

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA HABITACIÓN DE
MEZCLAS EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS**

NICOLAS RICARDO GÓMEZ MONTAÑA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2017**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA HABITACIÓN DE
MEZCLAS EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS**

NICOLAS RICARDO GÓMEZ MONTAÑA

**Proyecto de Trabajo de Grado en la modalidad de Solución de un problema de
ingeniería para optar al título de Ingeniero Mecánico**

Director

Manuel Orlando Hernández V.
Ingeniero Mecánico
Profesor de planta Universidad Santo Tomás
Núcleo de Termofluidos

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2017**

CONTENIDO

	pág.
1 RESUMEN	8
3 OBJETIVOS.....	9
3.1 GENERAL.....	9
3.2 ESPECÍFICOS	9
4 MARCO REFERENCIAL	10
4.1 Marco conceptual	10
4.2 Marco teórico.....	12
5 DISEÑO METODOLOGICO	18
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
7 DESARROLLO METODOLOGÍCO	21
7.1 ANALISIS DEL LOCAL Y ESTIMACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA	21
7.1.1 Características del local y condiciones actuales	21
7.1.2 Fuentes de carga térmica interna	25
7.1.3 Calculo de cargas térmicas internas	27
7.1.4 Calculo de cargas térmicas externas	35
7.2 CALCULO DE LA CARGA DE ACONDICIONAMIENTO	40
7.2.1 Resumen de las componentes de carga térmica.....	40
7.2.2 Método Radiant Time Series (RTS)	40
7.3 CONDICIONES DE DISEÑO PARA EL CONFORT HUMANO	45
7.3.1 Uso de la carta psicrométrica	45
7.3.2 Ventilación para confort térmico	48
7.4 PROCESO PSICROMETRICO.....	50
7.4.1 Selección del proceso psicrométrico	50
7.4.2 Cálculos para el proceso de enfriamiento y humidificación	51
7.5 DISEÑO DE DUCTOS DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO	60
7.5.1 Distribución de aire en el espacio a acondicionar	60
7.5.2 Diseño de ductos	62

7.6	SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL SISTEMA	76
7.6.1	Síntesis de información para la selección	76
7.6.2	Búsqueda y selección del equipo en la industria	77
7.7	EQUIPOS Y COMPONENTES	78
7.7.1	Síntesis de equipos y componentes requeridos	78
7.8	COSTO ECONOMICO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO.....	79
7.8.1	Costo de los componentes que conforman el sistema	79
7.8.2	Actividades y costo de mantenibilidad del sistema	79
8	CONCLUSIONES.....	80
9	REFERENCIAS	82
10	ANEXOS	85
10.1	Anexo 1.....	85
10.2	Anexo 2.....	85
10.3	Anexo 3.....	86
10.4	Anexo 4.....	87
10.5	Anexo 5.....	91
10.6	Anexo 6.....	94
10.7	Anexo 7.....	96
10.8	Anexo 8.....	100
10.9	Anexo 9.....	102
10.10	Anexo 10.....	104
10.11	Anexo 11.....	105
10.12	Anexo 12.....	107
10.13	Anexo 13.....	108
10.14	Anexo 14.....	113
10.15	Anexo 15.....	115
10.16	Anexo 16.....	118

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 9.1.1.1 – Diseño metodológico.....	18
Tabla 9.1.1.1 – Condiciones del aire en la ubicación de la zona a acondicionar	21
Tabla 9.1.1.2 – Mediciones generales de la habitación.	22
Tabla 9.1.1.3 – Características y medidas de los muros.....	22
Tabla 9.1.1.4 – Temperaturas de las zonas adyacentes.....	22
Tabla 9.1.1.5 – Datos de temperatura y humedad para el medidor #1.....	24
Tabla 9.1.1.6 – Datos de temperatura para el medidor #2.....	24
Tabla 9.1.1.7 – Datos de temperatura para el medidor #3.....	24
Tabla 9.1.1.8 – Temperatura y humedad relativa de la zona a acondicionar.	24
Tabla 9.1.2.1 – Datos del armario y los tableros eléctricos.	25
Tabla 9.1.2.2 – Datos de la iluminación.	26
Tabla 9.1.2.3 – Datos de los motores eléctricos.....	26
Tabla 9.1.2.4 – Datos del personal de planta.	26
Tabla 9.1.2.5 – Datos de tubería.....	27
Tabla 9.1.3.1 – Calculo carga térmica generada por tableros eléctricos.	28
Tabla 9.1.3.2 – Calculo carga térmica generada por iluminación.	29
Tabla 9.1.3.3 – Eficiencia nominal mínima para motores tipo A y B.	30
Tabla 9.1.3.4 – Calculo carga térmica generada por motores eléctricos.....	31
Tabla 9.1.3.5 – Tasas representativas del calor latente y sensible en seres humanos. ...	31
Tabla 9.1.3.6 – Calculo carga térmica generada por personas.	32
Tabla 9.1.3.7 – Variables de la ecuación [5].....	32
Tabla 9.1.3.8 – Variables de la ecuación [6.1].....	33
Tabla 9.1.3.9 – Ecuaciones de carga térmica generada por la tubería de vapor.	33
Tabla 9.1.3.10 – Calculo de carga térmica disipada por convección en tubería.	34
Tabla 9.1.3.11 – Calculo de carga térmica disipada por radiación en la tubería.	34
Tabla 9.1.3.12 – Carga térmica total generada por la tubería.....	34
Tabla 9.1.4.1 – Resistencias térmicas a través de una pared.	37
Tabla 9.1.4.2 – Coeficientes de transferencia de calor por convección.....	38
Tabla 9.1.4.3 – Propiedades térmicas para materiales de construcción (mampostería)...	38
Tabla 9.1.4.4 – Valores y cálculo transferencia de calor por paredes.	39
Tabla 9.1.4.5 – Valores y cálculo transferencia de calor por ventana.	39
Tabla 9.2.1.1 – Valores de las componentes de carga térmica.	40
Tabla 9.2.2.1 – Comportamiento de las componentes de carga térmica.....	41
Tabla 9.2.2.2 – Transferencia de calor por piso	42
Tabla 9.2.2.3 – Transferencia de calor por paredes.....	42
Tabla 9.2.2.4 – Valores y comportamiento de las cargas en un ciclo de 24 horas.	44
Tabla 9.3.1.1 – Tasa metabólica y aislamiento de ropa.	45
Tabla 9.3.1.2 – Niveles de humedad relativa internos.	46
Tabla 9.3.1.3 – Características carta psicrométrica.	47
Tabla 9.3.1.4 – Propiedades del aire acondicionado.....	47
Tabla 9.3.2.1 – Tasas mínimas de ventilación en una zona de respiración.	48
Tabla 9.3.2.2 – Aire exterior mínimo requerido para ventilación.....	49
Tabla 9.3.2.3 – Aire exterior mínimo con FS requerido para ventilación.	49

Tabla 9.4.1.1 – Condiciones actuales vs confort térmico.....	50
Tabla 9.4.1.2 – Condiciones actuales vs confort térmico.....	50
Tabla 9.4.1.3 – (Continuación).....	51
Tabla 9.4.2.1 – Especificación de procesos en el sistema.....	52
Tabla 9.4.2.2 – Puntos de análisis del aire en el sistema de aire acondicionado.	52
Tabla 9.4.2.3 – Condiciones de suministro y extracción de aire en la zona.	53
Tabla 9.4.2.4 – Condiciones de suministro de aire exterior.	53
Tabla 9.4.2.6 – Factor de calor sensible y pendiente 1-2.....	54
Tabla 9.4.2.7 – Condiciones del punto 5.	57
Tabla 9.5.1.1 – Características distribución de ductos.....	61
Tabla 9.5.1.2 – (Continuación).....	62
Tabla 9.5.2.1 – Velocidades de flujo recomendadas en ductos.....	62
Tabla 9.5.2.2 – Velocidades recomendadas en ductos.....	63
Tabla 9.5.2.3 – Calculo del caudal en ductos de suministro.	64
Tabla 9.5.2.4 – Calculo área de sección transversal ducto tramo “A”.	64
Tabla 9.5.2.5 – Calculo área de sección transversal ducto tramos B, C y D.....	65
Tabla 9.5.2.6 – Valor de los lados del ducto principal “A”.	65
Tabla 9.5.2.7 – Valor de los lados de las ramificaciones.	66
Tabla 9.5.2.8 – Valor de los diámetros equivalente en ductos.....	66
Tabla 9.5.2.9 – Datos conocidos para el ducto principal.	67
Tabla 9.5.2.10 – Calculo número de Reynolds.....	67
Tabla 9.5.2.11 – Datos conocidos para los ductos ramales.....	68
Tabla 9.5.2.12 – Calculo número de Reynolds.....	68
Tabla 9.5.2.13 – Accesorios sistema de ductos.	69
Tabla 9.5.2.14 – Relaciones coeficiente para codos a 90°.	70
Tabla 9.5.2.15 – Relaciones factor de corrección del ángulo.	70
Tabla 9.5.2.16 – Relaciones factor de corrección para Reynolds.....	71
Tabla 9.5.2.17 – Caída de presión total en la sección de ducto.	71
Tabla 9.5.2.18 – Velocidades recomendadas en ductos.....	72
Tabla 9.5.2.19 – Calculo del caudal en ductos de extracción.	72
Tabla 9.5.2.20 – Calculo área de sección transversal ducto tramos “E, F y G”.....	72
Tabla 9.5.2.21 – Valor de los lados del ducto de extracción.	73
Tabla 9.5.2.22 – Datos conocidos para de extracción de aire.	73
Tabla 9.5.2.23 – Calculo número de Reynolds (tabla 9.5.2.10).....	74
Tabla 9.5.2.24 – Relaciones coeficiente para codos a 90°.	75
Tabla 9.5.2.25 – Relaciones factor de corrección del ángulo.	75
Tabla 9.5.2.26 – Relaciones factor de corrección para Reynolds.....	75
Tabla 9.6.1.1 – Datos para selección de equipos.....	76
Tabla 9.6.2.1 – Especificaciones del equipo manejador de aire seleccionado.....	77
Tabla 9.6.2.2 – Especificaciones del equipo condensador de aire seleccionado.....	78
Tabla 9.7.1.1 – Equipos y componentes requeridos.	78
Tabla 9.8.1.1 – Costos de equipos, componentes e implementación.....	79

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 5.2-1 – Acondicionamiento de aire en un recinto.....	12
Figura 5.2-2 – Carta psicrométrica para el método gráfico.....	13
Figura 5.2-3 – Cargas de calefacción y refrigeración.	14
Figura 5.2-4 – Procesos de acondicionamiento de aire.....	16
Figura 5.2-5 – Ciclo de evolución del aire climatizado en carta psicrométrica.....	17
Figura 9.1.1 – Ubicación medidores de temperatura.....	23
Figura 9.1.2 – Pinza amperimétrica Kyoritsu kew 2046R.....	25
Figura 9.1.3 – Direcciones de las transferencias de calor en el espacio a acondicionar.....	36
Figura 9.1.4 – Sistema de resistencias a través de una pared.....	37
Figura 9.2.1 – Perfil de cargas térmicas #1.....	43
Figura 9.2.2 – Perfil de cargas térmicas #2.....	43
Figura 9.2.3 – Perfil de cargas térmicas #3.....	44
Figura 9.3.1 – Zonas de confort para invierno y verano.....	46
Figura 9.4.1 – Esquema general del sistema de aire acondicionado.....	51
Figura 9.4.2 – Esquema del serpentín de enfriamiento.....	58
Figura 9.5.1 – Esquema del sistema de ductos.....	61
Figura 9.5-2 – Esquema codos rectangulares a 90°.....	69
Figura 12.2.1 – Grafica temperatura y humedad año 2016 Facatativá.....	85
Figura 12.5.1 – Grafica temperatura zona 1.....	91
Figura 12.5.2 – Grafica humedad zona 1.....	91
Figura 12.5.3 – Grafica temperatura zona 2.....	92
Figura 12.5.4 – Grafica humedad zona 2.....	92
Figura 12.5.5 – Grafica temperatura zona 3.....	93
Figura 12.5.6 – Grafica humedad zona 3.....	93
Figura 12.12.1 – Carta psicrométrica para 2286 msnm con el punto de confort encontrado.....	107
Figura 12.13.1 – Carta psicrométrica con los puntos 1, 2 y 4 del proceso.....	108
Figura 12.13.2 – Carta psicrométrica con línea de proceso 1-2 y su proyección.....	109
Figura 12.13.3 – Carta psicrométrica con propiedades del aire en el punto 5.....	110
Figura 12.13.4 – Carta psicrométrica con línea de proceso 5-1 y su proyección.....	111
Figura 12.13.5 – Carta psicrométrica con el proceso psicrométrico de enfriamiento y humidificación.....	112

1 RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es diseñar un sistema de aire acondicionado para la habitación de mezclas en una planta para producción de alimentos, ubicada en Facatativá, Cundinamarca. Esto, ya que en la actualidad el uso del aire acondicionado cobra importancia en varios sectores a nivel industrial debido a sus aplicaciones. En primera instancia, a nivel doméstico las personas pueden vivir con mayor confort y de manera más saludable, y segundo, a nivel industrial se ve implícito el uso de estos sistemas ya que con un buen diseño pueden lograr una mayor eficiencia en los procesos industriales, en términos económicos, de productividad y bienestar laboral. (1) Por lo cual el presente diseño plantea la solución a una necesidad identificada, que está definida por el inconformismo de los operarios de planta con las condiciones ambiente inapropiadas para laborar dentro del área denominada “mezclas húmedas” debido a las altas temperaturas, niveles de humedad y escasa circulación de aire en la zona.

Para el desarrollo de este proyecto se pondrán en práctica los conocimientos adquiridos en la rama de la ingeniería mecánica de termofluidos, haciendo énfasis en los temas relacionados con refrigeración y aire acondicionado. Lo cual implica desarrollar una metodología de trabajo que permita en primera instancia conocer a plenitud las condiciones actuales del área a acondicionar, determinando las cargas térmicas a nivel interno y externo de la zona, además de un levantamiento metrológico que evidencie la distribución en campo de equipos, ductos y demás componentes que operan dentro del sitio. Para esto se hace necesario el uso de instrumentos de medición tales como: flexómetro, medidor de distancia laser, termómetro infrarrojo, higrómetro, sensores de temperatura y calibrador pie de rey. Debe señalarse que también se requiere el uso de herramientas computacionales como: Autodesk Inventor, AutoCAD y una suite ofimática. Igualmente, es necesario el manejo de libros, catálogos, manuales y demás recursos bibliográficos e información comercial relacionada con el tema a tratar.

En cuanto a la duración del proyecto, este tiene un tiempo estimado de desarrollo de 260 horas, que equivalen a 32.63 días de trabajo, con una intensidad horaria de 8 horas según el cronograma establecido y se espera que tenga un costo total aproximado de \$9.957.190. Así pues, se espera cumplir de la mejor manera con la necesidad identificada para mejorar las condiciones de ambiente (temperatura, humedad y calidad del aire) lo que represente un beneficio tanto para los operarios como para el personal de gerencia, mejorando así las relaciones y el ambiente laboral en planta, que a su vez repercutirá en el rendimiento laboral de los operarios.

3 OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Diseñar un sistema de aire acondicionado para la habitación de mezclas en una planta para producción de alimentos, ubicada en Facatativá, Cundinamarca.

3.2 ESPECÍFICOS

1. Determinar las condiciones físicas, térmicas y de ambiente en la habitación de mezclas mediante visitas técnicas al área para la recolección y análisis de datos.
2. Determinar y seleccionar los equipos y componentes (ductos) requeridos para satisfacer la necesidad de acondicionamiento de aire.
3. Determinar el costo de implementación y puesta en servicio del sistema a través de consultas en el sector comercial de sistemas de aire acondicionado.

4 MARCO REFERENCIAL

4.1 Marco conceptual

Aire Acondicionado: “Es un proceso combinado que realiza muchas funciones simultáneamente. Acondiciona el aire, lo transporta e introduce en el espacio a acondicionar. Proporciona calefacción y refrigeración desde su planta central o unidad de techo. También controla y mantiene la temperatura, humedad, movimiento y limpieza del aire, niveles de ruido y presión diferencial en un espacio dentro de límites predeterminados para el confort y la salud de los ocupantes del espacio a acondicionar o para propósitos del procesamiento del producto.”(6)

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Es una sociedad fundada en 1894, que promueve el bienestar humano a través de tecnologías sostenibles. Esta sociedad y sus miembros se centran en la construcción de sistemas de edificios, la eficiencia energética, la calidad interna del aire, refrigeración y sostenibilidad dentro de la industria. A través de la investigación, la redacción y publicación de normas, y la educación continuada. (7)

Calor específico: (C_p) Se define como la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia.(8)

Calor latente: (Q_L) Se define como la energía liberada o absorbida durante un proceso de cambio de fase (no hay cambio de temperatura).

Calor sensible: (Q_S) Es el calor que genera un cambio en el estado de la materia, sin generar un cambio de fase (aumento de la temperatura). “Es el calor que puede medirse o sentirse.”(9)

Carga de calefacción y refrigeración: Es la tasa de entrada de energía (calefacción), o la tasa de extracción de energía (refrigeración) requerida para mantener un ambiente interno a unas condiciones de temperatura y humedad deseadas. Los sistemas de aire acondicionado están diseñados, dimensionados y controlados para cumplir con esa transferencia de energía. (10)

Carta psicrométrica: Es una representación gráfica para las propiedades termodinámicas del aire húmedo entre las que se encuentran: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de saturación, humedad específica, humedad relativa, volumen específico, temperatura del punto de rocío. Cabe resaltar que las cartas psicrométricas están en función la ubicación sobre el nivel del mar (msnm), ya que la presión del aire se ve alterada por el cambio de altura y por ende sus propiedades mismas.(11)

Conducción: Se define como “la transferencia de energía de las partículas más energéticas hacia las menos energéticas de una sustancia.”(12)

Confort térmico humano: Es el estado de satisfacción que siente una persona con el ambiente circundante al establecer un valor en las propiedades de temperatura, humedad, movimiento y calidad del aire.

Convección: Se define como “la transferencia de energía entre una superficie sólida y el fluido adyacente que se encuentra en movimiento.”(8)

Humedad específica: (w) Se define como la masa de vapor de agua existente en una unidad de masa de aire seco.

Humedad relativa: (HR) Se define como la relación entre la cantidad de vapor de agua existente en el aire y la cantidad máxima de humedad que este mismo aire puede contener a la misma temperatura.(8)

Psicrometría: “Es el estudio de las propiedades termodinámicas del aire húmedo”.(6)

Además, el manual de CARRIER la define como “la ciencia que trata de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y sobre el confort humano”. Sin embargo, la definición debe ser ampliada para poder incluir el método de controlar las propiedades térmicas del aire húmedo.(13)

Radiación: Es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. (No requiere la presencia de un *medio interventor*). (12)

Radiación térmica: Es el tipo de radiación emitida como resultado de las transiciones energéticas de las moléculas, los átomos y los electrones de una sustancia. Dicha transición se puede ver reflejada y medida por la temperatura que generan dichas sustancias en su interacción molecular.(12)

Temperatura de bulbo húmedo: (T_{BH}) Es el valor de temperatura en el aire que tiene en cuenta la humedad. Dicha medición se realiza con un termómetro especial que posee una gasa o algodón húmedo sobre el bulbo del termómetro.(9)

Temperatura de Bulbo seco: (T_{BS}) Valor de temperatura en el aire medido con un termómetro normal, dicha medida no tiene en cuenta la humedad en el aire.

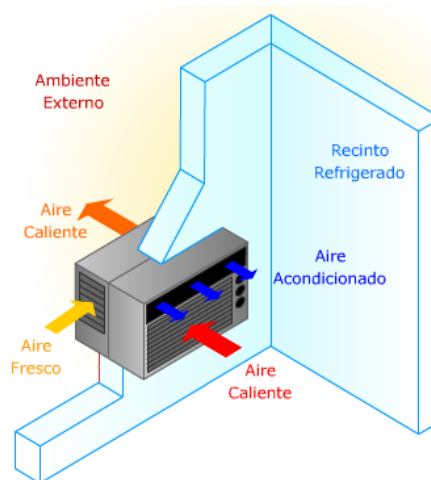
Temperatura punto de rocío: (T_{DP}) Se define como la temperatura a la cual comienza el proceso de condensación de humedad cuando el aire se enfría a presión constante. (13)

Transferencia de calor: Es la ciencia que se encarga de estudiar la rapidez con la que se realiza la transferencia de energía térmica; teniendo en cuenta que dicha transferencia se presenta como resultado de la diferencia de temperaturas existentes entre sistemas.(12)

4.2 Marco teórico

A partir del concepto “aire acondicionado”, el cual se define como el proceso combinado que realiza varias funciones con el aire de manera simultánea, algunas de las funciones o procesos que se ejecutan son: calentar, enfriar, humidificar, deshumidificar, purificar y distribuir aire en los diferentes espacios acondicionados.(6) Además, de acuerdo con el tipo de sistema es posible que el equipo tenga la posibilidad de introducir, expulsar, recircular o mezclar el aire existente en la zona con aire del exterior. Es posible afirmar que los sistemas de acondicionamiento de aire deben poseer algunos componentes básicos como: Un equipo de calefacción, un equipo de enfriamiento, un sistema de distribución (sistema de ductos para transportar el fluido), equipos de ventilación para mover el fluido y dispositivos como radiadores para transmitir el calor entre el fluido y el recinto. Sin embargo, dichos sistemas están compuestos de componentes y equipos dispuestos en secuencia para acondicionar, transportar el aire al espacio a acondicionar y controlar los parámetros de entrada entre los límites requeridos.

Figura 4.2-1 – Acondicionamiento de aire en un recinto.



Fuente: (<http://www.si3ea.gov.co/Eure/>)(14).

Por otra parte, los sistemas de aire acondicionado diseñados para confort proporcionan a los ocupantes un ambiente interior confortable y saludable en el cual puedan realizar sus labores. Es por esto que en la actualidad los sistemas de aire acondicionado se han diversificado por gran cantidad de los sectores económicos tales como: el sector comercial (supermercados, centros comerciales, restaurantes), el sector institucional (colegios, universidades, bibliotecas), residencial (hoteles, apartamentos, casas), de asistencia sanitaria (hospitales, ancianatos), el sector transporte (aeronaves, automóviles, barcos y autobuses) y el sector industrial. (6)

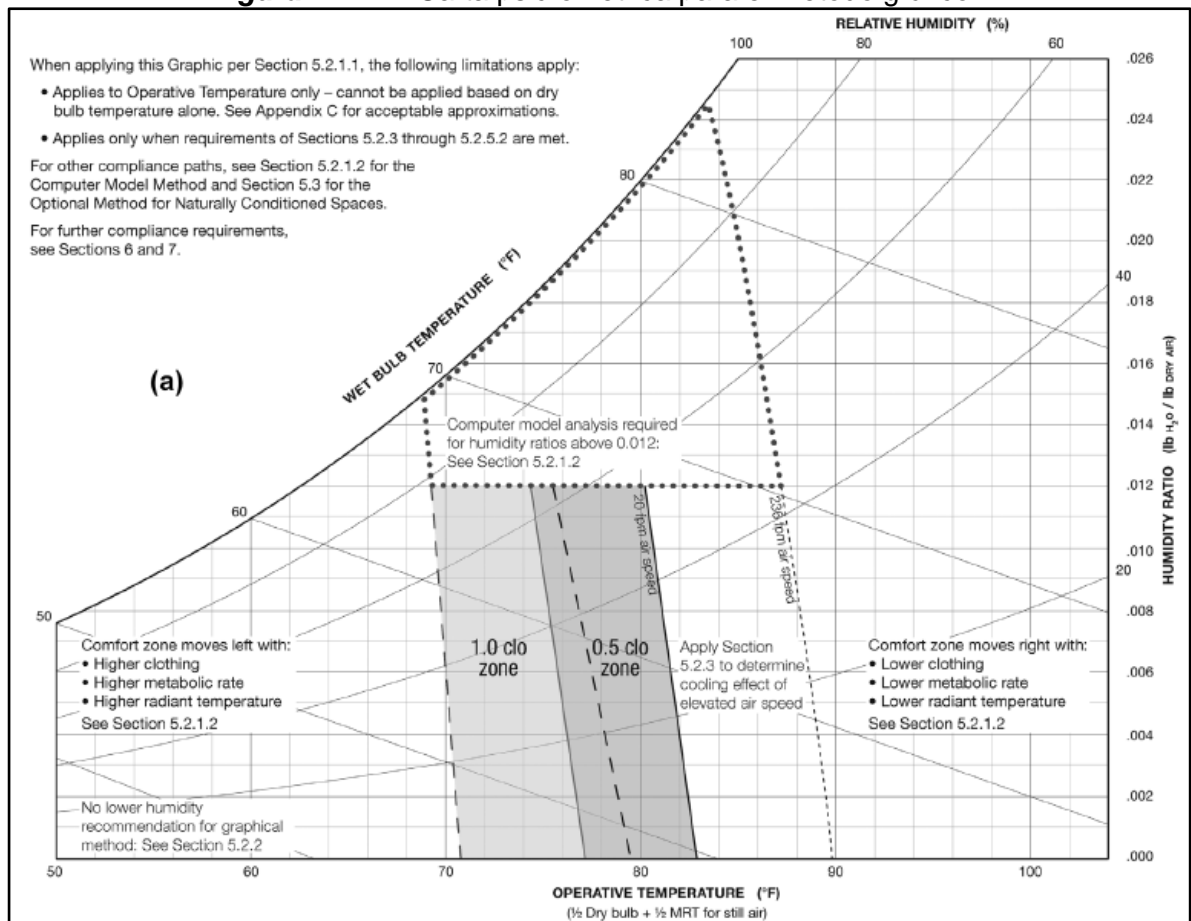
Ahora bien, es conveniente establecer las bases del concepto “confort humano”, debido a que es uno de los objetivos principales que puede tener el diseño de un sistema de aire acondicionado. El término “confort humano” se define como la satisfacción con el entorno térmico, sin embargo, dicha satisfacción es una respuesta subjetiva compleja a varias

variables que interactúan entre si y varían de diferente manera a medida que el tiempo transcurre, lo que responde a que no todos los individuos perciben con la misma aceptación el grado térmico del ambiente. Los seis factores que deben ser tenidos en cuenta cuando se definen las condiciones de confort térmico son: Tasa metabólica [*met*], aislamiento de la ropa [*clo*], temperatura del aire [$^{\circ}F$], temperatura radiante [$^{\circ}F$], velocidad del aire y humedad relativa.(15) Sin embargo, es posible establecer las condiciones ideales para al menos el 80% de los ocupantes adultos en un espacio y para ello es posible revisar el estándar 55 y el capítulo “Principios fisiológicos para el confort y salud” del ASHRAE Handbook – Fundamentals.(16)

Para establecer las condiciones de confort térmico el estándar 55 de la ASHRAE establece dos métodos aceptables para su cálculo, los cuales son: Un método gráfico simplificado y un modelo de balance térmico. Cualquiera de los dos métodos es posible usarlo siempre y cuando se tengan en cuenta los criterios de cada uno.

A continuación se muestra la figura del método gráfico, la cual es posible usar siempre y cuando los niveles de tasa metabólica debido a las actividades que los ocupantes realicen estén en el rango de 1.0 – 1.7 *met* y el aislamiento de la ropa se encuentre entre 0.5 – 1.0 *clo*.

Figura 4.2-2 – Carta psicrométrica para el método gráfico.



Fuente: (ANSI/ASHRAE Standard 55^a-1995)(17)

Otro punto importante en el diseño de un sistema de aire acondicionado es el proceso de cálculo de cargas de refrigeración y calefacción, debido a que son la base para el diseño del sistema y sus componentes. Dichos cálculos afectan de manera directa en el dimensionamiento y capacidad de los siguientes componentes:

- Tubería.
- Ductos de aire.
- Difusores.
- Manejadores de aire.
- Calderas.
- Chillers.
- Serpentes.
- Compresores.
- Ventiladores.

Además, otros factores que se ven afectados por el proceso de cálculo de cargas son:

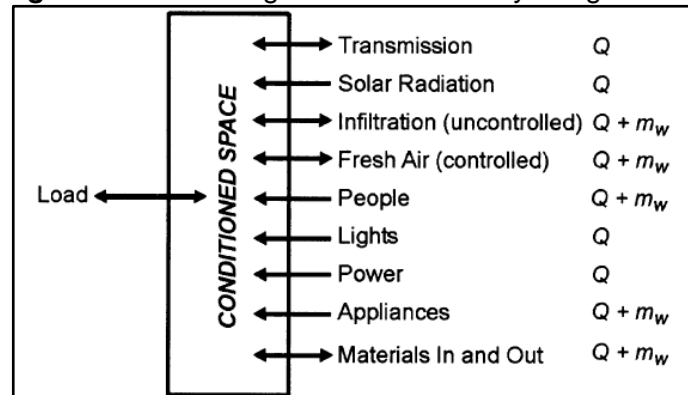
- El costo de construcción.
- Confort y productividad para ocupantes.
- Consumo de energía y costo de operación.

Los principios por los cuales se desarrollan los cálculos de carga de refrigeración están basados en los procesos de transferencia de calor (conducción, convección y radiación) a través la estructura del edificio y de fuentes internas y componentes del sistema, ya que por medio de estos procesos se generan las diferentes ganancias de calor. Las variables (cargas térmicas) que afectan las cargas de refrigeración son las siguientes:

- **Externas:** Paredes, techos, ventanas, claraboyas, puertas, cielorrasos y pisos.
- **Internas:** Iluminación, personas, equipos y electrodomésticos.
- **Infiltración:** Fugas de aire y migraciones de humedad.
- **Sistema:** Aire exterior, fugas en ductos y ganancias de calor, recalentamiento, ventilación, bomba de energía y recuperación de energía.

A continuación, en la *figura 5.2.4* se ilustran los componentes de las cargas de calefacción y refrigeración.

Figura 4.2-3 – Cargas de calefacción y refrigeración.



Fuente: (ASHRAE, Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning-2013)(18).

Las componentes de carga nombradas anteriormente con frecuencia son difíciles de definir con precisión y están interrelacionadas unas con otras, debido a que oscilan en magnitud y dirección durante un periodo de 24 horas y estas no están en fase unas con otras. Por lo cual, es necesario analizar cada componente para establecer la carga de enfriamiento máxima. (10)

Además de los factores nombrados anteriormente en el diseño de un sistema de aire acondicionado, también es necesario mostrar los diferentes flujos de calor que intervienen en el proceso, debido a que estos añaden las cargas térmicas mencionadas con anterioridad.

1. **Ganancias de calor en el espacio**: Tasa instantánea de ganancias de calor que entran o son generadas dentro del espacio a acondicionar. Las ganancias de calor se pueden clasificar por su forma de entrada al espacio y si son sensibles o latentes.

Procesos de ganancias de calor:

1. Radiación solar a través de superficies transparentes.
2. Conducción de calor a través de paredes y techos exteriores.
3. Conducción de calor a través de cielorrasos, pisos y paredes interiores.
4. Calor generado en el espacio por los ocupantes, las luces, los equipos y accesorios.
5. Transferencia de energía mediante ventilación directa e infiltraciones de aire exterior. (10)

Tipos de calor presentes en las transferencias de calor:

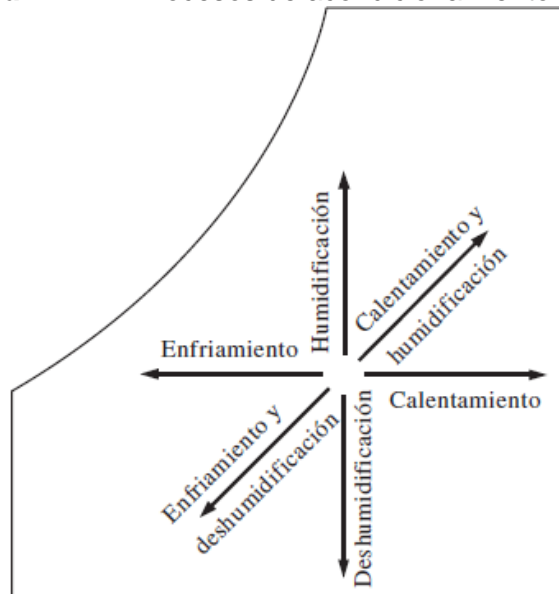
1. **Calor Sensible**: Es añadido directamente al espacio a acondicionar por conducción, convección y/o radiación.
2. **Calor Latente**: Ocurre cuando humedad es añadida al espacio a acondicionar (vapor emitido por ocupantes y equipos).
2. **Carga de enfriamiento del espacio**: Tasa a la que el calor latente y sensible debe ser removido del espacio para mantener constante la temperatura y humedad del aire en el espacio.
3. **Tasa de extracción de calor en el espacio**: Velocidades a las cuales el calor sensible y latente son removidos del espacio acondicionado iguales a la carga de enfriamiento, siempre y cuando la temperatura del aire y humedad sean constantes.
4. **Carga en el serpentín de enfriamiento**: Velocidad a la cual la energía es removida en el serpentín de enfriamiento.(10)

Asimismo, es imperativo definir los procesos de acondicionamiento de aire que se deben establecer durante el periodo de diseño de un sistema de aire acondicionado, con el propósito de controlar las propiedades de determinado volumen de aire. A continuación se definen los cuatro procesos principales:

- **Humidificación:** Es un proceso que consiste en el aumento de la cantidad de vapor presente en una corriente gaseosa.
- **Calentamiento:** Proceso que se lleva a cabo para elevar la temperatura de determinado volumen de aire.
- **Deshumidificación:** Es un proceso en el que se presenta la extracción de la humedad relativa de un determinado volumen de aire.
- **Enfriamiento:** Proceso en el cual se reduce la temperatura de determinado volumen de aire.

Los procesos de acondicionamiento de aire definidos anteriormente se ilustran a continuación en la carta psicrométrica.

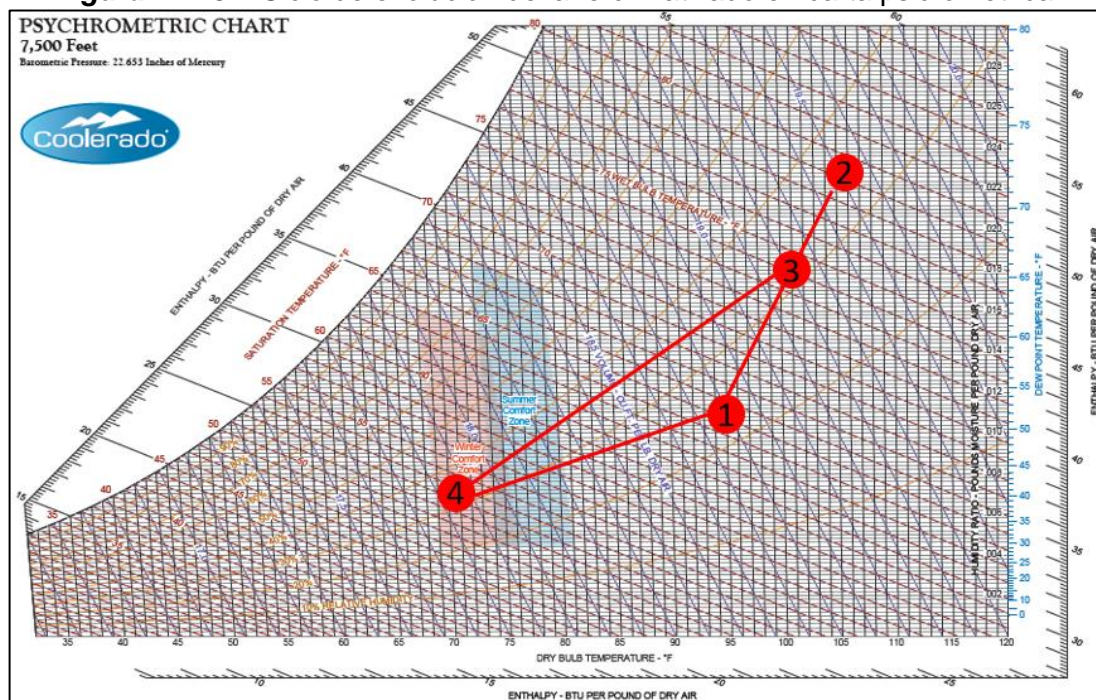
Figura 4.2-4 – Procesos de acondicionamiento de aire.



Fuente: (Termodinámica, Cengel)(8).

Igualmente, con el diagrama de la carta psicrométrica es posible determinar el ciclo de evolución del aire climatizado como se muestra en la **figura 5.2-5** – *Ciclo de evolución del aire climatizado*.

Figura 4.2-5 – Ciclo de evolución del aire climatizado en carta psicrométrica.



Fuente: (<http://www.engineeringtoolbox.com>)(19)

De la imagen anterior, es posible establecer que:

- (2) → Aire tomado del exterior.
- (1) → Aire de retorno (en caso de que se utilice aire de retorno).
- (3) → Mezcla de aire exterior con aire de retorno. ((3) = (2) + (1))
- (4) → Salida del aire del aparato acondicionador.
- Línea (3 – 4) → Evolución del aire en el aparato acondicionador.
- Línea (4 – 1) → Evolución del aire impulsado hacia el local, donde absorbe calor y humedad.

En relación a la importancia del sector de aire acondicionado y refrigeración, realizando una búsqueda de información es posible afirmar que en Colombia es un sector que se encuentra actualmente en crecimiento debido a que Colombia es un país en el cual el 80% de las ciudades requiere del aire acondicionado tanto a nivel doméstico, como comercial y en términos de industria es un sector transversal ya que es requerido para el control de muchos procesos en diversos tipos de industria, lo que genera 60.000 empleos, debido a la venta de 750.000 equipos de aire acondicionado, de los cuales el 65% son importados, mientras que el 35% restante son ensamblados nacionales por cuatro compañías locales, de acuerdo con el presidente de ACAIRE (Asociación Colombiana de Aire Acondicionado del Aire y de la Refrigeración).(20) De modo accesorio, a nivel industrial se venden cerca de 200.000 equipos de aire acondicionado al año, de los cuales el 80% son de marcas extranjeras. En otras palabras, en el país existe una carencia de empresas y personas calificadas que desarrollen e implementen los sistemas de aire acondicionado en Colombia.(21)

5 DISEÑO METODOLOGICO

Tabla 7.1.1.1 – Diseño metodológico.

OBJETIVO ESPECÍFICO 1	
<p>Determinar las condiciones físicas, térmicas y de ambiente en la habitación de mezclas mediante visitas técnicas al área para la recolección y análisis de datos.</p>	
Actividad # 1.1	<p>Determinar el valor de las cargas térmicas internas que inciden en el aumento de la carga de acondicionamiento de aire de la zona (mediante el desarrollo de las actividades 1.1.1, 1.1.2 y 1.1.3. Algunas de las cargas presentes pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personal laborando dentro de la zona. • Iluminación. • Equipos eléctricos (motores, tableros, otros). • Ductos y depósitos de agua caliente.
Actividad # 1.1.1	<p>Elaborar un plano arquitectónico que permita conocer la distribución de equipos, componentes, ubicación de ventanas, puertas, y demás elementos que se encuentren instalados en la habitación, a través de un levantamiento metrológico en campo y el uso de software CAD “AutoCAD”.</p>
Actividad # 1.1.2	<p>Realizar el levantamiento de la información técnica referente a los valores de carga térmica existentes en la zona, mediante el uso de instrumentos de medición como: higrómetros, cinta métrica, medidor de temperatura laser, sensores de temperatura, etc. Algunas fuentes de carga térmica pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tuberías, con sus respectivos datos de temperatura, diámetro, longitud, material de fabricación, fluido que transporta, etc. • Motores eléctricos, con valores de potencia, velocidad angular, corriente de alimentación, calor disipado, etc. • Tableros eléctricos, con sus valores de capacidad instalada y corriente de alimentación. • Otros componentes que se identifiquen en las visitas técnicas y que aporten al valor total de carga térmica interna en la zona.
Actividad # 1.1.3	<p>Realizar los cálculos pertinentes con los datos anteriormente recolectados para determinar los valores de cargas térmicas internas presentes en el área, de acuerdo con lo establecido en el “ASHRAE Handbook Fundamentals 2009”.</p>
Actividad # 1.2	<p>Determinar el valor de las cargas térmicas externas que inciden en el aumento de la carga de acondicionamiento de aire, mediante la toma de datos y el posterior cálculo de acuerdo con lo establecido en el “ASHRAE Handbook Fundamentals 2009”. Algunas de las cargas presentes pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radiación solar por ventanas. • Radiación solar que incide sobre paredes y techo. • Temperatura del aire exterior. • Presión de vapor de agua. • Viento que sopla contra una pared del edificio. • Aire exterior necesario para la ventilación. • Infiltraciones de aire exterior.

Fuente: Autor.

Tabla 6.1.1.1 – (Continuación).

Actividad # 1.3	Realizar la estimación de carga total de acondicionamiento requerida en la zona, de acuerdo con los valores anteriormente calculados para las cargas internas y externas en la zona con base en el libro ASHRAE Handbook Fundamentals 2009.
Actividad # 1.4	Determinar las condiciones de diseño requeridas con base en los estándares de confort establecidos por la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).
OBJETIVO ESPECÍFICO 2	
Determinar y seleccionar los equipos y componentes (ductos) requeridos para satisfacer la necesidad de acondicionamiento de aire.	
Actividad # 2.1	Seleccionar el equipo acondicionador con base en los datos determinados previamente, la utilización del diagrama psicrométrico y demás teoría que sirva de sustento como el “ASHRAE Handbook Fundamentals 2009” y el “Manual de aire acondicionado de CARRIER, y los equipos que mejor se adapten a la necesidad y sean de fácil adquisición a nivel comercial en el país.
Actividad # 2.2	Determinar el caudal necesario y la correcta distribución de aire que se debe suministrar en la zona para contrarrestar el valor de carga térmica presente de acuerdo con lo establecido en el “ASHRAE Handbook Fundamentals 2009”.
Actividad # 2.3	Determinar el tipo y la disposición de los ductos en campo para cumplir con la distribución de aire mediante lo establecido en el “ASHRAE Handbook Fundamentals 2009”.
OBJETIVO ESPECÍFICO 3	
Determinar el costo de implementación y puesta en servicio del sistema a través de consultas en el sector comercial de sistemas de aire acondicionado.	
Actividad # 3.1	Determinar la naturaleza de todos los costos para realizar el montaje y puesta en servicio del sistema de aire acondicionado. Algunos de los costos son: <ul style="list-style-type: none"> • Compra de los equipos. • Transporte de los equipos hasta el lugar de montaje. • Mano de obra para el montaje en sitio de los equipos.
Actividad # 3.2	Establecer el valor de cada uno de los costos fijados anteriormente, para definir el costo total de implementación y puesta en funcionamiento del sistema, mediante consultas al sector comercial de aire acondicionado a nivel nacional.

Fuente: Autor.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS

El equipo acondicionador como solución para la necesidad identificada en este proyecto es una unidad manejadora de aire con una capacidad nominal mínima de 8,99 *TR* y 4831,05 *cfm*. Sin embargo, a nivel comercial no es posible encontrar un equipo con estas capacidades exactas, por lo que se hace pertinente escoger una unidad con las características más cercanas con valores por encima de estas, para lo que se selecciona una unidad de 10 *TR* y 5000 *cfm* que presente en su volumen de control dos inyecciones de aire:

1. Suministro de aire exterior para satisfacer las necesidades de ventilación.
2. Retorno de aire no acondicionado que se extrae de la habitación.

Y una extracción de aire:

1. Salida de aire acondicionado del equipo para ser inyectado a la zona a acondicionar.

De igual manera, se requieren las tres secciones de ductos para el transporte de los tres tipos de aire descritos anteriormente. Dichos ductos están contruidos en láminas de acero galvanizado de forma rectangular, deben ir unidos por tornillería y además estar siliconados en sus extremos. Al mismo tiempo, la sección de suministro de aire acondicionado a la zona debe presentar un aislamiento térmico para prevenir las ganancias de calor a lo largo de su trayecto, dicho aislamiento debe ser en fibra de vidrio y debe ser instalado en la parte exterior del ducto.

7 DESARROLLO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de varios de los procedimientos descritos a continuación es importante dejar claro que en el área de sistemas de aire acondicionado y refrigeración se usan manuales y demás documentos técnicos con autoría de la ASHRAE, CARRIER y demás entidades competentes a nivel internacional.

7.1 ANALISIS DEL LOCAL Y ESTIMACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA

Con el propósito de realizar la estimación de carga térmica presente en la zona a acondicionar es necesario en primera instancia realizar un estudio de las condiciones del local y por consiguiente, de las componentes de carga térmica existentes.

7.1.1 Características del local y condiciones actuales

Para determinar las características físicas del local se realiza una visita al área para hacer un levantamiento metrológico y un plano con la distribución de equipos, componentes y espacios que hacen parte de la zona a acondicionar.

En el “Anexo 1” se puede apreciar el plano denominado “Habitación mezclas húmedas”, que muestra la ubicación de los tanques mezcladores, tableros eléctricos, la ventana, la puerta, la cortina de paso rápido, tubería de vapor y demás. Esto con el propósito de darle al lector una idea de la distribución del espacio en la habitación de mezclas húmedas. Además, en este mismo anexo se aprecia un segundo plano denominado “Vista en planta bases Drum Dryer y zonas circundantes”, en el que se pueden identificar las zonas adyacentes a la habitación de mezclas; esta área colinda en la pared norte y oeste con espacios destinados al proceso de “Laminación 2” dentro de las instalaciones de la planta, en la pared sur colinda con la bodega de almacenamiento rodillos y en la pared este colinda con la habitación de rodillos Overton y Buflovak, así mismo, sobre el techo existe una terraza interna sobre la placa de concreto y bajo el piso se encuentra una habitación con equipos destinados al proceso de molienda. A continuación se recopila la información con las características actuales del local en términos de ubicación, mediciones de espacios, muros, techo, pisos y temperaturas que posteriormente serán utilizadas para el cálculo de la carga de acondicionamiento.

Tabla 7.1.1.1 – Condiciones del aire en la ubicación de la zona a acondicionar¹

CONDICIONES DEL AIRE EN FACATATIVÁ		
Ubicación	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa
Facatativá, Cundinamarca	13,39 °C	79 %

Fuente: Autor.

¹ De la página https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/archive/facatativ%C3%A1_colombia_3682516 (servicio meteorológico de la universidad de Basilea, Suiza) datos de temperatura y humedad relativa, el día 26 de Julio del 2016 y posteriormente se tomó el promedio de los datos para el año 2016. (ver Anexo 2)

Tabla 7.1.1.2 – Mediciones generales de la habitación.

MEDICIONES GENERALES HABITACIÓN Y COMPONENTES				
	Ventana	Puerta	Cortina de paso rápido	Habitación mezclas húmedas
Ancho [m]	1,38	0,98	4,67	5,14
Alto [m]	0,84	2,25	2,52	4,58
Largo [m]	n/a	n/a	n/a	10,9
Área [m²]	1,16	2,21	11,77	56,03
Volumen [m³]	n/a	n/a	n/a	256,60

Fuente: Autor.

Las características de los muros, piso y el techo se validan en campo con el personal de arreglos civiles locativos de la planta y con base en la teoría sobre materiales de construcción de edificios. Para los futuros cálculos se define que los componentes de construcción de los muros son: ladrillo común con cemento y estuco los cuales poseen un grosor de 15 cm, además de pintura blanca en el acabado. Por otro lado las placas de concreto de techo y piso de la habitación cuentan con un grosor de 25 cm.

Tabla 7.1.1.3 – Características y medidas de los muros.

CARACTERISTICAS MUROS			
	Material	Grosor [cm]	
Descripción	Ladrillo común	14	15
	Cemento y estuco	1	
CARACTERISTICAS DE PISO Y TECHO			
Descripción	Cemento duro	25	

Fuente: Autor.

Los valores registrados en la **Tabla 9.1.1.4** que se muestra a continuación establecen las temperaturas para las zonas adyacentes a la habitación de mezclas húmedas², dichos valores fueron registrados con un termohigrómetro digital, 12 horas después de que el proceso de producción hubiese iniciado.³

Tabla 7.1.1.4 – Temperaturas de las zonas adyacentes.

TEMPERATURAS ZONAS ADYACENTES	
Zona	Temperatura [°C]
Habitación rodillos	35
Bodega de almacenamiento rodillos	21,8
Procesos de Laminación 2	25
Terraza sobre la habitación de mezclas	21,8
Sótano bajo la habitación de mezclas	25

Fuente: Autor.

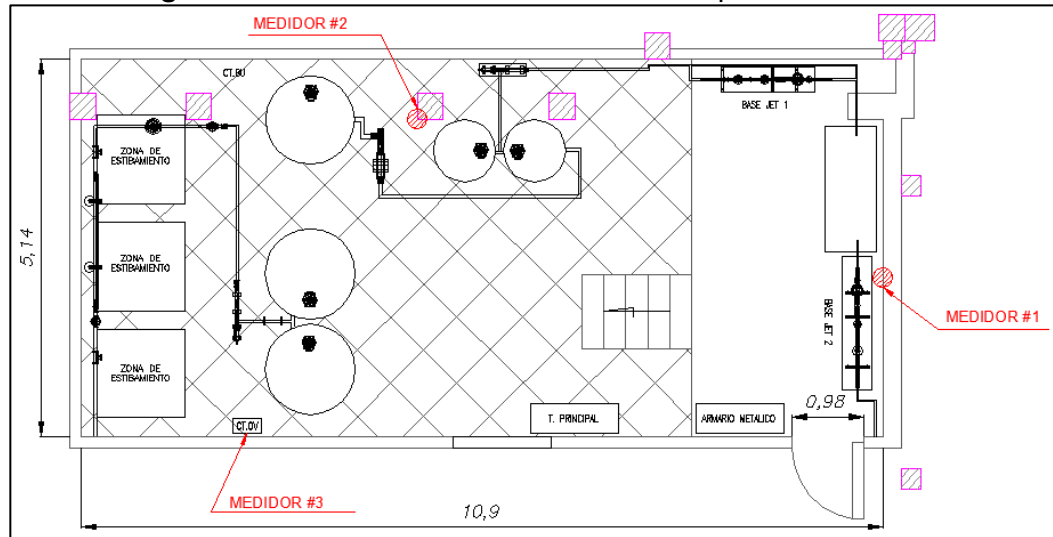
² Para ver las zonas adyacentes a la habitación de mezclas húmedas dirigirse al "Anexo 1".

³ Para ver la ficha técnica del termohigrómetro utilizado dirigirse al "Anexo 3".

A continuación se describe el procedimiento de medición que se realizó para obtener el valor de temperatura y humedad actual en el aire de la habitación de mezclas húmedas.

1. Instalación de 3 colectores de temperatura “Testo 174T”⁴ en diferentes lugares de la habitación como se muestra en la *Figura 9.1.1-1 - Ubicación medidores de temperatura*. Así mismo, se instalaron 3 colectores de humedad “Testo 175-H1”⁵

Figura 7.1.1 – Ubicación medidores de temperatura.



Fuente: Autor.

2. Registro de datos durante un periodo de 72 horas tomando datos en intervalos de 5 minutos para la temperatura y humedad. Esto con el propósito de determinar perfiles de temperatura y debido a que las condiciones de producción son las mismas cada 24 horas es posible tomar las muestras en un periodo de tiempo tan corto, además ya que el diseño se realiza en una zona al interior de un edificio sin tener paredes con contacto al exterior las condiciones ambientales (invierno-verano) no afectan la recolección de datos.
3. Extracción de datos mediante el software de TESTO el cual genera las tablas de la adquisición de datos de acuerdo con el periodo e intervalo de tiempo previamente seleccionado, una tabla con los valores mínimos, máximos y promedio de los datos y una gráfica de temperatura y humedad en el eje de las ordenadas y tiempo en el eje de las abscisas.⁶

A continuación se mostraran únicamente las tablas con los valores máximo, mínimo y promedio para cada recolección de datos tanto en humedad como en temperatura.

⁴ Para ver la ficha técnica del colector de datos utilizado dirigirse al “Anexo 4”.

⁵ Para ver la ficha técnica del colector de datos utilizado dirigirse al “Anexo 4”.

⁶ Para ver las tablas completas de datos y gráficas, dirigirse al “Anexo 5”.

Tabla 7.1.1.5 – Datos de temperatura y humedad para el medidor #1.

NOMBRE DEL INSTRUMENTO	Medidor 1	FECHA RECOLECCIÓN DE DATOS		03/02/2017 - 2:24:42 pm	
HORA DE INICIO	01/02/2017 10:30 am	DL T03 [°C]	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
HORA DE FIN	03/02/2017 12:05 pm		24,20	39,00	32,26
		DL H03 [%]	29	37,4	34,38

Fuente: Autor.

Tabla 7.1.1.6 – Datos de temperatura para el medidor #2.

NOMBRE DEL INSTRUMENTO	Medidor 2	FECHA RECOLECCIÓN DE DATOS		03/02/2017 - 2:24:42 pm	
HORA DE INICIO	01/02/2017 10:30 am	DL T01 [°C]	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
HORA DE FIN	03/02/2017 12:00 pm		24,10	35,90	31,55
		DL H01 [%]	29	38,4	35,08

Fuente: Autor.

Tabla 7.1.1.7 – Datos de temperatura para el medidor #3.

NOMBRE DEL INSTRUMENTO	Medidor 3	FECHA RECOLECCIÓN DE DATOS		03/02/2017 - 2:24:42 pm	
HORA DE INICIO	01/02/2017 10:30 am	DL T02 [°C]	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
HORA DE FIN	03/02/2017 12:00 pm		26,10	38,10	33,28
		DL H02 [%]	29,8	36,9	34

Fuente: Autor.

De las tablas anteriores se establece un valor de temperatura y humedad promedio, para definir las condiciones actuales de la habitación de mezclas húmedas para futuros cálculos, además haciendo uso de Excel y con los datos obtenidos se calcula el valor de la desviación estándar para cada una de las variables

Tabla 7.1.1.8 – Temperatura y humedad relativa de la zona a acondicionar.

DATOS DEL AIRE ZONA A ACONDICIONAR	
Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]
32,36 ± 2,94	34,48 ± 2,11

Fuente: Autor.

7.1.2 Fuentes de carga térmica interna

Para determinar las fuentes de carga térmica en la habitación de mezclas húmedas se realiza una visita al área y se establecen todas las posibles fuentes internas de carga térmica presentes en la zona, las cuales se establecen a continuación:

1. **TABLEROS ELÉCTRICOS:** En la habitación se encuentra ubicado el tablero principal de potencia, el cual alimenta los componentes que controlan y alimentan eléctricamente a los diferentes equipos que lo requieren tanto en el proceso de mezclas húmedas, como en la habitación adyacente de rodillos Overton y Buflovak.⁷

En la **Tabla 9.1.2.1 - Datos de los tableros eléctricos** se pueden apreciar las dimensiones generales de los tableros, las cuales fueron tomadas con una cinta métrica estándar y los valores de corriente de entrada, que se midieron con una pinza amperimétrica Kyoritsu kew 2046R⁸.

Figura 7.1.2 – Pinza amperimétrica Kyoritsu kew 2046R.



Fuente: <http://www.kew-ltd.co.jp/en/products/detail/00036/>

Tabla 7.1.2.1 – Datos del armario y los tableros eléctricos.

ARMARIO Y TABLEROS ELÉCTRICOS		
TIPO	DIMENSIONES (Al x L x An) [m]	CORRIENTE [A]
Potencia (x1)	2,08 x 0,4 x 1,19	850
Control (x2)	0,98 x 0,31 x 0,79	250

Fuente: Autor.

2. **ILUMINACIÓN:** En la habitación a acondicionar se identifican un total de 10 luminarias ahorradoras marca Sylvania T8Luxline Plus F18W/865⁹. En la **tabla 9.1.2.2 - Datos de la iluminación** se aprecian los valores de voltaje y potencia, así como las cantidades de luminarias en funcionamiento ubicadas en la zona.

⁷ Para ver la ubicación de los tableros eléctricos dirigirse al “Anexo 1”.

⁸ Para ver el manual de usuario de la pinza amperimétrica dirigirse al “Anexo 6”.

⁹ Para ver la ficha técnica de las luminarias dirigirse al “Anexo 7”.

Tabla 7.1.2.2 – Datos de la iluminación.

ILUMINACIÓN	
DESCRIPCIÓN	DATOS
Características	Fluorescente F18W/865
Cantidad	10
Voltaje [V]	57
Potencia [W]	18

Fuente: Autor.

3. **MOTORES ELÉCTRICOS:** En la habitación a acondicionar se identifican un total de 5 motores eléctricos, uno por cada tanque de mezclas que se encuentra en la zona. En la **Tabla 9.1.2.3** se describen las especificaciones de potencia, eficiencia, voltaje y cantidades para cada uno de ellos.

Tabla 7.1.2.3 – Datos de los motores eléctricos.

MOTORES ELÉCTRICOS		
	SM-CYCLO SUMITOMO	SEW-EURODRIVE
Referencia	TC-F	57DV112M4
Cantidad	3	2
Potencia [HP - kW]	5 - 3,68	5,44 - 4
Eficiencia	91,7%	-
Voltaje [V]	230 - 460	220 - 440
Frecuencia [Hz]	60	60
Velocidad Angular [RPM]	103	394
Factor de Servicio	1	2,9

Fuente: Autor.

4. **PERSONAL DE PLANTA:** De acuerdo con lo validado en planta, se establece un total de 3 operarios trabajando al mismo tiempo durante un turno laboral, realizando actividades de fuerza, como se muestra a continuación.

Tabla 7.1.2.4 – Datos del personal de planta.

PERSONAS	
CANTIDAD	ACTIVIDAD
3 x turnos de 8 horas	De pie, realizando actividades pesadas.

Fuente: Autor.

5. **TUBERÍA:** En la habitación a acondicionar se identifica un arreglo de tubería de vapor de agua con los accesorios pertinentes y un aislamiento térmico en fibra de vidrio. A continuación en la **Tabla 9.1.2.5** se muestran las características recolectadas mediante una visita a la zona de acondicionamiento. Es importante resaltar que la temperatura de entrada del vapor de agua en la habitación se registró con el medidor de temperatura instalado sobre la misma tubería, la temperatura superficial de la tubería se registró con un medidor laser de

temperatura infrarrojo AMPROBE IR608A.¹⁰ Así mismo, los valores geométricos de la tubería fueron obtenidos de las bridas de unión entre tramos de tubería y revisando en tablas de dimensiones y masas para tubos lisos sin soldadura según la norma ANSI/ASME B36.10M.¹¹

Tabla 7.1.2.5 – Datos de tubería.

TUBERÍA DE VAPOR	
CARACTERÍSTICAS	DATOS
Fluido que transporta	Vapor de agua
Temperatura del fluido [°C]	142,6
Temperatura superficial de la tubería [°C]	69,2
Diámetro Nominal (NPS) [inch]	2"
Diámetro Externo [inch - mm]	2,375 – 60,3
Espesor de pared [inch - mm]	0,218 – 5,54
Schedule (SCH)	80
Longitud total [m]	29
Material de la tubería	Acero ASTM A53
Material de aislamiento	Fibra de vidrio
Espesor del aislamiento [inch]	1"
Diámetro del aislamiento [inch]	2"

Fuente: Autor.

7.1.3 Cálculo de cargas térmicas internas

Para los cálculos posteriores de cargas térmicas internas se hace uso de la teoría planteada en el libro ASHRAE Handbook Fundamentals 2009 de la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

1. Carga térmica generada por armarios y tableros eléctricos

Para este tipo de carga se realiza una investigación en la industria y se encuentra que la gestión térmica para armarios o tableros eléctricos la potencia disipada por los aparatos y su cableado es directamente proporcional a la corriente de entrada del tablero. Así mismo, la revista chilena Electro Industrial se puede considerar que la potencia a disipar es igual a $1,25 W/A$ para armarios eléctricos de hasta $400A$ como se muestra en la ecuación [1] y $1 W/A$ para armarios con intensidades mayores a $400A$ como se muestra en la ecuación [2].(22)

$$P_{dis} = 1,25 W/A \quad [1]$$

¹⁰ Para ver la ficha técnica del medidor laser infrarrojo de temperatura dirigirse al "Anexo 8".

¹¹ Para ver la tabla completa de tubería según la norma ANSI/ASME B36.10M dirigirse al "Anexo 9".

$$P_{dis} = 1 W/A \quad [2]$$

Basado en la información anteriormente descrita y los datos en la **tabla 9.1.2.1** se realizan los cálculos para determinar la carga instantánea de calor disipado en cada uno de los 2 tableros eléctricos y del armario eléctrico haciendo uso de las ecuaciones [1] y [2].

Tabla 7.1.3.1 – Calculo carga térmica generada por tableros eléctricos.

CARGA TERMICA DISIPADA POR TABLEROS ELÉCTRICOS	
VARIABLES	VALOR
Intensidad del armario eléctrico [A]	850
Intensidad del tablero de control [A]	250
Carga disipada por el armario eléctrico [W]	850
Carga disipada por tableros de control [W]	625
Carga total disipada por todos tableros [W]	1475

Fuente: Autor.

2. Carga térmica generada por iluminación

La principal fuente de calor por iluminación proviene de las lámparas, además puede generarse un calor adicional desde los balastos u otros componentes en las luminarias. Para la carga térmica por iluminación la ASHRAE (2009) establece que la tasa instantánea de ganancia de calor sensible para una luminaria se puede calcular haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$q_{el} = 3.41WF_{ul}F_{sa} \quad [3]$$

Donde:

- q_{el} = Ganancia de calor. [Btu/h]
- W = Potencia total de la iluminación. [W]
- F_{ul} = Factor de uso de la iluminación.
- F_{sa} = Factor de tolerancia especial de la iluminación.
- 3.41 = Factor de conversión.

- La potencia total de iluminación (W), se determina con la potencia de cada una de las luminarias instaladas, multiplicada por la cantidad de las mismas en la habitación de mezclas húmedas.
- El factor de uso de la iluminación (F_{ul}), se determina de acuerdo con la relación de uso real de potencia de las luces, frente a la capacidad instalada de iluminación en la zona, para lo cual debido a las condiciones de la habitación a acondicionar, las que requieren el uso constante de iluminación, se establece un factor de 1.
- El factor de tolerancia especial de la iluminación (F_{sa}), se determina con la potencia consumida por el balasto, así como el efecto de balasto en el consumo de potencia de la lámpara. Para el caso de las bombillas fluorescentes dicho factor es igual a 1.

A partir de los datos en la *tabla 9.1.2.2* y haciendo uso de la ecuación [3] es posible calcular el valor para carga térmica disipada para cada una de las luminarias en la zona y el total de las mismas.

Tabla 7.1.3.2 – Calculo carga térmica generada por iluminación.

CARGA TERMICA DISIPADA POR ILUMINACIÓN	
VARIABLES	VALOR
Potencia disipada por una bombilla [W]	18
Número total de bombillas	10
Factor de uso de iluminación	1
Factor de tolerancia especial de iluminación	1
Factor de conversión	3,41
Carga total disipada [Btu/h]	613,8
Factor de conversión de Btu/h a W	1 Btu/h = 0,293 W
Carga total disipada [W]	179,887

Fuente: Autor.

3. Carga térmica generada por motores eléctricos

Para este tipo de carga térmica la ASHRAE (2009) establece que la ganancia instantánea de calor sensible proveniente de la operación de máquinas con motores eléctricos es calculada usando la siguiente formula:

$$q_{em} = 2545(P/E_M)F_{UM}F_{LM} \quad [4]$$

Donde:

q_{em} = Calor equivalente de la operación del equipo. [Btu/h]

P = Potencia nominal del motor. [hp]

E_M = Eficiencia del motor, fracción decimal < 1.

F_{UM} = Factor de uso del motor, 1 o fracción decimal < 1.

F_{LM} = Factor de carga del motor, 1 o fracción decimal < 1.

2545 = Factor de conversión, $Btu/h \cdot hp$

- El factor de uso del motor (F_{UM}), puede ser aplicado cuando se sabe que el uso del motor será intermitente. Sin embargo, de acuerdo con lo validado con el personal de planta el motor estará en uso continuo durante más de 20 días, realizando aproximadamente una parada al mes por temas de mantenimiento, tomando así un valor de 1 para dicho factor.
- El factor de carga del motor (F_{LM}), es la fracción de la carga nominal entregada bajo las condiciones de estimación de la carga de refrigeración. Para dicho valor se establece que el motor entregara toda la carga nominal que puede ofrecer a la máquina, siendo el valor del factor de carga 1.

- La eficiencia nominal del motor (E_M), está dada por los fabricantes de motores eléctricos de acuerdo con el estándar MG1. Diseños A y B de la National Electric Manufacturers Association (NEMA). Para los motores SM-CYCLO SUMITOMO según la *tabla 9.1.2.3* se tiene un valor de eficiencia del 91,7%, sin embargo, para los motores SEW-EURODRIVE se hizo uso de la *tabla 9.1.3.3* encontrada en el libro manual de ASHRAE (2009), la que establece la eficiencia mínima para los motores tipo A y B con aplicaciones generales, como se muestra a continuación.

Tabla 7.1.3.3 – Eficiencia nominal mínima para motores tipo A y B.

Table 4 Minimum Nominal Efficiency for General Purpose Design A and Design B Motors*						
Minimum Nominal Full-Load Efficiency, %						
Open Motors			Enclosed Motors			
Number of Poles ⇒	2	4	6	2	4	6
Synchronous Speed (RPM) ⇒	3600	1800	1200	3600	1800	1200
Motor Horsepower						
1	—	82.5	80.0	75.5	82.5	80.0
1.5	82.5	84.0	84.0	82.5	84.0	85.5
2	84.0	84.0	85.5	84.0	84.0	86.5
3	84.0	86.5	86.5	85.5	87.5	87.5
5	85.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5
7.5	87.5	88.5	88.5	88.5	89.5	89.5
10	88.5	89.5	90.2	89.5	89.5	89.5
15	89.5	91.0	90.2	90.2	91.0	90.2
20	90.2	91.0	91.0	90.2	91.0	90.2
25	91.0	91.7	91.7	91.0	92.4	91.7
30	91.0	92.4	92.4	91.0	92.4	91.7
40	91.7	93.0	93.0	91.7	93.0	93.0
50	92.4	93.0	93.0	92.4	93.0	93.0
60	93.0	93.6	93.6	93.0	93.6	93.6
75	93.0	94.1	93.6	93.0	94.1	93.6
100	93.0	94.1	94.1	93.6	94.5	94.1
125	93.6	94.5	94.1	94.5	94.5	94.1
150	93.6	95.0	94.5	94.5	95.0	95.0
200	94.5	95.0	94.5	95.0	95.0	95.0

Source: ASHRAE Standard 90.1-2007.
 *Nominal efficiencies established in accordance with NEMA Standard MG1. Designs A and B are National Electric Manufacturers Association (NEMA) design class designations for fixed-frequency small and medium AC squirrel-cage induction motors.

Fuente: (ASHRAE Handbook Fundamentals 2009)(10).

A partir de la información anterior, de las tablas 9.1.2.3, 9.1.3.3 y haciendo uso de la ecuación [4] es posible realizar el cálculo de la carga térmica disipada por parte de cada uno de los motores como se muestra en la *tabla 9.1.3.4*.

Tabla 7.1.3.4 – Cálculo carga térmica generada por motores eléctricos.

CARGA TERMICA DISIPADA POR MOTORES ELECTRICOS		
VARIABLES	VALOR MOTORES SUMITOMO	VALOR MOTORES SEW-EURODRIVE
Potencia nominal del motor [hp]	5	5,44
Eficiencia del motor	0,917	0,875
Factor de uso	1	1
Factor de carga del motor	1	1
Factor de conversión [Btu/h·hp]	2545	2545
Carga disipada por 1 motor [Btu/h]	13876,77	15822,63
Cantidad de motores en el área	3	2
Carga disipada todos motores [Btu/h]	41630,316	31645,257
Carga total disipada [Btu/h]	73275,573	
Factor de conversión de Btu/h a W	1 Btu/h = 0,293 W	
Carga total disipada [W]	21469,743	

Fuente: Autor.

4. Carga térmica generada por personas

Para este tipo de carga térmica la ASHRAE (2009) establece una tabla para las cantidades de calor sensible y latente emitida por los seres humanos en diferentes tipos de actividades como se muestra a continuación.

Tabla 7.1.3.5 – Tasas representativas del calor latente y sensible en seres humanos.

Degree of Activity	Location	Total Heat, Btu/h		Sensible Heat, Btu/h	Latent Heat, Btu/h	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low V	High V
Seated at theater	Theater, matinee	390	330	225	105		
Seated at theater, night	Theater, night	390	350	245	105	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	450	400	245	155		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	475	450	250	200		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	550	450	250	200	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	550	500	250	250		
Sedentary work	Restaurant ^c	490	550	275	275		
Light bench work	Factory	800	750	275	475		
Moderate dancing	Dance hall	900	850	305	545	49	35
Walking 3 mph; light machine work	Factory	1000	1000	375	625		
Bowling ^d	Bowling alley	1500	1450	580	870		
Heavy work	Factory	1500	1450	580	870	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	1600	1600	635	965		
Athletics	Gymnasium	2000	1800	710	1090		

Fuente: (ASHRAE Handbook Fundamentals 2009)(10).

A partir de la información de la *tabla 9.1.2.4* y de la *tabla 9.1.3.5* es posible consolidar la información en la siguiente tabla y con base en la cantidad de

operarios y el tipo de actividad que realizan se determina el valor total de carga térmica generada por los operarios en la zona a acondicionar.

Tabla 7.1.3.6 – Calculo carga térmica generada por personas.

CARGA TERMICA DISIPADA POR PERSONAS	
CARACTERISTICA	DESCRIPCIÓN O VALOR
Grado de actividad	Trabajo pesado, levantamiento
Ubicación	Fábrica
Calor Latente disipado por persona [Btu/h]	635
Calor Sensible disipado por persona [Btu/h]	965
Calor Total disipado por persona [Btu/h]	1600
Cantidad de personas	3
Calor Latente total disipado [Btu/h]	1905
Calor Sensible total disipado [Btu/h]	2895
Carga total disipada [Btu/h]	4800
Factor de conversión de Btu/h a W	1 Btu/h = 0,293 W
Carga total disipada [W]	1406,4

Fuente: Autor.

5. Carga térmica generada por tubería de vapor

El manual de aire acondicionado de Carrier establece un procedimiento para el cálculo de ganancias de calor en recintos cerrados debido a tuberías. Este procedimiento define que los procesos de transferencia de calor presentes son radiación y convección, y se calculan haciendo uso de las ecuaciones [5] y [6].

- Transferencia de calor por convección:

$$q_{tub,c} = 9,89(1/d)^{0,2}(1/T_{av})^{1,81} \Delta t^{1,27} \quad [5]$$

Dónde:

Tabla 7.1.3.7 – Variables de la ecuación [5].

VARIABLES ECUACIÓN [5]	
$q_{tub,c}$	Cantidad de calor intercambiada con el ambiente en $kcal/h$ por m^2 de superficie exterior de la tubería.
9,89	Constante para cilindros.
d	Diámetro exterior de la tubería. [m]
T_{av}	Media aritmética de las temperaturas del aire ambiente y de la superficie exterior de la tubería (temperatura absoluta). [K]
Δt	Diferencia de temperatura entre el aire ambiente y la superficie exterior de la tubería. [°C]

Fuente: (CARRIER, Manual de aire acondicionado)(13)

- Transferencia de calor por radiación:

$$q_{tub,r} = 5,6704 \times 10^{-8} \times \epsilon \left[(T_{ps})^4 - (T_{rm})^4 \right] \quad [6]$$

$$q_{tub,r} = 5,6704 \times \epsilon \left[\left(\frac{T_{ps}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{rm}}{100} \right)^4 \right] \quad [6.1]$$

Donde:

Tabla 7.1.3.8 – Variables de la ecuación [6.1].

VARIABLES ECUACIÓN [6.1]	
$q_{tub,r}$	Cantidad de calor intercambiada con el ambiente en $kcal/h$ por m^2 de superficie exterior de la tubería.
5,6704	Constante de Stefan-Boltzmann. $[W/m^2 \cdot K^4]$
ϵ	Emisividad del material.
T_{ps}	Temperatura de la superficie exterior de la tubería. [K]
T_{rm}	Temperatura ambiente. [K]

Fuente: (CARRIER, Manual de aire acondicionado)(13)

Es posible identificar que las ecuaciones [5] y [6.1] requieren ser multiplicadas por el área normal de la tubería por donde se genera la transferencia de calor desde la tubería hacia el aire ambiente para determinar la carga térmica disipada en la zona por la tubería de vapor. A continuación se muestran las ecuaciones multiplicadas por el área de la tubería.

Tabla 7.1.3.9 – Ecuaciones de carga térmica generada por la tubería de vapor.

ECUACIONES DE CARGA TÉRMICA POR TUBERÍA DE VAPOR	
Convección	Radiación
$q_{tub,c} = 9,89 \cdot A(1/d)^{0,2}(1/T_{av})^{1,81} \Delta t^{1,27} \quad [7]$	$q_{tub,r} = 5,67 \cdot A \times \epsilon \left[\left(\frac{T_{ps}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{rm}}{100} \right)^4 \right] \quad [8]$
Dónde: A , esta expresada en m^2 . d , esta expresado en m . T_{av} , esta expresada en K . Δt , esta expresada en $^{\circ}C$.	Dónde: A , esta expresada en m^2 . ϵ , adimensional. T_{ps} , esta expresada en K . T_{rm} , esta expresada en K .

Fuente: Autor.

Teniendo establecidas las ecuaciones por medio de las cuales es posible calcular el valor de carga térmica generada por la tubería de vapor en la zona. A continuación se procede a consolidar los datos requeridos de la *tabla 9.1.2.5* para poder calcular los valores haciendo uso de las ecuaciones [7] y [8] de la *tabla 9.1.3.9 – Ecuaciones de carga térmica generada por la tubería de vapor*.

Es importante resaltar que el valor del área calculada para la tubería se realizó mediante la siguiente ecuación: $A = 2\pi rL$, donde los valores de radio y longitud de la tubería fueron tomados de la *tabla 9.1.2.5*. Además, los valores de temperatura del aire ambiente y de la superficie exterior de la tubería fueron tomados de las *tablas 9.1.1.8 y 9.1.2.5* respectivamente.

Tabla 7.1.3.10 – Calculo de carga térmica disipada por convección en tubería.

CARGA TERMICA POR CONVECCIÓN EN LA TUBERÍA DE VAPOR	
VARIABLES	VALOR
Constante para cilindros	9,89
Área normal de la tubería [m^2]	10,99
Diámetro externo de la tubería [m]	0,0603
Temperatura del aire ambiente [$^{\circ}C$]	32,36
Temperatura de la superficie exterior de la tubería [$^{\circ}C$]	69,2
Media aritmética de las temperaturas del aire ambiente y la superficie extendida de la tubería [$^{\circ}C$]	323,93
Diferencia de temperatura entre el aire ambiente y la superficie exterior de la tubería [$^{\circ}C$]	36,8366
Carga total disipada por convección [W]	0,5312

Fuente: Autor.

Tabla 7.1.3.11 – Calculo de carga térmica disipada por radiación en la tubería.

CARGA TERMICA POR RADIACIÓN EN LA TUBERÍA DE VAPOR	
VARIABLES	VALOR
Constante de Stefan Boltzmann	5,67
Área normal de la tubería [m^2]	10,99
Emisividad del material de la tubería ¹²	0,8
Temperatura del aire ambiente [K]	305,51
Temperatura de la superficie exterior de la tubería [K]	342,35
Carga total disipada por radiación [W]	2504,20

Fuente: Autor.

Una vez establecidos los valores de disipación de calor por convección y radiación de la tubería, se procede a sumarlos y determinar el valor total de carga térmica disipada por la tubería de vapor en la zona.

Tabla 7.1.3.12 – Carga térmica total generada por la tubería.

CARGA TERMICA POR TUBERÍA DE VAPOR	
VARIABLES	VALOR
Calor generado por convección [W]	0,53
Calor generado por radiación [W]	2504,21
Carga total disipada por la tubería [W]	2504,74

Fuente: Autor.

¹² Para ver la tabla referencia del valor de emisividad del material de la tubería dirijase al "Anexo 10".

7.1.4 Cálculo de cargas térmicas externas

Mediante una visita a la habitación de mezclas húmedas, se establece cuáles son las cargas externas que afectan el valor de carga de acondicionamiento total, las cuales son:

- Transferencias de calor a través de paredes internas y ventanas.
- Transferencias de calor a través de pisos y techos.

1. Transferencia de calor a través de paredes internas y ventanas

Siempre que un espacio a acondicionar esté adyacente a otro espacio el cual posee una temperatura diferente (mayor o menor), debe considerarse la transferencia de calor a través de la sección física que separa dichos espacios. La siguiente ecuación es una forma análoga a la ley de Newton del enfriamiento, en la que se considera un proceso de transferencia de calor unidimensional y en estado estacionario(18):

$$Q = UA \times (t_b - t_i) \quad [9]$$

Dónde:

A = Área superficial de la sección de separación. [ft^2]

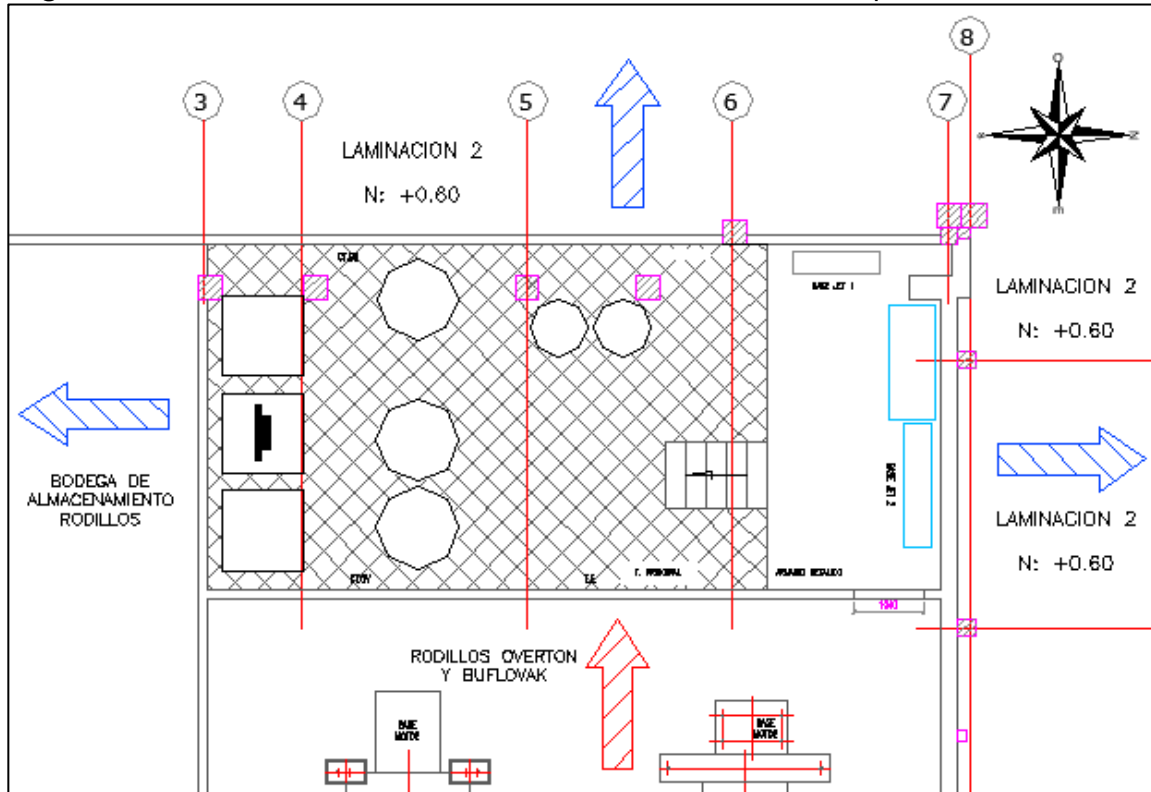
t_b = Temperatura promedio del aire en el espacio adyacente. [$^{\circ}F$]

t_i = Temperatura del aire en el espacio a acondicionar. [$^{\circ}F$]

U = Coeficiente general de transferencia de calor entre el espacio adyacente y el espacio a acondicionar. [$Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F$]

Una vez establecida la ecuación para la transferencia de calor a través de las paredes internas en la zona a acondicionar, se establece mediante flechas de color rojo y azul en la siguiente imagen las direcciones de los flujos positivos y negativos de la transferencia de calor a través de las separaciones entre la zona de mezclas húmedas (zona a acondicionar) y las habitaciones adyacentes dicho análisis en las direcciones de transferencia de calor se realiza una vez que el proceso productivo se encuentra en pleno funcionamiento.

Figura 7.1.3 – Direcciones de las transferencias de calor en el espacio a acondicionar.



Fuente: Autor.

De lo anterior se plantea entonces deducir que la única pared que presenta una transferencia de calor positiva es la que colinda con la zona denominada “Rodillos Overton y Buflovak”, ya que dicho espacio posee una temperatura mayor que la de la habitación a acondicionar. Para efectos de cálculo de la carga de enfriamiento únicamente se tomara dicha transferencia de calor positiva, obviando los procesos negativos existentes en las demás paredes.

- El valor de área superficial (A), es posible calcularlo con los planos que contiene el “Anexo 1” del presente documento.
- La temperatura promedio del aire en el espacio adyacente (t_b) se toma de la **Tabla 9.1.1.4** donde se establece el valor de la temperatura de la habitación de rodillos.
- La temperatura del aire en el espacio a acondicionar (t_i) se toma de la **Tabla 9.1.1.8** donde se establece el valor de la temperatura y humedad de la habitación a acondicionar.
- Para calcular el coeficiente general de transferencia de calor (U) es posible utilizar una serie de conceptos para reescribir la transferencia de calor en términos de resistencias térmicas totales como se muestra en la ecuación [10], para posteriormente analizarlas de acuerdo con la naturaleza del fenómeno.

$$Q = T_{\infty 1} - T_{\infty 2} / (R_{TOT}) \quad [10]$$

Utilizando la ecuación [10] en la ecuación [9] se determina que

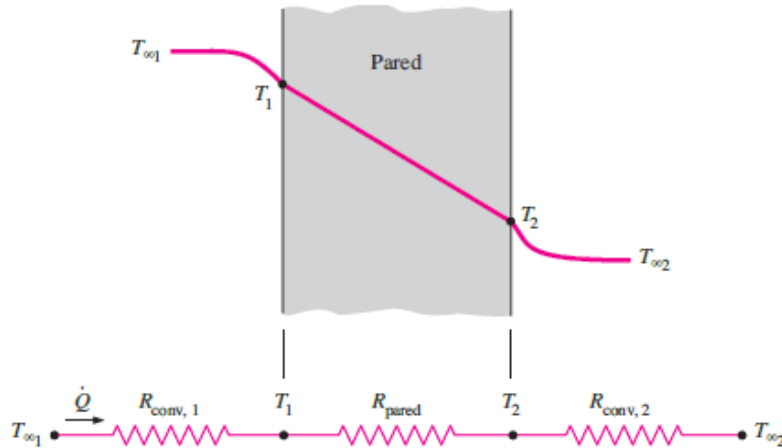
$$UA = 1/R_{TOT} \quad [11]$$

Para lo que es posible reescribir la ecuación [9] como:

$$Q = \frac{(t_b - t_i)}{R_{TOT}} \quad [12]$$

A continuación en la **Figura 9.1.4.2** se establece el sistema en el cual se presenta la transferencia de calor a través de una pared interna.

Figura 7.1.4 – Sistema de resistencias a través de una pared.



Fuente: (Transferencia de calor y masa, Cengel)(12).

Donde es posible identificar que el valor de resistencia total equivale a tres tipos de resistencias térmicas las cuales son:

Tabla 7.1.4.1 – Resistencias térmicas a través de una pared.

CLASIFICACION DE RESISTENCIAS A TRAVES DE UNA PARED		
Resistencia por convección	Resistencia por conducción	Resistencia por convección
$R_{conv,1} = \frac{1}{h_1 A}$	$R_{pared} = \frac{L}{kA}$	$R_{conv,2} = \frac{1}{h_2 A}$

Fuente: Autor.

Donde:

h_1 y h_2 = Son los coeficientes de transferencia de calor por convección para los que con ayuda de los recursos virtuales del software SolidWorks es posible establecer un valor, como se muestra en la siguiente tabla, tomando como valor más crítico el 25.

Tabla 7.1.4.2 – Coeficientes de transferencia de calor por convección.

Medio	Coefficiente de transferencia de calor h ($W/m^2 \cdot K$)
Aire (convección natural)	5-25
Aire/vapor supercalentado (convección forzada)	20-300
Petróleo (convección forzada)	60-1800
Agua (convección forzada)	300-6000
Agua (en ebullición)	3000-60.000
Vapor (en condensación)	6000-120.000

Fuente: (Ayuda virtual de SolidWorks)(23).

k = Es la conductividad térmica del material de la pared, la cual es posible definirla con base en la teoría establecida en el libro “Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning”, como se muestra a continuación.

Tabla 7.1.4.3 – Propiedades térmicas para materiales de construcción (mampostería).

Table 5-15 SI Building and Insulating Materials: Design Values^a (Continued)

(Table 1, Chapter 26, 2013 ASHRAE Handbook—Fundamentals)

Description	Density, kg/m^3	Conductivity ^b k , $W/(m \cdot K)$	Resistance R , $(m^2 \cdot K)/W$	Specific Heat, $kJ/(kg \cdot K)$	Reference ¹	
Masonry Materials						
<i>Masonry units</i>						
Brick, fired clay.....	2400	1.21 to 1.47	—	—	Valore (1988)	
	2240	1.07 to 1.30	—	—	Valore (1988)	
	2080	0.92 to 1.12	—	—	Valore (1988)	
	1920	0.81 to 0.98	—	0.80	Valore (1988)	
	1760	0.71 to 0.85	—	—	Valore (1988)	
	1600	0.61 to 0.74	—	—	Valore (1988)	
	1440	0.52 to 0.62	—	—	Valore (1988)	
	1280	0.43 to 0.53	—	—	Valore (1988)	
	1120	0.36 to 0.45	—	—	Valore (1988)	
Clay tile, hollow						
1 cell deep.....	75 mm	—	—	0.14	0.88	Rowley and Algren (1937)
.....	100 mm	—	—	0.20	—	Rowley and Algren (1937)
2 cells deep.....	150 mm	—	—	0.27	—	Rowley and Algren (1937)
.....	200 mm	—	—	0.33	—	Rowley and Algren (1937)
.....	250 mm	—	—	0.39	—	Rowley and Algren (1937)
3 cells deep.....	300 mm	—	—	0.44	—	Rowley and Algren (1937)
Lightweight brick.....	800	0.20	—	—	Kumaran (1996)	
	770	0.22	—	—	Kumaran (1996)	
<i>Concrete blocks^{f, g}</i>						
Limestone aggregate						
~200 mm, 16.3 kg, 2200 kg/m^3 concrete, 2 cores.....	—	—	—	—	—	
with perlite-filled cores.....	—	—	0.37	—	Valore (1988)	
~300 mm, 25 kg, 2200 kg/m^3 concrete, 2 cores.....	—	—	—	—	—	
with perlite-filled cores.....	—	—	0.65	—	Valore (1988)	
Normal-weight aggregate (sand and gravel)						
~200 mm, 16 kg, 2100 kg/m^3 concrete, 2 or 3 cores....	—	—	0.20 to 0.17	0.92	Van Geem (1985)	
with perlite-filled cores.....	—	—	0.35	—	Van Geem (1985)	
with vermiculite-filled cores.....	—	—	0.34 to 0.24	—	Valore (1988)	
~300 mm, 22.7 kg, 2000 kg/m^3 concrete, 2 cores.....	—	—	0.217	0.92	Valore (1988)	
Medium-weight aggregate (combinations of normal and lightweight aggregate)						

Fuente: (Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning)(18).

De acuerdo con la información suministrada anteriormente y haciendo una recopilación de los datos, es posible establecer la ecuación y una tabla con los valores para el cálculo de la transferencia de calor positiva a través de la pared interna de la habitación.

$$Q = \frac{(t_b - t_i)}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2 A}} \quad [13]$$

Haciendo uso de la ecuación [13] se tiene lo siguiente:

Tabla 7.1.4.4 – Valores y cálculo transferencia de calor por paredes.

TRANSFERENCIA DE CALOR POR PAREDES	
VARIABLES	VALORES
Área de la superficie de separación [m^2]	49,92
Temperatura del aire en el espacio a acondicionar [$^{\circ}C$]	32,36
Temperatura promedio del aire en el espacio adyacente [$^{\circ}C$]	35
Coefficiente de transferencia de calor por convección [$W/m^2 \cdot K$]	25
Conductividad térmica del material [$W/m \cdot K$]	1,34
Grosor de pared [m]	0,15
Tasa de transferencia de calor por pared [W]	686,61

Fuente: Autor.

La tabla anterior muestra la transferencia de calor a través del área de la pared plana, sin embargo, es necesario calcular la transferencia de calor a través de la sección de vidrio que se encuentra sobre la misma pared, identificada en los planos que se visualizan en el “Anexo 1”; para lo cual se presenta la siguiente tabla con los datos relacionados y el resultado de la transferencia de calor haciendo uso de la ecuación [13].

Tabla 7.1.4.5 – Valores y cálculo transferencia de calor por ventana.

TRANSFERENCIA DE CALOR POR VENTANA	
VARIABLES	VALORES
Área de la superficie de separación [m^2]	1,16
Temperatura del aire en el espacio a acondicionar [$^{\circ}C$]	32,36
Temperatura promedio del aire en el espacio adyacente [$^{\circ}C$]	35
Coefficiente de transferencia de calor por convección [$W/m^2 \cdot K$]	25
Conductividad térmica del material [$W/m \cdot K$]	0,78
Grosor de pared [m]	0,005
Tasa de transferencia de calor por ventana [W]	35,41

Fuente: Autor.

7.2 CALCULO DE LA CARGA DE ACONDICIONAMIENTO

Teniendo definidas las ganancias instantáneas de calor de naturaleza interna y externa, es necesario utilizar dichos datos en el cálculo de la carga de acondicionamiento. Para llevar esto a cabo, la ASHRAE en su Handbook Fundamentals establece un método denominado “Radiant Time Series (RTS)”, el cual es un proceso simplificado del método de balance térmico que también es usado, pero su desarrollo es mucho más complicado. Por lo tanto, el “Radiant Time Series” fue desarrollado para ofrecer un desarrollo riguroso, que cuantifique cada contribución de las componentes de carga total y a su vez no requiera de cálculos iterativos para la determinación de la carga de acondicionamiento. Además, el uso de este método es efectivo en la aplicación del criterio de ingeniería durante el cálculo de la carga de enfriamiento(11).

7.2.1 Resumen de las componentes de carga térmica

Para tener claridad en los valores y componentes de carga que influyen sobre la zona a acondicionar a continuación se recopilan los datos obtenidos de las secciones 9.1.3 – Calculo de cargas térmicas internas y 9.1.4 – Calculo de cargas térmicas externas.

Tabla 7.2.1.1 – Valores de las componentes de carga térmica.

COMPONENTES DE CARGA TÉRMICA			
COMPONENTE DE CARGA	VALORES [w]	SENSIBLE [w]	LATENTE [w]
Carga térmica total disipada por todos tableros	1475	1475	
Carga térmica total disipada por iluminación	179,89	179,89	
Carga térmica total disipada por motores eléctricos	21469,74	21469,74	
Carga térmica total disipada por personas	1406,4	848,2	558,2
Carga térmica total disipada por tubería de vapor	2504,74	2504,74	
Tasa de infiltración de aire [cfm]	104,210	n/a	n/a
Tasa de transferencia de calor por pared	686,613	686,613	
Tasa de transferencia de calor por ventana	35,41	35,41	
TOTALES	27757,79	27199,59	558,20

Fuente: Autor.

7.2.2 Método Radiant Time Series (RTS)

Este método se basa en el supuesto de condiciones periódicas estables, es decir, el valor de las componentes de ganancias de calor a una hora particular es el mismo que 24 horas antes, que 48 horas antes y así sucesivamente. En otras palabras, se hace el supuesto de que las componentes de carga son cíclicas y se repiten cada 24 horas. A continuación, se explica el procedimiento para el desarrollo del presente método:

- a) Identificar el tiempo de retardo (comportamiento) de las componentes de carga térmica.
- b) Calcular el perfil de las componentes de carga térmica en un periodo de tiempo de 24 horas.
- c) Sumar por horas los picos máximos de cada componente de carga, para posteriormente trabajar con la hora de mayor valor en las sumatorias de cargas.

Para determinar el perfil de las componentes de carga térmica es necesario entender su comportamiento durante el periodo de puesta en marcha del proceso productivo dentro de planta, para esto, a continuación se muestra una tabla con las componentes de carga térmica y un periodo de 24 horas dividido en lapsos de 5 horas para visualizar en que momentos del inicio de operación se encuentran presentes cada una de las componentes de carga térmica.

Como se puede apreciar en la **Tabla 9.2.2.1** en la hora cero, las cargas térmicas generadas por tableros eléctricos, motores, tuberías de vapor y la transferencia de calor por la pared este que colinda con el proceso de Rodillos Overton y Buflovack no disipan calor debido a que el proceso productivo se encuentra apagado. Sin embargo, cargas térmicas generadas por iluminación, personal de planta y las transferencias de calor por las paredes norte, oeste y pisos si generan un valor de ganancia de calor debido a que no están relacionadas directamente con el proceso productivo que se realiza en la zona.

Tabla 7.2.2.1 – Comportamiento de las componentes de carga térmica.

CARGA TÉRMICA	TIEMPO [h]					
	0	5	10	15	20	24
Tableros eléctricos		x	x	x	x	x
Iluminación	x	x	x	x	x	x
Motores eléctricos		x	x	x	x	x
Personas	x	x	x	x	x	x
Tubería de vapor		x	x	x	x	x
Transferencia de calor por paredes norte y oeste	x					
Transferencia de calor por pared este		x	x	x	x	x
Transferencia de calor por piso	x					

Fuente: Autor.

De igual manera, es importante destacar que las transferencias de calor por paredes y piso se calcularon con base en las mediciones de temperatura realizadas en campo, las cuales variaron a medida que transcurría el tiempo. La transferencia de calor por piso se calculó con los siguientes datos y haciendo uso de la ecuación [13]; además, como se muestra en la **tabla 9.2.2.1** dicha transferencia solo se da en la hora cero, debido a que en ese momento esta es positiva hacia la zona a acondicionar y a medida que transcurre el tiempo la transferencia se hace negativa, ya que el aire de la zona a acondicionar va incrementando gradualmente su temperatura.

Tabla 7.2.2.2 – Transferencia de calor por piso

TRANSFERENCIA DE CALOR POR PISO	
VARIABLES	VALORES
Área de la superficie de separación [m^2]	56,03
Temperatura del aire en el espacio a acondicionar [$^{\circ}C$]	24
Temperatura promedio del aire en el espacio adyacente [$^{\circ}C$]	25
Coefficiente de transferencia de calor por convección [$W/m^2 \cdot K$]	25
Conductividad térmica del material [$W/m \cdot K$]	1,34
Grosor de pared [m]	0,25
Tasa de transferencia de calor por pared [W]	210,18

Fuente: Autor.

Así mismo sucede con las transferencias de calor generadas en las paredes norte y oeste, en las que la transferencia se evidencia únicamente en la hora cero, mientras que transcurre el tiempo y la temperatura del aire en la zona a acondicionar va incrementando. A continuación se muestra la tabla con los valores utilizados para el cálculo de la transferencia de calor por paredes.

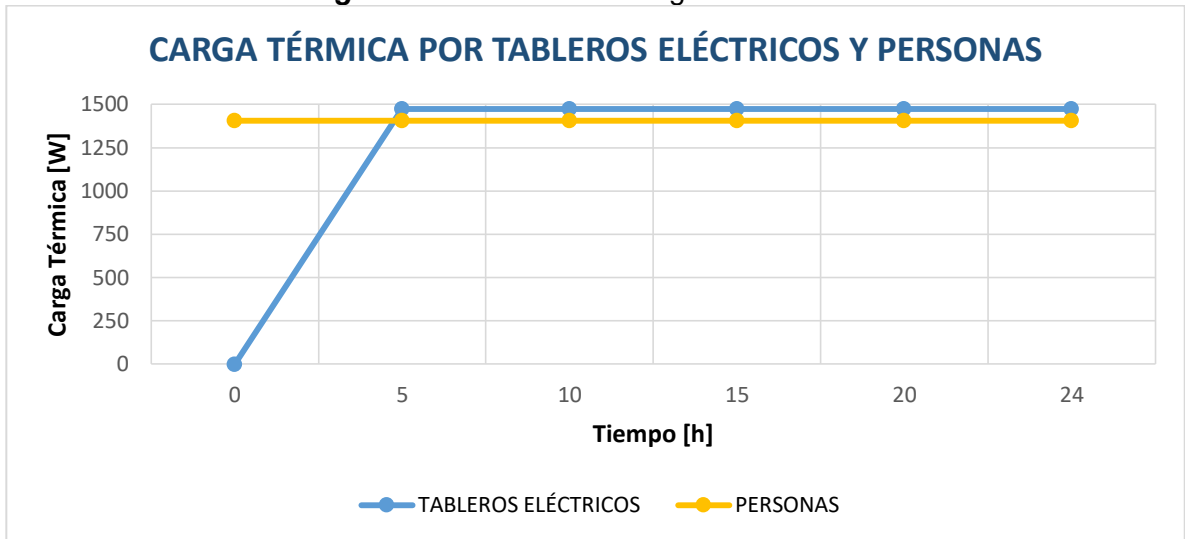
Tabla 7.2.2.3 – Transferencia de calor por paredes

TRANSFERENCIA DE CALOR POR PAREDES NORTE Y OESTE		
VARIABLES	VALORES NORTE	VALORES OESTE
Área de la superficie de separación [m^2]	23,54	49,92
Temperatura del aire en el espacio a acondicionar [$^{\circ}C$]	24	24
Temperatura promedio del aire en el espacio adyacente [$^{\circ}C$]	25	25
Coefficiente de transferencia de calor por convección [$W/m^2 \cdot K$]	25	25
Conductividad térmica del material [$W/m \cdot K$]	1,34	1,34
Grosor de pared [m]	0,15	0,15
Tasa de transferencia de calor por pared [W]	122,65	260,09
Tasa de transferencia de calor total por ambas paredes [W]	382,74	

Fuente: Autor.

Una vez definido el comportamiento y los valores de las componentes de carga térmica a lo largo de un periodo de 24 horas, es posible realizar graficas con los valores de las mismas para cada periodo de tiempo, logrando así determinar el perfil de la carga a través de 1 día.

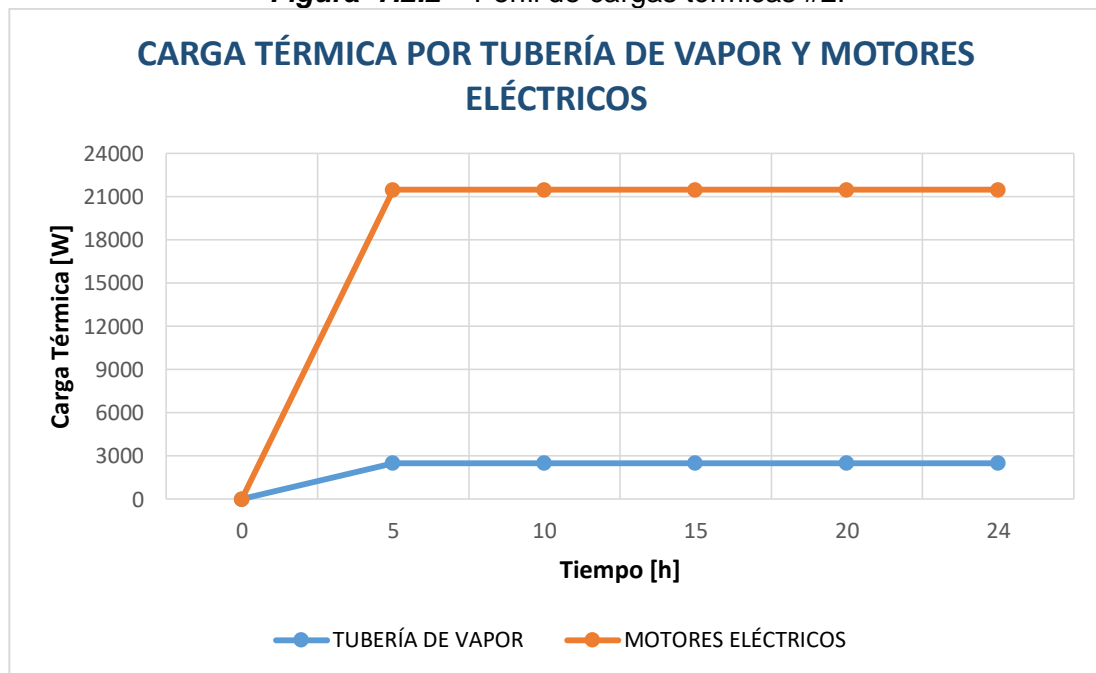
Figura 7.2.1 – Perfil de cargas térmicas #1.



Fuente: Autor.

Los datos ilustrados en las figuras 9.2.1 y 9.2.2 muestran el comportamiento de las cargas térmicas por tableros eléctricos, personas, tubería de vapor y motores eléctricos. Los valores utilizados fueron los calculados anteriormente en la sección 9.1.3, tablas 9.1.3.1, 9.1.3.4, 9.1.3.6 y 9.1.3.12.

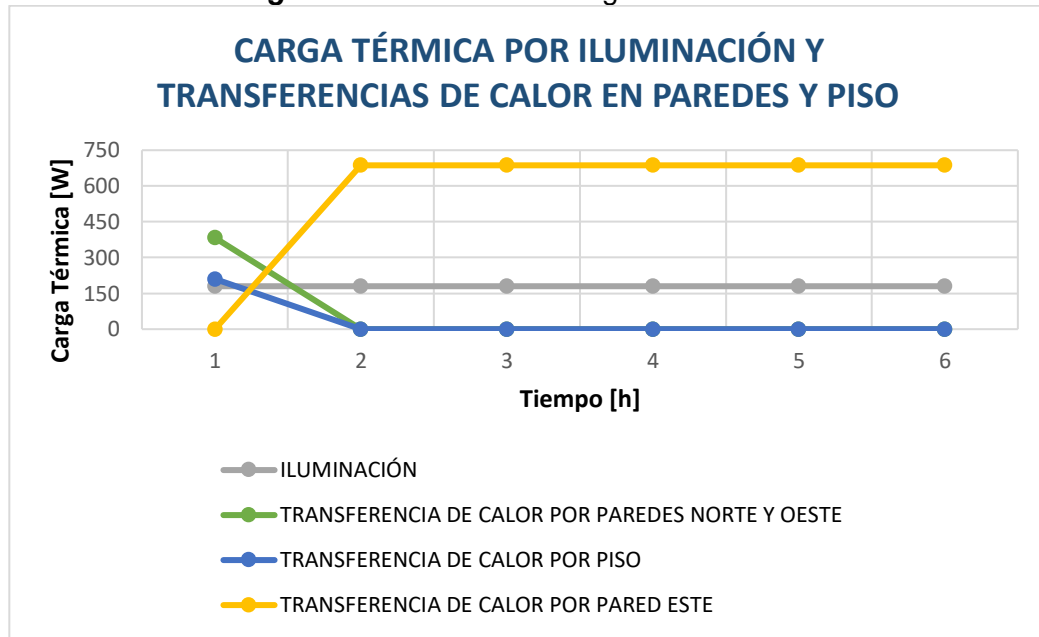
Figura 7.2.2 – Perfil de cargas térmicas #2.



Fuente: Autor.

De igual manera, la *figura 9.2.3* ilustra el comportamiento de la carga por iluminación y de las transferencias de calor por paredes y piso.

Figura 7.2.3 – Perfil de cargas térmicas #3.



Fuente: Autor.

A partir de los perfiles de carga ilustrados anteriormente se procede a realizar la suma de las cargas por cada ciclo de 5 horas como se muestra a continuación.

Tabla 7.2.2.4 – Valores y comportamiento de las cargas en un ciclo de 24 horas.

COMPORTAMIENTO DE LAS CARGAS A TRAVÉS DEL TIEMPO						
CARGA TÉRMICA [W]	TIEMPO [h]					
	0	5	10	15	20	24
TB ¹³ eléctricos		1475	1475	1475	1475	1475
Iluminación	179,89	179,89	179,89	179,89	179,89	179,89
Motores eléctricos		21469,74	21469,74	21469,74	21469,74	21469,74
Personas	1406,4	1406,4	1406,4	1406,4	1406,4	1406,4
Tubería de vapor		2504,74	2504,74	2504,74	2504,74	2504,74
TC paredes norte/oeste	382,74					
TC por pared este		722,02	722,02	722,02	722,02	722,02
TC ¹⁴ por piso	210,18					
TOTALES CARGA TÉRMICA [W]	2179,2	27757,79	27757,79	27757,79	27757,79	27757,79

Fuente: Autor.

¹³ Abreviatura para "Tablero".

¹⁴ Abreviatura para "Transferencia de calor".

De la tabla anterior, se puede precisar que en el inicio de la operación del proceso productivo (hora cero) el valor total de las cargas térmicas es muy bajo, alcanzando un valor de 2,179 kW. Por otro lado, una vez transcurridas 5 horas y de ahí en adelante mientras el proceso de producción se encuentre activo se registra un aumento en el total de las cargas térmicas notable, alcanzando un valor de 27,758 kW.

El valor encontrado como conclusión del párrafo anterior es posible expresarlo en una unidad conocida en la industria de la refrigeración y aire acondicionado como lo son las toneladas de refrigeración [TRF]. El factor de conversión de kW a TRF es:

$$1 \text{ TRF} = 3,51685 \text{ kW}$$

Para lo que se tiene que:

$$27,758 \text{ kW} = 7,89 \text{ TRF}$$

7.3 CONDICIONES DE DISEÑO PARA EL CONFORT HUMANO

7.3.1 Uso de la carta psicrométrica

Para establecer las condiciones de confort humano requeridas en la zona, se toma como fuente principal el standard 55 de la ASHRAE el cual tiene por título “Condiciones térmicas de ambiente para la ocupación humana” y su manual de fundamentos.

El estándar establece unas condiciones de ambiente térmico que la mayoría de ocupantes encontraría aceptables; definiendo a la “mayoría” como el 80% de aceptabilidad por parte de los ocupantes. Sin embargo, para hacer uso del método gráfico y establecer dichas condiciones es necesario definir la tasa metabólica basal con base en las actividades que los ocupantes realicen y el tipo de aislamiento de ropa que usen los mismos, para poder definir si se encuentran o no en el rango de valores permitidos y así poder utilizar la gráfica (1.0 – 1.7 met) y (0.5 – 1.0 clo). Para lo anterior de acuerdo con las tablas A1 y B1 del estándar 55 del 2010 de la ASHRAE y con las actividades y tipo de ropa que llevan los operarios en la zona a acondicionar se definen los valores como se muestra a continuación.

Tabla 7.3.1.1 – Tasa metabólica y aislamiento de ropa.

TASA METABOLICA Y AISLAMIENTO DE ROPA	
VARIABLE	VALOR
Tasa metabólica [met]	1,7
Aislamiento de ropa [clo]	0,89

Fuente: Autor.

De igual manera, la ASHRAE en su manual de fundamentos del 2009 recomienda los siguientes límites y valores para las variables que se muestran en la figura 9.3.1 (a medida que se establecen los valores límite se fueron realizando en la figura líneas de color rojo para mayor entendimiento del lector):

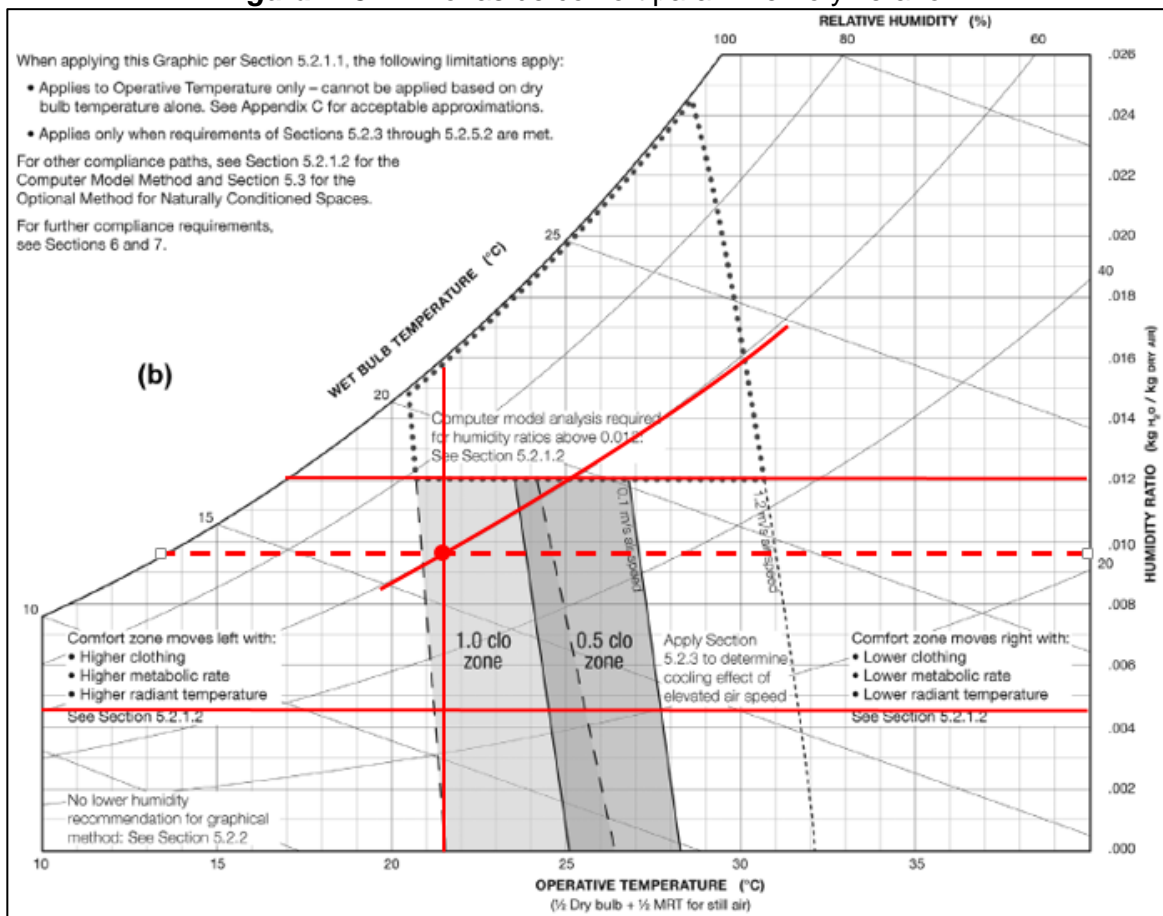
- El valor de la temperatura del punto de rocío para espacios ocupados no debe ser inferior a $36^{\circ}F = 2,22^{\circ}C$. (Límite inferior horizontal de la *figura 9.3.1* en rojo).
- La humedad específica presenta un límite máximo igual a $0,012lb/lb$, para lo que se tiene una $T_{MAX} = 62,2^{\circ}F = 16,7^{\circ}C$. (Límite superior horizontal de la *figura 9.3.1* en rojo).
- El valor de la temperatura operativa debe estar en el rango de: $24^{\circ}C > T_o > 21^{\circ}C$.
- La humedad relativa en recintos internos para confort térmico se establece en un rango entre 30% – 60% como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7.3.1.2 – Niveles de humedad relativa internos.

	Relative humidity, %
Summer	30–65
Winter	
Commercial and public buildings	20–60
Health care buildings	30–60

Fuente: (Shang K. Wang, Handbook of air Conditioning and refrigeration)(6).

Figura 7.3.1 – Zonas de confort para invierno y verano.



Fuente: (ASHRAE Standard 55, Thermal environmental conditions for human occupancy)(17).

Cabe resaltar que los rangos de temperatura en la figura anterior están basados en los hábitos de uso de ropa de acuerdo con las estaciones de verano e invierno en los Estados Unidos. Dichos valores están dados en unidades denominadas [clo] y se caracterizan tanto para la estación de invierno, como para verano.

- Las prendas de verano se consideran pantalones ligeros y una camisa de manga corta o un conjunto comparable, con un valor de 0,5 clo.
- Las prendas de invierno se consideran pantalones pesados, camisa de manga larga y un suéter o chaqueta, con un valor de 0,9 – 1 clo.

De igual manera las zonas de confort definidas en la **figura 9.3.1 – Zonas de confort para invierno y verano** son para velocidades de ingreso de aire en el espacio a acondicionar que no excedan los 40 fpm = 0,2032 m/s

Sin embargo es necesario utilizar una carta psicrométrica que se ajuste a la presión y por consiguiente a la altura sobre el nivel del mar, según el lugar de ubicación del sistema de aire acondicionado, para lo que se utilizara una carta psicrométrica con las siguientes características y se encuentra ubicada en la **figura 11.12.1** del anexo 12.

Tabla 7.3.1.3 – Características carta psicrométrica.

CARACTERÍSTICAS CARTA PSICROMETRICA		
MARCA	Coolerado	
Características	Sistema Ingles	Sistema Internacional
Presión barométrica [inHg – kPa]	22,653	76,71
Altura [feet – m]	7500	2286

Fuente: Autor.

Validando los datos de confort para temperatura de bulbo seco y de humedad relativa como se muestra en la **figura 11.12.1** del anexo 12 es posible establecer las demás propiedades del aire como se muestra a continuación.

Tabla 7.3.1.4 – Propiedades del aire acondicionado.

CONDICIONES DE CONFORT TÉRMICO	
VARIABLE	VALOR
Temperatura Operativa [°C]	21,5
Humedad Relativa [%]	60
Entalpía [kJ/kg]	72,57
Humedad específica kg h ₂ O/kg aire seco	0,013
Temperatura de saturación [°C]	16,11
Temperatura de dew-point [°C]	13,78
Volumen específico [m ³ /kg]	1,13

Fuente: Autor.

7.3.2 Ventilación para confort térmico

Es necesario establecer un flujo de aire fresco mínimo para ventilación que cumpla con las necesidades de respiración por parte de los ocupantes de la zona. Dicho flujo dependerá de ciertos parámetros como la cantidad de ocupantes dentro del lugar, el tipo de zona a acondicionar y su tamaño dado en unidades de área. La ASHRAE en su estándar 62.1 – Ventilación para una calidad del aire interno aceptable, establece una ecuación para el cálculo del aire exterior requerido en una zona con ocupantes como se muestra a continuación.

$$V_{bz} = R_p \times P_z + R_a \times A_z \quad [14]$$

Dónde:

- A_z = Área total de la zona a acondicionar. [$ft^2 - m^2$]
- R_p = Tasa de flujo de aire exterior requerida por persona.
- P_z = Número total de personas en la zona.
- R_a = Tasa de flujo de aire exterior requerido por unidad de área.

Los valores de R_a y R_p se obtienen con base en la siguiente tabla, teniendo en cuenta que se selecciona una categoría de ocupación denominada manufactura general.

Tabla 7.3.2.1 – Tasas mínimas de ventilación en una zona de respiración.

Occupancy Category	People Outdoor Air Rate R_p		Area Outdoor Air Rate R_a		Notes	Default Values			Air Class
	cfm/person	L/s-person	cfm/ft ²	L/s-m ²		Occupant Density (see Note 4)	Combined Outdoor Air Rate (see Note 5)		
						#/1000 ft ² or #/100 m ²	cfm/person	L/s-person	
Freezer and refrigerated spaces (<50°F)	10	5	0	0	E	0	0	0	2
General manufacturing (excludes heavy industrial and processes using chemicals)	10	5.0	0.18	0.9		7	36	18	3
Pharmacy (prep. area)	5	2.5	0.18	0.9		10	23	11.5	2
Photo studios	5	2.5	0.12	0.6		10	17	8.5	1
Shipping/receiving	10	5	0.12	0.6	B	2	70	35	2
Sorting, packing, light assembly	7.5	3.8	0.12	0.6		7	25	12.5	2
Telephone closets	—	—	0.00	0.0		—			1
Transportation waiting	7.5	3.8	0.06	0.3		100	8	4.1	1
Warehouses	10	5	0.06	0.3	B	—			2

Fuente: (ASHRAE Standard 62.1, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality)(24).

Con base en la tabla anterior y los datos de área de la zona a acondicionar y el número de ocupantes de las *tablas* 9.1.1.2 y 9.1.2.4 respectivamente. Se hace uso de la ecuación [14] para determinar la siguiente información.

Tabla 7.3.2.2 – Aire exterior mínimo requerido para ventilación.

CALCULO DE AIRE EXTERIOR MÍNIMO REQUERIDO PARA VENTILACIÓN	
VARIABLE	VALOR
Área total de la zona [m^2]	56,03
Tasa de flujo de aire requerida por persona [$L/s \times persona$]	5
Número total de personas en la zona	3
Flujo de aire exterior requerido por unidad de área [$L/s \times m^2$]	0,9
Flujo de aire exterior requerido en la zona [L/s]	65,43
Factor de conversión de L/s a m^3/s	$1m^3/s = 1000L/s$
Flujo de aire exterior requerido en la zona [m^3/s]	0,06543
Flujo de aire mínimo requerido para respiración [cfm]	138,64

Fuente: Autor.

De la tabla anterior es posible identificar el flujo de aire fresco mínimo por respiración para el total de personas que se encuentran en la zona a acondicionar. Sin embargo, es importante utilizar un factor de seguridad debido a que en determinados momentos del día puede ingresar personal diferente al que labora en la habitación de mezclas, para lo que se establece un valor de factor de seguridad del 10%:

$$F.S. = 1.1$$

Así pues, el valor de flujo de aire fresco mínimo requerido en la zona para satisfacer las necesidades de respiración por el personal es:

Tabla 7.3.2.3 – Aire exterior mínimo con FS requerido para ventilación.

FACTOR DE SEGURIDAD PARA AIRE EXTERIOR REQUERIDO MÍNIMO	
VARIABLE	VALOR
Flujo de aire requerido en la zona para respiración [cfm]	138,64
Factor de Seguridad	1,1
Flujo de aire requerido en la zona para respiración con FS [cfm]	152,50
Flujo de aire requerido en la zona para respiración con FS [m^3/s]	0,072

Fuente: Autor.

7.4 PROCESO PSICROMETRICO

7.4.1 Selección del proceso psicrométrico

El siguiente paso en el diseño del sistema de aire acondicionado es precisar qué tipo de proceso psicrométrico se debe llevar a cabo para acondicionar el aire a las especificaciones de confort requeridas. En la siguiente tabla se recolectan los datos de las propiedades del aire tanto para las condiciones de confort térmico, como para las condiciones actuales que presenta la zona.

Tabla 7.4.1.1 – Condiciones actuales vs confort térmico.

CONDICIONES	CONFORT TÈRMICO	ACTUALES
VARIABLE	VALOR	VALOR
Temperatura Operativa [°C]	21,5	32,36
Humedad Relativa [%]	60	34,48
Entalpía [kJ/kg]	31,2	85,13
Humedad específica [kg/kg]	0,013	0,014
Temperatura de saturación [°C]	16,11	19,5
Temperatura de dew-point [°C]	13,78	14,72
Volumen específico [m ³ /kg]	1,13	1,17

Fuente: Autor.

De la *tabla 9.4.1.1* es posible identificar que para cumplir las condiciones de confort térmico se debe disminuir la temperatura operativa del aire (temperatura de bulbo seco) y por el contrario el valor de humedad relativa del aire debe aumentar. Estas dos variables definen el tipo de proceso psicrométrico que se debe ejecutar para cumplir con los requerimientos, el cual se denomina enfriamiento y humidificación. Este proceso se consigue rociando agua fría en la corriente de aire de entrada al aparato acondicionador; sin embargo, la temperatura del agua debe ser menor a la temperatura de bulbo seco del aire y mayor a la temperatura del punto de rocío ($T_{ADPaire} < T_{H2O} < T_{BSaire}$) para evitar condensación del mismo.

Así mismo, este proceso genera una transferencia de calor sensible desde el aire, hacia el agua y una transferencia de calor latente del agua hacia el aire. En otras palabras, la transferencia de calor depende de la temperatura del agua y como consecuencia se tiene lo siguiente:

Tabla 7.4.1.2 – Condiciones actuales vs confort térmico.

TEMPERATURAS DEL AGUA EN EL PROCESO PSICROMETRICO		
$T_{H2O} = T_{BHaire}$	Si la temperatura del agua es igual a la temperatura de bulbo húmedo del aire, la velocidad de transferencia de calor neta es cero ya que la transferencia de calor sensible es igual a la transferencia de calor latente.	$Q_{neta} = 0 \rightarrow Q_S = Q_L$

Fuente: Autor.

Tabla 7.4.1.3 – (Continuación).

TEMPERATURAS DEL AGUA EN EL PROCESO PSICROMETRICO		
$T_{H2O} > T_{BHaire}$	Si la temperatura del agua es mayor que la temperatura de bulbo húmedo del aire, entonces existirá una transferencia de calor neta del agua hacia el aire.	$Q_{neta} H2O \rightarrow Aire$
$T_{H2O} < T_{BHaire}$	Si la temperatura del agua es menor que la temperatura de bulbo húmedo del aire, entonces existirá una transferencia de calor neta del aire hacia el agua.	$Q_{neta} Aire \rightarrow H2O$

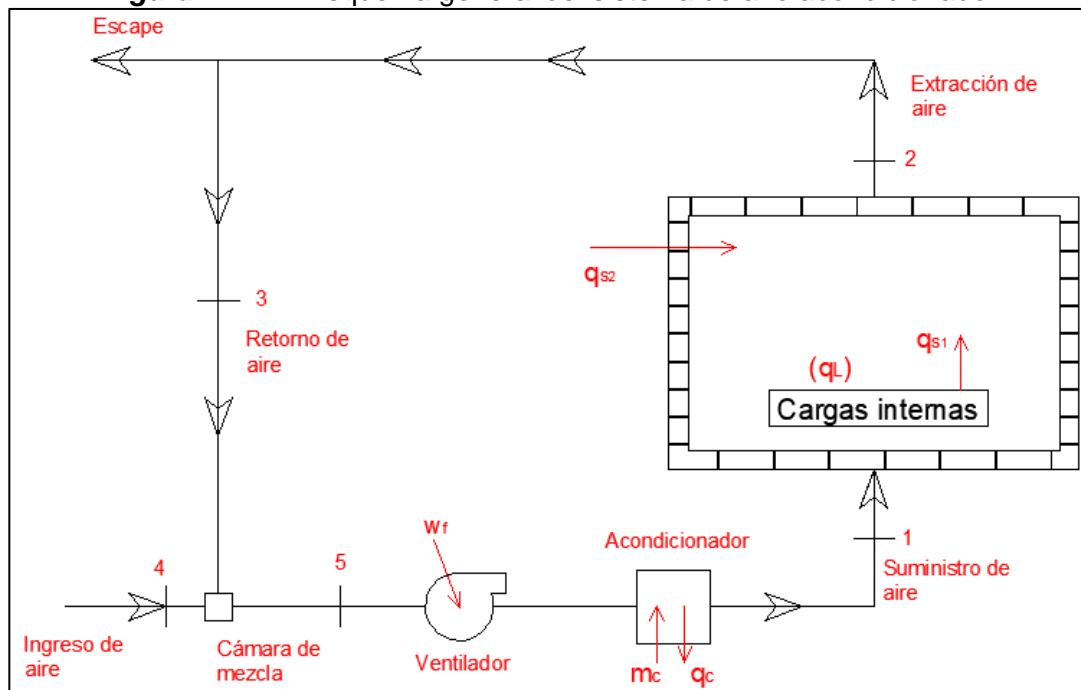
Fuente: Autor.

7.4.2 Cálculos para el proceso de enfriamiento y humidificación

Para realizar los cálculos psicrométricos es necesario en primera instancia establecer un esquema básico del sistema de aire acondicionado con sus diferentes componentes para junto con el uso de la carta psicrométrica poder determinar las propiedades de aire y sus requerimientos en cada una de las etapas del sistema.

A continuación se muestra un esquema básico de un sistema de aire acondicionado, que sirve de guía para realizar los cálculos psicrométricos.

Figura 7.4.1 – Esquema general del sistema de aire acondicionado.



Fuente: Autor.

De la figura anterior se establece que durante el recorrido que realiza el aire dentro del sistema existen 5 momentos fundamentales, los cuales se describen a continuación.

Tabla 7.4.2.1 – Especificación de procesos en el sistema.

RECORRIDO DEL AIRE DENTRO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO	
1	Suministro de aire hacia la zona a acondicionar, en las condiciones de confort térmico establecidas en la <i>tabla 9.4.1</i> .
2	Extracción de aire del área a acondicionar en las condiciones actuales de la zona que se muestran en la <i>tabla 9.4.1</i> .
3	El sistema de acondicionamiento tendrá un porcentaje de aire de retorno, ya que las condiciones a las que se extrae dicho fluido de la habitación son más favorables para su acondicionamiento en términos del consumo energético del equipo, que si se tomara un 100% de aire del ambiente.
4	Ingreso de aire del exterior (aire fresco) el cual estará dado en unidades de flujo másico y su valor será igual al flujo de aire calculado en la sección 9.3.2, <i>tabla 9.3.7</i> .
5	Flujo de aire total disponible para ingreso al aparato acondicionador.

Fuente: Autor

Por otro lado, se puede apreciar en la *figura 9.4.1.1* los diferentes procesos denotados con flechas de color rojo sobre los equipos como lo son el ventilador, el acondicionador y la zona a acondicionar. En la siguiente tabla se especifican cada uno de los procesos.

Tabla 7.4.2.2 – Puntos de análisis del aire en el sistema de aire acondicionado.

RECORRIDO DEL AIRE DENTRO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO		
VARIABLE	UBICACION	DESCRIPCIÓN
W_f	Ventilador	Trabajo que debe ejecutar el equipo para impulsar el aire en el sistema de aire.
m_c	Acondicionador	Humedad que debe añadirle el equipo al aire para cumplir el requerimiento de confort.
q_c	Acondicionador	Calor que debe extraer el equipo del aire para cumplir con el requerimiento de confort.
q_L	Zona a acondicionar	Ganancias de calor latente en la zona a acondicionar.
q_{s1}	Zona a acondicionar	Ganancias internas de calor sensible en la zona a acondicionar.
q_{s2}	Zona a acondicionar	Ganancias externas de calor sensible en la zona a acondicionar.

Fuente: Autor.

Haciendo uso del esquema mostrado en la *figura 9.4.1* y de la carta psicrométrica en el anexo 13 con las características de la *tabla 9.3.1.3* se procede a realizar los cálculos pertinentes.

1. Con base en la *tabla 9.4.1.1* se toman los datos de las propiedades del aire para las condiciones de confort y las propiedades del aire extraído de la habitación. Estas condiciones corresponden al punto 1 (punto de suministro de aire a la zona) y al punto 2 (extracción de aire de la zona) en la *figura 9.4.1*.

Tabla 7.4.2.3 – Condiciones de suministro y extracción de aire en la zona.

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	PUNTO 1	PUNTO 2
Temperatura de BS, aire de suministro [°C]	T_{BS}	21,5	32,36
Humedad Relativa [%]	HR	60	34,48
Entalpía [kJ/kg]	h	31,2	85,13
Humedad específica [kg/kg]	w	0,013	0,014
Temperatura de saturación [°C]	T_{SAT}	16,11	19,5
Temperatura de dew-point [°C]	T_{DP}	13,78	14,72
Volumen específico [m ³ /kg]	v	1,13	1,17

Fuente: Autor.

- Es posible establecer las condiciones del punto 4 (ingreso de aire exterior al sistema), teniendo en cuenta que se conocen dos de sus propiedades (temperatura de bulbo seco y humedad relativa) de la *tabla 9.1.1.1*.

Tabla 7.4.2.4 – Condiciones de suministro de aire exterior.

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	PUNTO 4
Temperatura de BS, aire de suministro [°C]	T_{BS4}	13,39
Humedad Relativa [%]	HR_4	79
Entalpía [kJ/kg]	h_4	56,75
Humedad específica [kg/kg]	w_4	0,010
Temperatura de saturación [°C]	T_{SAT4}	11,11
Temperatura de dew-point [°C]	T_{DP4}	9,72
Volumen específico [m ³ /kg]	v_4	1,09

Fuente: Autor.

Los puntos 1, 2 y 4 anteriormente descritos se pueden apreciar en la carta psicrométrica en el anexo 13. Vale destacar que el punto 2 y punto 3 en el esquema poseen las mismas propiedades, siempre y cuando la longitud de los ductos no sea demasiado grande como para que las condiciones externas en el lugar de ubicación de los mismos afecten las propiedades del aire.

- Establecer el valor de flujo másico de aire exterior requerido (punto 4) es posible, debido a que en la sección 9.3.2 se calculó el flujo volumétrico para ventilación, que cumple con el objetivo de satisfacer las necesidades mínimas de respiración por parte de los ocupantes de la zona. El valor calculado fue de:

$$V_{bz} = 152,5 \text{ cfm} = 0,072 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para la conversión del flujo volumétrico de ventilación se requiere hacer uso de la definición algebraica de densidad, la cual expresa que:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [15]$$

Tomando como $m = \text{masa}$ y $V = \text{volumen}$. Análogamente esta relación funciona para los flujos másico y volumétrico, y despejando para la variable m .

$$\dot{m} = \rho \times \dot{V} \quad [16]$$

Ahora bien, haciendo uso de la ecuación de gas ideal que establece:

$$PV = nRT \quad [16.1]$$

Reemplazando $n = \frac{m}{M}$, además despejando para $\frac{m}{V} = \rho$

$$\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T} = \frac{0,78 \text{ atm} \cdot 28,96 \text{ g/mol}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 286,54 \text{ K}} = 0,9614 \frac{\text{g}}{\text{L}} = 0,9614 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

$P = \text{Presión del aire [atm]}$	0,78
$M = \text{Masa molecular del gas [g/mol]}$	28,96
$R = \text{Constante de los gases ideales [atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K]}$	0,082
$T = \text{Temperatura del aire [K]}$	286,54

Así reemplazando los valores de densidad y flujo volumétrico en la ecuación [16] se obtiene que:

$$m = \rho \times V = 0,9614 \text{ kg/m}^3 \times 0,072 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m}_4 = 0,069 \text{ kg/s}$$

4. Una vez conocidas las condiciones de ingreso y salida del aire en la zona a acondicionar, además de los valores de ganancias de calos latente y sensible establecidos en la *tabla 9.2.1.1* es posible calcular el valor de *RSHF* y el θ .

Tabla 7.4.2.5 – Factor de calor sensible y pendiente 1-2.

CALCULO DEL RSHF Y LA PENDIENTE 1-2	
Factor de calor sensible de la zona	Pendiente del proceso 1-2
Es un valor entre 0 y 1 que determina cuan alto es el valor del calor sensible total, respecto al calor total que se encuentra en la zona.	Es el valor de la pendiente de la línea que se genera entre los puntos 1 y 2 de la <i>gráfica 11.13.1</i> del anexo 13.
$RSHF = \frac{Q_{ST}}{Q_{ST}+Q_L} \quad [17]$	$\tan(\theta) = \frac{1}{2451} \times \frac{1-RSHF}{RSHF} \quad [18]$

Fuente: Autor.

Haciendo uso de las ecuaciones [17] y [18] se obtiene que:

$$RSHF = \frac{27199,59 \text{ W}}{27199,59 \text{ W} + 558,2 \text{ W}} \qquad \theta = \tan^{-1} \left[\frac{1}{2451} \times \frac{1 - RSHF}{RSHF} \right]$$

$$\underline{RSHF = 0,979} \qquad \theta = 0,00501452 \text{ rad} \times \frac{360^\circ}{2\pi \text{ rad}} = 0,2873^\circ$$

Estos valores son una referencia para poder graficar la línea de proceso 1-2 que se muestra en la *gráfica 12.13.1* del anexo 13.

5. Ahora es posible calcular el valor del flujo másico requerido en el punto 1 (suministro de aire a la zona) a partir de una ecuación que nos permita conocer el valor de calor sensible total generado en la zona como la siguiente:

$$Q_{ST} = \dot{m}_1 \times C_p \times (T_2 - T_1) \qquad [19]$$

Donde:

Q_{ST} = Calor sensible total generado en la zona. [W]

\dot{m}_1 = Flujo másico requerido en el punto 1. [kg/s]

C_p = Calor específico a la temperatura promedio del aire. [J/kg · K]

T_2 y T_1 = Temperaturas del aire en los puntos 2 y 1 respectivamente. [K]

De la ecuación [19] se conocen los valores de calor sensible y temperaturas en los puntos 1 y 2 por los cálculos realizados en secciones anteriores (*tablas 9.2.1.1 y 9.4.2.3*), además, el valor de calor específico puede ser encontrado mediante el uso de la *tabla 12.14.1* del anexo 14 ($C_p = 1007 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$), lo cual deja como única incógnita el valor del flujo másico que es posible despejarlo y tener la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_1 = \frac{Q_{ST}}{C_p \times (T_2 - T_1)} \qquad [20]$$

$$\dot{m}_1 = \frac{27199,59 \text{ W}}{1007 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \times (305,51\text{K} - 294,65\text{K})}$$

$$\underline{\dot{m}_1 = 2,49 \text{ kg/s}}$$

6. Teniendo la línea del proceso que sufre el aire en su paso por la habitación a acondicionar ahora es posible proyectar dicha línea hasta su intersección con la curva de saturación de la carta psicrométrica y determinar el valor del eje horizontal el que será la temperatura del apparatus dew-point de la habitación, dicha

proyección se puede apreciar en la *gráfica 12.13.2* del anexo 13. A continuación el valor obtenido para dicha temperatura es:

$$T_{ADP_{zona}} = 53,1^{\circ}F = 11,72^{\circ}C$$

7. El siguiente paso será calcular las propiedades del punto 5, debido a que en este punto no se conoce ninguna propiedad hasta el momento y es de suma importancia ya que el aire entra a esas condiciones al aparato acondicionador. Para poder determinar las propiedades en el punto 5 se requiere hacer un balance de energía y masa entre los puntos de entrada y salida en lo que se podría considerar una cámara de mezcla, ya que el punto 5 es la mezcla del aire recirculado en 3 y del suministro de aire exterior en 4.

- **BALANCE DE MASA**

$$\dot{m}_{IN} = \dot{m}_{OUT}$$

$$\dot{m}_4 \times (w_4 - w_2) = \dot{m}_1 \times (w_5 - w_2) \quad [21]$$

Despejando para w_5 se obtiene:

$$w_5 = \frac{\dot{m}_4 \times (w_4 - w_2)}{\dot{m}_1} + w_2 \quad [22]$$

$$w_5 = \frac{0,069 \text{ kg/s} \times (0,010 \text{ kg/kg} - 0,014 \text{ kg/kg})}{2,49 \text{ kg/s}} + 0,0140 \text{ kg/kg}$$

$$\underline{w_5 = 0,0138 \text{ kg/kg}}$$

- **BALANCE DE ENERGIA**

$$\dot{E}_{IN} = \dot{E}_{OUT}$$

$$\dot{m}_4 \times (h_4 - h_2) = \dot{m}_1 \times (h_5 - h_2) \quad [23]$$

Despejando para h_5 se obtiene:

$$h_5 = \frac{\dot{m}_4 \times (h_4 - h_2)}{\dot{m}_1} + h_2 \quad [24]$$

$$h_5 = \frac{0,069 \text{ kg/s} \times (56,75 \text{ kJ/kg} - 85,13 \text{ kJ/kg})}{2,49 \text{ kg/s}} + 85,13 \text{ kJ/kg}$$

$$\underline{h_5 = 84,11 \text{ kJ/kg}}$$

Realizado el balance de masa y energía se encontraron los valores de entalpia y humedad específica para el punto 5 de la *gráfica 9.4.1*, y por tanto es posible hacer uso de la carta psicrométrica (*gráfica 11.13.3*) del anexo 13, para encontrar el resto de propiedades de dicho punto.

Tabla 7.4.2.6 – Condiciones del punto 5.

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	PUNTO 5
Temperatura de BS, aire de suministro [°C]	T_{BS5}	30,39
Humedad Relativa [%]	HR_5	35
Entalpía [kJ/kg]	h_5	84,11
Humedad especifica [kg/kg]	w_5	0,0138
Temperatura de saturación [°C]	T_{SAT5}	19,17
Temperatura de dew-point [°C]	T_{DP5}	14,39
Volumen especifico [m ³ /kg]	v_5	1,16

Fuente: Autor.

8. Teniendo definidos los puntos 1 y 5 del esquema mostrado en la *gráfica 9.4.1* es posible trazar una línea que una dichos puntos y muestre el proceso que sufre el aire a través del acondicionador. Además, si se proyecta esta línea hasta su intersección con la curva de saturación como se muestra en la *gráfica 11.13.4* es posible encontrar el valor de la temperatura del apparatus dew-point del serpentín.

$$T_{ADP_{serp}} = 54^{\circ}F = 12,22^{\circ}C$$

Así mismo, es posible calcular el factor de bypass del sistema con la siguiente ecuación.

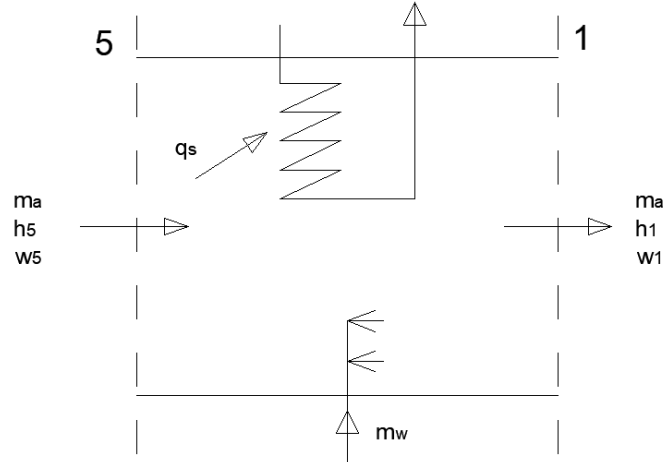
$$X = BPF = \frac{T_5 - T_{ADP_{serp}}}{T_1 - T_{ADP_{serp}}} \quad [25]$$

$$X = BPF = \frac{30,39^{\circ}C - 12,22^{\circ}C}{21,5^{\circ}C - 12,22^{\circ}C} \rightarrow \mathbf{X = 1,96}$$

Una vez se tienen establecidos los procesos de transformación de las propiedades del aire en su paso por todo el sistema de aire acondicionado es posible trazar el ciclo que realiza el aire en la carta psicrométrica; este se puede apreciar en la *gráfica 11.13.5* del anexo 13, donde se muestran los puntos de ingreso de aire exterior, condiciones de confort o ingreso de aire en la zona, extracción de aire en la zona y suministro de aire al aparato acondicionador.

9. A continuación se muestra el esquema básico de un aparato acondicionador con enfriamiento y humidificación para realizar los respectivos balances de energía y masa

Figura 7.4.2 – Esquema del serpentín de enfriamiento.



Fuente: Autor.

- **BALANCE DE ENERGIA**

$$\dot{E}_{IN} = \dot{E}_{OUT}$$

$$\dot{m}_a \times h_5 + \dot{m}_w \times h_w = \dot{m}_a \times h_1 + q_s \quad [26]$$

- **BALANCE DE MASA**

$$\dot{m}_{IN} = \dot{m}_{OUT}$$

$$\dot{m}_a \times w_5 + \dot{m}_w = \dot{m}_a \times w_1 \quad [27]$$

Despejando \dot{m}_w de la ecuación [27] se tiene:

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \times (w_1 - w_5)$$

$$\dot{m}_w = 2,49 \text{ kg/s} \times (0,013 \text{ kg/kg} - 0,0138 \text{ kg/kg})$$

$$\dot{m}_w = 0,0012 \text{ kg/s}$$

Reemplazando el valor de \dot{m}_w en la ecuación [26] y despejando para h_w .

$$h_w = \frac{\dot{m}_a \times (h_1 - h_5) + q_s}{\dot{m}_w}$$

$$h_w = \frac{2,49 \text{ kg/s} \times (72,57 \text{ kJ/kg} - 84,11 \text{ kJ/kg}) + 27,20 \text{ kW}}{0,0012 \text{ kg/s}}$$

$$\underline{h_w = 1278 \text{ kJ/kg}}$$

Teniendo establecidos los balances, ahora es importante conocer las cargas en el aparato acondicionador para conocer su capacidad.

- **Carga sensible:**

$$Q_{s,serp} = \dot{m}_1 \times C_p \times (T_5 - T_1) \quad [28]$$

Los valores de temperatura requeridos para resolver las ecuaciones [28] y [29] se tomaron de las *tablas 9.4.5* y *9.4.9*. Igualmente, los valores de flujo másico y calor específico se tomaron de los procesos calculados anteriormente en esta sección.

$$Q_{s,serp} = 2,49 \text{ kg/s} \times 1007 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \times (303,54 \text{ K} - 294,65 \text{ K})$$

$$\underline{Q_{s,serp} = 22,29 \text{ kW}}$$

- **Carga total:**

$$Q_{T,serp} = \dot{m}_1 \times (h_5 - h_1) \quad [29]$$

$$Q_{T,serp} = 2,49 \text{ kg/s} \times (84,11 \text{ kJ/kg} - 72,57 \text{ kJ/kg})$$

$$\underline{Q_{T,serp} = 28,73 \text{ kW}}$$

- **Carga latente:**

Para esta carga es posible hacer uso de otra forma de escribir la carga total en el serpentín, como se muestra en la siguiente ecuación y despejando para $Q_{L,serp}$.

$$Q_{T,serp} = Q_{s,serp} + Q_{L,serp} \quad [30]$$

$$Q_{L,serp} = Q_{T,serp} - Q_{s,serp} \quad [31]$$

$$Q_{L,serp} = 28,73 \text{ kW} - 22,29 \text{ kW}$$

$$\underline{Q_{L,serp} = 6,44 \text{ kW}}$$

7.5 DISEÑO DE DUCTOS DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

Para el completo desarrollo del diseño de los ductos que transportarán el aire acondicionado de suministro y el aire caliente de la habitación, es necesario dividir el proceso en las siguientes secciones para abarcar por completo todas las consideraciones pertinentes.

1. Distribución de aire en el espacio a acondicionar.
2. Diseño de ductos.

7.5.1 Distribución de aire en el espacio a acondicionar

La correcta distribución de aire en la zona debe cumplir con el objetivo principal de crear una apropiada combinación de humedad temperatura y movimiento de aire en la habitación a acondicionar. Para lograr dicho objetivo es necesario en primera instancia realizarse la pregunta: ¿Dónde estará ubicado el sistema de aire acondicionado? La respuesta apropiada para esta interrogante se basa en el espacio disponible en los alrededores de la habitación a acondicionar.

Haciendo una revisión en campo se establece que el lugar más pertinente para la ubicación del sistema es la terraza que se encuentra justo sobre la placa de concreto superior (techo) de la habitación a acondicionar; en esta zona se tiene todo el espacio necesario para la instalación de los equipos y el sistema de ductos.

De igual forma, es necesario tener en cuenta ciertos factores que intervienen en el cumplimiento del objetivo los cuales son:

1. Velocidad de suministro de aire a la zona.
2. Geometría, cantidad y posición de los puntos con suministro de aire acondicionado.
3. Cantidad y posición de los puntos con extracción de aire (aire de retorno).
4. Geometría de la zona.

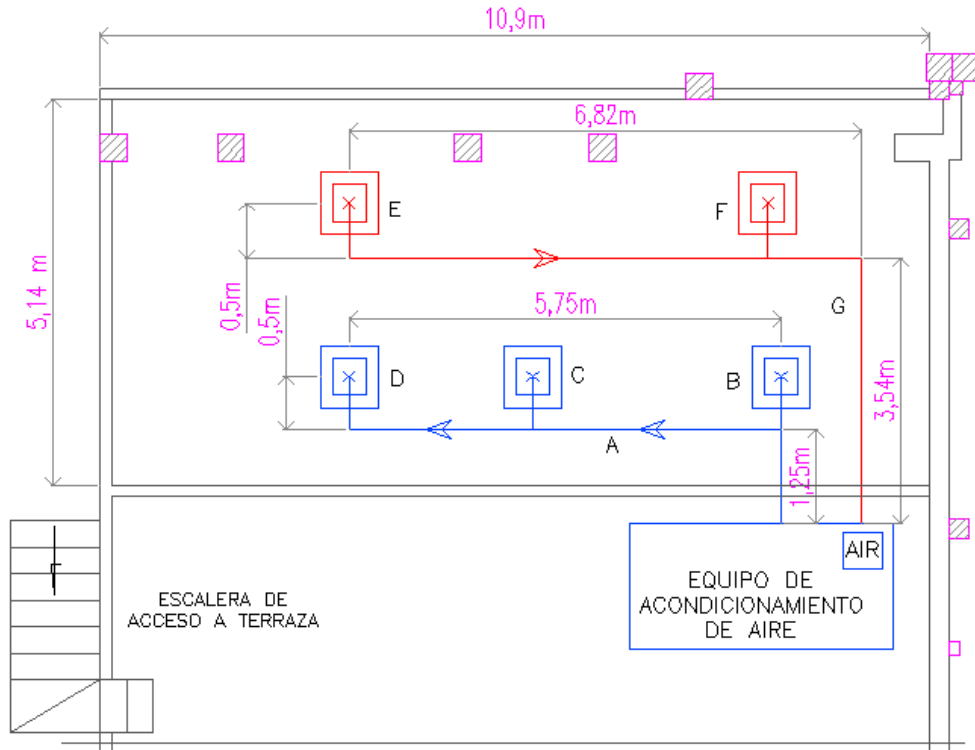
Para establecer la cantidad y el tipo de puntos de suministro de aire a condicionado y de puntos de aire de retorno se basa en la experiencia y en la información encontrada la cual identifica un patrón de comportamiento del aire en su ingreso al recinto en el que:

1. El aire acondicionado (frío) en una zona tiende a bajar.
2. El aire de retorno (caliente) en una zona tiende a subir.
3. El flujo de aire acondicionado en la zona tiende a desviarse cuando se encuentra obstáculos físicos como columnas, vigas, etc.
4. La envergadura, el alcance y la caída del chorro de aire acondicionado están en función del tipo de dispositivo para el suministro de aire y su ubicación.

Por las condiciones físicas que presenta la ubicación de la zona a acondicionar, la ubicación de los puntos de suministro y extracción de aire debe estar en el techo del mismo, lo que descarta el ingreso de aire por la parte superior de las paredes. Además, se establece que para el ingreso de aire se usaran difusores de techo, ya

que presentan una gran relación de arrastre para movilizar el aire en la zona y entregan una mayor cantidad del mismo que otros dispositivos. Estos difusores cuentan con paletas direccionales para ajustar la dirección de flujo del aire. Así mismo, se sabe que por lo general la ubicación y el tipo de rejillas de retorno de aire caliente no afectan la distribución de aire significativamente. De acuerdo con lo dicho anteriormente, a continuación se muestra un esquema con la distribución del sistema de ductos, sus longitudes, los puntos de ingreso de aire en color azul, los de extracción de aire de la zona en rojo y en el equipo acondicionador el punto de inyección de aire exterior al equipo denominado AIR en la gráfica que se inyectaría desde el techo.

Figura 7.5.1 – Esquema del sistema de ductos.¹⁵



Fuente: Autor.

Tabla 7.5.1.1 – Características distribución de ductos.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE DUCTOS	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Cantidad de difusores de suministro de aire	3
Cantidad de rejillas de extracción de aire	2
Longitud de la sección A [m]	7
Longitud de las secciones B,C,D,E y F [m]	0,5 c/u

Fuente: Autor.

¹⁵ Para ver el plano del sistema de ductos dirigirse al anexo 15, figura 11.15.1

Tabla 7.5.1.2 – (Continuación).

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE DUCTOS	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Longitud de la sección G [m]	3,54
Longitud total del sistema de suministro de aire [m]	8,5
Longitud total del sistema de extracción de aire [m]	11,36
Longitud del sistema de suministro de aire exterior [m]	4,58

Fuente: Autor.

7.5.2 Diseño de ductos

Para que el diseño de ductos sea el mejor posible es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones generales:

1. El aire debe transportarse tan directo como sea posible, ya que esto repercutirá en un ahorro de espacio, energía y materiales de fabricación.
2. Se deben evitar a toda costa los cambios repentinos de dirección o cambios abruptos en el área de sección transversal de los ductos.
3. Las secciones divergentes (secciones donde el fluido se bifurca) deben tener un ángulo menor a 20°.
4. La relación de aspecto (relación entre los valores de los lados del perfil rectangular) en caso de que se seleccionen ductos rectangulares debe ser lo más cercana posible a 1, sin que dicho valor exceda a 4.
5. Se debe tener en cuenta unas velocidades límite permisibles para reducir o evitar el ruido y vibración a lo largo del sistema y en la zona a acondicionar.
6. Los materiales de fabricación de los ductos deben ser lo menos rugosos posibles para evitar las pérdidas por fricción.

La teoría establece unas velocidades de flujo de aire recomendadas para los ductos como se muestra a continuación:

Tabla 7.5.2.1 – Velocidades de flujo recomendadas en ductos.

VELOCIDADES DE FLUJO RECOMENDADAS EN DUCTOS	
DESCRIPCIÓN	VARIABLE
Ductos principales	5 – 8 m/s
Ductos secundarios (ramificaciones)	4 – 6 m/s

Fuente: Autor.

Por otro lado, es de vital importancia seleccionar el tipo de material y fabricación en el que se realizara la ducteria. Teniendo en cuenta las recomendaciones generales realizadas anteriormente y los conocimientos de lo que en el mercado local se puede adquirir se propone que los ductos sean rectangulares fabricados con láminas de acero

galvanizado y con un recubrimiento (aislante térmico) en lana de vidrio para evitar ganancias de calor en los ductos.

Los métodos más simplificados para el cálculo de ductos de acuerdo con la teoría son:

- Método de velocidad.
- Método de igual fricción.
- Método de ganancia estática.

Sin embargo, el método que se utilizara en el presente proyecto es el de velocidad ya que es un método simplificado que permite determinar los datos referentes al diseño de ductos.

Es importante resaltar que para el diseño se seleccionan ductos rectangulares debido a los beneficios que tienen a diferencia de los ductos circulares, ya que estos son de fácil fabricación, requieren muy poco espacio en el lugar de ubicación y son de fácil montaje.

El procedimiento para el desarrollo del método de velocidades se describe a continuación, sin embargo en primera instancia se realizara para los ductos de suministro de aire a la zona y posteriormente a los ductos de extracción de aire de la misma.

Diseño de ductos para suministro de aire acondicionado a la zona

1. Seleccionar un valor de velocidades deseables en las secciones de ducto.

Según lo descrito en la *tabla 9.5.2.1* se establece un valor de velocidad para el ducto principal y para las ramificaciones.

Tabla 7.5.2.2 – Velocidades recomendadas en ductos.

VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA DUCTOS		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Velocidad en ducto principal [m/s]	V_A	6
Velocidad en ramificaciones [m/s]	$V_B = V_C = V_D$	4

Fuente: Autor.

2. Determinar el diámetro equivalente de los ductos.

2.1 El primer paso para el cálculo del diámetro equivalente es determinar el flujo de caudal en cada uno de los tramos del sistema de ductos; para lo cual se tiene la siguiente relación:

$$\rho = \frac{\dot{m}}{\dot{V}}$$

Despejando para el valor de caudal se tiene:

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad [32]$$

De la sección 9.4.2, ecuación [20] se conoce el valor del flujo másico de suministro de aire y el valor de densidad se toma de la *tabla 11.14.1* del anexo 11.14 leída a una temperatura de 20°C. Consolidando los datos y haciendo uso de la ecuación [32].

Tabla 7.5.2.3 – Calculo del caudal en ductos de suministro.

CALCULO DEL CAUDAL EN DUCTOS		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Flujo másico de suministro [kg/s]	$\dot{m}_1 = \dot{m}_{sum}$	2,49
Densidad del aire [kg/m ³]	ρ	1,204
Caudal Total de suministro [m ³ /s]	Q_{sum}	2,07
Numero de difusores	N_{dif}	3
Caudal por difusor [m ³ /s]	Q_{dif}	0,69

Fuente: Autor.

2.2 Una vez establecido el caudal tanto para el tramo de ducto principal A en la *figura 9.5.1.1*, como para las ramificaciones B, C y D de la *figura 9.5.1.1* y definidas las velocidades en cada sección se procede a hacer uso de la siguiente ecuación para calcular el área de los respectivos ductos.

$$Q = V \times A$$

De la que debemos despejar para A.

$$A = \frac{Q}{V} \quad [33]$$

Haciendo uso de la ecuación [33] para el cálculo del área de sección transversal para el tramo “A” se tiene que:

Tabla 7.5.2.4 – Calculo área de sección transversal ducto tramo “A”.

CALCULO DEL CAUDAL EN DUCTO PRINCIPAL		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Caudal de suministro [m ³ /s]	$Q_A = Q_{sum}$	2,07
Velocidad del aire en “A” [m/s]	V_A	6
Área de sección transversal [m ²]	A_A	0,35

Fuente: Autor.

Haciendo uso de la ecuación [33] para el cálculo del área de sección transversal para los tramos B, C y D se tiene que:

Tabla 7.5.2.5 – Cálculo área de sección transversal ducto tramos B, C y D.

CALCULO DEL CAUDAL EN LAS RAMIFICACIONES		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Caudal de suministro ¹⁶ [m ³ /s]	$Q_B = Q_C = Q_D$	0,69
Velocidad del aire en B, C y D [m/s]	$V_B = V_C = V_D$	4
Área de sección transversal [m ²]	$A_B = A_C = A_D$	0,17

Fuente: Autor.

2.3 Ya que se seleccionaron anteriormente ductos rectangulares es necesario determinar las dimensiones de cada uno de los lados y para esto se requiere hacer uso de los conceptos de relación de aspecto y del área de un rectángulo.

$$R.A = \frac{a}{b} \quad [34]$$

$$A_{rect} = a \times b \quad [35]$$

De las ecuaciones [34] y [35] se tiene un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, ya que de las recomendaciones dadas al comienzo de la presente sección se puede establecer un valor de relación de aspecto para la tubería lo más cercano posible a 1. Entonces es posible despejar de la ecuación [34] la variable “a”, reemplazarla en la ecuación [35] y posteriormente despejar para “b” y así se obtiene la siguiente ecuación:

$$b = \sqrt{\frac{A_A}{R.A}} \quad [36]$$

Ahora es posible despejar “a” de la ecuación [35] y sustituir los valores de área y “b” encontrados previamente. A continuación se muestran los valores encontrados haciendo uso del procedimiento anterior.

Tabla 7.5.2.6 – Valor de los lados del ducto principal “A”.

VALOR DE LOS LADOS DEL DUCTO PRINCIPAL “A”		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Lado “b” del ducto principal “A” [m]	b_A	0,54
Relación de aspecto para el ducto “A”.	$R.A$	1,2
Lado “a” del ducto principal “A” [m]	a_A	0,64

Fuente: Autor.

Este mismo procedimiento se puede aplicar para las ramificaciones del sistema de ductos (B, C y D) para lo que se tienen los siguientes resultados.

¹⁶ El valor de caudal de suministro en B, C y D se calcula dividiendo el caudal total (Q_A) en la cantidad de difusores que tiene el sistema. ($Q_B = Q_A \div N_{dif} = 2,07 \text{ m}^3/\text{s} \div 3 = 0,69 \text{ m}^3/\text{s}$)

Tabla 7.5.2.7 – Valor de los lados de las ramificaciones.

VALOR DE LOS LADOS DE LAS RAMIFICACIONES		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Lado “b” de las ramificaciones [m]	b_A	0,38
Relación de aspecto para de las ramificaciones.	$R.A$	1,2
Lado “a” de las ramificaciones [m]	a_A	0,45

Fuente: Autor.

Definidos los valores de los lados del perfil rectangular de los ductos, es posible determinar un diámetro equivalente de la misma sección mediante el uso de la siguiente ecuación.

$$D_{eq} = 1,3 \times \frac{(a \times b)^{0,625}}{(a+b)^{0,25}} \quad [37]$$

En la siguiente tabla se encuentra la solución de la ecuación [37] para cada una de las secciones del sistema de ductos.

Tabla 7.5.2.8 – Valor de los diámetros equivalente en ductos.

CALCULO DIAMETRO EQUIVALENTE		
	Ducto principal "A"	Ramificaciones B, C y D
Valor de a [m]	0,64	0,45
Valor de b [m]	0,54	0,38
Diámetro equivalente [m]	0,64	0,45

Fuente: Autor.

3. Hallar la caída de presión por fricción para todas las secciones de ductos.

Para calcular las perdidas por fricción para ductos tanto en principales, como en ramificaciones se requiere hacer uso de la siguiente ecuación:

$$\Delta P_f = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{\rho V^2}{2} \right) \quad [38]$$

Perdidas por fricción en ducto principal “A”

En la siguiente tabla se muestran los valores conocidos para el desarrollo de la ecuación [38] en el ducto principal.

Tabla 7.5.2.9 – Datos conocidos para el ducto principal.

DATOS CONOCIDOS PARA EL DUCTO PRINCIPAL		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Longitud [m]	L_A	7
Diámetro equivalente [m]	$D_{eq,A}$	0,64
Densidad del aire [kg/m^3]	ρ_A	1,204
Velocidad del fluido [m/s]	V_A	6

Fuente: Autor.

El único dato que aún no se conoce es f (factor de fricción adimensional) el cual es posible calcular haciendo uso de la ecuación de Colebrook que se muestra a continuación. Para su desarrollo es necesario realizar un proceso de iteración ya que la ecuación presenta a ambos lados de la ecuación la variable f .

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{\varepsilon/D}{3,7 \times D} + \frac{2,51}{(Re_D) \sqrt{f}} \right] \quad [39]$$

Tabla 7.5.2.10 – Calculo número de Reynolds.

CALCULO NUMERO DE REYNOLDS		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Rugosidad [m]	ε	0,00015 ¹⁷
Número de Reynolds	$Re_D = \frac{\rho V D}{\mu}$	253334,79 ¹⁸
Viscosidad dinámica [$kg/m \cdot s$]	μ	$1,825 \times 10^{-5}$ ¹⁹

Fuente: Autor.

Teniendo todas las variables de la ecuación de Colebrook establecidas, menos el factor de fricción adimensional es posible realizar un proceso iterativo de la ecuación en el software Excel, el cual tiene como fundamento variar arbitrariamente los valores de f hasta que los dos lados de la ecuación se igualen. Realizando este procedimiento se obtuvo que:

$$\underline{f_A = 0,0177}$$

Con el resultado encontrado anteriormente y los valores establecidos en la *tabla 9.5.2.9* es posible reemplazar los mismos en la ecuación [38] y encontrar el valor de la caída de presión por fricción para el tramo principal "A".

$$\Delta P_{f,A} = f_A \times \frac{L_A}{D_A} \times \left(\frac{\rho V_A^2}{2} \right) = 0,0177 \times \frac{7 \text{ m}}{0,64 \text{ m}} \times \left(\frac{1,204 \text{ kg/m}^3 \cdot (6 \text{ m/s})^2}{2} \right)$$

$$\underline{\Delta P_{f,A} = 4,2 \text{ Pa}}$$

¹⁷ Valor tomado de la *tabla 11.14.2* del anexo 14.

¹⁸ Valor calculado con los valores de la *tabla 9.5.2.9* y *9.5.2.10*.

¹⁹ Valor tomado de la *tabla 11.14.1* del anexo 14.

Perdidas por fricción en ductos ramales “B, C y D”

En la siguiente tabla se muestran los valores conocidos para el desarrollo de la ecuación [38] en los ductos ramales.

Tabla 7.5.2.11 – Datos conocidos para los ductos ramales.

DATOS CONOCIDOS PARA RAMALES		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Longitud [m]	L_B	1,5
Diámetro equivalente [m]	$D_{eq,B}$	0,45
Densidad del aire [kg/m^3]	ρ_B	1,204
Velocidad del fluido [m/s]	V_B	4

Fuente: Autor.

El único dato que aún no se conoce es f (factor de fricción adimensional) el cual es posible calcular haciendo uso de la ecuación de Colebrook que se muestra a continuación. Para su desarrollo es necesario realizar un proceso de iteración ya que la ecuación presenta a ambos lados de la ecuación la variable f .

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{\varepsilon/D}{3,7 \times D} + \frac{2,51}{(Re_D) \sqrt{f}} \right] \quad [39]$$

Tabla 7.5.2.12 – Calculo número de Reynolds.

CALCULO NUMERO DE REYNOLDS		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Rugosidad [m]	ε	0,00015 ²⁰
Número de Reynolds	$Re_D = \frac{\rho V D}{\mu}$	118750,68 ²¹
Viscosidad dinámica [$kg/m \cdot s$]	μ	$1,825 \times 10^{-5}$ ²²

Fuente: Autor.

Teniendo todas las variables de la ecuación de Colebrook establecidas, menos el factor de fricción adimensional es posible realizar un proceso iterativo de la ecuación en el software Excel, el cual tiene como fundamento variar arbitrariamente los valores de f hasta que los dos lados de la ecuación se igualen. Realizando este procedimiento se obtuvo que:

$$\underline{f_B = 0.021}$$

Con el resultado encontrado anteriormente y los valores establecidos en la *tabla 7.5.2.11* es posible reemplazar los mismos en la ecuación [38] y encontrar el valor de la caída de presión por fricción para los tramos de ramales “B, C y D”.

²⁰ Valor tomado de la *tabla 11.14.2* del anexo 14.

²¹ Valor calculado con los valores de la *tabla 9.5.2.9* y *9.5.2.10*.

²² Valor tomado de la *tabla 11.14.1* del anexo 14.

$$\Delta P_{f,A} = f_A \times \frac{L_A}{D_A} \times \left(\frac{\rho V_A^2}{2} \right) = 0,021 \times \frac{1,5 \text{ m}}{0,45 \text{ m}} \times \left(\frac{1,204 \text{ kg/m}^3 \cdot (4 \text{ m/s})^2}{2} \right)$$

$$\underline{\Delta P_{f,B} = 0,67 \text{ Pa}}$$

De lo que se concluye que en cada tramo de sección b, C y D se genera una caída de presión de 0,67 Pa.

4. Determinar las pérdidas dinámicas por accesorios.

Para calcular las pérdidas dinámicas debido a los accesorios en el sistema de ductos primero se establece la ecuación para su cálculo y posteriormente se realiza un listado con los accesorios presentes en la ductería.

$$\Delta P_d = k \times \frac{\rho V^2}{2} \quad [40]$$

Donde:

k = Coeficiente local de pérdidas dinámicas.

ρ = Densidad del aire a la temperatura establecida.

V = Velocidad local en el punto de análisis.

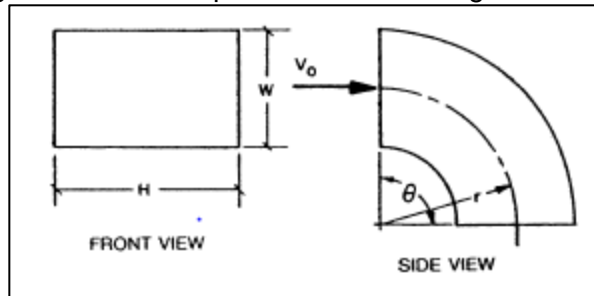
A partir del plano "Sistema de ductos de aire", ubicado en el anexo 15, es posible establecer los accesorios que generan pérdidas dinámicas en el sistema de ductos, a continuación dichos accesorios se muestran en una tabla.

Tabla 7.5.2.13 – Accesorios sistema de ductos.

ACCESORIOS SISTEMA DE DUCTOS		
Tipo de accesorio	Suministro de aire	Extracción de aire
Codo rectangular a 90°	2	2

Fuente: Autor.

Figura 7.5-2 – Esquema codos rectangulares a 90°.



Fuente: (Howell, R. – Principles of Heating and air Conditioning, 2013)(18).

Para el anterior diagrama la teoría establece una ecuación que determina el coeficiente local de pérdidas dinámicas.

$$C_o = K_\theta \cdot K_{Re} \cdot C'_o \quad [41]$$

Donde:

K_θ = Factor de corrección de ángulo.

K_{Re} = Factor de corrección del número de Reynolds.

C'_o = Coeficiente para codos a 90°.

Es importante resaltar que los valores de “H” y “W” mostrado en la *figura 9.5.2.1* son los mismos que los valores de “a” y “b” mostrados en la *tabla 9.5.2.8* para el ducto principal “A”, además el valor de “r” es 1,09m de acuerdo con el plano del sistema de ductos mostrado en el anexo 15.

- **Coeficiente para codos a 90°:** La siguiente tabla está en función de dos relaciones las cuales se desarrollan posteriormente y se identifica el valor a utilizar para el coeficiente en codos a 90°.

$$\frac{H}{W} = \frac{a}{b} = \frac{0,64 \text{ m}}{0,54 \text{ m}} = 1,19 \qquad \frac{r}{W} = \frac{1,09 \text{ m}}{0,54 \text{ m}} = 2,01$$

Tabla 7.5.2.14 – Relaciones coeficiente para codos a 90°.

Coefficients for 90° Elbows (C'_o)											
r/W	H/W										
	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
0.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.0	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.5	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.0	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15

Fuente: (Howell, R. – Principles of Heating and air Conditioning, 2013)(18).

Realizando un proceso de iteración se encuentra que el valor del coeficiente por codos a 90° es: $C'_o = 0,1462$

- **Factor de corrección de ángulo:** La siguiente tabla muestra el factor de corrección para ductos en ángulos de 90°, donde se tiene que: $K_\theta = 1$.

Tabla 7.5.2.15 – Relaciones factor de corrección del ángulo.

Angle Correction Factor											
θ , degrees	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K_θ	0	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40

Fuente: (Howell, R. – Principles of Heating and air Conditioning, 2013)(18).

- **Factor de corrección del número de Reynolds:** La siguiente tabla está en función del valor de número de Reynolds obtenido previamente en la *tabla 9.5.2.10* y de la relación r/W , donde se tiene que: $K_{Re} = 1$.

Tabla 7.5.2.16 – Relaciones factor de corrección para Reynolds.

Reynolds Number Correction Factor (K_{Re})									
r/W	$Re \times 10^{-4}$								
	1	2	3	4	6	8	10	14	≥ 20
0.5	1.40	1.26	1.19	1.14	1.09	1.06	1.04	1.0	1.0
≥ 0.75	2.0	1.77	1.64	1.56	1.46	1.38	1.30	1.15	1.0

Fuente: (Howell, R. – Principles of Heating and air Conditioning, 2013)(18).

De las tablas anteriores es posible calcular el valor total para el coeficiente de perdidas dinámicas haciendo uso de la ecuación [41].

$$C_o = K_\theta \cdot K_{Re} \cdot C'_o$$

$$C_o = k = 1 \times 1 \times 0,1462 = 0,1462$$

Así mismo es posible utilizar la ecuación [40] haciendo uso de los valores previamente definidos para densidad, velocidad y coeficiente de perdidas dinámicas.

$$\Delta P_d = k \times \frac{\rho V^2}{2} = 0,1462 \times \frac{1,204 \text{ kg/m}^3 \cdot (6 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$\Delta P_d = 3,17 \text{ Pa}$$

A partir del plano “Sistema de ductos de aire”, es posible establecer los accesorios que generan pérdidas dinámicas en el sistema de ductos, a continuación dichos accesorios se muestran en una tabla.

5. Calcular la caída de presión total en el sistema de suministro de aire.

Tabla 7.5.2.17 – Caída de presión total en la sección de ducto.

CAIDA DE PRESIÓN TOTAL		
SECCIÓN DE DUCTO	VALORES	ECUACIÓN
A	$\Delta P_{f,A} = 4,20 \text{ Pa}$ $\Delta P_{d,A} = 3,17 \text{ Pa}$	$\Delta P_{T,A} = \Delta P_{f,A} + (2 \cdot \Delta P_{d,A})$ $\Delta P_{T,A} = 10,54 \text{ Pa}$
B, C y D	$\Delta P_f = 4,20 \text{ Pa}$	$\Delta P_T = 4,20 \text{ Pa}$

Fuente: Autor.

Diseño de ductos para la extracción de aire de la zona

1. Seleccionar un valor de velocidades deseables en los ductos.

De la misma manera que en la sección anterior se establecen valores recomendados para la velocidad del aire como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7.5.2.18 – Velocidades recomendadas en ductos.

VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA DUCTOS		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Velocidad en ducto de extracción [m/s]	V_{ext}	6

Fuente: Autor.

2. Determinar el diámetro equivalente de los ductos de extracción

En primera instancia se establece que el flujo másico de aire de extracción será el mismo que el de suministro, ya que del diseño de aire acondicionado las zonas a acondicionar se deben encontrar a presión constante, lo que implica que la misma cantidad de aire que entra debe tener las mismas proporciones del flujo de extracción. Por consiguiente, el valor del caudal de extracción con base en el dato de flujo másico encontrado en los cálculos psicrométricos de la sección 9.4.2 y a la relación entre la masa y el volumen (densidad) se tiene que:

Tabla 7.5.2.19 – Cálculo del caudal en ductos de extracción.

CALCULO DEL CAUDAL EN DUCTOS		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Flujo másico de extracción [kg/s]	$\dot{m}_{ext} = \dot{m}_{sum}$	2,49
Densidad del aire [kg/m ³]	ρ	1,204
Caudal Total de extracción [m ³ /s]	Q_{sum}	2,07
Numero de difusores	N_{dif}	2
Caudal por difusor [m ³ /s]	Q_{dif}	1,04

Fuente: Autor.

Haciendo uso de la ecuación [33] para el cálculo del área de sección transversal en el ducto de extracción mostrado en la *figura 9.5.1.1* se tiene que:

Tabla 7.5.2.20 – Cálculo área de sección transversal ducto tramos “E, F y G”.

CALCULO DEL CAUDAL EN DUCTO PRINCIPAL		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Caudal de extracción [m ³ /s]	Q_{ext}	1,04
Velocidad del aire en “G” [m/s]	V_G	6
Área de sección transversal [m ²]	A_G	0,17

Fuente: Autor.

Haciendo uso de las ecuaciones [34], [35] y [36] de la sección anterior es posible establecer los lados del perfil rectangular de los ductos como se muestra:

Tabla 7.5.2.21 – Valor de los lados del ducto de extracción.

VALOR DE LOS LADOS DEL DUCTO PRINCIPAL "A"		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Lado "b" del ducto de extracción [m]	b_{ext}	0,38
Relación de aspecto para el ducto "A".	$R.A$	1,2
Lado "a" del ducto de extracción [m]	a_A	0,46

Fuente: Autor.

Y con la ecuación [37] es posible concluir el análisis de la geometría del ducto calculando el diámetro equivalente para las medidas anteriormente encontradas.

$$D_{eq} = 1,3 \times \frac{(0,46 \text{ m} \times 0,38 \text{ m})^{0,625}}{(0,46 \text{ m} + 0,38 \text{ m})^{0,25}}$$

$$\underline{D_{eq} = 0,46 \text{ m}}$$

3. Hallar la caída de presión por fricción para el ducto de extracción

Para calcular las pérdidas por fricción se requiere hacer uso de la siguiente ecuación:

$$\Delta P_f = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{\rho V^2}{2} \right) \quad [38]$$

Perdidas por fricción en el ducto de extracción de aire

En la siguiente tabla se muestran los valores conocidos para el desarrollo de la ecuación [38] en el ducto principal.

Tabla 7.5.2.22 – Datos conocidos para de extracción de aire.

DATOS CONOCIDOS PARA EL DUCTO PRINCIPAL		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Longitud [m]	L_{ext}	11,36
Diámetro equivalente [m]	D_{eq}	0,46
Densidad del aire [kg/m^3]	ρ_{ext}	1,204
Velocidad del fluido [m/s]	V_G	6

Fuente: Autor.

El único dato que aún no se conoce es f (factor de fricción adimensional) el cual es posible calcular haciendo uso de la ecuación de Colebrook que se muestra a continuación. Para su desarrollo es necesario realizar un proceso de iteración ya que la ecuación presenta a ambos lados de la ecuación la variable f .

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{\varepsilon/D}{3,7 \times D} + \frac{2,51}{(Re_D) \sqrt{f}} \right] \quad [39]$$

Tabla 7.5.2.23 – Calculo número de Reynolds (*tabla 9.5.2.10*)

CALCULO NUMERO DE REYNOLDS		
DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Rugosidad [m]	ε	0,00015 ²³
Número de Reynolds	$Re_D = \frac{\rho VD}{\mu}$	182084,38 ²⁴
Viscosidad dinámica [kg/m · s]	μ	1,825 × 10 ⁻⁵ ²⁵

Fuente: Autor.

Teniendo todas las variables de la ecuación de Colebrook establecidas, menos el factor de fricción adimensional es posible realizar un proceso iterativo de la ecuación en el software Excel, el cual tiene como fundamento variar arbitrariamente los valores de f hasta que los dos lados de la ecuación se igualen. Realizando este procedimiento se obtuvo que:

$$\underline{f_A = 0.0199}$$

Con el resultado encontrado anteriormente y los valores establecidos en la *tabla 9.5.2.21* es posible reemplazar los mismos en la ecuación [38] y encontrar el valor de la caída de presión por fricción para el tramo principal "A".

$$\Delta P_{f,A} = f_A \times \frac{L_A}{D_A} \times \left(\frac{\rho V_A^2}{2} \right) = 0,0199 \times \frac{11,36 \text{ m}}{0,46 \text{ m}} \times \left(\frac{1,204 \text{ kg/m}^3 \cdot (6 \text{ m/s})^2}{2} \right)$$

$$\underline{\Delta P_{f,A} = 10.65 \text{ Pa}}$$

4. Determinar las perdidas dinámicas por accesorios.

Para calcular las perdidas dinámicas debido a los accesorios en el sistema de ductos para extracción de aire se requiere hacer uso de la ecuación [40] de la sección anterior. Y por consiguiente, para llevar a cabo esto se sabe de la *tabla 9.5.2.13* que existen dos cambios de dirección debido a codos rectangulares de 90°. Esto conlleva a hacer uso de la siguiente ecuación para calcular el coeficiente local de perdidas dinámicas.

$$C_o = K_\theta \cdot K_{Re} \cdot C'_o \quad [41]$$

Donde:

K_θ = Factor de corrección de ángulo.

K_{Re} = Factor de corrección del número de Reynolds.

C'_o = Coeficiente para codos a 90°.

Al mismo tiempo debido a la geometría del ducto se requiere establecer los valores de H y W para encontrar los valores de los factores de corrección, donde se tiene que:

²³ Valor tomado de la *tabla 11.14.2* del anexo 14.

²⁴ Valor calculado con los valores de la *tabla 9.5.2.9* y *9.5.2.10*.

²⁵ Valor tomado de la *tabla 11.14.1* del anexo 14.

- $H = 0,46 \text{ m}$
 - $W = 0,38 \text{ m}$
 - $r = 1,09 \text{ m}$
- **Coeficiente para codos a 90°:** La siguiente tabla está en función de dos relaciones las cuales se desarrollan posteriormente y se identifica el valor a utilizar para el coeficiente en codos a 90°.

$$\frac{H}{W} = \frac{a}{b} = \frac{0,46 \text{ m}}{0,38 \text{ m}} = 1,21 \qquad \frac{r}{W} = \frac{1,09 \text{ m}}{0,38 \text{ m}} = 2,87$$

Tabla 7.5.2.24 – Relaciones coeficiente para codos a 90°.

Coefficients for 90° Elbows (C'_o)											
r/W	H/W										
	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
0.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.0	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.5	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.0	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15

Fuente: (Howell, R. – Principles of Heating and air Conditioning, 2013)(18).

Realizando un proceso de iteración se encuentra que el valor del coeficiente por codos a 90° es: $C'_o = 0,1458$

- **Factor de corrección de ángulo:** La siguiente tabla muestra el factor de corrección para ductos en ángulos de 90°, donde se tiene que: $K_\theta = 1$.

Tabla 7.5.2.25 – Relaciones factor de corrección del ángulo.

Angle Correction Factor											
θ , degrees	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K_θ	0	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40

Fuente: (Howell, R. – Principles of Heating and air Conditioning, 2013)(18).

- **Factor de corrección del número de Reynolds:** La siguiente tabla está en función del valor de número de Reynolds obtenido previamente en la *tabla 9.5.2.10* y de la relación r/W , donde se tiene que: $K_{Re} = 1$.

Tabla 7.5.2.26 – Relaciones factor de corrección para Reynolds.

Reynolds Number Correction Factor (K_{Re})									
r/W	$Re \times 10^{-4}$								
	1	2	3	4	6	8	10	14	≥ 20
0.5	1.40	1.26	1.19	1.14	1.09	1.06	1.04	1.0	1.0
≥ 0.75	2.0	1.77	1.64	1.56	1.46	1.38	1.30	1.15	1.0

Fuente: (Howell, R. – Principles of Heating and air Conditioning, 2013)(18).

De las tablas anteriores es posible calcular el valor total para el coeficiente de pérdidas dinámicas haciendo uso de la ecuación [41].

$$C_o = K_\theta \cdot K_{Re} \cdot C'_o$$

$$C_o = k = 1 \times 1 \times 0,14658 = 0,1458$$

Haciendo uso de la ecuación [40] y de los valores encontrados se obtiene que:

$$\Delta P_d = k \times \frac{\rho V^2}{2} = 0,1458 \times \frac{1,204 \text{ kg/m}^3 \cdot (6 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$\underline{\Delta P_d = 3,16 \text{ Pa}}$$

5. Calcular la caída de presión total en el sistema de extracción de aire.

Para el cálculo de la presión total en el sistema de extracción se sabe que será la suma de las caídas de presión por fricción y de todas las caídas de presión debido a los accesorios como lo expresa la siguiente ecuación.

$$\Delta P_{T,A} = \Delta P_{f,A} + (2 \cdot \Delta P_{d,A}) = 10,65 \text{ Pa} + (2 \cdot 3,16 \text{ Pa})$$

$$\underline{\Delta P_{T,A} = 16,97 \text{ Pa}}$$

7.6 SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL SISTEMA

7.6.1 Síntesis de información para la selección

Para la correcta selección de equipos es necesario recopilar la información pertinente determinada en las secciones anteriores. En la siguiente tabla se muestra la capacidad mínima que el serpentín debe poseer para que el equipo de acondicionamiento de aire cumpla su función, la pérdida de presión máxima que debe contrarrestar el ventilador y el flujo mínimo que se debe suministrar a la zona para cumplir con las necesidades de ventilación.

Es pertinente antes de realizar las investigaciones para la selección de equipos, establecer un factor de seguridad aceptable que permita flexibilidad en el funcionamiento del sistema. Con motivo de lo anterior se define un valor de factor de seguridad del 10%, y a continuación se muestran los valores obtenidos:

Tabla 7.6.1.1 – Datos para selección de equipos.

DATOS PARA SELECCIÓN DE EQUIPOS		
DESCRIPCIÓN	VALOR SIN FS	VALOR CON FS (10%)
Capacidad total del serpentín	28,73 kW	31,60 kW = 8,99 TR
Caída de presión máxima en ducto de suministro [Pa]	12,48	n/a
Caudal de aire suministrado	2,07 m ³ /s	2,28 m ³ /s = 4831,05 cfm

Fuente: Autor.

7.6.2 Búsqueda y selección del equipo en la industria

Realizando una investigación en la industria de aire acondicionado local, se encontró que existen diferentes tipos de sistemas que pueden satisfacer la necesidad establecida en este proyecto, es así como se debe realizar una selección teniendo en cuenta los criterios a continuación descritos:

- Cumplimiento de las necesidades para el acondicionamiento de aire en la zona (*tabla 9.6.1.1*).
- Facilidad en la instalación del equipo.
- Versatilidad en el espacio ocupado debido a su ubicación en campo.
- Cumplimiento de estándares de calidad para el suministro de aire acondicionado (filtros).

Es así como se selecciona un tipo de sistema denominado “unidades manejadoras de aire”. Debido a que estas presentan versatilidad y facilidad en su instalación, y cumplen con las necesidades de acondicionamiento ya que se encuentran en una amplia gama de capacidades que de acuerdo con la empresa TECAM S.A. para aplicaciones industriales oscilan entre las 3TR y 90TR.²⁶

Ahora bien, a continuación se muestra el equipo seleccionado y sus principales características, sin embargo, para una información más detallada remitirse al anexo 16 donde aparece la ficha técnica del equipo.

Tabla 7.6.2.1 – Especificaciones del equipo manejador de aire seleccionado.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Unidad	4FZX
Modelo	12
Peso (<i>kg</i>)	167
Capacidad nominal [<i>TR</i>]	10
Caudal nominal [<i>cfm</i>]	4000
Potencia [<i>HP</i>]	2
Cantidad de filtros	4

Fuente: Autor.

²⁶ Sitio web de consulta para la selección de la unidad: <http://www.tecam-sa.com>. Consultada el 22 de Septiembre del 2017.

Tabla 7.6.2.2 – Especificaciones del equipo condensador de aire seleccionado.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Unidad	1UZT
Modelo	12
Peso (<i>kg</i>)	185
Capacidad nominal [<i>TR</i>]	10
Caudal nominal [<i>cfm</i>]	6000
Refrigerante	R-410A
Ventilador	Axial

Fuente: Autor.

7.7 EQUIPOS Y COMPONENTES

Una vez definidos los equipos a utilizar para el sistema de aire acondicionado se procede a establecer los demás componentes que lo conforman.

7.7.1 Síntesis de equipos y componentes requeridos

Tabla 7.7.1.1 – Equipos y componentes requeridos.

EQUIPOS Y COMPONENTES	
NOMBRE	DESCRIPCIÓN
Unidad condensadora de aire	Mod. 1UZT-12 de 10TR
Unidad manejadora de aire	Mod. 4FZX-12 de 10TR
Ducto de suministro de aire acondicionado	8,5 m de longitud con dos cambios de dirección (codos a 90°)
Ducto de aire de retorno	11,36 m de longitud con dos cambios de dirección (codos a 90°).
Ducto de suministro de aire exterior	4,60 m de longitud

Fuente: Autor.

7.8 COSTO ECONOMICO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

La siguiente tabla presenta un valor aproximado de los diferentes componentes que tiene la adquisición y puesta en sitio del sistema de aire acondicionado a la fecha de radiación de dicho proyecto.

7.8.1 Costo de los componentes que conforman el sistema

Tabla 7.8.1.1 – Costos de equipos, componentes e implementación.

EQUIPOS Y COMPONENTES²⁷		
NOMBRE	CANTIDAD	COSTO
Unidad condensadora de aire Mod. 1UZT-12 de 10TR	1	\$ 12'365.600
Unidad manejadora de aire Mod. 4FZX-12 de 10TR.	1	\$ 8'932.000 ²⁸
Ducto rectangular en acero galvanizado. - Cambios de dirección (codos a 90°). - Cuellos. - Rejillas y difusores. - Soportes.	24,46 m x4 5 2 y 3	\$ 10'440.000 ²⁹
Aislante térmico Frescasa de 1 1/2 " de espesor en lana de vidrio, con una cara metalizada. Presentación en rollo de 18,59 m ² .	x1	\$ 342.400 ³⁰
Sellos de aire para puerta, tipo barredor de aleta	12	\$ 155.880
TOTAL	n/a	\$ 32'235.280 ³¹

Fuente: Autor.

7.8.2 Actividades y costo de mantenibilidad del sistema

Dentro de las actividades de mantenibilidad del equipo se le recomienda al personal de planta realizar las siguientes actividades mensualmente:

- Limpieza de pre filtro y filtro lavable de la unidad manejadora de aire.
- Limpieza general de los componentes.
- Revisión del correcto funcionamiento del ventilador, motor y compresores.
- Revisión del buen estado de aislamientos, conexiones de refrigerante, manguera de desagüe para que no se presenten escapes.

²⁷ Todos los precios mostrados en la *Tabla 9.8.1* están dados con IVA incluido.

²⁸ El proveedor con el que se cotizo el precio de venta de los equipos es TECAM S.A. Ver archivo tipo PDF nombrado "Cotización equipos".

²⁹ El precio incluye transporte y mano de obra para la instalación del sistema.

³⁰ El proveedor con el que se cotizo el precio fue Homecenter. Disponible en: <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/99758/Frescasa-18,59-m2-con-foil-1,22-x-15,24-metros/99758>

³¹ Los sellos de aire para puerta se cotizaron con Easy. Disponible en: <http://www.easy.com.co/p/barredor-3.5x92cm-puerta-aleta-fin-aluminio/>

8 CONCLUSIONES

- Es posible concluir que la implementación de sistemas de aire acondicionado requiere un diseño detallado para cada tipo de necesidad, ya sea a nivel comercial, doméstico o industrial, debido a que las características de ambiente térmico en cada escenario son diferentes y la labor ingenieril debe estar en función de analizarlas y brindar una solución que se adapte a los requerimientos y restricciones existentes.
- Las características térmicas del ambiente y factores de ganancias de calor en las zonas a acondicionar son fundamentales en la capacidad que debe poseer el equipo acondicionador, que a su vez se ve reflejada en costos energéticos de funcionamiento, para lo que se debe analizar concienzudamente las ganancias de calor en la zona.
- El conocimiento de las propiedades del aire y su manipulación para beneficio propio mediante el uso de la psicrometría es fundamental, debido a que esta es la base del análisis del acondicionamiento del aire y mediante este es posible determinar los procesos a los que se debe someter el aire para cumplir con su acondicionado de manera efectiva.
- El diseño de los ductos del sistema de aire acondicionado es fundamental en el proceso puesto que se encargan de transportar el aire de confort desde el equipo hacia la zona acondicionada y un mal diseño de los mismos repercute en bajos flujos de aire que no cumplan con los requerimientos establecidos, o por el contrario en costos elevados de consumo energético por parte de un ventilador que generara mayor caudal del necesario y a su vez molestias acústicas y vibraciones en el sistema.
- El equipo seleccionado para la necesidad identificada presenta una capacidad de acondicionamiento de aire igual a 10 *TR* y un valor de flujo de aire nominal de 5000 *cfm*.
- A nivel comercial la industria presenta diferentes tipos de soluciones para una misma necesidad, sin embargo, es labor del ingeniero determinar cuál de los sistemas existentes en el mercado posee mejores características para la solución de la necesidad, de acuerdo con los requerimientos de diseño como lo son: espacio, ubicación, capacidad de acondicionamiento de aire, consumo energético y presupuesto para la implementación del sistema.
- El costo total con adquisición, puesta en sitio y marcha del equipo es de \$ 29'142.400.

RECOMENDACIONES

Para el correcto funcionamiento del sistema se recomienda:

- Seguir las instrucciones de instalación y mantenimiento dadas por el fabricante del equipo seleccionado.

- Instalar los sellos de aire suministrados en el presente proyecto, para ser instalados en la puerta de acceso a la zona, para reducir el riesgo de infiltraciones de aire.
- Si la tubería de vapor que se encuentra instalada en la zona presente fallos en su aislamiento térmico, es necesario realizar su reparación tan pronto como sea posible, debido a que esto generara un aumento en las cargas térmicas latente y sensible de la zona, afectando consigo el funcionamiento del equipo acondicionador.
- Se debe mantener en todo momento o en su defecto el mayor tiempo posible la puerta cerrada para evitar las infiltraciones de aire caliente.

9 REFERENCIAS

1. STOECKER, Wilbert F. *Refrigeración y Acondicionamiento de Aire*. Madrid, 1965.
2. MCQUISTON, Faye C., PARKER, Jerald D. and SPITLER, Jeffrey D. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado: ANALISIS Y DISEÑO*. 1 Edición. México : Limusa Wiley, 2003.
3. HERNÁNDEZ BONILLA, Juan Miguel. Industria de aire acondicionado mueve \$1 billón. *EL ESPECTADOR* [online]. Bogotá D.C., 2 October 2016. Available from: <http://www.elespectador.com/noticias/economia/industria-del-aire-acondicionado-mueve-1-billion-articulo-657897>
4. REPUBLICA, CONGRESO DE LA. *Ley 9 de 1979* [online]. 1979. Colombia. Available from: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>
5. HERNÁNDEZ BONILLA, Juan Miguel. Aire acondicionado, el amigo invisible de la industria. *EL ESPECTADOR* [online]. Bogotá D.C., 29 September 2016. Available from: <http://www.elespectador.com/aire-acondicionado-el-amigo-invisible-de-industria-articulo-657583>
6. WANG, Shan Kuo. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. 2d Edition. McGraw-Hill, 2000. ISBN 0070681678. * A broad range of disciplines--energy conservation and air quality issues, construction and design, and the manufacture of temperature-sensitive products and materials--is covered in this comprehensive handbook * Provide essential, up-to-date HVAC data, codes, standards, and guidelines, all conveniently located in one volume * A definitive reference source on the design, selection and operation of A/C and refrigeration systems
7. ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. [online]. Available from: <https://www.ashrae.org/about-ashrae> Fundada en 1894, ASHRAE es una asociación de tecnología para edificios con más de 56.000 miembros mundialmente. La asociación y sus miembros se enfocan en los sistemas de edificios, la eficiencia energética, la calidad del aire interior y la sostenibilidad dentro de la industria. A través de la investigación, la redacción de normas, la publicación y la educación continuas, ASHRAE da forma hoy al entorno construido de mañana. ASHRAE fue concebida en 1959 como la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, debido a la fusión de la Sociedad de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado (ASHAE) fundada en 1894, y la Sociedad Americana de Ingenieros de Refrigeración (ASRE) fundada en 1904.
8. CENGEL, Yunus a. and BOLES, Michael E. *Termodinamica*. 4a Edición. 2011. ISBN 007352932x. Fundamentos de la temodinamica
9. AIR-CONDITIONING and INSTITUTE, Refrigeration. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. Madrid : Prentice-Hall Hispanoamericana, 1999. ISBN 9789701702178.
10. ASHRAE, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. *Handbook Fundamentals*. 4ta. ASHRAE, 2009. ISBN 9781933742540. The 2009

ASHRAE Handbook - Fundamentals covers basic principles and data used in the HVAC&R industry. Updated with research sponsored by ASHRAE and others, this volume includes 39 chapters covering general engineering information, basic materials, climate data, load and energy calculations, duct and pipe design, and sustainability, plus reference tables for abbreviations and symbols, as well as physical properties of materials. From the CD-ROM, the climatic design conditions tables have been added to this reference, featuring weather conditions for nearly every major city in the world.

11. INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY KHARAGPUR. Refrigeration and Air Conditioning - Mechanical Engineering. [online]. Available from: http://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT_Kharagpur/Ref_and_Air_Cond/New_index1.html Virtual platform for learning
12. CENGEL, Yunus A. and GHAJAR, Afshin J. *Transferencia de calor y masa: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES*. 4a Edición. 2011.
13. COMPANY, Air Carrier Conditioning. *Manual de Aire Acondicionado*. 5a Edición. Barcelona : MARCOMBO, 1980.
14. TRUJILLO VERA, Diejo Alejandro, SÁNCHEZ, Katerina and CHEJNE JANNA, Farid. Sistemas de refrigeración y aire acondicionado. [online]. 2011. [Accessed 15 June 2017]. Available from: <http://www.si3ea.gov.co/Eure/E-URE> es un curso virtual diseñado especialmente para el sector industrial y académico, cuyo objetivo es transmitir los principales conceptos de la física y de la química aplicados a un programa de eficiencia energética en el sector industrial. En él se pueden encontrar conceptos básicos de termodinámica, electricidad y combustión, una disertación sobre el problema de la energía y del medio ambiente, y una serie de módulos relacionados con el uso de la energía en aplicaciones tales como: sistemas de vapor, aire comprimido, aire acondicionado, refrigeración, sistemas eléctricos, bombas, ventiladores, hornos y torres de enfriamiento. Además, el curso incluye temas específicos como la aplicación de las energías alternativas, cogeneración en el sector industrial, optimización de sistemas, gestión e indicadores y una metodología para la evaluación financiera de proyectos energéticos.
15. AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 90.1-2004: User's Manual. . 2004. P. 392. User's Manual to ASHRAE Standard 90.1-2004: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings
16. ASHRAE. *ASHRAE Standard 55:1992 Thermal environmental conditions for human occupancy* [online]. 1992. Atlanta. ISBN 1041-2336. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21909968>
17. 55-2010, ANSI/ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. [online]. 2010. Vol. 2010, p. 42. DOI ISSN 1041-2336. Available from: <http://shop.iccsafe.org/media/wysiwyg/material/8950P219-sample.pdf> The purpose of this standard is to specify the combinations of indoor thermal environmental factors and personal factors that will produce thermal environmental conditions acceptable to a majority of the occupants within the space.

18. HOWELL, Ronald H, COAD, William J and SAUER, Harry J. *Principles of Heating Ventilating and Air Contitioning*. 7ma. United States of America : W. Stephen Comstock, 2013. ISBN 9781936504572.
19. GROUP, ToolBox Engineering. Engineering ToolBox. [online]. Available from: http://www.engineeringtoolbox.com/psycrometric-chart-d_251.html
20. DINERO. Aire acondicionado, un neogcio de US\$500 millones. [online]. September 2016. Available from: <http://www.dinero.com/empresas/articulo/negocio-de-aire-acondicionado-en-colombia/232018>
21. PORTAFOLIO. Firmas de refrigeración y aire acondicionado crecerían máximo 12%. [online]. June 2017. Available from: <http://www.portafolio.co/negocios/firmas-de-refrigeracion-y-aire-acondicionado-crecerian-maximo-12-506584>
22. NAVARRO, Carlos. Gestión Térmica para Armarios o Tableros Eléctricos. *Noviembre* [online]. 2004. Available from: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=177>
23. SOLIDWORKS. Ayuda de SolidWorks. *SP05* [online]. 2001. Available from: http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection_Topics/Convection_Heat_Coefficient.htm
24. STEVENS, Don T, FRANCISCO, Paul, EMMERICH, Steven J, BAYLON, David A, BRENNAN, Terry M, CRAWFORD, Roy R, DELAQUILA, David C, DELAURA, Lance L, DRUMHELLER, S Craig, FAIREY, Philip W, HEBERER, Dwight H, HEDRICK, Roger L, HEIDEL, Thomas P, JACKSON, Mark C, JACOBS, David E, LANGAN, Glenn P, LSTIBUREK, Joseph W, MALONE, Jane, MASON, Stephany I, MOORE, James C, MUSSER, Amy B, PROCTOR, John P, RAYMER, Paul H, SHERMAN, Max H, WALKER, Iain S, WERLING, Eric D and BARNABY, Charles S. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013 - Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings ASHRAE Staff Liaison : Mark Weber. *ASHRAE*. 2013. Vol. 2013, p. 58.

10 ANEXOS

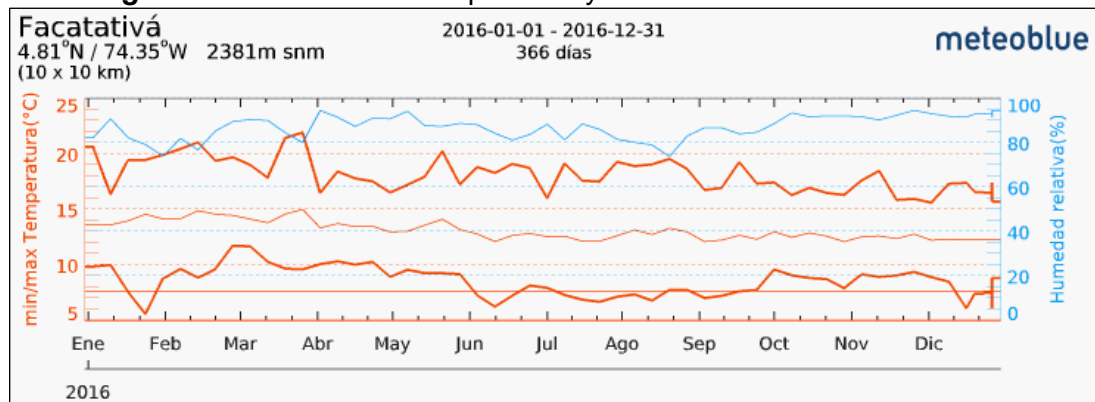
10.1 Anexo 1

Para visualizar los planos denominados “Habitación mezclas húmedas” y “Vista en planta bases Drum Dryer y zonas circundantes” dirigirse al anexo 15

10.2 Anexo 2

Grafica de la temperatura y humedad relativa a lo largo del año 2016 para el municipio de Facatativá, Cundinamarca; tomada de la página www.meteoblue.com (servicio meteorológico de la universidad de Basilea, Suiza).

Figura 10.2.1 – Grafica temperatura y humedad año 2016 Facatativá.



Fuente: (www.meteoblue.com)

10.3 Anexo 3

Ficha técnica termohigrómetro digital.

Termohigrómetro Digital Fijo TA-218D KTJ Catalogo Español www.viaindustrial.com

KTJ

Termohigrómetro digital fijo



*Referencia: TA218D (Digital)
Temperatura: Máximas/Minimas
Rango: -10°C a 60°C
Humedad: 25% a 98% HRJ
Selector: °C / °F
Tamaño números: 2.5cm
Marca: KTJ
Tamaño: 122x44 mm*

Termohigrómetro Digital Fijo TA-218D KTJ Catalogo Español www.viaindustrial.com

10.4 Anexo 4

Ficha técnica de los colectores de datos TESTO 174T y 175-H1.

Data sheet
testo 174T



Mini data logger Temperature

testo 174T

- Display of current temperature value
- High data security
- Large display
- Fast data analysis and documentation on a PC
- Waterproof according to IP65
- Measurement data memory for 16,000 measurement values



Illustration 1:1

The mini data logger for temperature, testo 174T, is ideal for accompanying transports. Simply positioned close to the goods, e. g. in containers and refrigerated rooms, the data logger monitors temperature continuously, securely and unobtrusively. The free software ComSoft Basic allows fast programming of the data logger and easy analysis. The integrated NTC probe stands for high accuracy. Its

large measuring range and compact design make the testo 174T the competent assistant for almost any temperature recording job.

www.testo.com

Technical data / Accessories

testo 174T

testo 174T mini data logger, 1-channel, Incl. wall bracket, battery (2 x CR 2032 lithium) and calibration protocol



Part no. 0572 1560

Set testo 174T

testo 174T mini data logger set, 1-channel, Incl. USB Interface for programming and reading out the logger, wall bracket, battery (2 x CR 2032 lithium) and calibration protocol



Part no. 0572 0561

Sensor type	NTC
Measuring range	-30 to +70 °C
Accuracy ±1 digit	±0,5 °C (-30 to +70 °C)
Resolution	0,1 °C

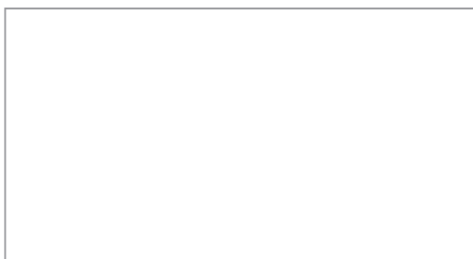


General technical data	
Channels	1 x Internal
Battery type	2 lithium batteries (CR2032)
Battery life	500 days (15 min measuring cycle, +25 °C)
Operating temperature	-30 to +70 °C
Storage temperature	-40 to +70 °C
Dimensions	60 x 38 x 18,5 mm
Protection class	IP65
Measuring rate	1 min - 24 h
Memory	16.000 readings

0581 3814/mesp/106.2017

Accessories	Part no.
Accessories for measuring instrument	
USB interface for programming and readout of the loggers testo 174T and testo 174H	0572 0500
Lithium battery CR 2032 button cell (please order 2 batteries per logger)	0515 5028
ComSoft Basic, Basic software for programming and readout of Testo data loggers; graphic and tabular measurement value presentation as well as export function. (If free download with registration not desired)	0572 0580
ComSoft Professional, Pro software Incl. data archiving	0554 1704
ComSoft CFR 21 Part 11, Software for requirements according to CFR 21 Part 11 for Testo data loggers	0554 1705
ISO calibration certificate temperature temperature probe; calibration points -18 °C; 0 °C; +40 °C per channel/instrument	0520 0153

Subject to change without notice.



Data logger Humedad y temperatura

testo 175-H1

- Seguridad intrínseca de los datos
- Amplio visualizador de fácil lectura
- Memoria con capacidad para 1.000.000 de valores
- Duración de las pilas hasta 3 años
- Volcado de datos via cable USB o tarjeta SD
- Sensor de humedad capacitivo instalado en la vaina externa



Con un sensor de humedad de gran estabilidad a largo plazo testo, el 175-H1 es el datalogger profesional para la monitorización de humedad y temperatura en salas de trabajo y almacenamiento. Al estar instalado en el extremo del vástago, el sensor ofrece un tiempo de respuesta más rápido que los habitualmente instalados dentro del registrador. El ahorro energético es un aspecto importante en edificaciones. Aún así, la implementación de mejores aislamientos y ventanas de alta eficiencia energética también puede ocasionar efectos colaterales no deseados.

Por un lado, la reducción de la ventilación natural origina una mayor retención de calor y una mayor humedad debido a la exhalación de los habitantes, por lo que en interiores mal ventilados se puede formar moho. el testo 175-H1 registra continuamente el valor de humedad y temperatura y muestra en pantalla la indicación de punto de rocío. De esta forma se monitoriza el clima interior y se puede detectar la necesidad de sistemas apropiados de ventilación y renovación de aire.

Datos técnicos / Accesorios

testo 175-H1

testo 175 H1, registrador de humedad y temperatura de dos canales, sensor de humedad interno en vaina (NTC/sensor de humedad capacitivo), Incl. sujeción mural, candado, pilas y protocolo de calibración

Modelo 0572 1754



Datos técnicos generales

Canales	2 canales (1 interno, 1 en vaina)
Tipo de pila	3 pilas tipo AAA AlMn o Energizer
Vida de la pila	3 años a 15 min. Intervalo med.
Temp. Func.	-20 ... +55 °C
Temp. Almac.	-20 ... +55 °C
Medidas	149 x 53 x 27 mm
Tipo de protección	IP54
Ciclo de medición	10 s - 24 h
Memoria	1 millón de valores de medición

Tipos de sensor

	NTC	Calc. Parámetros td	Sensor humedad Testo, capacitivo
Rango	-20 ... +55 °C	-40 ... +50 °C _{td}	0 ... 100 %HR*
Exactitud ±1 dígito	±0.4 °C (-20 ... +55 °C)	+0.03 %HR/K	±2 %HR (2 ... 98 %HR) a +25 °C
Resolución	0.1 °C		0.1 %HR

* No para atmósferas con condensación. Para uso en humedad elevada continua (>80 %HR a ≤30 °C >12 h, >80 %HR a >30 °C >12 h), por favor contacte con nuestro departamento de asesoramiento.

Accesorios

Accesorios	Modelo
Sujeción mural (negra) con candado para testo 175	0554 1702
Cable para conectar los data loggers testo 175 y 176 al PC, Mini USB a USB	0449 0047
Tarjeta SD de 2 GB para recoger las mediciones en los testo 175 y 176, funcionamiento hasta -20 °C	0554 8803
Pila para testo 175 Rango de aplicación hasta -10 °C, pilas AAA alcalino manganeso (solicitar 3 pilas por registrador)	0515 0009
Pila para testo 175, para rangos de aplicación por debajo de -10 °C, pila Energizer L92 tipo AAA (se deben adquirir 3 pilas para cada registrador)	0515 0042
Software básico para la programación y lectura de los data loggers Testo; presentación de los valores en forma de gráfica o tabla y funciones de exportación (si no se opta por la descarga gratuita)	0572 0580
ComSoft Profesional, Software con funciones profesionales	0554 1704
ComSoft CFR 21 Parte 11, Software para los requisitos según el CFR 21 Parte 11 para data loggers Testo	0554 1705
Certificado de calibración ISO de temperatura sensor de temperatura; puntos calibración -8 °C; 0 °C; +40 °C por canal/Instrumento	0520 0171
Certificado de calibración DAkkS de temperatura Registrador de temperatura; puntos cal. -20 °C; 0 °C; +60 °C; por canal/Instrumento	0520 0261
Certificado de calibración ISO de humedad puntos de calibración 11,3 %HR y 75,3 %HR a +25 °C; por canal/Instrumento	0520 0076
Certificado de calibración DAkkS de humedad data logger de humedad; puntos de calibración 11,3 %HR y 75,3 %HR a +25 °C; por canal/Instrumento	0520 0246

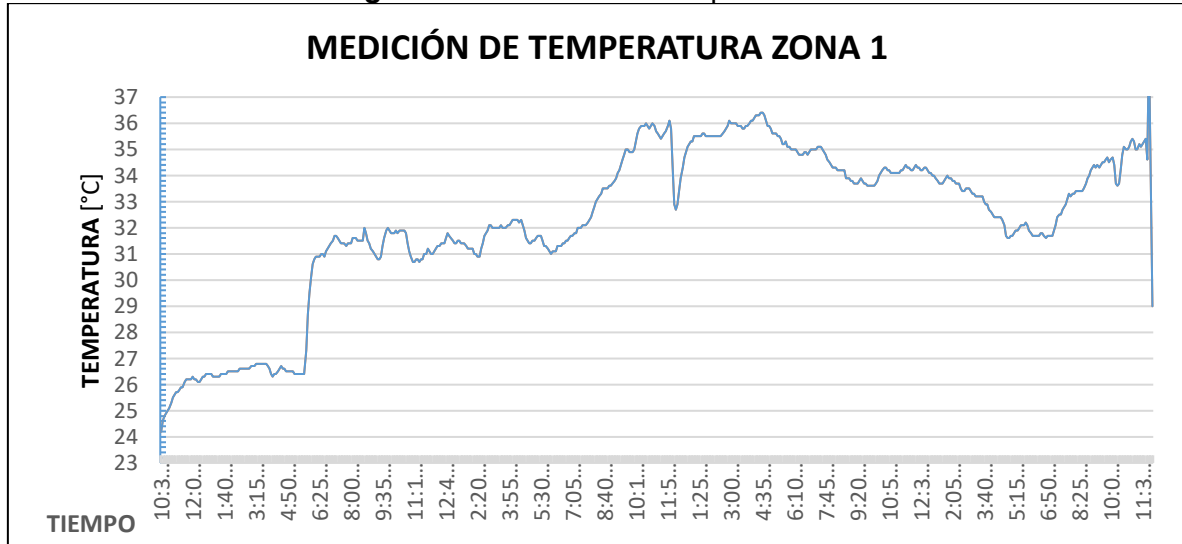
Testo Argentina
Av. Directorio 4901 (C1440ASB) Bs.As. Argentina
Teléfono: (011) 4683 5050
Fax: (011) 4683 2020
E-Mail: info@testo.com.ar

www.testo.com.ar

10.5 Anexo 5

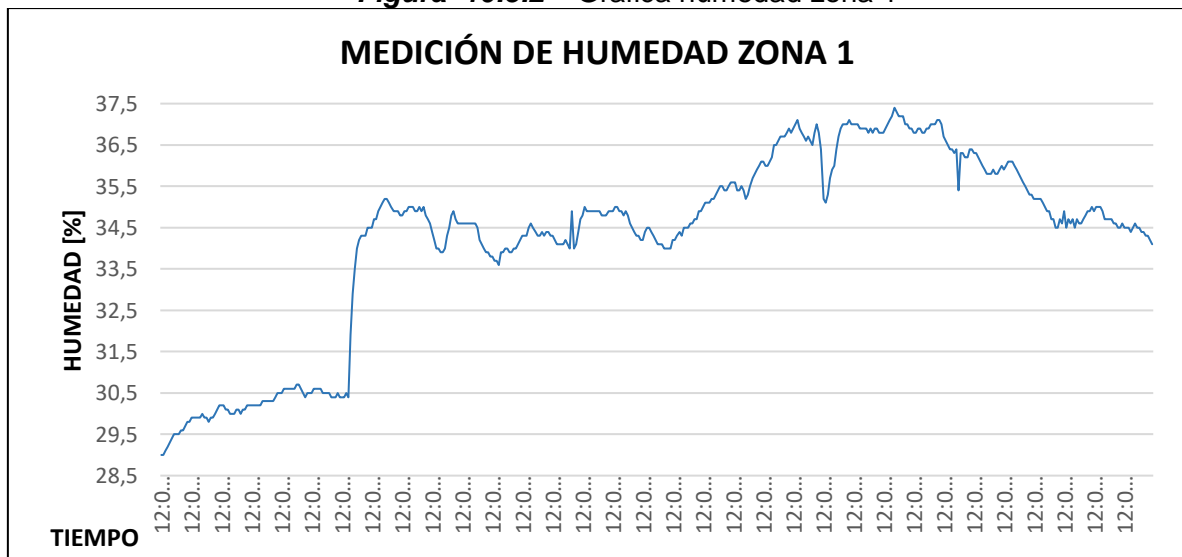
Listado y graficas de datos medidos por los medidores Data Logger Testo 174t y 175-H1.

Figura 10.5.1 – Grafica temperatura zona 1



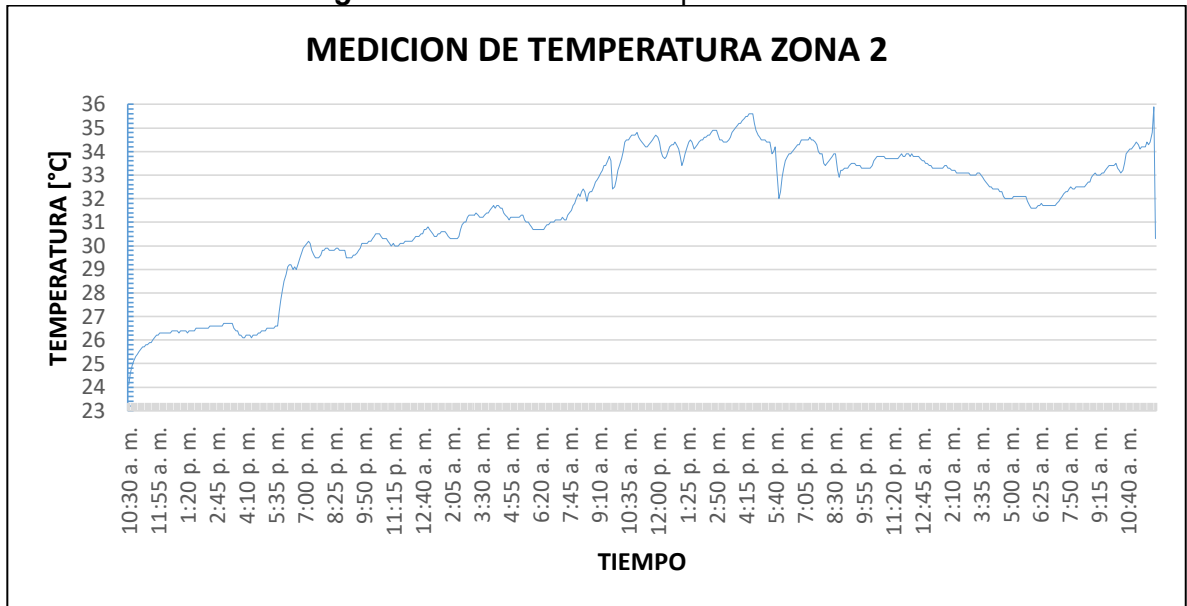
Fuente: Autor.

Figura 10.5.2 – Grafica humedad zona 1



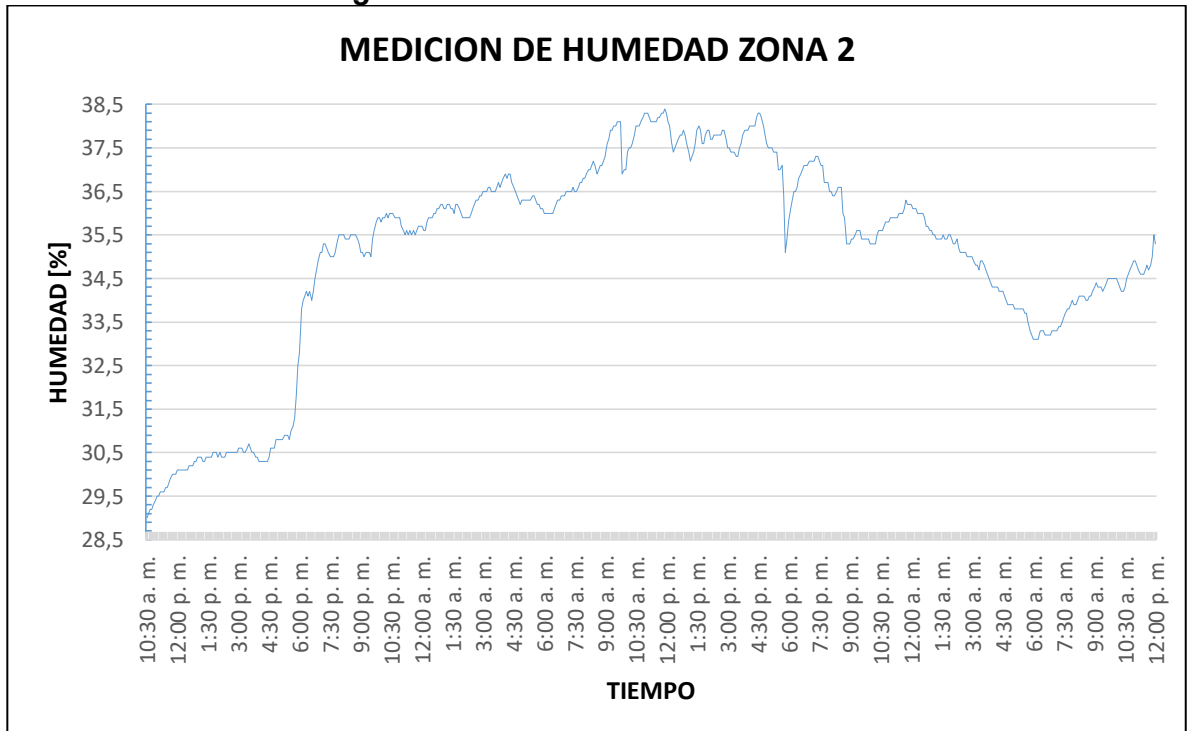
Fuente: Autor.

Figura 10.5.3 – Grafica temperatura zona 2



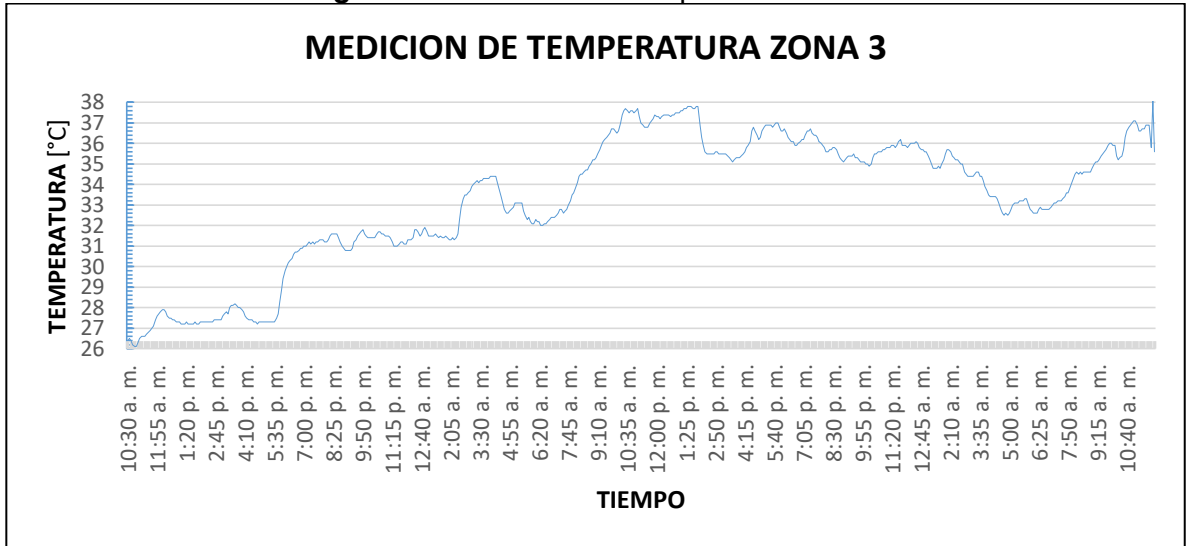
Fuente: Autor.

Figura 10.5.4 – Grafica humedad zona 2



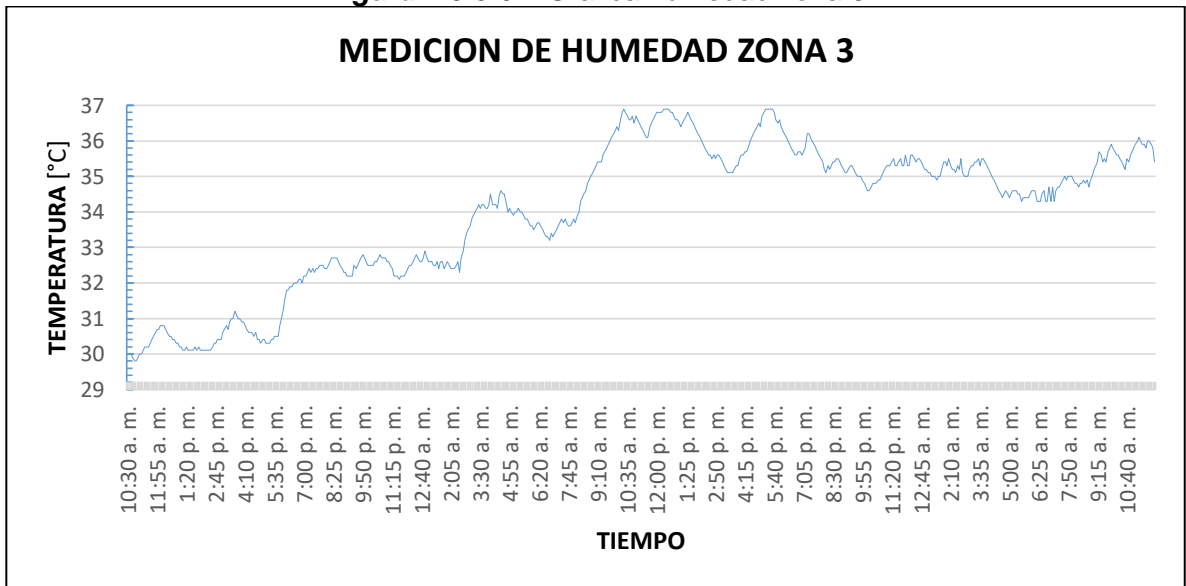
Fuente: Autor.

Figura 10.5.5 – Grafica temperatura zona 3



Fuente: Autor.

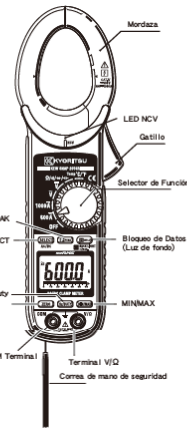
Figura 10.5.6 – Grafica humedad zona 3



Fuente: Autor.

10.6 Anexo 6

Manual de usuario pinza amperimétrica Kyoritsu kew 2046R.



1. CARACTERÍSTICAS

- Diseñado para seguir los estándares de seguridad IEC61010 IEC61010-1:2002 y IEC61010-2:2032 Categoría de medida (CAT) N 600V.
- Grado de protección 2
- Cuerpo principal con doble modelado que proporciona un cómodo agarre a una mano.
- Función de Bloqueo de Datos (Data Hold).
- Función de luz de fondo para facilitar las lecturas en áreas poco iluminadas.
- Función REL para indicar variaciones en las mediciones (medidas de Intensidad, Tensión y Resistencia).
- Función MIN/MAX, que facilita la lectura de valores máximos y mínimos durante una medición.
- Función de Bloqueo de Pico, que permite medir valores de pico de la corriente de activación (solo en el rango ACA).
- Con funciones de comprobación de Diodos y Continuidad.
- Medición de capacidad en condensadores.
- Medición de temperatura, tanto en °C como en °F.
- Función NOV (tensión sin contacto) para comprobación de cableado.
- Protección de entrada de 600V.
- Función Sleep que ayuda a extender la vida de las baterías.
- Con gráfica de barras, y display con un contador másimo de 6039

2. ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD

Este instrumento ha sido diseñado, fabricado y probado de acuerdo a requisitos de seguridad para aparatos de medición eléctrica, según la norma IEC 61010.1, y se ha suministrado en las mejores condiciones, después de pasar las inspecciones necesarias. Este manual de instrucciones contiene advertencias y normas de seguridad que deben ser observadas por el usuario para garantizar una manipulación segura del aparato y un mantenimiento del mismo en buenas condiciones. Por consiguiente, lea atentamente estas instrucciones antes de su uso.

- ▲ **ADVERTENCIA**
- Asegúrese de leer y comprender bien estas instrucciones antes de comenzar a utilizar el instrumento.
- Guarde y mantenga este manual a mano para permitir una referencia rápida al mismo siempre que sea necesario.
- Asegúrese de usar el aparato sólo para las funciones para las que fue diseñado.
- Asegúrese de comprender y respetar todas las instrucciones de seguridad contenidas en el manual.
- Es esencial que siga las instrucciones anteriores. No seguir las indicaciones anteriores puede producir daños personales, al instrumento y/o daños al equipo a comprobar.

El símbolo Δ indicado en el instrumento implica que el usuario debe dirigirse a los apartados relativos a seguridad de este manual. Es esencial leer las instrucciones anexas al símbolo Δ cada vez que éste aparezca en el manual.

- ▲ **PELIGRO** : Está reservado para condiciones y acciones que causarían probablemente daños fatales.
- ▲ **ADVERTENCIA** : Está reservado para condiciones y acciones que pueden llegar a causar daños fatales.
- ▲ **PRECAUCIÓN** : Está reservado para condiciones y acciones que pueden causar daños personales o en el instrumento.

● Los símbolos mostrados a continuación aparecen en el instrumento.

- ▲ Diríjase a las explicaciones del manual
- Ⓛ Instrumento con aislamiento doble o reforzado
- Ⓛ Instrumento con aislamiento simple
- Ⓛ Corriente alterna (AC)
- Ⓛ Corriente continua (DC)
- Ⓛ Corriente con componentes alterno y continuo

- ▲ **PELIGRO**
- Nunca realice mediciones en circuitos cuyo potencial supere los 600V CA.
- No intente realizar mediciones con presencia de gases inflamables. De lo contrario, el uso del instrumento podría producir chispas que deriven en una explosión.
- Los extremos de la mordaza están diseñados para no cortar cables que desean comprobar. De todas formas, si el equipamiento tiene partes conductoras al descubierto, tome precauciones extra para evitar la posibilidad de un cortocircuito.
- Nunca trate de usar el instrumento si su superficie o sus manos están húmedas.
- No acceda al valor máximo de entrada de cada rango de medida.
- No abra nunca el compartimiento de las baterías mientras realiza mediciones.
- El instrumento sólo debe ser utilizado para los fines previstos. En otro caso, las funciones de seguridad que las viene equipado no funcionan, y pueden provocarse daños personales o al instrumento.

- ▲ **ADVERTENCIA**
- Nunca intente realizar mediciones si observa alguna anomalía en el instrumento, como la carcasa rota o partes metálicas expuestas.
- No gire el Selector de Función mientras conecta las puntas de medida.
- No instale recambios ni realice ninguna modificación del instrumento. Devuelva el instrumento a su distribuidor para repararlo o recarlo.

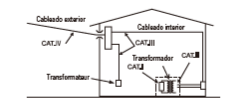
- No intente reemplazar las baterías si la superficie del instrumento está húmeda.
- Antes de abrir el compartimento de las baterías para el cambio de las mismas, desconecte todos los cables del circuito a comprobar y apague el instrumento.
- Verifique el correcto funcionamiento del instrumento en un circuito de características conocidas, antes de realizar medidas y/o tomar decisiones basadas en las mismas.

- ▲ **PRECAUCIÓN**
- Antes de realizar cualquier medición asegúrese de que el Selector de Función está situado en la posición adecuada.
- Desconecte las puntas de medida del instrumento al realizar medidas de Intensidad.
- No exponga el instrumento directamente al sol, temperaturas extremas, a la humedad o al rocío.
- Altitud de 2000m o inferior. La temperatura apropiada de funcionamiento es de 0-40°C.
- Este instrumento no ha sido diseñado a prueba de sociedad y agua. Manténgalo alejado de estas amenazas.
- Asegúrese de apagar el instrumento después de su uso. Cuando no vaya a utilizar el instrumento durante un largo período de tiempo, guárdelo después de retirar la batería.
- Use un paño húmedo en detergente neutro para la limpieza del instrumento. No use productos abrasivos o disolventes.

Categorías de medida (categorías de sobretensión)

Para asegurar operaciones seguras con los instrumentos de medida, IEC61010 establece estándares de seguridad para distintos entornos eléctricos, organizados de CAT I a CAT IV, y conocidos como categorías de medida.

- CAT I : Circuitos secundarios conectados a una toma de corriente CA a través de un transformador o similar.
- CAT II : Circuitos primarios conectados a una toma CA a través de un cable de alimentación.
- CAT III : Circuitos primarios conectados directamente al panel de distribución, y alimentadores desde el panel a las tomas de corriente.
- CAT IV : Circuito de suministro de servicio, hasta el contador y el dispositivo de protección contra sobretensiones panel de distribución.



3. ESPECIFICACIONES

3-1. Rango de Medición y Precisión
Precisión garantizada a 23°C±5°C, humedad del 45-85%

Función	Rango de Medición	Precisión
600A	0-600.0A	±2.0%lect.±5dgt(50/60Hz)
	Pico 1500A	±3.5%lect.±5dgt(40 - 500Hz)
	600A	±5.5%lect.±5dgt(500 - 1kHz)
1000A	0-1000A	N/D
	Pico 1500A	N/D
	600A	N/D

Función	Rango de Medición	Precisión
600A	0-600.0A	±1.5%lect.±5dgt
1000A	0-1000A	N/D

Función	Rango de Medición	Precisión
6/60/600V	0-600.0V	±1.5%lect.±4dgt(50/60Hz)

Función	Rango de Medición	Precisión
60mV/60/600V	0-600.0V	±1.0%lect.±3dgt

Función	Rango de Medición	Precisión
600Ω/6k/60k/600kΩ	0-600.0kΩ	±1.0%rdg±5dgt
6M/60MΩ	0-60.0MΩ	±5%rdg±8dgt
Cont Zumbador	0-600.0Ω	El zumbador suena con 100Ω o menos

Función	Rango de Medición	Precisión
40nF	0.01nF	±2.5%lect.±20dgt
40μF	Auto-ajuste de rango	N/D
4000μF	4000μF	N/D

Función	Rango de Medición	Precisión
ACA	40Hz-400Hz	±0.5%lect.±5dgt
ACV	1Hz-100Hz	±2.5%lect.±5dgt

Nota: Las entradas medidas son: 40Vrms en CAV o 50Arms en CA600A ó 50Arms en CA1000A

Función	Rango de Medición	Precisión
°C	-50°C - 150°C	±5°C±3dgt
°F	150°F-700°F	±2%lect.±3dgt

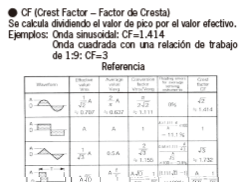
La precisión especificada arriba se refiere a la pinza de medida en sí misma. La precisión de la sonda de temperatura está excluida.

- **3-2. Especificaciones generales**
- Pantalla: Contador máximo de 6039 frecuencia 9999, Capacidad y T=7039) y Gráfico de Barras
- Indicación de Sobrecargas: El símbolo "OL" aparece en pantalla cuando se excede el valor el valor máximo del rango seleccionado (excepto en VCA/CC y 1000A)
- Cambio de rango: Automático; Tensión, Resistencia, Capacidad Único; Continuidad, Comp. de Diodos, Trabajo y Temperatura 3 veces por segundo
- Función de Muestra: 3 veces por segundo
- Funciones: OFF/A CA/V CA/V CC/Q / °C / °F

- Teclas: SELECT/Cambio CA/CC y cambio Q/+/-(8/0), PEAK, HOLD/ Back Light, ZERO/HZ/DUTY, MIN/MAX
- Alimentación: DC3V/R03(MN4) x 2uds
- Auto de batería baja: 2.4V±0.15V inferior
- Temperatura y humedad (precisión garantizada): 23°C±5°C, humedad relativa de 85% o inferior (sin condensación)
- Temperatura y humedad (de funcionamiento): 0 - 40°C, humedad relativa de 85% o inferior (sin condensación)
- Temperatura y humedad (de almacenamiento): -20 - 60°C, humedad relativa de 85% o inferior (sin condensación)
- Consumo de corriente: Aprox. 25 mA
- Función Sleep: Apagado automático tras 15 min. después de la última manipulación del Selector de Función. Note el Selector de Función de OFF a cualquier otra posición para salir de este estado.

- Estándares aplicables: IEC 61010-1:2001 Categoría de medida CAT/IV 600V Grado de protección 2 IEC 61010-0:2002, IEC 61010-2:2032 EMC: EN 61326 EN 55022 EN 61000-4-2 (crítico de rendimiento B) EN 61000-4-3 (crítico de rendimiento B)
- Protección contra Sobrecargas: Rango de tensión: 720V CA/CC/10 seg. sin KEW2046R 1200V CA/CC/10seg en KEW2056R
- Rango de resist.: 60V CA/CC/1 seg. 6880V CA, TRMS 50/60Hz / 5 seg. (entre la mordaza y el circuito eléctrico) entre carcassera interna y la carcasa)
- Resistencia de Aislamiento: 10MΩ o sup. / 1000V entre el circuito eléctrico y la carcasa.
- Tamaño del conductor: KEW2046R: aprox. 33mm KEW2056R: aprox. 40mm
- Dimensiones: aprox. 25(41)x50(x36)Dmm / KEW2056R aprox. 24(31)x77(W)x36(D)mm / KEW2046R
- Peso: aprox. 300 g en KEW2046R aprox. 310 g en KEW2056R
- Accesorios: Puntas de medida Modelo 7066 / 1 set Batería R03 (UM4) / 2uds Manual Instrucciones Castellano / 1ud Guía de Transporte Modelo 3034 / 1ud Sonda de Temperatura tipo K Modelo 8216 Multi-Tran MS008

- Valor efectivo (RMS): La mayoría de las tensiones e intensidades alterna son expresadas en valores efectivos, también conocidos como valores RMS (Root-Mean-Square). El valor efectivo es la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las intensidades o tensiones alterna. Muchas de las pinzas de medida que utilizan un circuito de rectificado convencional tienen escalas "RMS" para medidas CA. Las escalas son, sin embargo, realmente calibradas en términos del valor efectivo de una onda sinusoidal, aunque la pinza está respondiendo al valor medio. El calibrado se realiza con un factor de conversión de 1.111 en términos sinusoidales, lo que se obtiene dividiendo el valor efectivo por el valor medio. Estos instrumentos no pueden utilizarse por tanto si la tensión o intensidad de entrada tienen una forma diferente a la de una onda sinusoidal, ya que se obtendrán medidas erróneas.
- CF (Crest Factor - Factor de Cresta): Se calcula dividiendo el valor de pico por el valor efectivo. Ejemplos: Onda sinusoidal: CF=1.414 Onda cuadrada con una relación de trabajo de 1:1: CF=3



3-3. Teclas de función

El símbolo \bullet indica las funciones disponibles en cada rango de medida.

Función de datos	PICO	SELECT	Pantalla a cero	HZ	MAX / MIN
A CA	●	●	●	●	●
V CA	●	●	●	●	●
A CC	●	●	●	●	●
V CC	●	●	●	●	●
Ω	●	●	●	●	●
°C	●	●	●	●	●
°F	●	●	●	●	●
TEMP	●	●	●	●	●

4. PREPARACIÓN PARA LA MEDIDA

- 4-1. Comprobación de la tensión de las baterías: Sitúe el Selector de Función en cualquier posición distinta de "OFF". Si no aparece en pantalla el símbolo "BATT", la tensión de batería indicada es suficiente. Si por el contrario la pantalla se queda vacía o aparece "BATT", reemplace las baterías de acuerdo a la Sección 7, Sustitución de baterías.

PRECAUCIÓN
La función Sleep anaga el instrumento automáticamente 15 min. después de la última operación. Por lo tanto, la pantalla podrá estar vacía incluso con el Selector de Función en una posición distinta de "OFF". En estos casos, seleccione "OFF" y después cualquier otra posición. Si después de realizar estas operaciones sigue sin aparecer nada en pantalla, reemplace las baterías.

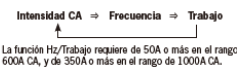
4-2. Comprobación del Selector de Función y del modo de medida seleccionado.
Confirme que el Selector de Función está situado en la posición correcta, que el instrumento está configurado con el modo de medida correcto, y que la función de Bloqueo de datos está desactivada. De otra forma, no se podrá realizar la medida deseada.

5. MEDICIÓN

5-1. Medición de Intensidad CA.

PRECAUCIÓN
● Nunca realice mediciones en circuitos cuyo potencial supere los 600V CA, para evitar descargas eléctricas.
● Los extremos de la mordaza están diseñados para no cortocircuitar el circuito a comprobar. De todas formas, si el equipamiento tiene partes conductoras al descubierto, tome precauciones extra para evitar la posibilidad de un cortocircuito.
● No realice medidas con el compartimiento de las baterías abierto.
● Desconecte las puntas de medida del instrumento para realizar medidas de intensidad.

- 1) Sitúe el selector de funciones en posición "600A" o "1000A" (en KEW2046R, sólo "600A" está disponible). CA se selecciona por defecto; si está seleccionado pulse SELECT para cambiarlo a CC. El símbolo DC aparecerá en la parte superior izquierda de la pantalla.
- 2) Pulse el gatillo para abrir las mandíbulas y amordace el conductor a comprobar, tomado nota del valor que aparecerá en pantalla. Pulsando la tecla "Hz/DUTY", se muestra distinta información en pantalla, atendiendo a la siguiente secuencia.



La función Hz/Trabajo requiere de 50A o más en el rango 600A CA, y de 350A o más en el rango de 1000A CA.

PRECAUCIÓN
● El diámetro máximo de un conductor es de aprox. 33 mm para el KEW2046R y de 40mm para el KEW2056R. Durante medidas de intensidad, mantenga las mandíbulas de la mordaza completamente cerradas. De no ser así, no se obtendrán resultados precisos.

6. OTRAS FUNCIONES

6-1. Función Sleep

- 1) Esta es una función diseñada para evitar que el instrumento se deje anclado, para así prolongar la vida de las baterías. Esta función hace que el instrumento entre en modo Sleep tras 15 minutos desde la última operación. Para salir del modo Sleep, gire el Selector de Función hasta la posición "OFF", y después a cualquier otra posición.

- 2) La función Sleep estará desactivada cuando las funciones MIN/MAX o PICO estén seleccionadas. Las mediciones continuas se realizan con la función Sleep desactivada. Para activar la función Sleep de nuevo, desactive las funciones MIN/MAX o PICO.

PRECAUCIÓN
● El instrumento consume una pequeña cantidad de batería en el modo Sleep. Si desea un consumo nulo, seleccione siempre OFF tras usar el instrumento.

6-2. Tecla HOLD

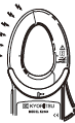
- 1) Función de Bloqueo de Datos
Esta función congela en pantalla el valor medido. Pulse la tecla "HOLD" para bloquear la medida en pantalla. La lectura se mantendrá independientemente de variaciones posteriores en la entrada. Mientras el instrumento está en modo Bloqueo de Datos, aparece "H" en la esquina superior izquierda de la pantalla. Para salir de este modo, pulse la tecla "HOLD" de nuevo.

PRECAUCIÓN
● Los datos bloqueados en pantalla se perderán si se activa el modo Sleep mientras el instrumento está en modo de Bloqueo de Datos.

- 2) Luz de fondo ON/OFF
Pulsando la tecla HOLD durante 2 seg. o más se iluminará la pantalla. Si vuelve a pulsarla durante 2 seg. o más, se apagará.

6-3. Función NCV

Un LED rojo situado en la parte superior del panel se iluminará en todas las funciones (excepto OFF) cuando se detecte un campo eléctrico superior a 100V, mediante un sensor instalado en las mandíbulas. Este sensor es capaz de detectar la presencia de tensión en un cratío eléctrico o equipamiento sin tocarlo. El sensor NCV sólo puede detectar campos eléctricos en la dirección mostrada en la figura. Coloque la parte izquierda de la mordaza cerca del conductor a examinar (manténgalo lo más inmóvil posible). Es imposible detectar campos de tomas empotradas.



5-2. Medición de Intensidad CC.

- PRECAUCIÓN**
● Nunca realice mediciones en circuitos cuyo potencial supere los 600V CA, para evitar descargas eléctricas.
● No realice medidas con el compartimiento de las baterías abierto.
- 1) Sitúe el selector de funciones en posición "600A" o "1000A" (en KEW2046R, sólo "600A" está disponible). CA se selecciona por defecto; si está seleccionado pulse SELECT para cambiarlo a CC. El símbolo DC aparecerá en la parte superior izquierda de la pantalla.
 - 2) Con las mandíbulas de la mordaza cerradas y sin amordazar el conductor todavía, pulse la tecla "ZERO" para poner a cero la pantalla. (el símbolo Δ aparecerá en la esquina superior derecha de la pantalla).
 - 3) Pulse el gatillo para abrir las mandíbulas y amordace el conductor a comprobar (el conductor debería quedar en el centro de las mandíbulas). Tome nota del valor mostrado en pantalla.
 - 4) Sitúe el Selector de Función en una posición apropiada de acuerdo al tipo de corriente a medir.
 - 5) Pulsando la tecla "ZERO" de nuevo, se libera la función de puesta a cero (el símbolo Δ desaparecerá de la esquina superior derecha de la pantalla).

PRECAUCIÓN
● Cuando la corriente fluye desde la parte superior del instrumento (la parte de la pantalla) hacia la parte inferior, la polaridad de la lectura es positiva, y viceversa.

5-3. Medición de Tensión CA.

- PRECAUCIÓN**
● Nunca realice mediciones en circuitos cuyo potencial supere los 600V CA, para evitar descargas eléctricas.
● No realice medidas con el compartimiento de las baterías abierto.
● Mantenga sus dedos tras la barrera del instrumento durante la medición.

- 1) Sitúe el Selector de Función en posición "ACV".
- 2) Conecte el cable de medida rojo al terminal V/Q, y el negro al terminal COM.
- 3) Conecte las puntas de medida al circuito a comprobar. Tome la lectura de la pantalla. Pulsando la tecla "Hz/DUTY", se muestra distinta información en pantalla, atendiendo a la siguiente secuencia.



PRECAUCIÓN
● La función Hz/Trabajo requiere un mínimo de 40V CA.
● Para medir una frecuencia, mida primero la tensión del circuito. Entonces pulse la tecla "Hz/DUTY" para entrar en la medición de frecuencia.
● Las lecturas de frecuencia podrían fluctuar o ser influenciadas bajo ambientes ruidosos.

6-4. Función MIN/MAX

- PRECAUCIÓN**
● El LED podrá no encenderse debido al estado de instalación del circuito o equipamiento. Nunca toque el circuito a comprobar para evitar posibles daños, incluso si el LED no se ilumina.
● Compruebe el correcto funcionamiento del LED en una fuente de alimentación bien conocida antes de realizar la medida. Si el LED no se ha eliminado, no realice mediciones.
● El indicador NCV se ve afectado por tensiones externas, y por como coloquemos y sujetemos el instrumento.

6-4. Función MIN/MAX

PRECAUCIÓN
● Los datos bloqueados en pantalla se perderán si se activa el modo Sleep mientras el instrumento está en modo de Bloqueo de Datos.
● Las teclas SELECT, ZERO y Hz/DUTY se deshabilitan mientras está activa la función MIN/MAX.

- 1) Función de Intensidad CA/CC (sólo 600A en KEW2046R)
Pulsando la tecla MIN/MAX en los rangos de 600 y 1000A se activa la medición de mínimos o máximos. Pulse la tecla MIN/MAX para seleccionar MAX o MIN. El valor máximo o mínimo del dentro del rango de medida se mantendrá en pantalla hasta que la función se desactive. "MIN" o "MAX" se muestran por pantalla mientras la función está activa. Para desactivarla, pulse la tecla MIN/MAX durante al menos 2 seg. o cambie de función de medida.

2) Función de Tensión CA/CC

PRECAUCIÓN
● Si pulsa la tecla MIN/MAX sin aplicar tensión, se desactivará el cambio automático de rango, fijándose un rango de 0V. Conecte las puntas de medida al circuito y espere a que el cambio automático de rango seleccione un rango adecuado antes de pulsar la tecla MIN/MAX.

Pulsando la tecla MIN/MAX se activa la medición de mínimos o máximos. Pulse la tecla MIN/MAX para seleccionar MAX o MIN. El valor máximo o mínimo del dentro del rango de medida se mantendrá en pantalla hasta que la función se desactive. "MIN" o "MAX" se muestran por pantalla mientras la función está activa. Para desactivarla, pulse la tecla MIN/MAX durante al menos 2 seg. o cambie de función de medida.

6-5. Función de Puesta a Cero

PRECAUCIÓN
Las teclas MIN/MAX y PEAK se deshabilitan mientras está activa la función de Puesta a Cero.

Cuando se utiliza la función de Puesta a Cero en mediciones de Intensidad, el símbolo "Δ" aparecerá en la esquina superior izquierda de la pantalla. Indicación del valor relativo en mediciones de Intensidad, Tensión y Resistencia.
Al pulsar la tecla ZERO accedemos a la función de valor relativo (REL).

5-4. Medición de Tensión CC

- PRECAUCIÓN**
● Nunca realice mediciones en circuitos cuyo potencial supere los 600V CA, para evitar descargas eléctricas.
● No realice medidas con el compartimiento de las baterías abierto.
● Mantenga sus dedos tras la barrera del instrumento durante la medición.

- 1) Sitúe el Selector de Función en posición "DCV".
- 2) Conecte el cable de medida rojo al terminal V/Q, y el negro al terminal COM.
- 3) Conecte las puntas de medida roja y negra a la parte positiva (+) y negativa (-) del circuito respectivamente. Tome nota de la medida en pantalla. Si la conexión está al revés, aparecerá el símbolo "-" en pantalla.

5-5. Medición de Resistencia/Diodos/Continuidad/Capacidad

PRECAUCIÓN
● Nunca utilice el instrumento sobre un circuito energizado.
● No realice medidas con el compartimiento de las baterías abierto.

- Resistencia**
- 1) Sitúe el Selector de Función en la posición "Ω /→ /← /K".
 - 2) Conecte el cable de medida rojo al terminal V/Q, y el negro al terminal COM. Cercíese de que "OL" aparezca en pantalla, y a continuación cortocircuite las puntas de prueba para poner a cero el indicador.
 - 3) Conecte las puntas de prueba a los extremos de la resistencia a comprobar.
 - 4) Tome nota del resultado mostrado en pantalla.

PRECAUCIÓN
● Incluso cortocircuitando las puntas de medida, el indicador en pantalla podría ser distinto de cero. Pero no se trata de un fallo, sino que se debe a la resistencia interna de los cables de medida.
● Cuando las puntas de medida no están conectadas, aparecerá "OL" por pantalla.

Continuidad

- 1) Sitúe el Selector de Función en la posición "Ω /→ /← /K". "Q" se selecciona por defecto. Pulse SELECT para cambiar a "Continuidad".

Resistencia → Diodo → Cont → Capacidad

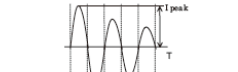
- 2) Conecte el cable de medida rojo al terminal V/Q, y el negro al terminal COM. Cercíese de que "OL" aparezca en pantalla, y a continuación cortocircuite las puntas de prueba al indicador debería ponerse a cero, y sonará el zumbador.
- 3) Conecte las puntas de prueba a los extremos de la

Pulse la tecla ZERO para establecer la medida actual como valor de referencia, al principio de la medida. A partir de este momento, se indicará por pantalla la diferencia entre el valor de referencia y el último valor medido. La función de selección automática de rango se desactivará, y el rango seleccionado será el rango que estaba seleccionado al tomar el valor de referencia. Por lo tanto, un valor relativo estará dentro del siguiente rango. (Rango de medida)/(Valor máximo del rango fijado). (Valor inicial)

Para desactivar esta función, pulse la tecla MIN/MAX durante al menos 2 seg. o seleccione otra función de medida.

6-6. Función de PICO (sólo 600A en KEW2046R)

- 1) Sitúe el Selector de Función en uno de los rangos de medida de intensidad, y asegúrese de seleccionar CA. Amordace el conductor a comprobar.
- 2) Pulsando la tecla PEAK aparecerá el mensaje "PEAK" en pantalla, y se iniciará la medida.
- 3) Las lecturas indican el pico del valor de cresta actual. Cuando se miden ondas sinusoidales, las lecturas son aprox. √2 veces el valor RMS.



- 4) Pulse la tecla PEAK durante al menos 2 seg. para resetear la pantalla o liberar la función. El zumbador sonará 2 veces, y la función se desactivará.

PRECAUCIÓN
● El PICO máximo indicado para valores de cresta es de 1500A. Un mensaje de error aparece cuando se excede este rango.
● La función Sleep se deshabilita cuando la función de PICO está activa. Hay que tener cuidado por tanto al realizar medidas continuas.

6-7. Indicación de sobrecarga

Cuando la entrada es superior al valor máximo permitido de la función seleccionada, aparecen los mensajes "OL" o "OL" en pantalla. Esto no es válido para las funciones de Tensión, Intensidad (en 1000A) o Temperatura.

7. SUSTITUCIÓN DE BATERÍAS

ADVERTENCIA
● Para evitar posibles descargas, sitúe el Selector de Función en posición "OFF" y retire los cables de medida del instrumento antes de reemplazar las baterías.

PRECAUCIÓN
● No mezcle baterías nuevas y antiguas. Instale las baterías en la polaridad correcta, que está indicada en el compartimiento de las baterías.

resistencia a comprobar. El zumbador sonará si la resistencia tiene un valor de 100Ω o inferior.

Diodo
1) Sitúe el Selector de Función en la posición "Ω /→ /← /K". "Q" se selecciona por defecto. Pulse SELECT para cambiar a "Diodo".

Resistencia → Diodo → Cont → Capacidad

- 2) Conecte el cable de medida rojo al terminal V/Q, y el negro al terminal COM.



- 3) Conecte las puntas de medida roja y negra al ánodo y al cátodo del diodo a comprobar respectivamente. Tome nota del resultado mostrado en pantalla. Si la conexión está al revés, aparecerá "OL" por pantalla.

PRECAUCIÓN
● Algunos diodos no pueden comprobarse, mostrándose en pantalla "OL" (diodos Zener, LED, etc.)

Capacidad
1) Sitúe el Selector de Función en la posición "Ω /→ /← /K". "Q" se selecciona por defecto. Pulse SELECT para cambiar a "Capacidad".

Resistencia → Diodo → Cont → Capacidad

- 2) Conecte el cable de medida rojo al terminal V/Q, y el negro al terminal COM.
- 3) Tome nota del resultado mostrado en pantalla.

5-6. Medición de Temperatura

- 1) Sitúe el selector de funciones en la posición "°C/°F".
- 2) Conecte la Sonda de Temperatura tipo K (accesorio opcional) al terminal de entrada. La parte positiva (+) de la sonda debe conectarse a V/Q.
- 4) Ponga en contacto el sensor (parte metálica) de la Sonda de Temperatura tipo K con el objeto a comprobar. Tome nota del resultado mostrado en pantalla.

ADVERTENCIA
● Nunca conecte la Sonda de Temperatura a un circuito energizado.

PRECAUCIÓN
● Al situar el Selector de Función a la posición "°C/°F", se muestra por pantalla la temperatura ambiental. En el caso de que "OL" o algo distinto a la temperatura ambiental aparezca por pantalla, algo podría ir mal con el instrumento. Deje de utilizarlo inmediatamente.
● Podrían existir daños en la Sonda si el indicador no varía cuando el sensor se pone en contacto con el objeto a comprobar.



Reemplace las baterías siempre que el indicador de batería baja "BATT" aparezca en pantalla. Tenga en cuenta que cuando la batería está completamente agotada, la pantalla parpadeará sin que se muestre el indicador "BATT".

- 1) Sitúe el Selector de Función en posición "OFF".
- 2) Desatornille y retire la cubierta del compartimento de las baterías, que se encuentra en la parte inferior del instrumento.

- 3) Retire y quite a las baterías respetando la polaridad correcta. Use pilas R03 (AAA) o LR03 (1.5 V nuevas).
- 4) Vuelva a colocar la cubierta y atornillela.



8. MANTENIMIENTO

● Limpieza
Use un paño humedecido agua o detergente neutro para limpiar el instrumento.
No use productos abrasivos o disolventes. De otro modo, el instrumento podría resultar dañado, deformado o decolorado.

Guillermo Hermanos, S. L.
C/ Isaac Peral, 6
Ind. Ntra. Sra. de Buzanque
28914 - Leganés (Madrid)
Tel: +34 91 687 00 22 Fax: +34 91 687 66 16
E-mail: info@guillermo-hermanos.es
www.guillermo-hermanos.es

Kyortisu se reserva el derecho de cambiar las especificaciones o diseños descritos en este manual de instrucciones sin avisos y sin obligaciones.



KYORTISU ELECTRICAL INSTRUMENTS WORKS, LTD.
No. 3-20, Nakane 2-chome, Meguro-ku, Tokyo, 152-0021 Japan
Phone: +81-3-3723-0131
Fax: +81-3-3723-0152
URL: http://www.kyortisu.co.jp
E-mail: info@kyortisu.co.jp
Factories: Uwajima & Ehime

10.7 Anexo 7

Ficha técnica luminaria Sylvania T8Luxline Plus F18W/865.

SYLVANIA

T8 Luxline® Plus

F18W/865

0001502



Range features



PRODUCT OVERVIEW

Light colour	860 Daylight
Technology	Fluorescent
Ordering number	0001502
Energy class	A
Lamp shape	Linear
Lamp finish	Frosted
Dimmable	Yes
Cap/Base	G13
Type	T8 Luxline Plus
EAN code	5410288015026
CRI (Ra)	85
Colour temperature (K)	6000
Luminous flux (Rated) (lm)	1300
Efficacy (Rated) 100h (lm/W)	72
Watt (Nominal) (W)	18
Voltage (V)	57

T8 Luxline® Plus

F18W/865

0001502

DATA TABLE

General data

Technology	Fluorescent
Ordering number	0001502
Average life (Nominal) (h)	20000
Energy class	A
Lamp shape	Linear
Lamp finish	Frosted
Dimmable	Yes
Cap/Base	G13
Type	T8 Luxline Plus
EAN code	54102880 15026
E-number FI	4940170
E-number SE	8356588
Product name	F18W/865
Lamp mercury content (mg)	2.8
Control gear required	Yes
Fixture rating	Open
IEC Reference	IEC 60081
IEC Reference 2	IEC 61195
Intended purpose	General lighting
Special purpose lamp	No
Transformer required	No
Sales pack quantity	25
Rated survival factor at 2000 h 50Hz	0.99
Rated survival factor at 4000 h 50Hz	0.98
Rated survival factor at 6000 h 50Hz	0.96
Rated survival factor at 8000 h 50Hz	0.94
Rated survival factor at 12000 h 50Hz	0.92
Rated survival factor at 16000 h 50Hz	0.8
Rated survival factor at 20000 h 50Hz	0.5

T8 Luxline® Plus

F18W/865

0001502

Optical data

Light colour	860 Daylight
CRI (Ra)	85
Colour temperature (K)	6000
Luminous flux (Rated) (lm)	1300
Luminous flux (Nominal) (lm)	1300
Ambient temperature for maximum luminous flux (°C)	25
Rated lumen maint. factor at 2000 h 50Hz	0.96
Rated lumen maint. factor at 4000 h 50Hz	0.94
Rated lumen maint. factor at 6000 h 50Hz	0.92
Rated lumen maint. factor at 8000 h 50Hz	0.91
Rated lumen maint. factor at 12000 h 50Hz	0.9
Rated lumen maint. factor at 16000 h 50Hz	0.89
Rated lumen maint. factor at 20000 h 50Hz	0.87

Electrical data

kWh per 1000 hours burning time	23
Efficacy (Rated) 100h (lm/W)	72
Watt (Rated) (W)	18
Watt (Rated) - High frequency (W)	16
Watt (Nominal) (W)	18
Voltage (V)	57
Ignition voltage (V)	0

Current (A) 0.37

Physical data

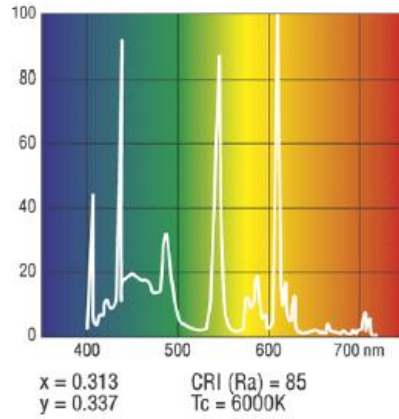
Weight (kg)	0.08
Length base to base (mm) - A	589.8
Length base to pin Min-Max - B	594.5-596.9
Max overall length (mm) - C	604
Max. Lamp Diameter (mm) - D	26
Single packaging type	Box/Sleeve
Single package dimensions (L x W x H) (cm)	61.00 x 2.90 x 2.80
Outer package dimensions (L x W x H) (cm)	63.00 x 15.50 x 15.00

T8 Luxline® Plus

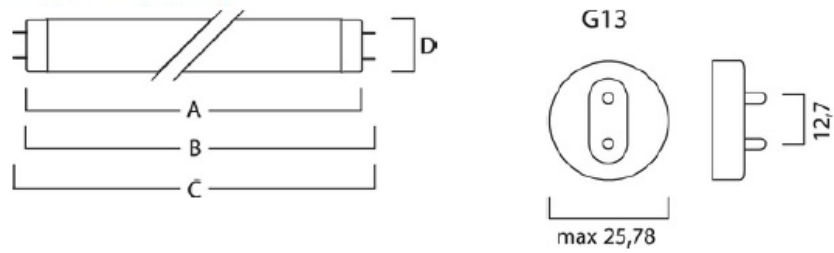
F18W/865

0001502

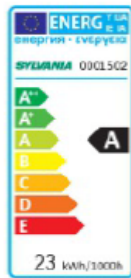
PHOTOMETRY



TECHNICAL DRAWINGS



ENERGY LABEL



10.8 Anexo 8

Ficha técnica del medidor laser infrarrojo de temperatura AMPROBE IR608A.



AMPROBE®

Data Sheet

IR608A Infrared Thermometer

Point and press for quick and easy temperature measurement

The IR608A is an infrared thermometer with a laser pointer for easy targeting. A quick and effective diagnostic tool for identifying problems in a wide variety of applications like HVAC/R, fire safety and protection, industrial maintenance automotive and quality control. The IR608A is robust yet lightweight with a solid ergonomic design.



- "Pistol grip design" for comfortable grip
- Small enough to fit in your pocket
- Measuring range – 18 °C to 400 °C (0 °F to 750 °F)
- Fixed emissivity at 0.95
- Laser sighting for accurate targeting (CE EN60825 certified Class II)
- Display hold
- Fast response time
- Distance to spot size ratio 8:1
- Accuracy to 2 %
- Backlit display
- Battery included

No hassle warranty

No waiting.

No shipping charges.

Our commitment to high-quality products and customer service is demonstrated by our industry exclusive "No Hassle" warranty. In the unlikely event that an Amprobe Test Tool requires warranty service, any of our local dealers are authorized to replace it, on the spot.

(note: \$500 MSLP limit)





IR608A Infrared Thermometer

Data Sheet

General Specifications

Storage temperature	- 20 °C to 65 °C (- 4 °F to 150 °F) without battery
Weight / Dimensions	227 g (0.5 lb); 152 mm x 101 mm x 38 mm (6 in x 4 in x 1.5 in)
Power	9 V Alkaline or NiCd battery
Typical Battery life (Alkaline)	12 hours
Distance to Spot Size	8:1
Low Battery Indicator	Battery icon appears in display
Warranty	One-year

Specifications

Function	Range	Accuracy
	- 18 °C to 400 °C (0 °F to 750 °F)	
Temperature display	0.2 °C or 0.5 °F	
Targets	- 1 °C to 400 °C (30 °F to 750 °F)	± 2 % of reading or ± 2 °C (± 3.5 °F), whichever is greater
	- 18 °C to - 1 °C (0 °F to 30 °F)	± 3 °C (± 5 °F) at 23 °C (73 °F) ± 2 °C (± 3.5 °F)
Repeatability		± 2 % of reading or ± 2 °C (± 3 °F)
Response time	500 mSec, 95 % response	
Emissivity	Pre-set 0.95	
Spectral response	7 to 18 µm	
Ambient operating temperature	0 °C to 50 °C (32 °F to 120 °F)	
Relative Humidity	10 % to 95 % RH non condensing, @ up to 30 °C (86 °F)	

Amprobe® Test Tools
 website: www.Amprobe.com
 email: info@amprobe.com
 Everett, WA 98203
 Tel: 877-AMPROBE

Amprobe® Test Tools Europe
 In den Engematten 14
 79286 Glottertal, Germany
 Tel.: +49 (0) 7684 8009 - 0

©2007 Amprobe Test Tools. All rights reserved.
 4/2007 2518084 D-EN-N Rev B

Amprobe® Test Tools

www.Amprobe.com

10.9 Anexo 9

Tabla dimensiones y masas de tubos lisos sin soldadura según la norma ANSI/ASME B36.10M

Tabla 12.9.1 – Tabla dimensiones tubos lisos según norma ANSI/ASME B36.10M.

TUBOS DE ACERO PORTAL DE USUARIOS DE TUBOS DE ACERO		DIMENSIONES DE LOS TUBOS		NORMAS DIMENSIONALES		INFORMACIÓN TÉCNICA		VARIEDADES DE ACERO			
Slovensky English Deutsch Español 中文											
Dimensiones de tubos lisos sin soldadura según la norma ANSI/ASME B36.10M											
API Spec 5L; EN ISO 3183; A/SA-53; A/SA-106 junto con A/SA 530 A/SA-335 (A/SA-333) junto con A/SA999											
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Suministrados como estirados en frío Suministrados después del acuerdo previo </div>											
NPS	Diámetro exterior [inch]	Diámetro exterior [mm]	Espesor de pared [inch]	Espesor de pared [mm]	Schedule No	Clase de masa	DN	Masa [lbs/ft]	Masa [kg/m]	API Spec 5L	A/SA-53
1/8	0.405	10,3	0.049	1,24	10	...	6	0.19	0,28	-	-
1/8	0.405	10,3	0.057	1,45	30	...	6	0.21	0,32	-	-
1/8	0.405	10,3	0.068	1,73	40	STD	6	0.24	0,37	API	√
1/8	0.405	10,3	0.095	2,41	80	XS	6	0.31	0,47	-	√
1/4	0.540	13,7	0.065	1,65	10	...	8	0.33	0,49	-	-
1/4	0.540	13,7	0.073	1,85	30	...	8	0.36	0,54	API	-
1/4	0.540	13,7	0.088	2,24	40	STD	8	0.42	0,63	API	√
1/4	0.540	13,7	0.119	3,02	80	XS	8	0.54	0,80	-	√
3/8	0.675	17,1	0.065	1,65	10	...	10	0.42	0,63	-	-
3/8	0.675	17,1	0.073	1,85	30	...	10	0.47	0,70	-	-
3/8	0.675	17,1	0.091	2,31	40	STD	10	0.57	0,84	API	√
3/8	0.675	17,1	0.126	3,20	80	XS	10	0.74	1,10	-	√
1/2	0.840	21,3	0.065	1,65	5	...	15	0.54	0,80	-	-
1/2	0.840	21,3	0.083	2,11	10	...	15	0.67	1,00	-	-
1/2	0.840	21,3	0.095	2,41	30	...	15	0.76	1,12	API	-
1/2	0.840	21,3	0.109	2,77	40	STD	15	0.85	1,27	API	√
1/2	0.840	21,3	0.147	3,73	80	XS	15	1.09	1,62	-	√
1/2	0.840	21,3	0.188	4,78	160	...	15	1.31	1,95	-	√
3/4	1.050	26,7	0.065	1,65	5	...	20	0.69	1,03	-	-
3/4	1.050	26,7	0.083	2,11	10	...	20	0.86	1,28	API	-
3/4	1.050	26,7	0.095	2,41	30	...	20	0.97	1,44	API	-
3/4	1.050	26,7	0.113	2,87	40	STD	20	1.13	1,69	API	√
3/4	1.050	26,7	0.154	3,91	80	XS	20	1.47	2,20	API	√
3/4	1.050	26,7	0.219	5,56	160	...	20	1.94	2,90	API	√
1	1.315	33,4	0.065	1,65	5	...	25	0.87	1,29	-	-
1	1.315	33,4	0.109	2,77	10	...	25	1.41	2,09	API	-
1	1.315	33,4	0.114	2,90	30	...	25	1.46	2,18	API	-
1	1.315	33,4	0.133	3,38	40	STD	25	1.68	2,50	API	√
1	1.315	33,4	0.179	4,55	80	XS	25	2.17	3,24	API	√
1	1.315	33,4	0.250	6,35	160	...	25	2.84	4,29	API	√
1 1/4	1.660	42,2	0.065	1,65	5	...	32	1.11	1,65	-	-
1 1/4	1.660	42,2	0.109	2,77	10	...	32	1.81	2,69	API	-
1 1/4	1.660	42,2	0.117	2,97	30	...	32	1.93	2,87	API	-
1 1/4	1.660	42,2	0.140	3,56	40	STD	32	2.27	3,39	API	√
1 1/4	1.660	42,2	0.191	4,85	80	XS	32	3.00	4,47	API	√
1 1/4	1.660	42,2	0.250	6,35	160	...	32	3.76	5,61	API	√

Fuente: <http://www.tubosdeacero.eu/zelpo/vyrobky.nsf/Tab2ESP?OpenPage>

Tabla 12.9.1 – (Continuación).

1 1/2	1.900	48,3	0.065	1,65	5	...	40	1,28	1,90	-
1 1/2	1.900	48,3	0.109	2,77	10	...	40	2,09	3,11	API
1 1/2	1.900	48,3	0.125	3,18	30	...	40	2,37	3,53	API
1 1/2	1.900	48,3	0.145	3,68	40	STD	40	2,72	4,05	API
1 1/2	1.900	48,3	0.200	5,08	80	XS	40	3,63	5,41	API
1 1/2	1.900	48,3	0.281	7,14	160	...	40	4,86	7,25	API
2	2.375	60,3	0.065	1,65	5	...	50	1,61	2,39	-
2	2.375	60,3	0.083	2,11	...	...	50	2,03	3,03	API
2	2.375	60,3	0.109	2,77	...	...	50	2,64	3,93	API
2	2.375	60,3	0.125	3,18	...	...	50	3,00	4,48	API
2	2.375	60,3	0.141	3,58	...	...	50	3,36	5,01	API
2	2.375	60,3	0.154	3,91	40	STD	50	3,65	5,44	API
2	2.375	60,3	0.172	4,37	...	...	50	4,05	6,03	API
2	2.375	60,3	0.188	4,78	...	...	50	4,39	6,54	API
2	2.375	60,3	0.218	5,54	80	XS	50	5,02	7,48	API
2	2.375	60,3	0.250	6,35	...	...	50	5,67	8,45	API
2	2.375	60,3	0.281	7,14	...	...	50	6,28	9,36	API
2	2.375	60,3	0.344	8,74	160	...	50	7,46	11,11	API
2	2.375	60,3	0.436	11,07	...	XXS	50	9,04	13,44	API
2 1/2	2.875	73,0	0.038	2,11	5	...	65	2,47	3,69	API-light
2 1/2	2.875	73,0	0.109	2,77	...	...	65	3,22	4,80	API-light
2 1/2	2.875	73,0	0.120	3,05	10	...	65	3,53	5,26	API-light
2 1/2	2.875	73,0	0.125	3,18	...	...	65	3,67	5,48	API-light
2 1/2	2.875	73,0	0.141	3,58	...	...	65	4,12	6,13	API-light
2 1/2	2.875	73,0	0.156	3,96	...	...	65	4,53	6,74	API
2 1/2	2.875	73,0	0.172	4,37	...	...	65	4,97	7,40	API
2 1/2	2.875	73,0	0.188	4,78	...	...	65	5,40	8,04	API
2 1/2	2.875	73,0	0.203	5,16	40	STD	65	5,79	8,63	API
2 1/2	2.875	73,0	0.216	5,49	...	...	65	6,13	9,14	API
2 1/2	2.875	73,0	0.250	6,35	...	...	65	7,01	10,44	API
2 1/2	2.875	73,0	0.276	7,01	80	XS	65	7,66	11,41	API
2 1/2	2.875	73,0	0.375	9,53	160	...	65	10,01	14,92	API
2 1/2	2.875	73,0	0.552	14,02	...	XXS	65	13,71	20,39	API
3	3.500	88,9	0.083	2,11	...	...	80	3,03	4,52	API-light
3	3.500	88,9	0.109	2,77	...	...	80	3,95	5,88	API-light
3	3.500	88,9	0.120	3,05	10	...	80	4,34	6,46	API-light
3	3.500	88,9	0.125	3,18	...	...	80	4,51	6,72	API-light
3	3.500	88,9	0.141	3,58	...	...	80	5,06	7,53	API-light
3	3.500	88,9	0.156	3,96	...	...	80	5,57	8,29	API
3	3.500	88,9	0.172	4,37	...	...	80	6,11	9,11	API
3	3.500	88,9	0.188	4,78	...	...	80	6,65	9,92	API
3	3.500	88,9	0.216	5,49	40	STD	80	7,58	11,29	API
3	3.500	88,9	0.250	6,35	...	...	80	8,68	12,93	API
3	3.500	88,9	0.300	7,62	80	XS	80	10,25	15,27	API
3	3.500	88,9	0.438	11,13	160	...	80	14,32	21,35	API
3	3.500	88,9	0.600	15,24	XXS	...	80	18,60	27,68	API
3 1/2	4.000	101,6	0.083	2,11	5	...	90	3,48	5,18	API-light
3 1/2	4.000	101,6	0.109	2,77	...	...	90	4,53	6,75	API-light
3 1/2	4.000	101,6	0.120	3,05	10	...	90	4,98	7,41	API-light
3 1/2	4.000	101,6	0.125	3,18	...	...	90	5,17	7,72	API-light
3 1/2	4.000	101,6	0.141	3,58	...	...	90	5,81	8,65	API-light
3 1/2	4.000	101,6	0.156	3,96	...	...	90	6,40	9,53	API-light
3 1/2	4.000	101,6	0.172	4,37	...	...	90	7,03	10,48	API
3 1/2	4.000	101,6	0.188	4,78	30	...	90	7,65	11,41	API
3 1/2	4.000	101,6	0.226	5,74	40	STD	90	9,11	13,57	API
3 1/2	4.000	101,6	0.250	6,35	...	...	90	10,01	14,92	API
3 1/2	4.000	101,6	0.281	7,14	...	...	90	11,16	16,63	API
3 1/2	4.000	101,6	0.318	8,08	80	XS	90	12,50	18,63	API
4	4.500	114,3	0.083	2,11	5	...	100	3,92	5,84	API-light
4	4.500	114,3	0.109	2,77	...	...	100	5,11	7,62	API-light
4	4.500	114,3	0.120	3,05	10	...	100	5,62	8,37	API-light
4	4.500	114,3	0.125	3,18	...	...	100	5,84	8,71	API-light
4	4.500	114,3	0.141	3,58	...	...	100	6,56	9,77	API-light
4	4.500	114,3	0.156	3,96	...	...	100	7,24	10,78	API-light
4	4.500	114,3	0.172	4,37	...	...	100	7,95	11,85	API
4	4.500	114,3	0.188	4,78	...	...	100	8,66	12,91	API
4	4.500	114,3	0.203	5,16	...	...	100	9,32	13,89	API
4	4.500	114,3	0.219	5,56	...	...	100	10,01	14,91	API
4	4.500	114,3	0.237	6,02	40	STD	100	10,79	16,07	API
4	4.500	114,3	0.250	6,35	...	...	100	11,35	16,90	API
4	4.500	114,3	0.281	7,14	...	...	100	12,66	18,87	API
4	4.500	114,3	0.312	7,92	...	...	100	13,96	20,78	API
4	4.500	114,3	0.337	8,56	80	XS	100	14,98	22,32	API
4	4.500	114,3	0.438	11,13	120	...	100	19,00	28,32	API
4	4.500	114,3	0.531	13,49	160	...	100	22,51	33,54	API

Fuente: <http://www.tubosdeacero.eu/zelpo/vyrobky.nsf/Tab2ESP?OpenPage>

10.10 Anexo 10

Tabla con valores de emisividades para diferentes materiales de acuerdo con la empresa manufacturera de instrumentos de medición TESTO.

**Tabla 12.10.1 – Emisividades para ciertos materiales.
Tabla de emisividades**

La siguiente tabla sirve como orientación para ajustar la emisividad en mediciones por infrarrojos. En esta se indica la emisividad ϵ de algunos de los materiales más comunes. Dado que la emisividad varía con la temperatura y con las propiedades de la superficie, estos valores solo deben ser considerados como indicativos para mediciones de diferencias y comparaciones de temperatura. Para medir el valor de temperatura absoluto, se debe determinar la emisividad exacta del material.

Material (temperatura del material)	Emisividad
Acero laminado en frío (93 °C)	0,75–0,85
Acero oxidado (200 °C)	0,79
Acero superficie tratada térmicamente (200 °C)	0,52
Algodón (20 °C)	0,77
Aluminio laminado sin tratamiento (170 °C)	0,04
Aluminio muy pulido (100 °C)	0,09
Aluminio, muy oxidado (93 °C)	0,2
Aluminio, no oxidado (100 °C)	0,03
Aluminio, no oxidado (25 °C)	0,02
Arcilla (70 °C)	0,91
Caucho, blando, gris (23 °C)	0,89
Cinc oxidado	0,1
Cobre ligeramente deslustrado (20 °C)	0,04
Cobre oxidado (130 °C)	0,76
Cobre, laminado (40 °C)	0,64
Cobre, pulido (40 °C)	0,03
Corcho (20 °C)	0,7
Cristal (90 °C)	0,94
Cromo (40 °C)	0,08
Cromo pulido (150 °C)	0,06
Cuerpo refrigerante anodizado negro (50 °C)	0,98
Material (temperatura del material)	Emisividad
Goma dura (23 °C)	0,94
Granito (20 °C)	0,45
Hielo liso (0 °C)	0,97
Hierro con costra de fundición (100 °C)	0,8
Hierro con costra de laminación (20 °C)	0,77
Hierro de fundición oxidado (200 °C)	0,64
Hierro, esmerilado (20 °C)	0,24
Hormigón (25 °C)	0,93
Ladrillo, mortero, revoque (20 °C)	0,93
Latón oxidado (200 °C)	0,61
Madera (70 °C)	0,94
Mampostería (40 °C)	0,93
Mármol blanco (40 °C)	0,95
Papel (20 °C)	0,97
Piedra arenisca o gres (40 °C)	0,67
Pintura azul sobre lámina de aluminio (40 °C)	0,78
Pintura blanca (90 °C)	0,95
Pintura de transformadores (70 °C)	0,94
Pintura negra mate (80 °C)	0,97
Pintura, amarilla, 2 capas sobre lámina de aluminio (40 °C)	0,79
Pinturas al óleo (cualquier color) (90 °C)	0,92–0,96
Plásticos: PE, PP, PVC (20 °C)	0,94
Plomo (40 °C)	0,43
Plomo oxidado (40 °C)	0,43
Plomo, gris oxidado (40 °C)	0,28
Porcelana (20 °C)	0,92
Yeso (20 °C)	0,9

10.11 Anexo 11

Tablas de Tasa metabólica y aislamiento de ropa según el estándar 55 del 2010 de la ASHRAE

Tabla 12.11.1 – Tasas metabólicas para trabajos típicos.

TABLE A1 Metabolic Rates for Typical Tasks

Activity	Metabolic Rate		
	Met Units	W/m ²	(Btu/h-ft ²)
Resting			
Sleeping	0.7	40	(13)
Reclining	0.8	45	(15)
Seated, quiet	1.0	60	(18)
Standing, relaxed	1.2	70	(22)
Walking (on level surface)			
0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0 mph	2.0	115	(37)
1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7 mph	2.6	150	(48)
1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2 mph	3.8	220	(70)
Office Activities			
Reading, seated	1.0	55	(18)
Writing	1.0	60	(18)
Typing	1.1	65	(20)
Filing, seated	1.2	70	(22)
Filing, standing	1.4	80	(26)
Walking about	1.7	100	(31)
Lifting/packing	2.1	120	(39)
Driving/Flying			
Automobile	1.0–2.0	60–115	(18–37)
Aircraft, routine	1.2	70	(22)
Aircraft, instrument landing	1.8	105	(33)
Aircraft, combat	2.4	140	(44)
Heavy vehicle	3.2	185	(59)
Miscellaneous Occupational Activities			
Cooking	1.6–2.0	95–115	(29–37)
House cleaning	2.0–3.4	115–200	(37–63)
Seated, heavy limb movement	2.2	130	(41)
Machine work			
sawing (table saw)	1.8	105	(33)
light (electrical industry)	2.0–2.4	115–140	(37–44)
heavy	4.0	235	(74)
Handling 50 kg (100 lb) bags	4.0	235	(74)
Pick and shovel work	4.0–4.8	235–280	(74–88)
Miscellaneous Leisure Activities			
Dancing, social	2.4–4.4	140–255	(44–81)
Calisthenics/exercise	3.0–4.0	175–235	(55–74)
Tennis, single	3.6–4.0	210–270	(66–74)
Basketball	5.0–7.6	290–440	(90–140)
Wrestling, competitive	7.0–8.7	410–505	(130–160)

Fuente: (ANSI/ASHRAE Standard 55^a-2010)(17)

Tabla 12.11.2 – Valores típicos para aislamientos de ropa.

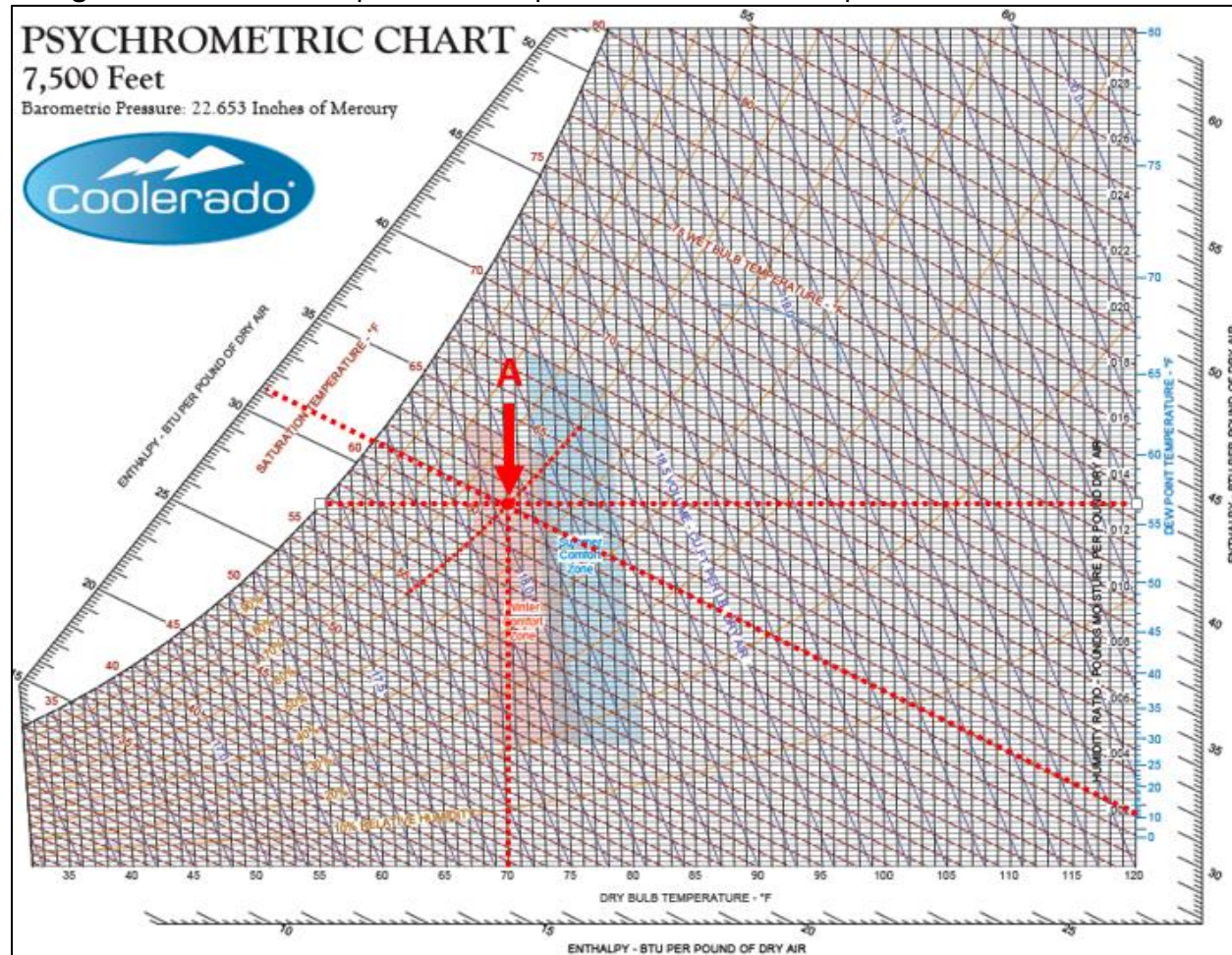
Clothing Insulation Values for Typical Ensembles*		
Clothing Description	Garments Included†	I_{cl} , (clo)
Trousers	1) Trousers, short-sleeve shirt	0.57
	2) Trousers, long-sleeve shirt	0.61
	3) #2 plus suit jacket	0.96
	4) #2 plus suit jacket, vest, T-shirt	1.14
	5) #2 plus long-sleeve sweater, T-shirt	1.01
	6) #5 plus suit jacket, long underwear bottoms	1.30
Skirts/Dresses	7) Knee-length skirt, short-sleeve shirt (sandals)	0.54
	8) Knee-length skirt, long-sleeve shirt, full slip	0.67
	9) Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half slip, long-sleeve sweater	1.10
	10) Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half slip, suit jacket	1.04
	11) Ankle-length skirt, long-sleeve shirt, suit jacket	1.10
Shorts	12) Walking shorts, short-sleeve shirt	0.36
Overalls/Coveralls	13) Long-sleeve coveralls, T-shirt	0.72
	14) Overalls, long-sleeve shirt, T-shirt	0.89
	15) Insulated coveralls, long-sleeve thermal underwear tops and bottoms	1.37
Athletic	16) Sweat pants, long-sleeve sweatshirt	0.74
Sleepwear	17) Long-sleeve pajama tops, long pajama trousers, short 3/4 length robe (slippers, no socks)	0.96

Fuente: (ANSI/ASHRAE Standard 55^a-2010)(17)

10.12 Anexo 12

Carta psicrométrica de Coolerado con las propiedades del aire para el confort térmico humano en la zona.

Figura 10.12.1 – Carta psicrométrica para 2286 msnm con el punto de confort encontrado.

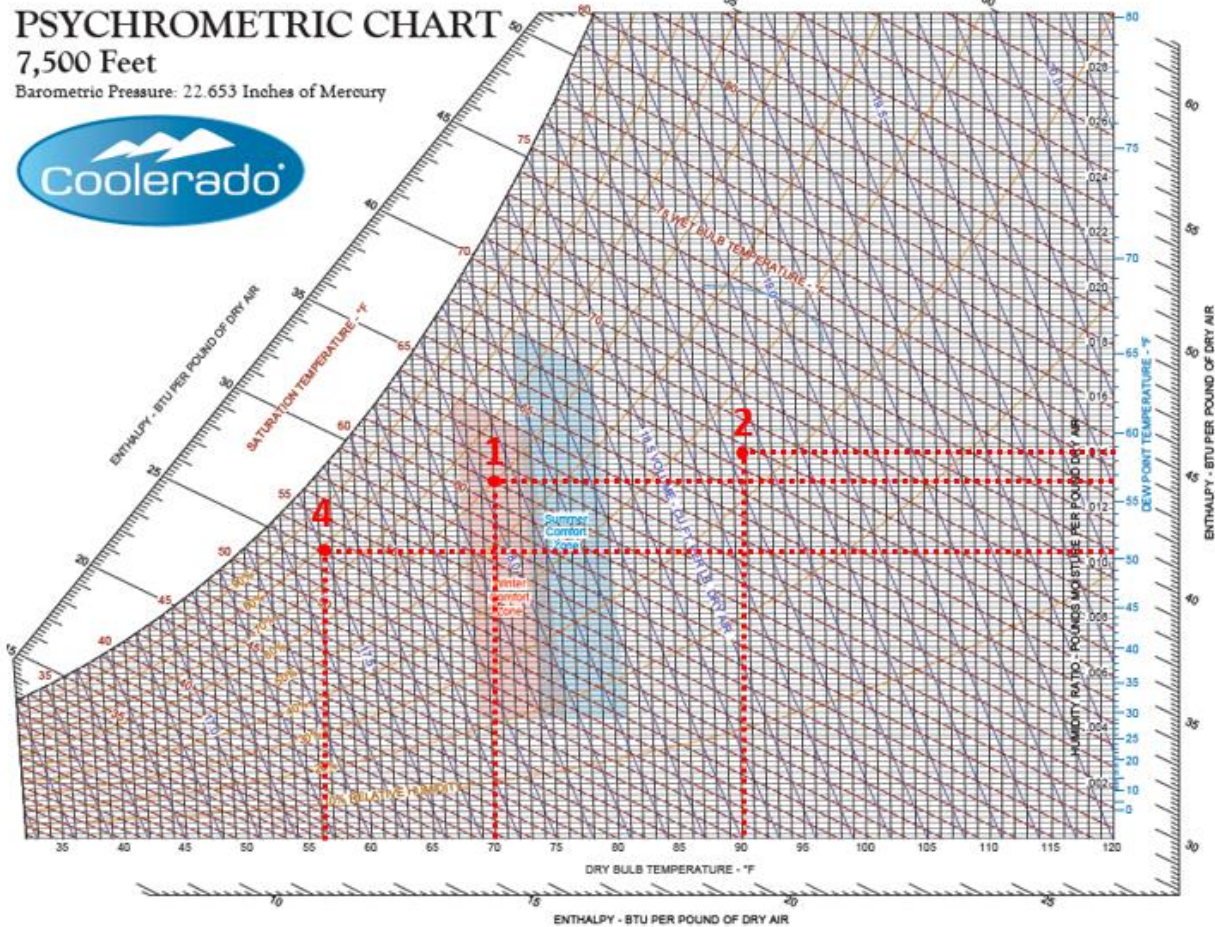


Fuente: <http://www.coolerado.com/pdfs/Psychmtrcs/7500Psychmtrc11x17.pdf>

10.13 Anexo 13

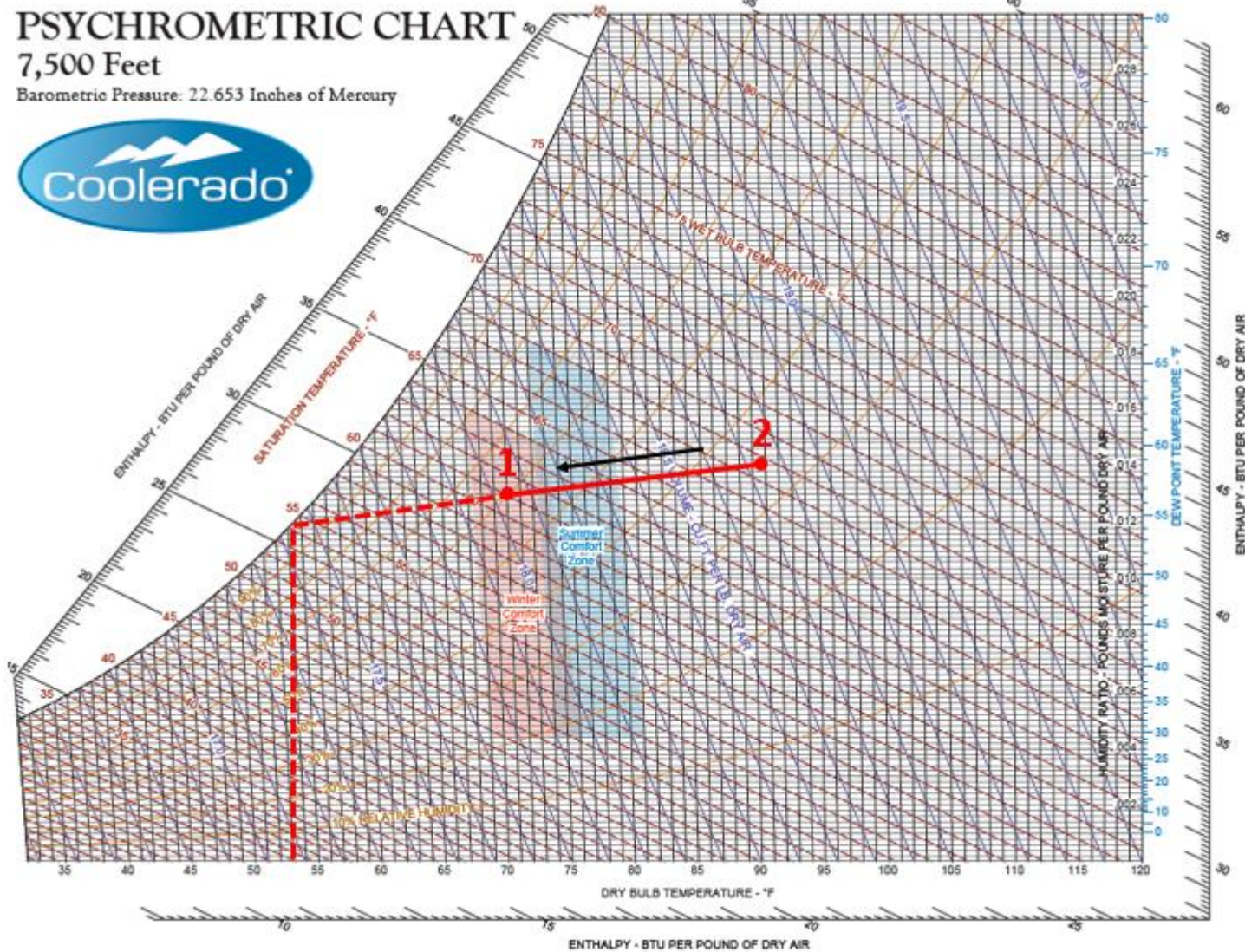
Carta psicrométrica de la empresa Coolerado para 2286 msnm con los puntos y propiedades de los procesos psicrométricos.

Figura 10.13.1 – Carta psicrométrica con los puntos 1, 2 y 4 del proceso.



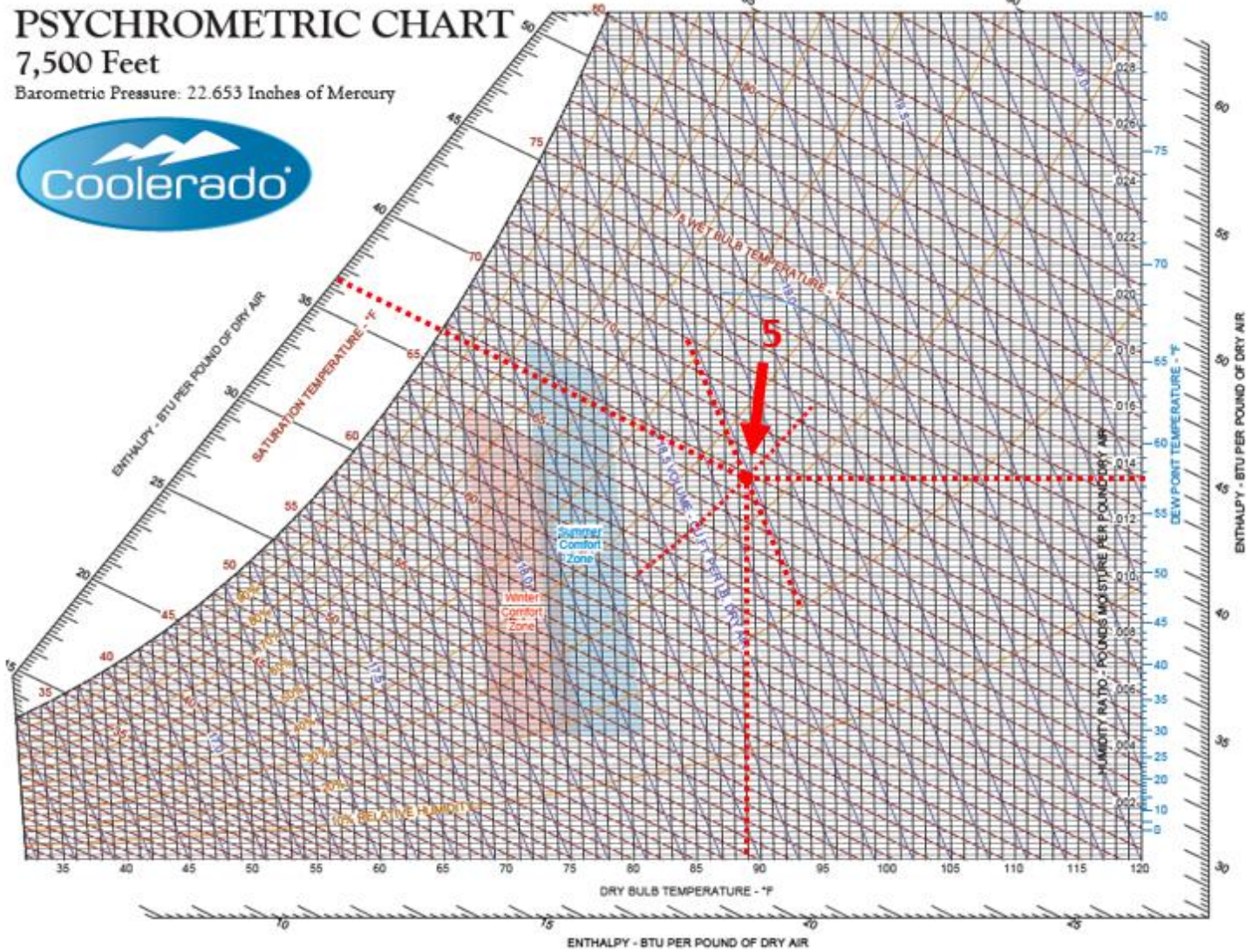
Fuente: <http://www.coolerado.com/pdfs/Psychmtrcs/7500Psychmtrc11x17.pdf>

Figura 10.13.2 – Carta psicrométrica con línea de proceso 1-2 y su proyección.



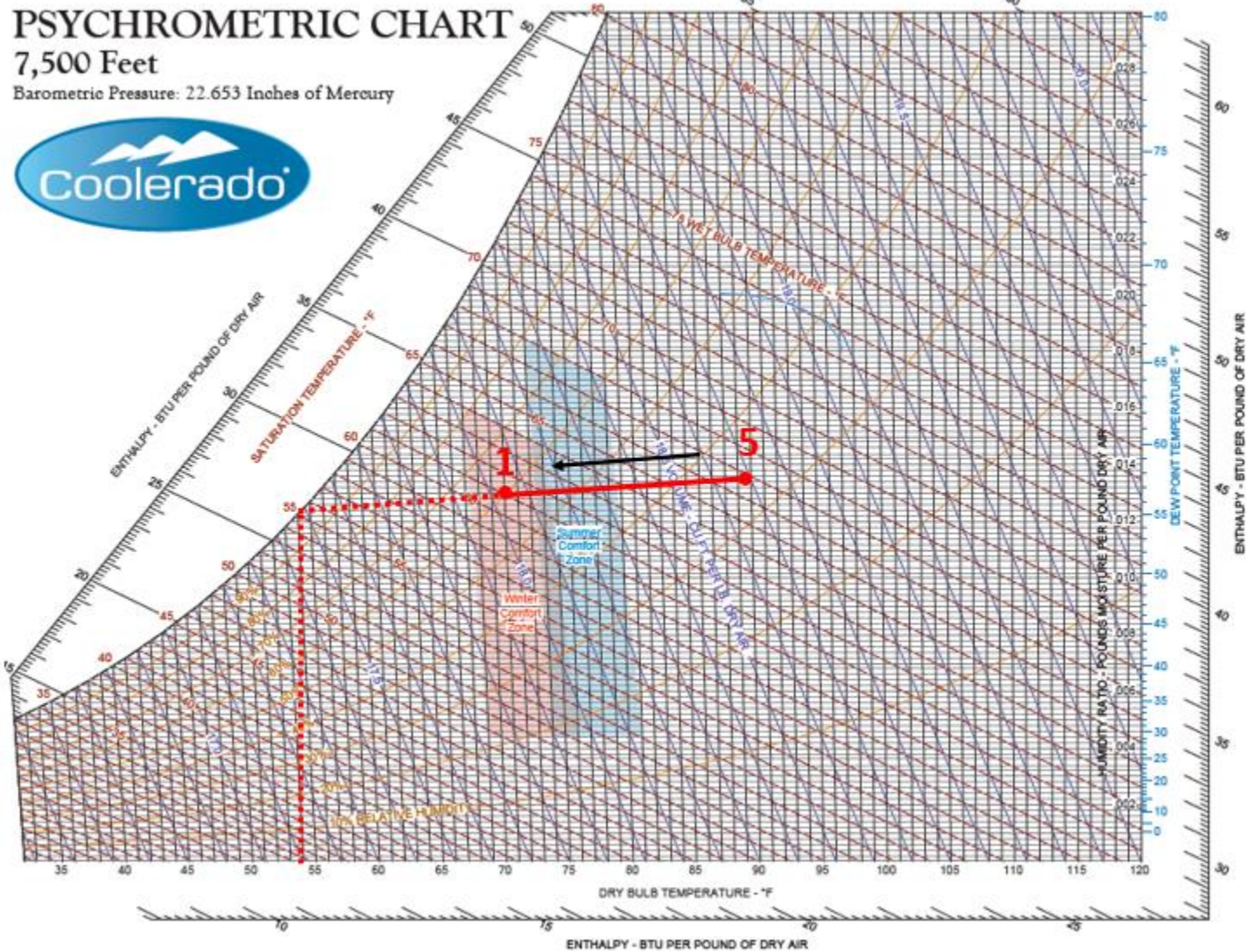
Fuente: <http://www.coolerado.com/pdfs/Psychrmtrcs/7500Psychrmtrc11x17.pdf>

Figura 10.13.3 – Carta psicrométrica con propiedades del aire en el punto 5.



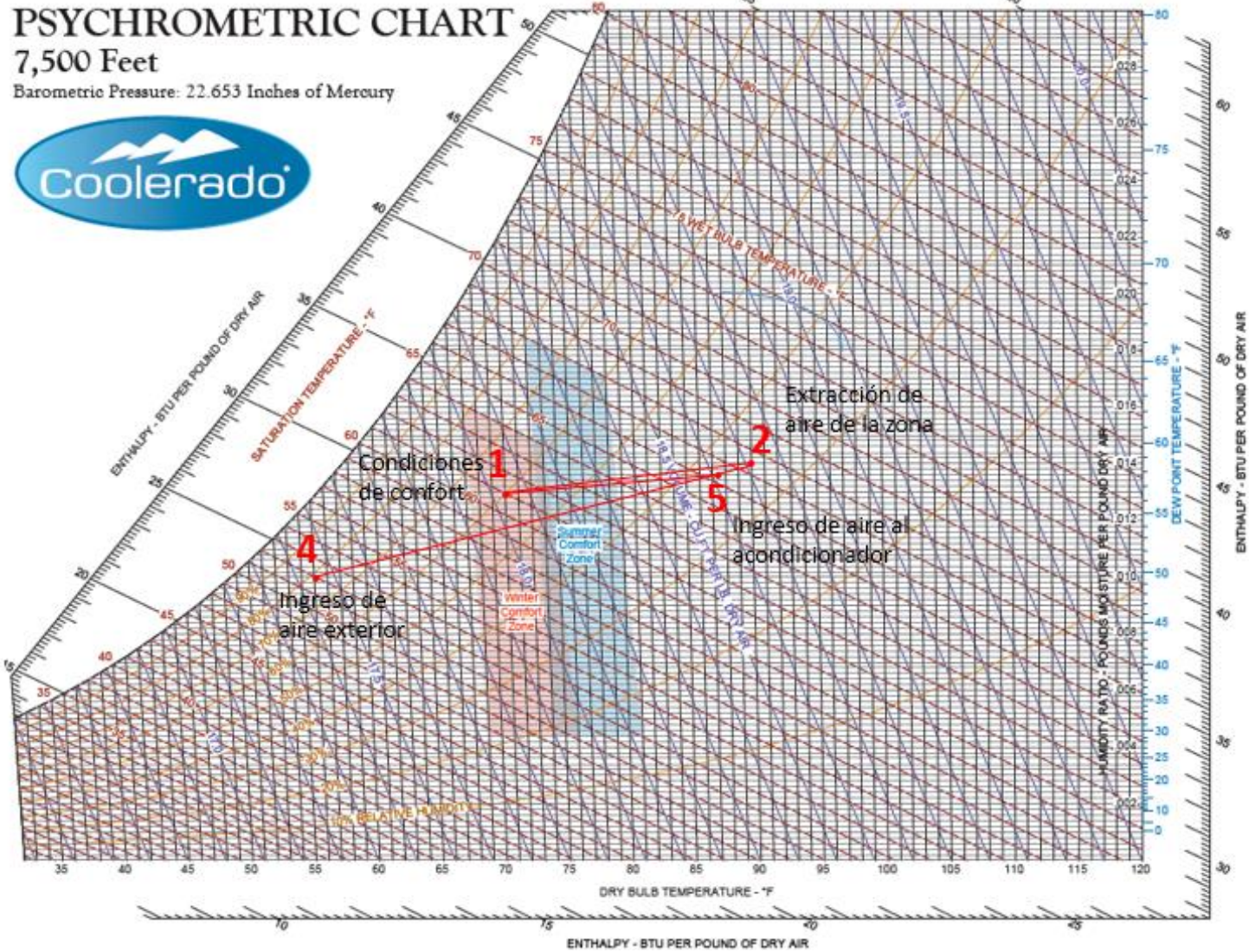
Fuente: <http://www.coolerado.com/pdfs/Psychmtrcs/7500Psychmtrc11x17.pdf>

Figura 10.13.4 – Carta psicrométrica con línea de proceso 5-1 y su proyección.



Fuente: <http://www.coolerado.com/pdfs/Psychrmtrcs/7500Psychrmtrc11x17.pdf>

Figura 10.13.5 – Carta psicrométrica con el proceso psicrométrico de enfriamiento y humidificación.



Fuente: <http://www.coolerado.com/pdfs/Psychmtrcs/7500Psychmtrc11x17.pdf>

10.14 Anexo 14

Tabla con propiedades del aire para diferentes temperaturas.

Tabla 12.14.1 – Propiedades del aire a diferentes temperaturas y presión de 1atm.

TABLA A-15							
Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Fuente: (Cengel, Transferencia de calor y masa - 2011)(12)

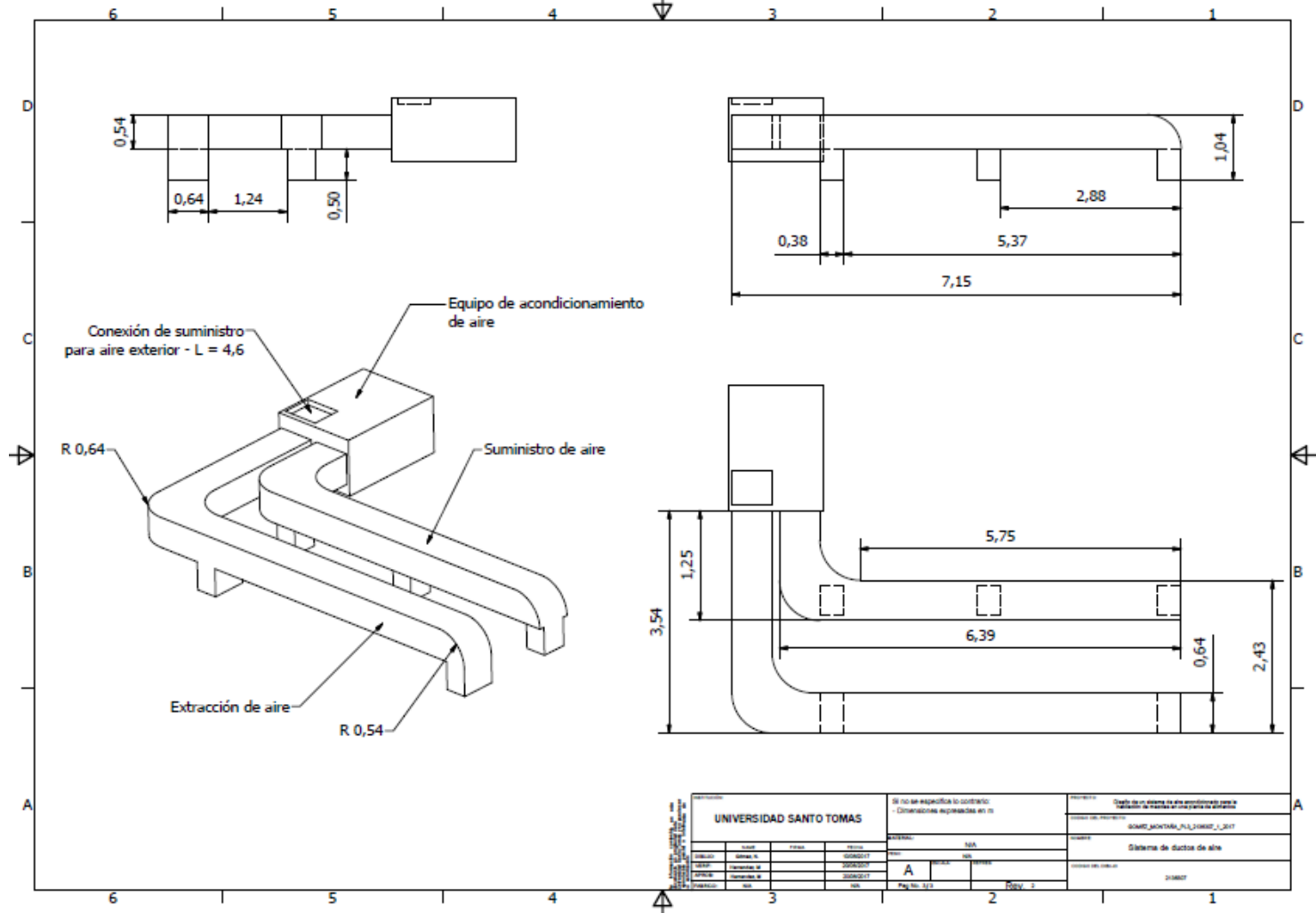
Tabla 12.14.2 – Rugosidad para diferentes materiales.

Material	Rugosidad, ϵ	
	ft	mm
Vidrio, plástico	0	0
Concreto	0.003-0.03	0.9-9
Duela de madera	0.0016	0.5
Caucho alisado	0.000033	0.01
Tubo de cobre o latón	0.000005	0.0015
Hierro fundido	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro forjado	0.00015	0.046
Acero inoxidable	0.000007	0.002
Acero comercial	0.00015	0.045

Fuente: (Cengel, Transferencia de calor y masa - 2011)(12)

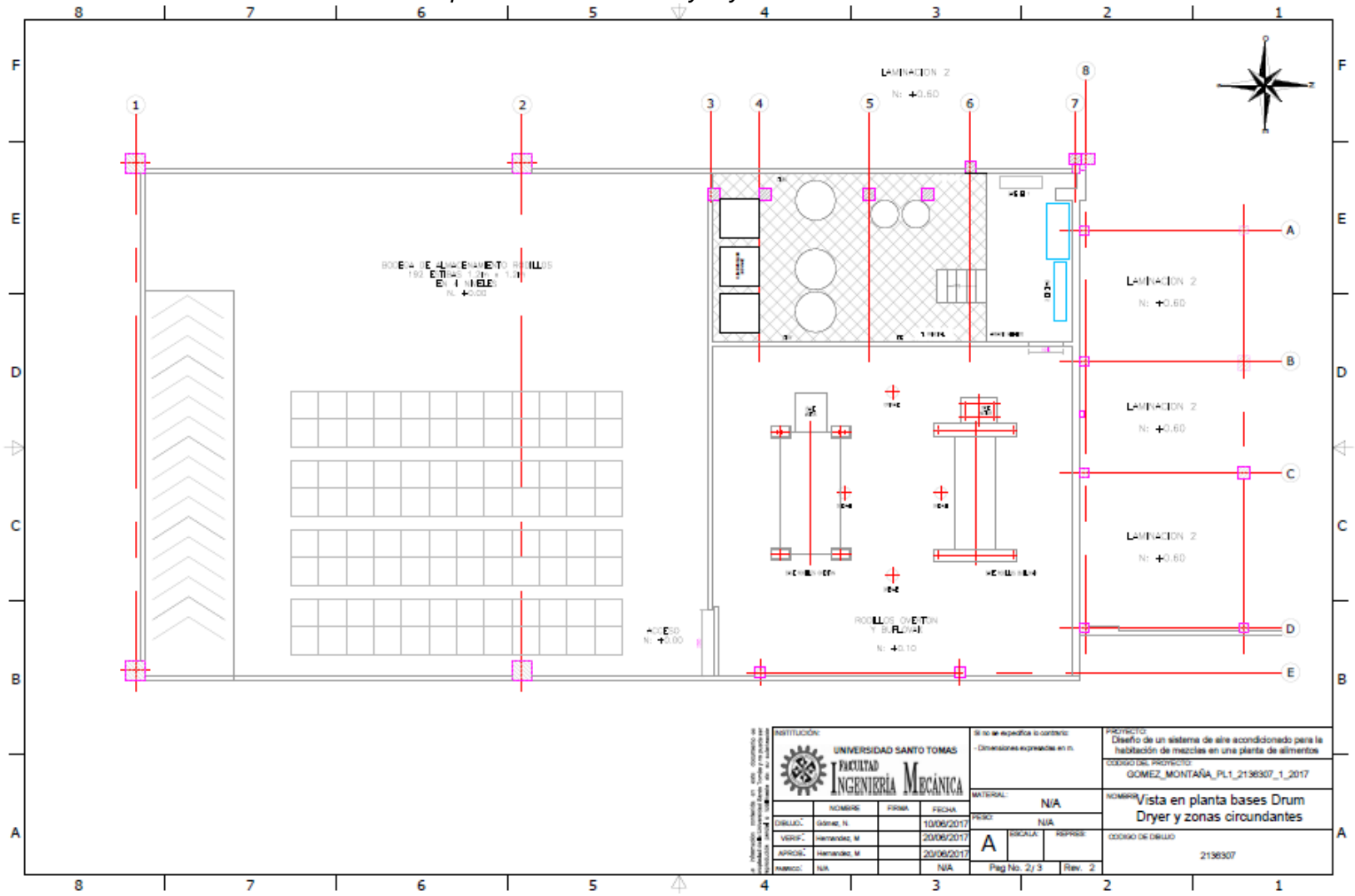
10.15 Anexo 15

Plano sistema de ductos



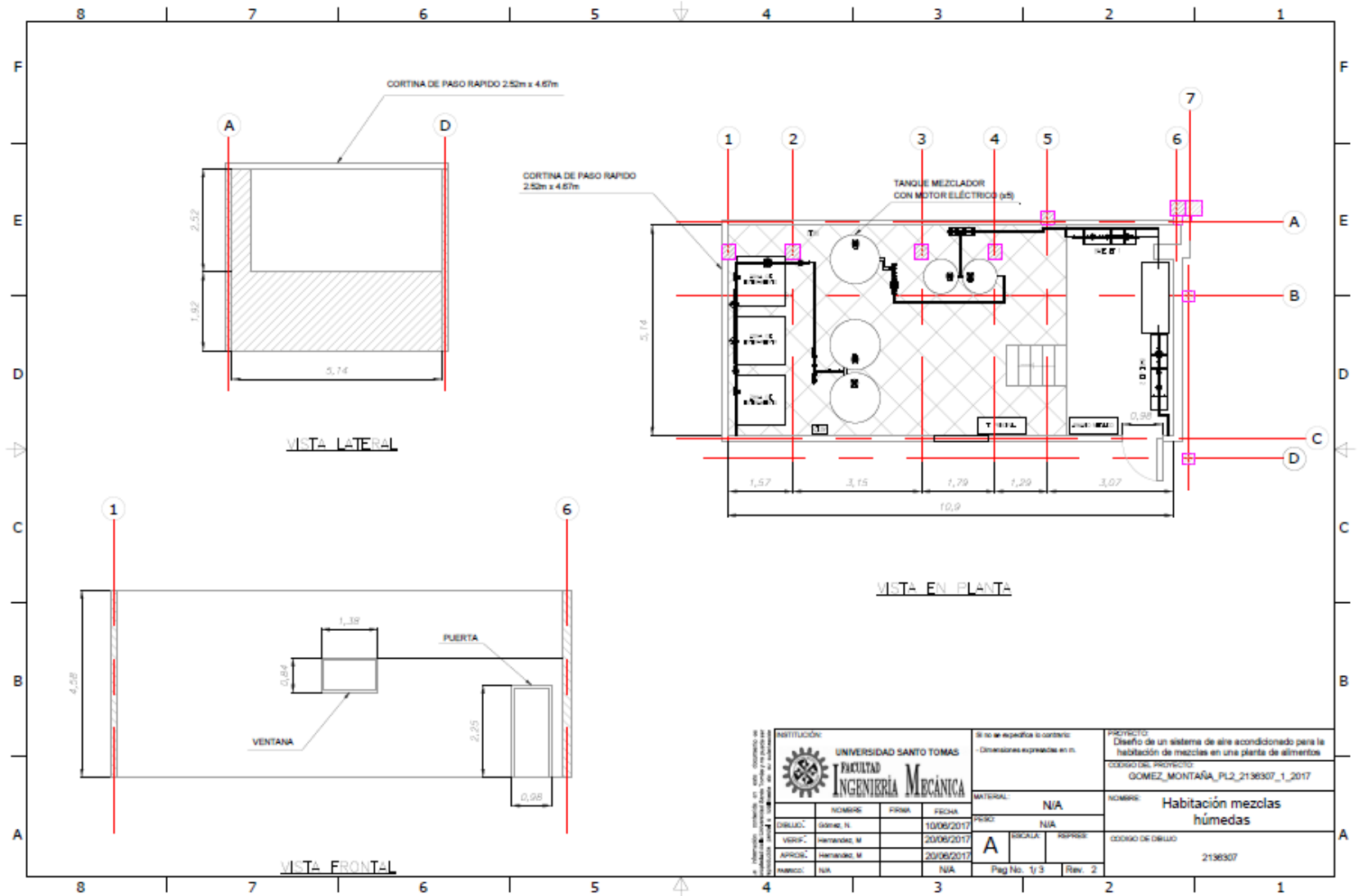
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS		Si no se especifica lo contrario: - Dimensiones expresadas en m		Hoja de un sistema de aire acondicionado para laboratorio de ciencias en una planta de edificios	
Código de Proyecto		Escala		Proyecto de Proyecto	
Autor		Fecha		Nombre del Proyecto	
Diseño		Revisión		Código de Proyecto	
Ejecución		Aprobación		Nombre del Proyecto	
Verificación		Aprobación		Código de Proyecto	
Aprobación		Aprobación		Nombre del Proyecto	
Página 1 de 1		Página 1 de 1		Código de Proyecto	


Vista en planta bases Drum Dryer y zonas circundantes



INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD SANTO TOMAS FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		Si no se especifica lo contrario: - Dimensiones expresadas en m.		PROYECTO: Diseño de un sistema de aire acondicionado para la habitación de mazorcas en una planta de alimentos	
CÓDIGO DEL PROYECTO: GOMEZ_MONTAÑA_PL1_2198307_1_2017		MATERIAL: N/A		NOMBRE: Vista en planta bases Drum Dryer y zonas circundantes	
DISEÑO: GOMEZ, N.	FECHA: 10/06/2017	PRECIO: N/A	ESCALA: PROPORCIÓN:		
VERIFICADO: HERNANDEZ, M.	FECHA: 20/06/2017	Aprobado: HERNANDEZ, M.	CÓDIGO DE DISEÑO: 2198307		
APROBADO: HERNANDEZ, M.	FECHA: 20/06/2017	MATERIAL: N/A	Pag No. 2/3 Rev. 2		

Vista en planta habitación mezclas húmedas



INSTITUCIÓN:  UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS Facultad Ingeniería Mecánica			Si no se especifica lo contrario: Dimensiones expresadas en m.		PROYECTO: Diseño de un sistema de aire acondicionado para la habitación de mezclas en una planta de alimentos CÓDIGO DEL PROYECTO: GOMEZ_MONTAÑA_PL2_2196307_1_2017	
MATERIAL: N/A			NOMBRE: Habitación mezclas húmedas		CÓDIGO DE DISEÑO: 2196307	
DISEÑO: GOMEZ M.			FECHA: 10/06/2017		ESCALA: N/A	
VERIFICACIÓN: HERNANDEZ M.			FECHA: 20/06/2017		REVISIÓN: N/A	
APROBACIÓN: HERNANDEZ M.			FECHA: 20/06/2017		REVISIÓN: N/A	
PARRAFO: N/A			FECHA: N/A		REVISIÓN: N/A	
Pag No: 1/3			Rev: 2		Pag No: 1/3	

10.16 Anexo 16

TECAM S.A.
Tecnología Ambiental

R-410A EER = 11.1
SISTEMAS DIVIDIDOS
Unidades Condensadoras
Unidades Manejadoras
7.5 Ton – 30 Ton / 60 Hz

HARMONY



1UZT
Condensación Por Aire



4FZX
Manejadora de Aire



Manufacturera de Equipos
para Aire Acondicionado y Refrigeración

1UZT
4FZX

PRESENTACION

TECAM S.A. ha desarrollado la línea HARMONY con unidades condensadoras 1UZT y unidades manejadoras de aire 4FZX con serpentines Certificados bajo el Standard AHRI 410, las cuales pertenecen a la familia de productos TECAM de sistemas divididos de expansión directa condensados por aire, creadas para soluciones con requerimientos de refrigerante ecológico R-410A y de alta eficiencia. La familia HARMONY ofrece una gran variedad de opciones y soluciones que satisfacen los estándares de calidad más exigentes.

Con una amplia gama de ventiladores, filtros, y configuraciones en sus manejadoras, le proporciona al usuario múltiples opciones para cada aplicación. Además, por su construcción robusta compacta y confiable, ensambladas completamente en fábrica con cable y tubería apropiada, ofrece gran flexibilidad para su montaje y mantenimiento.

FACILIDAD DE INSTALACION

No importa cuál sea la aplicación, HARMONY ofrece la solución. Una amplia gama de modelos y capacidades están disponibles con uno o dos compresores, circuito simple o doble y numerosos accesorios. Las unidades de condensación se pueden instalar en el suelo o en una terraza con largos tramos de tuberías, mientras que las manejadoras de aire pueden ser instaladas montadas sobre el piso o suspendidas del techo, dependiendo del modelo y del espacio disponible.

VERSATILIDAD

En la Unidad Manejadora la sección ventiladora permite suministrar aire por la parte superior cuando su instalación es vertical y frontal cuando su instalación es horizontal, cuando se requiera descarga frontal en la unidad vertical, se hace necesario la instalación de un Plenum en la descarga el cual se ofrece por separado. El serpentín normalmente tiene conexiones derechas pero opcionalmente se ofrece para instalaciones izquierdas. Su doble bandeja permite la instalación tanto vertical como horizontal. Teniendo en cuenta estas características, las capacidades de ventilación y las diferentes capacidades de enfriamiento de los serpentines, multiplican ampliamente las posibilidades de selección; brindándole al diseñador múltiples opciones al momento de escoger el modelo.

CALIDAD

Los serpentines de las Unidades Manejadoras han sido diseñados y fabricados en nuestra planta para cumplir con las capacidades ofrecidas en nuestro Software TECAM COILS certificado por AHRI de acuerdo con el Standard 410 y comprobado por laboratorio acreditado por AHRI en Estados Unidos de América. Los ventiladores que se usan en las Unidades Manejadoras son fabricados y probados en el laboratorio de Ingeniería de LAU Industries, Inc*. Las pruebas de rendimiento del flujo de aire se llevan a cabo en grandes cámaras de aire. Una sala de reverberación está disponible para medir los niveles de potencia acústica de conformidad con el Estándar AMCA 300. El laboratorio de Ingeniería de LAU está acreditado por AMCA para realizar pruebas bajo los estándares 210 y 300.

Nuestras máquinas son probadas con instrumentos de última tecnología por personal altamente calificado y sus resultados validados con el software de simulación de Emerson Climate Technologies. Los procesos de fabricación tanto de las condensadoras como de las Manejadoras de Aire, están certificados bajo la Norma ISO 9001:2008, generando la confianza suficiente para la inversión en un producto TECAM, lo que garantiza la máxima rentabilidad tanto por el rendimiento y eficiencia, como por el costo de operación y mantenimiento.

SERVICIO

TECAM S.A. a través de TRS Partes, de su red de instaladores y directamente desde la fábrica, garantiza el suministro de repuestos originales y accesorios para sus equipos.

*LAU Industries, Inc. Líder en la fabricación de Ventiladores desde el año 1983. Sede principal ubicada en Ohio, U.S.A.

NOMENCLATURA

UNIDAD CONDENSADORA

1	U	Z	T	-	0	8	-	1	3	6	-	C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Posición 1	1	= Código interno que identifica las Unidades Condensadoras
Posición 2, 3 y 4	UZT	= Modelo de la Unidad Condensadora HARMONY
Posición 6 y 7	08	= 7.5 TR Capacidad Nominal
	12	= 10.0 TR Capacidad Nominal
	14	= 12.5 TR Capacidad Nominal
	16	= 15.0 TR Capacidad Nominal
	24	= 20.0 TR Capacidad Nominal
	28	= 25.0 TR Capacidad Nominal
Posición 9	34	= 30.0 TR Capacidad Nominal
	1	= 1 Circuito de Refrigeración.
Posición 10	2	= 2 Circuitos de Refrigeración.
	3	= 3 Ph/220V – Compresor Hermético Reciprocante / Scroll
Posición 11	4	= 3 Ph/460V – Compresor Hermético Reciprocante / Scroll
	5	= 50 Hz
Posición 13	6	= 60 Hz
	C	= Compresor Scroll Copeland
Posiciones 5, 8 y 12		= Vacías o guión

UNIDAD MANEJADORA

4	F	Z	X	-	0	8	-	1	3	6	-	V	D	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Posición 1	4	= Código interno que identifica las Unidades Manejadoras
Posición 2 y 3	FZ	= Modelo de las Unidades Manejadoras HARMONY
Posición 4	X	= Expansión Directa
Posición 6 y 7	08	= 7.5 TR Capacidad Nominal
	12	= 10.0 TR Capacidad Nominal
	14	= 12.5 TR Capacidad Nominal
	16	= 15.0 TR Capacidad Nominal
	24	= 20.0 TR Capacidad Nominal
	28	= 25.0 TR Capacidad Nominal
Posición 9	34	= 30.0 TR Capacidad Nominal
	1	= 1 Circuito de Refrigeración en el Serpentin.
Posición 10	2	= 2 Circuitos de Refrigeración en el Serpentin.
	2	= 1 Ph/220V
	3	= 3 Ph/220V
	4	= 3 Ph/460V
Posición 11	5	= 50 Hz
	6	= 60 Hz
Posición 13	V	= Configuración Vertical
Posición 14	D	= Serpentin Derecho
	I	= Serpentin Izquierdo
Posición 15	V	= Descarga Vertical
Posiciones 5, 8 y 12		= Vacías o guión

COMPONENTES

UNIDAD CONDENSADORA



Las Unidades Condensadoras **HARMONY** han sido especialmente diseñadas para lograr altos índices de eficiencia, utilizando componentes de gran desempeño con bajo consumo energético y refrigerante ecológico R-410A, disminuyendo la generación de impactos que puedan afectar el medio ambiente.



COMPRESORES

Fabricados por empresas reconocidas mundialmente, que respaldan la calidad y eficiencia del producto. En todos los equipos se usan compresores Scroll, todos son trifásicos y llevan resistencia de cárter. Los modelos de 7.5TR, 10TR y 12TR están equipados con un compresor, el modelo de 15TR está equipado con dos compresores, para configuraciones diferentes es necesario consultar con la fábrica.



MOTORES

Seleccionados para manejar grandes volúmenes de aire de condensación y bajo consumo de energía. Su diseño a prueba de goteo o totalmente cerrados, impide la entrada del polvo y la humedad. Son fabricados por proveedores de reconocida calidad.



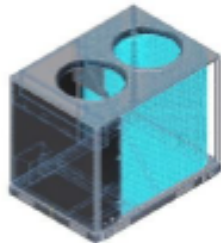
SERPENTIN CONDENSADOR

El Intercambiador tipo Microchannel de aletas y tubería en aluminio, proporciona alta transferencia de calor y alta eficiencia, su construcción de aluminio brinda una gran durabilidad y es fácil de reciclar. El diseño compacto, más pequeño y más ligero que los serpentines aleta-tubo, satisface la necesidad de menos espacio para su ubicación, facilitando su instalación y proporcionando mejor estética en el producto final. Es fácil de manejar, lo que minimiza daños en las aletas y ayuda a mejorar la reparabilidad del serpentín. Se reduce sustancialmente la carga de refrigerante en comparación con el diseño aleta-tubo, mejorando la protección al medio ambiente y ayudando a reducir los costos de operación.



VENTILADOR AXIAL

Fabricados y probados en el laboratorio de Ingeniería de LAU Industries, Inc., bajo estándares AMCA. Son balanceados estática y dinámicamente, para garantizar una operación con bajo nivel de ruido. Por su diseño y con la ayuda de un aro enfocador con diseño aerodinámico para la entrada del aire, permite manejar grandes volúmenes de aire de manera eficiente y silenciosa. Su construcción en aluminio los protege de la corrosión y los hace más livianos con menor riesgo a la vibración.



GABINETE

Construido con lámina de acero galvanizado G-90 en diferentes calibres que van desde el 20 hasta el 12, unidas con tornillería galvanizada con opción de tornillos inoxidable. Recubierto con pintura en polvo, por medio de un proceso electrostático y secado posterior en horno. En su fabricación se utiliza maquinaria con tecnología de punta (CNC) y personal altamente calificado.

OTROS COMPONENTES

Los componentes usados en el sistema eléctrico y el sistema de refrigeración para la operación, control y protección de la máquina, son entre otros:

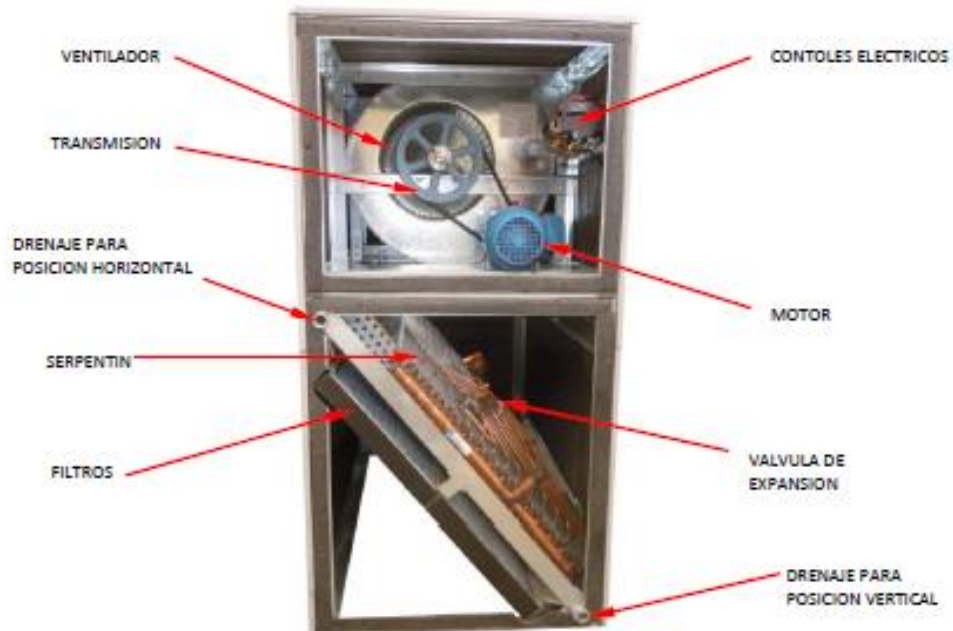
- Presóstato para Alta y baja presión.
- Válvulas de servicio.
- Resistencia de cárter en el compresor.
- Filtro secador.
- Contactor.
- Transformador.

Para la instalación en campo se ofrecen de manera opcional:

- Relés térmicos, Breakers y otras protecciones.
- Válvula Solenoide.
- Indicador de líquido.



UNIDAD MANEJADORA DE AIRE



Las Unidades Manejadoras de Aire **HARMONY** han sido especialmente diseñadas para lograr altos índices de eficiencia cuando trabajan conjuntamente con la unidad condensadora de la misma familia, utilizando componentes de gran desempeño con bajo consumo energético y refrigerante ecológico R-410A, disminuyendo la generación de impactos que puedan afectar el medio ambiente.

VENTILADOR



Equipada con ventiladores centrífugos que le permiten el manejo del aire a través de ductos o descarga libre al recinto acondicionado. El uso de transmisión por correas, permiten un múltiple rango de velocidades y diferentes caudales. La sección ventiladora está equipada con el ventilador, su transmisión de acople por bandas y el motor. El sistema está cuidadosamente diseñado para brindar una operación silenciosa, libre de vibraciones y ruidos molestos. Los ventiladores son centrífugos Forward-curved fabricados por LAU bajo estándares AMCA.

TRANSMISION



Transmisión balanceada estática y dinámicamente, con acople por bandas entre el eje del ventilador y el motor. Poleas importadas balanceadas por su fabricante, garantizan una transmisión serena. Movimiento generado por Motores de excelente calidad, totalmente cerrados, opcionalmente se suministran con motores de alto factor de servicio. Los rodamientos de trabajo pesado y larga vida, brindan un giro silencioso.

GABINETE



Construido con lámina de acero galvanizado G-90 en diferentes calibres que van desde el 20 hasta el 12, unidas con tornillería también galvanizada. Recubierto con pintura en polvo, por medio de un proceso electrostático y secado posterior en horno. En su fabricación se utiliza maquinaria con tecnología de punta (CNC) y personal altamente calificado.



MOTOR

Los motores usados para mover el ventilador del evaporador son a prueba de goteo o totalmente cerrados, fabricados por proveedores de reconocida calidad. Las unidades manejadoras de aire se suministran con un motor especialmente seleccionado para el manejo del caudal del aire requerido en aplicaciones de aire acondicionado standard. Opcionalmente para aplicaciones donde se requieran condiciones especiales, es necesario consultar con la fábrica para seleccionar y suministrar el motor adecuado para su necesidad.

SERPENTIN EVAPORADOR



Diseñado para funcionar con refrigerante R-410A de manera eficiente, con capacidades ofrecidas en nuestro Software TECAM COILS certificado por AHRI de acuerdo con el Standard 410 y comprobado por laboratorio acreditado por AHRI en Estados Unidos de América. Fabricado con aleta ondulada de diseño Opti-Fin en aluminio y tubería de cobre flexible sin costura, para larga duración aun en ambientes corrosivos, tubería expandida para garantizar un ajuste fuerte entre tubo y aleta y obtener así una eficiente transferencia de calor. La entrada de refrigerante al evaporador está controlada por válvulas de expansión termostáticas. Equipados con doble bandeja de condensados, lo cual le permite a la unidad funcionar de manera vertical como horizontal.

VALVULA DE EXPANSION



El serpentín lleva instalado de fábrica, las válvulas de expansión termostáticas las cuales van fuertemente aseguradas para evitar vibraciones tanto en el transporte como en su operación. El distribuidor, el orificio y los capilares han sido diseñados y seleccionados para que trabajen en armonía con la válvula y generen el mejor desempeño del serpentín de acuerdo con las condiciones requeridas de enfriamiento.

FILTROS



Las unidades vienen equipadas con filtros lavables de 2" con marco metálico, fibra sintética y malla de soporte, los cuales permiten velocidades hasta de 500 fpm. Se puede tener acceso a los filtros para el servicio por el lado frontal o lateral siempre y cuando se retire el panel apropiado.



OTROS COMPONENTES

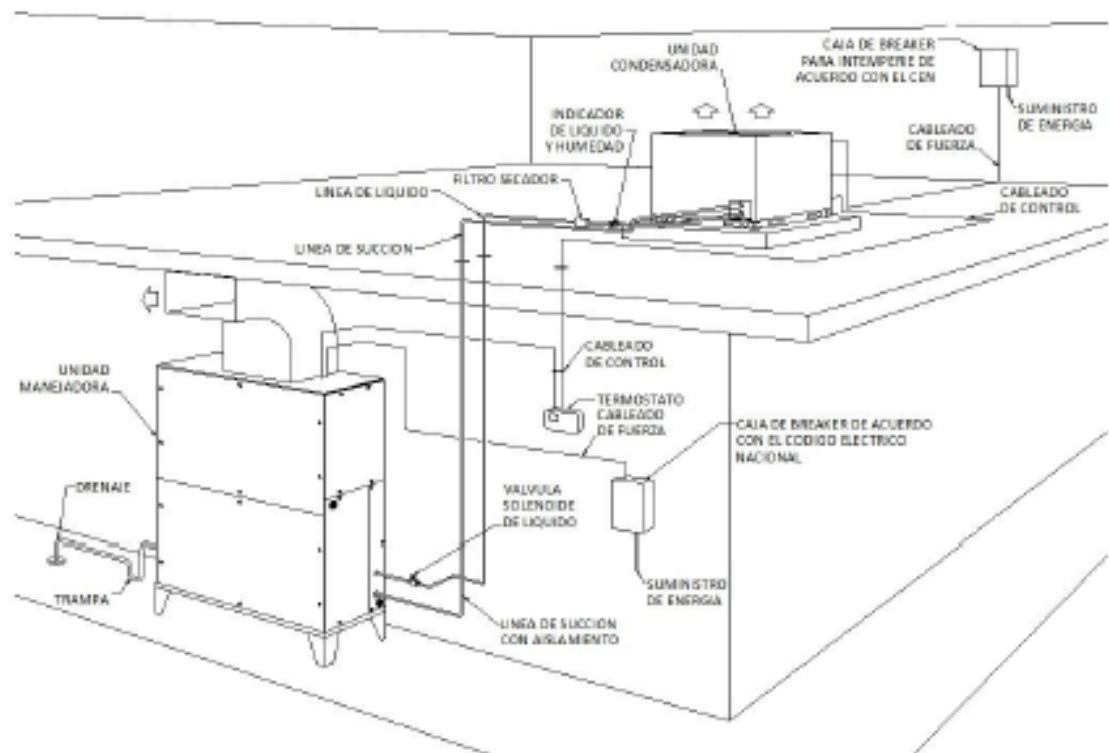
Otros componentes usados en el sistema eléctrico se encuentran los siguientes:

- Contactor.
- Relé térmico (Solamente para máquinas con motores de 5 HP y superiores).

Para la instalación en campo se ofrecen de manera opcional:

- Termóstatos.
- Control electrónico integrado (consultar con la fábrica).
- Relé térmico para máquinas con motores de menos de 5 HP.

INSTALACION TIPICA ELECTRICA Y DE TUBERIA



NOTAS:

1. El diagrama mostrado solamente intenta guiar de forma general la ubicación de los puntos de conexión y sus accesorios requeridos, no se pretende dar los detalles para una instalación específica.
2. Para la instalación de todas las tuberías, se deben seguir las técnicas Standard existentes para tuberías de refrigeración encontradas en los textos especializados.

CARACTERISTICAS

UNIDAD CONDENSADORA

UNIDAD	1U2T		1U2T		1U2T		1U2T		
MODELO	08		12		14		16		
COMPRESOR Y CIRCUITOS	1		1		1		1		
PESO (lbs/Kg)	341/155		407/185		428/194		636/289		
REFRIGERANTE	R-410A		R-410A		R-410A		R-410A		
CAPACIDAD NOMINAL (TR)	7.5		10		12.5		15		
SERPENTIN	TIPO	MICROCHANNEL		MICROCHANNEL		MICROCHANNEL		MICROCHANNEL	
	CANTIDAD	1		1		1		2	
	MATERIAL	ALUM / ALUM		ALUM / ALUM		ALUM / ALUM		ALUM / ALUM	
	FILAS / APP	1 / 20		1 / 20		1 / 20		1 / 20	
	AREA (Pie ²) (c/u)	20.4		24.2		31.8		24.2	
VENTILADOR	TIPO – DESCARGA	AXIAL - VERTICAL		AXIAL - VERTICAL		AXIAL - VERTICAL		AXIAL - VERTICAL	
	CANTIDAD	2		2		2		3	
	CAUDAL NOM. (CFM)	6000		6000		6000		9000	
	DIAM x Ø EJE	22 x 1/2"		22 x 1/2"		22 x 1/2"		22 x 1/2"	
MOTOR COND	POTENCIA (HP)	1/4		1/4		1/4		1/4	
	CANTIDAD	2		2		2		3	
	Ph / Hz	1 / 60		1 / 60		1 / 60		1 / 60	
	VELOCIDAD (RPM)	1075		1075		1075		1075	
	VOLTIOS	208-230	460	208-230	460	208-230	460	208-230	460
	AMPERAJE (c/u)	1.9	1.0	1.9	1.0	1.9	1.0	1.9	1.0
COMPRESOR	TIPO – CANTIDAD	SCROLL - 1		SCROLL - 1		SCROLL - 1		SCROLL - 1	
	Ph / Hz	3 / 60		3 / 60		3 / 60		3 / 60	
	POTENCIA NOM. (Watt)	7650		9550		12400		14000	
	VOLTIOS	200-230	460	200-230	460	200-230	460	200-230	460
	VOLTAJE MAXIMO	253	506	253	506	253	506	253	506
	VOLTAJE MINIMO	187	414	187	414	187	414	187	414
	AMPERAJE RLA (c/u)	27.9	13.6	33.6	18.6	53.6	20.7	57.1	25.7
	AMPERAJE LRA (c/u)	164	100	225	114	245	125	300	150

UNIDAD MANEJADORA

UNIDAD	4P2A												
MODELO	08		12		14		16		24		34		
NUMERO DE CIRCUITOS	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	
PESO (lbs)	357	359	365	367	585	587	635	635	638	1080	1095		
(Kg)	162	163	166	167	266	267	289	289	290	491	498		
CAPACIDAD NOMINAL (TR)	7.5		10.0		12.5		15.0		20.0		25.0		
VENTILADOR	TIPO / ASPAS	CENTRIFUGO / FORWARD-CURVED											
	CANTIDAD	1						2					
	DIAMETRO x ANCHO (Nom.)	15 x 15				18 x 18				15x15		18 x 18	
	CAUDAL NOM. (CFM)	3000		4000		5000		6000		8000		10000	
MOTOR	POTENCIA (HP)	1.5		2.0		3.0		3.0		4.0		5.0	
	VELOCIDAD NOM. (RPM)	1750											
	Ph / Hz / VOLTIOS	3 / 60 / 220											
	CORRIENTE Nominal (A)	4.43		6.12		8.7		8.7		11.9		14.0	
	Ph / Hz / VOLTIOS	3 / 60 / 440											
	CORRIENTE Nominal (A)	3.22		3.06		4.35		4.35		5.95		7.0	
POLEAS	NUMERO DE CANALES	1						2					
	DIA. CONDUCTORA (Pulg.)	3.9						3.9					
	DIA. CONDUCTIDA (Pulg.)	8.2				9.7				8.2		9.7	
SERPENTIN	TIPO	ALITA - TUBO											
	MATERIAL	ALUMINIO - COBRE											
	DIAMETRO TUBERIA (Pulg.)	3/8											
	No. FILAS	4											
	AREA (Pie ²)	8.3		10.0		14.6		18.2		19.8		24.7	
FILTRO	CANTIDAD	4				4				6		8	
	TAMAÑO (Pulg.)	16x23x2				18x24x2				16x23x2		24x23x2	
	CANTIDAD	-						2		-			
	TAMAÑO (Pulg.)	-						16x17x2		-			
CONEXIONES	DRENAJE (Pulg.)	1 FPT											
	TUB. SUCCION (Pulg.)	1 – 1/8						1 – 3/8					

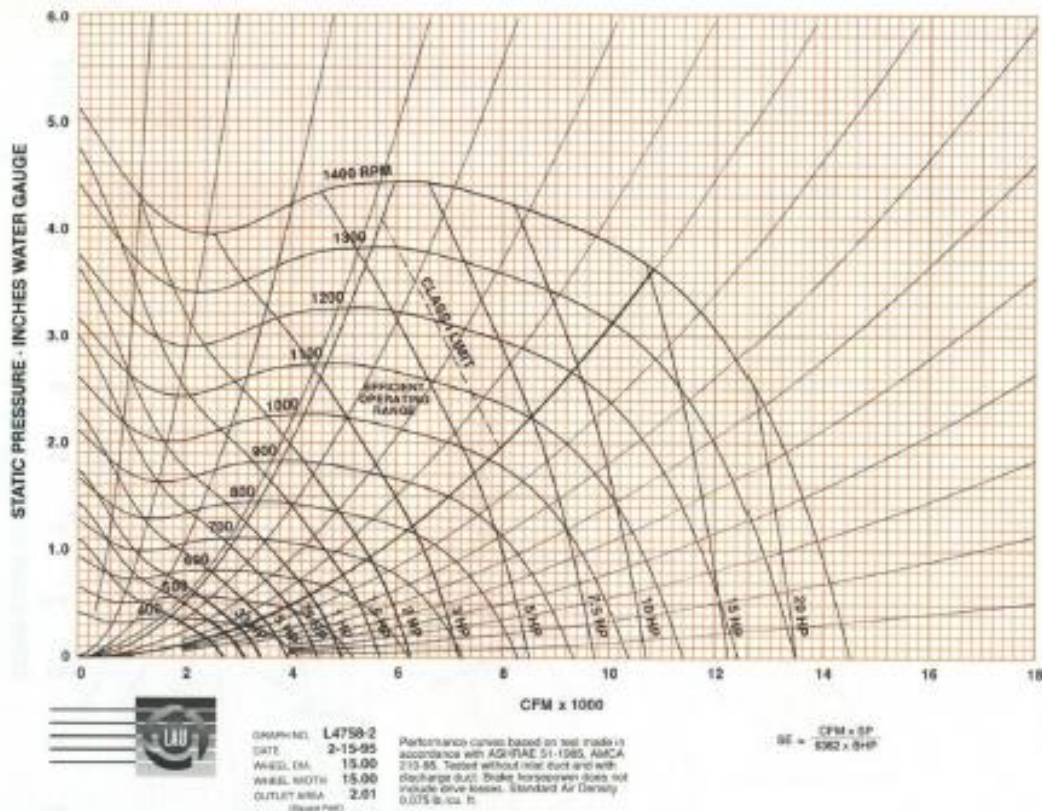
*Especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso.

CURVAS DE OPERACIÓN VENTILADORES

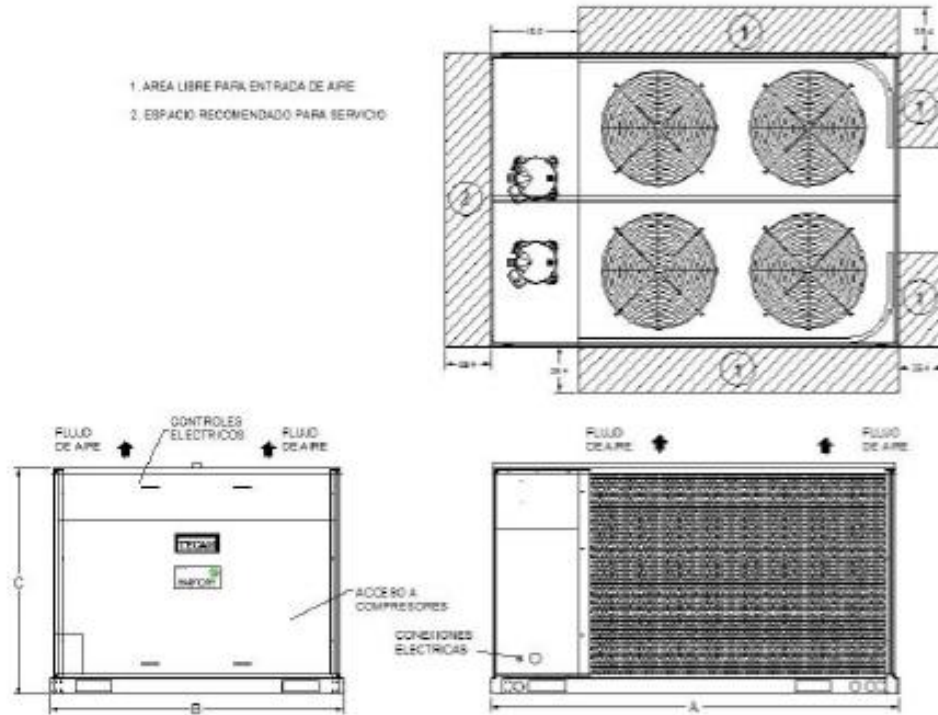
VENTILADORES 4FZX 08/12/24

Las Unidades Manejadoras 4FZX 08 y 12 están equipadas con 1 solo ventilador de 15x15, la Unidad Manejadoras 4FZX 24 está equipada con 2 ventiladores de 15x15. Los datos que se obtienen de la gráfica siguiente, corresponden a 1 solo ventilador.

MODEL A15-15A - CLASS I



UNIDAD CONDENSADORA 1UZT 24 – 28 - 34

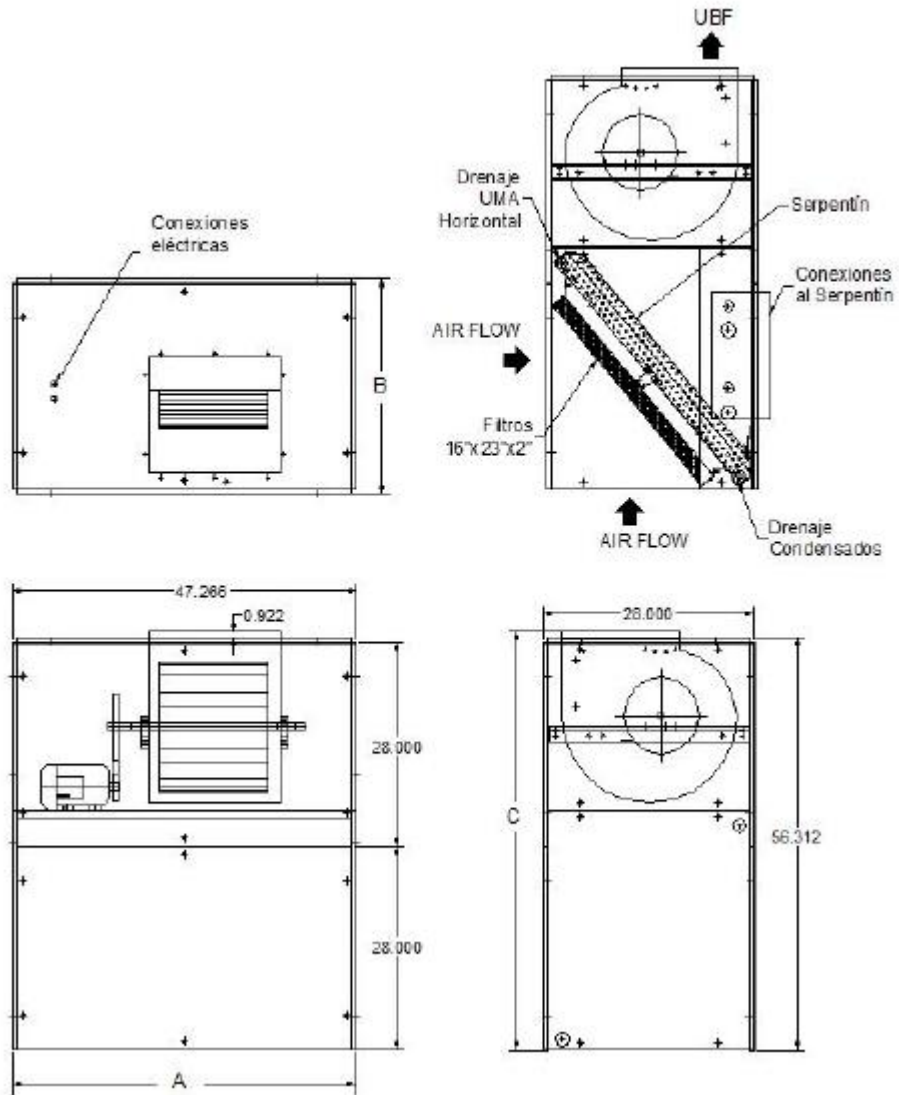


(EN PULGADAS)

MODELO	DIMENSIONES		
	A	B	C
1UZT 24	87.75	64.1	49.5
1UZT 28	81.75	89.1	49.5
1UZT 34	81.75	89.1	54.5

*Especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso.

UNIDAD MANEJADORA 4FZX 08-12



(EN PULGADAS)

MODELO	DIMENSIONES		
	A	B	C
4FZX 08 - 12	47.3	28.0	57.3



NOMBRE POLAR
ATT. Sr. Nicolas Garcia.
TELEFONO _____ FAX. _____
DIRECCION _____ CIUDAD: BOGOTA

ATENDIENDO SU SOLICITUD, NOS PERMITIMOS COTIZAR :

CANT.	DESCRIPCION	REFERENCIA	VR. UNIT.	VR.TOTAL
1	UNIDAD MANEJADORA MARCA TECAM DE 10 TR, DESCARGA VERT/HORIZ, DOS CTOS, TRIFÁSICA 208-220/3Ph/60Hz, ALTA EFICIENCIA, REFRIGERANTE R-410A.	4FZX 012-136	\$ 7,700,000	\$ 7,700,000
1	UNIDAD CONDENSADORA MARCA TECAM DE 10 TR, VERTICAL, TRIFÁSICA 208-220V/3Ph/60Hz, UN CTO, ALTA EFICIENCIA, REFRIGERANTE R-410A.	1UZT012-136	\$ 10,660,000	\$ 10,660,000
PROYECTO:			TOTAL	\$ 18,360,000

ENTREGA: INMEDIATA DE ACUERDO A ROTACION DE INVENTARIOS.

FORMA DE PAGO: 100 % PREVIO AL DESPACHO DE EQUIPOS

VALIDEZ DE LA OFERTA: 10 DIAS CALENDARIO.

NOTA: PRECIOS EN PESOS, NO INCLUYEN IVA, FLETES, SEGUROS Y EMPAQUE (Equipos entregados en planta TECAM Cali)

GARANTÍA: 12 MESES

SI TRANSCURRIDOS 30 DÍAS NO SON RETIRADOS DE NUESTRA PLANTA LOS EQUIPOS TERMINADOS, SE REALIZARÁ COBRO DE BODEGAJE A TRAVÉS DE FACTURA DE VENTA

Ing. ANDRES BELLO R
DEPARTAMENTO DE VENTAS
CEL: 318 347 6029 - 312 385 5820
andres.bello@tecam-sa.com



REFRINORTE®Aire Acondicionado
Repuestos
Herramientas
Accesorios**REFRINORTE S.A.S.**

Nit: 802.002.875-6

Gran Contribuyente Retenedores IVA E ICA Res: 076 01-Dic-2016 INDUSTRIA Y COMERCIO: 11.04x1000.

NUMERO OFERTA : P10-11087	Punto De Venta: 3600 Refrinorte Bogota	ORDEN COMPRA:
FECHA : 29/09/2017	Direccion: Calle 73 No 20B-67 Tel	Tiempo Entrega: 0 días
NOMBRE DEL CLIENTE: RICARDO GOMEZ		NIT: 1030643751-2
DIRECCION: CALLE 2A # 78-24 Tls: 3142617400		
CONTACTO:		
ASESOR: JOHANA UTRIA Cel: Email:		

Nota:

Codigo	Descripcion	Und	Cantidad	Valor_Unidad	Brochure	Valor_Items	Iva%
232019	MANEJADO ED 120KBTU 220/3/60 R41 CONDENSADO LENNOX TAA120S4D-1Y	UND	2.00	14,244,698.65		28,489,397.1	19.00
TOTAL NETO ->						28,489,397.1	
TOTAL IVA ->						5,412,985.45	
GRAN TOTAL -->						33,902,382.55	

VALIDEZ DE LA OFERTA: 8 DIAS.Una vez recibida su Orden de compra de Rejillas con medidas especiales, NO se aceptan cambios por medidas ni devoluciones.

Firma cliente: _____ No.Piezas: _____

Dirección de Entrega:

Nombre quien Recibe:

Horario de Recibo :

Formas de pago: Tarjeta Débito/Crédito 0% Interés, Tarjeta Ecto, Transferencias, Comfactura, Leasing, Cheques al día y Postfechados, todos los cheques recibidos son confirmados con Comcheque/Fenaleo, girar Cheques a nombre de: REFRINORTE SAS, Banco de Occidente Cuenta Corriente: 81503372-5, Banco DAI/Menda Cuenta de Ahorro: 02530016069-9. Envíe sus soportes transaccionales vía email a su asesor.

Antípo mínimo para realizar pedidos de productos de fabricación 50%, Antípo mínimo para realizar pedidos de productos importados baja rotación 50%, Penalidad del 20% sobre el valor de su orden de compra/pedidos por incumplimientos, devoluciones, cancelaciones, Cobros por bodegaje, a partir del día 16 de estar almacenado en bodega nacional (2% sobre el valor de la mercancía por mes o fracción). La validez de los antípos para reservar un precio y un producto no será mayor a los 15 días. Una vez recibida su orden de compra de rejillas con medidas especiales, no se aceptan cambios por medidas ni devoluciones.

Transporte local aplica desde monto mínimo facturado (\$500.000), no incluye descargue. Ver [Terminos y Condiciones de Garantía](#), dando clic o al respaldo de esta oferta.

Aplica condiciones y restricciones. Los precios pueden cambiar sin previo aviso. Las existencias dependen de las ventas diarias y están sujetas a verificación.

Es por cuenta del cliente cargue, descargue y transporte de equipos a partir de 6 Tn. Para equipos tipo paquetes tener presente el tipo de montacargas timche largo, Camión tipo palleteta o descarrado.

Puede solicitar certificados a su Asesor.

Para solicitudes de soporte, garantía y postventa Ingrese: www.refrinorte.com/mfe/terminos.php , www.refrinorte.com/mfe/garantia_cliente.php , o escriba a: servicioalcliente@refrinorte.com

9/29/17 10:57 AM

Registros Impresos: 1

Usuario: JOHANAU JOHANA UTRIA

1