencia (JR-001), y medidor de presión al final del ducto (PR-001). Con respecto a la caja de medida también cuenta con su respectivo calentador eléctrico, ventilador axial y ventiladores de computadora, para la circulación del aire, contando además con un baffle o deflector de aire donde se instalarán medidores de potencia y medidor de velocidad del aire (JR-002 a JR-003;SR-001). En el espécimen se posicionarán 64 termocuplas en la parte de la caja caliente (TR-001 a TR-064), ver sección derecha de la Figura 6

En la caja fría se encuentran el serpentín de enfriamiento y el ventilador con su respectivo medidor de potencia (JR-004) y medidor de presión al final del ducto (PR-002). En el interior se encuentra ventiladores y el baffle o deflector de aire. Finalmente, en el espécimen se instalarán las últimas 64 termocuplas en la parte de la caja fría (TR-065 a TR-128), ver sección izquierda de la Figura 6.



**Figura 6. Diagrama P&ID de la caja caliente**

Fuente: Elaboración Propia

## 2.5 Parámetros generales del proceso

De acuerdo a la norma ASTM C 1363, basándose en los criterios y recomendaciones de dicha norma se expone lo siguiente:

### Tamaño del aparato

- El tamaño del aparato debe ser dimensionado en función del tipo de especímenes para la prueba. Dimensiones típicas de altura para la caja caliente son de 2.5 a 3 m con un ancho igual o mayor. El piso y el techo hasta 4 a 6 m de altura.
- Nunca deben ser las pérdidas mayores o iguales al 10% de la transferencia de calor del espécimen.

### Caja de medida

- El tamaño mínimo del área de medida es 3 veces el cuadrado del espesor del espécimen o 1 [m<sup>2</sup>].
- Nunca deben ser las pérdidas mayores o iguales al 10% de la transferencia de calor del espécimen.

- La resistencia térmica de las paredes de la caja de medición debe ser mayor que  $0.83 \left[ \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right]$ .
- La incertidumbre de la corrección de las pérdidas de las paredes de la caja de medición a la transferencia de calor neto, no debe exceder el 0.5 % del flujo de calor neto a través del espécimen.
- Todas las superficies que intercambien radiación con el espécimen deben tener una emitancia hemisférica mayor que 0.8.
- La transferencia de calor a través de la caja de medida debe ser uniforme para que el número limitado de transductores de flujo de calor o termopares diferenciales puedan ser usados para caracterizar el flujo de calor para cada área representativa.
- Los miembros estructurales no deben ir sin sus respectivos aislamientos.
- Se deben evitar puentes térmicos, grietas estructurales, agujeros de aislamientos, fugas de aire y lugares localizados de calor dentro de las paredes de la caja de medición.
- En aplicaciones donde la caja de medida haga contacto con el espécimen, debe existir un sello hermético entre las paredes de la caja de medida y el espécimen, teniendo un ancho máximo de 13 mm, medido paralelamente a la superficie plana del espécimen.

### **Caja fría**

- Cámara de cinco lados con dimensiones internas iguales o mayores que la caja de medida.
- Debe tener suficiente espacio para contener los equipos de refrigeración y circulación del aire.
- Se debe aislar para reducir la potencia del equipo de refrigeración y para prevenir la condensación externa de las paredes de la cámara.
- Los calentadores, ventiladores y equipos de refrigeración deben estar detrás de los deflectores de aire para mantener la uniformidad radiante de la superficie del espécimen.

- Las superficies internas deben cumplir con los requerimientos mínimos de transductores de flujo de calor y los miembros estructurales deben ir con sus respectivos aislamientos térmicos, como lo estipulado en la caja de medida.

### **Marco del espécimen**

- El espesor de la pared del marco del espécimen, debe ser al menos igual a las paredes de la caja de medida o 100 mm, cualquiera de ellos que sea el mayor. Las condiciones específicas del flujo del aire son establecidas por los requerimientos específicos del material a ser probado.

### **Circulación del aire**

- La velocidad del aire debe estar por debajo de 0.5 m/s, si las condiciones convectivas naturales entre el aire y el espécimen son aproximadas, con un flujo de aire forzado para mantener el control de la temperatura.
- Una velocidad aproximada de 0.3 m/s ha sido probada satisfactoriamente para una prueba de pared de 3 m de altura.
- Para propósitos de ensayo, la cortina de velocidad del aire debe estar medida alejada 75 mm de la superficie central del espécimen en la dirección del flujo de aire.
- Para resultados más uniformes, la máxima variación entre punto y punto de la temperatura del aire a través del panel de la prueba, medida perpendicular a la dirección del flujo del aire al centro del panel de prueba, debe ser menos que el 2 % del aire total a la diferencia de la temperatura, o 2 K, cualquiera que sea la mayor.
- Los deflectores de aire deben tener una resistencia térmica de  $1 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$ , una distancia respecto al espécimen de 140 a 200 mm y una emitancia mayor a 0.8.

### **Humedad**

- El lado cálido debe tener una humedad relativa por debajo del 15% o el laboratorio debe verificar el punto de rocío de la caja de medida que esté a 2 °C menos que la mínima temperatura de superficie del espécimen, en el lado correspondiente a la caja de medida.

### **Instrumentación**

- Las lecturas de la temperatura deben ser leídas con  $\pm 0.05$  K, y con una exactitud de  $\pm 0.5$  K.
- La exactitud en la lectura debe ser  $\pm 5$  % respecto a la velocidad del aire.
- Los diferenciales de presión deben tener una exactitud de  $\pm 5\%$  de la lectura, o  $\pm 1$  Pa, sea cual sea la mayor.
- El promedio de la potencia total de la caja de medida debe tener una variación de  $\pm 0.5$  %.
- Los controladores de temperatura del ensayo en estado estable deben ser capaces de controlar temperaturas constantes a  $\pm 0.25$  K.

## **2.6 Espécimen**

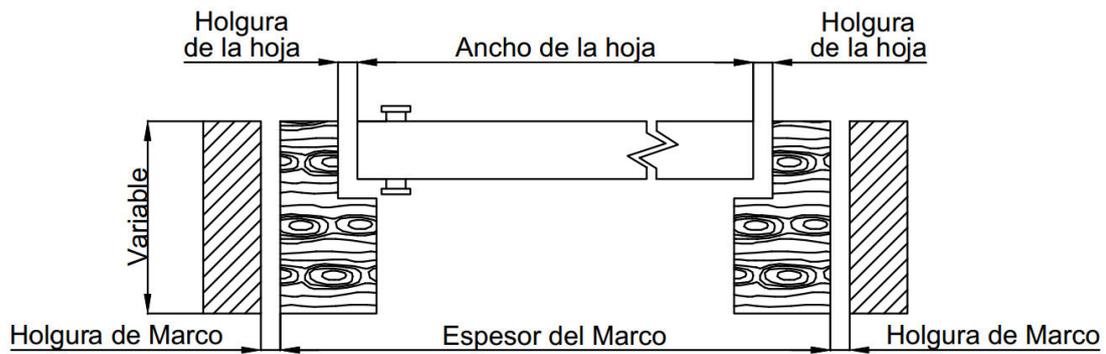
En este proyecto se buscara hallar el coeficiente U de puertas y ventanas, para aquello debemos buscar las dimensiones típicas de estos objetos en el Ecuador. A continuación se detallara cada uno de los especímenes a estudiar con sus respectivas normas.

### **2.6.1 Puertas**

Las dimensiones de la puerta de madera utilizada como espécimen a analizar se basan en la norma NTE INEN 1995(2015) en la cual se especifica con detalle los diferentes tipos de puertas que se usan a menudo en el Ecuador.

En la Figura 7 se muestra un esquema de la vista superior de una puerta de madera en la cual se señala las partes principales como son: holgura de

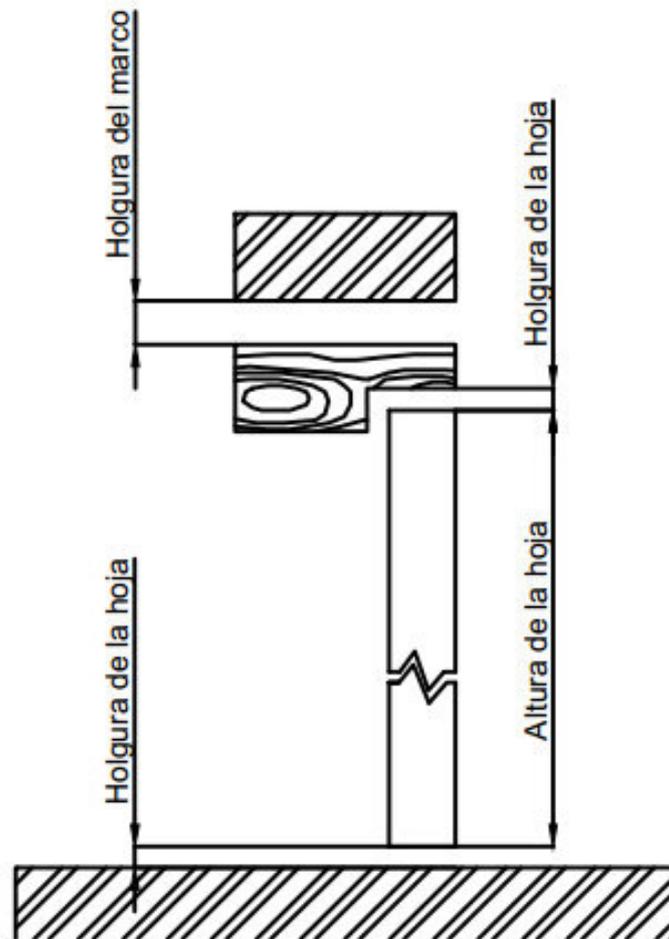
la hoja, holgura de marco, ancho de la hoja y espesor de marco. Variables que deben ser seleccionadas de la Tabla 6.



**Figura 7. Dimensiones de puertas con marco de madera**

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 8 se muestra un esquema de la vista lateral de una puerta de madera. Las variables de holgura de marco, holgura de hoja y altura de hoja serán seleccionadas de la Tabla 7.



**Figura 8. Sección vertical de la puerta de madera**

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6 se presentan las medidas convencionales de anchura de los diferentes tipos de puertas. Datos basados de la norma NTE INEN 1995. Los tipos de puertas del 1 al 5 no se mencionan en la actual norma, por lo tanto no son tomados en consideración para el análisis.

**Tabla 6. Dimensiones del ancho de las puertas de madera**

Tipo de Puerta	Ancho						
	Ancho de la Hoja	Espesor del Marco	Ancho del Marco	Holgura			
	Media del Proyecto			Marco	Hoja	Real máx.	Real min
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
6	535	20	580	20	4	7	1
7	635	20	680	20	4	7	1
8	735	20	780	20	4	7	1
9	835	20	880	20	4	7	1
10	935	20	980	20	4	7	1
11	1025	25	1080	20	4	7	1
12	1125	25	1180	20	4	7	1

Fuente: INEN, 2015

En la Tabla 7 se presenta las medidas convencionales de la altura de los diferentes tipos de puertas. Datos basados de la norma NTE INEN 1995.

**Tabla 7. Dimensiones de la altura de las puertas de madera**

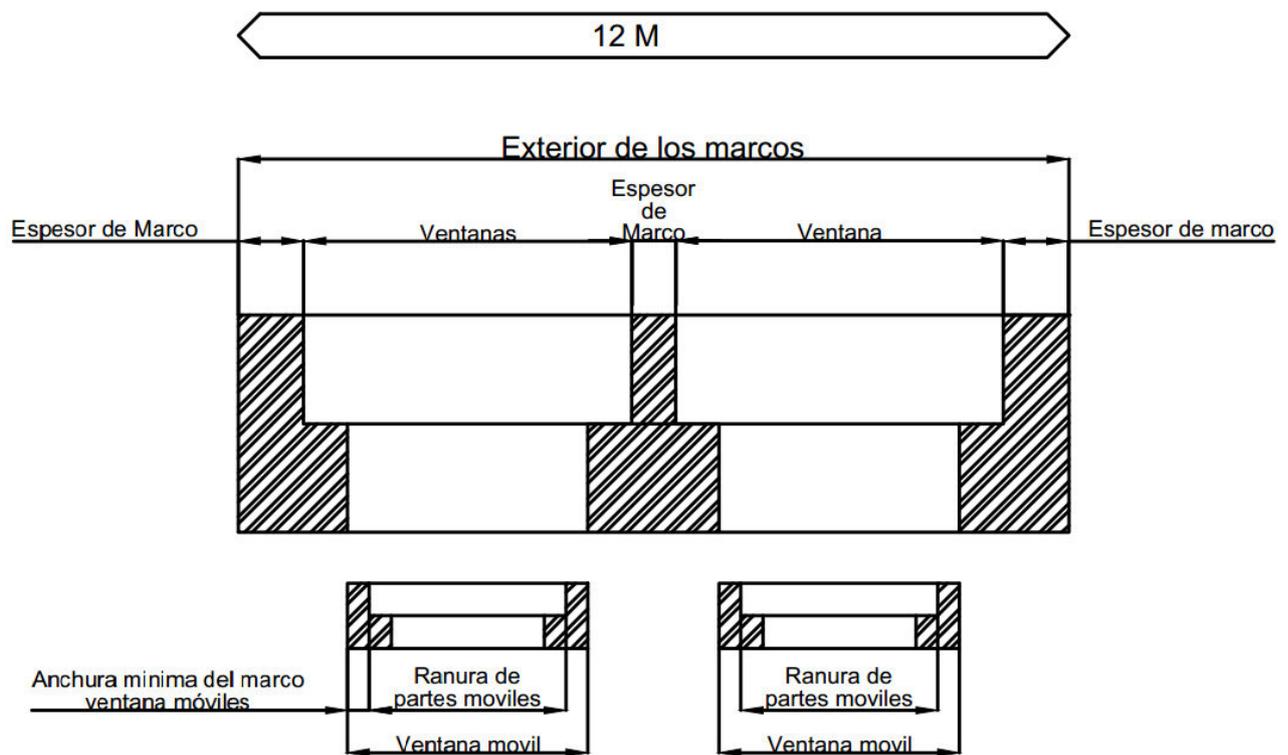
Tipo de Puerta	Altura					
	Ancho modular del vano	Altura Hoja	Espesor del marco	Holgura Superior	Holgura Inferior	Altura Modular
		Medida del Proyecto				
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
6	600	2067	20	3	10	2100
7	700	2067	20	3	10	2100
8	800	2067	20	3	10	2100
9	900	2067	20	3	10	2100
10	1000	2067	20	3	10	2100
11	1100	2067	20	3	10	2100
12	1200	2067	20	3	10	2100

Fuente: INEN, 2015

## 2.6.2 Ventanas

Las dimensiones de las ventanas se basan en la norma GPE INEN 011(1987) en la cual se detallan las ventanas utilizadas en el Ecuador.

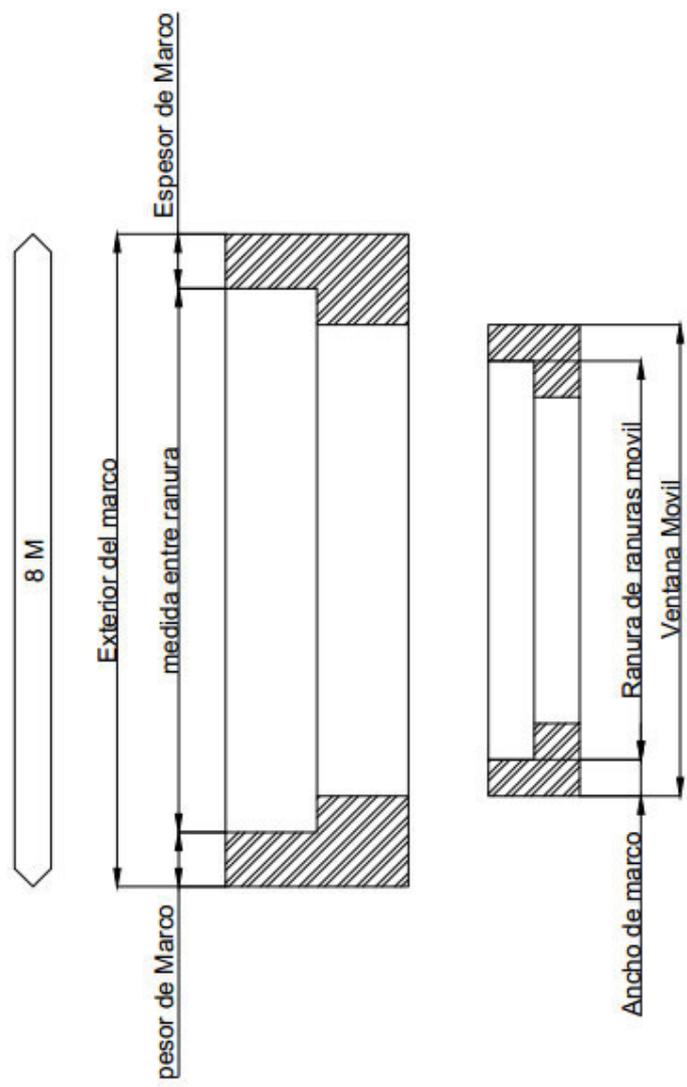
En la Figura 9 se muestra un esquema representativo de la vista superior de una ventana. Las medidas de las variables del exterior de los marco espesor del marco, ventana serán seleccionadas de la Tabla 8.



**Figura 9. Dimensiones sección horizontal de ventanas**

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 10 se muestra un esquema representativo de la vista lateral de una ventana. Las medidas de las variables como exterior del marco, espesor del marco y medidas entre ranuras serán seleccionadas de la Tabla 9.



**Figura 10. Dimensiones sección vertical de ventanas**

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 8 se muestran las medidas características horizontales de los tipos de ventana 12M y 18M según la norma GPE INEN 011. Para nuestro estudio se seleccionaran las medias de tipo de ventana 12M.

**Tabla 8. Medidas horizontales de ventanas**

Medida nominal horizontal	12M	18M	Unidades
Medida de fabricación exterior de los marcos (-2 cm)	1180	1780	mm
Espesor mínimo de los marcos	25-20-25	25-20-25	mm
Medida entre ranuras y ranura preferible (15 mm)	555	855	mm
Medida de vidrios o ventanas móviles	550	850	mm
Anchura mínima de los marcos para ventanas móviles	40-40	40-40	mm
Medida entre ranuras de partes móviles	470	770	mm
Medida de vidrios de partes móviles	465	765	mm

Fuente: INEN, 1987

En la Tabla 9 se muestran las medias características verticales de las tipos de ventanas 8M, 12M y 16M según la norma GPE INEN 011. Para nuestro estudio se escogerá el tipo de ventana 8M.

**Tabla 9. Medidas verticales de ventanas**

Medida nominal vertical	8M	12M	16M	Unidades
Medida de fabricación exterior de los marcos	780	1180	1580	mm
Espesor mínimo de los Marcos	25 - 25	35-25	25-20-25	mm
Medida entre ranuras y ranura preferible (15 mm)	730	1130	1130+380	mm
Medida de vidrios o ventanas móviles	725	1125	1125+375	mm
Anchura mínima de marcos para ventanas móviles	40-40	40-40	40 - 40	mm
Medida entre ranuras de partes móviles	645	1 045	1 045+95	mm
Medida de vidrios de partes móviles	640	1 040	1 040+290	mm

Fuente: INEN, 1987

## 2.7 Dimensionamiento de carga

En esta sección se presentará los cálculos de las cargas térmicas a las que el aparato estará sometido. Para calcular la potencia que requieren los equipos se simularán las condiciones de ensayo tanto de día como de noche.

En la Tabla 10 se muestran las variables de temperatura ambiente y humedad nocturna de la ciudad de Guayaquil. Adicionalmente se indican las temperaturas del lado frío y caliente que el aparato debe alcanzar para realizar

el ensayo, mostrado en la tabla como Temperatura Test. Con este ensayo se busca simular las condiciones climáticas de la serranía Ecuatoriana realizando el ensayo en la ciudad costeña de Guayaquil.

**Tabla 10. Condiciones climáticas ensayo nocturno**

<b>Condiciones Climáticas</b>		
Ciudad:	Guayaquil	
Temperatura Exterior:	24	C
Humedad:	53	%
Temperatura Test Fría:	10	C
Temperatura Test Caliente:	30	C

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 11 se muestran las variables de temperatura ambiente y de humedad diurna de la ciudad de Guayaquil, de igual manera se indican las temperaturas del lado frío y caliente que el aparato debe alcanzar para llevar a cabo el ensayo, mostrado en la tabla como Temperatura Test. Con este ensayo se busca simular las condiciones climáticas de cualquier ciudad de la costa y parte de la amazonia ecuatoriana.

**Tabla 11. Condiciones climáticas ensayo diurno**

<b>Condiciones Climáticas</b>		
Ciudad:	Guayaquil	
Temperatura Exterior:	29	C
Humedad:	85	%
Temperatura Test Fría:	20	C
Temperatura Test Caliente:	40	C

Fuente: Elaboración Propia

Luego se establecen las dimensiones del aparato y de los materiales con que está construido de acuerdo a los materiales disponibles en el mercado local por lo tanto, los valores de las propiedades de estos materiales serán aproximados.

En la Tabla 12 se muestran las dimensiones internas de las partes principales de la Caja Caliente.

**Tabla 12. Dimensiones de caja caliente seleccionado**

Dimensiones Aparato		
Alto	4,00	m
Largo	2,26	m
Ancho	4,00	m
Alto de Caja Medida	2,60	m
Ancho de Caja Medida	2,60	m
Largo de Caja Medida	1,00	m

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 13 se muestran los materiales que forman parte de las paredes térmicas tanto de la caja caliente, caja fría y de la caja de medida. La pared térmica tiene forma de sándwich en donde las dos láminas externas son de acero y la lámina interna es un material aislante. Se especifica como “Material Aislante 1” como la primera lamina de la pared visto desde la parte interna de la caja, el “Material Aislante 2” es la lámina con material aislante, “Material Aislante 3” es la última lámina que conforma la pared.

**Tabla 13. Características de las paredes**

Propiedades		Aislante 1	Aislante 2	Aislante 3
		Acero A36	EPS	AceroA36
Conductividad	W/m.K	60,5	0,03	60,5
Espesor	mm	0,5	250	0,5

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 14 se presentan los especímenes con sus propiedades que serán colocados en la probeta.

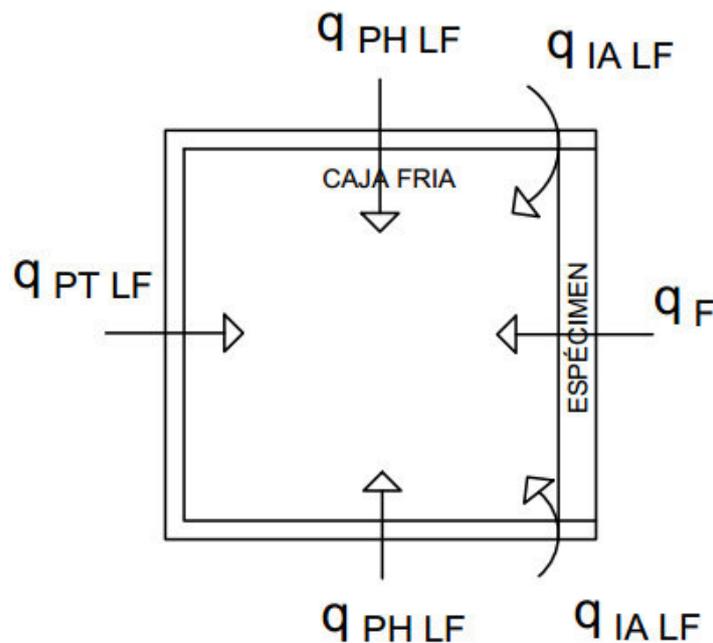
**Tabla 14. Características de especímenes**

Propiedades		Espécimen 1	Espécimen 2	
		Puerta	Ventana	
		Madera	Vidrio	Aluminio
Conductividad	W/m.K	0,16	1,4	177
Espesor	mm	30	5	1

Fuente: Elaboración Propia

### 2.7.1 Cargas térmicas del lado frío

Para el cálculo se encontrará todo el flujo de calor que ingresa hacia la caja fría del aparato. En la Figura 11 se demuestran las principales pérdidas de calor en el lado frío.



**Figura 11. Esquema del flujo de calor a través de la caja fría**

Fuente: Elaboración Propia

Siendo  $q_{PH LF}$  el flujo de calor que ingresa hacia la caja fría desde el medio ambiente a través de la pared horizontal.  $q_{PT LF}$  Es el flujo de calor que ingresa hacia la caja fría desde el medio ambiente a través de la pared trasera o pared vertical que se encuentra paralela al espécimen.  $q_{IA LF}$  es el flujo de calor debido a la infiltración de aire a través de la unión entre la caja fría y la porta probeta.  $q_F$  es el flujo de calor proveniente desde la caja

caliente. En la Figura 11 no se menciona  $q_{TL LF}$  que es el flujo de calor hacia la caja fría desde el medio ambiente a través de las paredes laterales o las paredes perpendiculares al espécimen, su dirección sería perpendicular al plano de la hoja.

### 2.7.1.1 Pérdida de calor a través de paredes

El aparato está construido por paredes compuestas, cuyos materiales de construcción se encuentran en la Tabla 13, en donde se detallan los valores de coeficientes convectivos, conductivos y las dimensiones del aparato.

El flujo de calor total que ingresa desde el medio ambiente hacia la caja fría a través de las paredes y se expresa mediante la siguiente expresión:

$$q_{TP LF} = U_P A_{TP} (T_A - T_{LF}) \quad (1)$$

Siendo  $U_P$  el coeficiente global de transferencia de calor en las paredes,  $A_{TP}$  el área total de las paredes,  $T_A$  la temperatura del medio ambiente y  $T_{LF}$  la temperatura del lado frío. La variable  $U_P$  es inversamente proporcional a  $R_T$  que es la resistencia térmica en de los materiales que conforman las paredes.

$$U = \frac{1}{A_{TP} \sum R_T} \quad (2)$$

Siendo  $\sum R_T$  como la suma de las resistencias convectivas y conductivas

$$\sum R_T = \frac{1}{h_A} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{1}{h_{ILF}} \quad (3)$$

Las variable  $L_1$  y  $k_1$  corresponden a al espesor del primer aislante y el coeficiente conductivo del primer aislante. Los subíndices 2 y 3

corresponden a los aislantes posteriores que conforman la pared. El valor de  $h_A$  es el coeficiente convectivo entre el medio ambiente y la pared externa de la caja,  $h_{ILF}$  es el coeficiente convectivo entre el flujo del aire y la pared interior de la caja fría.

### **2.7.1.2 Ganancia de calor a través del Porta Probeta**

Hacia la caja fría fluye calor constante desde la caja caliente. Este calor fluye distributivamente a lo largo de la sección transversal que abarca el espécimen y parte del aislante térmico usado para rellenar el espacio sobrante entre el espécimen y el borde de la porta probeta.

El calor a través del espécimen viene dado bajo la siguiente expresión.

$$q_{FLF} = U_E A_E (T_{LC} - T_{LF}) \quad (4)$$

Siendo  $U_E$  el coeficiente global de transferencia de calor del espécimen,  $A_E$  el área del espécimen,  $T_{LC}$  la temperatura del lado caliente.

El calor a través del aislante que rodea al espécimen, está dado bajo la siguiente expresión:

$$q_{ALF} = U_A A_A (T_{LC} - T_{LF}) \quad (5)$$

Siendo  $U_A$  el coeficiente global de transferencia de calor del aislamiento que rodea al espécimen,  $A_A$  el área del aislante que rodea al espécimen.

### **2.7.1.3 Pérdida de calor por infiltración de aire**

Este calor aportado se da con el ingreso del aire hacia la caja fría a través del sistema de ventilación y viene dada por la siguiente expresión.

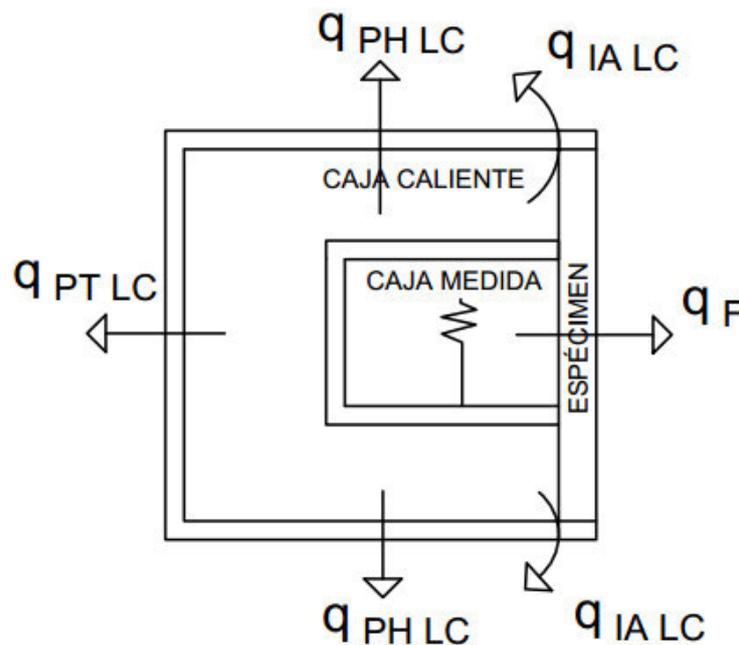
$$q_{IALF} = \dot{V} \rho C_p (T_A - T_{LF}) \quad (6)$$

Siendo  $\dot{V}$  el flujo volumétrico,  $\rho$  la densidad del aire,  $C_p$  la capacidad calorífica del aire. El cálculo de  $\dot{V}$  depende de las variables de velocidad  $v$  y área transversal entre las juntas  $A_i$  :

$$\dot{V} = v A_i \quad (7)$$

### 2.7.2 Cargas térmicas del lado caliente

En la Figura 12 se presentan las pérdidas de calor principales en el lado caliente.



**Figura 12. Esquema del flujo de calor a través de la caja caliente**

Fuente: Elaboración Propia

Siendo  $q_{PHLC}$  el flujo de calor que sale desde la caja hacia el medio ambiente a través de la pared horizontal.  $q_{PTLC}$  es el flujo de calor que sale desde la caja caliente hacia el medio ambiente a través de la pared trasera o pared vertical que se encuentra paralela al espécimen.  $q_{IALC}$  es el flujo de calor debido a la infiltración de aire a través de la unión entre la caja fría

y la porta probeta.  $q_F$  es el flujo de calor desde desde la caja caliente hacia la caja fria. En la Figura 12 no se menciona  $q_{TL LC}$  que es el flujo de calor desde la caja caliente hacia el medio ambiente a través de las paredes laterales o las paredes perpendiculares al espécimen, su dirección sería perpendicular al plano de la hoja.

### **2.7.2.1 Pérdida de calor a través de paredes**

El procedimiento para el cálculo de las pérdidas de calor a través de las paredes es igual al realizado en la sección 2.7.1.1.

El flujo de calor sale hacia el medio ambiente desde la caja caliente a través de las paredes y se expresa mediante la siguiente expresión:

$$q_{TP LC} = U_P A_{TP} (T_{LC} - T_A) \quad (8)$$

### **2.7.2.2 Pérdida de Calor a través del Porta Probeta**

El calor a través del espécimen viene dado bajo la siguiente expresión.

$$q_{F LF} = U_E A_E (T_{LF} - T_{LC}) \quad (9)$$

El calor través del aislante que rodea al espécimen, está dado bajo la siguiente expresión:

$$q_{A LF} = U_A A_A (T_{LF} - T_{LC}) \quad (10)$$

### **2.7.2.3 Pérdida de calor por infiltración de aire**

El procedimiento para el cálculo de las pérdidas de calor a través de las paredes es igual al realizado en la sección 2.7.1.2.

La expresión para las pérdidas de calor por infiltración de aire se presenta a continuación.

$$q_{IALC} = \dot{V}\rho C_p(T_{LC} - T_A) \quad (11)$$

## 2.8 Alternativa de equipos

Existen diferentes tipos de calefacción por ejemplo: gas, eléctrica, radiante y bomba de calor los cuales difieren generalmente por la fuente de energía utilizada. Por optimización en las condiciones de espacio y facilidad de mantenimiento se optó por selección única la calefacción eléctrica, donde se mencionarán las ventajas y desventajas.

### 2.8.1 Calentador eléctrico

Consiste en una cabina, un ventilador, un filtro y una sección de resistencias.

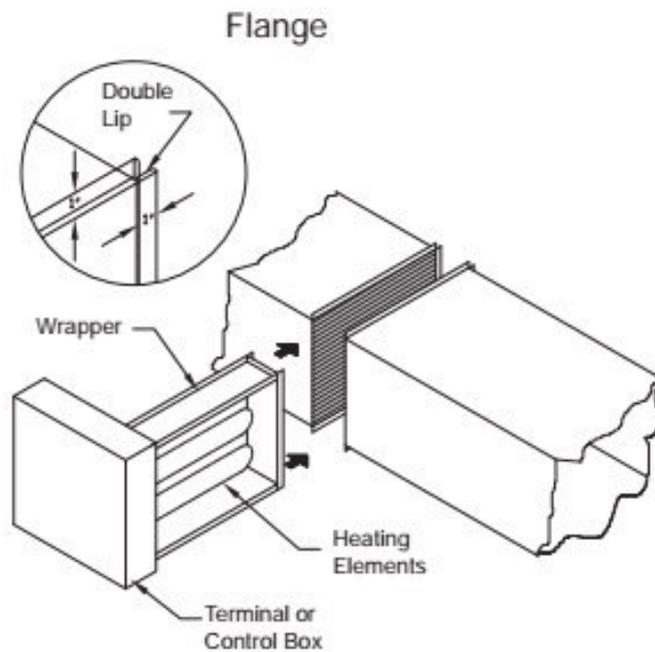
Ventajas:

- Es más compacto comparado con los calentadores a gas o combustible.
- Puede ser ubicado en pequeños espacios.
- No existe proceso de combustión, por lo tanto no hay tuberías de ventilación ni chimenea. Se reducen costos de construcción, ya que es una instalación sencilla.
- Facilidad en las diferentes posiciones posibles para montar.

Desventajas:

- Los calentadores eléctricos siempre van a ser más costosos que cualquier otro tipo de calentador, dado que el valor de energía eléctrica es mayor que las demás fuentes de energía.

El tipo de calentador eléctrico pertenece a la serie IDHC de Greenheck.



**Figura 13. Calentador Eléctrico**

Fuente: Greenheck, 2014

En la Tabla 15 se muestran las especificaciones técnicas del equipo. Para esto se necesita el volumen del lugar a calentar con sus respectivas dimensiones de largo, ancho y alto.

**Tabla 15. Parámetros requeridos para el calentador eléctrico.**

IDHC	
Voltajes/Fases	120/1-575/3
Capacidad	0.5 – 500 KW
Tamaño mínimo del ducto	8 in x 8in
Tamaño máximo del ducto	120in x 14in
Panel de Control	Switch de flujo de aire Vernier SCR (Step & SCR)
Termostato	Cuarto Ducto

Fuente: Greenheck, 2014

Se calcula primero el caudal del aire, ya que este se encuentra en función de la potencia requerida para el calentador eléctrico, donde H es la altura, L es el largo, W es el ancho y  $F_{aire}$  es el tiempo de reposición de aire. Por

lo tanto el caudal del aire,  $Q$ , se define mediante la siguiente ecuación, según el fabricante:

$$Q = (H * L * W) / F_{aire} \quad (12)$$

Es importante tomar en cuenta la variable de reposición del aire seleccionada, la cual va a ser de dos minutos para el caso más crítico según la siguiente tabla, donde los valores son proporcionados por la guía técnica de Greenheck.

**Tabla 16. Reposición del aire por minuto.**

Guía de Ventilación		
Categoría de Ocupación	Típico min	Rango min
Laboratorios	3	2- 5

Fuente: Industria Fans Direct, 2014

Con el valor del flujo volumétrico se calcula la potencia, donde CFM es el caudal del aire y  $\Delta T$  es el diferencial de temperatura:

$$P_{CE} = \frac{(CFM * 1.08 * \Delta T)}{3414} \quad (13)$$

## 2.9 Selección de equipos de instrumentación

Para la selección de los equipos de instrumentación será necesario mencionar los parámetros generales del proceso, indicados con anterioridad. La norma ASTM C 1363 (2011), especifica la resolución y exactitud de los instrumentos que van a conformar el ensayo, y sus variables dependerán de la temperatura, velocidad del aire, presión y humedad. La resolución y la exactitud son las variables de criterio para la selección de los instrumentos de medición que influirán de manera directa en el análisis de costos del proyecto.

En la Tabla 17 se hace un resumen de todos los instrumentos de medida con sus respectivas exactitudes.

Todos los dispositivos fundamentales de medición usados para el control y supervisión del ensayo deben utilizar un sistema de adquisición de datos en estado estable.

**Tabla 17. Exactitud requerida para las variables de prueba y control**

<b>Instrumentos para medir</b>	<b>Exactitud</b>
Temperatura de la probeta	$\pm 0.5$ K
Presión	$\pm 5$ % de la lectura
Temperatura del ensayo	$\pm 0.25$ K.
Potencia total de la caja de medida	$\pm 0.5$ % de la lectura
Flujo de calor	$\pm 5$ % de la lectura
Velocidad del aire	$\pm 5$ % de la lectura
Humedad del ambiente	$\pm 2$ %
Temperatura del ambiente	$\pm 5$ % de la lectura

Fuente: ASTM C 1363

### **2.9.1 Selección de medidores de temperatura**

La medición de la temperatura es una de las medidas más comunes y más importantes que se efectúa en los procesos industriales. La mayoría de los fenómenos básicos se ven afectados por la temperatura y frecuentemente infliere en el valor de las otras variables del proceso. Para eso se tiene dos de los instrumentos más utilizados en el proceso de medición para este ensayo:

- Termopares
- Termómetros de resistencia (RTD)

#### **Termopares**

El termopar se basa en el efecto, descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente en un circuito cerrado formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura.

Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier (año 1834), que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de los metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión, y el efecto Thomson (año 1854), que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperatura. (Creus, 2010)

En la Tabla 18 se enuncian los termopares más comunes con sus respectivos intervalos de temperatura, sensibilidad, exactitud, linealidad, tiempo de respuesta y deriva.

**Tabla 18. Características de los termopares más comunes**

Termopar	Intervalo de Temperaturas	Sensibilidad	Exactitud	Linealidad	Tiempo de respuesta	Deriva
	[°C]	[ $\mu V/^{\circ}C$ ]	[°C]			[°C/año]
E-Cromel/ Constantan	-200 a 900	68	$\pm 1,5$	Moderada	1 a 2	1 a 2
T-Cobre/ Constantan	-200 a 260	10	$\pm 0,5$	Moderada	1 a 2	1 a 2
J-Hierro/ Constantan	-200 a 1200	10	$\pm 1,5$	Moderada	1 a 2	1 a 2
K- Cromel/ Alumel	-40 a 1100	10	$\pm 1,5$	Moderada	1 a 2	1 a 2
R-Platino 13% Rodio/ Platino	0 a 1600	10	$\pm 1,0$	Moderada	1 a 2	1 a 2
S-Platino 10% Rodio/ Platino	0 a 1600	10	$\pm 1,0$	Moderada	1 a 2	1 a 2
B-Platino 30% Rodio/ Platino 6% Rodio	600 a 1600	10	$\pm 1,0$	Moderada	1 a 2	1 a 2
N-84,6% Níquel-14% Cromo-1,4% Silicio)/(95,6 % Níquel- 0,4% Silicio	0 a 2300	10		Moderada	1 a 2	1 a 2

Fuente: Creus, 2010

## Ventajas

- Amplio margen de temperatura.
- Baratos.
- Robustos.

## Desventajas

- Escala no lineal.
- Baja sensibilidad.
- Baja tensión de salida afectada.
- Compensación unión fría requerida.

## Termómetros de resistencia (RTD)

La medida de temperatura al utilizar 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 (Creus, 2010). En la Tabla 19 se enuncian la características de los

**Tabla 19. Características de los RTD**

Sistema		Intervalo de Temperaturas	Sensibilidad	Exactitud $\pm$	Linealidad	Tiempo de respuesta	Derivación en 5 años $\pm$
		[°C]	[ $\Omega/\Omega/^\circ\text{C}$ ]	[ $\Omega/\Omega/^\circ\text{C}$ ]		s	%
Termómetros de resistencia	Platino	-200 a 500	0,0375	0,5 a 3	Excelente	2 a 5	0,01
	Níquel	-100 a 260	0,00618	0,5 a 3	Excelente	2 a 5	0,01
	Cobre	-200 a 1200	0,00427	0,5 a 3	Excelente	2 a 5	0,01

Fuente: Creus, 2010

### **Ventajas**

- Lineal.
- Amplio margen de temperaturas.
- Su variación a lo largo de los 5 primeros años es mejor que la de los termopares.
- Exactitud mayor que los termopares.
- Tiempo de respuesta mayor que los termopares.

### **Desventajas**

- Sensible a vibraciones.
- Alto costo.

Como se puede observar en la Tabla 19, la mayoría de los termómetros de resistencia cumple con la exactitud, el cual es uno de los parámetros principales a evaluar en un ensayo de laboratorio. Sin embargo, la sensibilidad a las vibraciones es una gran desventaja para su selección, por lo tanto se opta por las termopilas tipo T dado que son las que cumplen con el criterio de exactitud. En la Tabla 20 se describen los parámetros principales para la selección del transductor.

**Tabla 20. Parámetros para la selección del medidor de temperatura**

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Rango de temperatura de trabajo	10-40 °C
Exactitud	± 0.5 K
Presión de trabajo	1 atm
Tipo de medición	Analógica
Ubicación	Espécimen

Fuente: Elaboración Propia

### **2.9.2 Medidor de presión**

La necesidad de un sistema de control para la supervisión del ensayo lleva como resultado el uso de elementos electromecánicos, los que transforman

el movimiento mecánico (energía mecánica) en una señal eléctrica (energía eléctrica) y hace que a estos instrumentos se les dé el nombre de transductores. En el mercado local existe gran variedad de equipos de medición de presión. Estos transductores dependen de la presión, temperatura, fluido, tipo de señal y exactitud que necesite el ensayo.

En los elementos seleccionados de la Tabla 21, se pueden observar los distintos tipos de medidores de presión electromecánicos con sus respectivas características.

**Tabla 21. Características de los elementos electromecánicos para medir presión**

Sistema		Presión	Exactitud	Temperatura Máx. de servicio	Error de cero por influencia temperatura. Ambiente	Resolución
		bar	%	°C		
Equilibrio de fuerzas		2-6000	0,5	65	0,9-2,3 %	Continua
Resistivos		0-0,1 a 0-300	1,0	80	0,7-3,0 %	0,25%
Magnéticos	Inductancia Variable	0-0,1 a 0-300	0,5	80	0,9-2,3 %	Continua
	Reluctancia Variable	0-0,1 a 0-300	1,0	80	0,6-2,4 %	Continua
Capacitivos		0,05-5 a 0,05-600	1,0	150	0,5-1,9 %	Continua
Galgas extensométricas	Cementadas	0,05 a 0-3000	0,5	120	0,5-2,4 %	Continua
	Sin cementar	0-0,01 a 0-600	1,0	120	0,5-2,4 %	Continua
	Piezoresistivo	0-2 a 0-600	0,3	107	0,4-1,0 %	Continua
Piezoeléctricos		0,1-600	1,0	90	1,0-4,8 %	1/5000

Fuente: Elaboración Propia

Para la selección, se establecen los parámetros de operación. Entre los principales parámetros: presión de trabajo, exactitud y rango de temperatura de trabajo. De acuerdo a esto, la mejor opción son las galgas extensométricas y los parámetros que debe cumplir el medidor de presión se establecen en la Tabla 22.

**Tabla 22. Parámetros requeridos para el transductor de presión**

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Presión de Trabajo	1 atm
Exactitud	± 5 %
Rango de temperatura de trabajo	10-40 °C
Tipo de fluido	Aire
Tipo de medición	Analógica
Ubicación	Guayaquil

Fuente: Elaboración Propia

### **2.9.3 Selección de medidor de temperatura y humedad relativa**

Es necesario llevar el control de las condiciones del laboratorio como temperatura y humedad relativa, en donde se vaya a realizar el ensayo.

La norma ASTM C1363 hace una recomendación en la cual el laboratorio debería darse las siguientes condiciones y las podemos observar en la siguiente Tabla 23:

**Tabla 23. Parámetros requeridos para el medidor de temperatura y humedad relativa**

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Exactitud de Temperatura	± 2 °C
Exactitud de Humedad Relativa	± 5 %

Fuente: Elaboración Propia

### **2.9.4 Selección de medidor de velocidad del aire**

Es de suma importancia medir las condiciones específicas del flujo de aire, las cuales son establecidas por los requerimientos del material al ser ensayados. Las puertas y ventanas son elementos exteriores donde el aire se encuentra en una condición convectiva natural y la cual la velocidad del aire se recomienda por debajo de 0.3 m/s. En función de las características de los anemómetros de hilo caliente se encuentran como solución única por su amplio uso en el área de investigación y desarrollo, ver Tabla 24.

**Tabla 24. Características del anemómetro de hilo caliente**

Tipo	Escala	Presión máx. bar	Temperatura máx. °C	Pérdida de carga	Servicio
Hilo caliente	Especial	100	65	Baja	Gas
		<b>Materiales</b>	<b>Costo relativo</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
		Metales/Plásticos	Medio	Medida caudales gases turbulentos	Investigación, usos industriales limpios

Fuente: Elaboración Propia

### 2.9.5 Selección de medidor de potencia

Como se necesita centralizar todas las mediciones, reducir costos y optimizar espacio se procederá a seleccionar como alternativa única un transductor de potencia. En la Tabla 25 se presentan los valores de las variables como temperatura y humedad del laboratorio para los ensayos.

**Tabla 25. Valores de acondicionamiento recomendados para el laboratorio**

Acondicionamiento	Valor
Temperatura	24 °C
Exactitud de la Temperatura	± 2 °C
Humedad Relativa	50 %
Exactitud de la Humedad Relativa	± 5 %

Fuente: ASTM C 1363

El instrumento que mide estas dos variables es conocido con el nombre de termohigrómetro, que es de uso general en laboratorios y en el sector industrial. Debido a estas características se realiza la selección por alternativa única.

### 2.10 Selección del sistema de ventilación

La selección de un ventilador no implica solamente 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. (GOBERNA, 1992).

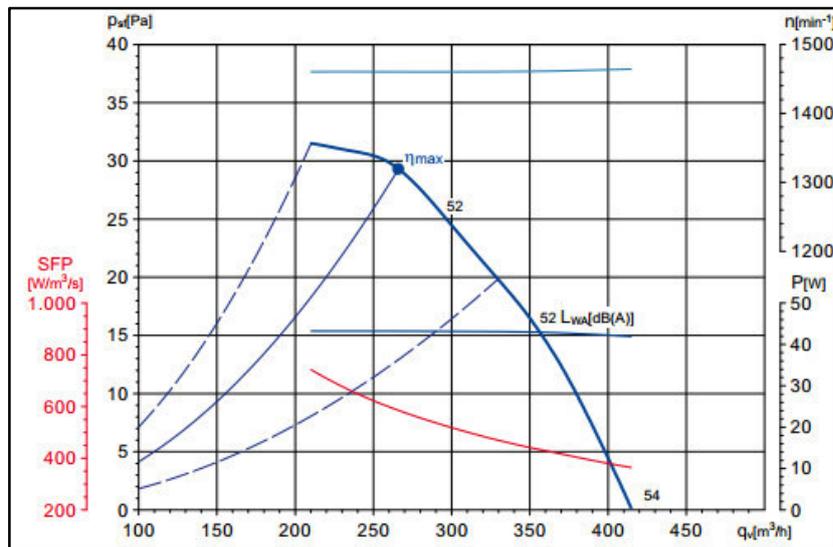
Existen diferentes tipos de ventiladores ,pero el único que cumple con la poca pérdida de presión existente son los ventiladores axiales, debido a que el sistema de ductos es relativamente corto, su aplicación más común es la ventilación general.

El caudal se obtendrá mediante la ecuación de la continuidad:

$$Q_v = A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{constante} \quad ( 14 )$$

El valor del área corresponde al sistema de ductos 50x30 [cm] y el valor de la velocidad de 0.3 m/s recomendada por la norma.

La presión que debe dar el ventilador debe ser igual o mayor a la presión atmosférica, para poder simular diferentes condiciones climáticas. En resumen, con la curva característica del ventilador se selecciona el equipo donde se necesita los parámetros de caudal y presión. Por lo general primero con el valor del caudal se tira una línea recta hasta que toque con la curva característica, y de ahí se mueve hacia la derecha para saber que a determinado caudal obtendré esa presión. En la Figura 14 se muestra un ejemplo de una curva característica.



**Figura 14. Curva característica del ventilador**

Fuente: Soler & Palau

En la caja de medida se pondrán ventiladores para simular corrientes de aire. Además en la caja fría también se instalarán ventiladores de computadora justamente antes del bafle.

## 2.11 Selección de Aislamiento Térmico

Todo los materiales se oponen al paso de calor cuando existe una diferencia de temperatura, que tanta resistencia se oponga al paso depende del o los materiales con los que conforman un cuerpo. Dicha resistencia se llama resistencia térmica, y los materiales utilizados para evitar el intercambio de calor se llaman aislantes térmicos. El uso de aislamiento térmico hoy en día es muy común y se utiliza tanto en la industrial, para mantener las temperaturas de los procesos, como en los hogares para preservar el frío ya sea para almacenar alimento o en un sistema de refrigeración que tiene como objetivo la climatización del ambiente y el confort. En la Tabla 26 se enuncian los aislantes más utilizados en el medio local.

**Tabla 26. Materiales de aislamiento térmico**

Material	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Conductividad Térmica W/m.K	Calor Especifico J/kg.K
Corcho	120	0,039	1800
Fibra de Vidrio	105	0,036	795
Poliestireno Expandido	55	0,027	1210
Espuma Poliuretano	100	0,023	-
Plywood	552	0,106	1420

Fuente: Incropera & DeWitt, 1999

En base a esta tabla se escogerá como aislante de las paredes térmicas el Poliestireno expandido, EPS, por valor bajo de conductividad térmica, diversidad de y su alta disponibilidad en el mercado local.

## 2.12 Sistema de ductos

En todos los conductos por los que circula aire, existe una continua pérdida de presión ocasionada por la fricción entre el fluido y el ducto. La pérdida de carga por rozamiento para conductos circulares viene dado por la ecuación de Darcy-Weisbach (White, 2008):

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{c^2}{2} \rho \quad (15)$$

Siendo  $\Delta p$  la pérdida de presión en el tubo,  $D$  el diámetro equivalente del ductos,  $\rho$  la densidad del aire,  $c$  la velocidad del aire en el ducto. El coeficiente de rozamiento adimensional,  $f$ , viene dado por la ecuación de Colebrook, la cual no permite despejar dicho coeficiente y el cálculo exacto de la pérdida de presión es compleja. Para la simplificación de los cálculos, se ha tomado ecuaciones aproximadas adaptadas a un fluido y unas condiciones de trabajo limitadas.

En conductos de aire, dentro de las condiciones usuales de trabajo de los sistemas de climatización, se puede utilizar la siguiente ecuación: (Carrier Air Conditioning Co., 2009)

$$\Delta p = 0,15r \left( \frac{L}{D^{1,22}} \right) c^{1,82} \quad (166)$$

Siendo  $r$  la rugosidad de la superficie interior en milímetros (0,09 para conductos galvanizados). La ecuación es para conductos galvanizados, donde la rugosidad absoluta es 0.09 mm (Carrier Air Conditioning Co., 2009), y su factor de corrección es igual a 1. Cabe recalcar que el diámetro es para secciones circulares, por lo que la sección transversal de 500x300 mm es rectangular, se obtendrá el diámetro equivalente con la siguiente ecuación:

$$D_{eq} = 1.55 * \frac{S^{0.625}}{P_e^{0.25}} \quad (177)$$

Siendo  $S$  el área de paso de la sección recta del ducto,  $P_e$  es el perímetro interior de la sección recta. Para el recubrimiento del ducto se utilizará Thermolon el cual es el aislamiento térmico de mayor uso en la industria.

### 2.13 Selección de adquisición de datos

Es el proceso de medir con un centro de cómputo un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Mediante la tecnología desarrollada en la última década se aprovecha la potencia del procesamiento, la visualización, la productividad y las habilidades de conectividad de las computadoras para una configuración rápida, confiable y rentable comparado con los sistemas de medidas tradicionales; ahorrando significativos recursos a la industria, obteniendo supervisión y control en tiempo real de los procesos. Los datos a transmitir en el ensayo presente, será de suma importancia obtener información de forma precisa, exacta y resolutive. (National Instruments Corporation., 2015).

A continuación, se determinan los equipos recomendados con sus especificaciones técnicas:



**Figura 15. Partes de un sistema DAQ**

Fuente: National Instrument Corporation, 2015

**NI cDAQ-9133 controlador CompactDAQ, Dual-Core Atom de 1.33 GHz, 8 ranuras.**

- Procesador dual-core Intel Atom de 1.33 GHz, almacenamiento no volátil de 16 Gb, DDR3 RAM de 2 GB.
- Más de 60 módulos de E/S específicos de sensores con acondicionamiento integrado de señales.
- Almacenamiento SD desmontable para fácil acceso a sus datos.
- 2 Puertos USB, 2 Gigabit Ethernet, RS232 serial, entrada de disparo y botón de usuario.
- Opción de Windows 7 (WES7) para familiaridad o Linux Real-Time para máxima fiabilidad



**Figura 16. Chasis NI cDAQ modelo NI cDAQ-9133**

Fuente: National Instrument Corporation, 2015

### **NI 9219 Módulo de entrada analógica universal de 24 bits, 100 S/s/canal, 4 canales**

- 4 canales, entradas simultáneas de 100 S/s por canal (50 S/s por canal para termopar)
- Soporte para medidas de termopares, RTD, resistencia, puente, voltaje y corriente.
- Soporte integrado para cuarto de puente, medio puente y puente completo; excitación de voltaje y corriente integrada.
- Aislamiento entre canales de 250 Vrms CAT II.
- Conectividad con de terminal de resorte.
- Rango de operación de -40 °C a 70 °C, 5 g de vibración, 50 g de impacto



**Figura 17. Módulo NI 9219 de entrada analógica universal**

Fuente: National Instrument Corporation, 2015

### **NI 9213 Módulo de entrada de termopares de $\pm 78$ mV, 75 kS/s, 16 canales**

- Entrada de termopar de 16 canales, 75 S/s.
- $\pm 78$  mV, ADC de 24 bits por hasta 0.02 °C de sensibilidad de medida.
- Soporte para tipos de termopares J, K, T, E, N, B, R y S.
- CJC integrada; canal auto-cero para compensación de desfase.
- Aislamiento entre bancos CAT II de 250 Vrms.
- Rango de operación de -40 °C a 70 °C, 5 g de vibración, 50 g de impacto.



**Figura 18. NI 9213 Módulo de entrada de termopares de  $\pm 78$  mV, 75 kS/s, 1**

Fuente: National Instrument Corporation, 2015

### Fuente de alimentación NI PS-155 A, 24 VDC

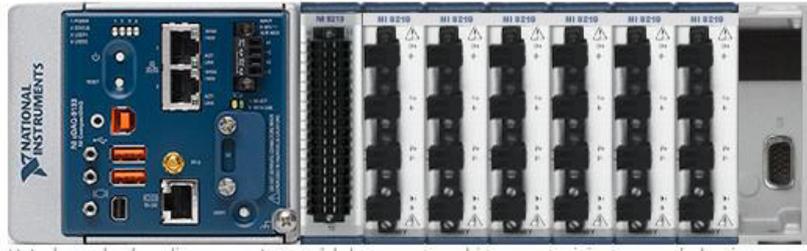
- Entrada de 115/230 VAC de 1 fase, salida de 24 a 28 VDC, 5 A.
- Fuente de alimentación para CompactRIO, Compact FieldPoint, NI Single-Board RIO, NI Smart Cameras y NI TPCs.
- Potencia de salida completa de 120 W entre -25 y +60 °C, (depreciada 3 W/°C desde 60 a 70 °C).
- La reserva de potencia del 20 por ciento para cargas dinámicas se puede usar continuamente hasta 45 °C.
- Terminales tornillo-abrazadera para fácil conectividad en campo.
- Montaje en riel DIN incluido y accesorios disponibles para montaje en panel y de lado



**Figura 19. . Fuente de alimentación NI PS-155 A, 24 VDC**

Fuente: National Instrument Corporation, 2015

En la siguiente figura se podrá observar el sistema de adquisición de datos ensamblado:



**Figura 20. Sistema de adquisición de datos ensamblado**

Resumen de los componentes se muestran en la Tabla 27:

**Tabla 27. Componentes del Sistema de Adquisición de Datos**

Ítem	Descripción	Cantidad
1	NI cDAQ-9133 Controlador CompactDAQ, Dual-Core Atom de 1.33 GHz, 8 Ranuras.	1
2	NI 9213Módulo de Entrada de Termopares de $\pm 78$ mV, 75 kS/s, 16 Canales	8
3	NI cDAQ-9133 Controlador CompactDAQ, Dual-Core Atom de 1.33 GHz, 8 Ranuras.	1
4	NI 9219 Módulo de Entrada Analógica Universal de 24 Bits, 100 S/s/canal, 4 Canales	2
5	Fuente de Alimentación NI PS-155 A, 24 VDC	1

Fuente: Elaboración Propia

## 2.14 Selección del sistema de presurización de la caja de medida

Se va a requerir un sistema que presurice la caja de medida, sin que haya la necesidad de la intervención de una persona para realizar dicha tarea. Para esto, se ha analizado entre dos alternativas que puede ser entre un sistema neumático o un sistema hidráulico. Entre los elementos anteriormente mencionados, se muestran en la Tabla 28 las distintas características comparativas.

**Tabla 28. Características comparativas de los sistemas neumáticos e hidráulicos.**

<b>Características</b>	<b>Neumática</b>	<b>Hidráulica</b>
Efecto de las fugas	Solo pérdida de energía	Contaminación
Influencia del ambiente	A prueba de explosión. Insensible a la temperatura.	Riesgo de incendio en caso de fuga. Sensible a cambios de la temperatura.
Almacenaje de energía	Fácil	Limitada
Velocidad de operación	V = 1,5 m/s	V = 0,5 m/s
Costo de la alimentación	Muy alto	Alto
Movimiento lineal	Simple con cilindros. Fuerzas limitadas. Velocidad dependiente de la carga.	Simple con cilindros. Buen control de velocidad. Fuerzas muy grandes.
Movimiento giratorio	Simple, ineficiente, alta velocidad	Simple, par alto, baja velocidad
Exactitud de posición	1/10 mm posible sin carga	Puede conseguirse 1 mm
Estabilidad	Baja, el aire es compresible	Alta, ya que el aceite es casi incompresible, además el nivel de presión es más alto que en el neumático.
Fuerzas	Protegido contra sobrecargas. Fuerzas limitadas por la presión neumática y el diámetro del cilindro	Protegido contra sobrecargas, con presiones que alcanzan los 600 bar y pueden generarse grandes fuerzas hasta 3000 kN

Fuente: Creus Sole, 2007

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Cargas Térmicas

Los resultados de los cálculos de las pérdidas de calor tanto en el lado caliente y frío se presentaran a continuación. Con ese resultado se podrá dimensionar los equipos de refrigeración y de calefacción para el funcionamiento de la caja caliente.

#### 3.1.1 Cargas Térmicas del Lado Frío

Las pérdidas de calor en el lado frío del aparato son presentadas en la Tabla 29, en donde se destacan los dos ensayos y se mencionan sus resultados tanto para el nocturno como para el diurno.

**Tabla 29. Resultados de las pérdidas de calor en el lado frío**

Carga	Espécimen 1		Espécimen 2		Unidades
	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	
$q_{PLL F}$	1079,17	693,75	0,11	693,75	$W$
$q_{PH L F}$	1079,17	693,75	1079,17	693,75	$W$
$q_{PT L F}$	1913,41	1230,05	1079,17	1230,05	$W$
$q_{TP L F}$	6230,09	4005,05	6230,09	4005,05	$W$
$q_{A L F}$	0,08	0,08	0,09	0,09	$W$
$q_{F L F}$	17,18	17,18	94,19	94,19	$W$
$q_{IA L F}$	0,00	0,00	0,00	0,00	$W$
$q_{T L F}$	6247,35	4022,31	6324,37	4100,14	$kW$

Fuente: Elaboración Propia

Considerando que existen dos paredes laterales: izquierda y derecha, y dos paredes horizontales: superior e inferior. La pérdida de calor total con el espécimen 1 y espécimen 2, a través de las paredes es aproximadamente 6,2  $kW$  para el ensayo nocturno y 4,0  $kW$  para el ensayo diurno en la caja fría.

Las pérdidas por infiltración de aire son despreciadas ya que las juntas entre a caja fría y el espécimen estará selladas con caucho y bajo presión.

En la Tabla 29 observamos los valores resultantes de la potencia de refrigeración,  $q_{T LF}$ , para los ensayos nocturnos y diurnos tanto para el espécimen de la puerta de madera y la ventana. Para el dimensionamiento del sistema de refrigeración se escogerá la potencia mayor presentada en la última tabla. Por lo tanto la potencia requerida para el sistema de refrigeración es de 6,4 kW.

### 3.1.2 Cargas Térmicas del Lado Caliente

Las pérdidas de calor en la sección del lado caliente se encuentran en la Tabla 30.

**Tabla 30. Resultados de las pérdidas de calor en el lado caliente**

Carga	Espécimen 1		Espécimen 2		Unidades
	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	
$q_{PLL F}$	463,58	849,89	463,58	849,89	W
$q_{PH LF}$	463,58	849,89	463,58	849,89	W
$q_{PT LF}$	821,94	1506,90	821,94	1506,90	W
$q_{TP LF}$	2676,26	4906,46	2676,26	4906,46	W
$q_{AL F}$	0,08	0,08	0,09	0,09	W
$q_{F LF}$	17,18	17,18	94,19	94,19	W
$q_{IAL F}$	0,00	0,00	0,00	0,00	W
$q_{T LF}$	2693,52	4022,31	2770,54	5000,74	kW

Fuente: Elaboración Propia

Al igual que en el cálculo de pérdidas de calor del lado frío, en el lado caliente se debe considerar que existen dos paredes laterales: izquierda y derecha, y dos paredes horizontales: superior e inferior. La pérdida de calor total con el espécimen 1 y espécimen 2, a través de las paredes es aproximadamente 2,7 kW para el ensayo nocturno y 4,9 kW para el ensayo diurno en la caja caliente.

Las pérdidas por infiltración de aire son despreciadas ya que las juntas entre a caja caliente y el espécimen estará selladas con caucho y bajo presión.

En la Tabla 30 observamos los valores resultantes de la potencia de calefacción,  $q_{TLC}$ , para los ensayos nocturnos y diurnos tanto para el espécimen de la puerta de madera y la ventana. Para el dimensionamiento del sistema de calefacción se escogerá la potencia mayor presentada en la última tabla. Por lo tanto la potencia requerida para el sistema de refrigeración es de 5,0 kW.

## 3.2 Selección de equipos

### 3.2.1 Calentador eléctrico

Con el valor del flujo volumétrico de 432,61 cfm se calcula la potencia que se necesita para elevar un diferencial de temperatura  $\Delta T$  de 20°F, para el caso más crítico mediante la siguiente ecuación:

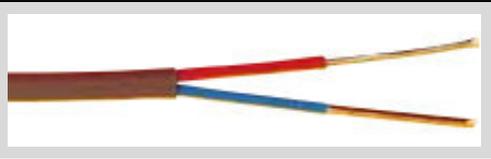
$$P_{CE} = \frac{(Q * 1.08 * \Delta T)}{3414} \quad (18)$$

Los calentadores eléctricos residenciales tienen capacidades en un rango de 5 [KW] (17,066 BTU/h) a 30 [KW] (102,360 BTU/h), por lo que cumple con los requerimientos normales de la potencia del calentador eléctrico que es de 2.74 [KW].

### 3.2.2 Medidor de temperatura

Como se mencionó, los termopares alcanzan exactitudes de hasta 0.5 °C, siendo suficiente al cumplir con los criterios requeridos. Dichos sensores de temperatura serán para el espécimen durante el ensayo. En función de lo que se encuentra en el mercado local, el dispositivo seleccionado es el que se indica en la Tabla 31 donde se muestran las especificaciones técnicas principales dadas por el proveedor.

**Tabla 31. Especificaciones Técnicas del Medidor de Temperatura**

MODELO		
Tipo	T	
Exactitud	± 0,5	
Display	Adicional	
Proveedor	Omega	

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.3 Medidor de presión

De los medidores de presión electromecánicos mencionados, se selecciona el transductor de Galgas extensométricas el cual tiene una muy buena exactitud, excelente estabilidad, buena repetitividad y el efecto de la temperatura se puede despreciar compensándolo. Además son las más utilizadas en la industria. En la Tabla 32 se presentan las características técnicas del transductor de presión para los ensayos de laboratorio.

**Tabla 32. Especificaciones técnicas del transductor de presión**

MODELO		
Tipo	Gage	
Exactitud	±0.25% FS	
Rango de Medida	0-10 psi	
Longitud de Bulbo	-40 a 80 °C	
Salida eléctrica analógica	4 a 20 mA	
Display	Adicional	
Termo-pozo	Omega	
Proveedor	Omega	

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.4 Medidor de temperatura y humedad relativa

En función de la Tabla 31, se van a establecer las especificaciones técnicas del termo higrómetro de la Tabla 33 a continuación.

**Tabla 33. Especificaciones técnicas del termohigrómetro**

MODELO	
Tipo	KT-907
Rango de Medida de Temperatura	0°C a 50 °C
Exactitud	± 1 °C
Rango de Humedad del aire	10 a 99%
Exactitud	± 5 %
Resolución de Temperatura	0,1 °C
Resolución de Humedad	1 %
Proveedor	Vimael S.A.



Fuente: Vimael S.A.

### 3.2.5 Medidor de velocidad de aire

El anemómetro de hilo caliente seleccionado se lo detalla en la siguiente Tabla 34:

**Tabla 34. Especificaciones técnicas del anemómetro**

MODELO	
Tipo	FMA900A
Rango de Medida de velocidad	0 a 12000 FPM
Exactitud	± 2 %
Temperatura de operación de la sonda	-40 a 121 °C
Temperatura de operación de la carcasa	0 a 50°C
Proveedor	Omega



Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.6 Medidor de potencia

El transductor de potencia seleccionado se lo detalla en la siguiente Tabla 35:

**Tabla 35. Especificaciones del transductor de potencia**

MODELO	
Tipo	OM-10 Series
Entrada de Amperaje	0 a 5 A AC
Entrada de Voltaje	0 a 120 V AC
Entrada de Potencia	1500 W
Salida	0 a 1 mA DC
Exactitud	0.2 % F.S.
Proveedor	Omega



Fuente: Elaboración Propia

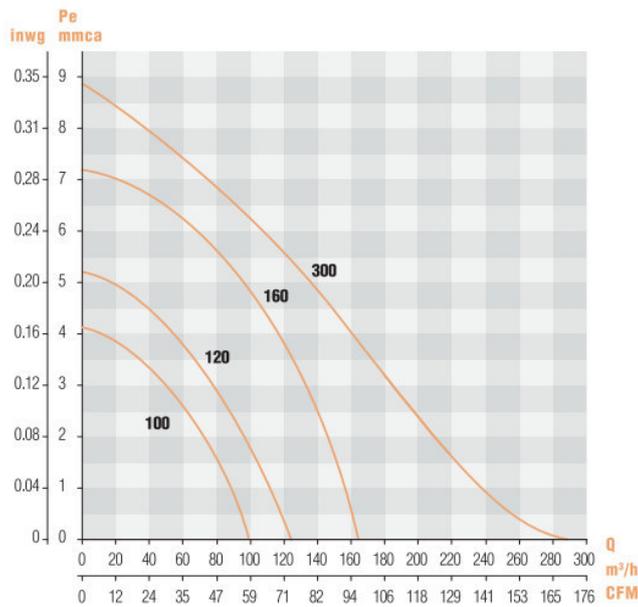
### 3.2.7 Selección del sistema de ventilación

Con la ecuación de la continuidad se obtuvo el caudal requerido dando como resultado  $162 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$ . Como las pérdidas de fricción son despreciables, se elegirá el ventilador con menor presión manométrica de salida. El ventilador seleccionado tiene las siguientes especificaciones técnicas y se muestra en la Tabla 36.

**Tabla 36. Especificaciones técnicas del ventilador**

MODELO	
Tensión	127V
Material	Plástico
Potencia	32 W
Intensidad absorbida máxima	0.1 A
Caudal a descarga	$163 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$
Presión sonora	41 dB
Peso	2.1 Kg

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 21. Curva característica del ventilador**

Fuente: Soler & Palau

La presión manométrica de salida será de 0.4 [Pa] seleccionado en función del caudal, según la Figura 21. Esta es la presión con la cual el aire sale del ventilador, siendo esta mayor a la presión atmosférica.

Los ventiladores ubicados en la caja de medida son ocho unidades y tienen las siguientes características:



**Figura 22. Ventilador de PC 21 cfm**

Fuente: Fronzencpu

**Tabla 37. Especificaciones técnicas del ventilador de 21 cfm**

Características	Descripción
Aplicación	Ventilador de Computadora
Dimensión	80 x 80 x 25 mm
Velocidad	1800 RPM
Flujo Volumétrico	21.15 CFM
Presión del ventilador	1.49 mmca
Nivel de Ruido	18.54 dB(A)
Voltaje	12V DC

Fuente: Elaboración Propia

Los ventiladores ubicados en la caja de fría son cinco, y tienen las siguientes características:



**Figura 23. Ventilador de PC 32 cfm**

Fuente: Frozencpu

**Tabla 38. Especificaciones técnicas del ventilador de 32 cfm**

Características	Descripción
Aplicación	Ventilador de Computadora
Dimensión	80 x 80 x 25 mm
Velocidad	2450 RPM
Flujo Volumétrico	32.1 CFM
Potencia	1.48 W
Nivel de Ruido	28dB(A)

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3 Sistema de ducto

El resultado obtenido de la caída de presión en el ducto externo es de  $1.16 \times 10^{-2}$  Pa. Se puede analizar y generalizar que la caída de presión en todos los

sistemas del ducto es despreciable. El número de planchas requeridas para el sistema de ductos es de 4 planchas y media con las siguientes dimensiones de 1.22x2.44 m.

Por lo tanto, el largo del Thermolon que se va a utilizar es de 1.5 m de ancho por 9 m de largo.

### 3.4 Selección de sistema de presurización de la caja de medida

El sistema de presurización es un sistema neumático que no contamina el banco de prueba por efecto de fugas, además no existirá riesgo de incendio ni de sensibilidad al cambio de temperatura, como si sucede en un sistema hidráulico.

En función de vencer la fuerza de fricción generada por las ruedas y el carril se dimensionará el sistema neumático. En el mercado local se proporcionó el siguiente sistema neumático, el cual genera 35 Kgf @ 80 psi por pistón, siendo más que suficiente el sistema proporcionado, ver Tabla 39.

**Tabla 39. Componentes del sistema neumático**

Descripción	Proveedor	Cantidad	Unidad
BOMBA USA MICROCILINDRO 2E DIAM 25X160 mm CARR PIVOTE	AINSA S.A.	2	u
AINSAIR PRESS COMPRESOR A PISTON 2 HP/6CFM/140PSI/TANQUE 50l 110V/1F/60HZ	AINSA S.A.	1	u
EMC UNIDAD F/R/I 1/4" 175 PSI MINI	AINSA S.A.	1	u
EMC ELECTROVALVULA 5/2 1/4" 110 VAC MONOESTABLE	AINSA S.A.	1	u
TUBO DE POLIURETANO 8 mm D EXT	AINSA S.A.	15	u
CONECTOR RECTO INST 8 mm x 1/4"	AINSA S.A.	5	u
REGULADOR DE VELOCIDAD TIPO BANJO INST 8 mm x 1/8"	AINSA S.A.	4	u
SILENCIADOR DE BRONCE SINTERIZADO 1/8"	AINSA S.A.	2	u

Fuente: AINSA S.A.

### 3.5 Propuestas de procedimiento

Esta guía se realizará siguiendo los parámetros que estipula la norma ISO/IEC 17025 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración", esta norma es ineludible para ser un laboratorio acreditado, dando la potestad a los informes emitidos de ser técnicamente

válidos a nivel nacional e internacional, brindando categóricamente confianza y seguridad a los clientes. Las partes para la elaboración de dicho documento serán las siguientes:

- Objeto
- Alcance
- Referencias
- General
  - Abreviaturas y Simbologías
  - Definiciones
  - Nivel de riesgo y calificación. Instrucción de seguridad
  - Control de Calidad
- Descripción
  - Equipos y materiales
  - Preparación
- Realización
- Informe de resultados

**Modelo de informe del procedimiento:**

## “PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS TÉRMICO PARA PUERTAS Y VENTANAS”

Fecha de Edición: Día de Mes de Año

<b>EDICIÓN</b>	<b>FECHA</b>	<b>HOJAS</b>	<b>MOTIVO DE CAMBIO</b>
1	DD/MM/AA	##	Nuevo

<b>Títulos:</b>	<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
<b>Nombre</b>			
<b>Firma</b>			
<b>Fecha</b>			

### Objeto

Este documento presenta los pasos a seguir para la determinación del coeficiente de transferencia de calor global U por medio del método de análisis de la caja caliente guardada. Se establecen instrucciones para uso del software, tratamiento de resultados, almacenamiento de muestras ensayadas y elaboración de informe de ensayo.

### Alcance

Este procedimiento está dirigido únicamente al análisis térmico de puertas y ventanas mediante el banco de prueba, diseñado en requerimiento de la norma ASTM-C1363.

El alcance de este procedimiento es:

**Tabla 40 Procedimiento experimental: rango de temperaturas**

<b>Elemento</b>	<b>Temperatura Mínima</b>	<b>Temperatura Máxima</b>
Caja de medida		
Caja fría		

## Referencias

- ASTM C1363 Standard Test Method for Thermal Performance of Building Materials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus.
- ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.

## General

Nivel de riesgo y calificación. Instrucción de seguridad

a) Responsable Técnico:

- Debe estar calificado en el análisis de los resultados del ensayo.
- Debe tener conocimiento de la norma de ensayo ASTM C1363 y de los documentos técnicos citados en este procedimiento.
- Debe tener conocimiento en la operación del equipo.
- Debe tener conocimiento en Estadística Descriptiva e Inferencial, Conceptos Metrológicos Básicos e Incertidumbre.
- Debe utilizar mandil y botas con puntera de acero por seguridad personal.

b) Analista:

- Debe estar calificado para la operación del equipo.
- Debe estar calificado en la utilización de este procedimiento.
- Debe estar calificado en la preparación de muestras y materiales de referencia.
- Debe tener conocimiento de Microsoft Office: Excel y Word.
- Debe utilizar mandil, guantes antideslizantes y botas con puntera de acero por seguridad personal.

## Control de calidad

- El equipo debe cumplir los requisitos de precisión y exactitud previa a cada ensayo.
- Los insumos que se utilizan durante el análisis térmico deben cumplir con lo estipulado en el ensayo.
- Las muestras que se van a ensayar deben cumplir con los requisitos del procedimiento.

## Descripción

### Equipos y materiales

- Caja caliente guardada

- Muestras preparadas

### **Preparación**

Determinar la dirección del espécimen en función de las condiciones climáticas, ubicar el espécimen en la porta probeta posicionando los sensores de temperatura. Al ubicar dichos sensores, adherir estos a la muestra a ensayar con cinta de papel.

Utilizar cinta de papel para sellar o disminuir el efecto de fuga de aire alrededor del marco de la probeta. Usar pequeñas cintas adhesivas dobles para asegurar los sensores de temperatura reforzándolo con la cinta de papel.

### **Ensamble**

Una vez que la muestra se encuentra apropiadamente instalada se procede a juntar la caja fría y la caja guardada para lo cual se necesitarán dos personas para realizar dicho proceso. Con estas dos personas en cada lado de la caja caliente, se asegurará que quede alineada con todos los orificios guías. Se colocará aislante sobre todo el marco. Configurar los controles de la parte caliente, fría y el chiller con la configuración apropiada. Para una prueba en frío: caliente 30 [°C], fría 10 [°C]. Para una prueba en caliente: caliente 40 [°C], fría 20 [°C].

El ensayo toma un mínimo de 3 horas para alcanzar el estado estable. Los valores de presión, potencia, velocidad del aire, temperatura y humedad relativa deben estar alrededor de los parámetros establecidos en el ensayo (Esto se puede observar en el software).

### **Tratamiento de resultados.**

En esta sección, los resultados se someterán a ajustes y factores de corrección. La estimación de la incertidumbre puede ser usada como base la teoría de propagación de errores donde el resultado  $R$  es una función dada de variables independientes  $x_1, x_2, x_3, \dots x_n$ . Por lo tanto:

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots x_n)$$

La variable  $w_r$  es la incertidumbre de las variables independiente las cuales se las representa como.  $w_1, w_2, w_3, \dots w_n$ . Asumiendo que las variables independientes presenten las mismas probabilidades, la incertidumbre está dada por la siguiente ecuación:

$$w_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2}$$

Esta ecuación se la aplicará al balance de energía que describe el flujo total de calor de la caja de medida.

$$Q_{aux} + Q_{mw} + Q_{fl} + Q = A \cdot \Delta t / R$$

Como se mencionó con anterioridad, la teoría de propagación de errores es una base de la estimación de la incertidumbre, en los cuales falta la estimación de las posibles fuentes de error:

- Muestreo
- Condiciones de almacenamiento
- Efectos del instrumento
- Condiciones de medida
- Efectos computacionales
- Efectos del operador
- Etc.

El dimensionamiento de la incertidumbre a mérita un estudio completo para su caracterización, señalando que se lo podrá realizar cuando el banco de pruebas ya se encuentre construido y operativo. Esta etapa del procedimiento de ensayo está fuera de nuestro alcance.

- Yuan, S., Russell, G. A., and Goss, W. P., "Uncertainty Analysis of a Calibrated Hot Box," *Insulation Materials: Testing and Applications: 4th Volume, ASTM STP 1426*, 2002, pp. 189-202.

- ANSI/ASHRAE Guideline 2, Engineering Analysis of Experimental Data.
- GUM: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.

### Informe de resultados

En el informe de resultados para cada muestra se reportará el coeficiente global de transferencia de calor (U) con la incertidumbre asociada ( $\pm$ ).

**Tabla 41. Procedimiento experimental: resultados del espécimen**

<b>Espécimen</b>	
<b>Valor U</b>	
<b>Incertidumbre (<math>\pm</math>)</b>	

Los parámetros que serán reportados, serán los definidos en la solicitud del cliente y que se encuentren como valores certificados en el certificado del patrón (no informativos ni de referencia). Entre los elementos solicitados por el cliente están: los de la Norma ASTM C1363 o los elementos de interés específicos del cliente.

### Reporte de resultados:

Cuando algún elemento que se desee reportar no está respaldado por los elementos verificados por un patrón, éste debe ser indicado de la siguiente manera: “No se encuentra respaldado por ningún tipo de patrón” por lo tanto, se debe indicar que los valores reportados son informativos.

Al encontrarse un patrón para dicha muestra, se deberá indicar “La trazabilidad de los resultados se sustenta en la evaluación de la exactitud del equipo comparada con el patrón XXX (Tipo de patrón)”.

### **3.6 Seguridad durante el ensayo**

La misión de mejorar la seguridad y la higiene en el lugar de trabajo nunca estará terminada por lo que es necesario proporcionar protección personal contra los riesgos que no se han eliminado por completo y dar los primeros auxilios cuando ocurra un accidente.

Como se menciona en el procedimiento específico de ensayo, en el nivel de riesgo y calificación se especifica la consideración de varios equipos de protección personal (EPP) tales como el uso de mandil y botas de seguridad con puntas de acero.

Se deberán realizar pruebas de funcionamiento procurando que todos los valores se encuentren en la configuración establecida y que durante la inspección no exista ningún tipo de fuga en el banco de pruebas ni en los equipos auxiliares.

La falta de orden y limpieza en el lugar de trabajo crea un problema preparando el escenario para los accidentes por lo tanto, dichos factores son impredecibles para la seguridad del procedimiento. Adicionalmente, dentro del área de trabajo será necesario la familiarización con elementos emergentes tales como extintores en un área no mayor a 1 metro del área de prueba, como regla general.

Para finalizar, en ausencia de una enfermería, clínica u hospital cerca del lugar de trabajo, se requiere una persona capacitada de forma adecuada en primeros auxilios.

### **3.7 Análisis de costos**

El presente proyecto gira alrededor de un diseño único donde los elementos de costos serán significativamente sencillos que los de un proyecto industrial, como líneas de procesos de manufactura y pruebas de control de calidad.

Para el análisis de costos del proyecto se considera los costos directos, indirectos e imprevistos. Cada uno de estos componentes tendrá varias subdivisiones de presupuestos para un análisis de costos detallado.

### **3.7.1 Costos directos**

Los costos directos son aquellos que se pueden identificar plenamente o asociar a los productos y servicios prestados. Los componentes de costos son los siguientes:

- Costo de materiales
- Costo de equipo
- Costos de construcción
- Costo de montaje e instalación

#### **Costos de materiales y equipos**

Los materiales y equipos son los rubros principales que pasarán por procesos de diseño, instalación y montaje para la obtención de los elementos definitivos del banco de prueba. Los costos de materiales y equipos se muestran en las tablas, los cuales se clasifican en:

- Equipos
- Materiales
- Sensores del sistema
- Sistema de adquisición de datos y control
- Otros

En la Tabla 42 se presenta el valor de los materiales usados para la construcción de las paredes aislantes y estructura metálica de la caja caliente.

**Tabla 42. Costo de materiales**

<b>Costos de materiales</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Total</b>
1	Plancha de Acero Galvanizado de 0.5 mm	5	u	10,13	\$ 50,65
2	Rollo Thermolon de 25 m	10	m	-	\$ 107,18
6	Baffles o deflectores de aire	2	u	35	\$ 70,00
8	Plywood	2	u	25	\$ 50,00
9	EPS	10	u	25	\$ 250,00
10	Foil	10	u	25	\$ 250,00
11	Perfiles, ángulos	6	u	9,26	\$ 55,56
IVA 12%					\$ 100,01
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 933,40</b>

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 43 se presenta el valor de los equipos utilizados para el sistema de refrigeración y calefacción.

**Tabla 43. Costos de equipos**

Costos de equipos						
Ítem	Descripción	Proveedor	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$	Total \$
1	Unidad condensadora 5,5 hp r-22m/t 220v-3 danfoss	MEGAFRÍO S.A.	1	u	3190	3.190,00
2	Evaporador baja silueta a/t 220v (9x12") c/r saa622 mipal	MEGAFRÍO S.A.	1	m	2635	2.635,00
3	Controlador temperatura / humedad / sondas 115/220v marca full gauge mt-530	MEGAFRÍO S.A.	1	u	95	95,00
4	Filtro pliegues 20"x20"x2" merv 11 std air care	MEGAFRÍO S.A.	2	u	18	36,00
5	Ventilador centrífugo cfp 160 soler & palau	MEGAFRÍO S.A.	2	u	109,1	218,20
6	Ventilador de pc 21.15 cfm	FROZENCPU	8	u	8,99	71,92
7	Ventilador de pc 32.1 cfm	FROZENCPU	5	u	11	55,00
8	Rejilla de retorno 10x10 blanca	MEGAFRÍO S.A.	2	u	12	24,00
9	Calentador eléctrico, idhc series	GREENHECK	1	u	1000	1.000,00
10	Bomba usa micro cilindro 2e diam 25x160 mm carr pivote	AINSA S.A.	2	u	148,54	297,08
11	Ainsair press compresor a piston 2 hp/6cfm/140psi/tanque 50i 110v/1f/60hz	AINSA S.A.	1	u	858,17	858,17
12	Emc unidad f/r/l 1/4" 175 psi mini	AINSA S.A.	1	u	73,9	73,90
13	Emc electroválvula 5/2 1/4" 110 vac monoestable	AINSA S.A.	1	u	35,77	35,77
14	Tubo de poliuretano 8 mm d ext	AINSA S.A.	15	u	1,53	22,95
15	Conector recto inst 8 mm x 1/4"	AINSA S.A.	5	u	1,44	7,20
16	Regulador de velocidad tipo banjo inst 8 mm x 1/8"	AINSA S.A.	4	u	8,87	35,48
17	Silenciador de bronce sinterizado 1/8"	AINSA S.A.	2	u	2,61	5,22
<b>IVA 12%</b>						<b>\$ 1.039,31</b>
<b>TOTAL</b>						<b>\$ 9.700,20</b>

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 44 se presentan los costos de los sensores

**Tabla 44. Costo de sensores**

Costos de sensores						
ITEM	Descripción	Proveedor	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$	Total \$
1	Termocuplas tipo T	Omega	128	u	28	3.584,00
2	EXPP-T-20S-200, extensión de Cable 200 ft	Omega	1	Global	246	246,00
3	Transductor de presión, PX 51-IS	Omega	2	u	1140	2.280,00
4	Termohigrómetro, KT-907	Vimael S.A.	1	u	30	30,00
5	Transductor de Potencia OM-10 Series	Omega	4	u	950	3800,00
6	Anemómetro FMA900A	Omega	1	u	790	790,00
<b>IVA 12%</b>						<b>\$ 736,80</b>
<b>TOTAL</b>						<b>\$ 11.466,80</b>

Fuente: Elaboración Propia

### Costos de construcción

Los costos involucrados en el transcurso de este proyecto son: consumibles y servicios, es decir mano de obra. En donde da como resultado la construcción de la cámara frigorífica, con un total de \$ 378.96, como se muestra en la Tabla 45.

**Tabla 45. Costos de construcción**

Ductería				
Consumibles	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$	Total \$
Cinta de Aluminio	1	Lb	8,0	8,00
Tornillos	1	Lb	1,3	1,30
Soportaría	4	U	5,0	20,00
<b>Total</b>				<b>\$ 29,30</b>
Mano de obra				
Servicio	Cantidad	Tiempo horas	Precio unitario \$	Total \$
Ductero	1	24	5,0	120,00
Ayudante	1	24	2,5	60,00
<b>Total</b>				<b>\$ 180,00</b>
Estructura de acero				
Consumibles	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$	Total \$
Electrodos 6011	5	Kg	2,7	13,50
Disco de Corte	3	U	1,8	5,40
Lijas, Brochas y guaipe	1	Glb	20	20,00
Anticorrosivo Gris	1	Gl	25	25,00

Total				\$ 63,90
<b>Mano de obra</b>				
Servicio	Cantidad	Tiempo horas	Precio unitario \$	Total \$
Soldador	1	16	3,39	54,24
Ayudante	1	16	3,22	51,52
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 105,76</b>
<b>TOTAL COSTOS DE CONSTRUCCIÓN</b>				<b>\$ 378,96</b>

Fuente: Elaboración Propia

### Costos de montaje e instalación

En los costos de montaje e instalación se considera todo proceso que se necesita para ensamblar los diferentes elementos que constituyen el presente proyecto. Dentro de esto, se contemplan los materiales, mano de obra y consumibles, obteniendo los rubros de:

- Instalación de equipos de transducción.
- Instalación de equipos neumáticos.
- Montaje de estructura de acero.
- Instalación de ductería.

Como se indican en la Tabla 46, los costos de montaje e instalación dan un total de: \$ 813,20.

**Tabla 46. Costo de montaje e instalación**

Instalación de equipos de transducción				
Servicio	Cantidad	Tiempo horas	Precio unitario \$	Total \$
Técnico del D.A.Q	1	40	4,5	180,00
Ing. especializado en control y automatización	1	40	4,25	170,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 350,00</b>

Instalación de equipos neumáticos				
Servicio	Cantidad	Tiempo horas	Precio unitario \$	Total \$
Técnico	1	32	4,25	136,00
Ing. especializado en Neumática	1	32	4,00	128,00
Ayudante	1	32	3,00	96,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 360,00</b>

Montaje de estructura de acero				
Servicio	Cantidad	Tiempo horas	Precio unitario \$	Total \$
Fierrero	1	8	3,4	27,20
Ayudante	1	8	3,0	24,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 51,20</b>

Instalación de ductería				
Servicio	Cantidad	Tiempo horas	Precio unitario \$	Total \$
Ductero	1	8	3,5	28,00
Ayudante	1	8	3,0	24,00
<b>TOTAL</b>				<b>2,00</b>

<b>TOTAL COSTO MONTAJE E INSTALACIÓN</b>				<b>\$ 813,20</b>
--	--	--	--	------------------

Fuente: Elaboración Propia

### 3.7.2 Costos indirectos

Los costos indirectos son los elementos de carácter complementario, que si bien no están relacionados de forma directa al costo de fabricación, contribuyen al costo total del proyecto:

- Costos de diseño
- Costo de transporte
- Imprevistos

**Tabla 47. Costos indirectos**

Costos indirectos	
Diseño	\$ 1.800,00
Transporte	\$ 1000,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.950,00</b>

Fuente: Elaboración Propia

### **Costos de diseño**

Para el estudio, planos, elementos finitos, cálculos, selección y estimación de costos del diseño del banco de pruebas, se ha considerado un valor de \$ 1800.00.

### **Costos de transporte**

Los costos de transporte son los costos incurridos por el envío de equipos y materiales desde el proveedor hasta el cliente. Este rubro asciende a \$1000.00.

### **Imprevistos**

Es la programación o planificación de tiempo, la negociación de tiempo y el tiempo que se agregan a un proyecto para contingencias, que son los factores que no se han previsto específicamente pero suceden, y están fuera de control. Siempre se espera un porcentaje razonable en función del costo total del proyecto. Para el desarrollo de este banco de pruebas se considera el 3% del costo total (ver Tabla 48), resultando como costos de imprevistos un valor de \$ 1397,89.

### **3.7.3 Costos totales**

Los costos totales es la suma de los costos directos con los costos indirectos, además a estos se les agrega el rubro de los imprevistos, dichos valores se los detalló con anterioridad. La Tabla 48 presenta el resumen de los costos totales.

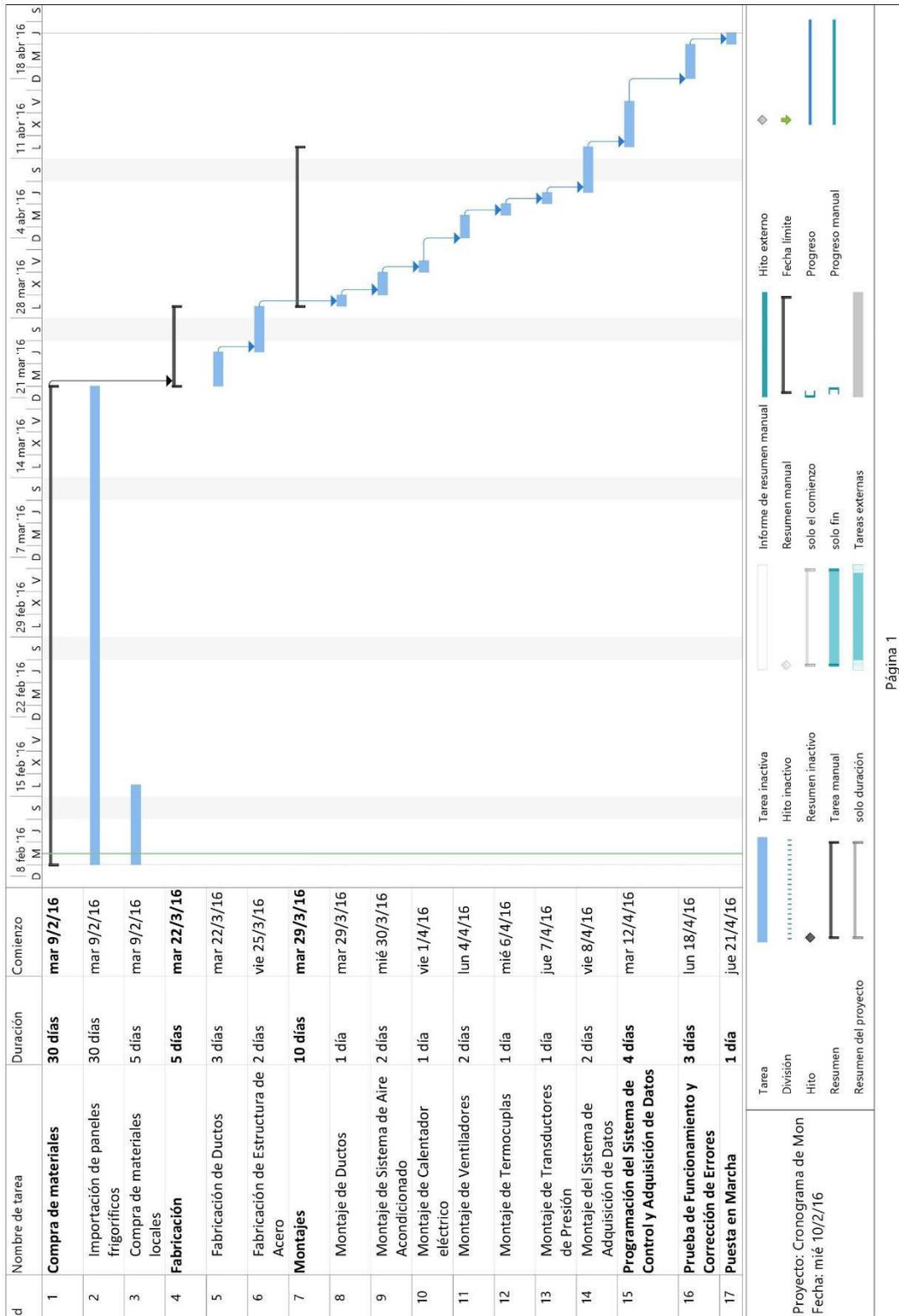
**Tabla 48. Resumen de costos**

<b>Resumen de costos</b>	
<b>Costos directos</b>	
Costos DAQ	\$ 28.828,80
Costos de Materiales	\$ 933,40
Costos de Equipos	\$ 9.700,20
Costo de Sensores	\$ 3.991,68
Costos de Construcción	\$ 378,96
Costos de Montaje e Instalación	\$ 813,20
<b>Costos directo total</b>	<b>\$ 44.646,23</b>
<b>Costos indirectos</b>	
Costos de Diseño	\$ 1.800,00
Costos de Transporte	\$ 150,00
<b>Costos indirecto total</b>	<b>\$ 1.950,00</b>
<b>Imprevistos</b>	<b>\$ 1.397,89</b>
<b>Costo total del proyecto</b>	<b>\$ 47.994,12</b>

Fuente: Elaboración Propia

### **3.8 Cronograma de montaje**

El cronograma de montaje hace una descripción detallada para planificar y programar las tareas para ejecutar el proyecto a lo largo de un período determinado. Mediante el diagrama de Gantt describe las actividades y el tiempo estimado para la ejecución del proyecto, desde la compra de materiales, hasta las pruebas y puesta en funcionamiento del equipo ver Figura 24.



**Figura 24. Cronograma de montaje**

Fuente: Elaboración Propia

# CAPÍTULO 4

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para ser competentes en el diseño y construcción de elementos de penetración, se ve la necesidad de crear bancos de prueba que analicen y certifiquen el uso de productos con buen rendimiento energético y que ayude a los equipos alcanzar dicho rendimiento. Será necesario poder contar con programas a nivel local que regulen la calidad de los diferentes materiales térmicos que contribuyen de manera directa con la eficiencia de los equipos y electrodomésticos.

Cabe señalar que se ha realizado un trabajo anterior que data de 1987 con autoría de Carlos Iván Muñoz Aguilar titulado "Diseño y Construcción de equipos para la determinación de calor específico, conductividad y transmitancia térmicas en materiales y elementos de construcción" donde, en el capítulo 4 hace referencia al "Diseño de Caja Caliente Resguardada". En el primer documento que se hace mención, la comparación es específicamente sobre el capítulo 4: "Diseño de Caja Caliente Resguardada"

La diferencia entre los dos estudios es que en el primero, se encuentra el equipo construido y las caracterizaciones que conlleva como: presentación de resultados pero sin detallar el diseño específico para su construcción, la calibración realizada de los instrumentos de medición no se rige a ninguna norma existente y el análisis de la incertidumbre tiene un alcance limitado únicamente al balance de energía del calor perdido a través de las paredes de la caja de medición y la potencia de los equipos considerados (ventiladores y resistencias), sin incluir los factores de muestreo, condiciones de almacenamiento, efectos del instrumento, condiciones de medida, efectos computacionales, efectos del operador, etc.

Disimilitudes:

- No identifica los equipos, instrumentación ni el sistema de adquisición de datos.
- En efecto de las termocuplas, no hace una evaluación de otros tipos de sensores, sin argumentar con base la selección de estos.
- Los sensores existentes no constan con las especificaciones técnicas como: tipo, rango, exactitud, límites, conexión y posibles proveedores.
- No presentan los parámetros generales que exige la norma para relacionarlos y comprobar si cumple con los límites establecidos.
- No contiene simulación con elementos finitos para analizar posibles errores en la construcción y poder optimizar el modelo.
- El espécimen del actual documento obedece a la norma ecuatoriana NTE-INEN 1995:2015 "Puertas de Madera. Requisitos e Inspección".

En la tesis de 1987 se analiza un ensayo puntual, sin especificar el rango de temperatura del ensayo

#### **4.1 Conclusiones**

El diseño propuesto en el presente trabajo cumple con la norma ASTM C1363 "Standard Test Method for Thermal Performance of Building Materials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus", que describe los principios de diseño que debe cumplir cualquier tipo de caja caliente con los requerimientos para la determinación del coeficiente de transferencia de calor global U. Además se tiene una gran base de datos de la INAMHI, ver anexos, la cual demuestra que Guayaquil siempre se encuentra en índices de confort de Alta Precaución a Peligro, demostrando la necesidad de sistemas de refrigeración y de formas de mejorar el aislamiento térmico, por eso la necesidad de caracterizar el aislamiento térmico. Desarrollado con el propósito de que puedan ser acoplados con facilidad para puertas y ventanas. Como resultado final, se obtiene planos de diseño para la construcción, equipos propuestos, y toda la información técnica

necesaria para la ejecución del proyecto. Dentro de este punto, se incluye también un cronograma de montaje estimado, para la construcción del equipo.

- El sistema propuesto permitirá controlar el rango de temperatura de 10 a 40 [° C] durante los ensayos.
- Con los equipos de instrumentación seleccionados se podrán obtener datos de gran exactitud, por consiguiente tener menores incertidumbres en los resultados obtenidos.
- La implementación de este banco de pruebas tiene un costo de \$ 47.994,12 lo que incluye costo de materiales, equipos, construcción, montaje y puesta en marcha.
- Se obtuvo un procedimiento experimental donde se describe ensamble, procedimiento de prueba y cálculos, con sus respectivas fórmulas para la obtención final de los resultados. Este procedimiento de prueba es importante para la posterior configuración del sistema de adquisición de datos y control
- 

## **4.2 Recomendaciones**

Para futuros estudios será necesario realizar simulaciones detalladas de diferentes configuraciones de cajas calientes, tanto calibrada como guardada para con esto, realizar comparaciones entre los sistemas anteriormente mencionados que conlleve a la construcción del modelo más óptimo.

Una vez construido el banco de prueba, se deberá iniciar los diferentes estudios para caracterizar por completo el diseño de la caja caliente, uno de estos es calibrar para cualquier transferencia de calor no deseada que no circule a través del espécimen, levantando procedimientos de calibración. Comparar estas calibraciones con cálculo numérico para determinar las pérdidas en las paredes de la caja de medición y probeta, esto se lo realiza siguiendo los requerimientos y guías para las mediciones en estado estable de la transmitancia térmica correspondiente a la norma ASTM

C1199 – 14 “Standard Test Method for Measuring the Steady-State Thermal Transmittance of Fenestration Systems Using Hot Box Methods”.

El presente trabajo no engloba todas las configuraciones de caja caliente, se puede tomar como un modelo base para el desarrollo de futuros estudios y complementar el diseño actual con la construcción.

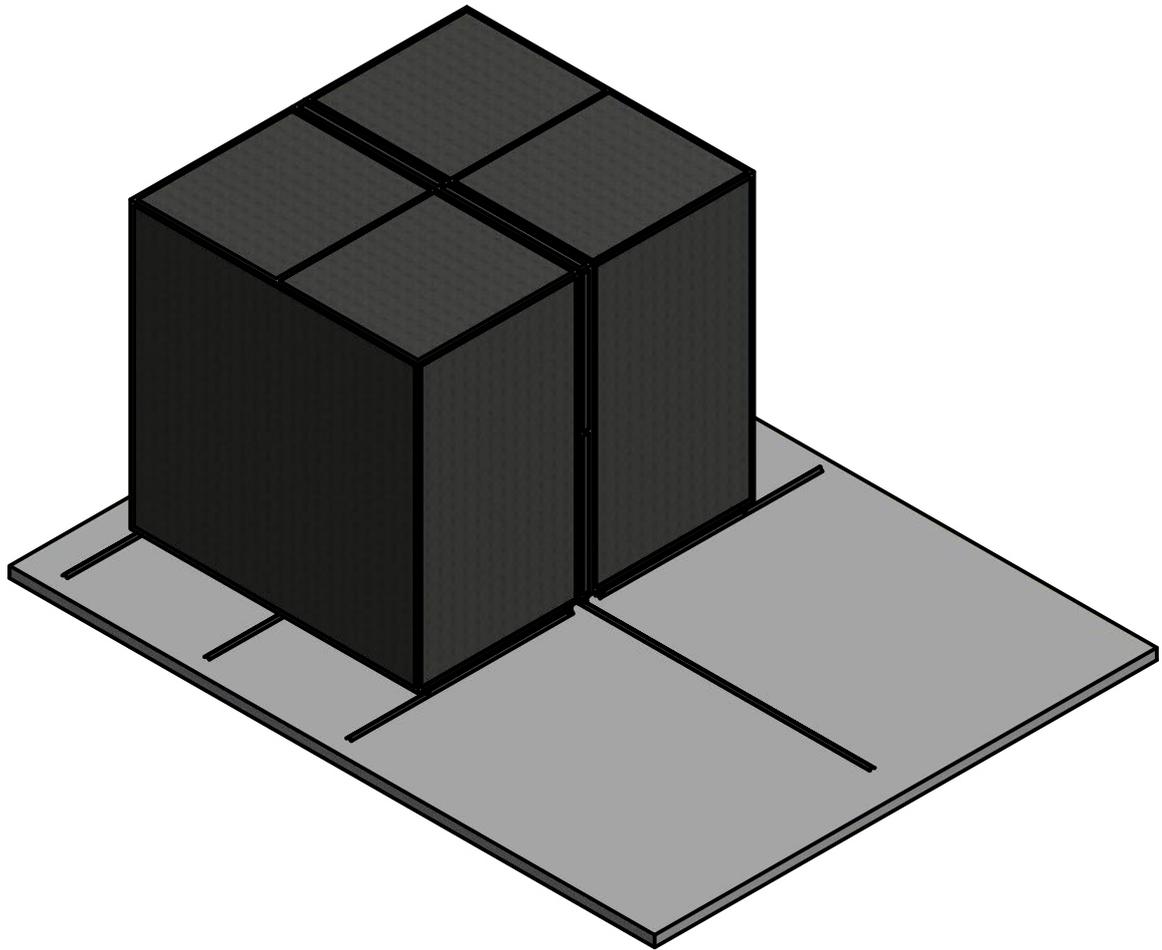
# BIBLIOGRAFÍA

- ANSI/ISA. (13 de Julio de 1992). Instrumentation Symbols and Identification. *ANSI/ISA S5.1 1984*. North Carolina, USA.
- ASTM. (2000). Standard Test Method for Measuring the Steady-State Thermal Transmittance of Fenestration Systems using Hot Box Method. *ASTM C 1999-00*. USA.
- ASTM. (2011). Standard Test Method for Thermal Performance of Building Materials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus. *C1363-11*, 44. USA. Recuperado el Abril de 2015
- Budynas, R., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (8va ed.). Mexico D.F., Mexico: Mc Graw-Hill.
- Carrier Air Conditioning Co. (2009). *Manual de Aire Acondicionado*. Barcelona, España: Marcombo S.A. Recuperado el 3 de Diciembre de 2015
- Creus Solè, A. (2007). *Neumatica e Hidraulica*. (Alfaomega, Ed.) España.
- Creus, A. (2010). *Instrumentacion Industrial* (8va ed.). Mexico: Akfaomega Grupo Editores S.A.
- Frozenspu.com . (s.f.). *Fans*. Obtenido de <http://www.frozenspu.com/cat/l1/g36/Fans.html?id=rz6AMKn6>
- GOBERNA, R. (1992). *Ventilacion Industrial* (1ra ed.). Valencia, España: Librería de la Generalitat Valenciana.
- Greenheck. (Mayo de 2014). Electric Duct Heaters IDHB & IDHC Series. 8. Schofield, Wisconsin, USA.
- INAMHI. (2015). *Dirección Gestión Meteorológica Estudios e Investigación Meteorológicas*. Obtenido de Boletín Meteorológico: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/clima/>
- Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (4ta ed.). Naucalpan de Juarez, Mexico: Prentice Hall.
- IndustrialFansDirect.com. (2014). *FAN CFM CALCULATOR*. Obtenido de [http://www.industrialfansdirect.com/CFM\\_Calculator.html](http://www.industrialfansdirect.com/CFM_Calculator.html)
- INEN. (1984). Ventilacion Natural en Edificios. *NTE INEN 1126, 05*, 19. Quito, Pichincha, Ecuador.

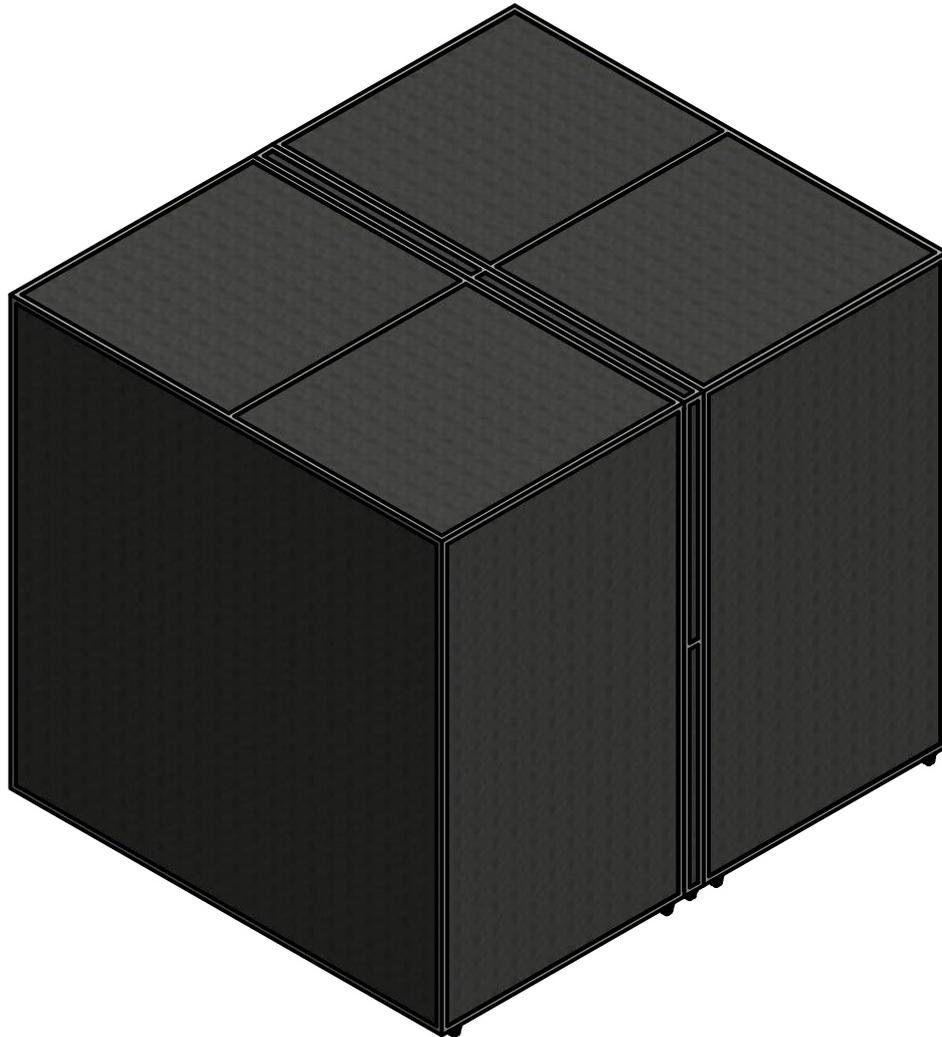
- INEN. (Agosto de 1987). Guía de Práctica Uso de Medidas Preferidas para la Vivienda. Ventanas. *GPE INEN 011*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN. (1989). Código de Dibujo Técnico- Mecánico. *CPE INEN 003:1989*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN. (Junio de 2014). Determinación de las propiedades de transmisión térmica en régimen estacionario. Método de la caja caliente guardada y calibrada. *NTE INEN-ISO 8990, 1era*, 28. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el Abril de 2015
- INEN. (2015). Puertas de Madera. Requisitos e Inscripción. *NTE INEN 1995:2005, 2da*, 22. Quito, Pichincha, Ecuador.
- ISO. (2005). Requisitos Generales para la Competencia de los laboratorios de Ensayos y de Calibración. *ISO/IEC 17025:2005 (ES)*. Suiza.
- ISO. (2010). Thermal performance of windows and doors — Determination of thermal transmittance by the hot-box method —. *EN ISO 12567-1:2010*, 64. (1ra, Ed.)
- National Instruments Corporation. (2015). *¿Qué es Adquisición de Datos?* Obtenido de <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- PCE Iberica S.L. (2016). *Termohigrómetro Comfort Control*. Obtenido de [https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/termohigrometro-tfa-dostmann-gmbh-termohigr\\_metro-comfort-control-det\\_868513.htm?\\_list=qr.art&\\_listpos=41](https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/termohigrometro-tfa-dostmann-gmbh-termohigr_metro-comfort-control-det_868513.htm?_list=qr.art&_listpos=41)
- Soler & Palau. (s.f.). Centrifugo de falso plafon. *Linea Habitat*, 4.
- Vimael S.A. (s.f.). *Termohigrometro para interior y exterior KT 907 Temperatura y humedad* . Obtenido de <http://www.vimael.com/index.php/temperatura-y-humedad/termohigrometros/164-termohigrometro-para-interior-y-exterior-2.html>
- White, F. M. (2008). *Mecanica de Fluidos*. Madrid, España: 6ta.

# APÉNDICES

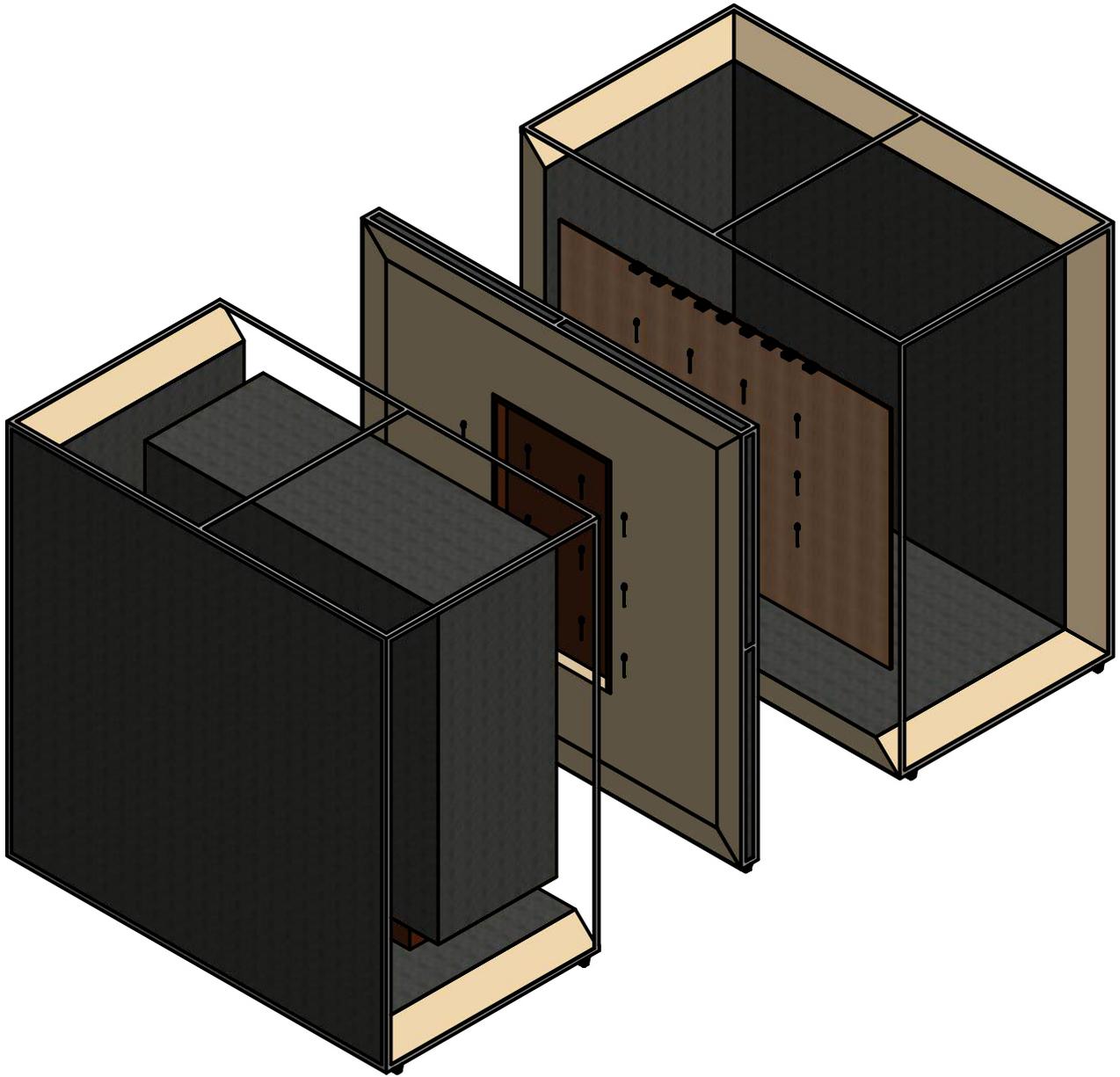
**APÉNDICE A**  
**Planos Esquemáticos**



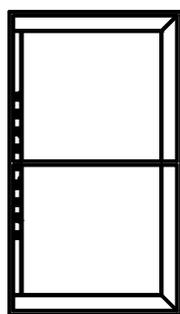
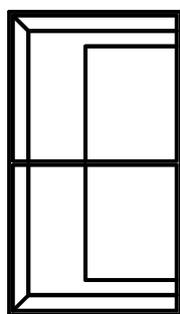
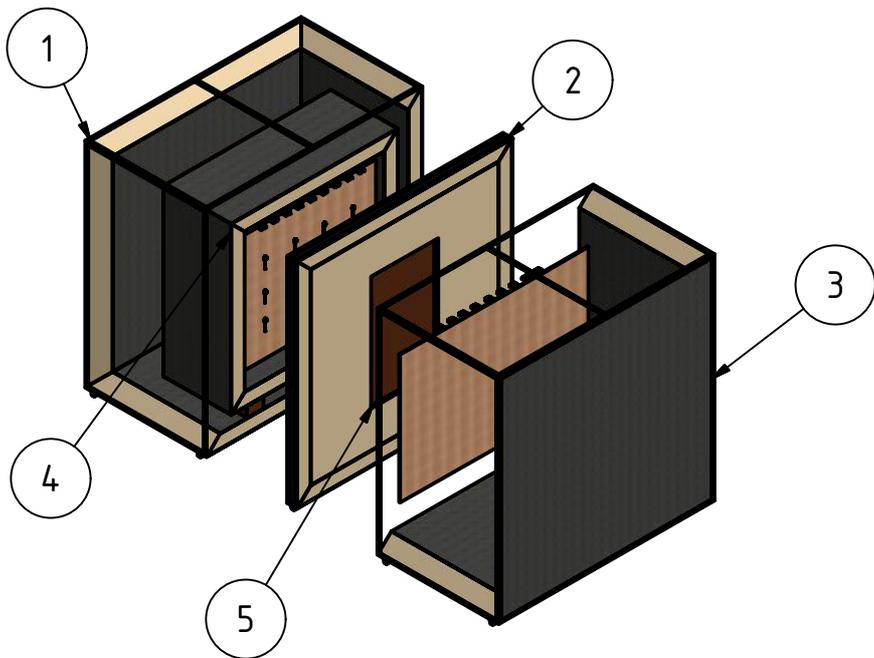
Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
E S P O L		Título: Vista Isometrica con Aparato Acoplado		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:75	Hoja: 1/18



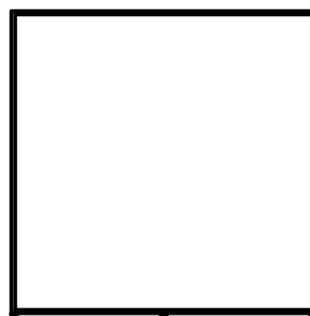
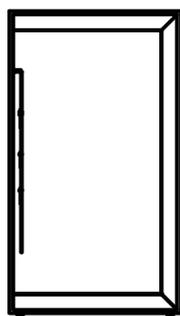
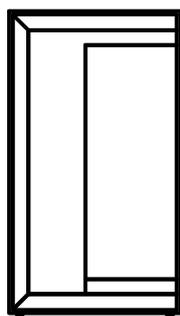
Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
E S P O L		Título: Vista General del Aparto Acoplado		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:50	Hoja: 2/18



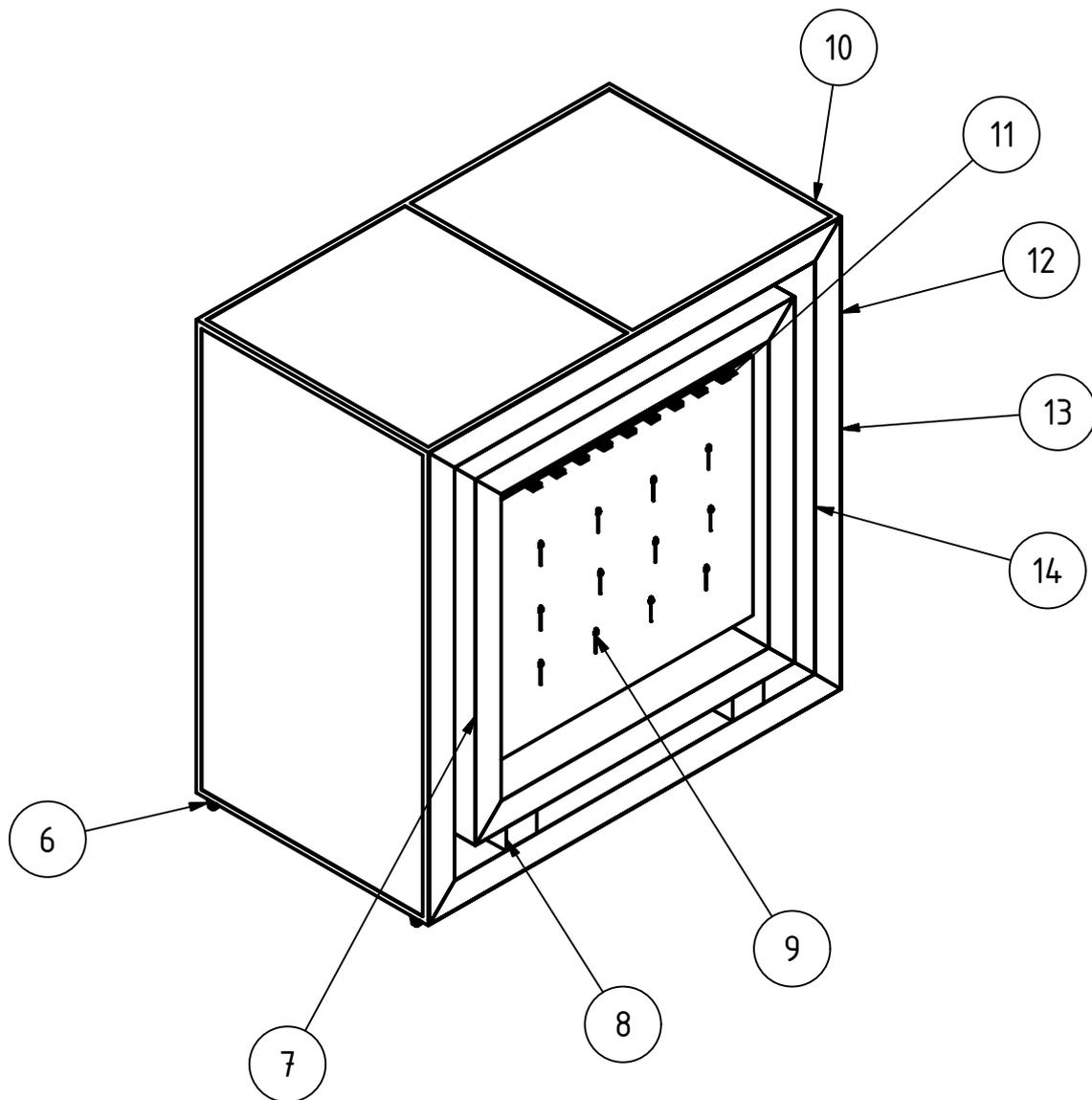
Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
E S P O L		Título: Vista Auxiliar del Aparto Sin Acople		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:50	Hoja: 3/18



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Caja Caliente	
2	1	Porta Probeta	
3	1	Caja Fria	
4	1	Caja de Medida	
5	1	Especimen	Puerta



Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
E S P O L		Título: Descripcion de Equipos y Vista General de Planos		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:100	Hoja: 4/18



PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
6	6	Ruedas	Forma en V
7	1	Caja de Medida	
8	2	Soporte Caja de Medida	Madera
9	12	Termopar	Tipo T
10	1	Estructura Externa	Acero A36
11	9	Fan CC	STEP AP214
12	5	Capa Externa Pared Aislante	Acero A36
13	5	Capa Intermedia Pared Aislante	EPS
14	5	Capa Interna Pared Aislante	Acero A36

Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
---	------------------------------------	-----------	------------------------------------	----------------------

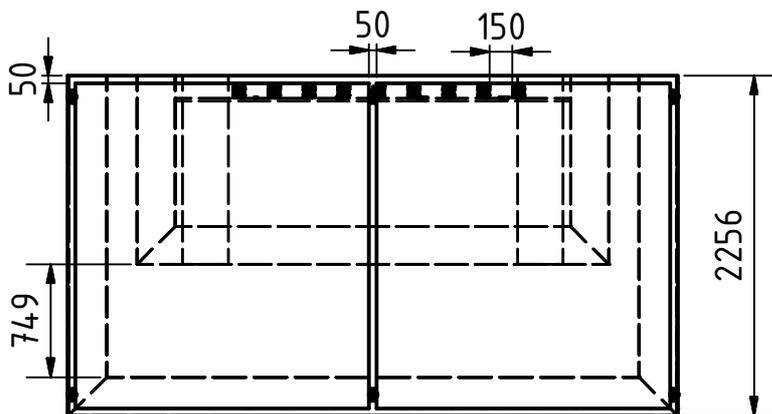
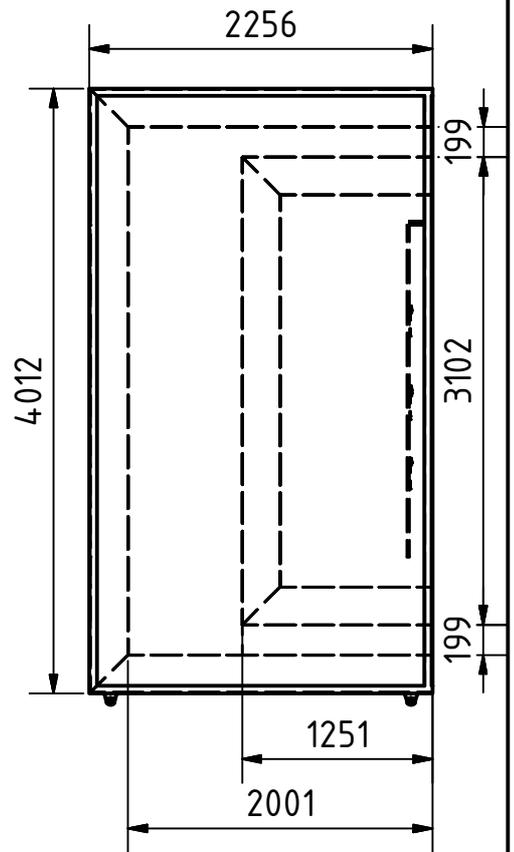
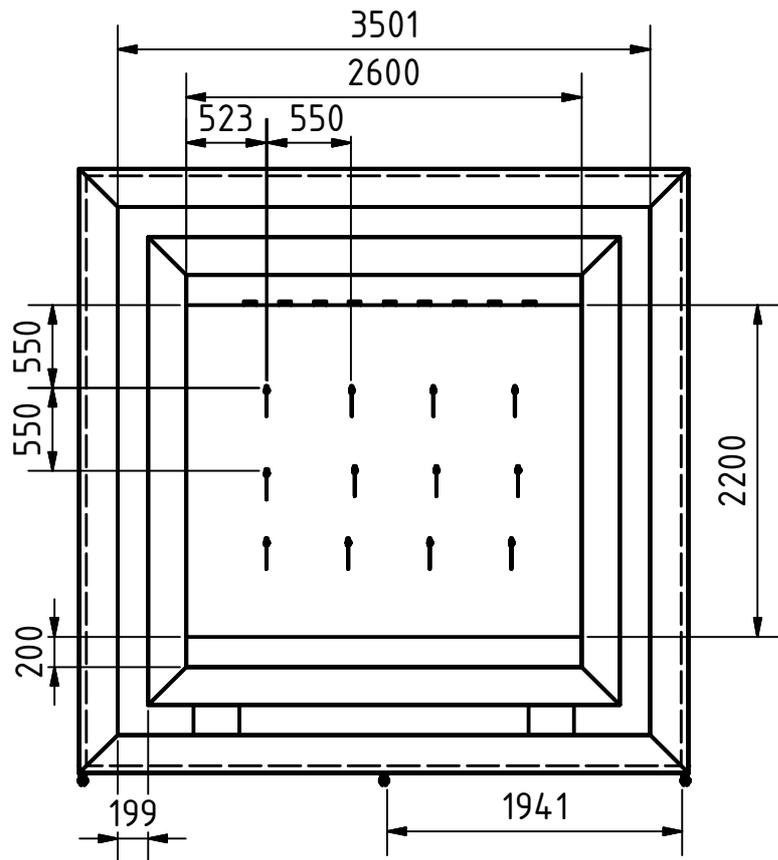
ESPOL

Título:  
Descripcion de Caja Caliente

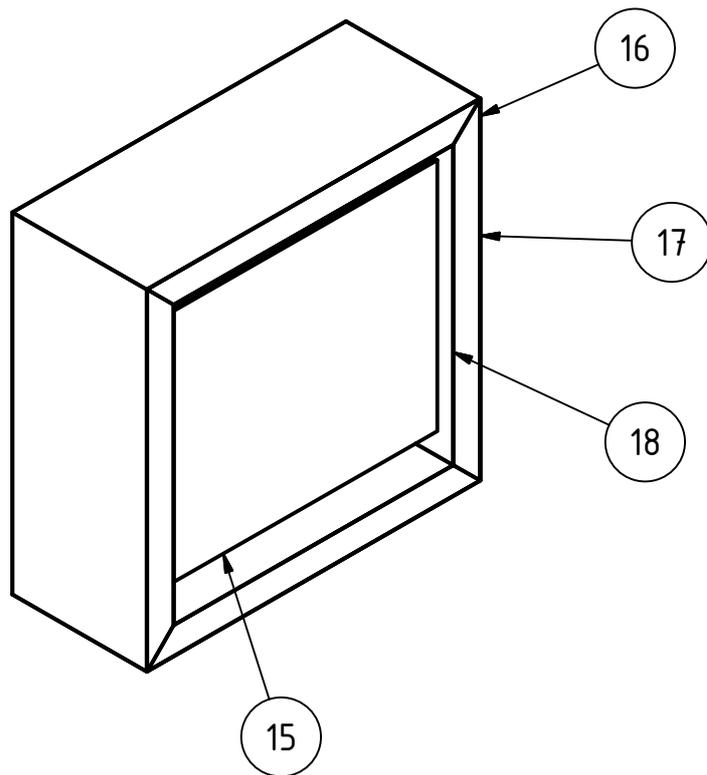
Proyecto:  
Diseño de una Caja Caliente

Escala:  
1:50

Hoja:  
5/18

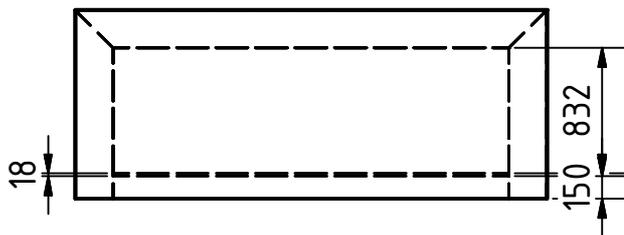
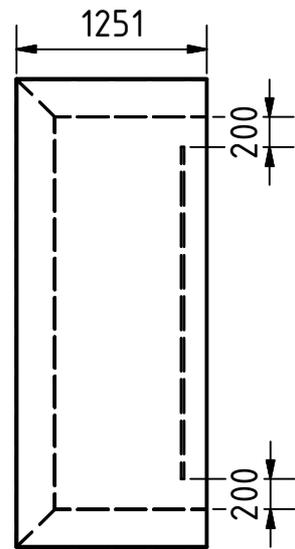
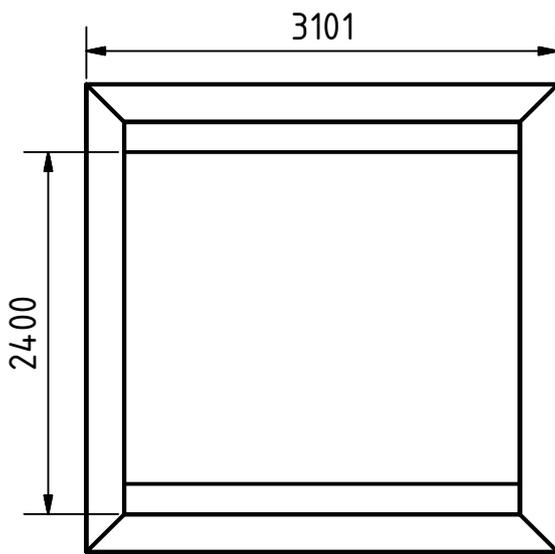


Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
<b>E S P O L</b>		Título: Caja Caliente - Vista General de Planos		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:50	Hoja: 6/18

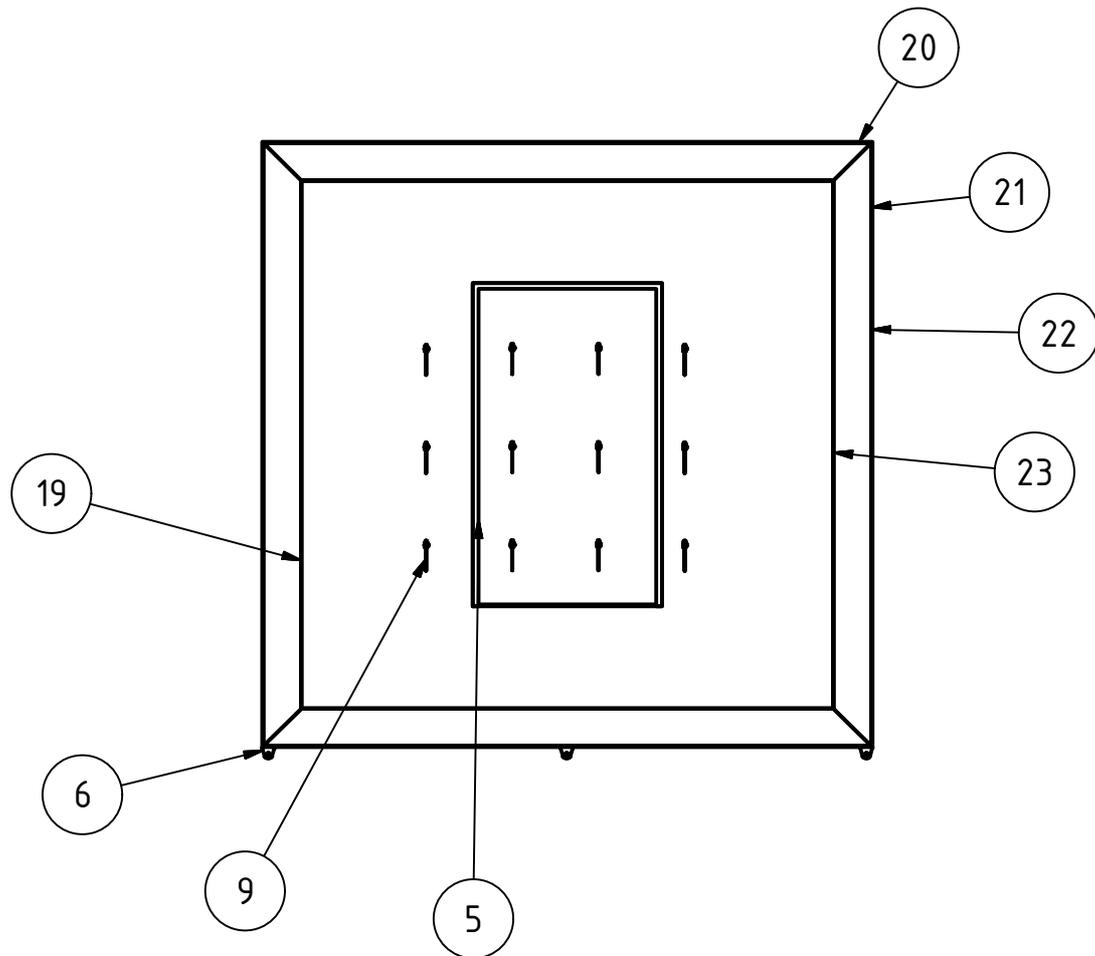


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
15	1	Bafle Lado Caliente	Plywood
16	1	Capa Externa Pared Caja de Medida	Acero A36
17	1	Capa Intermedia Pared Caja de Medida	EPS
18	1	Capara de Intera Pared Caja de Medida	Acero A36

Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
E S P O L		Título: Descripcion de Caja de Medida		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:50	Hoja: 7/18

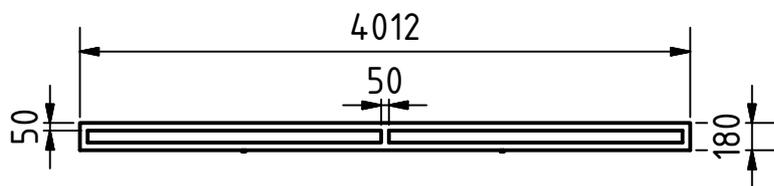
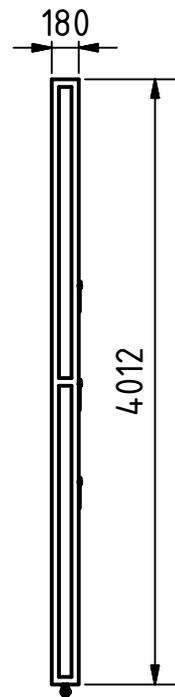
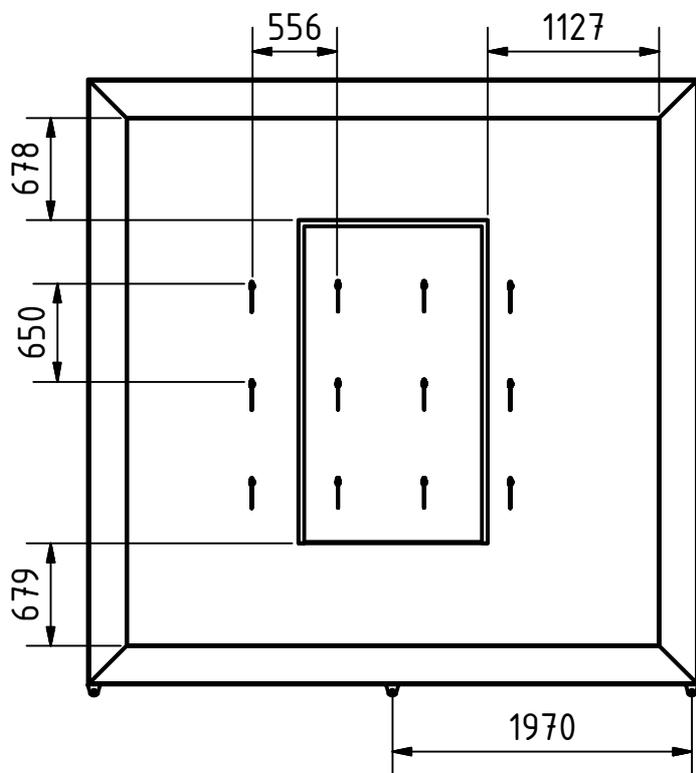


Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
<h1>ESPOL</h1>		Título: Caja de Medida - Vista General de Planos		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:50	Hoja: 8/18

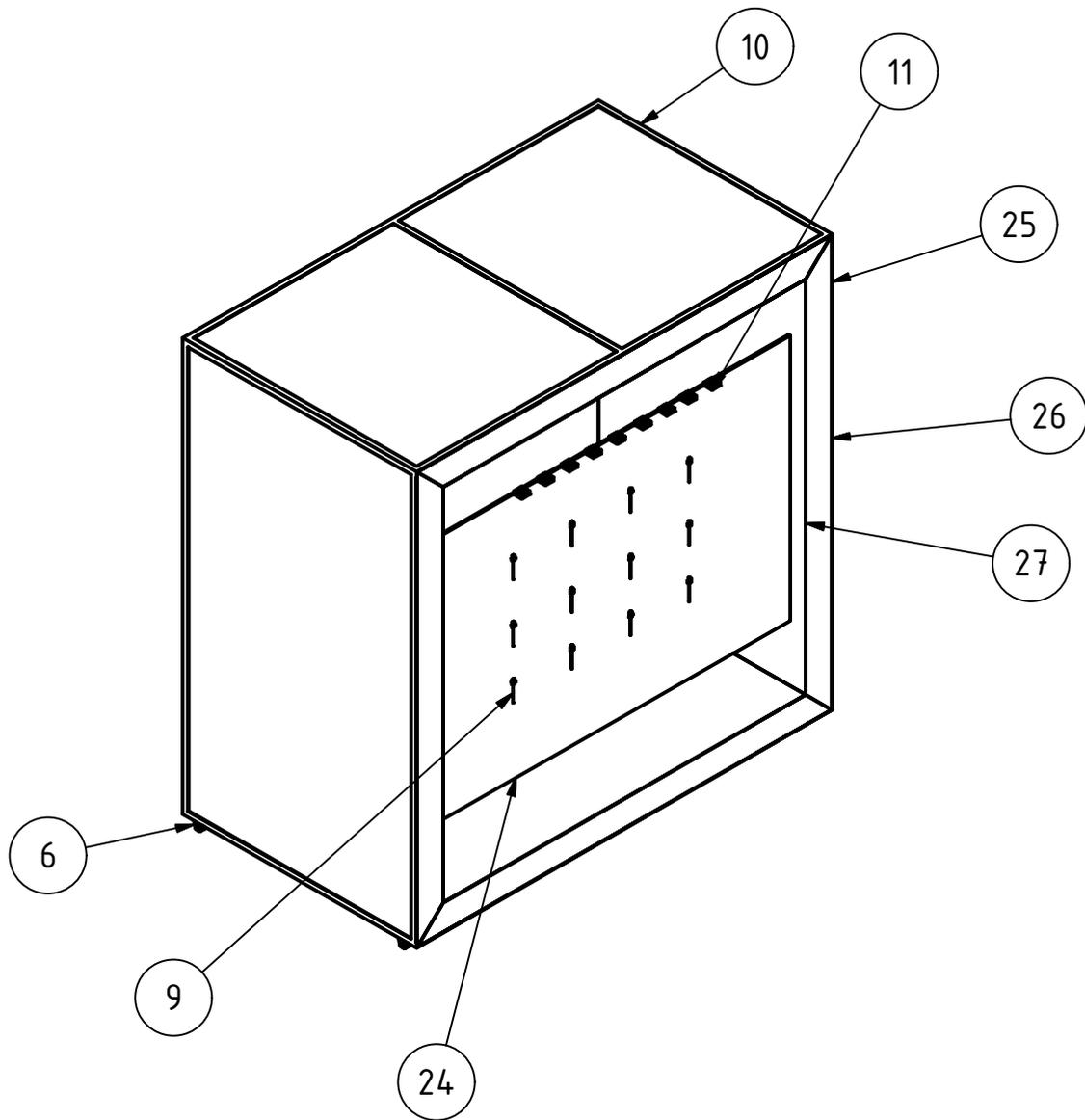


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
5	1	Especimen	Puerta de Madera
6	3	Ruedas	Forma en "V"
9	12	Termopar	Tipo T
19	1	Aislate del Especimen	EPS
20	1	Estructura Externa	Acero A36
21	4	Capa Externa Pared Porta Probeta	Acero A36
22	4	Capa Intermedia Pared Porta Probeta	EPS
23	4	Capa Interna Pared Porta Probeta	Acero A36

Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
<b>E S P O L</b>		Título: Descripcion del Porta Probeta		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:50	Hoja: 9/18

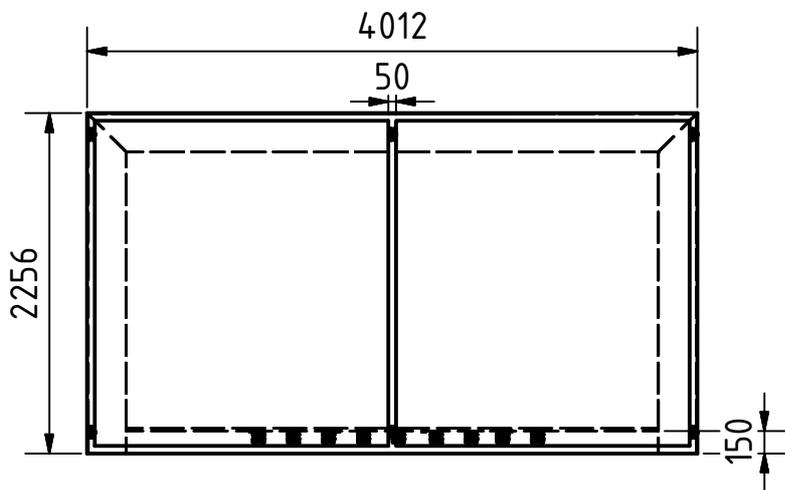
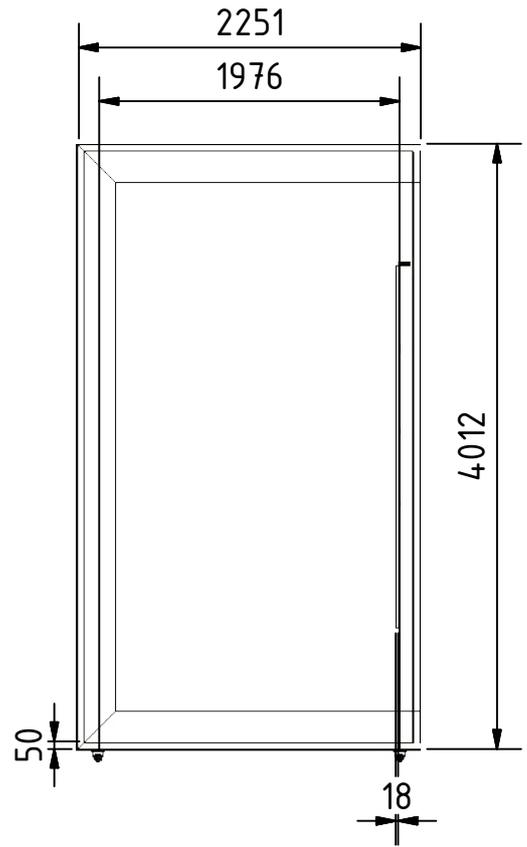
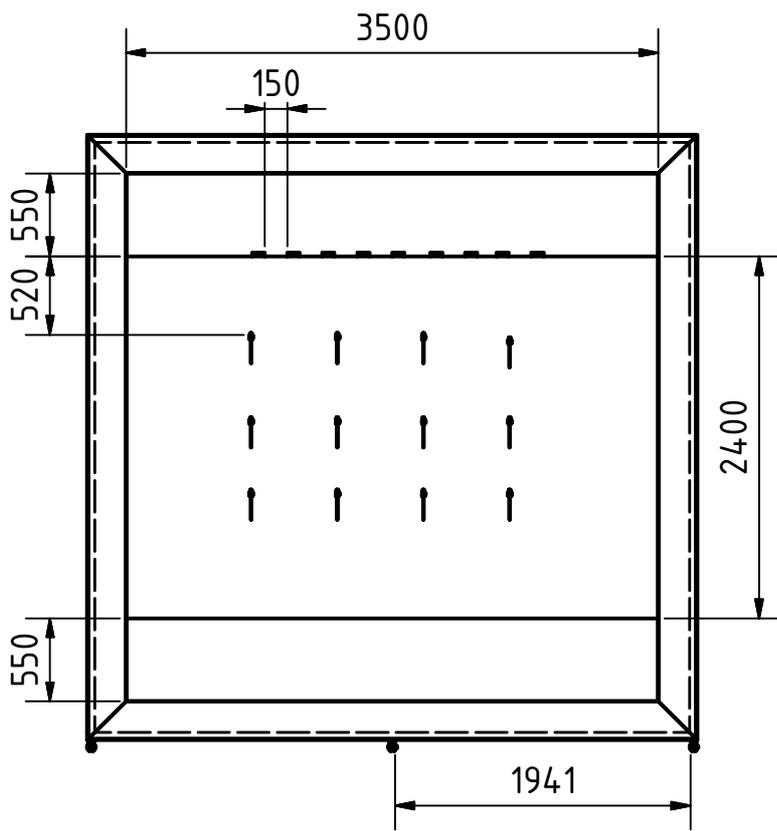


Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
<h1>ESPOL</h1>		Título: Porta Probeta - Vista General de Planos		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:50	Hoja: 10/18



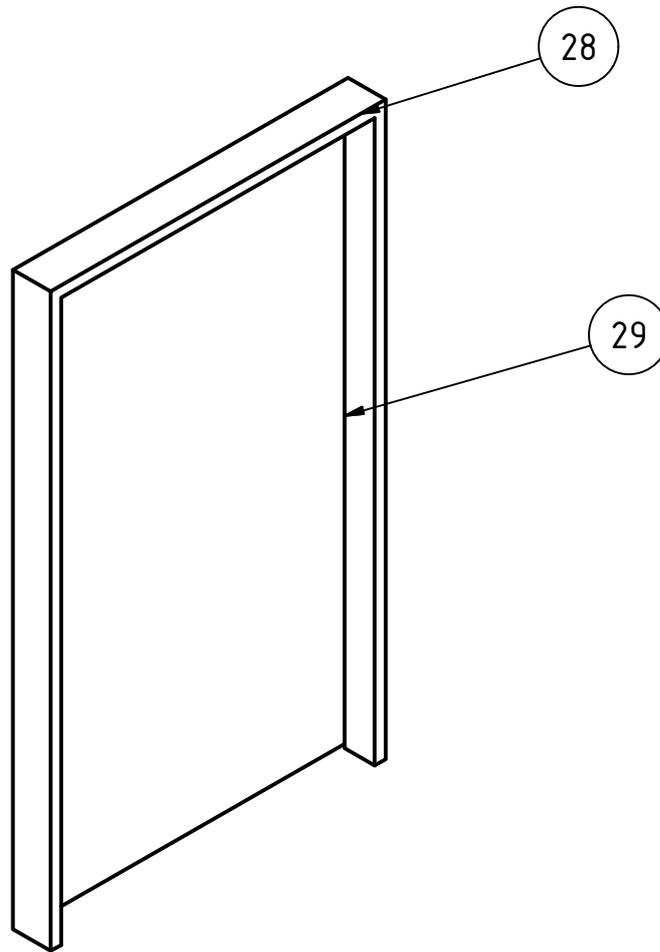
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
6	6	Ruedas	Forma en "V"
9	12	Termopar	Tipo T
10	1	Estructura Externa	Acero A36
11	9	Ventiladores	
24	1	Blafle Lado Frio	Plywood
25	5	Capa Externa Pared Aislante	Acero A36
26	5	Capa Intermedia Pared Aislante	EPS
27	5	Capa Externa Pared Aislante	Acero A36

Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
<h1>ESPOL</h1>		Título: Descripcion de Caja Fria		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:50	Hoja: 11/18



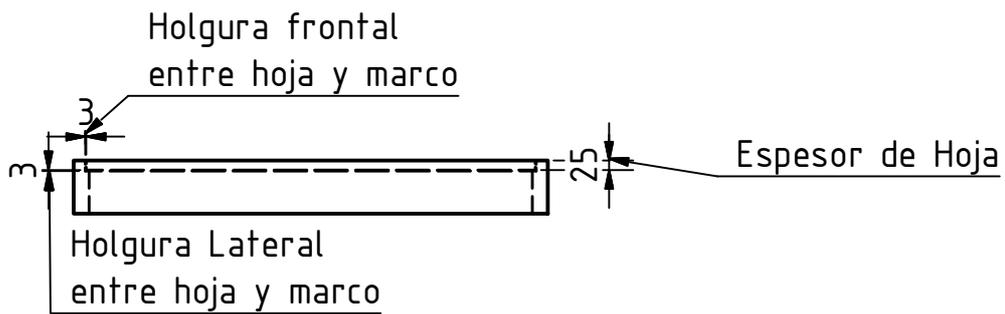
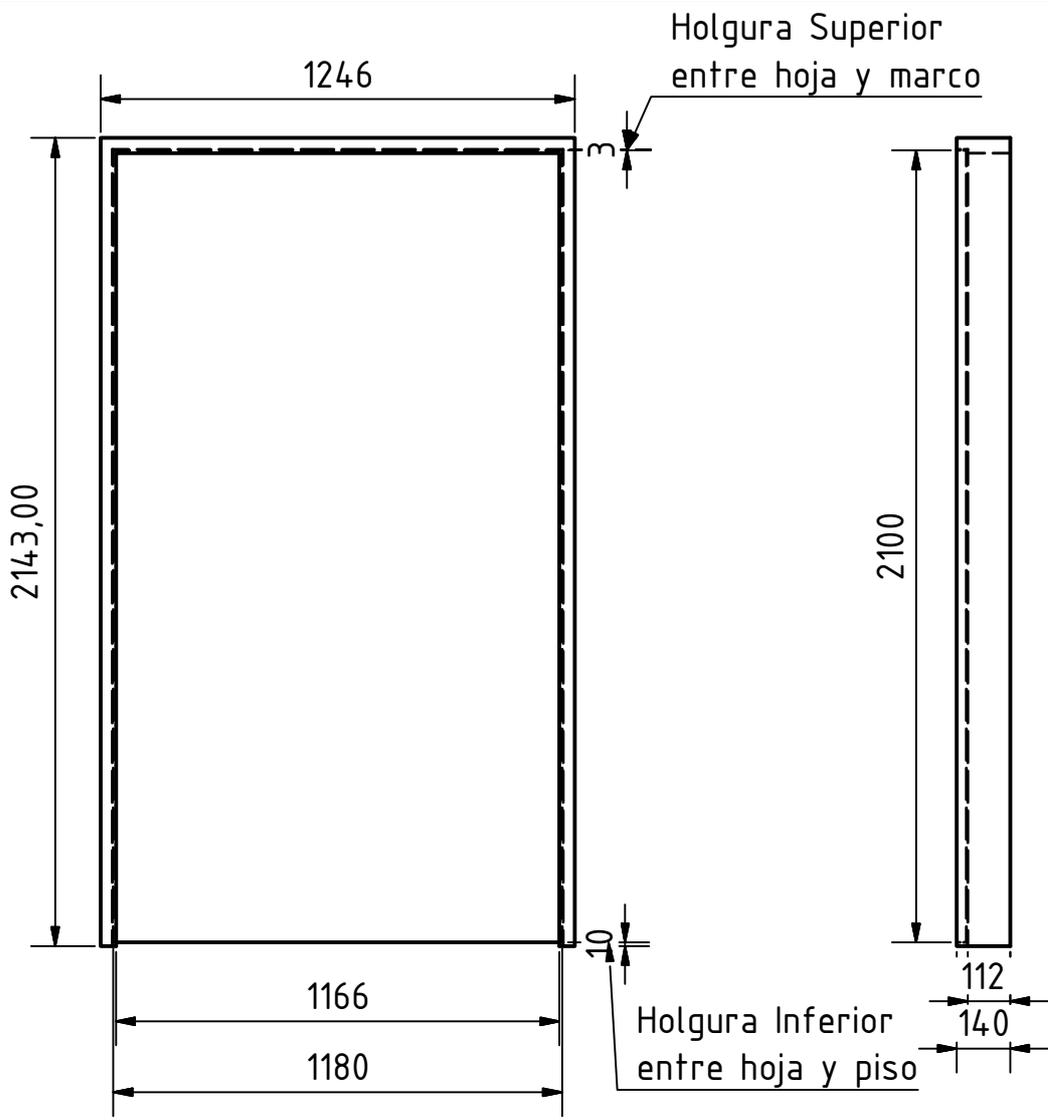
Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
---	------------------------------------	-----------	------------------------------------	----------------------

<b>E S P O L</b>	Título: Caja Fria- Vista General de Planos		
	Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:50	Hoja: 12/18

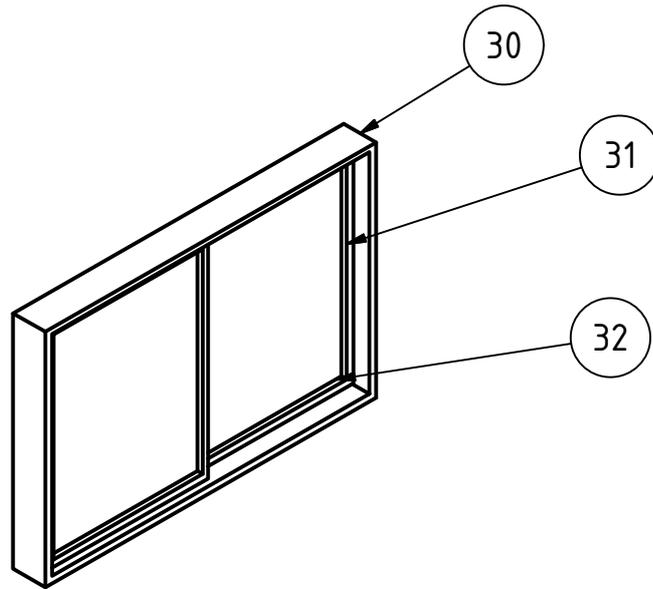


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
28	1	Marco de puerta	Madera
29	1	Hoja de Puerta	Madera

Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
E S P O L		Título: Descripción Especimen 1 - Puerta		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:20	Hoja: 13/18

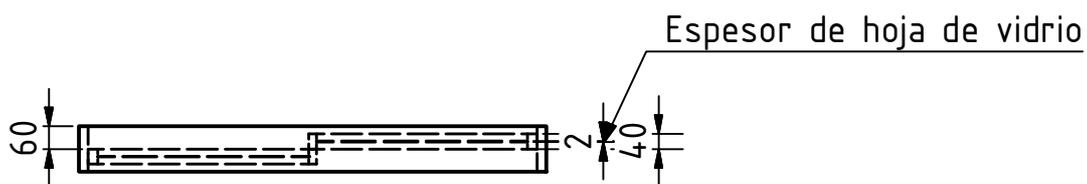
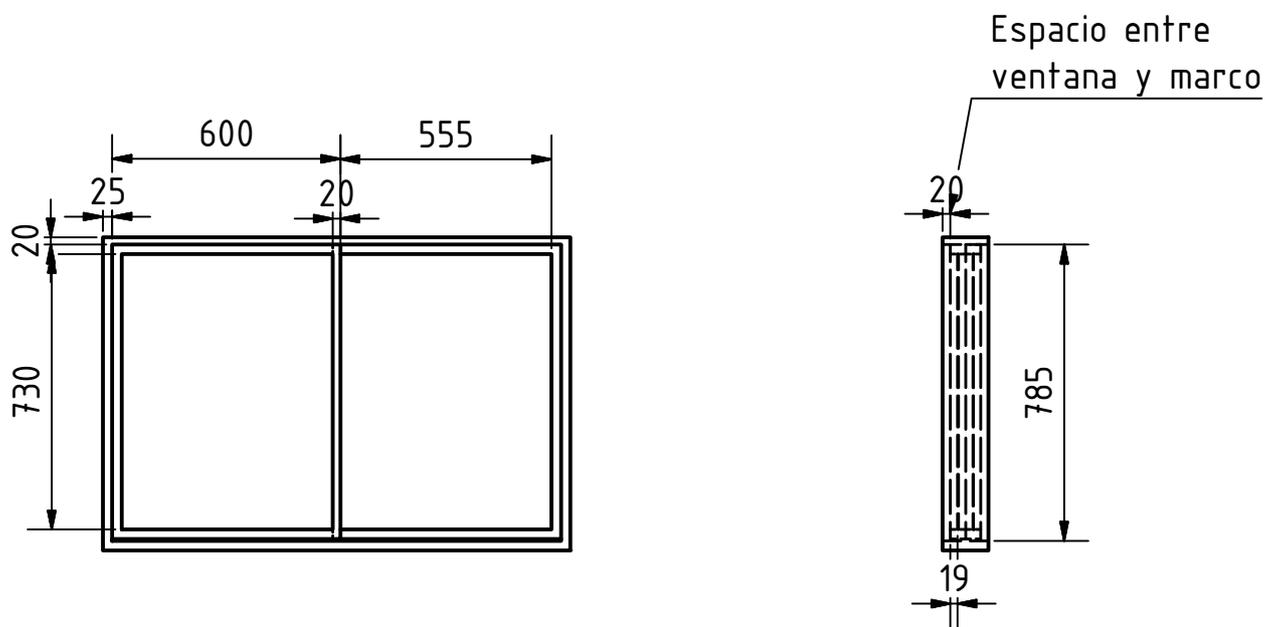


Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
E S P O L		Título: Especimen 1 - Puerta Vista General de Planos		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:20	Hoja: 14/18

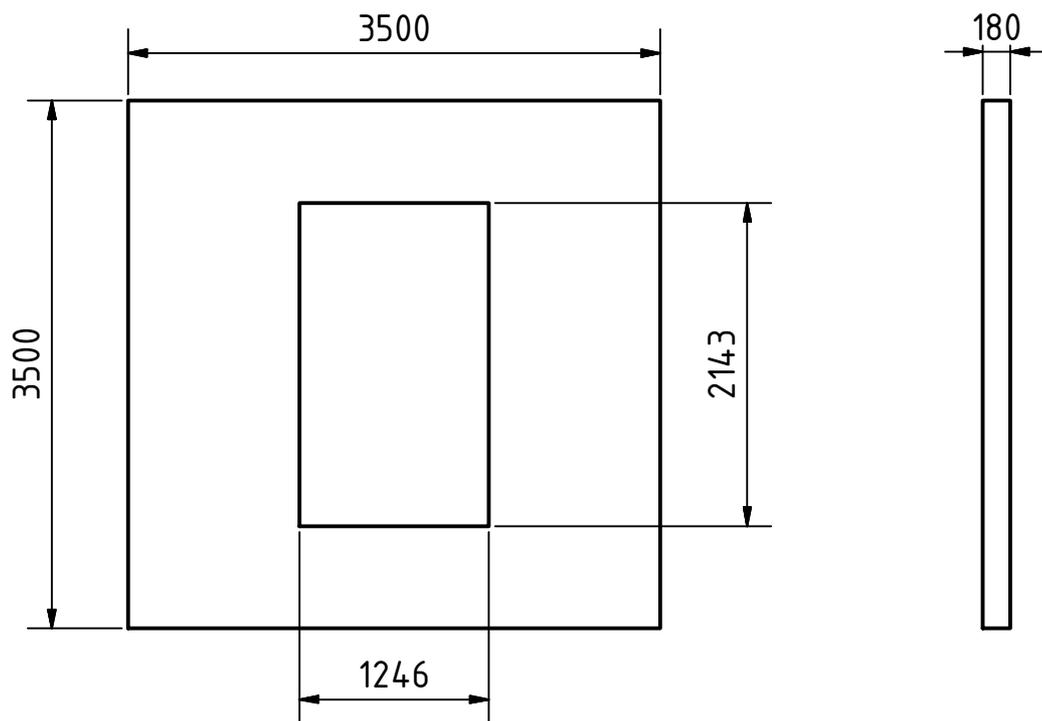


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
30	1	Marco de Ventana	Aluminio
31	2	Ventana	
32	2	Hoja de Vidrio	

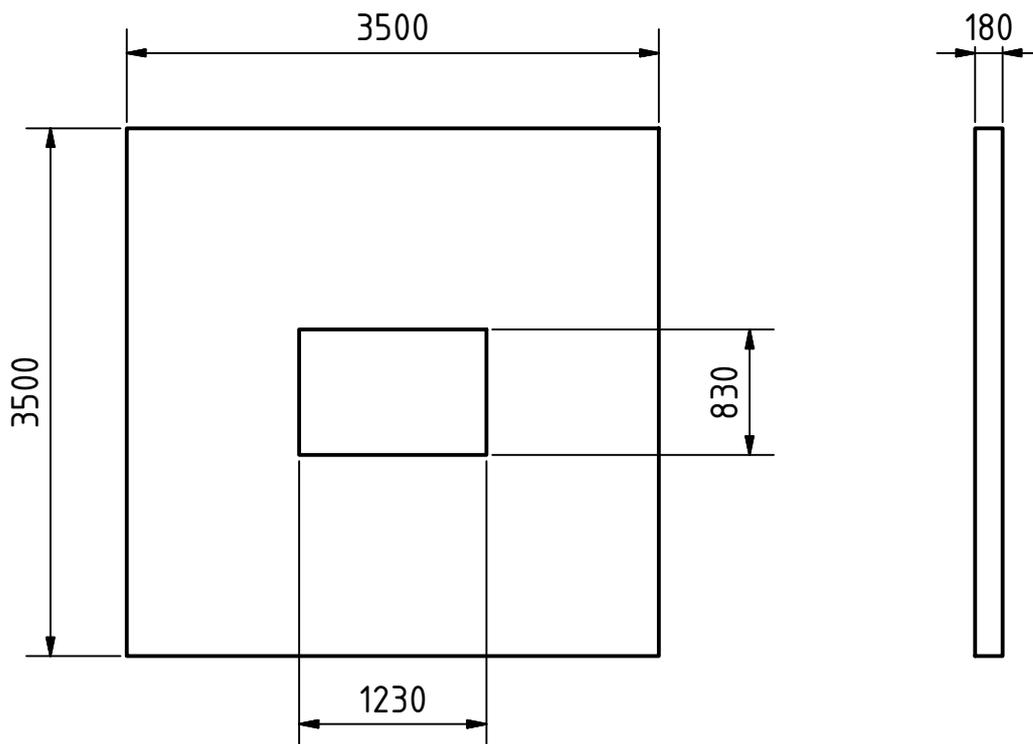
Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
E S P O L		Título: Descripción de Especimen 2		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:20	Hoja: 15/18



Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
E S P O L		Título: Especimen 2 - Ventana Vista General de Planos		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:20	Hoja: 16/18



Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
E S P O L		Título: Aislante Especimen 1 - Vista General de Planos		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:50	Hoja: 17/18

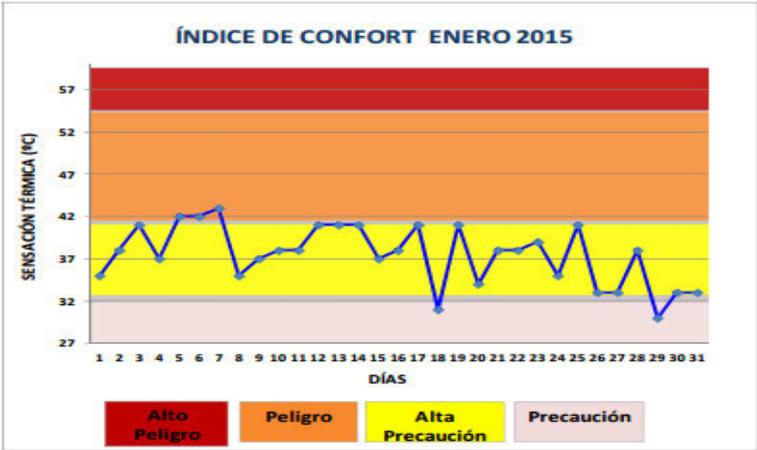


Diseñado por: Xavier Mendoza Fernando Erazo	Revisado por: Guillermo Soriano	Rev: 1	Aprobado por: Guillermo Soriano	Fecha: 10/02/2016
E S P O L		Título: Aislante Especimen 2 - Vista General de Planos		
		Proyecto: Diseño de una Caja Caliente	Escala: 1:50	Hoja: 18/18

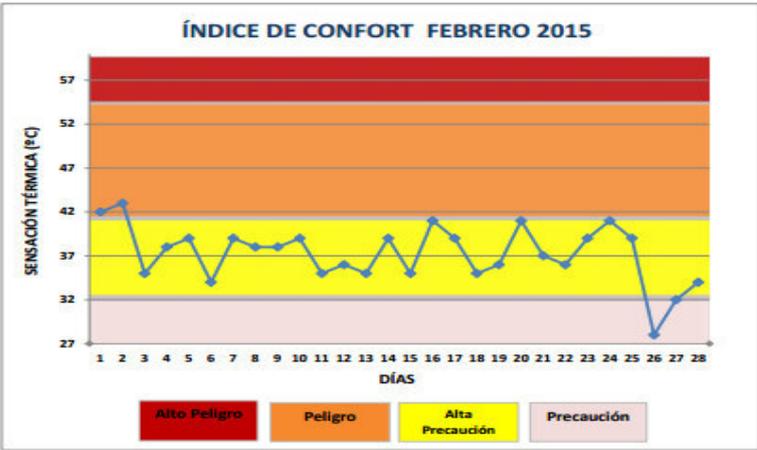
# **APÉNDICE B**

## **Gráficos**

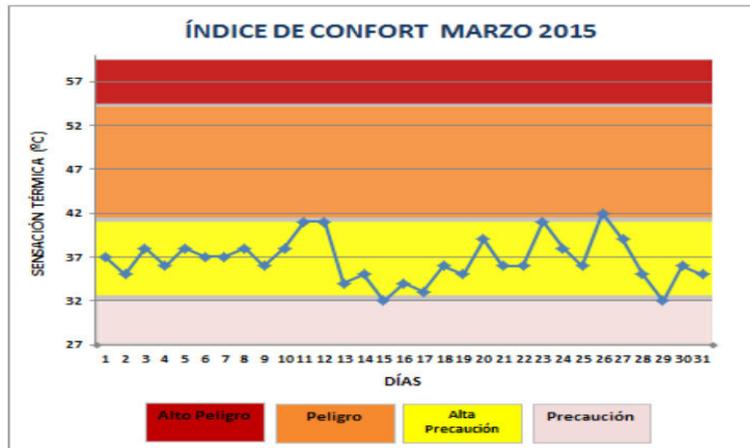
**Gráficos de Índice de Confort**



**Gráfico 1. Índice de Confort en la Ciudad en el mes de Enero**  
Fuente: (INAMHI, 2015)

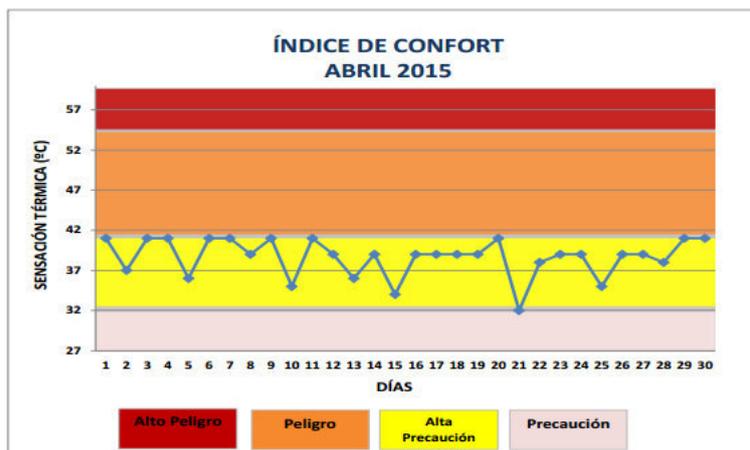


**Gráfico 2. Índice de Confort en la Ciudad en el mes de Febrero**  
Fuente: (INAMHI, 2015)



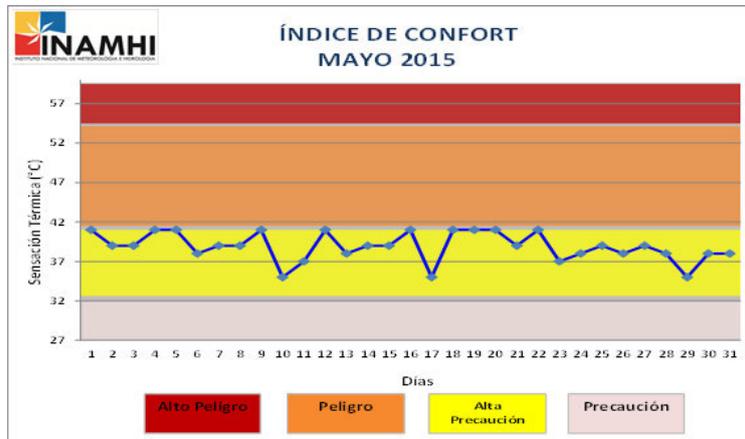
**Gráfico 3. Índice de Confort en la Ciudad en el mes de Marzo**

Fuente: (INAMHI, 2015)



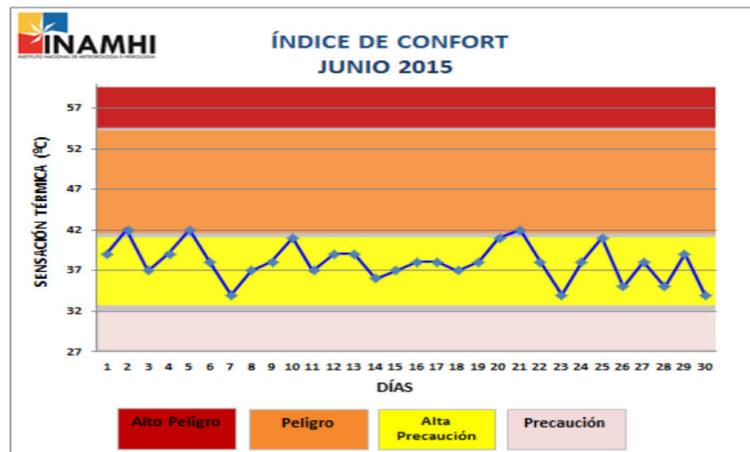
**Gráfico 4. Índice de Confort en la Ciudad en el mes de Abril**

Fuente: (INAMHI, 2015)



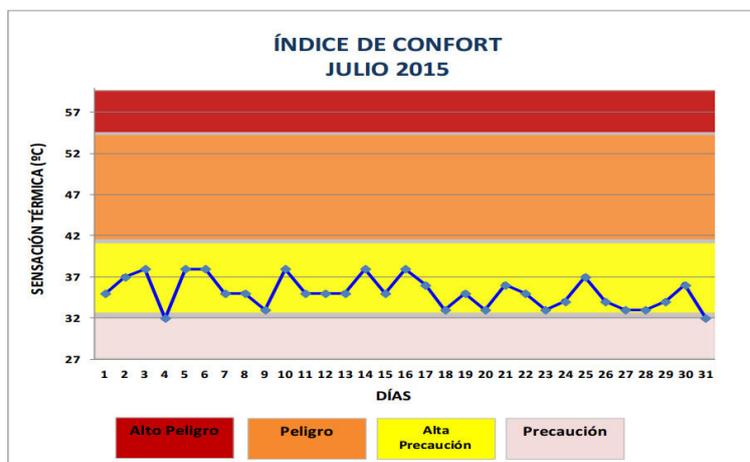
**Gráfico 5. Índice de Confort en la Ciudad en el mes de Mayo**

Fuente: (INAMHI, 2015)



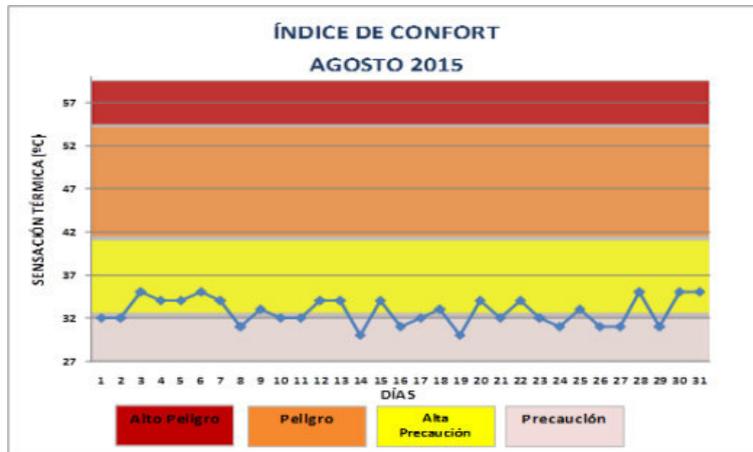
**Gráfico 6. Índice de Confort en la Ciudad en el mes Junio**

Fuente: (INAMHI, 2015)



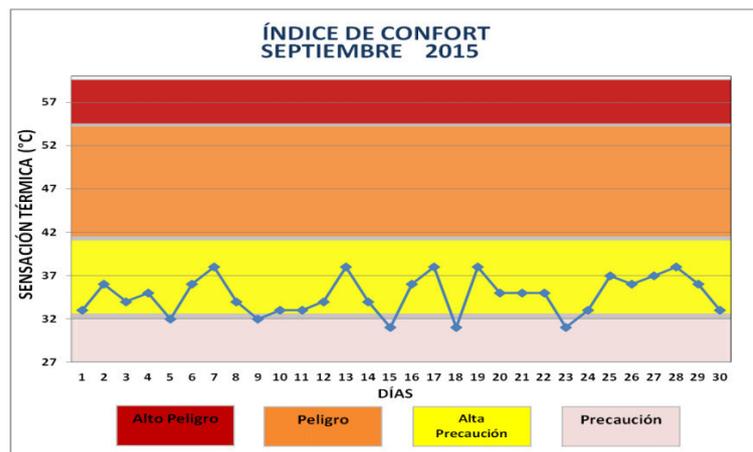
**Gráfico 7. Índice de Confort en la Ciudad en el mes de Julio**

Fuente: (INAMHI, 2015)



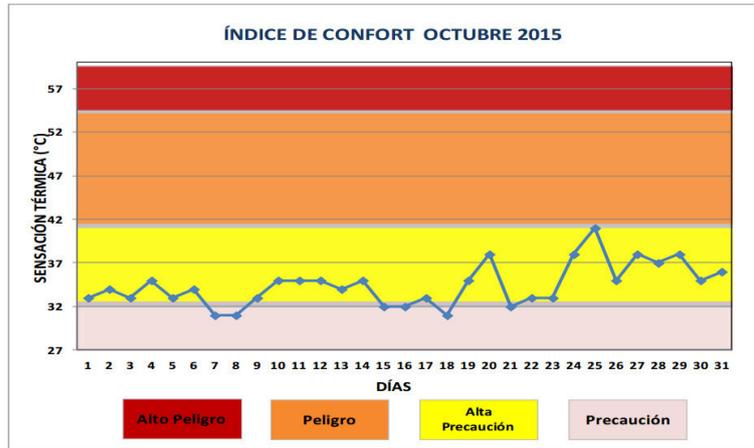
**Gráfico 8. Índice de Confort en la Ciudad en el mes de Agosto**

Fuente: (INAMHI, 2015)



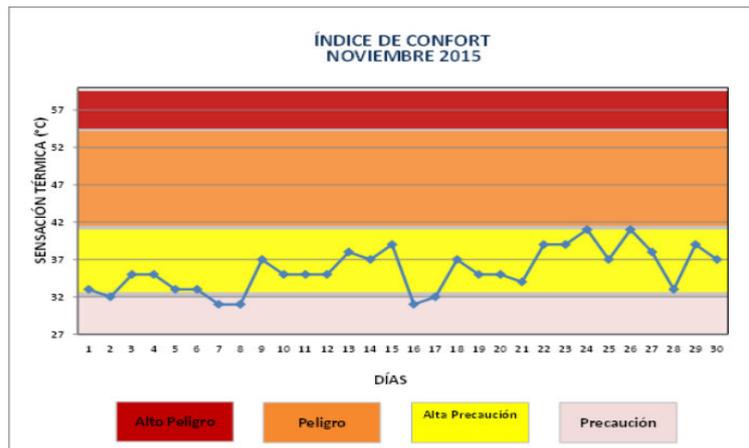
**Gráfico 9. Índice de Confort en la Ciudad en el mes de Septiembre**

Fuente: (INAMHI, 2015)



**Gráfico 10. Índice de Confort en la Ciudad en el mes de Octubre**

Fuente: (INAMHI, 2015)



**Gráfico 11. Índice de Confort en la Ciudad en el mes de Noviembre**

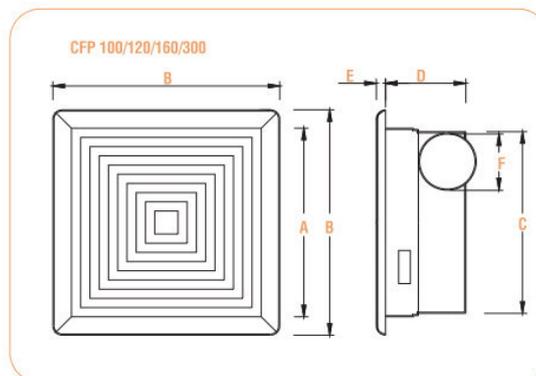
Fuente: (INAMHI, 2015)

**DIMENSIONES**

	CPF 100	CPF 120	CPF 160	CPF 300
A	196	216	255	270
B	139	255	322	326
C	148	212	250	270
D	110	125	125	170
E	10	16	16	18
F	80	100	100	135

Equipos fabricados en plástico.

Dimensiones en mm.



**Gráfico 12. Dimensiones del Ventilador CFP 160**

Fuente: (Soler & Palau)

# **APÉNDICE C**

## **Ecuaciones**

### Ecuación de la Continuidad

$$Q = Av \quad (19)$$

$$Q = 0.15[m^2] * 0.3 \left[ \frac{m}{s} \right] * 60 \left[ \frac{s}{min} \right] * 60 \left[ \frac{min}{h} \right] = 162 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

### Potencia de Cilindro Neumático.

Pistón  $\phi_p = 1[inch]$

Vástago  $\phi_r = 1/2[inch]$

**Tabla 49. Dimensionamiento del Actuador**

Actuador	
Tipo	Pistón neumático
Diam. Del Pistón. inch	1
Diam. Del Vástago. inch	0,5

Fuente: Elaboración Propia

### Extensión

$$\text{Presión} = \frac{W[lb]}{A_p[inch^2]} \quad (20)$$

$$\text{Presión} = \frac{XX[lb]}{\frac{\pi(1^2)}{4}[inch^2]} = XX[psi]$$

$$\text{Velocidad} = \frac{Q_i \left[ \frac{ft^3}{s} \right]}{A_p[ft^2]} \quad (21)$$

$$\text{Velocidad} = \frac{\frac{5}{448} \left[ \frac{ft^3}{s} \right]}{\frac{\pi(1^2)}{4 \cdot 144} [ft^2]} = XX \left[ \frac{ft}{s} \right]$$

$$\text{Potencia} = \frac{v_p \left[ \frac{ft}{s} \right] x W[lb]}{550} \quad (22)$$

$$\text{Potencia} = \frac{XX \left[ \frac{ft}{s} \right] x XX[lb]}{550} = XX[HP]$$

Ó

$$\text{Potencia} = \frac{Q_i[\text{gpm}]x p[\text{psi}]}{1714} \quad (23)$$

$$\text{Potencia} = \frac{XX[\text{gpm}]x[\text{psi}]}{1714} = XX[\text{HP}]$$

**Tabla 50. Dimensionamiento de la Extensión**

Extensión	
Peso lb.	77
Área del pistón in. <sup>2</sup>	0,79
Presión psi	98,04

Caudal ft. <sup>3</sup> /s	0,013
Área del pistón in. <sup>2</sup>	0,0055
Velocidad ft/s	2,46
Potencia HP	0,34

ó

Potencia HP	0,34
-------------	------

Fuente: Elaboración Propia

## Retracción

$$\text{Presión} = \frac{W[\text{lb}]}{A_p[\text{inch}^2] - A_r[\text{inch}^2]} \quad (24)$$

$$\text{Presión} = \frac{XX[\text{lb}]}{\left(\frac{\pi}{4}(1^2)[\text{inch}^2]\right) - \left(\frac{\pi}{4}(0.5^2)[\text{inch}^2]\right)} = XX[\text{psi}]$$

$$\text{Velocidad} = \frac{Q_i \left[ \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \right]}{A_p[\text{ft}^2] - A_r[\text{ft}^2]} \quad (25)$$

$$= \frac{\frac{5}{448} \left[ \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \right]}{\frac{\pi}{4}(1^2) \left[ \text{ft}^2 \right] - \frac{\pi}{4}(0.5^2) \left[ \text{ft}^2 \right]} = XX \left[ \frac{\text{ft}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Potencia} = \frac{v_p \left[ \frac{ft}{s} \right] x W [lb]}{550} \quad (26)$$

$$\text{Potencia} = \frac{XX \left[ \frac{ft}{s} \right] x XX [lb]}{550} = XX [psi]$$

ó

$$\begin{aligned} \text{Potencia} &= \frac{Q_i [gpm] x p [psi]}{1714} \quad (27) \\ &= \frac{XX [gpm] x [psi]}{1714} = XX [HP] \end{aligned}$$

**Tabla 51. Dimensionamiento de la Retracción**

Retracción	
Peso	77
Área del pistón in. <sup>2</sup>	0,79
Área del vástago in. <sup>2</sup>	0,20
Presión psi	130,72
Caudal ft. <sup>3</sup> /s	0,013
Área del pistón in. <sup>2</sup>	0,79
Área del vástago in. <sup>2</sup>	0,20
Velocidad ft/s	3,27
Potencia HP	0,46
ó	
Potencia HP	0,46

Fuente: Elaboración Propia

## Potencia del Compresor

$$\text{Theoretical Horsepower} = \frac{P_{in} Q}{65.4} \left[ \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)^{0,286} - 1 \right] \quad (28)$$

$$\text{Theoretical Horsepower} = \frac{14.7 x 6}{65.4} \left[ \left( \frac{154,7}{14.7} \right)^{0,286} - 1 \right]$$

$$\text{heoretical Horsepower} = 1.3HP$$

$$\text{Actual Horsepower} = \frac{\text{Theoretical Horsepower}}{\eta} \quad (29)$$

$$\text{Actual Horsepower} = \frac{1.3 HP}{0,65}$$

*Actual Horsepower = 2.0HP*

**Tabla 52. Dimensionamiento del Compresor**

Compresor	
Caudal cfm	6
Eficiencia	65%
Presión de entrada	14,7
Diferencial de Presión psig	140
Presión de salida	154,7
Potencia Teórica hp	1,3
Potencia Real hp	2,0

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 53. Característica del Compresor**

Compresor	
Tipo	A pistón
Caudal gpm	6

Fuente: Elaboración Propia

**Caída de presión del Sistema Galvanizado.**

$$\Delta p = 0.15r \left( \frac{L}{D^{1,22}} \right) c^{1,82} \quad (30)$$

$$\Delta p = 0.15 * (0.09[mm]) \left( \frac{3[m]}{0.3598[m]^{1,22}} \right) 0.3 \left[ \frac{m}{s} \right]^{1,82}$$

$$\Delta p = 1.6 * 10^{-2} [Pa]$$

**Tabla 54. Ficha Técnica del Thermolon**

<b>Atributos</b>	<b>Detalle</b>
Beneficios	Mantiene una confortable temperatura a toda hora y en todos los climas, en galpones avícolas aumenta la productividad y reduce la mortalidad, en oficinas, fábricas y bodegas aumenta la productividad de las personas
Tipo	Aislamiento térmico
Características	La capa metálica rechaza por reflexión al 97% del calor radiante, la capa de espuma de polietileno es una barrera térmica
Material	Polietileno
Uso	Comercial e industrial
Color	Gris
Espesor	25.4 mm

Fuente: Elaboración Propia