

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE
CLIMATIZADO EVAPORATIVO AUTOMATIZADO PARA
FINES DIDÁCTICOS**

PRESENTADO POR:

**CECILIA CAROLINA LINARES AGUIRRE
ABRAHAM ORLANDO TURCIOS MARQUEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE
CLIMATIZADO EVAPORATIVO AUTOMATIZADO PARA
FINES DIDÁCTICOS**

Presentado por :

**CECILIA CAROLINA LINARES AGUIRRE
ABRAHAM ORLANDO TURCIOS MARQUEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. LUIS JOSÉ SALALÁ SANTOS

San Salvador, marzo de 2017

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. LUIS JOSÉ SALALÁ SANTOS

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres, a mi madre por haber estado conmigo al inicio de mi carrera universitaria, porque a pesar de los obstáculos siempre me apoyó en seguir adelante con mis metas y sueños; y a mi padre por permitirme la oportunidad de estudiar y sacar adelante mi carrera a pesar de las dificultades.

A mis hermanos Rocío y César, por estar conmigo en los momentos más difíciles de la carrera, momentos en los que sentía que ya no podía más y que pensaba en rendirme, ellos me dieron ánimos y me motivaron a seguir adelante.

A mis docentes por permitirme formarme académicamente, por no dudar en enseñarme y siempre estar ahí para solventar mis dudas.

A mi tía Valvina y mis primas Laura y Susana, porque nunca dudaron en darme un lugar, el cual al pasar de los años se convirtió en un segundo hogar; compartimos muchas cosas juntas y su apoyo incondicional siempre lo valoraré.

A mis amigos de la Universidad: Marcela, Jaime, Mario, Douglas, Veralice, Alfredo, Jose, Miguel, Jorge, Esmeralda, Manuel, Jacobo, Milson, y todos aquellos que siempre estuvieron ahí conmigo estudiando, luchando y trabajando. Con ellos compartí mis mejores y peores experiencias de la universidad, pero fue gracias a esto que me he vuelto una persona mejor. Sin ellos nada de esto fuera posible.

A mi compañero de tesis Abraham porque juntos hemos enfrentado este desafío y lo hemos sacado adelante, ha sido un gusto tener tan grandioso compañero.

A la asociación de estudiantes de ingeniería mecánica, porque el apoyo que brindan a los estudiantes es excepcional y siempre están dispuestos a brindar su mano en lo que puedan.

A la empresa Marengo Ventiladores por permitirnos trabajar en su taller durante el desarrollo de este proyecto, gracias a ustedes este trabajo fue posible.

A nuestro asesor de tesis Ing. Luis Salalá por enseñarnos a aplicar nuestros conocimientos para lograr algo diferente y por enseñarnos a confiar en lo aprendido.

Para todos muchas gracias, este logro no solo me pertenece a mí, nos pertenece a todos.

Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mi familia; mis padres Abraham y Rosa quienes me han apoyado en todo momento y en todo lugar a lo largo de toda mi vida, por todos los consejos y el esfuerzo inalcanzable de enseñarme a ser una mejor persona, sé que nunca podré retribuirles todo lo que han hecho por mí. A mi hermana Flor quien me ha acompañado en esas noches de desvelo trabajando en las tareas y ayudándome de miles de formas.

A mis tíos Gil y Balbina, también a mis primas Laura y Susana por el inmenso apoyo en mi estadía, por brindarme un techo y un lugar al cual regresar, me llevo un grato recuerdo por esos momentos en los que han estado conmigo en las buenas y en las malas, siempre mostrándome su disposición de ayudarme en todo el tiempo que he estado aquí.

A Cecy con quién he compartido estos últimos años de mi carrera y también compañera con la que siempre puedo contar, agradezco mucho los consejos que me has dado y los tomo muy en cuenta; te agradezco que siempre has estado conmigo brindándome tu apoyo en lo que sea que me pasa o hago, eres una amiga con la que sé siempre estarás ahí para las buenas y las malas.

A mis amigos; Jacobo, Milson, Luis Miguel, Cecy, Esmeralda, Jorge, Manuel, Milton, Edgar, Mario, en fin, a todos ustedes que han formado parte de mi vida en la U, les agradezco de todo corazón el tiempo que hemos estado molestando, riendo y socándola en las materias. Ese es un tiempo preciado que me guardo siempre como un recuerdo de lo mejor que me ha dejado la U.

Al Ing. Salalá por estar con nosotros a lo largo de esta tesis apoyándonos en todo lo que ha podido y por todos esos conocimientos y consejos que nos ha compartido que nos ayudará de mucho.

A la empresa Marengo Ventiladores, por abrirnos la puerta y permitirnos

trabajar con ellos en la construcción del equipo, les agradezco la disposición de tiempo, conocimiento y esfuerzo que nos brindaron. Sin ustedes nada de esto pudo haber sido realidad.

A todos los docentes que he tenido desde mi formación básica hasta mi último año en esta universidad, cada uno me ha permitido aprender algo nuevo para mi desarrollo personal y profesional.

A los compañeros y amigos de la ASEIM por estar ahí siempre ofreciendo su ayuda para todas las locuras que hemos hecho en este trabajo, por brindar un lugar al cual podemos reunirnos como compañeros y fomentar la unión que siempre debe haber entre nosotros como estudiantes de Ingeniería Mecánica

A todos aquellos que de alguna manera u otra han colaborado de cualquier forma a mi formación personal y profesional. Hay muchas personas a las que se me es imposible colocar en estas páginas pero de igual manera les agradezco por estar ahí en el momento y el tiempo exacto. Por todos he llegado hasta este punto y por eso mismo es un logro también de ustedes.

Br. Abraham Orlando Turcios Marquez

CONTENIDO

SIMBOLOGÍA.....	i
INTRODUCCIÓN	iv
1. MARCO TEÓRICO.....	20
1.1 ¿Qué es el acondicionamiento de aire?.....	20
1.1.1 Medidores de temperatura	23
1.1.1.1 Termómetro de vidrio.....	23
1.1.1.2 Termómetros bimetalicos.....	24
1.1.1.3 Termocuplas.....	25
1.1.1.4 Termómetro infrarrojo	27
1.1.2 Componentes de los sistemas de acondicionamiento de aire	30
1.1.3 Aplicaciones.....	32
1.2 Ciclos de acondicionamiento de aire	33
1.2.1 Ciclo de refrigeración por compresión de vapor	33
1.2.1.1 Ciclo invertido de Carnot	33
1.2.1.2 Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.....	35
1.2.1.3 Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor	37
1.2.2 Ciclo de absorción	39
1.3 Acondicionamiento evaporativo	43
1.3.1 Conceptos básicos.....	43
1.3.1.1 Carta psicrométrica.....	46
1.3.1.1.1 Calor sensible	49
1.3.1.1.2 Calor latente.....	49
1.3.1.1.3 Humedad relativa	49
1.3.1.1.4 Humedad absoluta	51
1.3.1.1.5 Temperatura de bulbo húmedo	52
1.3.1.1.6 Temperatura de bulbo seco.....	53
1.3.1.1.7 Punto de rocío.....	54
1.3.1.1.8 Entalpía específica.....	55
1.3.1.1.9 Volumen específico	57
1.3.1.2 Procesos de acondicionamiento	58

1.3.1.3 Sensación térmica	60
1.3.1.4 Transferencia de calor y masa.....	62
1.3.1.4.1 Transferencia de calor.....	62
1.3.1.4.2 Transferencia de masa.....	65
1.3.2 Antecedentes	71
1.3.3 Principio de funcionamiento	77
1.3.3.1 Proceso de transferencia de calor y masa	78
1.3.3.2 Sistema mecánico	79
1.3.3.2.1 Componentes mecánicos	79
1.3.3.2.2 Transmisión de potencia	80
1.3.3.3 Sistema hidráulico	80
1.3.3.3.1 Principio de Bernoulli.....	81
1.3.3.3.2 Componentes.....	83
1.3.3.3.3 Pérdidas hidráulicas	85
1.3.3.4 Sistema de automatización.....	86
1.3.3.4.1 Arduino	87
1.3.4 Aplicaciones y usos del acondicionamiento evaporativo.....	100
1.3.5 Consideraciones generales.....	100
1.3.6 Ventajas y desventajas	101
1.3.7 Comparaciones entre acondicionamiento evaporativo y refrigeración por compresión	103
1.3.8 Impacto medioambiental	103
2. DISEÑO.....	105
2.1 Componentes y condiciones ambientales del país.....	105
2.1.1 Medidores climatológicos	105
2.1.1.1 Higrómetro.....	105
2.1.1.2 Higrotermógrafo.....	105
2.1.1.3 Barómetro.....	105
2.1.1.4 Anemómetro.....	105
2.1.1.5 Pluviómetro	106
2.1.1.6 Heliógrafo	106
2.2 Variables de diseño	110

2.2.1 Dimensiones del cuarto de pruebas	110
2.2.2 Variables de diseño.....	112
2.2.3 Condiciones de temperatura y humedad relativa diarias	114
2.2.4 Proceso evaporativo.....	117
2.2.5 Temperatura del agua dentro del tanque.....	118
2.2.6 Determinación de la carga térmica	120
2.3 Cálculo y selección de componentes.....	132
2.3.1 Esquema de procedimiento de diseño de equipo	132
2.3.2 Cálculo para paneles evaporativos.....	135
2.3.3 Establecimiento de la forma del equipo	141
2.3.4 Determinación de la bomba de suministro de agua	141
2.3.4 Determinación del tamaño del tanque necesario para brindar el volumen de agua encargado de climatizar.	145
2.3.5 Selección de ventilador del equipo	147
2.3.6 Elaboración de un sistema de automatización para control de temperatura y humedad de un climatizador evaporativo axial	150
2.3.6.1 Selección de los componentes necesarios	150
2.3.6.2 Funcionamiento del circuito de control.....	155
2.3.6.2.1 Modos de operación:.....	155
2.3.6.3 Procedimiento de la codificación	160
3 CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN	165
3.1 Construcción del equipo	165
3.1.1 Propela	165
3.1.2 Marco interno.....	166
3.1.3 Tanque de almacenamiento de agua y piezas de soporte del ventilador	167
3.1.4 Paneles evaporativos.....	168
3.1.5 Distribuidores.....	169
3.1.6 Chapa	170
3.1.7 Rejilla.....	170
3.1.8 Tapadera	171
3.1.9 Estructura de soporte.....	172
3.1.10 Pintura	172

3.1.11 Transporte	173
3.1.12 Circuito de potencia	173
3.1.13 Programación.....	173
3.2 Ubicación del equipo	173
3.3 Alimentación de agua potable.....	174
3.4 Alimentación eléctrica.....	176
4. PRUEBAS Y RESULTADOS	179
4.1 Pruebas.....	179
4.2 Resultados	181
4.2.1 Cálculo de eficiencia del equipo	183
5. CONCLUSIONES.....	184
6. RECOMENDACIONES.....	185
7. BIBLIOGRAFÍA.....	186
ANEXOS	188
Tablas	188
Código del microcontrolador	191
Inversión.....	204
Tablas de Carrier.....	205
Diagrama de flujo	214
Guías de laboratorio	221
Manual de operación	229
Manual de mantenimiento	244
Planos.....	259

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-Termómetro de mercurio	24
Ilustración 2-Termómetro bimetálico	25
Ilustración 3-Efecto Seebeck	26
Ilustración 4-Termómetro infrarrojo	28
Ilustración 5-Higrómetro.....	29
Ilustración 6-Componentes del equipo de aire acondicionado	32
Ilustración 7-Ciclo invertido de Carnot	34
Ilustración 8-Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor	35
Ilustración 9-Ciclo Real de refrigeración por compresión de vapor	37
Ilustración 10-Ciclo de absorción	43
Ilustración 11-Acondicionamiento evaporativo directo	44
Ilustración 12-Acondicionamiento evaporativo indirecto.....	45
Ilustración 13-Carta psicrométrica para la presión atmosférica	47
Ilustración 14-Líneas de humedad relativa constante	51
Ilustración 15-Eschema de las líneas de humedad absoluta	52
Ilustración 16-Eschema de un arreglo para obtener la temperatura de bulbo húmedo	52
Ilustración 17-Representación de las líneas de bulbo húmedo en la carta psicrométrica	53
Ilustración 18-Representación de las líneas de bulbo seco en la carta psicrométrica ..	53
Ilustración 19-Efecto de la condensación del vapor de agua sobre una superficie más fría que el ambiente (Rocío)	54
Ilustración 20-Representación de las líneas de punto de rocío en la carta psicrométrica	55
Ilustración 21-En un diagrama T-s, las líneas isoentálpicas coinciden con las isotermas por debajo de 50°C.....	55
Ilustración 22-Las líneas de entalpía son una extensión de las líneas de bulbo húmedo	57
Ilustración 23-Las líneas de volumen constante trazadas en la carta psicrométrica.....	57
Ilustración 24-Proceso de enfriamiento evaporativo en la carta psicrométrica	59
Ilustración 25-Conducción térmica a través de un medio	63
Ilustración 26-Similitudes entre la ley de Fick y la ley de Fourier	65
Ilustración 27-Desarrollo de la capa límite de concentración	67
Ilustración 28-Bagdir en Irán.....	72
Ilustración 29-Vista de sección de un atrapa-viento utilizado en los cuartos principales de una casa en Yazd. A. Talar (salón) B. Sótano C. Patio con piscina	72
Ilustración 30-Primer equipo de acondicionamiento de aire por Willis Carrier	75
Ilustración 31-Aires acondicionado actuales	76
Ilustración 32-Tratamiento del aire a través del panel evaporativo.....	79
Ilustración 33-De izquierda a derecha: Motor monofásico, Bomba y ventilador centrífugo	80
Ilustración 34-Banda tipo "V" (izquierda) y banda eslabonada (derecha).....	80

Ilustración 35-Circuito hidráulico del climatizador evaporativo	83
Ilustración 36-Arduino MEGA y sus componentes	88
Ilustración 37-Entorno de desarrollo IDE de Arduino	89
Ilustración 38-Aplicación de las funciones setup(), loop() y pinMode()	90
Ilustración 39-Ejemplo sobre el uso de la función myMultiply.....	93
Ilustración 40-Sensor LM35	94
Ilustración 41-Sensor DHT11	95
Ilustración 42-Servomotor y sus componentes	96
Ilustración 43-Ejemplo de un circuito impreso.....	97
Ilustración 44-Resistencias eléctricas	98
Ilustración 45-Condensador.....	98
Ilustración 46-TRIAC	99
Ilustración 47-Relé para arduino	99
Ilustración 48-Esquema cuarto de pruebas, a) Vista lateral, b) Vista de fondo y c) Vista isométrica	111
Ilustración 49-Proceso psicrométrico	117
Ilustración 50-Esquema de procedimiento del diseño	134
Ilustración 51-Detalle agujeros en tanque de almacenamiento	147
Ilustración 52-Circuito dimmer	152
Ilustración 53-Señales PWM a diferentes ciclos de operación	153
Ilustración 54-Potenciómetro de dimmer unido a servomotor	154
Ilustración 55-Caja de control del sistema.....	155
Ilustración 56-Pantalla de datos modo manual	156
Ilustración 57-Pantalla de inicio modo automático	157
Ilustración 58-Pantalla de selección de temperatura	157
Ilustración 59-Pantalla de datos modo automático.....	158
Ilustración 60-Pantalla de reseña.....	159
Ilustración 61-Pantalla de error	159
Ilustración 62-Propela antes y después del corte.....	165
Ilustración 63-Balanceado de propela.....	165
Ilustración 64-Marco interno de soporte.....	166
Ilustración 65-Cortadora con agua CNC	167
Ilustración 66-Tanque de almacenamiento de agua, Soporte de ventilador, Protección del ventilador	168
Ilustración 67-Ejecución de corte de paneles evaporativos.....	168
Ilustración 68-Distribuidor inicial, distribuidor al tamaño requerido, distribuidor final ..	169
Ilustración 69-Piezas de chapa de recubrimiento con persianas.....	170
Ilustración 70-Unión de equipo con chapa	171
Ilustración 71-Proceso de soldadura y estructura finalizada(derecha).	172
Ilustración 72-Proceso de curado de la pintura	172
Ilustración 73-Regulador de velocidad	173
Ilustración 74-Esquema de la ubicación del equipo	174
Ilustración 75-Esquema de las líneas de agua potable y drenaje.....	175

Ilustración 76-Partes de la instalación eléctrica	176
Ilustración 77-Esquema de los niveles de voltaje entre fases y neutro.....	177
Ilustración 78-Gráfica de datos utilizando sensores del equipo.....	182
Ilustración 79-Gráfica de datos utilizando sensor externo	182

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Tipos de termocuplas metálicas.....	27
Tabla 2- Porcentaje de los gases que componen el aire seco.	48
Tabla 3-Comparación equipos de acondicionamiento evaporativo y por compresión de vapor	103
Tabla 4-Latitud y Longitud de algunas zonas de El Salvador	113
Tabla 5-Tamaños estándar PVC.....	114
Tabla 6-Resultados obtenidos temperatura del agua.....	118
Tabla 7-Resumen cálculos	119
Tabla 8-Pruebas sensor ventanas cerradas (Día 1).....	179
Tabla 9-Pruebas sensor ventanas cerradas (Día 2).....	179
Tabla 10-Pruebas sensor ventanas abiertas (Día 3).....	180
Tabla 11-Pruebas sensor ventanas abiertas (Día 4).....	180
Tabla 12-Pruebas con sensor externo a la salida del ventilador	181

SIMBOLOGÍA

$^{\circ}F$: Grados Fahrenheit

$^{\circ}C$: Grados Celcius

K : Grados Kelvin

T : Temperatura

V : Voltaje, velocidad promedio

COP : Coeficiente de desempeño

q_L : Energía absorbida por unidad de masa

W_{neto} : Trabajo realizado sobre el sistema

P : Presión de la mezcla de aire seco y vapor de agua.

P_a : Presión parcial del aire seco.

P_v : Presión parcial del vapor de agua.

ϕ : Humedad relativa.

m_v : Masa de agua real en el ambiente.

m_g : Masa de agua saturada a la misma temperatura.

P_g : Presión del vapor de agua en condiciones de saturación.

R_v : Constante de los gases para el vapor de agua.

V : Volumen del recinto.

\dot{V} : Flujo volumétrico

ω : Humedad absoluta o específica

m_a : Masa del aire seco.

R_a : Constante de los gases para el aire.

h_g : Entalpía de saturación del agua.

$h_{0^{\circ}C}$: Entalpía de saturación a $0^{\circ}C$.

c_p : Calor específico promedio a presión constante

h : Entalpía del aire atmosférico.

h_a : Entalpía del aire seco.

$(\rho_A)_s$: Densidad sobre la superficie.

ρ_A : Densidad de un punto específico alejado de la superficie.

$(\rho_A)_\infty$: Densidad lejos de la superficie.

Sc : Número de Schmidt

ν : Viscosidad cinemática

$D_{H_2O \rightarrow Air}$: Difusividad de masa del agua hacia el aire

Pr : Número de Prandtl

α : Difusividad térmica

\dot{m}_{conv} : Flujo de masa por convección por unidad de tiempo.

h_{masa} : Coeficiente de convección de masa.

Sh : Número de Sherwood.

h_{masa} : Coeficiente de convección de masa.

L_c : Longitud característica de la superficie.

St_{masa} : Número de Stanton de la transferencia de masa

Re : Número de Reynolds

\dot{Q} : Flujo de calor

\dot{Q}_{CT} : Carga térmica

\dot{m}_v : Flujo másico de vapor de agua.

h_{fg} : Entalpía de vaporización por unidad de masa.

$(P_v)_s$: Presión parcial de vapor de agua sobre la superficie de transferencia

$(P_v)_\infty$: Presión parcial de vapor de agua lo suficientemente lejos

z : Altura geodésica.

g : Aceleración de la gravedad

H_B : Altura geodésica de la bomba

H_P : Pérdidas primarias

H_s : Pérdidas secundarias

f : Coeficiente de fricción

L : Longitud de tubería

D : Diámetro interno de tubería

K : Coeficiente de pérdidas

Pot_B : Potencia de la bomba

BP : Presión de explosión

t : Espesor

S : Esfuerzo de tensión del material de la tubería

D_o : Diámetro exterior

WP : Presión de trabajo

FS : Factor de seguridad

D_i : Diámetro interior

T_{bs} : Temperatura de bulbo seco

γ : Peso específico

A : Área

U : Coeficiente global de transferencia de calor

a : Lado interno de celda

ε : Rubosidad

h : Altura de columna de agua

ct : Cociente de temperaturas específica

INTRODUCCIÓN

Para la elaboración de un climatizador evaporativo es necesario sentar las bases de transferencia de calor y masa, esto debido a que parte de su funcionamiento se basa en el intercambio de concentraciones de un fluido a otro en la reducción de la temperatura; al mismo tiempo se amplían los conocimientos de programación en circuitos integrados para la obtención de un sistema de control que permite la regulación del equipo a voluntad del usuario.

El diseño se lleva a cabo mediante la utilización de herramientas prácticas como programas de simulación, hojas de cálculo, tablas de datos y flujogramas.

El proceso de construcción de un climatizador lleva consigo una serie de etapas; entre ellas la elaboración de los marcos internos con todos sus componentes, la propela, paneles evaporativos y la chapa que envuelve el equipo permitiendo una protección del mismo.

La instalación del equipo es un proceso que consta de tres etapas: la ubicación de la estructura de soporte, instalación de sistema de agua potable y la instalación eléctrica. Para cada una de ellas se deben tomar en cuenta las limitantes físicas del aula.

El documento resume el procedimiento a llevar a cabo en el diseño, construcción e instalación de un equipo de climatizado evaporativo que permita no solo acondicionar un aula, sino reforzar lo aprendido en el desarrollo de la carrera de ingeniería mecánica mediante prácticas del laboratorio.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ¿Qué es el acondicionamiento de aire?

El acondicionamiento como tal es el resultado deseado de una serie de cambios, en el caso del acondicionamiento de aire, es un proceso por medio del cual mediante cambios en variables como temperatura y humedad se obtienen las condiciones deseadas en el ambiente a manera de sentir confort. Es muy común que se confunda dicho término con solamente el enfriamiento de espacios, sin embargo el acondicionamiento también puede involucrar calentamiento del mismo; por lo que se utilizará la siguiente definición para expresarlo correctamente:

“El acondicionamiento de aire es el proceso de tratamiento del mismo en un ambiente interior con el fin de establecer y mantener los estándares requeridos de temperatura, humedad, limpieza y movimiento.” (Pita, 1994, p. 2)

Las variables antes mencionadas se definen de la siguiente manera:

Temperatura: El término temperatura suele confundirse con calor y frío; sin embargo, dicho término es mucho más complejo y su definición se basa en: Al considerarse dos sistemas X y Y, al ponerlos en contacto es posible que ocurran dos situaciones: si dichos sistemas no experimentan ningún cambio de estado se dice que se encuentran en equilibrio térmico, si experimentan un cambio de estado llegarán luego de un tiempo a un punto de equilibrio térmico.

“Es un hecho que el valor de una única propiedad sea suficiente para determinar si los sistemas van a estar en equilibrio térmico cuando se los ponga en contacto a través de una frontera rígida. Dicha propiedad es la temperatura. Si tiene lugar una interacción, se dice que los dos sistemas implicados tienen temperaturas distintas. Tal interacción seguirá teniendo lugar hasta que las temperaturas de los dos sistemas se hagan iguales y se alcance el equilibrio térmico.”(Wark Jr. & Richards, 2001, p.18)

La ley cero de la termodinámica establece que si dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico con un tercero, están en equilibrio térmico entre sí. Es posible que dicha ley no parezca ser tan relevante, sin embargo es la base que permite la validación de la medición de la temperatura, y a partir de ella es que puede medirse su valor y compararlos hasta que los cuerpos alcancen la etapa de equilibrio térmico.

R. H. Fowler fue el primero que formuló y nombró la ley cero en 1931. Como indica el nombre, su valor como principio físico fundamental se reconoció más de medio siglo después de la formulación de la primera y segunda leyes de la termodinámica y se llamó ley cero puesto que debía preceder a éstas. (A. Cengel & A. Boles, 2012, p.17).

Escalas de temperatura: Durante muchos años se han venido desarrollando diferentes escalas para poder medir el valor de la temperatura, dichas escalas están basadas en puntos de referencia sencillos como el punto de congelación y de evaporación del agua.

Las escalas principales son:

Escala Celsius: La cual fue establecida por el astrónomo sueco A. Celsius; los puntos de referencia correspondientes son 100 °C para la evaporación del agua y 0°C para la congelación de la misma.

Escala Fahrenheit: Propuesta por el alemán G. Fahrenheit en 1724; los puntos de referencia correspondientes a esta escala son 32°F para la congelación del agua y 212°F para la evaporación de la misma.

Ambas escalas se conocen como escalas de dos puntos pues poseen dos puntos de referencia en la determinación del valor de temperatura; su relación se determina bajo la siguiente ecuación:

$$T_1(^{\circ}F) = 1.8T_2(^{\circ}C) + 32$$

Ec. 1

Escala Kelvin: Dicha escala ha sido considerada como la escala de temperatura absoluta en el sistema internacional (SI), fue llamada así en honor al físico matemático Lord Kelvin.

La temperatura mínima en esta escala es el cero absoluto 0 K (temperatura más baja posible donde las partículas subatómicas ya no se mueven), sin embargo, la temperatura de congelación del agua es de 273.15 K lo cual equivale a 0°C. De tal modo que la relación entre ambas escalas es la siguiente:

$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273.15$$

Ec. 2

1.1.1 Medidores de temperatura

1.1.1.1 Termómetro de vidrio

Un termómetro de vidrio es un instrumento que se utiliza para medir la temperatura, su nivel de exactitud es muy alto comparado con otros medidores. Puede estar totalmente inmerso en la sustancia que se está midiendo o parcialmente. Este instrumento de medición está conformado por un tubo de vidrio que cuenta con un bulbo en uno de sus extremos.

Debido a que los metales se dilatan con facilidad al ser expuestos al calor, se ha utilizado el mercurio (Hg) como el metal ideal para la medición de la temperatura; no solo por su capacidad de dilatación sino también por su facilidad de reacción a la temperatura ambiente. La escala de dicho instrumento puede encontrarse en grados Celsius o Fahrenheit. El mercurio a medida que va recibiendo calor se dilata, lo cual le permite recorrer el interior del fino tubo del termómetro indicando un valor a partir de la escala que esté establecida.

Los termómetros son utilizados desde equipos caseros hasta la industria con el fin de controlar y regular procesos. Una de las áreas donde se utilizan con mayor frecuencia es en meteorología.



Ilustración 1-Termómetro de mercurio

1.1.1.2 Termómetros bimetálicos

Los termómetros bimetálicos son instrumentos de medición de la temperatura cuyo funcionamiento se basa en la propiedad de dilatación de dos metales soldados de diferente índice de dilatación, por ejemplo dos aceros al níquel (uno al 20% y otro al 36%).

Los termómetros bimetálicos están compuestos por una hélice o espiral bimetálica en el interior de un vástago, dicha espiral está soldada por un extremo a la parte inferior del tubo y por otra a una varilla de transmisión, a su vez conectada a una aguja indicadora; cuando dichos metales se ven expuestos a diferentes temperaturas se dilatan y se produce un movimiento rotatorio que se transmite hasta la aguja indicadora.

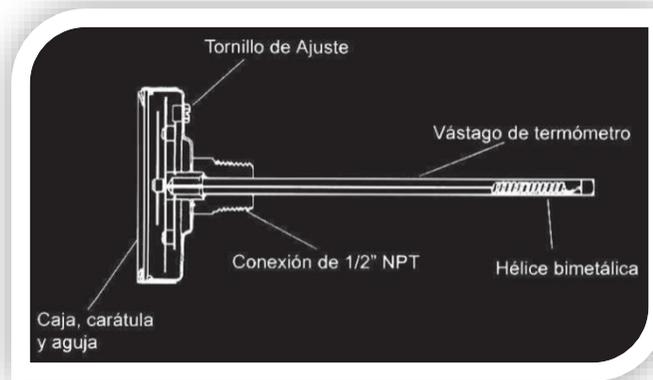


Ilustración 2-Termómetro bimetalico

1.1.1.3 Termocuplas

Las termocuplas son sensores de temperatura muy comúnmente utilizados en la industria, están elaborados por la unión (soldadura) de dos alambres de diferentes materiales. Su funcionamiento está basado en tres principios:

- Efecto Thomson: Si se imagina una barra metálica homogénea cuyos extremos se encuentran a la misma temperatura pero cuyo punto medio se encuentra a una temperatura diferente, al hacer circular corriente eléctrica de izquierda a derecha, la distribución de temperaturas se altera de tal manera que en la mitad izquierda haya un desprendimiento anómalo de calor mientras que en la mitad derecha hay una absorción. Debido a que el proceso es reversible si se invirtiera el sentido de la corriente esta absorción tendría lugar en la otra mitad y el desprendimiento en la mitad derecha.(Fernández Ferrer & Pujal Carrera, 1973, p.92)

- Efecto Peltier: El efecto Peltier consiste en hacer pasar una corriente por un circuito compuesto de materiales diferentes cuyas uniones están a la misma temperatura, se absorbe calor en una unión y se desprende en la otra. Al igual que el efecto Thomson, es un efecto reversible.
- Efecto Seebeck: Este efecto provoca la conversión de una diferencia de temperatura en electricidad. Se crea un voltaje en presencia de una diferencia de temperatura entre dos metales o semiconductores homogéneos. Una diferencia de temperaturas T_1 y T_2 en las juntas entre los metales A y B induce una diferencia de potencial V .



Ilustración 3-Efecto Seebeck

Existen muchos tipos de termocuplas, los más utilizados son el tipo J y K, sin embargo también existen otros tipos:

Tabla 1- Tipos de termocuplas metálicas

Termocuplas metálicas				
Tipo ANSI-ISA	Combinación de metales	Sensibilidad	Composición química	Rangos de temperatura
J	Hierro/ constantan	5,6 mV/ 100 ° C	Fe 44 Ni:55 Cu	-40 a + 750
K	Cromel/ Alamel	3,6 mV/ 100 ° C	90 Ni:9 Cr 94 Ni:Al:Mn:Fe	-40 a +1200
T	Cobre/ constantan	4,5 mV/ 100 ° C	Cu 44 Ni:55 Cu	-50 a + 400
E	Cromel/ constantan	7,9 mV/ 100 ° C	90 Ni:9 Cr 44 Ni:55 Cu	-40 a +900

Fuente: (Mayosky & Valenciaga, s. f.)

Donde el constantan se refiere a una aleación de cobre y níquel. El cromel una aleación de cromo-níquel y el alumel una aleación de aluminio, manganeso, silicio y níquel.

1.1.1.4 Termómetro infrarrojo

También conocidos como termómetros láser pues se utilizan para indicar el punto exacto donde se desea medir la temperatura. También se les denomina termómetros sin contacto refiriéndose a la capacidad del dispositivo para medir la temperatura a distancia, es decir sin la necesidad de tocar el objeto físicamente. Al conocer la cantidad de energía infrarroja emitida por el objeto y su emisividad, la temperatura del objeto puede ser determinada.

Normalmente el aparato consta de un lente que permite captar la emisividad infrarroja del objeto. El lente capta la energía que emite el objeto y la pasa a un detector que transforma la energía captada en señal eléctrica, ésta entonces se muestra en una pantalla eléctrica.



Ilustración 4-Termómetro infrarrojo

Humedad: La humedad puede definirse como la cantidad de vapor de agua que posee el aire. Dicha variable es muy importante dentro de los equipos de acondicionamiento de aire pues es la que permite determinar el estado final del aire.

El medidor de humedad se conoce como higrómetro. Su funcionamiento prácticamente es el siguiente: “se basa en la presencia de materias muy higroscópicas (Capacidad de absorber humedad, usualmente se usa el cloruro de litio) mezcladas con agua, que al absorber la humedad se dilatan. En los tipos eléctricos, unos electrodos emiten corrientes que hacen que se caliente todo el conjunto y se evapore el agua, absorbiéndola el material higroscópico, el cual se dilata y cambia de volumen.” (Medir el grado de humedad. El higrómetro., 2013)

Existen 2 tipos de higrómetros:

Higrómetros de tensión de cabello: Estos sensores de desplazamiento utilizan cabello, celulosa o nylon para medir la contracción y expansión causada por la humedad. Estos medidores son los recomendados cuando se desea medir la humedad en las casas, en terrazas o áticos.

Psicrómetros: Los cuales están compuestos por un par de termómetros, uno posee su bulbo seco y el otro húmedo, el dispositivo determina la humedad relativa a partir de la diferencia de temperatura establecida entre ambos termómetros.

El higrómetro eléctrico: El cual mide los cambios en su resistencia o capacitancia eléctrica. Usualmente detecta los cambios producidos en una placa de cloruro de litio o de otro tipo semiconductor.



Ilustración 5-Higrómetro

Movimiento del aire: El movimiento del aire se refiere a su velocidad y a los lugares hacia donde se distribuye. Se controla mediante el equipo adecuado para distribución de aire como podrían ser ventiladores axiales o centrífugos.

Limpieza: La limpieza o calidad del aire se controla ya sea mediante filtración, que es la eliminación de contaminantes indeseables por medio de filtros u otros dispositivos; o mediante ventilación, que es la introducción de aire exterior al espacio interior, con lo cual se diluye la concentración de

contaminantes. Con frecuencia, en una instalación se usan tanto la filtración como la ventilación.

Los sistemas de acondicionamiento de aire que se usan en las construcciones comerciales e institucionales más recientes, así como en los edificios de apartamentos, por lo general controlan durante todo el año la mayor parte o todas las variables de acondicionamiento de aire descritas. Por esta razón, se está generalizando el nombre de sistemas de control ambiental o climatizadores para los sistemas completos de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire. (Pita, 1994, p.3)

1.1.2 Componentes de los sistemas de acondicionamiento de aire

La dirección del calor siempre se considera que va de las zonas más calientes a las más frías. En el invierno hay una pérdida continua de calor desde el interior de una edificación hasta el exterior. Si se desea mantener el aire en el interior a una temperatura agradable, es necesario suministrar calor al aire en forma continua. El equipo que suministra este calor se llama sistema de calefacción.

El mismo caso se puede observar durante el verano, el calor entra incesantemente a las edificaciones desde el exterior. Para poder mantener el aire interior a una temperatura agradable, el exceso de calor se debe eliminar de forma continua de las habitaciones. Al equipo que elimina este calor se le llama sistema de enfriamiento.

Un sistema de acondicionamiento de aire puede proporcionar tanto calefacción como enfriamiento. Su tamaño y complejidad varían desde un

simple calentador o una unidad de ventana hasta un gran sistema para un edificio o salones.

Los componentes básicos de un equipo de acondicionamiento de aire son los siguientes:

- ✓ Una fuente de calefacción: Que agrega calor a un fluido, el cual generalmente es aire, agua o vapor.
- ✓ Una fuente de enfriamiento: Que elimina el calor de un fluido.
- ✓ Un sistema de distribución: Que es una red de ductos o tuberías para transportar el aire, agua o vapor hacia los recintos que se van a calentar o a enfriar.
- ✓ Ventiladores: En el caso de los equipos de refrigeración por compresión de vapor el ventilador se utiliza para enfriar los gases que provienen del compresor; en el caso de la refrigeración evaporativa el ventilador permite la circulación del aire desde la entrada hasta el panel del equipo.
- ✓ Bombas: Las bombas en los equipos de acondicionamiento se utilizan tanto para evacuar el condensado como para la distribución de agua en los sistemas evaporativos.
- ✓ Compresores: Dispositivo que se encarga de incrementar la presión del fluido refrigerante y permitir su desplazamiento a través del ciclo de refrigeración.
- ✓ Evaporadores y condensadores: Intercambiadores de calor que permiten la transferencia del mismo entre el exterior y un fluido refrigerante. Mediante un evaporador se da la transferencia de calor

entre un medio a alta temperatura y un refrigerante a baja temperatura. En los condensadores ocurre lo contrario.

- ✓ Manómetros: Instrumento que permite la medición de presión en fluidos.
- ✓ Válvulas de expansión: Encargadas de bajar la presión del fluido refrigerante hasta la presión del evaporador.



Ilustración 6-Componentes del equipo de aire acondicionado

1.1.3 Aplicaciones

El acondicionamiento de aire generalmente se utiliza para brindar confort a las personas ofreciendo un ambiente cálido o fresco dependiendo de los requerimientos del usuario; para esto es necesario poder controlar las variables ya antes mencionadas que son temperatura, humedad, velocidad del aire y la limpieza de los equipos.

Sin embargo, es de recalcar que los equipos de acondicionamiento de aire no solo se aplican de esa manera, también se utilizan para crear el ambiente adecuado dentro de la industria, por ejemplo en las industrias alimenticias, textiles, imprentas, entre otros; donde se requiere de condiciones específicas en el ambiente para obtener la producción o funcionamiento adecuado.

1.2 Ciclos de acondicionamiento de aire

Los ciclos de acondicionamiento de aire principales son:

- Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.
- Ciclo de absorción.

Cada uno de estos presenta sus características de funcionamiento, componentes y requerimientos para instalación. Al mismo tiempo se denota la eficiencia de cada uno y sus aplicaciones.

1.2.1 Ciclo de refrigeración por compresión de vapor

Antes de poder hablar sobre el ciclo de compresión de vapor, se debe aclarar el principio de funcionamiento básico de la refrigeración.

1.2.1.1 Ciclo invertido de Carnot

Puesto que el ciclo de Carnot es un ciclo reversible, los cuatro procesos que comprende pueden invertirse. Al hacerlo también se invertirán las direcciones de cualquier interacción de calor y de trabajo.

El resultado es un ciclo que opera en dirección contraria a las manecillas del reloj en el diagrama T - s , que se llama el ciclo invertido de Carnot.

Un refrigerador o bomba de calor que opera en el ciclo invertido de Carnot es definido como un refrigerador de Carnot o una bomba de calor de Carnot.

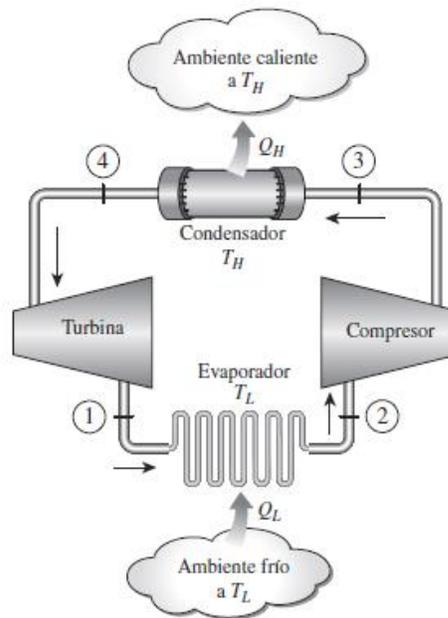


Ilustración 7-Ciclo invertido de Carnot

Su principio de funcionamiento consta de las siguientes etapas:

- ✓ Absorción de calor mediante un evaporador
- ✓ Compresión del fluido acompañado de un incremento de temperatura
- ✓ Evacuación de calor al ambiente isotérmicamente
- ✓ Expansión isentrópica con reducción de la temperatura

El ciclo invertido de Carnot es el ciclo de refrigeración más eficiente que opera entre dos niveles específicos de temperatura. Por lo tanto, es natural considerarlo en primer lugar como un ciclo ideal esperado para los refrigeradores y las bombas de calor.

El ciclo invertido de Carnot sirve como un estándar contra el cual se comparan los ciclos reales de refrigeración. (A. Cengel & A. Boles, 2012, p.618)

1.2.1.2 Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

Muchos de los aspectos imprácticos asociados con el ciclo invertido de Carnot pueden ser eliminados al evaporar el refrigerante por completo antes de que se comprima, y al sustituir la turbina con un dispositivo de estrangulamiento, tal como una válvula de expansión o un tubo capilar. El ciclo de refrigeración por compresión de vapor es el que más se utiliza en refrigeradores, sistemas de acondicionamiento de aire y bombas de calor. Se compone de cuatro procesos:

- ✓ **1-2** Compresión isentrópica en un compresor
- ✓ **2-3** Rechazo de calor a presión constante en un condensador
- ✓ **3-4** Estrangulamiento en un dispositivo de expansión
- ✓ **4-1** Absorción de calor a presión constante en un evaporador

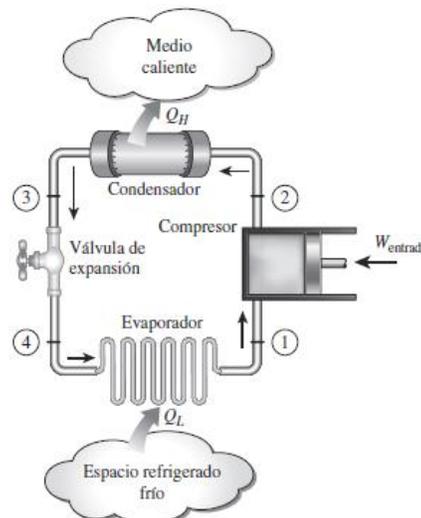


Ilustración 8-Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

En un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, el refrigerante entra al compresor en el estado 1 como vapor saturado y se comprime isentrópicamente hasta la presión del condensador. La temperatura del refrigerante aumenta durante el proceso de compresión isentrópica, hasta un valor bastante superior al de la temperatura del medio circundante.

Después, el refrigerante entra en el condensador como vapor sobrecalentado en el estado 2 y sale como líquido saturado en el estado 3, como resultado del rechazo de calor hacia los alrededores.

La temperatura del refrigerante en este estado se mantendrá por encima de la temperatura de los alrededores.

El refrigerante líquido saturado en el estado 3 se estrangula hasta la presión del evaporador al pasarlo por una válvula de expansión o por un tubo capilar. La temperatura del refrigerante desciende por debajo de la temperatura del espacio refrigerado durante este proceso. El refrigerante entra al evaporador en el estado 4 como un vapor húmedo, y se evapora por completo absorbiendo calor del espacio refrigerado. El refrigerante sale del evaporador como vapor saturado y vuelve a entrar al compresor, completando el ciclo.

El COP (coeficiente de desempeño) del ciclo ideal por compresión de vapor es el siguiente:

$$COP_R = \frac{q_L}{W_{neto}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Ec. 3

1.2.1.3 Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor se muestra en la figura:

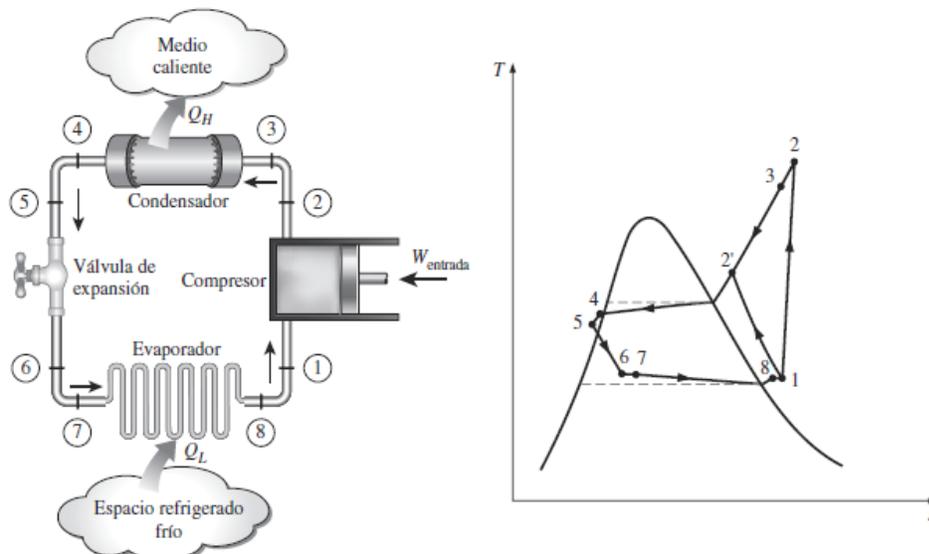


Ilustración 9-Ciclo Real de refrigeración por compresión de vapor

El ciclo real de refrigeración por compresión de vapor es el principio de funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado comunes.

Un ciclo de refrigeración por compresión de vapor real difiere de uno ideal en varios aspectos, principalmente, debido a las irreversibilidades que ocurren en varios componentes. Dos fuentes comunes de irreversibilidad son la fricción del fluido (causa caídas de presión) y la transferencia de calor hacia o desde los alrededores.

INFLUENCIAS DE LAS IRREVERSIBILIDADES

Irreversibilidades en el condensador:

En el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor el fluido de trabajo sale del condensador como líquido saturado a la presión de salida del compresor. En la realidad es inevitable que se produzcan caídas de presión en el condensador así como en las líneas que conectan al compresor y a la válvula de estrangulamiento, además de la imposibilidad de mantener con precisión la regulación del condensador para tener a la salida líquido saturado, y es indeseable enviar refrigerante a la válvula de estrangulamiento sin condensar en su totalidad, debido a que reduce la capacidad de absorción de calor, por lo que se considera el sub-enfriamiento (Ilustración 9, punto 5) como alternativa para disminuir la entalpía de entrada a la válvula de estrangulamiento y en consecuencia aumentar la capacidad de absorción de calor (efecto refrigerante).

Irreversibilidades en el compresor:

El proceso de compresión en el ciclo ideal es internamente reversible y adiabático y, en consecuencia, isentrópico. Sin embargo, el proceso de compresión real incluirá efectos friccionantes los cuales incrementan la entropía y la transferencia de calor que puede aumentar o disminuir la entropía, dependiendo de la dirección.

Irreversibilidades en el evaporador:

En los ciclos ideales de refrigeración, el fluido de trabajo sale del evaporador y entra al compresor como vapor saturado. Pero en esta condición es imposible mantener el estado del refrigerante con tanta precisión.

En lugar de eso se procura diseñar el sistema a manera de sobrecalentar

ligeramente al refrigerante a la entrada del compresor para así garantizar evaporación completa al momento de ingresar al compresor. Asimismo, en la línea que conecta el evaporador al compresor suelen producirse caídas de presión del refrigerante y cierta ganancia de calor no deseable, trayendo como resultado un aumento en el volumen específico del refrigerante y por ende un incremento en los requerimientos de potencia de entrada al compresor.

1.2.2 Ciclo de absorción

En los sistemas de refrigeración, la energía extraída de la región fría finalmente debe expulsarse a otra región que se encuentra a una temperatura considerablemente mayor. Esta segunda región suele ser el ambiente circundante.

Para llevar a cabo el proceso de cesión de calor, la temperatura del fluido en el ciclo de refrigeración debe elevarse hasta un valor superior al del ambiente.

La técnica de refrigeración por absorción se basa en la aproximación de que el fluido pueda permanecer líquido durante el proceso de compresión logrando un trabajo de entrada significativamente menor; sin embargo, para conseguirlo, el ciclo global se hace físicamente más complejo. Además, es necesario utilizar una mezcla binaria como amoníaco con agua o bromuro de litio con agua como fluido que circula por una parte del ciclo en lugar del componente único utilizado habitualmente en el ciclo de compresión de vapor.

Estos fluidos con dos componentes tienen una característica importante: cuando en el equilibrio están presentes dos fases, la composición de un componente dado no es la misma en las dos fases. La fase vapor contendrá mayor cantidad del componente más volátil a la temperatura dada.

Los agentes refrigerantes del ciclo de absorción se denotan así: el agente absorbente, designando así a la sustancia que absorbe los vapores, y el agente refrigerante, o agente frigorífico a la sustancia que se evapora y da lugar a una producción frigorífica aprovechable. Serían absorbentes el agua y la solución de Bromuro de Litio, y refrigerantes el Amoniaco y el agua destilada en los ciclos de absorción Agua-Amoniaco y Bromuro de Litio-Agua respectivamente.

La máquina de refrigeración de amoniaco-agua fue patentada por el francés Ferdinand Carré en 1859. En unos cuantos años, las máquinas basadas en este principio se empezaron a construir en Estados Unidos, principalmente para fabricar hielo y almacenar alimentos. Se puede observar inmediatamente de la Ilustración 10 que este sistema es muy similar al sistema por compresión de vapor, excepto que el compresor se ha sustituido por un complicado mecanismo de absorción compuesto por un absorbedor, una bomba, un generador, un regenerador, una válvula y un rectificador.

FUNCIONAMIENTO

Etapas de evaporación

Esta etapa ocurre de la misma manera que en el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, donde el refrigerante en estado líquido absorbe calor del ambiente a refrigerar, evaporándose en su mayoría y transfiriéndose luego al absorbedor.

Etapas de absorción

Absorbedor

El absorbedor es un dispositivo que contiene un fluido y cuya función es

absorber vapor u otra sustancia en estado gaseoso enfriando el proceso, en la etapa de funcionamiento del ciclo recibe el fluido en vapor saturado.

Dentro del absorbedor ocurre una reacción química exotérmica con el agua donde se forma $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; al ser exotérmica se libera calor. La cantidad de NH_3 que puede disolverse en H_2O es inversamente proporcional a la temperatura. Por consiguiente, es necesario enfriar el absorbedor para mantener su temperatura lo más baja posible y, por ende, para maximizar la cantidad de NH_3 disuelto en el agua.

Generador

Este dispositivo está compuesto por un haz de tubos en el que se calienta la solución diluida procedente del absorbedor, con la intención de llevarla a ebullición. Al ascender, se separa parte del vapor de agua de la solución de bromuro de litio incrementándose la concentración de ésta (se denomina solución semi-concentrada). El vapor de agua separado seguirá su camino para convertirse en refrigerante en las etapas posteriores.

El calentamiento en el generador, puede efectuarse, según los modelos, mediante un quemador de llama directa, mediante energía solar, o bien con un intercambiador de calor cuyo primario puede ser alimentado por vapor o agua caliente.

Regenerador

En los equipos de doble efecto, un segundo generador, llamado regenerador o generador de baja temperatura, actúa como intercambiador de calor aprovechando parte del calor contenido en la solución procedente del generador de alta temperatura, esta solución es pobre en NH_3 . La solución

concentrada fluye hacia el absorbedor, transfiere una parte de su calor a la solución enriquecida que sale de la bomba, y se estrangula hasta la presión del absorbedor.

Rectificador

El vapor que es rico en NH_3 pasa por un rectificador, que separa el agua y la regresa al generador. El vapor de NH_3 puro de alta presión continúa luego su trayecto por el resto del ciclo.

Válvula de expansión

La válvula de expansión se encarga de reducir la presión de la mezcla proveniente del regenerador a la presión del absorbedor.

Etapas de condensación

Esta etapa ocurre de la misma manera que en el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, el NH_3 en forma de vapor cede su calor al ambiente y se enfría, condensándose y luego se dirige hacia la válvula de expansión, donde se reduce su presión hasta la presión del evaporador.

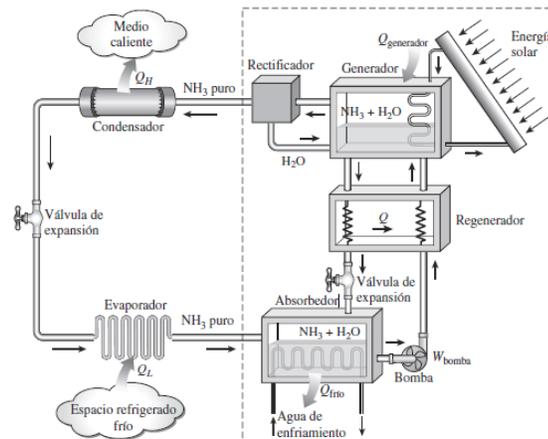


Ilustración 10-Ciclo de absorción

1.3 Acondicionamiento evaporativo

1.3.1 Conceptos básicos

La evaporación es la conversión de una sustancia líquida en estado gaseoso. Cuando el agua se evapora de alguna superficie, dicha superficie se torna mucho más fría porque requiere calor para cambiar el líquido en vapor. Una buena brisa en un día caluroso nos enfría debido a que la corriente de aire hace que el sudor se evapore mucho más rápido. El calor necesario para esa evaporación es tomada de nuestros cuerpos y da la sensación de frescura.

Cuando el aire se mueve por encima de una superficie de agua causa que algunas partículas del agua se evaporen. Esta evaporación resulta en una reducción de la temperatura y un incremento en el contenido de vapor que contiene el aire. Mientras mayor sea el área de contacto entre el aire y el agua, mayor será la evaporación, resultando en un ambiente más frío pero con mayor contenido de humedad.

TIPOS DE EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO EVAPORATIVO

Existen dos tipos de equipos de acondicionamiento evaporativo:

Directos: Son del tipo más comúnmente utilizado, su aplicación principal es la refrigeración residencial, se caracterizan porque el 100% del aire que utilizan proviene del exterior. Estos dispositivos utilizan electricidad para suplir la carga del motor del ventilador y de una pequeña bomba.

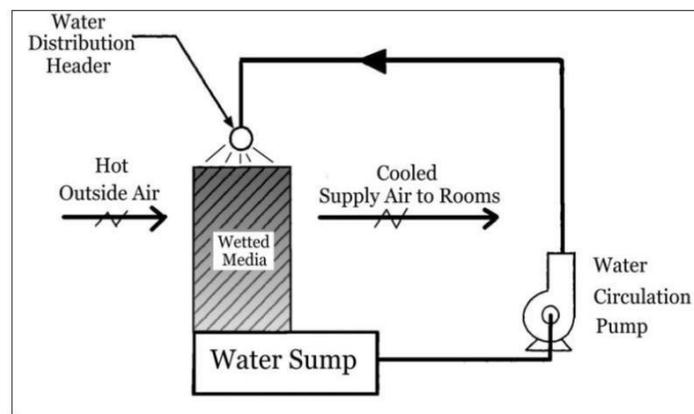


Ilustración 11-Acondicionamiento evaporativo directo

El tipo más común de componente utilizado en estos equipos es el panel evaporativo, el cual se encarga de permitir el paso de agua y absorber cierta cantidad para que el aire pueda enfriarse. Generalmente están hechos de celulosa que proviene del árbol de álamo. Dicho panel presenta una efectividad entre un 65 y un 78%.

Estos equipos cuentan con un filtro de entrada del aire, un ventilador, una bomba, el sistema de distribución del agua, sistemas eléctricos de control y los paneles evaporativos.

Entre sus ventajas se encuentran su bajo costo, reducción de la demanda de energía eléctrica, controles simples y poco mantenimiento. (Palmer, 2002)

Indirectos: Son llamados de esta forma pues luego del proceso de evaporación, el aire pasa por un intercambiador de calor que mantiene el aire frío y húmedo separado del aire de la habitación. Estos dispositivos también contienen componentes como filtros, deshumidificadores e intercambiadores de calor para recuperar la energía.

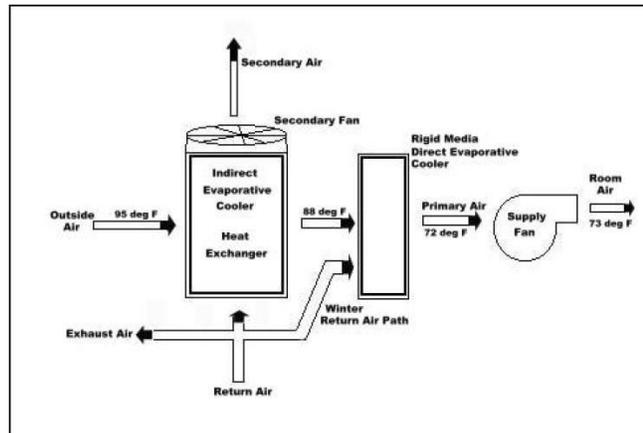


Ilustración 12-Acondicionamiento evaporativo indirecto

Existen muchos tipos de acondicionadores evaporativos indirectos, todos utilizan el mismo proceso conocido como enfriamiento adiabático (no efectúan intercambio de calor con el entorno).

- Intercambiadores de calor de aire-aire:

Que permiten el intercambio de calor entre dos flujos que no están en contacto directo y que fluyen en conductos diferentes ya sea en contraflujo o en paralelo.

- Torres de enfriamiento

Los cuales son equipos que se encargan de enfriar agua a elevadas temperaturas mediante un flujo de aire que permite la transferencia de calor por conducción y evaporación. A diferencia de los equipos como intercambiadores de calor, la transferencia de calor se da directamente entre ambos flujos

El agua se introduce en el domo de la torre por medio de vertederos o por boquillas, las cuales permiten que la corriente de agua se esparza en la mayor superficie posible. El enfriamiento ocurre cuando el agua cae a través de la torre y se pone en contacto directo con una corriente de aire fluye a contracorriente o en flujo cruzado, este aire se encuentra a una temperatura menor que la del agua. El agua al ceder calor al aire se enfría por transferencia de masa (evaporación), originando que la temperatura del aire y su humedad aumenten y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura del aire a la entrada de la torre. Parte del agua que se evapora, causa la emisión de más calor, por eso se puede observar vapor de agua encima de las torres de refrigeración.

1.3.1.1 Carta psicrométrica

Las propiedades del aire atmosférico pueden ser representadas mediante tablas o en forma de gráficas. A la forma gráfica se le llama “Carta psicrométrica” y su empleo es universal porque presenta una gran cantidad de información en forma práctica y ayuda a estudiar los procesos en el acondicionamiento del aire.

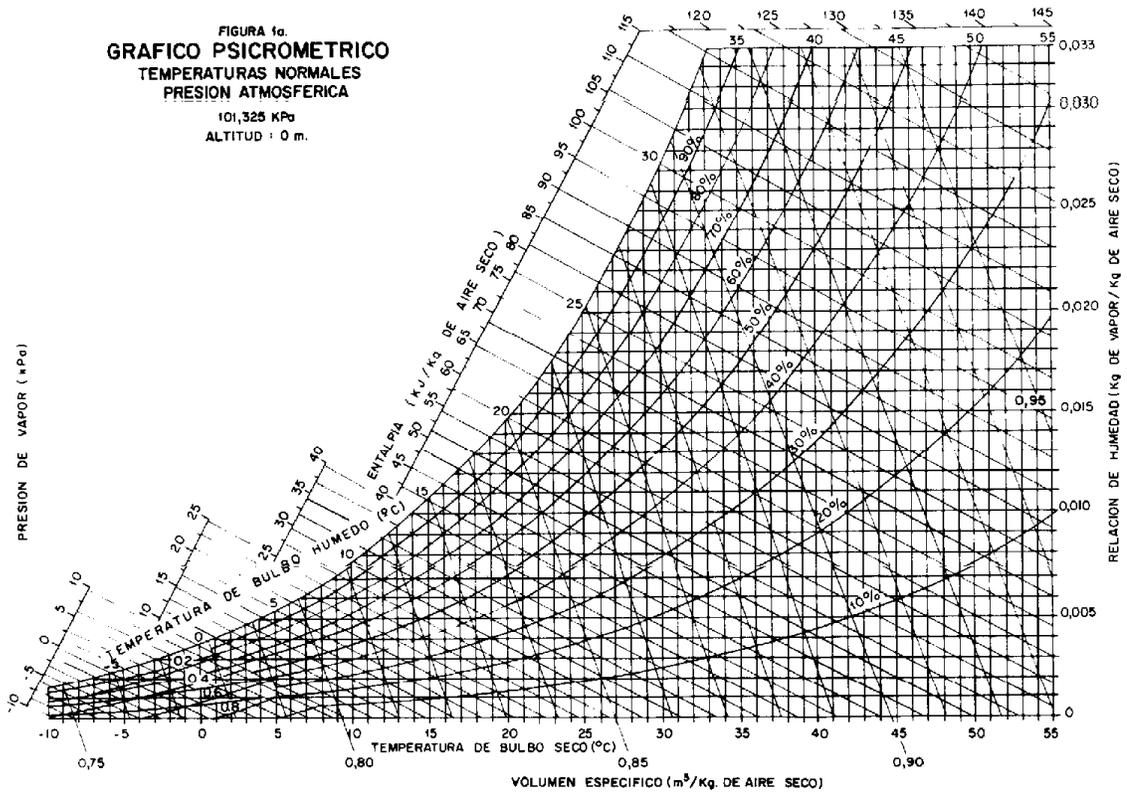


Ilustración 13-Carta psicrométrica para la presión atmosférica

Las propiedades del aire atmosférico varían con la presión barométrica y para cada uno de éstos corresponde a una carta diferente, comúnmente, la carta psicrométrica empleada en la mayoría de las aplicaciones prácticas están basadas a una presión al nivel del mar (101.325 kPa). En este punto el estado del aire atmosférico a una presión especificada se establece por completo mediante dos propiedades intensivas independientes.

COMPOSICIÓN DEL AIRE ATMOSFÉRICO

El aire atmosférico que se conoce es una mezcla de muchos gases, los cuales siguen la ley de Dalton Gibbs (La cual es una extensión de la Ley de Dalton), la cual dicta que la presión total de una mezcla de gases es resultado de la suma de las presiones parciales de cada gas que lo componen.

$$P = P_a + P_v$$

Ec. 4

En donde:

P : Presión de la mezcla de aire seco y vapor de agua.

P_a : Presión parcial del aire seco.

P_v : Presión parcial del vapor de agua.

Cabe resaltar que el aire atmosférico no es un gas ideal pero los gases que lo componen si lo son, por tanto, se puede considerar como un solo gas perfecto homogéneo. Los gases que componen al aire seco se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2- Porcentaje de los gases que componen el aire seco.

Sustancia	% En volumen de aire seco
Nitrógeno	78.09
Oxígeno	20.95
Argón	0.93
Dióxido de carbono	0.03
Hidrógeno	0.00005
Neón	0.0018
Kriptón	0.0001
Helio	0.00053
Xenón	0.000008

Fuente: Gálvez et al, 1998, p.456

Las proporciones del agua en el ambiente son muy cambiantes dependiendo de la zona en la que se ubique, también influye la altura que se encuentre sobre el nivel del mar; sin embargo, la composición del aire en la troposfera (Región más conocida de la atmosfera que se encuentra sobre la superficie terrestre) es constante, para efectos de este estudio esta mezcla de gases se tratará como "Aire Seco".

Anteriormente se mencionó que el aire atmosférico se encuentra constituido por diferentes gases, de entre los cuales el vapor de agua es uno de sus componentes, sin embargo, a diferencia de los demás gases, el porcentaje

de vapor de agua es altamente cambiante dependiendo de la zona en la que se encuentre, por ejemplo: No hay la misma cantidad de vapor de agua en el desierto que estando cerca de la playa.

Debido a estas variaciones del vapor de agua, normalmente se emplean los términos de “Aire húmedo” y “Aire seco” para el aire que tiene cierta cantidad de vapor de agua y para el que carece totalmente de ella respectivamente.

1.3.1.1.1 Calor sensible

El calor sensible es aquel que muestra una clara modificación a la temperatura, es decir, es aquella cantidad de energía que permite el aumento o decremento de la temperatura, esto es causado por el calentamiento o enfriamiento de la masa de aire con la humedad final tras la incorporación o sustracción del agua.

1.3.1.1.2 Calor latente

El calor latente es aquel que, al aplicar cierta cantidad de energía no registra ningún cambio en la temperatura, esto ocurre durante los cambios de estado de la materia, en términos del acondicionamiento de aire, esto es causado por la incorporación o sustracción del agua a la temperatura inicial del proceso. (Lapuerta Amigo & Armas Vergel, 2012, p.240)

1.3.1.1.3 Humedad relativa

Es una propiedad del aire atmosférico y trata la forma de identificar cuanto vapor de agua tiene el medio; se define como la relación entre de la

presión real de vapor de agua en el aire con la presión de vapor de agua si el aire estuviera saturado a la misma temperatura de bulbo seco, se expresa en porcentaje.

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v V / R_v T}{P_g V / R_v T} = \frac{P_v}{P_g}$$

Ec. 5

En donde:

ϕ : Humedad relativa.

m_v : Masa de agua real en el ambiente.

m_g : Masa de agua saturada a la misma temperatura.

P_v : Presión actual del vapor de agua.

P_g : Presión del vapor de agua en condiciones de saturación.

R_v : Constante de los gases para el vapor de agua.

V : Volumen del recinto.

T : Temperatura absoluta.

El acondicionamiento del aire depende, en gran medida, de la cantidad de humedad del ambiente; ya que ésta propiedad permite establecer las condiciones de comodidad que el ambiente puede proporcionar a las personas.

Esquemáticamente, en la carta psicrométrica se encuentran reflejadas como curvas que describen una trayectoria ascendente de izquierda a derecha, los porcentajes son decrecientes cuando están más alejados de la curva de "Temperatura de bulbo húmedo", véase la Ilustración 14.

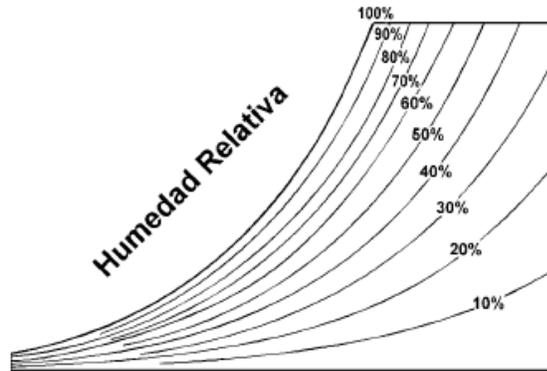


Ilustración 14-Líneas de humedad relativa constante

1.3.1.1.4 Humedad absoluta

La humedad absoluta, relación de humedad o también llamada humedad específica. Es el peso de vapor de agua por el peso de aire seco, dependiendo de las unidades pueden ser lb/lb, g/kg o en gramos de agua por libras de aire seco.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T} = \left(\frac{R_a}{R_v} \right) \left(\frac{P_v}{P_a} \right) = \frac{R_a P_v}{R_v (P - P_v)} \quad \text{Ec. 6}$$

En donde:

ω : Humedad absoluta o específica.

m_v : Masa del vapor de agua.

m_a : Masa del aire seco.

R_a : Constante de los gases para el aire.

R_v : Constante de los gases para el vapor de agua.

P : Presión de la mezcla de aire seco y vapor de agua.

P_v : Presión parcial del vapor de agua.

P_a : Presión parcial del aire seco.

En la carta psicrométrica esta propiedad se encuentra ubicada en la ordenada, al lado derecho y se extiende horizontalmente de derecha a izquierda, no se deben de confundir con las líneas de "Temperatura de rocío" puesto a que ésta última es medida al costado izquierdo de la carta.

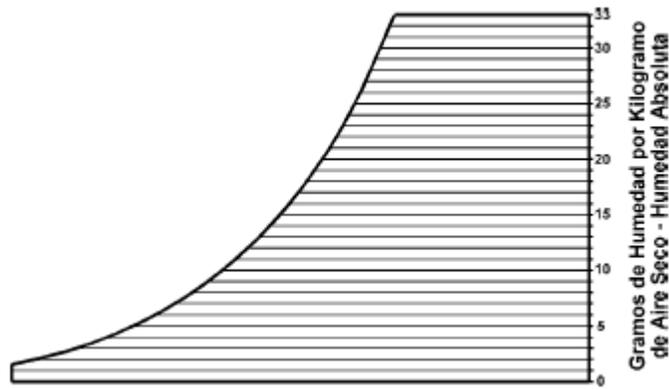


Ilustración 15-Esquema de las líneas de humedad absoluta

1.3.1.1.5 Temperatura de bulbo húmedo

Es la temperatura que indica un termómetro, cuyo bulbo está envuelto en una mecha que se encuentra empapada en agua en el seno de una corriente de aire.

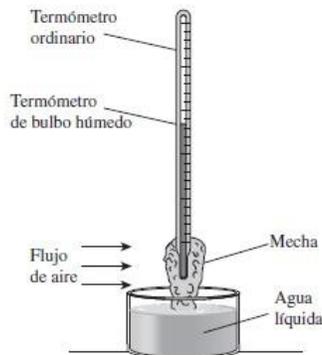


Ilustración 16-Esquema de un arreglo para obtener la temperatura de bulbo húmedo

Cuando el aire no saturado pasa sobre la mecha húmeda, un poco del agua en la mecha se evapora. Como resultado, disminuye la temperatura del agua y se crea una diferencia de temperatura (que es la fuerza impulsora para la transferencia de calor) entre el aire y el agua. Luego de un tiempo, la pérdida de calor del agua por evaporación es igual a la ganancia de calor del aire y la temperatura del agua se estabiliza. En este punto, la lectura del termómetro es

la temperatura de bulbo húmedo.

Ésta propiedad se encuentra representada en la carta psicrométrica en el lado superior izquierdo (Sobre la curva de saturación), estas recorren diagonalmente la carta de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, véase la Ilustración 17.

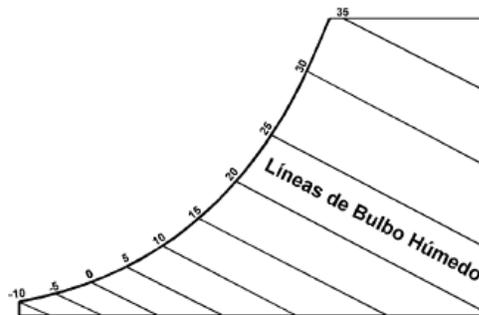


Ilustración 17-Representación de las líneas de bulbo húmedo en la carta psicrométrica

1.3.1.1.6 Temperatura de bulbo seco

Es la temperatura del aire, medido por un termómetro ordinario, usualmente cuando se refiere a la “temperatura del aire” se utiliza la temperatura de bulbo seco, en la carta psicrométrica se encuentra en la abscisa de la escala y forma líneas verticales que se extienden de abajo hacia arriba y son llamadas “Líneas de temperatura de bulbo seco constantes” o “Líneas de bulbo seco”.

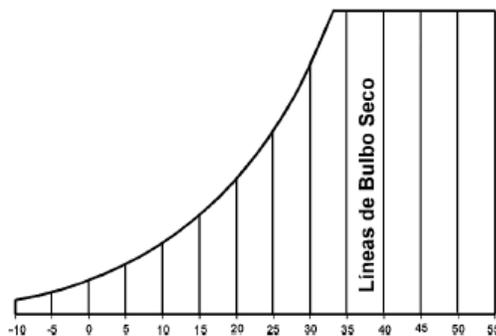


Ilustración 18-Representación de las líneas de bulbo seco en la carta psicrométrica

1.3.1.1.7 Punto de rocío

La temperatura del punto de rocío es un fenómeno muy común en la vida diaria de todas las personas, un ejemplo de este caso ocurre cuando se tiene a temperatura ambiente un objeto con una temperatura más baja, se observa que en cuestión de tiempo la superficie comienza a “Sudar”, lo que ocurre en este caso es que la temperatura es muy baja en las regiones cercanas al objeto y el vapor de agua se condensa en la superficie, lo mismo ocurre cuando en la mañana se observa que hay gotas de agua en las hojas sin haber llovido la noche anterior, a esto se le llama “Rocío”. Este fenómeno ocurre a presión constante y es definido de la siguiente manera: “Es la temperatura a la que se inicia la condensación si el aire se enfría a presión constante”. (A. Cengel & A. Boles, 2012, p.742)



Ilustración 19-Efecto de la condensación del vapor de agua sobre una superficie más fría que el ambiente (Rocío)

Se encuentra representado en la carta psicrométrica con líneas horizontales que se extienden de izquierda a derecha y se lee directamente de la escala de “temperatura de bulbo húmedo”, por lo tanto, cualquier punto ubicado sobre esta línea horizontal es leído con la temperatura de bulbo húmedo en la parte curva de la gráfica.

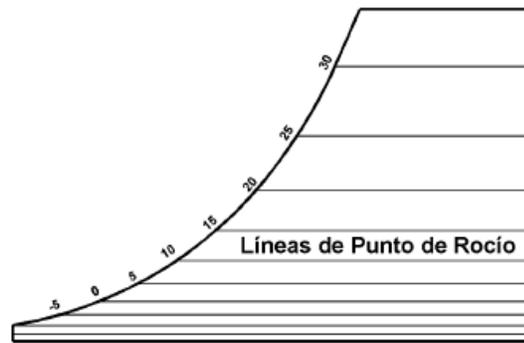


Ilustración 20-Representación de las líneas de punto de rocío en la carta psicrométrica

1.3.1.1.8 Entalpía específica

Es una propiedad que relaciona el contenido de vapor expresado en kJ/kg, el aire atmosférico comprende las entalpías del aire atmosférico y del vapor de agua (Recordando que ambos se tratan por separado), dentro de la entalpía del vapor de agua están comprendidos los calores latentes y sensibles de la misma.

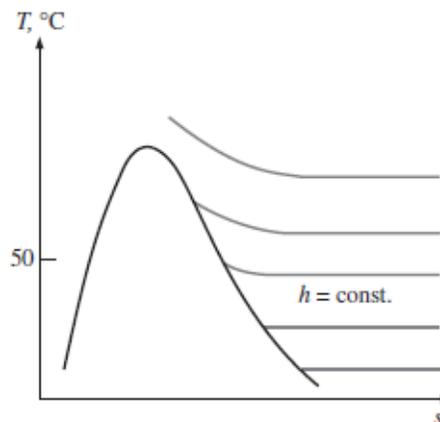


Ilustración 21-En un diagrama T-s, las líneas isoentálpicas coinciden con las isothermas por debajo de 50°C

La entalpía del vapor de agua se encuentra en función de la temperatura y las líneas de entalpía constante coinciden con las líneas de temperatura (Véase Ilustración 21) por debajo de los 50°C, esto permite afirmar que “La entalpía del vapor de agua es igual a la entalpía en el punto de saturación del agua”.(A. Cengel & A. Boles, 2012, p.738)

$$h_v \cong h_g$$

Ec. 7

Puede representarse matemáticamente tomando como base la entalpía de saturación del agua a 0°C, en adición al producto del calor específico del vapor de agua con la temperatura en °C.

$$h_g = h_{0^\circ C} + c_p T$$

Ec. 8

En donde:

h_g : Entalpía de saturación del agua.

$h_{0^\circ C}$: Entalpía de saturación a 0°C.

c_p : Calor específico promedio a presión constante (En rangos menores a 50°C).

T : Temperatura (En °C o °F).

Retomando nuevamente que el aire es una mezcla de gases cuyas propiedades son la suma de sus propiedades particulares la entalpía específica del aire atmosférico (Por unidad de masa de aire seco) se expresa de la siguiente manera.

$$h = h_a + \omega h_g$$

Ec. 9

En donde:

h : Entalpía del aire atmosférico.

h_a : Entalpía del aire seco.

ω : Humedad absoluta.

h_g : Entalpía del vapor de agua.

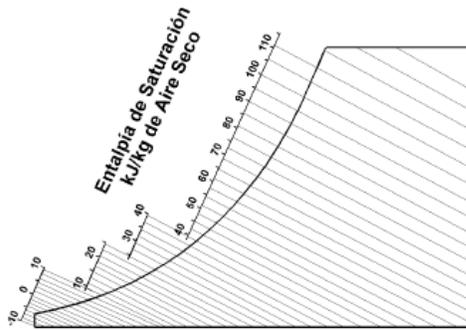


Ilustración 22-Las líneas de entalpía son una extensión de las líneas de bulbo húmedo

En la carta psicrométrica se representa mediante una extensión de las líneas de bulbo húmedo en la parte superior izquierda.

1.3.1.1.9 Volumen específico

El volumen específico del aire seco es definido como el espacio que ocupa el mismo por unidad de masa, la densidad es el recíproco del volumen específico.

En la carta se puede encontrar como líneas diagonales que describen una línea de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, cada línea va incrementando su valor hacia la derecha.

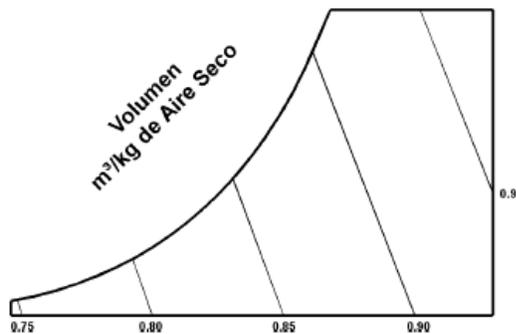


Ilustración 23-Las líneas de volumen constante trazadas en la carta psicrométrica

1.3.1.2 Procesos de acondicionamiento

Existen varios procesos básicos de acondicionamiento:

Calentamiento simple.

En estos casos se emplean bombas de calor o resistencias eléctricas, así como su nombre lo indica, aumenta la temperatura del aire sin modificar la cantidad de humedad del mismo (Humedad absoluta constante), este proceso trae consigo un elemento adicional; al aumentar la temperatura aumenta también la capacidad de contener vapor de agua, en otras palabras, al aumentar la temperatura la humedad relativa disminuye.

Enfriamiento simple.

En este caso se reduce la temperatura del aire manteniendo la misma cantidad de vapor de agua en el ambiente (Humedad absoluta constante), pero en este caso ocurre un fenómeno contrario, la capacidad de retener humedad en el aire disminuye a consecuencia de dicha disminución de la temperatura, por lo tanto, la humedad relativa aumenta; si se sigue enfriando, el aire puede saturarse ($\phi = 100\%$) y condensarse (Temperatura del punto de rocío).

Calentamiento con humidificación.

Es un proceso de dos etapas, en primer momento es un calentamiento simple que permite disminuir la cantidad de humedad en el aire y en segundo lugar la humidificación, se debe de ingresar al flujo de aire una cierta cantidad de vapor de agua a una temperatura superior a la que se encuentra el aire después del calentamiento, si se llega a ingresar agua en estado líquido, parte de la energía del aire es empleada para realizar la evaporación del agua (Calor latente), provocando al final una disminución de temperatura al final del proceso.

Enfriamiento con des-humidificación.

En el proceso se presenta un enfriamiento por debajo de su temperatura de punto de rocío, lo cual produce la condensación del vapor de agua excedente del aire que debe ser removida en un colector, en todo el proceso de des-humidificación el aire se encuentra saturado.

Enfriamiento evaporativo.

En este proceso se hace ingresar agua en estado líquido al flujo de aire (Caliente y con poca humedad relativa), el flujo de energía se lleva a cabo desde el aire hacia el agua provocando su evaporación (Calor latente), durante este proceso, se consigue disminuir la temperatura a costa de un aumento apreciable de la humedad relativa; este proceso es generalmente considerado como adiabático puesto a que la transferencia de energía entre el aire a los alrededores es considerado despreciable, por lo tanto se sigue una línea isoentálpica (Línea de entalpía y bulbo húmedo constante).

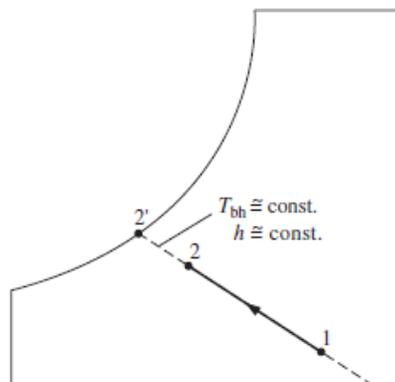


Ilustración 24-Proceso de enfriamiento evaporativo en la carta psicrométrica

Mezclado adiabático de flujos de aire: En este proceso se emplean dos flujos de aire en diferentes estados y la interacción de esta mezcla produce las condiciones deseadas, en este proceso, se considera que la mezcla no realiza

interacción alguna con el medio circundante y por ello es considerado como un proceso adiabático.

1.3.1.3 Sensación térmica

Los procesos de acondicionamiento de aire se realizan en espacios confinados debido a la necesidad de mantener un ambiente controlado, tanto la temperatura como la humedad del ambiente son factores que deben satisfacer las necesidades de las personas para estar más cómodos.

El cuerpo humano se puede modelar como una máquina térmica a la cual el ingreso de energía es mediante los alimentos y los procesos internos generan calor, dicho calor se evacúa mediante el sudor que es quien lo absorbe y el aire a su vez, lo absorbe posteriormente en el proceso de evaporación, aunque es el más notorio, también existe disipación de calor mediante convección y radiación en forma de calor sensible.

Si se habla de un ambiente que rodea al individuo, también se deben de considerar la influencia que el mismo tiene sobre el cuerpo, por ello, la consideración de estar rodeado por paredes, ventanas, puertas, etc. contribuyen a la comodidad, como ejemplo, cuando se viaja en un autobús con aire acondicionado, se siente más caliente cuando se sienta cerca de las ventanas aunque el ambiente en general es más fresco, éste fenómeno es gracias a la radiación de las superficies sobre el cuerpo.

Como anteriormente se mencionó, el aire atmosférico es una mezcla de gases, entre ellos el aire seco y el vapor de agua, si el ambiente se encuentra muy saturado de humedad, la evaporación del sudor no puede llevarse a cabo y debido a esto, las personas sienten mayor temperatura de la que realmente

se encuentra el ambiente, en caso contrario, es posible evacuar mucho sudor y tener una sensación de resequedad y deshidratación, la mayoría de las personas se encuentran cómodas en ambientes entre 40 a 60% de humedad relativa. (A. Cengel, 2012, p.749)

La temperatura es un aspecto muy notorio en estos casos; debido que en un clima caluroso, gracias a que la tasa de transferencia de calor sería baja, se genera la sensación de estar en un asador y resultando con ello la necesidad de utilizar vestimentas más ligeras para disipar mayor cantidad de calor; caso opuesto ocurre en climas muy fríos, en la cual la diferencia de temperaturas entre el cuerpo y el ambiente es muy marcada y por ello mismo la transferencia de calor es mayor y en ambos casos, genera incomodidad.

La evacuación de calor del cuerpo humano es dependiente de la actividad física que se encuentre realizando, por tanto, una persona que trabaja en mantenimiento de máquinas evacúa mucho más calor que otra persona en labores de oficina, para cada caso, el acondicionamiento debe ser diferente.

Otro aspecto importante es el flujo de aire, la renovación del mismo es la base que utilizan los ventiladores domésticos, la cual, no varía la cantidad de humedad o temperatura pero facilitan en gran medida la transferencia de calor por convección, se debe de tener cuidado que la velocidad de la masa de aire debe ser lo suficientemente alta para poder evacuar efectivamente el calor por convección y que permita también la evaporación del sudor; y también lo suficientemente baja que permita realizar las actividades con normalidad.

1.3.1.4 Transferencia de calor y masa

1.3.1.4.1 Transferencia de calor

En el análisis de los procesos de transferencia de calor es posible detectar tres mecanismos mediante los cuales se realiza el flujo de energía térmica:

- **Conducción:** Hace referencia a la transferencia de energía mediante la interacción de las partículas más energizadas con las partículas adyacentes menos energizadas, esto es notable en los sólidos pero también se pueden llevar a cabo a través de fluidos; en éstos casos, la conducción se lleva a cabo mediante las colisiones y la difusión de las moléculas en su movimiento aleatorio. Cabe decir que los fluidos (Ya sean líquidos o gases) deben estar en reposo, de lo contrario se estaría tratando de la transferencia por convección.

La conducción se encuentra en muchos fenómenos cotidianos, como es el caso de calentar agua en un recipiente, la flama calienta la superficie externa del mismo y éste por conducción transfiere ese calor hacia el agua.

La ley de Fourier indica que un flujo neto de energía es directamente proporcional al cambio de temperatura entre dos superficies e inversamente proporcional al recorrido que debe realizar.

Se hace mención que la fuerza que impulsa la transferencia de calor es la diferencia de temperatura, en la cual, el calor viaja desde la región de mayor temperatura hacia la de menor temperatura. Observando la Ilustración 25, Q representa el calor transferido por conducción desde un punto 0 hasta un valor

x , si dicho valor de Q corresponde a un número negativo representa una disminución en la temperatura del medio.

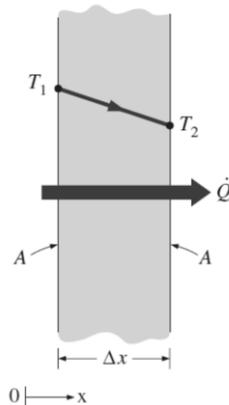


Ilustración 25-Conducción térmica a través de un medio

- **Convección:** Tiene lugar entre una superficie sólida y un fluido (Ya sea líquido o un gas), a diferencia de la conducción, en este caso se tiene un movimiento relativo de las partículas que componen el fluido mediante la variación de la densidad del mismo, si en una pared vertical se tiene una temperatura por encima del ambiente, el aire adyacente aumenta su temperatura (Primeramente por conducción porque las moléculas se encuentran adheridas formando una pequeña película), éstos a su vez, calientan a las partículas adyacentes, las cuales son reemplazadas por otras más frías resultando en una disminución de temperatura.

Volviendo al ejemplo del recipiente con agua, desde la superficie interna (Que ha sido calentada por conducción) comienza a calentar la película de agua que se encuentra adherida a su superficie y ésta a su vez calienta las partículas adyacentes, las cuales disminuyen levemente su densidad y ascienden a una región más fría, en su lugar, otras partículas de agua (Más frías) toman su lugar y también se calientan.

Existen dos regímenes de convección: Convección natural y convección forzada, para el primer caso la convección toma la forma de los ejemplos antes mencionados, mientras que en el segundo caso, es necesario tener un flujo causado por cualquier otro medio (Ventilador, abanico, soplo, viento, etc.).

La forma en que se cuantifica la transferencia de calor es por medio de la ley de enfriamiento de Newton. En ella, el flujo neto de calor es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas.

Para poder comprender este mecanismo de transferencia de calor se emplea el número de Nusselt, cuando dicho número es mayor a 1 indica que la transferencia se da en mayor parte por convección en el fluido, mientras que si el valor es igual a 1 es un indicativo que la transferencia de calor se realiza estrictamente por conducción pura.

- **Radiación:** Es la forma de transferencia de calor mediante la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas, todo cuerpo que tenga una temperatura por arriba de 0 K emite radiación, por lo general, la cantidad de energía emitida por radiación es menor que la conducción o convección y se toma despreciable, sin embargo, cuando se alcanzan altas temperaturas, la contribución de la radiación en la transferencia de calor se vuelve notable y es necesario tomar en consideración sus efectos.

Como se mencionó en un principio, la transferencia de energía es facilitada por las diferencias de temperatura, en este caso, la radiación es expresada mediante la ley de Stefan-Boltzmann, esta ley expresa que el flujo de energía es proporcional al área normal del flujo y a la temperatura a la cuarta potencia.

1.3.1.4.2 Transferencia de masa

En caso general, la transferencia de masa se difiere al movimiento de los fluidos por lo siguiente: La fuerza impulsora en la transferencia de masa es la diferencia de concentración de las especies, mientras que para el movimiento de fluidos es la diferencia de presión; en casos especiales la transferencia de masa también es afectada por las diferencias de presión pero en su mayor parte solo son influenciadas por las concentraciones entre dos regiones.

El análisis de transferencia de masa es similar a la transferencia de calor, por lo cual, algunos autores recomiendan sentar primeramente las bases de la transferencia de calor para poder llevar el análisis de transferencia de masa paralelamente a estos conceptos.

Bajo esta premisa, la transferencia de calor se lleva a cabo mediante tres procesos: conducción, convección y radiación; mientras que la transferencia de masa solo cuenta con dos procesos los cuales se detallan a continuación.

- **Conducción:** La difusión de partículas desde un punto A hacia un punto B es directamente proporcional a la concentración de los constituyentes (Especies), los cuales atraviesan un área determinada, la ley de Fick de la difusión relaciona estas variables.

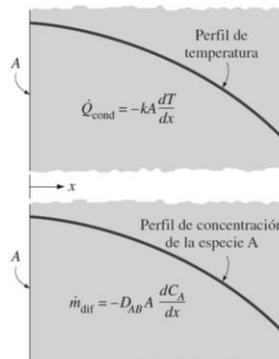


Ilustración 26-Similitudes entre la ley de Fick y la ley de Fourier

Observando la Ilustración 26, la ley de Fick es similar a la ley de Fourier, en la cual, la diferencia radica en el cambio de las variables que interaccionan para la difusión de las especies.

Las concentraciones pueden determinarse mediante dos formas: La primera de base másica y en segundo lugar como base molar, para el primer caso, se tiene que la concentración es la densidad de la sustancia; en segundo caso, se encuentra la base molar que consiste en la cantidad de moles por unidad de volumen.

- **Convección:** Se define como “la transferencia de masa entre una superficie y un fluido en movimiento, debido tanto a la difusión de masa como al movimiento de toda la masa de fluido”.(A. Cengel, 2012, p.810)

La convección es un fenómeno complejo al ser analizado debido a las diversas variables que contiene como geometría superficial, régimen, velocidad del flujo, variación de las propiedades y composición.

En el análisis de convección se toma en cuenta la capa límite de velocidad y térmica, en este caso, se emplea paralelamente la capa límite de concentración, la cual, estima la región por la cual la variación de la densidad de la especie A es el 99% a la de la especie lejos de la superficie.

$$\frac{(\rho_A)_s - \rho_A}{(\rho_A)_s - (\rho_A)_\infty} = 0.99 \quad \boxed{\text{Ec. 10}}$$

En donde:

$(\rho_A)_s$: Densidad sobre la superficie.

ρ_A : Densidad de un punto específico alejado de la superficie.

$(\rho_A)_\infty$: Densidad lejos de la superficie.

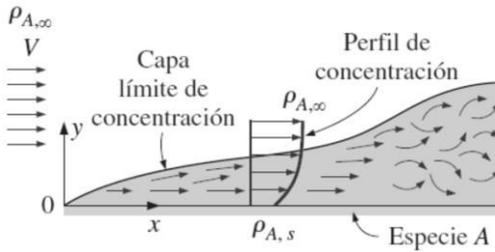


Ilustración 27-Desarrollo de la capa límite de concentración

Se han desarrollado diversas investigaciones que permiten caracterizar la capa límite. Entre algunas expresiones referentes a la capa límite de concentración se encuentran:

NÚMERO DE SCHMIDT (ANÁLOGO AL NÚMERO DE PRANDTL)

Éste número es utilizado en procesos convectivos para caracterizar las diferentes cantidades de movimiento y de masa; también se encarga de relacionar la capa límite de movimiento y de masa. Se define como la relación entre la viscosidad cinemática y la difusividad de masa (O Coeficiente de difusión).

$$Sc = \frac{\text{Difusividad de la cantidad de movimiento}}{\text{Difusividad de masa}}$$

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}}$$

Ec. 11

Mientras que el coeficiente de difusión es posible encontrarlo en numerosas investigaciones y cálculos empíricos basados en experimentos prácticos; particularmente, el coeficiente del agua hacia el aire es un caso que muy investigado y es posible tener una expresión que permita

relacionarlas en base a la presión y temperatura. (Marrero & Mason, 1972)

$$D_{H_2O \rightarrow Air} = 1.87 \times 10^{-10} \frac{T^{2.072}}{P} \text{ (m}^2/\text{s)} \quad \text{Ec. 12}$$

La Ec. 12 es válido para un rango de temperaturas entre 280 y 450 K.

En donde:

T: Temperatura absoluta promedio entre la superficie y un punto alejado (K).

P: Presión barométrica (atm).

NÚMERO DE LEWIS

Se define como la relación entre las difusividades térmicas y de masa, este indica un proceso en la que sea posible caracterizar los flujos que ocurren tanto procesos de transferencia de masa como de transferencia de calor, por tanto, representa las magnitudes relativas de la difusión de calor y de la de masa en las capas límite térmica y de concentración.

$$Le = \frac{\text{Difusividad térmica}}{\text{Difusividad de masa}} = \frac{Sc}{Pr} = \frac{\alpha}{D_{AB}} \quad \text{Ec. 13}$$

La transferencia de masa por convección es un proceso que puede ser complejo debido a que depende de diversas variables ya sean geométricas, tipo de flujo, nivel de saturación, temperatura, entre otros.

La expresión del flujo de masa se da mediante la similitud de la ley de enfriamiento de Newton para un flujo externo.

$$\dot{m}_{conv} = h_{masa} A_s [(\rho_A)_s - (\rho_A)_\infty] \quad \text{Ec. 14}$$

En donde

\dot{m}_{conv} : Flujo de masa por convección por unidad de tiempo.

h_{masa} : Coeficiente de convección de masa.

Mediante la Ec. 14 es posible determinar la cantidad de masa de un fluido (En este caso en particular del agua) se logra evaporar por unidad de tiempo, es un parámetro de especial atención debido a que es una forma de conocer el gasto de fluido empleado.

Para determinar el coeficiente de convección de masa, es necesario auxiliarse de los parámetros adimensionales de la misma manera en cómo se determinaba el coeficiente de convección térmica.

NÚMERO DE SHERWOOD (ANÁLOGO AL NÚMERO DE NUSSELT)

Este parámetro adimensional indica la ganancia de transferencia de masa por difusión (Conducción) y evaporación, por lo tanto, es un cociente del producto del coeficiente de convección de masa con una longitud característica (Depende de la geometría de la superficie) y el coeficiente de difusión.

$$Sh = \frac{h_{masa} L_c}{D_{AB}}$$

Ec. 15

En donde:

Sh: Número de Sherwood.

h_{masa} : Coeficiente de convección de masa.

D_{AB} : Coeficiente de difusión.

L_c : Longitud característica de la superficie.

NÚMERO DE STANTON DE LA TRANSFERENCIA DE MASA (ANÁLOGO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR)

Es una forma de representar convenientemente los coeficientes de transferencia de calor y de masa. Se define como el cociente entre el coeficiente de convección de masa y la velocidad libre del flujo externo (En

flujo interno es la velocidad media de la masa del fluido).

$$St_{masa} = \frac{h_{masa}}{V} = Sh \frac{1}{ReSc} \quad \text{Ec. 16}$$

Cabe notar que tanto en transferencia de calor como de masa se mantiene inalterado el número de Reynolds, el cual es definido como el cociente entre el producto de la velocidad del fluido y la longitud característica y la viscosidad cinemática.

$$Re = \frac{VL_c}{\nu} \quad \text{Ec. 17}$$

En conclusión, los parámetros adimensionales expuestos anteriormente son valores que facilitan la determinación del coeficiente de convección de masa, de esto se realiza una aproximación más detallada: El vapor de agua se puede modelar como un gas ideal debido a que su valor de presión parcial en el aire (Ley de Dalton de las presiones aditivas) es muy baja en comparación a la presión atmosférica.

$$\dot{m}_v = h_{masa} A_s \left[\frac{(P_v)_s - (P_v)_\infty}{T_s - T_\infty} \right] \quad \text{Ec. 18}$$

La transferencia de calor por la evaporación del agua es la siguiente:

$$\dot{Q} = \dot{m}_v h_{fg} \quad \text{Ec. 19}$$

En donde:

\dot{Q} : Calor por convección por unidad de tiempo.

\dot{m}_v : Flujo másico de vapor de agua.

h_{fg} : Entalpía de vaporización por unidad de masa.

Durante el proceso de enfriamiento evaporativo, este flujo de calor será un parámetro importante porque indicará la cantidad de energía que el aire transfiere hacia el agua para evaporarla y producir de esta manera una disminución en la temperatura del aire atmosférico.

1.3.2 Antecedentes

La climatización evaporativa es el método más antiguo de acondicionamiento de aire, su funcionamiento puede observarse a menudo, desde el mismo proceso de refrigeración corporal (evaporación del sudor), hasta en zonas donde las cascadas de agua están presentes (el clima se siente mucho más fresco).

Se dice que en el antiguo Egipto se utilizaban tinajas de barro (material poroso) llenas de agua. Cuando el aire pasaba a través de ellas, se enfriaba; ésta es la forma más antigua que se conoce de climatización evaporativa empleada por el ser humano.

Uno de los orígenes principales de la climatización evaporativa fue en países como Irán. Ellos poseían estructuras conocidas como badgir, cuya traducción sería “atrapa-vientos”.

“El atrapa-vientos ha sido utilizado en Irán desde hace mucho tiempo, es una más de la gran gama de piezas maestras dentro de la arquitectura iraní y también representa la inteligencia de sus predecesores al estar de acuerdo con el clima, se pueden considerar como el ejemplo más específico de energía limpia.”(Passive and low energy cooling for the build environment, 2005, p.1)

Dichas torres están elaboradas con ladrillo de barro y paja, su color característico refleja la radiación solar, permitiendo su no-absorción en las superficies. Cuentan con una serie de entradas en su parte superior las cuales permiten el ingreso de aire caliente en la torre. Dentro se cuenta con un pasaje hacia un depósito de agua o a una fuente; el agua absorbe calor del aire caliente logrando su enfriamiento, sin embargo la parte del agua que se evapora incrementa la cantidad de humedad que posee.



Ilustración 28-Bagdir en Irán

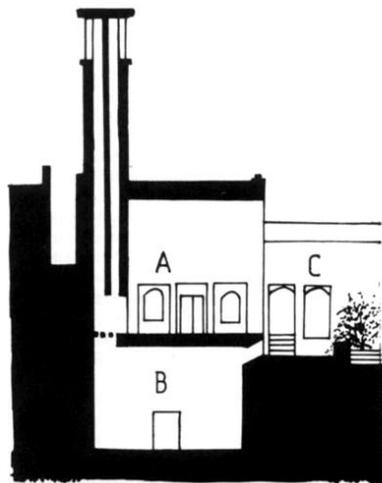


Ilustración 29-Vista de sección de un atrapa-viento utilizado en los cuartos principales de una casa en Yazd. A. Talar (salón) B. Sótano C. Patio con piscina

“Cuando un atrapa-vientos está ubicado en el techo de un edificio, un fuerte viento generará una alta presión en el lado que está ubicado por donde proviene el aire, y bajas presiones se generarán

en el lado del atrapa-vientos hacia donde se dirige el aire. Esta diferencia de presiones es suficiente para dirigir el aire fresco desde dentro del edificio y extraer el aire viejo que se encuentra en su interior por medio de las entradas del atrapa-vientos.”(Bachiller E. Jazaveri, 2011)

Como se observa en la Ilustración 29 al estar la torre colocada en lo alto, el viento que sopla es mucho más fuerte. Esto provoca que existan presiones mucho más bajas en el interior de la torre, al mismo tiempo que se generan caídas en el exterior cuando el viento choca con ella. Esto provocará que la dirección del aire fresco se redirija hacia el interior de la estructura y al mismo tiempo que el aire caliente en su interior suba y salga del edificio.

Estas torres como tales marcaron el inicio del acondicionamiento de aire y de la climatización evaporativa.

El principio de la climatización evaporativa también se debe a los desarrollos en el acondicionamiento de aire como tal. Esto data del siglo XVIII, en el cual comenzaron los intentos por crear un sistema de acondicionamiento que permitiera brindar confort al ser humano.

En 1842 el científico británico William Thompson (Lord Kelvin), desarrolló el primer circuito de absorción de calor mediante gas refrigerante. Esto prácticamente marcó el inicio del desarrollo de los sistemas de acondicionamiento de aire. Su circuito se basaba en tres principios fundamentales:

- ✓ La transferencia de calor se da desde la temperatura más alta a la más baja

- ✓ Existe absorción de calor al cambiar el estado físico de líquido a gaseoso.
- ✓ La presión y la temperatura están directamente relacionadas.

En julio de 1902 un joven ingeniero investigador hizo una serie de dibujos mecánicos diseñados para resolver un problema de producción en la empresa de litografía e impresión Sackett&Wilhelms en Brooklyn, New York. El joven de 25 años, Willis Carrier, había preparado diseños para su nuevo empleado “La compañía Buffalo Forge”. Desde que se graduó de la Universidad de Cornell, este modesto ingeniero había hecho diseños para plantas de calefacción, una secadora de café y una secadora de madera; todos estos diseños fueron intercambiados con la empresa, la cual se dedicaba a distribuir ventiladores, calentadores, entre otros.

Carrier había probado en sus experimentos reemplazando vapor con agua fría fluyendo a través de bobinas de calefacción, así se establecía un balance entre la superficie de las bobinas y el flujo de aire, de tal manera que la temperatura del aire podía regularse a la deseada.

El primer set de bobinas fue instalada en la planta Sackett&Wilhelms en el verano de 1902, junto con una serie de ventiladores, ductos, calentadores y tuberías perforadas de vapor para humidificación y control de temperatura. El agua fría era tomada de un manantial el primer verano de operación y luego fue reemplazado por un compresor de amoníaco en la primavera de 1903 para lograr suplir la demanda del primer verano en operación. El sistema como tal estaba diseñado para mantener una humedad constante de 55%.

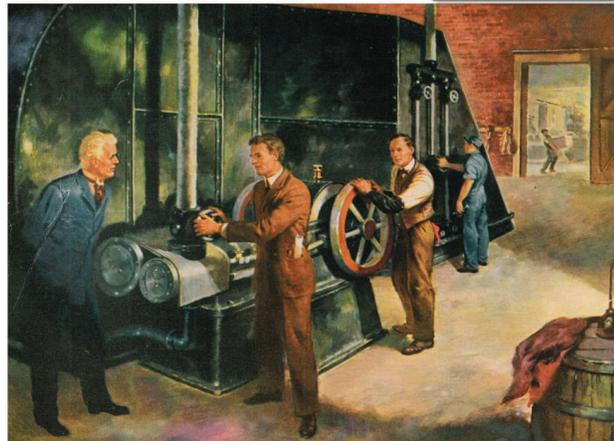


Ilustración 30-Primer equipo de acondicionamiento de aire por Willis Carrier

Ya para octubre de 1903, se reportó que las bobinas refrigerantes habían dado excelentes resultados. Esto sembró oportunidad en la mente del brillante Willis Carrier, quien tras haber diseñado ese equipo daba inicio al desarrollo del acondicionamiento de aire.

Ya a partir de 1920, las nuevas tecnologías y los avances realizados por Willis Carrier llevaron no solo al desarrollo de sistemas mucho más complejos, como los Chillers o refrigeración centrífuga (utilizada para enfriamiento de líquidos) e incluso sistemas de acondicionamiento para otras aplicaciones no industriales, como para habitaciones y apartamentos.

Todos estos avances llevaron al desarrollo de sistemas de acondicionamiento como los que se poseen actualmente. Los primeros sistemas de aire acondicionado utilizaban agua como refrigerante, lo cual a pesar de brindar aire fresco, su capacidad de refrigeración era mucho menor, pues a temperaturas menores a 0°C se solidifica. Esto llevó a la experimentación con “refrigerantes”, los cuales pueden permanecer en estado líquido a temperaturas por debajo de los 0°C y, por tanto, brindar un mayor margen de refrigeración.



Ilustración 31-Aires acondicionado actuales

Ya en 1933 se comienza la comercialización del primer refrigerador con clorofluorocarbono (CFC-12). Esto marca el inicio de la utilización de refrigerantes como un medio dentro de la refrigeración y el acondicionamiento de aire.

Esto propensa los siguientes hechos:

- ✓ En 1957 se crea el sistema mundial de observación del ozono.
- ✓ En 1978 Estados Unidos prohíbe el uso de los CFC's como propelente.
- ✓ En 1985 se descubre el agujero de ozono en la Antártida.(Manual de buenas prácticas ambientales y buenas prácticas en el manejo de sistemas de refrigeración y aire acondicionado en Guatemala, 2015)

Los estudios realizados y los hechos llevaron a la firma de múltiples protocolos como el de Montreal, el convenio de Viena y el protocolo de Kyoto, los cuales limitaban la utilización de refrigerantes debido a su impacto ambiental y a la salud de las personas.

La limitación a la utilización de refrigerantes llevó al diseño de nuevos equipos que de preferencia no utilicen refrigerantes CFC (clorofluorocarbono) o

HCFC (hidroclorofluorocarbono) pero brindan un amplio rango de acondicionamiento. De esto surgen los climatizadores evaporativos: equipos diseñados para acondicionar aplicando el principio de la evaporación y la utilización del agua como refrigerante, descubierto desde tiempos atrás; brindando así una alternativa al acondicionamiento de aire actual y evitando la contaminación del ambiente y el daño a la capa de ozono.

1.3.3 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de los sistemas de acondicionamiento de aire evaporativo se basa en la evaporación del agua. Antes de hablar acerca de la evaporación se deben aclarar los conceptos de calor sensible (Pag. 41) y latente (Pag. 42) para entender cómo es que ocurre la humidificación del ambiente.

Durante el proceso de climatización evaporativa, el aire (que se encuentra a mayor temperatura que el agua) cede calor tanto sensible como latente al agua, el calor sensible permite que experimente una reducción en su temperatura, y el calor latente permite que el agua cambie de estado físico de líquido a vapor y humedezca el aire.

Se obtiene al final aire a temperatura más baja pero con un mayor grado de humedad relativa.

Ahora bien, el equipo de acondicionamiento de aire evaporativo debe contar con un sistema que permita el contacto directo entre agua y aire. Además de permitir obtener una temperatura determinada. Dicho equipo se puede dividir en sistemas de operación:

- ✓ Sistema mecánico: Consta del equipo de succión de aire del ambiente y de su distribución en el equipo de climatización.
- ✓ Sistema de transferencia de calor y masa: Compuesto prácticamente por el panel evaporativo que es el encargado de transmitir el calor del aire hacia el agua para obtener el enfriamiento deseado.
- ✓ Sistema hidráulico: Encargado de transmitir el agua desde el tanque de almacenamiento hasta el dispositivo de distribución y panel evaporativo.
- ✓ Sistema eléctrico y de automatización: Es el encargado de mantener el control de las variables de temperatura y humedad en el ambiente exterior e interior del equipo.

1.3.3.1 Proceso de transferencia de calor y masa

El análisis de la transferencia de calor y de masa para el climatizador evaporativo se realiza únicamente en los paneles evaporativos, dichos paneles son rociados con agua y a través de ellos se hace circular aire.

El aire relativamente seco y con mayor temperatura transfiere energía calorífica al agua líquida que se encuentra sobre la superficie del panel, produciendo que éste se evapore, provocando una disminución en la temperatura, y debido a la diferencia de concentraciones (Expresada en términos de la densidad) el vapor se difunde desde la superficie del panel hacia la corriente de aire en movimiento aumentando la humedad, este movimiento de masa desde la superficie hacia el aire se conoce como convección de masa.

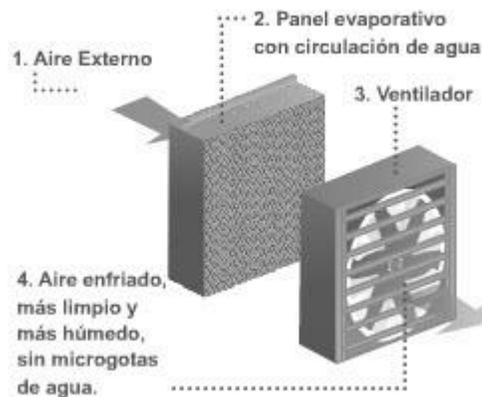


Ilustración 32-Tratamiento del aire a través del panel evaporativo

El análisis en el diseño del climatizador se considerará únicamente la transferencia de calor y masa en el panel evaporativo. Por consecuencia, el aporte del agua en el tanque se tomará despreciable.

1.3.3.2 Sistema mecánico

Éste sistema es el encargado de transformar la energía eléctrica en movimiento mecánico, se compone de los siguientes elementos:

1.3.3.2.1 Componentes mecánicos

- Motor eléctrico: Es el encargado de transformar la entrada eléctrica en movimiento rotatorio a través de un eje.
- Bomba: Su función es la de impulsar el agua desde un punto inicial hacia un punto final mediante el aumento de su presión.
- Ventilador: Dispositivo que impulsa una masa de aire desde un lugar a otro.
- Venturi: Es un elemento de sección transversal variable que tiene la función de acelerar el flujo de aire que pasa a través de él mediante la disminución de su sección transversal.



Ilustración 33-De izquierda a derecha: Motor monofásico, Bomba y ventilador centrífugo

1.3.3.2 Transmisión de potencia

La transmisión se lleva a cabo mediante una polea, su funcionamiento consiste en transferir la fuerza desde el eje del motor hacia el eje del ventilador, dicha fuerza debe de ser de una magnitud tal que permita vencer las fuerzas inerciales y de fricción intrínsecas al mismo, permitiéndole tener un movimiento rotacional a una velocidad específica, las bandas empleadas en estos casos suelen ser de tipo "V", actualmente se trata de incorporar bandas eslabonadas.



Ilustración 34-Banda tipo "V" (izquierda) y banda eslabonada (derecha)

Esta transmisión se lleva a cabo cuando el eje del motor difiere del eje del ventilador, según el diseño, los ventiladores centrífugos son accionados por poleas, mientras que los ventiladores axiales son mediante acople directo (Tienen el mismo eje en común que el motor).

1.3.3.3 Sistema hidráulico

El sistema hidráulico de un climatizador evaporativo está compuesto por diversos elementos, su función es la de mandar el flujo de agua desde el tanque

de almacenamiento hasta el distribuidor de agua que la dirige hacia el panel evaporativo. El principio de funcionamiento de este sistema se explica mediante el principio de Bernoulli.

1.3.3.3.1 Principio de Bernoulli

El principio de Bernoulli es una relación aproximada entre la presión, la velocidad y la elevación, y es válida en regiones de flujo estacionario e incompresible en donde las fuerzas netas de fricción son despreciables.

La aproximación clave en la deducción de la ecuación de Bernoulli es que los efectos viscosos son despreciablemente pequeños en comparación con los efectos de inercia, gravitacionales y de la presión. Esto delimita las zonas en las cuales puede aplicarse la ecuación de Bernoulli a aquellas donde la viscosidad sea tan despreciablemente pequeña que la zona puede ser considerada una región no viscosa del flujo.

La ecuación de Bernoulli para flujos incompresibles se puede definir de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \quad \text{Ec. 20}$$

“La suma de la energía cinética, la potencial y de flujo de una partícula de fluido es constante a lo largo de una línea de corriente que es constante en el transcurso del flujo estacionario, cuando los efectos de la compresibilidad y de la fricción son despreciables”. (Cengel & Cimbala, 2007, p.192)

Generalmente se considerarán no solo la potencia que brinda la bomba sino también las pérdidas que se dan en los accesorios debido a cambios

entre flujos laminares (líneas de corriente suaves y movimiento sumamente ordenado) y turbulentos (fluctuaciones de velocidad y movimiento desordenado). Con esto es posible calcular la potencia requerida por la bomba para que el sistema funcione eficazmente.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 + H_B = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 + H_T \quad \text{Ec. 21}$$

Donde las pérdidas totales equivalen a la sumatoria de las pérdidas primarias y las pérdidas secundarias:

$$H_T = \sum H_p + \sum H_s \quad \text{Ec. 22}$$

Las pérdidas primarias se refieren a las caídas de presión producto del efecto de fricción del fluido con las tuberías, están en función de la longitud de las tuberías, sus diámetros y la carga de velocidad.

$$H_p = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad \text{Ec. 23}$$

Las pérdidas secundarias son producto de válvulas, orificios o diferentes cambios de sección que experimenten las tuberías. Estas pérdidas son pequeñas y están en función del coeficiente de pérdida K y la carga de velocidad del fluido.

$$H_s = K \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 24}$$

Al obtenerse se puede determinar la potencia que requiere para operar el sistema y vencer todas las pérdidas:

$$Pot_B = \rho g Q H \quad \text{Ec. 25}$$

De tal manera que puede realizarse la selección tanto de bomba como de motor necesario para obtener la carga específica.

1.3.3.3.2 Componentes

El circuito que define el sistema hidráulico que contiene un acondicionador evaporativo se muestra a continuación:

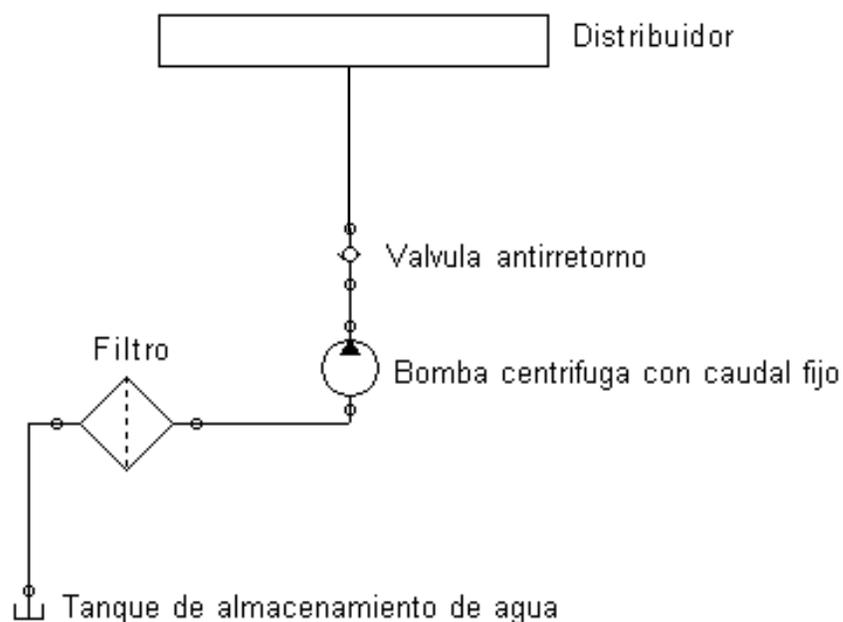


Ilustración 35-Circuito hidráulico del climatizador evaporativo

Tanque de almacenamiento: Un tanque de almacenamiento de agua está elaborado de materiales como el polietileno, fibras de vidrio, entre otros. Sus tamaños están en función de la cantidad de agua que se requiera en el sistema, además de contar con los desagües y tuberías de descarga necesarias en caso de excedido el volumen máximo que admiten. En los equipos de acondicionamiento de aire evaporativo el tanque normalmente posee una capacidad de 40 litros para equipos medianos.

Filtro de admisión: En un sistema de acondicionamiento de aire es necesario filtrar el agua que ingresa al sistema, esto debido a que pequeños contaminantes nocivos que provengan del aire pueden agregarse al fluido. Típicamente, el medio filtrante utilizado tiene una clasificación de micrones más alta, como una malla de alambre.

Estos filtros de admisión son seleccionados en base al flujo volumétrico de entrada, además de tener en cuenta las dimensiones de las conexiones de entrada y salida pues dependen de las tuberías seleccionadas.

Tuberías: Las tuberías de un sistema hidráulico deben poseer el diámetro necesario para que ocurra la menor turbulencia posible y por tanto pérdidas de energía. La selección depende tanto de las condiciones ambientales, así como del fluido a utilizar, la temperatura de operación, vibraciones, si hay o no movimiento relativo entre los componentes conectados. Es de evitar los conductores de cobre pues promueve la oxidación, además de los conductores de zinc, magnesio y cadmio pues son corroídos rápidamente por fluidos agua-glicol.

Válvula antirretorno: Las válvulas antirretorno son aquellas que permiten el flujo en una dirección pero bloquean el mismo en la otra dirección. La mayoría de las válvulas antirretorno son del tipo bola de retención. Una bola que es ligeramente mayor que el diámetro de la línea de suministro se utiliza para bloquear la línea de suministro y detener el flujo de agua; esa bola está conectada a un resorte que la mantiene en la posición de cierre o apagado. Cuando el agua entra desde el lado de la línea del suministro de la válvula, la presión del agua es lo suficientemente fuerte como para forzar la pelota hacia atrás y permitir que el agua pase a través de la válvula hacia la cañería.

Cuando no hay presión de agua en la línea de suministro la bola permanecerá en posición cerrada, evitando que el agua de la tubería llegue más allá de la válvula en la línea de suministro. Existen casos en que el agua es suministrada en ambas direcciones, el lado que tiene mayor presión de agua es el que definirá la dirección del flujo. Si se aplica más presión procedente de la línea de suministro, la bola se moverá a la posición abierta y el agua de entrada obligará al agua del otro lado de la válvula a regresar a la tubería. Si se aplica más presión del lado contrario al de suministro, forzará la bola a la posición cerrada, impidiendo el flujo de agua desde ese lado.

Distribuidor: El sistema de distribución de un sistema de acondicionamiento de aire evaporativo está compuesto por pequeñas salientes donde, depositándose el agua, se dirigirá hacia diferentes canales y se distribuirá de manera uniforme en el panel evaporativo.

Las dimensiones del distribuidor están en función del tamaño y espesor del panel evaporativo, pues el agua deberá cubrirlo en su totalidad para lograr una mayor transferencia de calor.

1.3.3.3 Pérdidas hidráulicas

Como se había mencionado con anterioridad, un tema de interés en el análisis de flujo a través de tuberías es la causa principal de caídas de presión. Esto debido a que dichas pérdidas están directamente relacionadas con la capacidad de la bomba para mantener el flujo.

Pérdidas en la tubería: Las pérdidas en la tubería son aquellas que se definen como pérdidas primarias, estas pueden expresarse en función de una altura equivalente como se demostraba en la Ec. 23. Este valor representa la

altura adicional que el fluido necesita para elevarse por medio de una bomba con la finalidad de superar las pérdidas por fricción en la tubería.

Pérdidas en codos: Las pérdidas en codos son definidas como pérdidas secundarias en un sistema hidráulico.

1.3.3.4 Sistema de automatización

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

La *Parte Operativa* que es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores, entre otros.

La *Parte de Mando* suele ser un autómata programable. Este puede ser un microcontrolador, un microprocesador, un circuito integrado, entre otros. En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los elementos del sistema automatizado.

En el caso del sistema de acondicionamiento de aire evaporativo la parte operativa estaría definida por el motor del ventilador ya sea axial o centrífugo que controla la velocidad del flujo de aire y la bomba de agua para establecer el flujo de agua.

La parte de mando está definida por el microcontrolador Arduino, con el cual, a partir de medidores como termocuplas, higrómetros y sevomotores, brindará la señal indicada para que el flujo tanto de aire como de agua cambien, todo esto mediante el control de velocidad de los motores del ventilador y bomba del sistema.

1.3.3.4.1 Arduino

Es un microcontrolador con plataforma de fuente abierta que es capaz de medir variables conocidas como entradas y convertirlas en salidas. Arduino es una plataforma con sencillez en su uso y una amplia gama de funciones que puede desempeñar.

Surgió en el Instituto de diseño de interacción Ivrea como una herramienta rápida para que los estudiantes aprendieran electrónica y programación. La amplia gama de aplicaciones de Arduino va desde simples codificaciones de 8 bits hasta impresoras en 3D y robótica. Es una plataforma muy fácil de usar y muy flexible (Mac, Windows y Linux).

Arduino se presenta en diferentes formas:

De entrada: Son la forma más sencilla, utilizado para los proyectos iniciales para acostumbrarse a su entorno. Aquí se encuentran el Arduino UNO, Arduino 101, y Arduino PRO.

Avanzado: Para más experimentados y proyectos más avanzados y complejos, comprende Arduino Mega 2560, Arduino ZERO y Arduino DUE.

Circuitos integrados para ropa: Utilizados para adherir algunas características a textiles. Comprende Arduino GEMMA, LILYPAD Arduino

simple, entre otros.

Impresión 3D: Con Materia 101 se puede hacer impresiones en 3D de manera sencilla.

El control de señales en el caso del acondicionamiento de aire evaporativo puede hacerse mediante la utilización de un sistema electrónico controlado por un microcontrolador Arduino Mega.

Arduino MEGA es una plataforma mucho más compleja, con ayuda de elementos electrónicos tanto medidores como circuitos integrados, es posible lograr una plataforma que transforme señales de temperatura y humedad en señales en rpm para regular la velocidad de los motores del equipo. Arduino está compuesto por 54 pins de entrada y salida, 16 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una entrada para conexión USB y un botón para “reset” (volver a poner a cero).

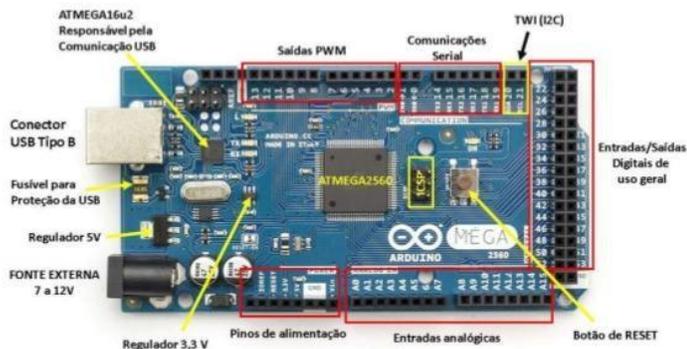


Ilustración 36-Arduino MEGA y sus componentes

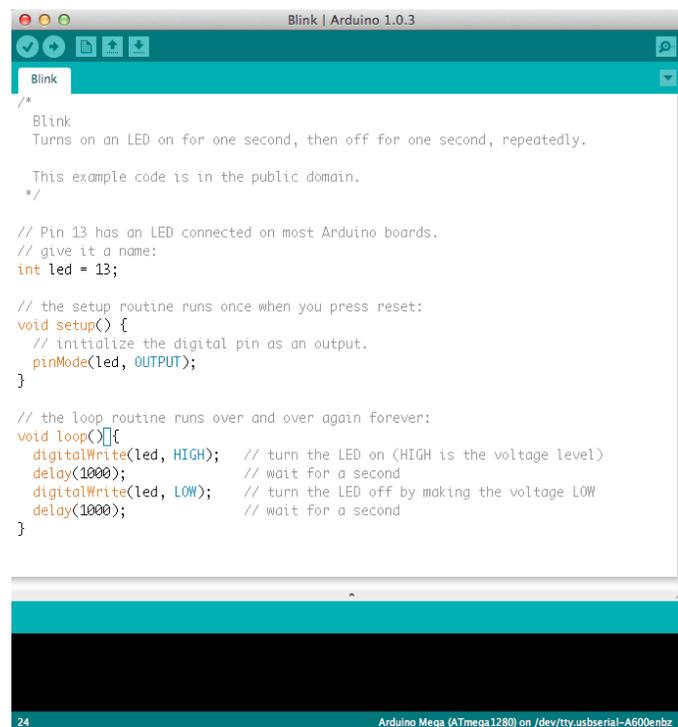
CÓMO SE UTILIZA

Cada uno de los 54 pines de entrada y salida puede ser operado a 5 V y puede recibir o entregar un máximo de 20 mA. Algunos pines poseen funciones especiales, los pines del 1 al 19 actúan como receptores o transmisores de señal

TTL (transistor-transistor).

El pin 13 posee conexión con un Led, el cual indica cuando dicho pin se encuentra energizado o des-energizado.

El funcionamiento del microcontrolador se basa en la conexión de diferentes elementos electrónicos a sus entradas y salidas y programando mediante el entorno de desarrollo IDE.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "Blink | Arduino 1.0.3". The main window displays the following code:

```
/*
 * Blink
 * Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
 *
 * This example code is in the public domain.
 */

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);             // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);  // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);             // wait for a second
}
```

The status bar at the bottom indicates "24" and "Arduino Mega (ATmega1280) on /dev/tty.usbserial-A600enb".

Ilustración 37-Entorno de desarrollo IDE de Arduino

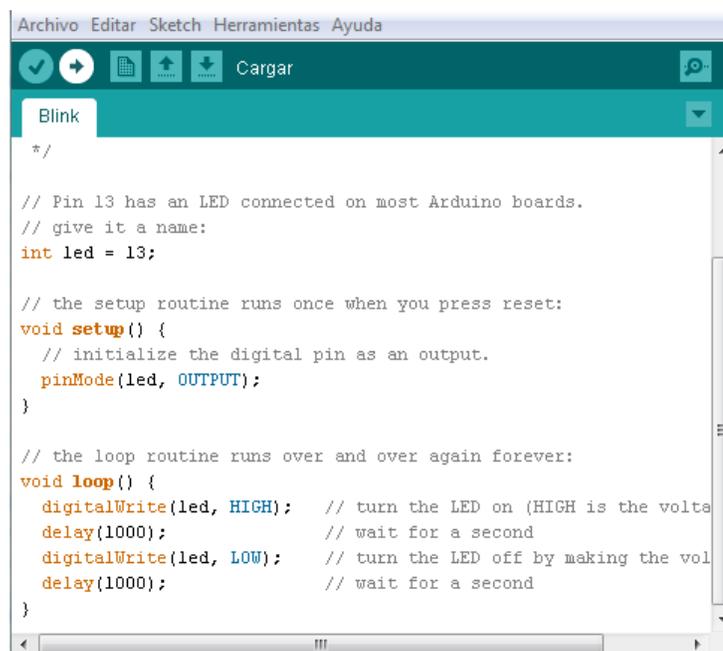
ESTRUCTURA BÁSICA DE UN PROGRAMA

La estructura básica de programación de Arduino es bastante simple y divide la ejecución en dos partes: *setup* y *loop*. *Setup()* constituye la preparación del programa y *loop()* es la ejecución.

En la función *Setup()* se incluye la declaración de variables y se trata de la primera función que se ejecuta en el programa. Esta función se ejecuta una

única vez y es empleada para configurar el *pinMode* (si un determinado pin digital es de entrada o salida) e inicializar la comunicación serie. Al mismo tiempo se utiliza para declarar pines encargados de servomotores y las funciones correspondientes a pantallas LCD.

La función *loop()* incluye el código a ser ejecutado continuamente (leyendo las entradas de la placa, salidas, etc.).



```
Archivo  Editar  Sketch  Herramientas  Ayuda
Cargar
Blink
*/
// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the volta
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW); // turn the LED off by making the vol
  delay(1000); // wait for a second
}
```

Ilustración 38-Aplicación de las funciones *setup()*, *loop()* y *pinMode()*

Como puede observarse en el código de ejemplo “Blink”, primeramente se le coloca un nombre al pin a utilizar, en este caso al pin 13 se le llama led. En la etapa setup se denota al pin “led” como salida y luego en la etapa loop se le manda la señal para que encienda el led por 1 segundo (en Arduino el tiempo se establece en milisegundos) y luego se apague por el mismo tiempo.

Como puede notarse cada bloque de código acabó con el signo de puntuación “;” al igual que en la codificación java, y los comentarios se agregan

después de “//” (Doble barra oblicua).

La cantidad de funciones que posee Arduino son tantas que puede utilizarse para diferentes aplicaciones.

Las entradas análogas y digitales principales son:

1. Función `pinMode(pin, mode)`

Función usada en la *functionsetup()* para configurar un pin dado para comportarse como INPUT u OUTPUT.

2. Función `digitalRead(pin)`

Lee el valor desde un pin digital específico. Devuelve un valor HIGH o LOW. El pin puede ser especificado con una variable o una constante (0-13).

3. Función `digitalWrite(pin, value)`

Introduce un nivel alto (HIGH) o bajo (LOW) en el pin digital especificado. De nuevo, el pin puede ser especificado con una variable o una constante 0-13.

4. Función `analogRead(pin)`

Lee el valor desde el pin analógico especificado con una resolución de 10 bits. Esta función solo funciona en los pines analógicos (0-5). El valor resultante es un entero de 0 a 1023. Los pines analógicos, a diferencia de los digitales no necesitan declararse previamente como INPUT u OUTPUT.

5. Función `analogWrite(pin, value)`

Escribe un valor pseudo-analógico usando modulación por ancho de pulso (PWM) en un pin de salida marcado como PWM. Esta función está

activa para los pines 3, 5, 6, 9, 10, 11. Ej. `analogWrite(pin, v);` // escribe 'v' en el 'pin' analógico. Puede especificarse un valor de 0 - 255. Un valor 0 genera 0 V en el pin especificado y 255 genera 5 V. Para valores de 0 a 255, el pin alterna rápidamente entre 0 V y 5 V, cuanto mayor sea el valor, más a menudo el pin se encuentra en HIGH (5 V).

Por ejemplo, un valor de 64 será 0 V tres cuartas partes del tiempo y 5 V una cuarta parte. Un valor de 128 será 0 V la mitad del tiempo y 5 V la otra mitad. Un valor de 192 será 0 V una cuarta parte del tiempo y 5 V tres cuartas partes.

6. Función tft (tft.begin, tft.setRotation, tft.setCursor)

Las funciones de una pantalla LCD están definidas por una serie de comandos cuya nominación principal es tft, con estas puede definirse el color de la pantalla, la ubicación del cursor, tamaño y color de letra, la orientación de la pantalla, etc.

7. Función servo (myservo.write)

Esta función se utiliza para escribir un valor fijo en grados al servomotor, es posible utilizar una señal externa como un potenciómetro para controlar el giro del servomotor, utilizando en este caso un mapeo de la señal, que convierte una señal de voltaje en un valor de grados de servomotor.

Además puede operar funciones matemáticas, sumas, restas, productos y divisiones utilizando los símbolos tradicionales (+, -, *, /), así como funciones complejas como exponenciales (utilizando la función `pow(,)`). Entre otras funciones tenemos `delay` (pausa) y `min` (mínimo) y `max` (máximo); así como condicionales `if` (si algo pasa), `else` (si no ocurriera) o `while` (mientras).

USO DE FUNCIONES EN ARDUINO

Dentro del entorno de Arduino, se emplea de forma recurrente las “Funciones”, estas permiten realizar un conjunto de instrucciones las veces que sean necesarias dentro del programa (Las funciones *setup()*, *loop()*, *delay()* entre otros, son un claro ejemplo de ellos), su uso proporciona una ventaja considerable para el programador debido a que permite seccionar las acciones del código asignándoles una tarea particular, en segundo lugar facilita la comprensión del programa ya que se cuenta con un mayor orden.

Finalmente el uso de las funciones reduce considerablemente el tamaño del sketch ya que en la mayoría de los programas tienden a utilizar tareas repetitivas.

Para crear una función, en primer lugar se debe declarar fuera del *loop()* y *setup()* colocando qué tipo de función será (Ya sea *void*, *int*, etc.) seguido del nombre al cual posteriormente será llamado desde el *loop()*, un ejemplo práctico sobre el uso de las funciones se detalla a continuación:

```
void setup(){
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int i = 2;
  int j = 3;
  int k;

  k = myMultiplyFunction(i, j); // k now contains 6
  Serial.println(k);
  delay(500);
}

int myMultiplyFunction(int x, int y){
  int result;
  result = x * y;
  return result;
}
```

Ilustración 39-Ejemplo sobre el uso de la función *myMultiply*

En este programa la función se llama *myMultiplyFunction* ésta devolverá una variable entera (*int*), para este fin, se deben ingresar dos variables (En este caso son *x* e *y*, siendo ambas variables enteras), es muy importante definir el tipo de variable a operar para que sea coherente con el resultado. Dentro de la función se declara una variable local *result* (Variable entera) la cual es la que almacenará el resultado de la multiplicación entre *x* e *y*, finalmente se asigna un retorno (*return*) la que finalmente regresa al loop y es asignada a la variable *k* (Se destaca que el tipo de variable es coherente a la utilizada en la función).

SENSOR DE TEMPERATURA LM35

El LM35 es un circuito integrado de precisión que es capaz de medir la temperatura del ambiente mediante una entrada y salida de voltaje que es proporcional a la escala Celsius.



Ilustración 40-Sensor LM35

El sensor LM35 no requiere calibración externa para poder brindar un rango de medición de -55 a 150 °C, a pesar de que su rango de operación es de -40 a 110°C.

Como puede observarse en la figura, el LM35 posee 3 pines, uno es la entrada de voltaje, el otro es la salida de la señal luego de leída y por último el que corresponde a tierra.

SENSOR DE HUMEDAD DHT11

El sensor DHT11 es un sensor básico, de bajo costo que es capaz de medir tanto humedad como temperatura. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire que los rodea y manda una señal digital al pin que se haya definido en el micro-controlador. Es muy sencillo de utilizar pero requiere alta precisión para obtener información correcta. Su principal desventaja es que solo es capaz de recolectar información cada 2 segundos.



Ilustración 41-Sensor DHT11

En el caso del sensor DHT11 posee 3 pines, cada una de ellos se detalla a continuación:

Vcc → 10k Ohm resistor → 5V

DATA → 10k Ohm resistor → Pin 9

GND → Tierra

SERVOMOTOR

Un servomotor es un dispositivo rotativo que consta de un motor eléctrico, una serie de engranes de un placa electrónica, este transforma una señal PWM (Modulación por ancho de pulso). En movimiento rotativo. Entre sus principales características podemos denotar que estos dispositivos electromecánicos no realizan una rotación continua. Al contrario solo pueden rotar entre 0 y 180°.

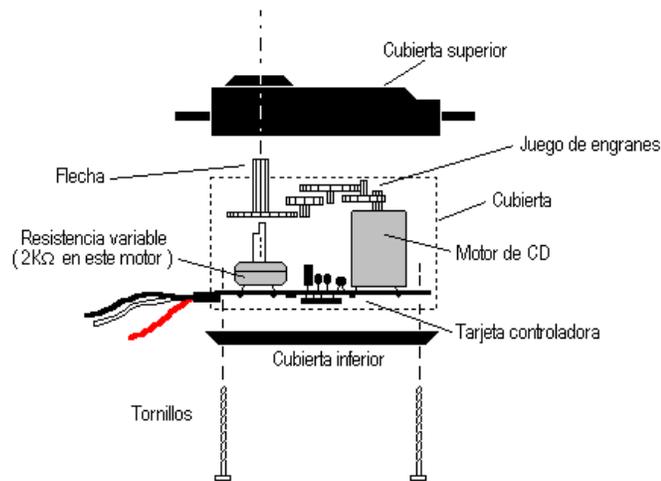


Ilustración 42-Servomotor y sus componentes

Cuenta con un potenciómetro cuya función es retroalimentadora, envía una señal al microcontrolador indicando la posición de la flecha, de este modo lo mantiene fijo en su posición hasta recibir otra señal.

Los servomotores en su mayoría son utilizados para realizar movimientos simples, su aplicación más común es el movimiento de brazos robóticos.

PLACAS ELECTRÓNICAS (CREACIÓN DE CIRCUITO ELECTRÓNICO)

Las placas electrónicas son un dispositivo que permite contener circuitos electrónicos que cumplen diversas funciones. Se observan muy a menudo en objetos de uso cotidiano así como televisores, computadoras, ventiladores, lámparas, entre otros.

Estas placas contienen impreso el circuito que se requiere para que la operación cumpla y cómo deben ir conectados los diferentes elementos que posee como resistencias, condensadores, entre otros.

Utilizando programas como LiveWire y PCB Wizard para hacer el circuito electrónico, se pueden luego crear placas electrónicas para el desarrollo del proyecto.

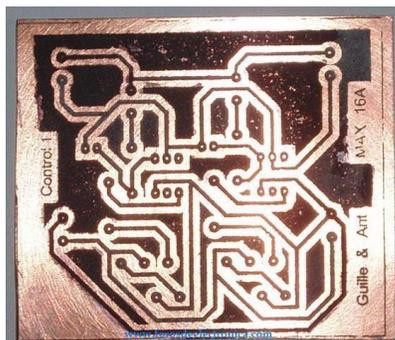


Ilustración 43-Ejemplo de un circuito impreso

RESISTENCIAS

La resistencia es el elemento pasivo más simple, así que la explicación comienza considerando el trabajo de un humilde físico alemán George Simon Ohm, quien en 1827 publicó un documento en el que describía los resultados de uno de los primeros intentos para medir corrientes y tensiones, y para describirlos y relacionarlos en forma matemática. Uno de los resultados fue el planteamiento de una relación una relación fundamental llamada ahora Ley de Ohm.

La ley de Ohm establece que la tensión entre los extremos de materiales conductores es directamente proporcional a la corriente que fluye a través del material:

$$v = IR$$

Ec. 26

Donde la constante de proporcionalidad R recibe el nombre de resistencia.

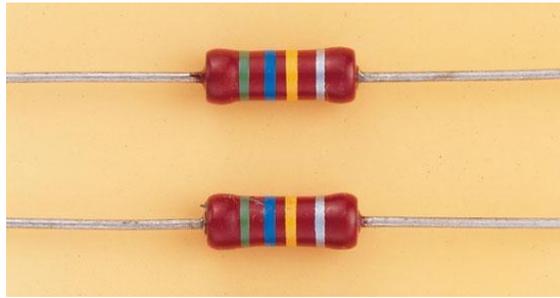


Ilustración 44-Resistencias eléctricas

CONDENSADORES

Es un componente que almacena energía eléctrica. Están conformados por 2 placas conductoras separadas por un material dieléctrico. Dichas placas almacenan energía eléctrica al estar conectadas a una fuente.



Ilustración 45-Condensador

TRIAC (Triodo para alternar corriente)

Es un semiconductor de tres terminales que se utiliza para controlar corriente, a diferencia de un tiristor que solamente es capaz de conducir en una sola dirección, el triac es capaz de conducir en ambas direcciones.

Un TRIAC consta de 2 terminales referidos como ánodos (Main terminal 1 MT1 y Main terminal 2 MT2) o terminal principal y una terminal conocida como Puente.

El funcionamiento de un TRIAC está basado en el funcionamiento de un tiristor, cuando ocurre la conducción en un TRIAC, es decir cuando se alcanza un valor de voltaje entre sus terminales superior a su valor mínimo, este

permitirá una trayectoria de flujo de corriente en una dirección específica; cuando el voltaje es positivo en el MT2 la corriente fluirá del MT2 al MT1 y en caso contrario ocurrirá en la otra dirección.

La cantidad de corriente que el TRIAC permite su paso está en función del tiempo en que este se encuentra en conducción, con esto puede controlarse la potencia que brinda y por tanto controlar dispositivos como luminarias, motores, etc.

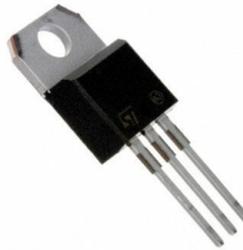


Ilustración 46-TRIAC

RELÉS

Son pequeños interruptores que mediante un electroimán controla la posición del contacto eléctrico normalmente cerrado o abierto.

Los relés pueden ser utilizados para controlar encendido y apagado de circuitos de potencia, normalmente la señal que requiere para excitar la conmutación no es muy elevada por lo que los 20mA de un pin de Arduino son suficientes.



Ilustración 47-Relé para arduino

1.3.4 Aplicaciones y usos del acondicionamiento evaporativo

Los equipos de climatización evaporativos tienen múltiples aplicaciones, adaptándose en cada caso para una finalidad en particular, tanto para el acondicionamiento de una habitación como para el empleo comercial e industrial; variando su diseño en cada caso para suplir estas necesidades.

Comúnmente los equipos de climatizado evaporativo se observan en:

- ✓ Plantas industriales
- ✓ Centros comerciales
- ✓ Súper mercados
- ✓ Cafeterías
- ✓ Oficinas
- ✓ Residencias
- ✓ Bibliotecas
- ✓ Bodegas

1.3.5 Consideraciones generales

- ✓ La evaporación tendrá relevancia solamente en el panel evaporativo, por consiguiente, el aporte de agua evaporada en la superficie del contenedor será despreciable.
- ✓ Los efectos de impurezas en el flujo de aire no afectarán los cálculos.
- ✓ La carga térmica que el panel es capaz de disipar se distribuye uniformemente a través del mismo.

- ✓ No existirá transferencia de calor a lo largo de las tuberías de transporte de agua desde la bomba hacia el distribuidor.
- ✓ La transferencia de calor por conducción y radiación se consideran despreciables.
- ✓ Se considera en estado estacionario.
- ✓ Se tomarán en cuenta las caídas de presión del aire a través del panel evaporativo.
- ✓ Se tomará como base el tamaño del espacio a climatizar, las actividades que se realizarán en él y la cantidad de personas para la estimación de la carga térmica del recinto.
- ✓ Las condiciones de temperatura y humedad son estimadas en base a datos del año 2015.
- ✓ El diseño se realizara en base a su mayor demanda de carga en época de verano.

1.3.6 Ventajas y desventajas

VENTAJAS

- ✓ El empleo de agua como fluido de trabajo elimina la posibilidad de dañar la capa de ozono.
- ✓ El agua no es un fluido nocivo para la salud.
- ✓ Un climatizador no solo regula la temperatura, sino también controla el contenido de vapor de agua en el aire y el flujo del mismo permitiendo tener una mejor calidad del aire.

- ✓ Durante su funcionamiento se limpian impurezas.
- ✓ Mayor facilidad de mantenimiento debido a que cuenta con pocos componentes.
- ✓ Es relativamente silencioso, algunos modelos pueden emitir ruidos <76 dB (Marengo Ventiladores, s. f.) que puede ser menor al ruido emitido durante una conversación en casa (Hewitt, 2004, p.401)
- ✓ Su peso es bajo.

DESVENTAJAS

- ✓ Algunos repuestos solo son proporcionados por el distribuidor de los equipos.
- ✓ Su eficiencia disminuye cuando aumenta la humedad en el ambiente, como en lugares tropicales.
- ✓ La humedad puede afectar equipos eléctricos y papelería, igualmente puede provocar la proliferación de hongos.
- ✓ El mantenimiento es más frecuente.
- ✓ Rango de temperatura más limitado.

1.3.7 Comparaciones entre acondicionamiento evaporativo y refrigeración por compresión

Tabla 3-Comparación equipos de acondicionamiento evaporativo y por compresión de vapor

Tipo de Acondicionamiento	Ventajas	Desventajas
Evaporativo	Cuenta con pocos elementos sencillos de identificar	Exceso de humedad
	Su refrigerante de operación no daña la capa de ozono	Aplicaciones limitadas a usos fijos
	Mantiene los espacios ventilados	
Por compresión de vapor	Aplicaciones tanto fijas como móviles	Cuenta con muchos elementos
	Genera aire seco que no daña máquinas ni papelería	Utiliza refrigerantes que dañan la capa de ozono

1.3.8 Impacto medioambiental

El climatizador evaporativo opera empleando agua como fluido de trabajo, esto indica a primera instancia que su utilización no afectará la capa de ozono debido a que el aire atmosférico ya contiene vapor de agua naturalmente, sin embargo, requiere un uso prolongado de las fuentes de agua residencial, y el agua actualmente es un bien muy preciado y el uso del mismo debe ser tomado en cuenta.

El ciclo de vida promedio de estos equipos puede rondar sobre los 10 años, (M. Ramírez, comunicación personal, 2 de septiembre de 2015) después de este

período de tiempo algunos componentes pueden ser reciclados como los componentes plásticos, aluminios, etc.; otros elementos como motores y bomba pueden ser reutilizados o igualmente reciclados tomando en cuenta su nivel de deterioro.

El elemento que más cambios requiere es el panel evaporativo debido a que atrapa la suciedad que contiene el aire a su paso y provoca la disminución de su rendimiento, su reposición no implica mayor problema gracias a que el material empleado es fibra de álamo o celulosa según sea el fabricante, este material es bio-degradable de origen natural.

2. DISEÑO

2.1 Componentes y condiciones ambientales del país

2.1.1 Medidores climatológicos

2.1.1.1 Higrómetro

Es un instrumento muy ampliamente utilizado que realiza medidas de la cantidad de humedad existente en el aire, actualmente existen muchas variantes que son más o menos precisos dependiendo de la aplicación y las condiciones a las cuales se toman los datos.

2.1.1.2 Higrotermógrafo

El higrotermógrafo es consiste en una unidad con dos medidores incorporados: Un termómetro y un higrómetro; en el campo meteorológico es útil porque permite realizar para el mismo intervalo de tiempo la toma de datos de la temperatura y la humedad relativa, que son parámetros básicos para ingresar a la carta psicrométrica.

2.1.1.3 Barómetro

Es un instrumento que permite conocer la presión (En kPa, atm o bares – de la cual proviene su nombre-) que ejerce la columna de aire por encima de él.

2.1.1.4 Anemómetro

Se utiliza para determinar la velocidad a la que fluye un gas –En este caso aire- las mediciones suelen llevarse a cabo mediante una pequeña turbina que es accionada por el movimiento perpendicular a su sección transversal, provocando una pequeña corriente proporcional a la velocidad angular de la

turbina mediante un generador.

2.1.1.5 Pluviómetro

Es un instrumento empleado para la medición de la cantidad de precipitado en un intervalo de tiempo dado.

2.1.1.6 Heliógrafo

Es empleado para determinar la duración de los rayos solares, es decir, la duración durante el día de la insolación en un sitio específico.

CLIMATOLOGÍA

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

El Salvador está situado en la parte Norte del cinturón tropical de la Tierra, de tal modo que en Noviembre y Octubre se ve influenciado principalmente por vientos del Noreste y, ocasionalmente, por nortes rafagosos que transportan aire fresco originado en regiones polares de Norteamérica, pero calentado en gran medida al atravesar el Golfo de México en su camino a Centroamérica.

El Salvador es un país Centroamericano caracterizado por tener un clima tropical, sin embargo, los cambios de temperatura a lo largo del año son pequeños en comparación a las lluvias que son muy marcadas diferenciando dos estaciones predominantes: Seca y lluviosa; y dos transiciones: De seca a lluviosa y de lluviosa a seca.

Durante los meses de marzo y abril ocurren los máximos valores de temperatura siendo coincidentes a la finalización de la estación seca.

El promedio anual del año 2015 fue de 24.2 °C, superior al promedio

normal de 23.8 °C, estos valores son tomados por las 24 estaciones meteorológicas del país. Es particularmente llamativo que la temperatura máxima anual se registró en la estación de Puente Cuscatlán con 37 °C por encima de su promedio anual de 35.9 °C. (Ministerio de medio ambiente y recursos naturales, 2015)

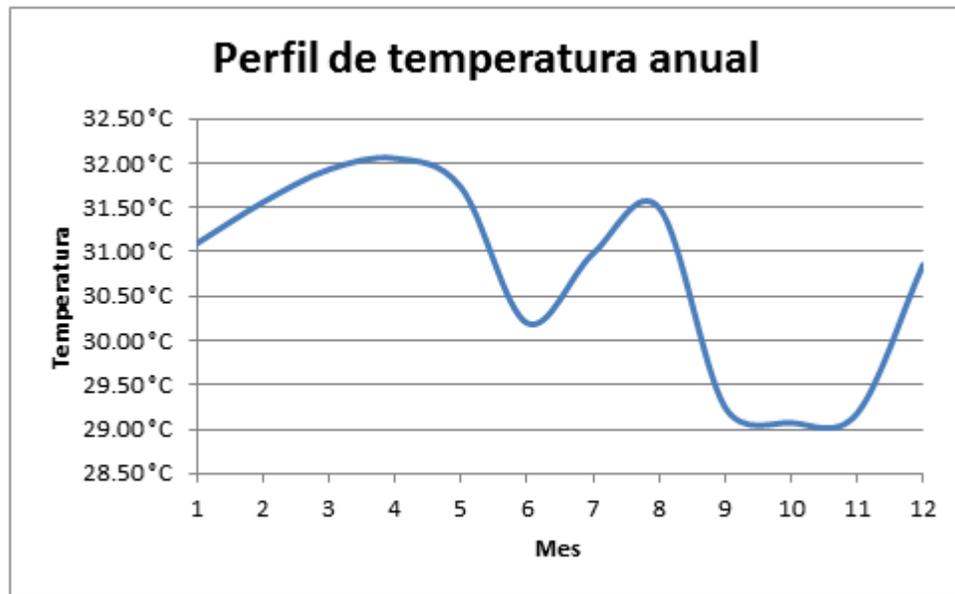
El promedio mínimo anual se registró en la estación Las Pilas (Chalatenango) con 12.3 °C a solo 1.4 °C por debajo del promedio normal.

El día con mayor temperatura registrado durante el 2015 fue el 19 de abril con 42.2 °C en la estación del Puente Cuscatlán, mientras que el día con la temperatura más baja registrada se dio el 17 de febrero en la estación Los Naranjos con 4.4 °C.

Con respecto a las humedades relativas del país, el promedio anual del 2015 más bajo se registró en el Cerrón Grande con 63%, mientras que el más alto se presentó en La Finca Los Naranjos con un 89%.

Por tanto, en el promedio anual, el país cuenta con una diferencia de temperaturas de 11.7 °C afirmando que anualmente la temperatura no varía demasiado en contraste las precipitaciones, debido a que son alternadas las estaciones secas y lluviosas permitiendo tener mayores mediciones de humedades relativas en esta época del año y por consiguiente manteniendo una diferencia anual del 26% entre los promedios más bajos y altos.

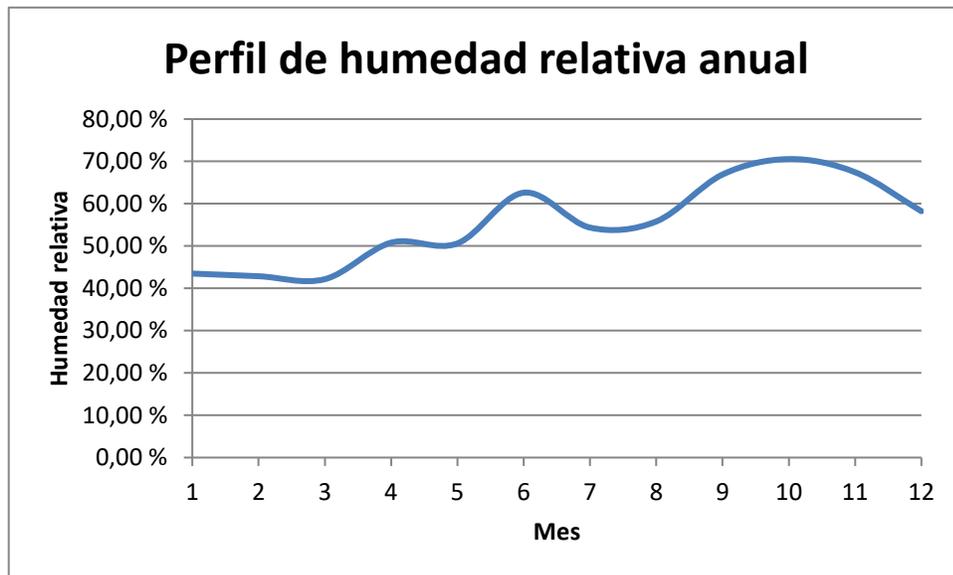
El perfil promedio de temperatura anual tomadas por la estación meteorológica de Ilopango para el año 2015 se presenta a continuación. (Ingra. Kattan, 2016).



Gráfica 1-Perfil promedio de temperaturas

La gráfica muestra una clara variación en la temperatura, en la cual los primeros 5 meses del año presentan las temperaturas más elevadas coincidiendo con la estación seca. El mes más caluroso del año fue abril con un promedio aproximado de 32.05 °C, sin embargo, en este año las temperaturas fueron irregularmente más elevadas por el fenómeno “El niño” que afecto al país.

Tomando como referencia la misma estación meteorológica, el perfil promedio de las humedades relativas anual se presenta a continuación.(Ingra. Kattan, 2016)



Gráfica 2-Perfil promedio de humedades relativas

Las variaciones de las humedades relativas no son muy marcadas con respecto a las temperaturas, en parte se debe a que durante este año se presentaron sequías por efecto del mismo fenómeno de “El niño”. El mes con la menor humedad relativa fue el mes de marzo con 42.16%.

En contraste, las temperaturas más altas se registran entre los meses de marzo y abril y las humedades relativas más bajas durante el primer trimestre del año.

ZONAS TÉRMICAS

Según la altura en metros sobre el nivel medio del mar, se distinguen las siguientes tres zonas térmicas en El Salvador, de acuerdo al promedio de la temperatura ambiente a lo largo del año.

De 0 a 800 metros: Promedio de temperatura disminuyendo con la altura de 27 a 22 °C en las planicies costeras y de 28 a 22 ° C en las planicies internas.

De 800 a 1,200 metros: Promedio de temperatura disminuyendo con la altura de 22 a 20 °C en las planicies altas y de 21 a 19 °C en las faldas de montañas.

De 1,200 a 2,700 metros: De 20 a 16 ° C en planicies altas y valles, de 21 a 19 °C en faldas de montañas y de 16 a 10 °C en valles y hondonadas sobre 1,800 metros.

2.2 Variables de diseño

2.2.1 Dimensiones del cuarto de pruebas

CUARTO DE PRUEBAS (AULA K22 DEL EDIFICIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, UES)

Para el proceso de pruebas de la instalación de un sistema de climatización evaporativo en el edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador se ha seleccionado el aula K22 la cual posee una gran entrada de aire lo cual es necesario para que estos equipos operen correctamente.

Dimensiones en m.

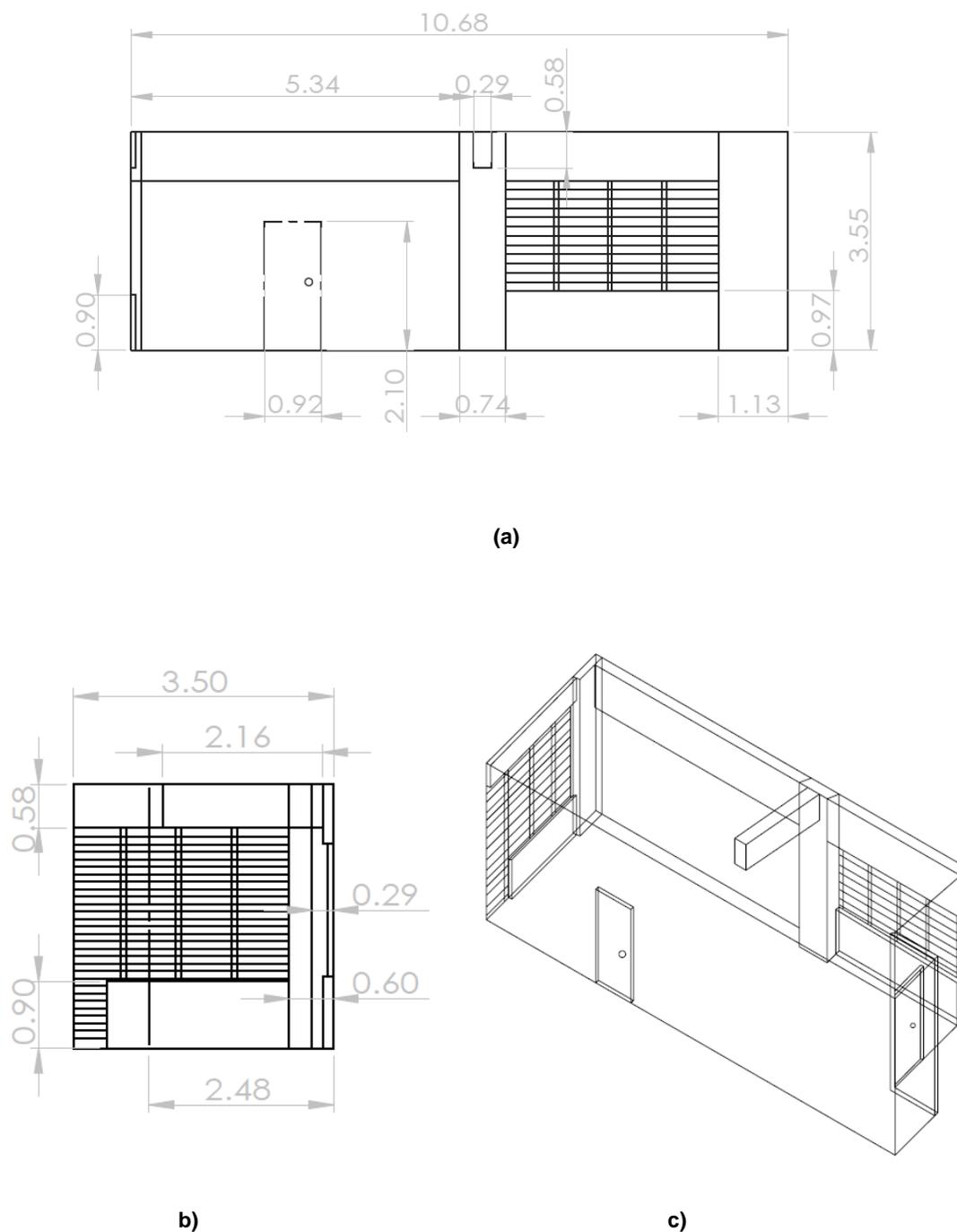


Ilustración 48-Esquema cuarto de pruebas, a) Vista lateral, b) Vista de fondo y c) Vista isométrica

2.2.2 Variables de diseño

Las variables de diseño establecidas son las siguientes:

TAMAÑO DEL PANEL EVAPORATIVO

Los tamaños de paneles evaporativos están definidos por catálogos que brindan las empresas encargadas de su fabricación, las dimensiones normalmente estándares se refieren a las medidas de espesor de los paneles evaporativos, las cuales poseen un valor de 10 cm. (AOLAN Industry CO. LTD, s.f)

El tamaño que se selecciona para el equipo de climatización evaporativa es de 45x45 cm con un espesor de 10 cm.

LATITUD Y LONGITUD

La latitud está definida como la distancia angular que existe entre el ecuador y un punto específico de la Tierra medida a lo largo del meridiano. Se expresa en términos angulares que varían desde 0° hasta 90° del polo norte o del polo Sur.

El Salvador posee un área total de 21,041 kilómetros cuadrados. San Salvador, la capital, cuenta con una latitud y longitud de 13° 42' N, 89° 11' W respectivamente.

La latitud y longitud de El Salvador le brinda un clima que comprende dos temporadas pronunciadas: la estación seca que dura de noviembre a abril y la estación húmeda que cubre los meses de mayo a octubre. Durante la estación lluviosa las precipitaciones son abundantes y muy pesadas. El clima es

generalmente cálido pero en lugares varía con la altitud. Sin embargo, en su mayoría la temperatura se sitúa alrededor de los 32° C.

Tabla 4-Latitud y Longitud de algunas zonas de El Salvador

Código	Estaciones	Latitud Norte	Longitud Oeste	Elevación (m.s.n.m.)
ZONA OCCIDENTAL				
A-37	Santa Ana, UNICAES	13° 59.9'	89° 32.9'	685
A-15	Golja	14° 13.7'	89° 28.7'	485
A-18	Los Andes	13° 52.5'	89° 38.7'	1770
A-27	Candelaria La Frontera	14° 07.2'	89° 39.1'	700
A-31	Los Planes de Montecristo	14° 23.9'	89° 21.6'	1971
H-8	Ahuachapán	13° 56.6'	89° 51.6'	725
H-14	La Hachadura	13° 51.6'	90° 05.4'	30
T-6	Acajutla	13° 34.4'	89° 50.0'	15
T-24	Los Naranjos	13° 52.5'	89° 40.5'	1450
ZONA CENTRAL				
G-3	Nueva Concepción	14° 07.5'	89° 17.4'	320
G-4	La Palma	14° 17.5'	89° 09.7'	1000
G-13	Las Pilas	14° 21.9'	89° 05.4'	1960
L-4	San Andrés	13° 48.5'	89° 24.4'	460
L-27	Chiltlupán	13° 35.7'	89° 28.9'	680
S-10	Ilopango	13° 41.9'	89° 07.1'	615
ZONA PARACENTRAL				
C-9	Cojutepeque	13° 43.2'	88° 55.6'	880
V-9	Puente Cuscatlán	13° 36.1'	88° 35.6'	20
B-1	Chorrera del Guayabo	13° 59.8'	88° 45.4'	190
B-6	Sensuntepeque	13° 52.2'	88° 39.0'	650
B-10	Cerrón Grande	13° 56.3'	88° 47.1'	200
ZONA ORIENTAL				
M-24	San Miguel UES	13° 26.3'	88° 09.5'	117
U-6	Santiago de María	13° 29.1'	88° 28.3'	920
Z-2	San Francisco de Gotera	13° 41.8'	88° 05.4'	250
Z-3	Perquin	13° 57.5'	88° 09.7'	1225
N-2	La Unión, Corsain	13° 19.9'	87° 52.9'	35

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015, p.3)

MANGUERAS PARA TRANSPORTE DE AGUA

El diámetro de la manguera que transporta el agua desde el tanque de almacenamiento hasta los distribuidores puede definirse en base a términos de costos y tomando como consideración que la cantidad de agua que requiere el equipo es poca. Normalmente se requiere de un flujo que no supera los 0.5 kg/s.

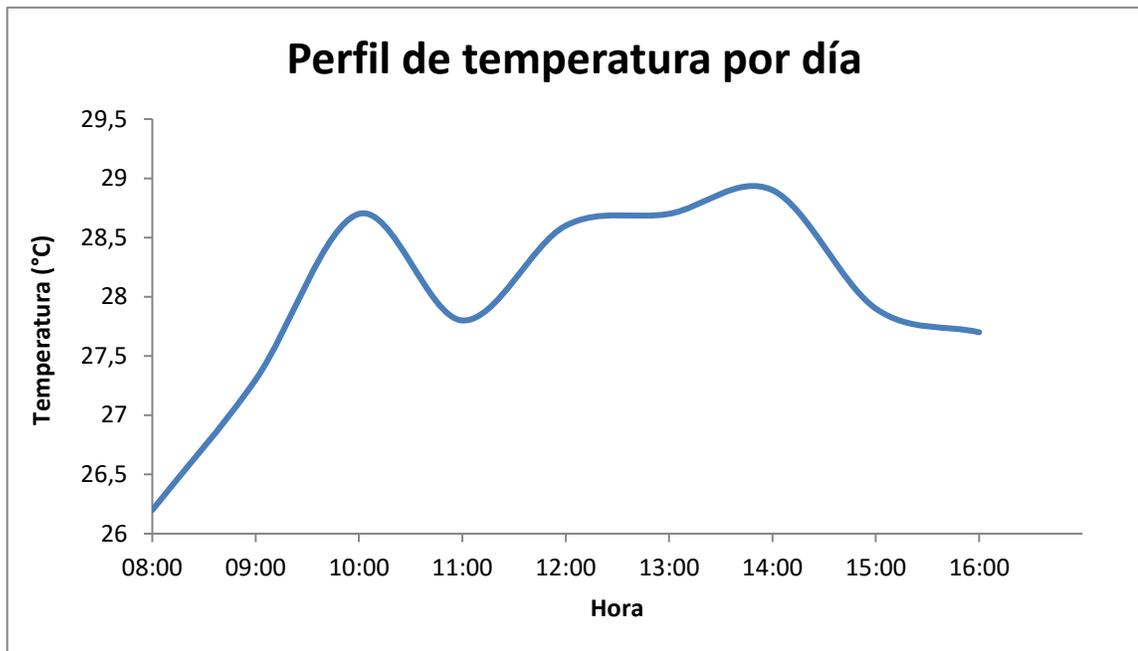
De tal modo que se considerará una manguera con tamaño estándar de 1 plg. Este tamaño está definido en base a la siguiente tabla (ALFAGOMMA, 2016):

Tabla 5-Tamaños estándar PVC

										
mm	inch	mm	inch	bar	psi	mm	inch	%	kg/m	lb/ft
6	1/4	11	0,43	20	300				0,080	0,055
8	5/16	13	0,51	15	225				0,095	0,065
10	3/8	15	0,59	15	225				0,110	0,075
13	1/2	19	0,75	10	150				0,165	0,110
16	5/8	22	0,87	10	150				0,215	0,145
19	3/4	25	1,00	10	150				0,255	0,175
25	1	32	1,25	10	150				0,385	0,260
30	1 3/16	38	1,50	7	100				0,515	0,350
32	1 1/4	42	1,65	7	100				0,685	0,465
38	1 1/2	48	1,89	7	100				0,810	0,545
51	2	63	2,48	6	90				1,315	0,885
6	1/4	12	0,47	20	300				0,100	0,070
8	5/16	14	0,55	15	225				0,115	0,080
10	3/8	16	0,63	15	225				0,135	0,090
19	3/4	26	1,06	10	150				0,305	0,205
25	1	33	1,34	10	150				0,445	0,300

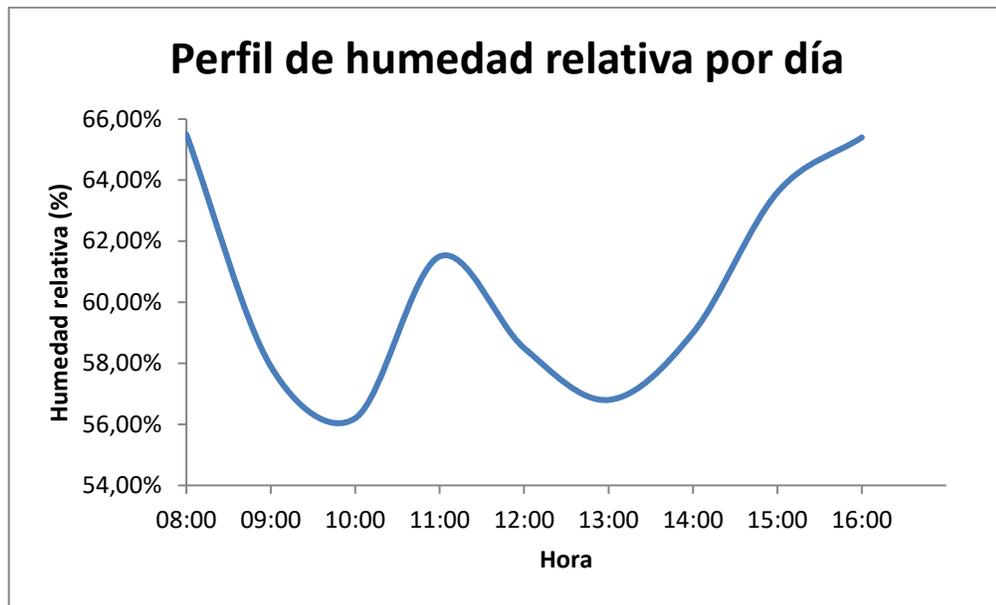
2.2.3 Condiciones de temperatura y humedad relativa diarias

Durante los días del 19 al 23 de octubre de 2015 se tomaron los valores de temperatura del ambiente, y se observó que cambian debido al movimiento del sol, lo que conlleva a una mayor o menor exposición del mismo al área de análisis. La curva que genera la temperatura con respecto al tiempo es la mostrada en la Gráfica 3.



Gráfica 3- Perfil de temperatura por día

La gráfica muestra una tendencia creciente las primeras 2 horas de haber iniciado la medición, entre las 10 y 11 de la mañana se percibe una caída pronunciada de la temperatura por tanto que a partir de este mismo punto se considera un incremento irregular en la temperatura hasta alcanzar su máximo valor a las 14 horas (1:00 PM).



Gráfica 4-Perfil de humedad relativa por día

A diferencia del perfil de temperatura, la humedad relativa presenta una disminución las primeras dos horas de iniciada la medición (Incremento de temperatura en el mismo período de tiempo). Sin embargo, presenta un incremento hacia las 11:00 de la mañana (Leve disminución de la temperatura), posteriormente desde este punto hacia las 13:00 horas presenta una disminución de la humedad relativa (Con un aumento considerable de la temperatura) y finalmente disminuyendo (Teniendo una caída de temperatura en este mismo período de tiempo).

En conclusión, la tendencia que ambas variables presentan es inversa, los aumentos de temperatura traen consigo una disminución de humedad relativa. Por otro lado, una disminución de la temperatura se traduce en un aumento de la humedad relativa; lo anterior permite conocer de manera aproximada que no se presenta una variación en la cantidad de vapor de agua en el aire atmosférico, es decir, la humedad absoluta es aproximadamente igual a lo largo del día.

Aunque se establezca lo anterior, no es completamente cierto debido a las actividades o fenómenos naturales que ocurren en las regiones circundantes: Durante la mañana se presenta la evaporación del agua tanto del suelo como de las plantas y árboles, empleo de sistemas de aspersión de agua en las cercanías, la posibilidad de lluvias, entre otros. Lo anterior indica que estos perfiles varían por la ubicación del punto de medición, equipo de medición, entorno (Sombras, edificios cercanos, brisa), estación del año, etc.

Para el año 2015, el día más caluroso de todo el año tomado por la estación de Ilopango fue el martes 7 de abril con un valor de 34.8°C; la humedad relativa para este día fue del 25%.

2.2.4 Proceso evaporativo

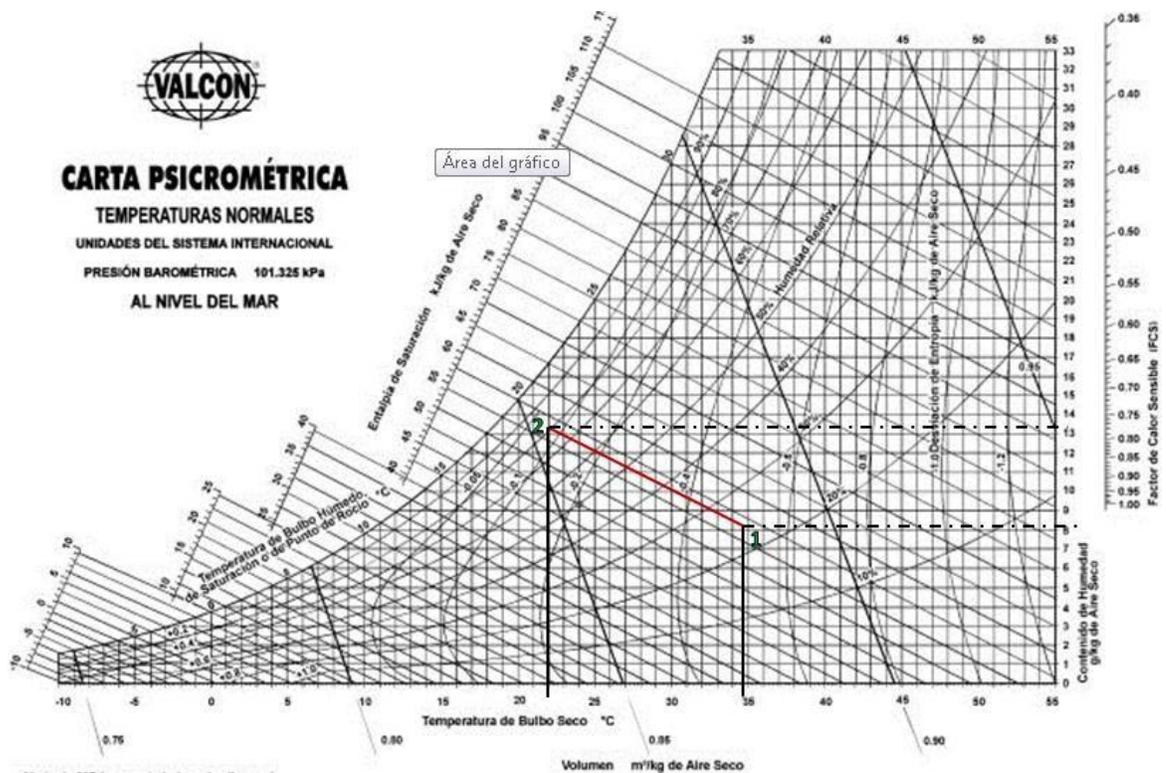


Ilustración 49-Proceso psicrométrico

El proceso de climatización evaporativa consta de dos puntos, uno inicial y final (1 y 2 respectivamente) en las cuales la condición inicial está definida por la temperatura de $34.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de 25% desde este punto de partida, el proceso continúa a entropía constante hasta un punto definido de 82% con ello, la temperatura final es de $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. La humedad absoluta en el punto 1 es de $8.67 \times 10^{-3}\text{ kg/kg}$ y en el punto 2 es de $1.37 \times 10^{-2}\text{ kg/kg}$.

2.2.5 Temperatura del agua dentro del tanque

Se realizaron medidas de temperatura del ambiente y de una muestra de agua en frecuencias regulares de una hora, comenzando desde las 08:45 AM y finalizando a las 17:45 PM (Hora local), de los cuales se midieron los siguientes valores.

Tabla 6-Resultados obtenidos temperatura del agua

Resultados obtenidos		
Hora	Temperatura del agua	Temperatura ambiente
08:45	23 °C	24 °C
09:45	23 °C	27.1 °C
10:45	23 °C	26.2 °C
11:45	24 °C	26.8 °C
12:45	24 °C	27.4 °C
13:45	24 °C	27.8 °C
14:45	24 °C	26.5 °C
15:45	24 °C	26.2 °C
16:45	23 °C	24.4 °C
17:45	22 °C	23.3 °C

Para conocer de manera generalizada la temperatura del agua con respecto a la temperatura ambiente, es necesario conocer la tendencia del cociente de ambas temperaturas absolutas por unidad de masa, sabiendo que:

$$T (K) = T (^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

$$m = \rho \cdot V$$

$$ct = \left(\frac{T_{H_2O}}{T_a}\right) \left(\frac{1}{m}\right) = \frac{T_{H_2O}}{T_a \cdot m}$$

El volumen de la muestra de agua se toma de un recipiente cilíndrico de diámetro D y altura de la columna de agua h :

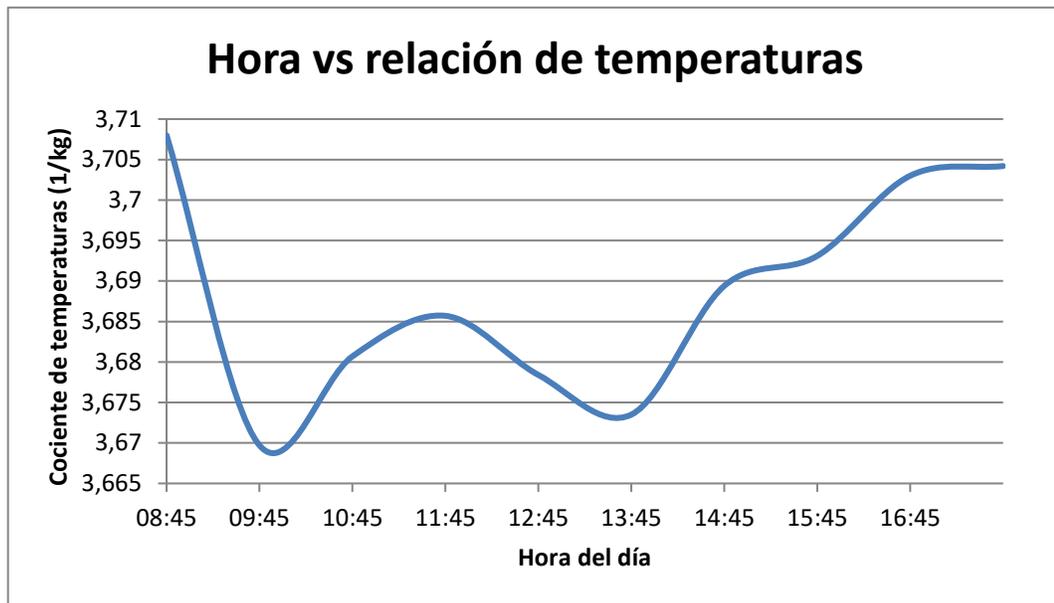
$$V = \frac{\pi}{4} D^2 h = \frac{\pi}{4} (6.5 \times 10^{-2} m)^2 (8.1 \times 10^{-2} m) = 268.7829 \times 10^{-6} m^3$$

$$m = \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) (268.7829 \times 10^{-6} m^3) = 268.7829 \times 10^{-3} kg$$

Tabla 7-Resumen cálculos

Cálculos		
Temperatura del agua	Temperatura ambiente	Relación de temperaturas por unidad de masa
296.15 K	297.15 K	3.708 kg ⁻¹
296.15 K	300.25 K	3.6697 kg ⁻¹
296.15 K	299.35 K	3.6807 kg ⁻¹
297.15 K	299.95 K	3.6857 kg ⁻¹
297.15 K	300.55 K	3.6784 kg ⁻¹
297.15 K	300.95 K	3.6735 kg ⁻¹
297.15 K	299.65 K	3.6894 kg ⁻¹
297.15 K	299.35 K	3.6931 kg ⁻¹
296.15 K	297.55 K	3.703 kg ⁻¹
295.15 K	296.45 K	3.7042 kg ⁻¹

La curva de la tendencia de este cociente de temperaturas específicas es la siguiente.



Gráfica 5-Hora vs relación de temperaturas

Cabe notar que el comportamiento es similar a la humedad relativa con respecto a la hora del día, en la cual es mayor en las horas tempranas de la mañana y altas de la tarde, decayendo las primeras horas y presentando un pico a las 11:45 AM, seguido de una leve disminución y posteriormente de una tendencia creciente.

2.2.6 Determinación de la carga térmica

La carga térmica de una habitación permite la determinación de la capacidad que debe poseer el equipo para ser capaz de refrigerarla, brindando confort y comodidad.

El procedimiento para su determinación se presenta a continuación:

PARÁMETROS A CONSIDERAR

Latitud: 13.72

Condiciones exteriores:

$$T_{bs} = 34.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$HR = 25 \%$$

Día del proyecto:

Martes 7 de abril de 2015

Hora del proyecto:

10 am

Condiciones interiores:

$$T_{bs} = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$HR = 86.15 \%$$

ESTRUCTURA ARQUITECTÓNICA A CONSIDERAR (K22)

Piso:

Losa de concreto de 30 cm

Paredes:

- **Sur:** concreto reforzado de 20 cm y capa de repello de 1 cm de espesor.
- **Este:** concreto reforzado de 20 cm y capa de repello de 1 cm de espesor.
- **Norte:** fibra de madera de 0.6 cm de espesor
- **Oeste:** fibra de madera de 0.6 cm de espesor

Techo:

Concreto reforzado de 30 cm de espesor.

Ventanas:

Vidrio ordinario (incluye ventanas exteriores como interiores).

CARGAS INTERNAS

- ✓ 25 personas sentadas
- ✓ 1 persona parada
- ✓ ILUMINACIÓN: 6 luminarias con balastro de 2 tomas 32 W
- ✓ COMPUTADORAS: 5 computadoras encendidas
- ✓ PROYECTOR: 1 proyector

OTROS ASPECTOS A CONSIDERAR

- ✓ La variación de temperaturas en el exterior fluctúa entre 5 °C entre las 8:00 am y las 5:00 pm.
- ✓ La temperatura en el interior del cuarto de pruebas fluctuará entre 1-2 °C durante el funcionamiento del equipo.
- ✓ Las paredes del cuarto tienen color blanco y no hay sombra proyectada.
- ✓ La incidencia de luz solar solamente afecta la pared ESTE de la habitación.
- ✓ La fibra de madera es aislante por lo que la transferencia de calor con respecto al cuarto ubicado a su lado es mínima.
- ✓ El tiempo de trabajo del equipo de climatización es de 9 horas al día.

CÁLCULO DE ÁREAS

ORIENTACIÓN NORTE

AREA DE LA PARED	10.68 m*3.55m= 37.91 m²
AREA DE LA PUERTA	0.92*2.12=1.95 m ²
AREA TOTAL	37.91 m ²

ORIENTACIÓN SUR

AREA DE LA PARED	3.55*9.58= 34 m²
AREA DE LAS VENTANAS	1.35*0.77*4=4.16m ²
AREA TOTAL	29.84 m ²

ORIENTACIÓN ESTE

AREA DE LA PARED	3.55*3.5=12.43 m²
AREA DE VENTANAS	(0.69*2.05)*3+(0.73*2.95)= 6.40 m ²
AREA TOTAL	6.03 m ²

ORIENTACIÓN OESTE

ÁREA DE LA PARED	(3.55*1.37)+(2.13*3.55)= 12.43 m²
AREA DE LA PUERTA	0.92*2.1=1.93 m ²
AREA DE LA VENTANA	1.35*1.21= 1.63 m ²
AREA DE LA VENTANA EN LA PUERTA	0.8*0.85= 0.68 m ²
AREA TOTAL	10.12 m ²

PISO Y TECHO

AREA DE PISO	(10.68*3.5)- (1.10*2.13)=35.04 m²
AREA DE TECHO	35.04 m ²
AREA TOTAL	70.08 m ²

CÁLCULO DEL PESO DE LA ESTRUCTURA

Espesor techo y piso: 30 cm Espesor de baldosa 2 cm

Espesor paredes: 20 cm

Repello espesor: 1 cm

PESOS ESPECÍFICOS (tabla 34 carrier pagina 1-78)

LADRILLO ORDINARIO 120 lb/ ft³ = 1920 kg/m³

FIBRA DE MADERA 31 lb/ ft³ = 496 kg/m³

PESO PARED ESTE (exterior) Y SUR

$$PESO = \gamma_{ladrillo} t_{ladrillo} + 2\gamma_{repello} t_{repello}$$

Donde:

$$\gamma_{ladrillo} = 1920 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{repello} = 50\text{lb/ft}^3 = 800\text{kg/m}^3$$

De la tabla 34 de manual de Carrier se obtienen los pesos específicos correspondientes.

$$PESO = (1920)(0.20) + 2(800)(0.01) = 400 \text{ kg/m}^2$$

PESO PARED NORTE Y OESTE

$$PESO = \gamma_{fibra\ de\ madera} t_{fibra\ de\ madera}$$

$$\gamma_{fibra\ de\ madera} = 496\ kg/m^3$$

$$PESO = (496)(0.006) = \mathbf{2.98\ kg/m^2}$$

PESO DEL SUELO

$$PESO = \gamma_{concreto} t_{concreto} + \gamma_{baldosa} t_{baldosa}$$

$$\gamma_{concreto} = 60\ lb/ft^3 = 960\ kg/m^3$$

$$\gamma_{baldosa} = 45\ lb/ft^3 = 720\ kg/m^3$$

$$PESO = (960)(0.30) + (720)(0.02) = \mathbf{302.40\ kg/m^2}$$

PESO DEL TECHO

$$PESO = \gamma_{concreto} t_{concreto}$$

$$PESO = (960)(0.30) = \mathbf{288\ \frac{kg}{m^2}}$$

Para el cálculo del peso se emplea la siguiente ecuación (Carrier Air Conditioning Company, 1965, p.24):

$$PESO = \frac{(PESO\ DE\ MUROS\ EXTERIORES) + \frac{1}{2}(PESO\ DE\ SUELOS\ Y\ TECHOS)}{SUPERFICIE\ DEL\ SUELO\ DEL\ LOCAL}$$

$$PESO = \frac{(400)(6.03) + \frac{1}{2}(302.40 * 35.04 + 288 * 35.04 + 400 * 29.84 + 2.98 * 37.91 + 2.98 * 10.12)}{35.04}$$

$$PESO = \mathbf{536.40\ \frac{kg}{m^2}}$$

Ganancias por insolación (Carrier Air Conditioning Company, 1965, p.24)

$$Q = \frac{q}{A} * F_c * F_A * F_s * A$$

Las aportaciones solares del cuarto de pruebas se limitan a la pared Este, para una latitud de 13.72 se aproximará a 10° y para cálculos efectuados entre los meses de marzo y mayo.

Se obtiene el valor de (Consultar Tabla 6 Manual de Carrier):

$$\frac{q}{A} = 163 \frac{\text{btu}}{\text{hft}^2} = 442.17 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2}$$

FACTORES DE CORRECCIÓN (Consultar la tabla 6 del manual de Carrier)

Punto de rocío 20°C

$$\text{Factor por marco metálico} = \left(\frac{1}{0.85} \right) = 1.17$$

$$\text{Factor de altitud} = 1 + 0.007 \left(\frac{695}{300} \right) = 1.016$$

$$\text{Factor de corrección punto de rocío} = 1 + \left(\frac{20 - 19.5}{10} \times 0.14 \right) = 1.007$$

Para la determinación del factor de almacenamiento F_A , la orientación este para un peso de 536.40 kg/m² y la hora con mayor temperatura de la semana en estudio 10:00 am dará un valor de (Consultar tabla 7 Manual de Carrier):

$$F_A = 0.52$$

$$F_C = (1.17)(1.016)(1.007) = 1.197$$

Orientación	q/A(Kcal/m ² *h)	FC	FS	FA	Área de Ventana (m ²)	Ganancia de Calor (Kcal/h)
ESTE	442.17	1.197	1.0	0.52	6.40	1761.44
TOTAL GANANCIA POR INSOLACIÓN						1761.44

CÁLCULO DE GANANCIA POR TRANSFERENCIA (Carrier Air Conditioning Company, 1965, p.53)

$$\dot{Q} = UA\Delta T$$

COEFICIENTES GLOBALES DE TRANSFERENCIA
PARED EXTERNA (Consultar tabla 21 Manual de Carrier)

$R_t = \text{Resistencia del ladrillo ordinario} + \text{Resistencia del repello}$

$$U_t = 0.48 \frac{\text{btu}}{\text{hft}^2\text{°F}} = 2.34 \text{ kcal/hm}^2\text{°C}$$

VIDRIOS (Consultar tabla 33 Manual de Carrier)

$$U_t = 1.13 \frac{\text{btu}}{\text{hft}^2\text{°F}} = 5.5 \frac{\text{kcal}}{\text{h.m}^2\text{°C}}$$

Determinación de temperaturas equivalentes para transmisión a través de las estructuras del edificio.

GANANCIAS DE CALOR:

$$Q = UA\Delta T_{eq}$$

$$HR = 86.15\%$$

$$T_{interior} = 26 \text{ °C}$$

Se tiene que para la determinación del delta de temperatura equivalente se aplica la siguiente ecuación (Carrier Air Conditioning Company, 1965, p.56):

$$\Delta T_e = a + \Delta T_{es} + b \frac{R_s}{R_m} (\Delta T_s - \Delta T_{es})$$

El factor a se obtiene de considerar que la variación de la temperatura exterior es de 5°C y que la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior es de 9°C (Consultar tabla 20ª Manual de Carrier).

$$a = 6^\circ\text{F} = 3.3^\circ\text{C}$$

Debido a que la pared exterior no estará expuesta a sombra, si valor del cambio de temperatura será de cero.

$$\Delta T_{es} = 0$$

Para la determinación de la diferencia de temperaturas para muros soleados se consideran que a las 10:00 am que se presenta la mayor temperatura y el peso del muro de 476 kg/m^2 (Consultar tabla 19 Manual de Carrier).

$$\Delta T_s = 14^\circ\text{F} = 7.78^\circ\text{C}$$

Para encontrar el valor de las aportaciones solares a través del vidrio, se considera la tabla siguiente, para época de marzo a mayo a las 10:00 am (Consultar tabla 15 Manual de Carrier).

$$R_s = 104 \frac{\text{btu}}{\text{hft}^2} = 282.09 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2}$$

Se requiere el valor de las aportaciones máximas a través de vidrios y ventanas a una latitud de 40° a la hora considerada (Consultar tabla 15 Manual de Carrier).

$$R_m = 101 \frac{\text{btu}}{\text{hft}^2} = 273.91 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2}$$

La constante b se obtiene a partir del color de la pared en estudio, debido a que es blanca, su constante es de:

$$b = 0.55$$

Entonces se tiene:

$$\Delta T_e = 3.3 + 0 + (0.55) \left(\frac{282.09}{273.91} \right) (7.78 - 0) = 7.71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

SUPERFICIE	ÁREA (m ²)	COEFICIENTE U (kcal/hm ² °C)	ΔT (°C)	GANANCIA (KCAL/H)
Pared Exterior Este	6.03	2.34	7.71	108.78
Ventanas este	6.40	5.5	7.71	271.39
Total				380.17

CÁLCULO DE GANANCIAS POR INFILTRACIÓN Y VENTILACIÓN

La determinación de las ganancias de calor por infiltraciones de aire en la habitación, está en función del flujo de aire que entra en el recinto a través de ventanas, puertas, poros de las paredes.

En este caso el análisis abarca las paredes Norte (debido a agujeros en la fibra de madera), Este (entradas a través de las ventanas), Oeste (entradas por puerta y ventana) y Sur (entradas de aire por ventanas).

Según las recomendaciones del MINSAL, la ventilación forzada recomendada es de 25 m³/h por persona, además se considerarán 26 personas en el local, 25 sentadas y una en pie.

Cálculo del caudal de ventilación (Carrier Air Conditioning Company, 1965, p.90).

$$V_v = \frac{(\text{caudal en } m^3/h)(\text{numero de personas})}{60 \text{ minutos}} = \frac{(25)(26)}{60} = 10.83 \frac{m^3}{\text{min}}$$

Cálculo de infiltraciones

El cálculo de infiltraciones involucra las ventanas que se encuentran expuestas al exterior, en la pared Este. El tipo de ventanas D considerando que se encuentran abiertas al máximo posible (Consultar tabla 41 Manual de Carrier).

$$V_I = 0.39 \frac{ft^3}{\text{min} * ft^2} = 7.1 \frac{m^3}{h * m^2 \text{abertura}} = (7.1)(6.40)/60 = 0.757 \frac{m^3}{\text{min}}$$

Aire necesario que debe entrar al local (Carrier Air Conditioning Company, 1965, p.113):

$$V = V_v - V_I = 10.83 - 0.757 = 10.073 \frac{m^3}{\text{min}}$$

$$TSH = 0.29 * \text{caudal de aire} * (T_{\text{entrada}} - T_{\text{salida}}) = (0.29)(10.073)(8.8)(60)$$

$$TSH = 1542.38 \text{ kcal/h}$$

CÁLCULO DE GANANCIA DE CALOR ILUMINACIÓN

Para dicho cálculo se consideran 6 lámparas T8 de 32 W, tubo fluorescente (Consultar tabla 49 Manual de Carrier).

$$Q = Potencia\ util(W) * 1.25 * 3.4 = 136 \frac{btu}{h} = 136(6) = 816 \frac{btu}{h}$$

$$Q = 205.77\ kcal/h$$

OCUPANTES

Recordando que el número de personas y su actividad dentro del local a acondicionar es la siguiente:

- 25 personas sentadas
- 1 personas paradas

En base a las recomendaciones del manual de Carrier se tiene que (Consultar tabla 48 Manual de Carrier):

Número de Ocupantes	Calor Sensible (Kcal/h)	Calor Latente (Kcal/h)	Total Calor Sensible (Kcal/h)	Total Calor Latente (Kcal/h)	Total de calor (Kcal/h)
25 sentados	60.51	40.34	1512.75	1008.5	2521.25
1 de pie	61.78	51.69	61.78	51.69	113.47
Total de Ganancias de Calor por Ocupantes					2634.72

CÁLCULO POR EQUIPOS

Para su determinación se considera que todos los alumnos poseen una computadora tipo laptop para trabajar, cada una de estas computadoras consume 65 W (55.88 kcal/h), para una computadora tipo HP Pavilion de 2 GB de RAM.

El proyector para brindar las clases consume aproximadamente 500 W (429.92 kcal/h). Su calor se determina en base a 2/3 de la potencia normal de consumo de la máquina.

Equipo	Cantidad	Calor Sensible + Calor Latente (kcal/h)	Calor Total(Kcal/h)
Computadoras	5	37.25	186.27
Proyector	1	286.61	286.61
Ganancias de Calor por equipos			472.88

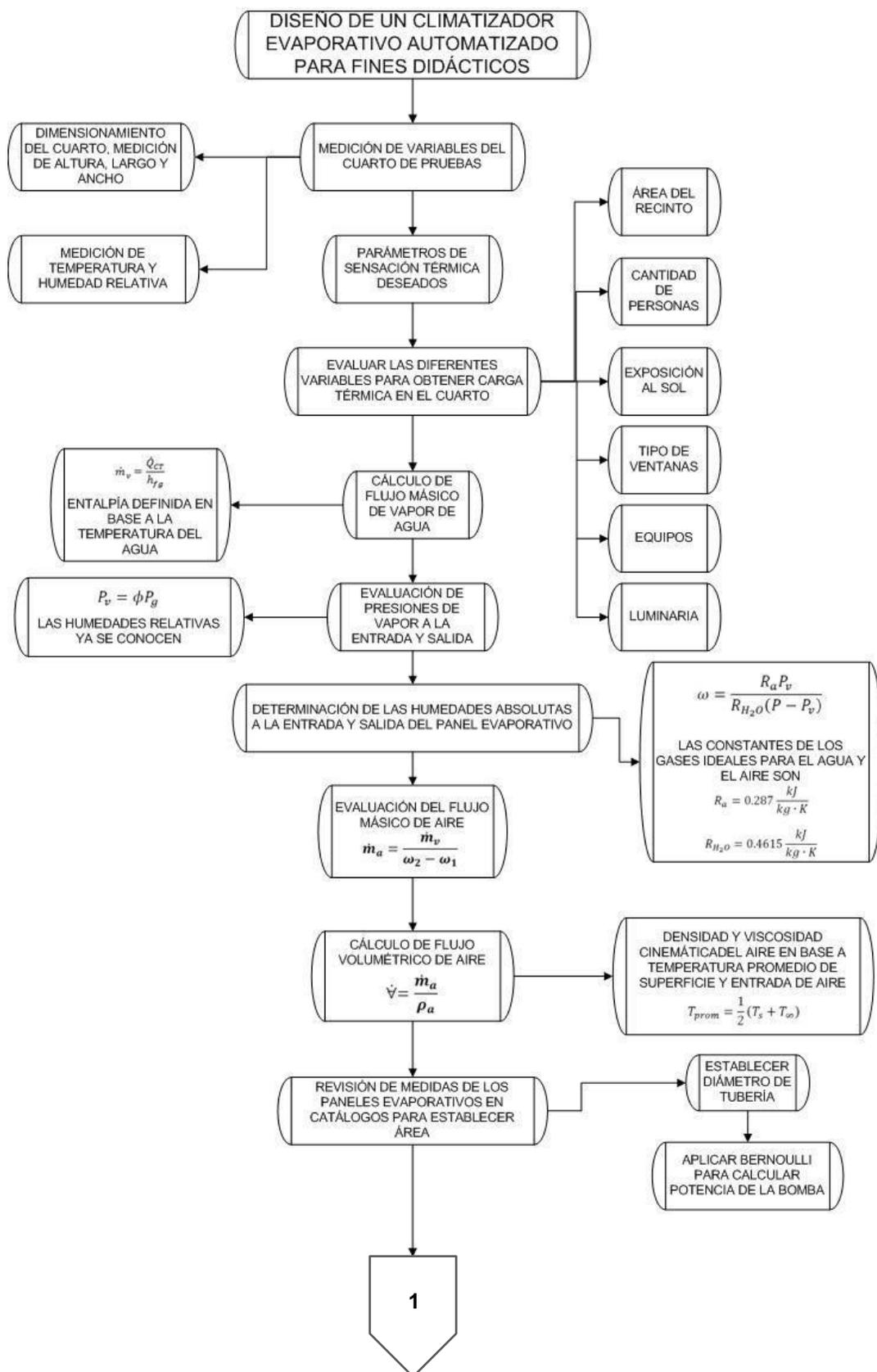
Sumando los resultados obtenidos para cada situación, la carga térmica total de la habitación de pruebas para la instalación del equipo de climatización evaporativa es la siguiente:

Carga térmica resultante Tipo de Ganancia	Calor (kcal/h)
Insolación	1761.44
Transmisión	380.17
Ventilación e infiltración	1542.38
Luces	205.77
Personas	2634.72
Equipos	472.88
Total	6997.29 (8.14kW)

2.3 Cálculo y selección de componentes

2.3.1 Esquema de procedimiento de diseño de equipo

Para el diseño del climatizador evaporativo se lleva a cabo una serie de pasos partiendo de la carga térmica obtenida hasta llegar al equipo finalizado con todos sus componentes dimensionados.



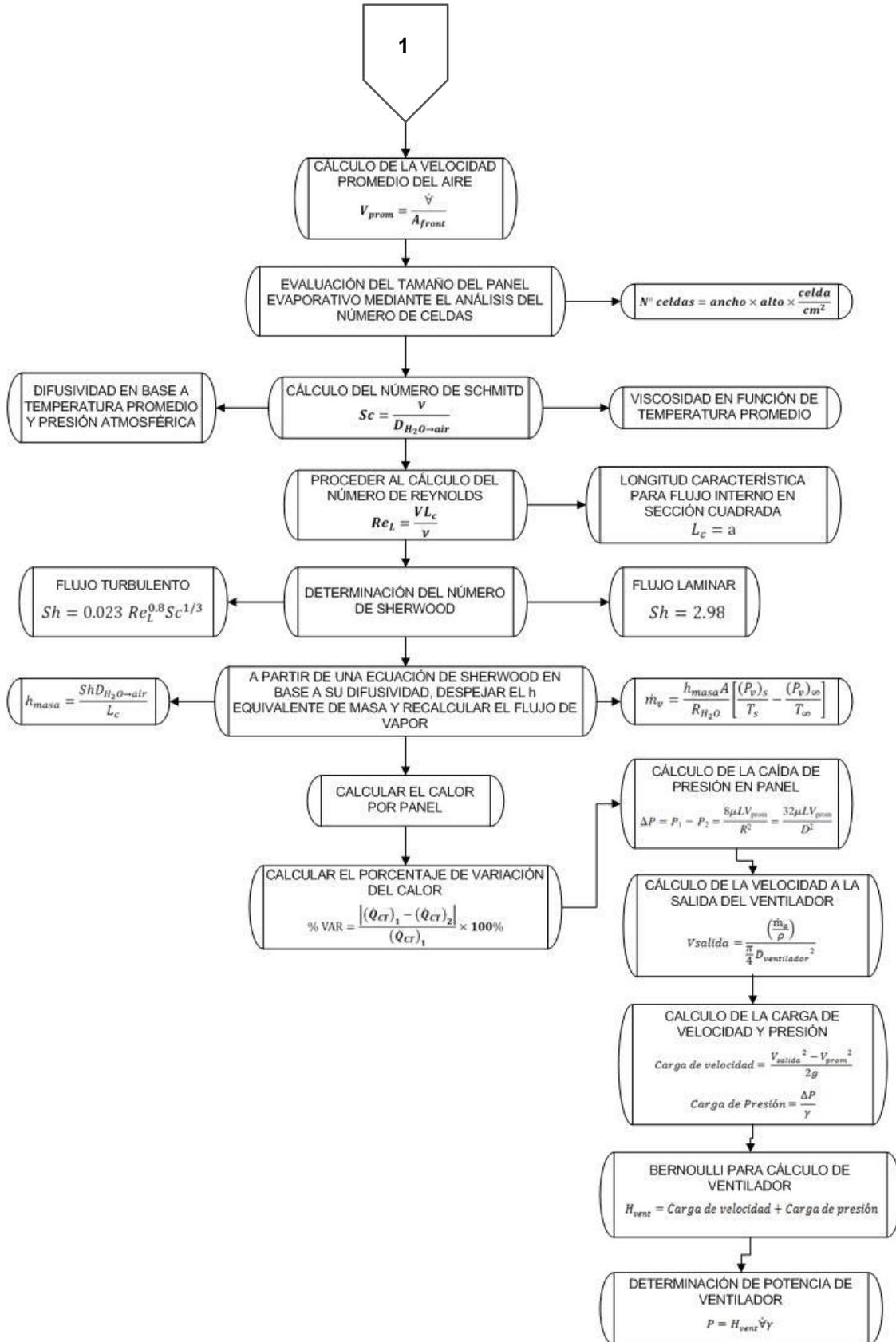


Ilustración 50-Esquema de procedimiento del diseño

2.3.2 Cálculo para paneles evaporativos

Consideraciones:

- ✓ Es un proceso unidireccional.
- ✓ El análisis se tomará como flujo interno.

Valores

- ✓ Temperatura a la entrada
- ✓ Temperatura a la salida
- ✓ Temperatura de la superficie del agua
- ✓ Humedad relativa a la entrada
- ✓ Humedad relativa a la salida
- ✓ Constante de los gases para el agua
- ✓ Constante de los gases para el aire

1. Con la temperatura del agua sobre la superficie del tanque y la presión atmosférica, se determina la entalpía de saturación de la Tabla A1.

2. De la carga térmica se determina el flujo másico de agua

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{\dot{Q}_{CT}}{h_{fg}} = \frac{8.14 \text{ kW}}{2433.2 \text{ kJ/kg}} = 3.35 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

3. Con la temperatura definida en el exterior se determina la presión de saturación a la entrada; con la temperatura del ambiente a acondicionar se encuentra la presión de saturación a la salida y con la temperatura sobre la superficie del panel (Que es la misma del agua) se determina la presión de saturación sobre la superficie del panel, los tres se toman de la Tabla A1.

$$(P_{sat})_{ent} = 5.57 \text{ kPa}$$

$$(P_{sat})_{sal} = 2.67 \text{ kPa}$$

$$(P_{sat})_s = (P_v)_s = 4.03 \text{ kPa}$$

4. La presión de vapor se determina despejando la ecuación de la humedad relativa.

$$(P_v)_{ent} = \phi_{ent}(P_{sat})_{ent} = (0.25)(5.57 \text{ kPa}) = \mathbf{1.39 \text{ kPa}}$$

$$(P_v)_{sal} = \phi_{sal}(P_{sat})_{sal} = (0.82)(2.67 \text{ kPa}) = \mathbf{2.19 \text{ kPa}}$$

5. Despejando la humedad absoluta para los gases ideales.

$$\omega_{ent} = \frac{R_a(P_v)_{ent}}{R_{H_2O}[P - (P_v)_{ent}]} = \frac{\left(0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)(1.39 \text{ kPa})}{\left(0.4615 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)(101.325 \text{ kPa} - 1.39 \text{ kPa})}$$

$$\omega_{ent} = \mathbf{8.65 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{kg}}}$$

$$\omega_{sal} = \frac{R_a(P_v)_{sal}}{R_{H_2O}[P - (P_v)_{sal}]} = \frac{\left(0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)(2.19 \text{ kPa})}{\left(0.4615 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)(101.325 \text{ kPa} - 2.19 \text{ kPa})}$$

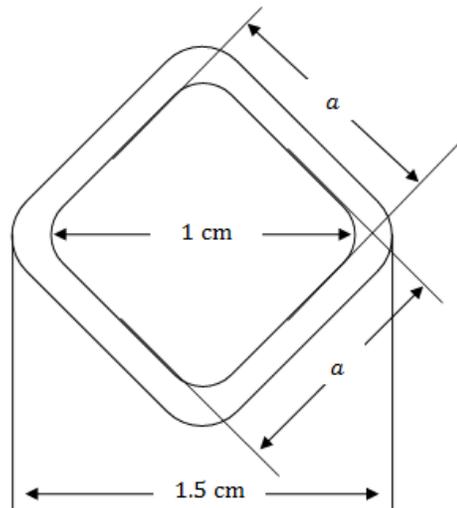
$$\omega_{sal} = \mathbf{13.74 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{kg}}}$$

6. Calcular el flujo másico de aire.

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\omega_{sal} - \omega_{ent}} = \frac{3.35 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{13.74 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{kg}} - 8.65 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{kg}}} = \mathbf{658.15 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}}$$

7. Dimensionamiento del panel evaporativo.

- a. Forma geométrica de cada celda: Se considerará que es aproximada a un rombo de lados iguales con las siguientes mediciones.



$$(1 \text{ cm})^2 = a^2 + a^2 = 2a^2$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ cm}$$

$$A_{\frac{c}{u}} = a^2 = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 = 0.5 \text{ cm}^2$$

Se tomará en consideración que en cada centímetro cuadrado habrá una celda, por lo tanto, en todo el panel el número de celdas será:

$$N^{\circ} \text{ celdas} = \text{ancho} \times \text{alto} \times \text{celda}/(\text{cm}^2) = (45 \text{ cm})(45 \text{ cm})(1 \text{ celda}/(\text{cm}^2))$$

$$N^{\circ} \text{ celdas} = \mathbf{2025 \text{ celdas}}$$

8. Con la temperatura promedio entre la superficie de panel y del ambiente exterior.

$$T_{prom} = 1/2(T_{ent} + T_s) = 0.5(34.8^{\circ}\text{C} + 29^{\circ}\text{C}) = \mathbf{31.9^{\circ}\text{C}}$$

9. Con esta temperatura promedio se determina la densidad y la viscosidad cinemática del aire de la tabla A2.

$$\rho = 1.16 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 1.626 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

10. Determinación del área frontal a partir del número de celdas y del área por celda.

$$A = N^{\circ} \text{ celdas} \times A_{c/u} = (2025 \text{ celdas})(0.5 \text{ cm}^2) \left(\frac{1 \text{ m}^2}{10000 \text{ cm}^2} \right) = \mathbf{0.101 \text{ m}^2}$$

11. Calculando el flujo volumétrico.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_a}{\rho} = \frac{658.15 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1.16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \mathbf{0.567 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

Nota: Considerando el uso de 3 paneles, el flujo volumétrico se distribuirá de forma equitativa para cada uno.

$$\dot{V} = \frac{0.567 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{3} = \mathbf{0.189 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

12. La velocidad promedio se calcula de la siguiente manera.

$$V = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0.189 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.101 \text{ m}^2} = \mathbf{1.871 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

13. Calculando el área de transferencia.

$$A_T = 4a \times t \times N^{\circ} \text{ celdas} = \left(\frac{4}{\sqrt{2}} \text{ cm} \right) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) (10 \text{ cm}) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) (2025 \text{ celdas})$$

$$A_T = \mathbf{5.73 \text{ m}^2}$$

14. La difusividad de masa se determina mediante la siguiente ecuación.

$$D_{H_2O \rightarrow Air} = 1.87 \times 10^{-10} \frac{T_{prom}^{2.072}}{P} = 1.87 \times 10^{-10} \frac{(31.9 + 273.15)^{2.072}}{1 \text{ atm}}$$

$$D_{H_2O \rightarrow Air} = 26.27 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

15. El número de Schmidt se determina por la siguiente ecuación.

$$Sc = \frac{v}{D_{H_2O \rightarrow Air}} = \frac{1.626 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}}{26.27 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 6.19 \times 10^{-1}$$

16. La longitud característica para el rombo la cual es igual a la longitud de uno de sus lados (a).

$$L_c = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} cm \right) \left(\frac{1 m}{100 cm} \right) = 7.07 \times 10^{-3} m$$

17. Número de Reynolds.

$$Re = \frac{V L_c}{v} = \frac{\left(1.871 \frac{m}{s} \right) (7.07 \times 10^{-3} m)}{1.626 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 813.53$$

18. Cálculo del número de Sherwood.

$$Sh = 2.98 \quad Re < 10000$$

$$Sh = 0.023 Re^{0.8} Sc^{1/3} \quad Re \geq 10000 \quad 0.5 \leq Sc \leq 160$$

Debido a que el número de Reynolds es menor a 10000, entonces:

$$Sh = 2.98$$

19. El coeficiente convectivo de masa se determina mediante la ecuación.

$$h_{masa} = \frac{D_{H_2O \rightarrow Air} \times Sh}{L_c} = \frac{\left(26.27 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \right) (2.98)}{7.07 \times 10^{-3} m} = 11.07 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

20. El flujo másico del vapor de agua se recalcula.

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{h_{masa} A_T}{R_{H_2O}} \left[\frac{(P_v)_s}{T_s} - \frac{(P_v)_\infty}{T_\infty} \right]$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{\left(11.07 \times 10^{-3} \frac{m}{s} \right) (5.73 \text{ m}^2)}{0.4615 \frac{kJ}{kg \cdot K}} \left(\frac{4.03 \text{ kPa}}{302.15 \text{ K}} - \frac{1.39 \text{ kPa}}{307.95 \text{ K}} \right)$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 1.21 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

21. El calor disipado por el panel se recalcula de nuevo.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{H_2O} \times h_{fg} = \left(1.21 \times 10^{-3} \frac{kg}{s} \right) \left(2433.2 \frac{kJ}{kg} \right) = 2.94 \text{ kW}$$

Nota: Si se emplean tres paneles en el climatizador, se tendría una disipación de:

$$\dot{Q}_{Tot} = 3(2.94 \text{ kW}) = 8.82 \text{ kW}$$

La variación de potencia disipada con la carga térmica es entonces:

$$\% VAR = \frac{|\dot{Q}_{CT} - \dot{Q}_{Tot}|}{\dot{Q}_{CT}} \times 100\%$$

$$\% VAR = \frac{|8.14 \text{ kW} - 8.82 \text{ kW}|}{8.14 \text{ kW}} \times 100\% = 8.35\%$$

Por lo tanto, el climatizador bajo estas condiciones es capaz de disipar todo el flujo de calor del cuarto de pruebas con una capacidad extra del 8%.

El flujo másico de agua evaporada en el ambiente es de:

$$\dot{m}_{rot} = 3 \left(1.21 \times 10^{-3} \frac{kg}{s} \right) = 3.63 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

2.3.3 Establecimiento de la forma del equipo

La forma del equipo está establecida en base a la carga térmica, su valor determinado de 8.14 kW define el tamaño del equipo.

En base a los resultados obtenidos se puede establecer que para cubrir la carga térmica de la habitación, basta con 3 paneles evaporativos. Cada panel evaporativo tendrá 45x45x10 cm de dimensionamiento y cada uno es capaz de disipar 2.94 KW de calor, por lo que se puede concluir en diseñar un equipo en forma rectangular que supla la demanda sin sobredimensionarlo en exceso.

2.3.4 Determinación de la bomba de suministro de agua

Consideraciones:

- ✓ El diámetro de manguera se ha definido en base a tamaños estándar, en este caso su tamaño es de 1/2 plg. estándar. Esto debido a que el caudal de agua no es abundante.
- ✓ La rugosidad de la manguera se establece de 0.0015 en base a la Tabla A3.
- ✓ La viscosidad cinemática del agua se considera de 8.23E-7 considerando que la temperatura del agua de suministro se encuentre a 29°C en base. La viscosidad cinemática es extraída de la tabla A4.
- ✓ Las longitudes para las mangueras de descarga y succión han sido

establecidas correspondientemente de:

Longitud de la manguera de descarga	1 m
Longitud de la manguera de succión	0 m

La longitud de la manguera de succión es despreciable debido a que se pretende emplear una bomba sumergible.

Determinación de la potencia de la bomba en base a Bernoulli
Flujo másico de agua (Para 1 panel):

$$\dot{m}_v = 0.001211 \frac{kg}{s}$$

Flujo volumétrico del agua

$$\dot{V}_{evapora} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0.001211}{1000} = 1.211 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

Flujo volumétrico necesario para empapar paneles

$$V_{panel} = ancho \times alto \times espesor = 0.45 \times 0.45 \times 0.1 = 0.02025 m^3$$

$$V_{agujeros} = \text{Área por agujero} \times \text{número de agujeros} \times \text{espesor del panel}$$

$$V_{agujeros} = 0.5cm^2 \times 2025 \times 10 cm = 10125 cm^3 = 10.125 \times 10^{-3} m^3$$

$$V_{celulosa \text{ por panel}} = V_{panel} - V_{agujeros} = 0.02025 - 10.125 \times 10^{-3}$$

$$V_{celulosa \text{ por panel}} = 10.125 \times 10^{-3} m^3$$

Se ha considerado que dichos paneles se empapan en un tiempo de 5 minutos antes de la operación nominal.

$$\dot{V}_{empapar} = \frac{V_{celulosa \text{ por panel}}}{t} = \frac{10.125 \times 10^{-3} m^3}{5min} \times \frac{1min}{60s} = 33.75 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

Ahora bien, el flujo volumétrico total será:

$$\dot{V}_{total} = \dot{V}_{empapar} + \dot{V}_{evaporado} = 33.75 \times 10^{-6} + 1.211 \times 10^{-6}$$

$$\dot{V}_{total} = 34.961 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

Velocidad de flujo de agua

$$V = \frac{\dot{V}_{total}}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{34.961 \times 10^{-6}}{\frac{\pi}{4} (0.0127)^2} = 0.276 \frac{m}{s}$$

En base a los datos anteriormente dados se puede efectuar el cálculo de Bernoulli:

El primer paso es el cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{(0.276)(0.0127)}{0.823 \times 10^{-6}} = 4259.05$$

Al haberse ya establecido la rugosidad del material PVC, es posible calcular la relación entre ella y el diámetro de la tubería:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.0015}{12.7} = 0.0001181$$

Ahora contando con estos datos y tomando en cuenta la ecuación de Colebrook, es posible determinar el factor de Darcy para el cálculo de las pérdidas en la tubería:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right]$$

Utilizando una función análisis Y Si, es posible determinar el valor exacto

que cumple con la ecuación para el factor f de Darcy.

$$f = 0.039$$

En base a los datos obtenidos, las pérdidas en las tuberías tanto primarias como secundarias son:

$$Hp_{succion} = f \frac{L V^2}{D 2g} = 0 \text{ m}$$

$$Hp_{descarga} = f \frac{L V^2}{D 2g} = (0.039) \left(\frac{1}{0.0127} \right) \left(\frac{(0.276)^2}{2(9.81)} \right) = 0.0119 \text{ m}$$

Las pérdidas secundarias en la descarga en este caso incluyen perdidas en el divisor de caudal, el cual su coeficiente de considera de 0.5.

$$HS_{descarga} = k \frac{V^2}{2g} = (0.5) \left(\frac{(0.276)^2}{2(9.81)} \right) = 0.0019$$

El cálculo del valor de H de la bomba está definido de la siguiente manera:

$$H = \frac{V^2}{2g} + Hp_{succion} + Hp_{descarga} + HS_{descarga} + h_{panel}$$

$$H = \frac{(0.276)^2}{2(9.81)} + 0 + 0.0119 + 0.0019 + 0.45$$

$$H = \mathbf{0.5177 \text{ m}}$$

Por lo tanto la potencia de la bomba requerida es de:

$$Pot = \rho g Q H = (1000)(9.81)(34.961 \times 10^{-6})(0.5177) = 0.1776 \text{ W}$$

Debido a que son 3 paneles y 3 caudales, la potencia total será de:

$$Pot_{total} = Pot \times 3 \times 3 = 1.06 \text{ W}$$

En base a esta potencia se selecciona una bomba de catálogos, esta podrá tener valores mayores de 1 W, en este caso se optará por una bomba de 1/70 hp.

2.3.4 Determinación del tamaño del tanque necesario para brindar el volumen de agua encargado de climatizar.

La configuración que se ha seleccionado es la sección cuadrada y cuenta con 3 paneles evaporativos. Estos poseen los tamaños necesarios para satisfacer la carga térmica de “8.14 kW”.

Las dimensiones de cada panel son:

Paneles:

Altura: 45cm

Ancho: 45 cm

Espesor: 10 cm

La cantidad de agua que el equipo estará constantemente evaporando es de:

$$\dot{m} = 3.633 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

Este valor dividido entre la densidad del agua (1000 kg/m³) dará por resultado el flujo volumétrico, este permite el cálculo del volumen necesario equivalente a la cantidad de agua requerida a evaporarse en 9 horas de operación continua.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$V = Qt = \frac{(3.633 \times 10^{-3})}{1000} (9)(60)(60) = 0.1177 m^3 = 117.7 L$$

Es de considerar que el tanque debe contener también el volumen de agua necesaria para empapar los paneles evaporativos al arranque del equipo. Para esto se hace el siguiente planteamiento:

Primeramente la determinación del volumen ocupado por la celulosa en cada panel¹:

¹ Se considera que el volumen ocupado por la celulosa es el mismo volumen de agua para empaparlos.

$$V_{panel} = ancho \times alto \times espesor = 0.45 \times 0.45 \times 0.1 = 0.02025 m^3$$

$$V_{agujeros} = \text{Área por agujero} \times \text{número de agujeros} \times \text{espesor del panel}$$

$$V_{agujeros} = 0.5 cm^2 \times 2025 \times 10 cm = 10125 cm^3 = 10.125 \times 10^{-3} m^3$$

$$V_{celulosa \text{ por panel}} = V_{panel} - V_{agujeros} = 0.02025 - 10.125 \times 10^{-3}$$

$$V_{celulosa \text{ por panel}} = 10.125 \times 10^{-3} m^3$$

$$V_{total} = V_{celulosa \text{ por panel}} \times 3 = 10.125 \times 10^{-3} * 3 = 30.375 \times 10^{-3} m^3$$

$$V_T = 0.1177 + 30.375 \times 10^{-3} = 0.1481 m^3$$

Incrementando el valor en 7 Pare esta cantidad la altura del tanque deberá de ser de:

$$V = A \times h \rightarrow h = \frac{V}{A} = \frac{0.1481}{0.2848} = 0.5199 m = 52 cm$$

Para efectos de diseño se establecerá un tanque de 17 cm de altura, el volumen restante se compensará con la instalación de un sistema de suministro de agua potable al equipo.

Se han de considerar tres agujeros en el tanque, uno de ellos es la entrada de la tubería de suministro de agua, esta con un diámetro de 1/2'' y con un acople a una válvula de flotador.

El otro agujero es el de rebalse, con un diámetro de 1/2'' y una altura de 15 cm.

El ultimo agujero es el de purga, es decir en encargado de retirar la cantidad de solidos que se acumulen en el fondo del tanque, este también posee un diámetro de 1/2'' y con un acople tipo Tee, se encuentra unido a la tubería de desagüe.

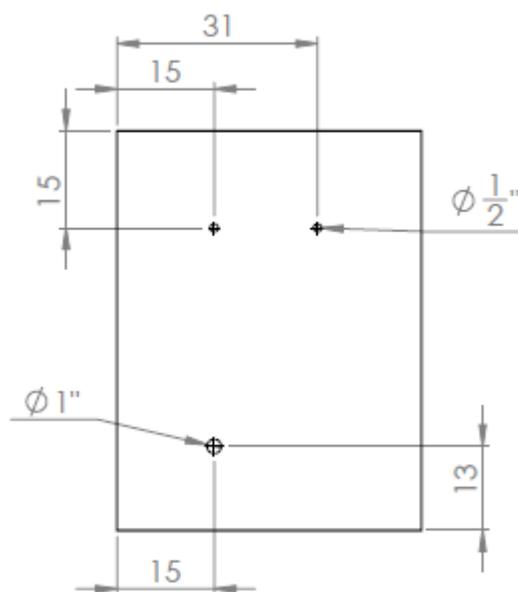


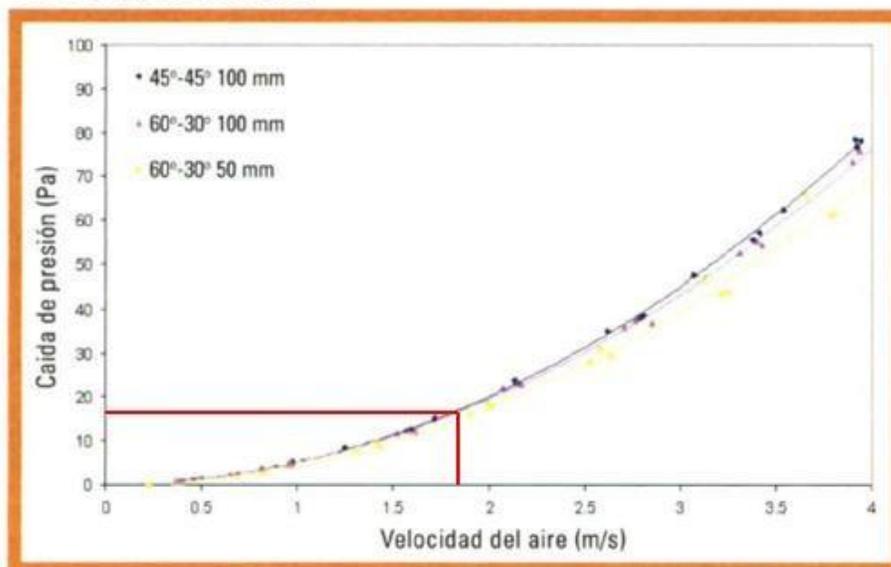
Ilustración 51-Detalle agujeros en tanque de almacenamiento

2.3.5 Selección de ventilador del equipo

El ventilador a seleccionar está en base a la demanda de flujo de aire que se requiere en el equipo, el tamaño de dicho equipo está definido en base a tamaños estándares que existen en el mercado.

La caída de presión obtenida mediante una simulación en los paneles es de 2.26 Pa. Este valor se debe comparar con el obtenido al medir una tabla brindada por los distribuidores de paneles evaporativos, que en dependencia de sus dimensiones se puede determinar la caída de presión correspondiente:

Gráfica 6-Caída de presión en paneles evaporativos (D.L Valera, 2007)

Resistencia al paso de aire del panel para distintas velocidades de aire.

La caída de presión leída en la gráfica da un valor de 16 Pa, para ángulos de separación entre cada celda del panel de 45° y velocidad de 1.88 m/s. La diferencia entre los valores mostrados en la gráfica y los cálculos teóricos radica en el diseño de los paneles, en ella se proporcionan ángulos de inclinación para cada celda y debido a su proceso de fabricación, las celdas no cuentan con las mismas dimensiones.

Por lo anterior, al valor correspondiente a 2.26 Pa se utilizará un factor de corrección de 7.

La caída de presión que se obtiene es de 15.82 Pa a través de cada panel evaporativo, con un flujo de aire de 0.22 kg/s. El diámetro definido para el ventilador en este caso es de 16''. La densidad del aire se establece de 1.1731 kg/m³ a 25 °C de temperatura ambiente y humedad relativa de 80%.

Se efectuará un Bernoulli desde la entrada del aire al equipo hasta la salida del ventilador; ha sido considerado que un Bernoulli es aplicable debido a que la densidad del flujo no varía mucho a través de dicho equipo. La velocidad del flujo de aire a la entrada del ventilador es de 1.88 m/s, es decir la velocidad en base a cada panel. La velocidad del flujo de aire a la salida del ventilador está definida por la siguiente ecuación:

$$V_{salida} = \frac{\left(\frac{\dot{m}_a}{\rho}\right)}{\frac{\pi}{4} D_{ventilador}^2} = \frac{\left(\frac{0.66}{1.1731}\right)}{\frac{\pi}{4} (0.4064)^2} = 4.34 \frac{m}{s}$$

La carga de presión está definida por:

$$Carga\ de\ Presión = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{15.82}{11.3796} = 1.39\ m$$

La carga de velocidad está definida por:

$$Carga\ de\ velocidad = \frac{V_{salida}^2 - V_{prom}^2}{2g} = \frac{(4.40)^2 - (1.88)^2}{2(9.81)} = 0.80\ m$$

Mediante Bernoulli se determina el valor de H del ventilador:

$$H_{vent} = Carga\ de\ velocidad + Carga\ de\ presión = 2.19\ m$$

La potencia del ventilador de tal modo está determinada por:

$$P = H_{vent} \dot{V} \gamma = (11.3796)(0.19 * 3)(2.19) = 14.21 W$$

2.3.6 Elaboración de un sistema de automatización para control de temperatura y humedad de un climatizador evaporativo axial

Para la elaboración de un sistema de automatización, se llevan a cabo los siguientes pasos:

2.3.6.1 Selección de los componentes necesarios

Antes de llevar a cabo el proceso de automatización es necesario definir los componentes necesarios, su ubicación y su función individual dentro del equipo:

Sensores:

- ✓ Sensores DHT11: Estos sensores son los encargados de tomar datos tanto del ambiente exterior como del interior, se deben colocar dos de ellos, uno en la parte exterior del equipo y otro en el interior del cuarto a acondicionar. Ambos sensores miden temperatura y humedad relativa que puede ser leída en un controlador. Cada uno de estos sensores será nombrado en base a su función dentro del circuito.

DHT1-Sensor externo

DHT2-Sensor interno

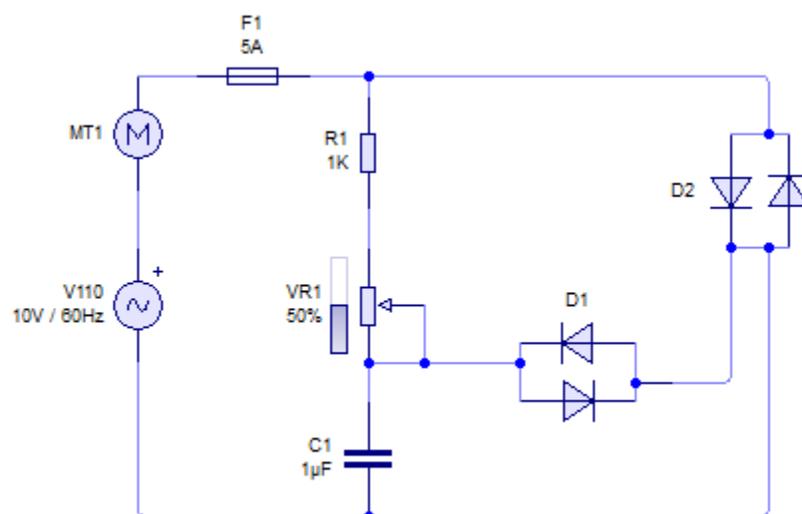
El sensor externo cumple la función de definir el rango de temperatura y humedad relativa dentro del cual es capaz de operar el equipo, de tal modo

que su procedimiento sea acorde a un proceso isoentálpico dentro de la carta psicrométrica. Dicho sensor se encuentra ubicado debajo del equipo, esto para garantizar no solo la lectura más precisa de temperatura y humedad, sino también para protegerlo de la lluvia.

El sensor interno cumple la función de una señal retroalimentadora que se compara con la señal deseada (temperatura definida por el usuario), si dicha señal no es correcta, el equipo en sí mismo se reiniciará hasta obtener el valor requerido. Este sensor se encuentra ubicado a la mitad del largo del aula K22, de este modo se puede tener un estándar de los cambios de temperatura y humedad en su generalidad.

Elementos de control

- ✓ Microcontrolador Arduino MEGA: arduino cumple la función de recolectar la información de los sensores y luego efectúa un análisis de dichas variables para mandar una señal que indique al motor a qué velocidad debe girar su eje para obtener los valores de temperatura deseados sin sobrepasar el límite de humedad relativa, en este caso establecida como 85%.
- ✓ TRIAC: los TRIAC son los elementos principales de la regulación de velocidad del motor del ventilador, estos por sí mismos no pueden regular, pero con ayuda de un circuito integrado sí. Dicho circuito seguirá la siguiente forma:

**Ilustración 52-Circuito dimmer**

Por medio del circuito conocido como Dimmer, el cual consiste en un triac, diac, una resistencia variable (potenciómetro), una resistencia y un capacitor; es posible controlar velocidades de motores AC.

Su funcionamiento se basa en la capacidad del triac de limitar la corriente que pasa a la carga mediante el control de los ciclos de paso, es decir una señal PWM (Modulación de ancho de pulso), esto permite que la corriente del motor se regule y por tanto el control de su velocidad sea posible. En la siguiente imagen puede observarse la señal PWM que se envía en función a la frecuencia con la que se reciben los pulsos.

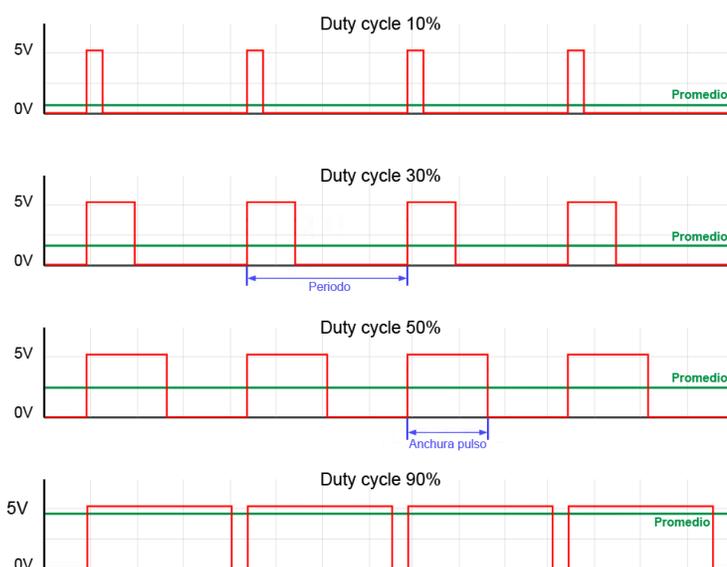


Ilustración 53-Señales PWM a diferentes ciclos de operación

Esto limita el paso de la corriente y por tanto provoca que el motor opere a diferentes velocidades.

La función del diac es permitir que la corriente solo se transmita cuando se alcance el voltaje nominal, esto elimina cualquier bajo o elevado potencial.

- ✓ Pantalla TFT: es una interfase que permite ingresar datos o mostrarlos, al ser táctil funciona mediante la localización de puntos en coordenadas cartesianas.

En el caso del climatizador evaporativo la pantalla táctil desempeñará múltiples funciones, la primera y más importante es la de permitir el ingreso de temperatura que el usuario desea en el interior del salón K22. Su segunda función dentro del proceso manual es la de mostrar los datos obtenidos de temperatura y humedad tanto del exterior como del interior del salón y permitirá al usuario cambiar de modo manual a modo automático.

- ✓ Relés: Los relés son los encargados de proteger el microcontrolador de los elevados voltajes que manejan los motores. Un relé permite la protección del motor del ventilador, mientras el otro del motor de la bomba.
- ✓ Servomotor: es un actuador rotativo que recibe una señal de un microcontrolador y la convierte en movimiento que va desde 0 a 180° en la mayoría de los casos. Este servomotor servirá para transmitir una señal del microcontrolador arduino al potenciómetro del dimmer, a modo de lograr el control automático del motor del ventilador.

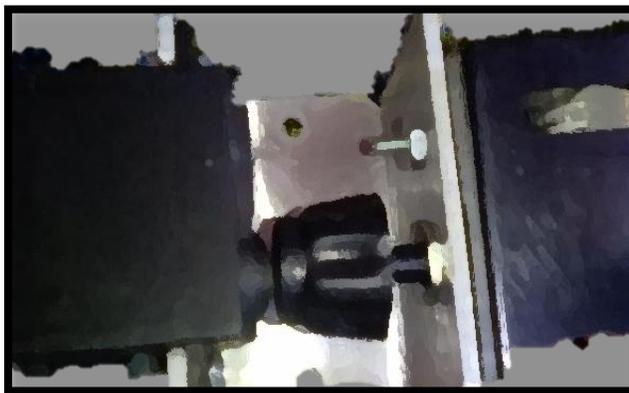


Ilustración 54-Potenciómetro de dimmer unido a servomotor

Elementos secundarios

- ✓ Condensadores
- ✓ Resistencias
- ✓ Interruptores

2.3.6.2 Funcionamiento del circuito de control

2.3.6.2.1 Modos de operación:

El equipo opera en dos modos, un modo automático y un modo manual.

En el modo automático el microcontrolador mediante la lectura de temperatura y humedad de ambos sensores y la realización de cálculos necesarios para obtener un valor en grados del servomotor, efectúa el movimiento correspondiente en el potenciómetro del dimmer que regula la velocidad de giro del ventilador.

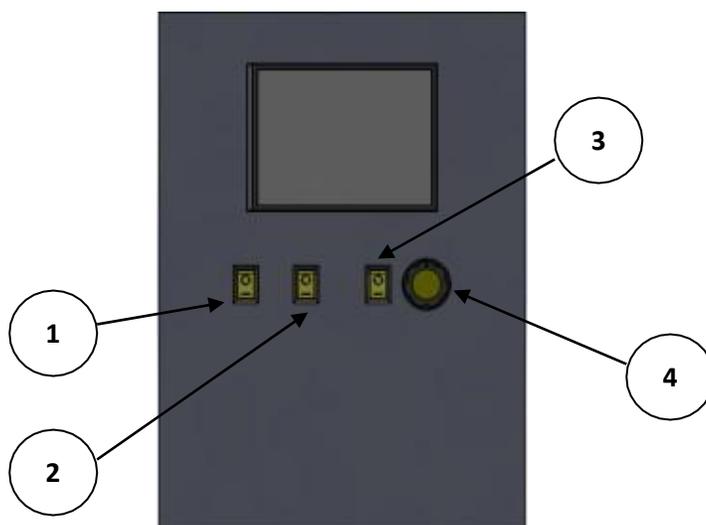


Ilustración 55-Caja de control del sistema

La figura muestra la caja de control del sistema, en ella se encuentra la pantalla táctil que controla el equipo y muestra los datos de temperatura y humedad; el primer interruptor es el que regula el encendido y apagado del equipo, se encuentra conectado directamente a la fuente de arduino de tal modo que si éste no se encuentra encendido ni la bomba ni el ventilador recibirá energía.

El interruptor 2 es el encargado de efectuar el cambio entre el modo manual y automático. El interruptor 3 efectúa el encendido y apagado de la bomba durante el modo manual y el potenciómetro regula la velocidad del ventilador en el modo manual; si estos dispositivos se activan durante el modo automático no efectuarán cambio alguno.

En el modo manual el usuario es capaz de realizar el movimiento de un potenciómetro (su señal es enviada al microcontrolador que la convierte en grados del servomotor) y regula la velocidad del motor del ventilador, al mismo tiempo que regula el encendido y apagado de la bomba mediante interruptores. La pantalla mostrada actualiza los datos de temperatura y humedad sensados y los muestra.

Datos	
Temperatura interior:	27 °C
Humedad interior:	35 %
Temperatura exterior:	33 °C
Humedad exterior:	25 %
Velocidad del viento:	2.5 m/s

Ilustración 56-Pantalla de datos modo manual

En el modo automático, por medio de la pantalla táctil es posible acceder a 3 diferentes pantallas:

- ✓ Pantalla de inicio
- ✓ Pantalla de selección de temperatura deseada
- ✓ Pantalla de datos
- ✓ Pantalla de reseña e información.

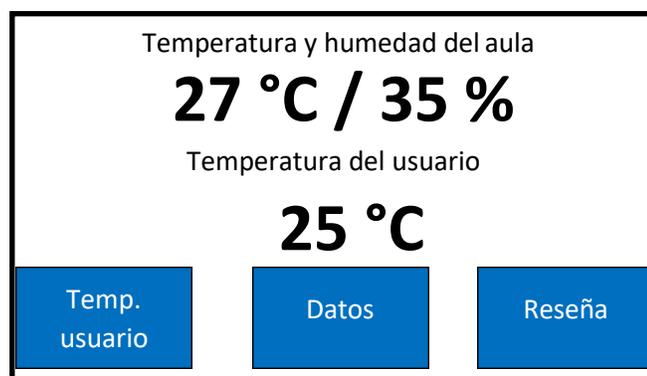
Pantalla de inicio:

Ilustración 57-Pantalla de inicio modo automático

En esta pantalla es posible observar la temperatura y humedad a la que se encuentra la habitación donde se ha instalado el equipo. Su valor se actualiza constantemente y es de tener en cuenta que si su humedad es muy elevada no podrá acondicionarse con los mejores resultados.

Cuenta al mismo tiempo con tres botones que envían a las siguientes pantallas.

Pantalla de selección de temperatura deseada:

Ilustración 58-Pantalla de selección de temperatura

En esta pantalla mediante la utilización de las flechas es posible disminuir o aumentar el valor de temperatura que el usuario desee en la habitación. Cuenta con un botón que permite establecer dicho valor como entrada a los cálculos dentro del microcontrolador y por tanto determinar el valor de flujo de aire y agua necesario.

En esta pantalla también puede observarse un botón en forma de casa, este es para el retorno a la pantalla de inicio (HOME).

Pantalla de datos:

Datos	
Temperatura interna	27 °C
Humedad interna	35 %
Temperatura externa	33 °C
Humedad externa	25 %



Ilustración 59-Pantalla de datos modo automático

En dicha pantalla pueden observarse los valores almacenados en el microcontrolador, temperatura y humedad tanto interna como externa y el valor de flujo másico de aire. Cuenta también con un botón de inicio.

Pantalla de reseña e información:

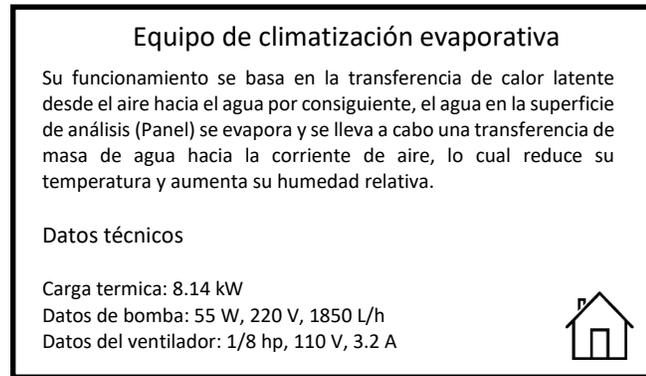


Ilustración 60-Pantalla de reseña

Esta pantalla es la encargada de mostrar los datos generales del equipo, entre estos la carga térmica que maneja, la potencia a la que trabajan tanto bomba como ventilador y el principio de funcionamiento.

El equipo en sí mismo cuenta con una pantalla de error que se mostrará cuando los datos ingresados sean incorrectos y no sea capaz el equipo de regular.

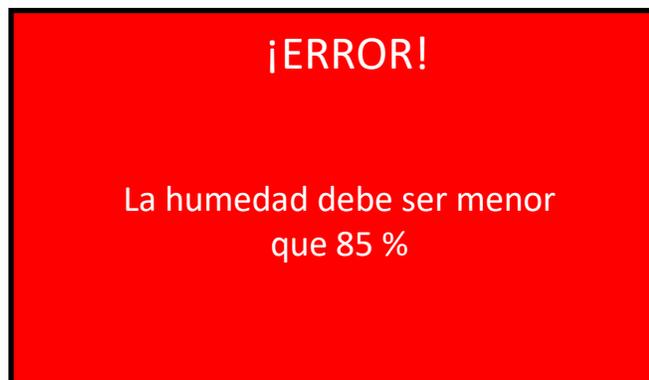


Ilustración 61-Pantalla de error

2.3.6.3 Procedimiento de la codificación

Para el mayor entendimiento del programa de control, se hace uso de un diagrama de flujos (Véase Anexos). Este brinda una idea general del procedimiento que el microcontrolador efectúa, detallando bucles, entradas de datos, salidas, comparaciones e incluso valores a imprimir en la pantalla.

Primeramente para protección de la bomba se requiere verificar que el nivel de agua sea el indicado, por lo que el primer paso es corroborar el estado del interruptor de nivel, si el estado es “HIGH” (es decir que el interruptor se encuentra activado) el nivel de agua es el indicado y se puede operar, la señal se enviará y el motor de la bomba se encenderá; en caso que el estado sea “LOW” la señal se enviará y la bomba se apagará.

Seguidamente se verifica si el modo del equipo se encuentra en manual o automático, en caso que se encuentre en manual se activará un sistema de control mediante interruptores, donde el usuario es capaz de definir la velocidad del motor, encendido y apagado de bomba y la verificación de los valores de temperatura y humedad. En caso de que el sistema se encuentre en modo automático, el microcontrolador se encargará de realizar el cálculo de la correspondiente velocidad a la que debe girar el ventilador para obtener la temperatura deseada.

En este caso se definirá el proceso automático:

Inicialmente se debe especificar la temperatura que el usuario desea en la habitación, esto se realiza en la pantalla táctil.

Una vez definido se realiza la lectura de los sensores de temperatura y humedad tanto externa como interna; seguidamente se verificará que el valor de humedad interna no sobrepase 85% pues de ser este el caso, no se podrá disminuir la temperatura del interior (una pantalla de error se mostrará) y

el programa se reiniciará.

Luego se debe determinar que la temperatura que el usuario ha definido no sea igual o mayor a la temperatura del interior de la habitación. En caso de que ocurriera el programa se reinicia.

En caso de que sea menor, se inicia el programa de determinación de la velocidad del motor del ventilador. Para esto se han definido rangos de temperatura y humedad externa y para cada uno de ellos corresponde un valor en grados del servomotor.

El proceso es el siguiente:

Los rangos de temperatura rondan entre 22°C, 24°C, 26°C, 28°C, 30°C, 32°C, 34°C, y 36°C.

Cada uno de estos rangos contiene valores de humedad que dentro de la carta psicrométrica son permisibles para la disminución de temperatura.

En el caso de un valor de temperatura de 22°C enviará señal para apagar ambos motores, esto debido a que dicho valor no permite disminución de la temperatura en el interior. Para los demás valores de temperatura se establecen los siguientes rangos de humedad relativa:

Temperatura: 24°C	-----	Humedad relativa: 20%-60%
Temperatura: 26°C	-----	Humedad relativa: 20%-55%
Temperatura: 28°C	-----	Humedad relativa: 20%-50%
Temperatura: 30°C	-----	Humedad relativa: 20%-45%
Temperatura: 32°C	-----	Humedad relativa: 20%-40%
Temperatura: 34°C	-----	Humedad relativa: 20%-35%
Temperatura: 36°C	-----	Humedad relativa: 20%-35%

De tal manera que en total se tienen 43 posibles datos, cada uno de estos corresponde a un valor de velocidad del motor del ventilador, muchos de estos en algún momento coincidirán en la isoentálpica.

El proceso en la determinación del valor de grados en el servomotor es:

$$wint = \frac{((-0.426 * Tusuario) + b)}{1000}$$

Haciendo referencia a las tablas de vapor saturado donde a partir de estos valores se puede deducir una ecuación en función de la temperatura deseada:

$$Psat = ((8.06263 \times 10^{-5})(Tusuario^3)) - ((6.90922 \times 10^{-4})(Tusuario^2)) + ((6.94785 \times 10^{-2})(Tusuario)) + (5.66304 \times 10^{-1})$$

La humedad en el interior se puede calcular utilizando el valor de presión de saturación y las correspondientes constantes de los gases ideales de ambos fluidos, tanto del agua como del aire. A partir de la ecuación:

$$w_{sal} = \frac{R_a(P_v)_{sal}}{R_{H_2O}[P - (P_v)_{sal}]}$$

Es posible despejar el valor de la presión de saturación y sustituirla por su relación con la humedad interna, obteniendo:

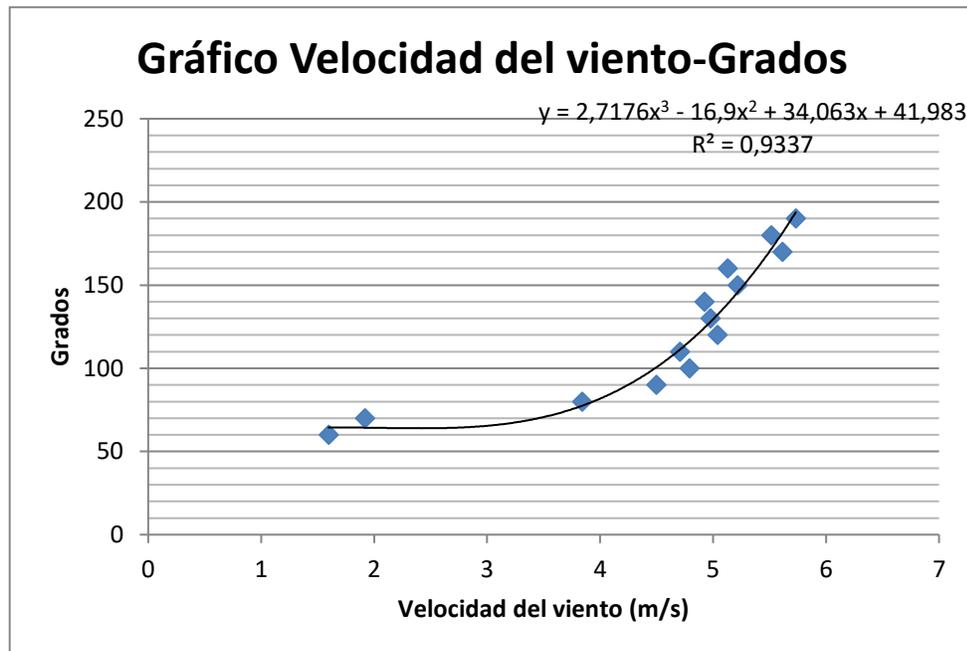
$$hint2 = \frac{(46.7615 * wint)}{(Psat * (0.287 + (0.4615 * wint)))} * 100$$

La variable b corresponde al valor definido mediante cálculo práctico utilizando la carta psicrométrica, para cada isoentálpica corresponde una pendiente constante cuyo valor es 0.426 inversa.

Seguidamente se calcula el valor de la presión de saturación para obtener un valor de humedad interna. Si este valor no sobrepasa 85% se determinará el valor correspondiente de velocidad:

$$\text{grados} = (2.717 * \text{velocidadviento}^3) - (16.9 * \text{velocidadviento}^2) + (34.06 * \text{velocidadviento}) + 41.98$$

Utilizando un anemómetro se tomaron medidas para cada 10 grados del potenciómetro del dimmer y su correspondiente valor de velocidad del viento. El valor inicial en grados del dimmer es 60 pues comienza el motor se enciende a dicho valor. Mediante una gráfica se observa la ecuación que corresponde a su relación.



Gráfica 7-Gráfica velocidad de viento-Grados de giro del dimmer

Este valor se envía mediante mapeo al servomotor, este debido que se encuentra conectado al potenciómetro del dimmer, efectúa su movimiento y por tanto se regula la velocidad del motor.

En la programación realizada en arduino mediante la utilización de funciones logró efectuar lo acometido en el diagrama de flujos, las funciones principales dentro del código son las siguientes:

- ✓ Rectangulo: Ésta función dibuja recuadros en la pantalla táctil para permitir la interacción del usuario con el programa.
- ✓ Error: Imprime en la pantalla una advertencia cuando las condiciones de operación no son adecuadas.
- ✓ Analisis: Realiza la comparación de los datos de los sensores con el valor del usuario para variar el funcionamiento de la bomba y el ventilador.
- ✓ Drawhomeicon: Imprime en la pantalla una casa para permitir al usuario retornar a la pantalla principal.
- ✓ Temperaturausuario: Esta función muestra en la pantalla el entorno para establecer la temperatura deseada.
- ✓ Datos: Muestra en la pantalla la información relevante a las condiciones de operación en el modo automático del climatizador.
- ✓ Datosmanual: Muestra en la pantalla la información relevante a las condiciones de operación en el modo manual del climatizador.
- ✓ Informacion: Imprime en la pantalla una pequeña reseña del proceso de climatización evaporativo y los parámetros del climatizador.
- ✓ ControlBV: Esta función utiliza ciertos datos de entrada que procesa y ejecuta la variación de operación del ventilador y la bomba.
- ✓ Tactil: Esta función activa la detección de presión sobre los botones.

3 CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

3.1 Construcción del equipo

3.1.1 Propela

Como se observa en la Ilustración 62 la propela originalmente era de 32"; fue cortada utilizando una caladora manual para reducir su tamaño a 16". Se marcó el dibujo correspondiente con un cincel y martillo y luego se efectuó el corte. Utilizando una lima de doble caña se redondearon las aspas para reducir su ruido al corte del aire. El motor con el que se cuenta posee una potencia de 1/8 hp, su corriente a plena carga es de 3.2 A.



Ilustración 62-Propela antes y después del corte

El proceso de balanceado, como se observa en la Ilustración 63 de la propela consistía en colocar la pieza en una varilla sobre unos cojinetes, al girar si la propela cuenta con sus aspas totalmente horizontales la pieza se encuentra balanceada.

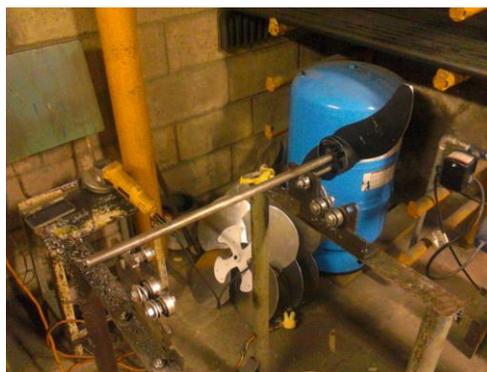


Ilustración 63-Balanceado de propela

3.1.2 Marco interno

Consiguiente se requiere el marco de soporte interno de los 3 paneles evaporativos y del ventilador (las piezas se observan en la ilustración 64); al mismo tiempo para facilitar su mantenimiento se unen mediante bisagras. Está elaborado de acero galvanizado calibre #22 y sus cortes se realizan mediante una cortadora con agua CNC, (computer numerical control), ver ilustración 65, la cual utiliza partículas de granate para efectuar cortes en láminas ya sean de acero o aluminio. Los cortes se efectúan a una velocidad de 30 mm /min y depende del espesor de los materiales la precisión del corte. Es importante que al ejecutar cortes en la CNC se sigan las normativas de seguridad industrial debido a que las partículas de granate son muy finas y el ruido que provoca el equipo es muy elevado, se requieren lentes de protección y protectores auditivos. Las piezas es necesario limarlas para remover la rebaba utilizando limas cuadradas.



Ilustración 64-Marco interno de soporte



Ilustración 65-Cortadora con agua CNC

3.1.3 Tanque de almacenamiento de agua y piezas de soporte del ventilador

Las piezas de soporte de los paneles y tanque de almacenamiento de agua se cortaron utilizando la CNC, luego de realizar los cortes utilizando tijeras de vuelta se utiliza la plegadora para obtener la forma requerida. La unión de dichas piezas tanto al marco de soporte como el tanque en sí mismo se efectuó utilizando soldadura por punto. Las piezas de soporte del tanque ayudan a prevenir que el agua que gotea de los paneles evaporativos rebalse del equipo.

La protección del ventilador es una pieza que se encarga de darle rigidez al marco interno, como se observa en la ilustración 66 cuenta con una vena, esta se encarga de darle firmeza a dicha pieza. En el caso de los soportes para el ventilador, se efectuó un pequeño esquema en base al diámetro del motor, este consta de 4 piezas unidas con la protección y las escuadras; al unirse entre ellas alrededor del motor logran formar una estructura de soporte muy rígida.



Ilustración 66-Tanque de almacenamiento de agua, Soporte de ventilador, Protección del ventilador

3.1.4 Paneles evaporativos

Los paneles evaporativos son dispositivos elaborados de celulosa de palma, la forma de dichos elementos es conocida como panel de abeja y se encarga de absorber el agua que manda la bomba y distribuirlos de forma uniforme para permitir la correcta transferencia de calor y masa entre ambos fluidos. Dichos paneles se cortaron utilizando la CNC, el tamaño especificado fue de 45x45 cm, tal como se observa en la figura 67.

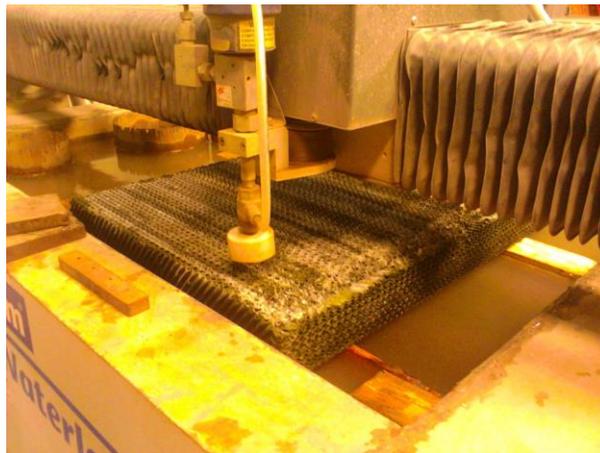


Ilustración 67-Ejecución de corte de paneles evaporativos

3.1.5 Distribuidores

Los distribuidores se elaboraron a partir de un elemento completo de plástico que se encarga de esparcir el agua en 4 paneles de aproximadamente 80 x 80 cm. En este caso utilizando la sierra y el dremel se recortaron del tamaño requerido y las pequeñas piezas de plástico se utilizaron para elaborar un contorno que no permitiera escape de agua. Como se puede observar en la fotografía 68, el agujero que poseía se encontraba ubicado a aproximadamente unos 5 cm a la derecha, era necesario que se ubicara directamente en el centro para garantizar la mejor distribución de agua. De tal modo que utilizando el dremel se recortó y con utilizando sikaflex se selló el agujero. Luego utilizando un taladro se ubicó en el centro y con una pieza de acrílico torneada al diámetro correspondiente se garantizó la entrada de las mangueras. Al mismo tiempo se les agregó a cada distribuidor dos pequeñas pieza de soporte que serían empernadas con la tapadera del equipo



Ilustración 68-Distribuidor inicial, distribuidor al tamaño requerido, distribuidor final

3.1.6 Chapa

Seguidamente se cortó la chapa de recubrimiento del equipo, está elaborada de lámina de aluminio calibre #24, formado por 3 piezas: la pieza que comprende la parte frontal y lateral izquierda, la parte que comprende la parte posterior y lateral derecha y la tapadera del equipo.

Todas las piezas fueron cortadas utilizando la CNC, con cuidado removiendo luego la protección que trae la lámina y doblando con la plegadora. Antes de unir todas las piezas era necesario contar con las persianas, su función no es proteger que la lluvia u otros agentes externos dañen o ensucien los paneles evaporativos. Para su diseño se contaba con la medida exacta del tamaño del agujero de los paneles, a partir de esto y distribuyendo uniformemente el tamaño se podría tener el número exacto de piezas a cortar. Utilizando la guillotina y luego la dobladora se obtuvieron las piezas y luego con remaches de 5/32 se unieron a cada pieza de la chapa.



Ilustración 69-Piezas de chapa de recubrimiento con persianas

3.1.7 Rejilla

Para protección de los ocupantes era necesario contar con una rejilla que no permitiera tener acceso a la propela del ventilador mientras se encuentra en movimiento, por lo que a partir de la rejilla de la propela de 32", utilizando un patrón de papel se dibujó al tamaño exacto y con ayuda del dremel (con discos

de corte reforzados de fibra de vidrio, de diamante, etc) se cortó, luego para poder soportarlo a la chapa era necesario hacer un pequeño doblés circular en las puntas de la rejilla a 45°, por lo que utilizando un soplete se hacía calentaban las puntas y cuando ya se encontraban flexibles, se efectuaba el doblés con una tenaza. Esta pieza se adhirió a la chapa frontal mediante pernos.

Seguidamente se unió todo la chapa utilizando remaches y se colocó en el equipo. Con esto se ejecutó la primera prueba para comprobar la operación del ventilador y que no hubiera fugas en el tanque de almacenamiento. Así mismo se hicieron los cortes de las mangueras de ½" y de las mangueras que partían de la bomba al divisor de caudal.



Ilustración 70-Unión de equipo con chapa

3.1.8 Tapadera

Para la tapadera del equipo se cortó la pieza y con ayuda de remaches se cerró, para lograr que los distribuidores que se encontraban soportados en la tapadera se mantuvieran a la altura requerida, se elaboraron unas esquineras, estas se encontraban colocadas a la altura necesaria.

3.1.9 Estructura de soporte

Se partió de 2 piezas de perfil angular de 1 ½" X 1 ½" X 1/8", se recortaron 17 piezas mediante una sierra circular, y como preparación a su unión se realizaron recortes para su unión con las demás piezas. El proceso de soldadura se llevó a cabo mediante soldadura MAG.



Ilustración 71-Proceso de soldadura y estructura finalizada(derecha).

3.1.10 Pintura

Las láminas recibieron un tratamiento previo para el proceso de pintado, a los marcos internos se les removi6 el galvanizado y a las láminas de aluminio recibieron una limpieza superficial, el tipo de pintura para ambas fueron por spray color gris y pintura en polvo color blanco respectivamente.



Ilustración 72-Proceso de curado de la pintura

3.1.11 Transporte

Para ello se almacenó el equipo desarmado en el interior de una caja para su protección, posteriormente se armó nuevamente para la realización de pruebas preliminares.

3.1.12 Circuito de potencia

El control del ventilador está a cargo de un regulador de velocidad, el cual se encuentra acoplado directamente a un servomotor, este arreglo permite variar el régimen de trabajo del ventilador mediante los movimientos angulares del servomotor.



Ilustración 73-Regulador de velocidad

3.1.13 Programación

Se basa en el diagrama de flujo para el control de la bomba y del ventilador (Véase anexos), con ella se obtiene la función de control; el resto del programa realiza la declaración de variables, la asignación de los pines del Arduino, la inicialización de los periféricos, toma de lecturas y la toma de decisiones (Véase anexos).

3.2 Ubicación del equipo

El climatizador se encuentra ubicado en el aula K22 perteneciente a la Escuela de Ingeniería Mecánica (EIM), se encuentra a una altura aproximada de 7.5 m sobre el nivel del suelo al costado Este del mismo.

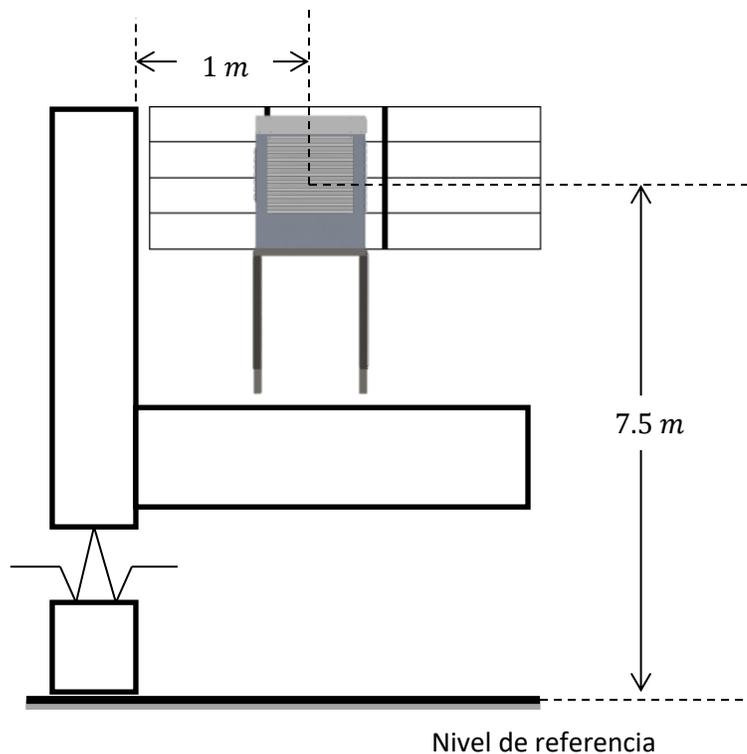


Ilustración 74-Esquema de la ubicación del equipo

En la Ilustración 62 se presenta la ubicación aproximada del equipo vista desde el nivel del suelo, la instalación de la estructura que soporta el climatizador se realizó mediante la perforación de la pared a media altura de la ventana del aula, en concreto se llevaron a cabo 4 perforaciones taladrando aproximadamente 18 cm que es el espesor del mismo y se sujetó mediante 4 varillas roscadas de 5/16" de diámetro y 12" de longitud con sus respectivas tuercas.

3.3 Alimentación de agua potable

Para la ubicación del equipo de climatización evaporativo se tomó en cuenta la posición de las tuberías de alimentación de agua potable del edificio y también que la zona de descarga de agua del tanque no sea un inconveniente para las personas que transitan el área.

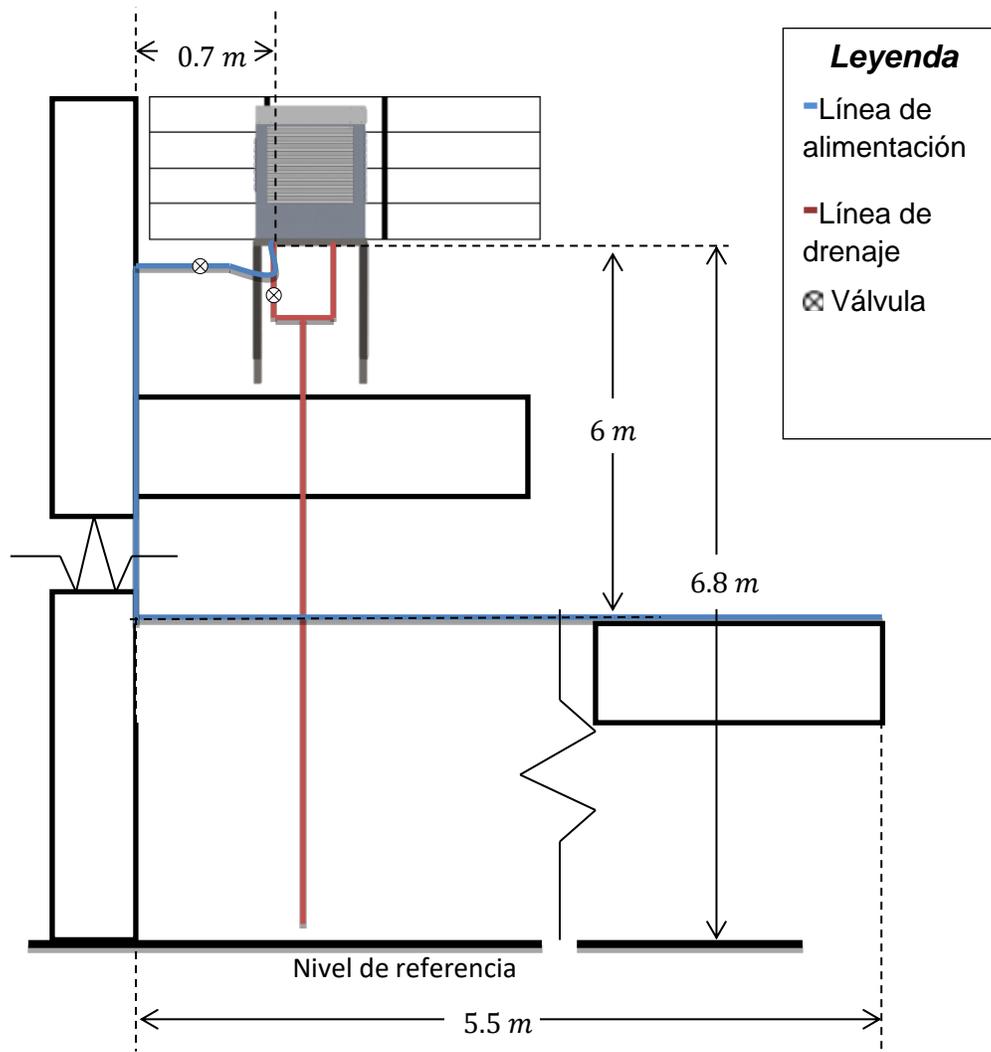


Ilustración 75-Esquema de las líneas de agua potable y drenaje

Según muestra la Ilustración 63, se utilizó dos tipos de tuberías: la primera (Color celeste) está destinada para el abastecimiento de agua hacia el equipo, estas están controladas por dos válvulas; la primera es de tipo flotador cuya función es limitar el paso de agua cuando éste alcanza el nivel deseado y la segunda válvula es de tipo bola, su función es de seguridad en el caso que la válvula de flotador presente algún desperfecto.

La segunda tubería se encuentra destinada para evacuar el agua del equipo en dos situaciones: En un primer caso para la protección del motor de la bomba mediante un rebalse (Cuando se presente algún desperfecto en la válvula de bola) y en segundo caso cuando sea necesario retirar el agua del tanque (Ya sea para efectos de mantenimiento o cuando se planea dejar el equipo un tiempo considerable sin operar).

3.4 Alimentación eléctrica

En la ilustración siguiente se presenta una imagen del equipo instalado con su respectiva instalación eléctrica.

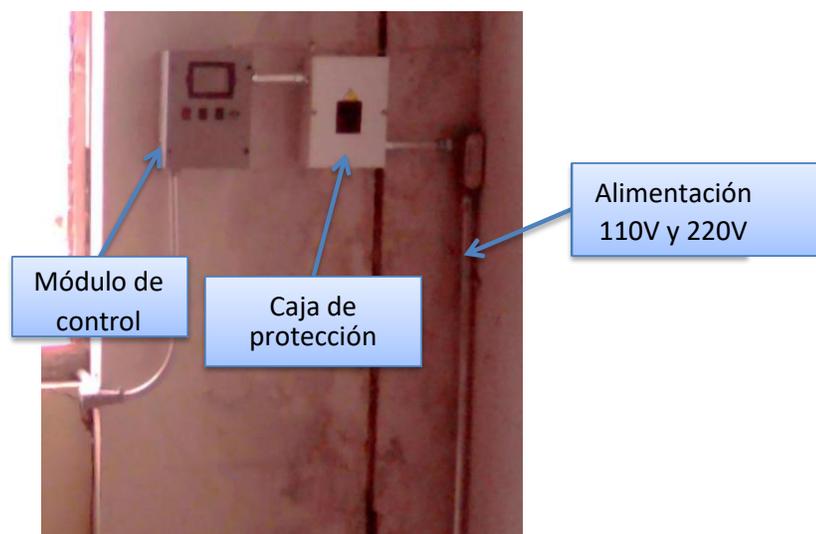


Ilustración 76-Partes de la instalación eléctrica

Para la instalación eléctrica se empleó tubo conduit, coraza metálica, cable THHN N° 14, conectores rectos, caja para térmicos, caja de registro, térmico de 15 amperios 2 polos, cajas para intemperie, entre otros.

Para llevar a cabo la instalación eléctrica es necesario contar con dos fases y un neutro para realizar las conexiones internas para 110V y 220V, el

arreglo de dichos voltajes se lleva a cabo dentro de la caja para térmicos.

El aula K22 tiene ambas conexiones, sin embargo, se tomarán las líneas de 220V aprovechando que entre fase y neutro también se tendrá 110V, teniendo de esta manera 3 cables: 2 fases y 1 neutro.

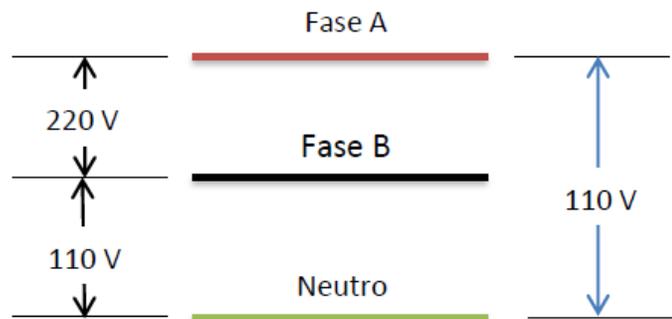


Ilustración 77-Esquema de los niveles de voltaje entre fases y neutro

Dentro del módulo de control, se realizan las conexiones del circuito de potencia para el ventilador y la bomba; la conexión con todos los sensores, el circuito para los interruptores, la pantalla y el microcontrolador.

Los voltajes de operación de cada uno de los elementos que conforman el equipo se enlistan a continuación.

Elementos que operan a 110V AC

- Ventilador
- Arduino (Mediante un sistema rectificador y transformador)
- Regulador de velocidad
- Relé

Elementos que operan a 220V AC

- Bomba
- Interruptor de encendido y apagado

- Relé

Elementos que operan a 5V DC

- Pantalla
- Potenciómetro
- Servomotor
- Interruptor de bomba
- Interruptor de selección "Manual/Automático"
- Sensores de temperatura y humedad relativa

La alimentación a 5V lo proporciona el microcontrolador Arduino, por lo tanto, para llevar a cabo la instalación eléctrica es necesario tener dos tensiones a 110 y 220V.

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Pruebas

Las pruebas se llevaron a cabo en el aula K22 de la Escuela de Ingeniería Mecánica desde el lunes 13 hasta el viernes 17 de febrero de 2017, con un clima templado; la toma de datos se realizó desde las 9:40 AM hasta las 10:50 AM.

Durante los primeros 2 días se utilizaron los sensores del equipo con ventanas cerradas, permitiendo la acumulación de humedad en el aula. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 8-Pruebas sensor ventanas cerradas (Día 1)

Pruebas sensor interno ventanas cerradas				
Hora	Tint (°C)	Hint (%)	Text (°C)	Hext (%)
09:40:00 a.m.	28	46	29	43
09:50:00 a.m.	27	46	28	43
10:00:00 a.m.	27	46	27	43
10:10:00 a.m.	27	46	28	43
10:20:00 a.m.	27	46	28	43
10:30:00 a.m.	27	46	28	43
10:40:00 a.m.	27	46	28	43
10:50:00 a.m.	27	46	28	43

Tabla 9-Pruebas sensor ventanas cerradas (Día 2)

Pruebas sensor interno ventanas cerradas				
Hora	Tint (°C)	Hint (%)	Text (°C)	Hext (%)
09:40:00 a.m.	28	46	29	43
09:50:00 a.m.	28	46	28	43
10:00:00 a.m.	28	46	27	43
10:10:00 a.m.	27	46	28	43
10:20:00 a.m.	27	46	29	43
10:30:00 a.m.	27	46	28	43
10:40:00 a.m.	27	46	29	43
10:50:00 a.m.	27	46	28	43

En el tercer y cuarto día se registraron valores a la misma hora, pero en este caso manteniendo las ventanas abiertas, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 10-Pruebas sensor ventanas abiertas (Día 3)

Pruebas sensor interno ventanas abiertas				
Hora	Tint (°C)	Hint (%)	Text (°C)	Hext (%)
09:40:00 a.m.	28	48	29	44
09:50:00 a.m.	28	46	29	44
10:00:00 a.m.	28	48	29	44
10:10:00 a.m.	28	48	29	45
10:20:00 a.m.	27	45	27	43
10:30:00 a.m.	27	46	27	43
10:40:00 a.m.	27	46	27	43
10:50:00 a.m.	27	46	27	43

Tabla 11-Pruebas sensor ventanas abiertas (Día 4)

Pruebas sensor interno ventanas abiertas				
Hora	Tint (°C)	Hint (%)	Text (°C)	Hext (%)
09:40:00 a.m.	28	48	29	44
09:50:00 a.m.	28	46	29	44
10:00:00 a.m.	27	46	29	44
10:10:00 a.m.	27	46	29	45
10:20:00 a.m.	27	46	29	43
10:30:00 a.m.	27	46	29	43
10:40:00 a.m.	27	46	27	43
10:50:00 a.m.	28	48	27	43

Con lo anterior, cabe resaltar que los cambios en las temperaturas y humedades relativas son pequeños e incluso sin presentar cambios, esto es debido a que el sensor interno se encuentra muy lejano y requiere de un tiempo mucho mayor para mostrar cambios considerables, las humedades también pueden no presentar cambios debido a que las paredes de madera con las que cuenta el aula absorben el vapor de agua contenida en el aire.

En el quinto día se empleó un tercer sensor externo y se colocó a la salida del ventilador, los resultados muestran datos mucho más marcados debido a que dicho sensor se encontraba a una distancia mucho menor respecto al sensor instalado en el aula, esto indica que en cuanto mayor sea el área a acondicionar requiere de un tiempo mayor para llegar al equilibrio térmico.

Tabla 12-Pruebas con sensor externo a la salida del ventilador

Prueba a la salida del ventilador				
Hora	Tint (°C)	Hint (%)	Text (°C)	Hext (%)
09:40:00 a.m.	26.4	63	29	44
09:50:00 a.m.	26.3	63	29	44
10:00:00 a.m.	26.1	59	29	44
10:10:00 a.m.	26.4	60	27	43
10:20:00 a.m.	25	65	29	43
10:30:00 a.m.	23.7	73	27	43
10:40:00 a.m.	24.2	70	27	43
10:50:00 a.m.	24.2	68	28	43

4.2 Resultados

En la imagen 66, se grafican los valores más representativos de los primeros cuatro días de pruebas en la carta psicrométrica, las diferencias de temperaturas fueron cercanas a 1°C durante 2 horas de operación, mediante un software computacional se determinaron las entalpías entre la temperatura interna y externa dando como resultado una diferencia inferior a 1 kJ/kg, esto quiere decir que el funcionamiento es aproximado al funcionamiento ideal. Esta conclusión es resultado de que las condiciones climáticas fueron favorables para el equipo, otro factor que se remarca es que las variaciones de velocidad del ventilador afectan las medidas de temperatura y humedad; se podría reducir aún más esta diferencia si se controlara el flujo de agua.

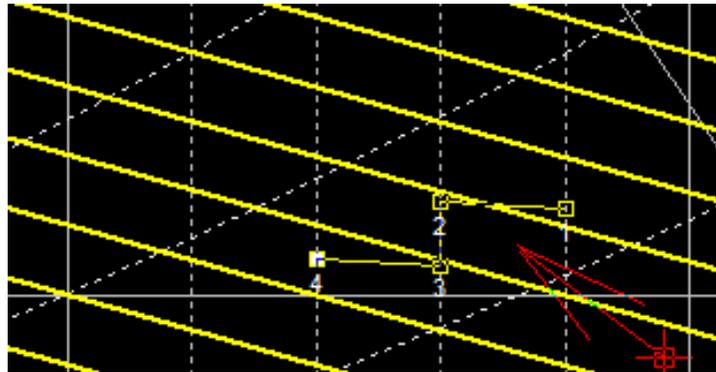


Ilustración 78-Gráfica de datos utilizando sensores del equipo

En la siguiente figura presentada se muestran los datos tomados justo a la salida del ventilador, a pesar de que se cuenta ahora con una mayor diferencia de temperaturas y humedades, se comprueba que la tendencia del proceso es aproximadamente a entalpía constante. Los cambios pueden ser apreciables en todo el aula si se contase con un mayor tiempo de operación.

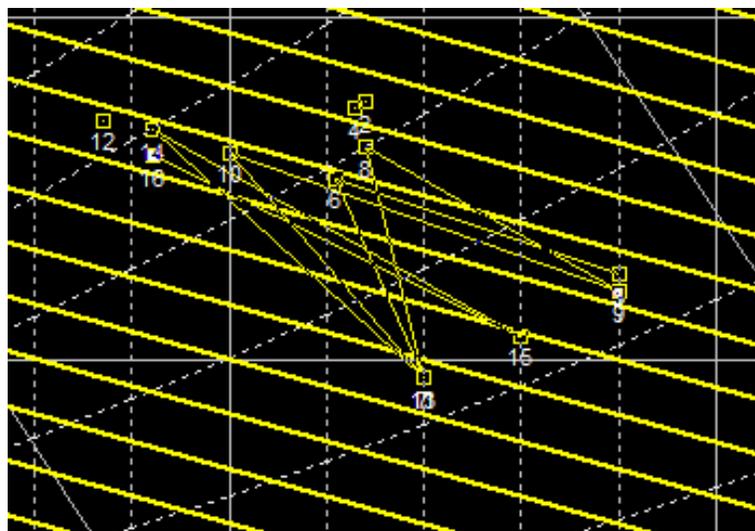


Ilustración 79-Gráfica de datos utilizando sensor externo

El objetivo de las pruebas consistió en verificar si los datos corresponden con un proceso isoentálpico, en ella se comprobó que los datos de entalpía para cada par de datos son cercanos, esto puede deducirse de las imperfecciones

inherentes del equipo como el grado de suciedad de los paneles evaporativos, el grado de imperfección del ventilador, imperfecciones en la construcción de los distribuidores de agua, corrientes de aire externas, etc.

4.2.1 Cálculo de eficiencia del equipo

Se tomarán los datos de temperatura y humedad relativa del quinto día de prueba para determinar la eficiencia del equipo, a continuación se detallan:

$$T_{sal} = 24.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$HR_{sal} = 68\%$$

$$T_{ent} = 28^\circ\text{C}$$

$$HR_{ent} = 43\%$$

$$T_{bh} = 18.5^\circ\text{C}$$

$$\eta = \frac{T_{ent} - T_{sal}}{T_{ent} - T_{bh}} \times 100\% = \frac{28 - 24.2}{28 - 18.5} \times 100\% = 40\%$$

La eficiencia está condicionada al proceso de fabricación de los equipos, el grado de suciedad que los paneles evaporativos pueden adquirir al tiempo de uso que limita la transferencia de calor y masa; la potencia que demanda el motor del ventilador es muy baja, por lo que los motores que se seleccionan quedan sobredimensionados; el método de distribución afecta la eficiencia del equipo.

5. CONCLUSIONES

Un equipo de climatizado evaporativo es una alternativa viable para el acondicionamiento de aire sin provocar daños graves al ambiente; sin embargo, se requiere de estudios más minuciosos para lograr un mejor desempeño. Los sistemas actualmente no han logrado solucionar problemas como el elevado consumo de agua o el cálculo de carga térmica con enfoque a este tipo de equipo; solo se han regulado mediante el uso de sistemas electrónicos de control con lazo cerrado.

Con los equipos de climatización evaporativa se perciben cambios de temperaturas que van desde 5 a 6°C máximo, logrando un mínimo de temperatura de 22 °C. Esto ocurre debido a que el equipo se encuentra limitado por el mismo proceso isoentálpico en el cual se basa.

La eficiencia de los equipos de climatizado evaporativo depende no solo de las condiciones climáticas bajo las cuales opere, sino también del tiempo de operación, estos equipos no se encuentran diseñados con un estándar de tiempo como variable de diseño.

Los trabajos de mantenimiento para un equipo de climatización evaporativo suelen ser más frecuentes debido a la limpieza de los paneles evaporativos; sin embargo, debido a la simplicidad de su diseño y la poca cantidad de elementos que los constituyen son procedimientos sencillos de realizar.

6. RECOMENDACIONES

El rendimiento del equipo puede mejorarse mediante la colocación de cortinas en las ventanas del costado Este del salón debido a que esto contribuye a reducir la carga térmica que el equipo debe disipar.

Para una mejor comodidad para los estudiantes y los docentes, es necesario llevar a cabo un plan de reubicación de los muebles dentro del salón.

Como estrategia pedagógica se puede tomar en cuenta utilizar los temas tratados en el documento para analizar posibles mejoras o variantes que contribuyan al mejoramiento de esta clase de equipos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Passive and low energy cooling for the build environment. (2005). Santorini: Heliotopos Conferences.

Medir el grado de humedad. El higrometro. (29 de Noviembre de 2013). Recuperado el 2 de Abril de 2016, de <http://www.purificadordelaire.es/medir-el-grado-de-humedad-el-higrometro/>

(2015). *Manual de buenas prácticas ambientales y buenas prácticas en el manejo de sistemas de refrigeración y aire acondicionado en Guatemala.* Guatemala: Unidad Técnica de Ozono.

2016, U. T. (s.f.). *Weathermakers to the world.* Recuperado el 22 de Marzo de 2016, de www.williscarrier.com

A. Cengel, Y., & A. Boles, M. (2012). *Termodinámica.* México D.F.: McGraw-Hill.

A'zami, A. (2005). *Badgir in traditional Iranian architecture.* International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", Santorini.

ALFAGOMMA. (s.f de Enero de 2016). INDUSTRIAL HOSE AND FITTINGS. Vimercate, Italia: s.n.

AOLAN Industry CO. LTD. (s.f de s.f de s.f). Evaporative air cooler. Fujian, China: s.n.

Bachiller E. Jazaveri, A. G. (2011). Construction of Windcatcher and necessity of enhancing the traditional windcatcher. *Magazine of Civil Engineering* .

Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2007). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones.* México D.F.: McGraw-Hill.

D.L Valera, A. F. (2007). Eficacia de los paneles evaporativos en la refrigeración de invernaderos. *DOSSIER*, 4.

Fernández Ferrer, J., & Pujal Carrera, M. (1973). *Iniciación a la física.* Barcelona: Reverté.

Gálvez, F. J., López, R., Llopis, A., & Rubio, C. (1998). *Física: Curso teórico práctico de fundamentos físicos de la ingeniería.* Madrid: Tébar Flores.

Hewitt, P. G. (2004). *Física conceptual.* Naucalpan de Juárez: Pearson Education.

Lapuerta Amigo, M., & Armas Vergel, O. (2012). *Frío industrial y aire acondicionado.* Cuenca: Universidad de Castilla La Mancha.

- Marengo Ramírez, Á. (2 de Septiembre de 2015). Diseño de un sistema de climatización evaporativo automatizado para fines didácticos. (C. Linares Aguirre, & A. Turcios Marquez, Entrevistadores)
- Marengo Ventiladores. (s. f. de s. f. de s. f.). *Climatizador Evaporativo Axial - Marengo Ventiladores*. Recuperado el 3 de Abril de 2016, de <http://www.marengoventiladores.com/climaevoaxial/>
- Marrero, T. R., & Mason, E. A. (1972). *Gaseous Diffusion Coefficients*. Providence: American Chemical Society and the American Institute of Physics.
- Mayosky, M. A., & Valenciaga, F. (s. f. de s. f. de s. f.). *Facultad de Ingeniería | UNLP*. Recuperado el 2 de Abril de 2016, de <http://www.ing.unlp.edu.ar/cys/DI/termocuplas.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s. f. de s. f. de s. f.). *MARN*. Recuperado el 28 de Febrero de 2016, de <http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima+en+el+salvador/>
- Palmer, J. D. (2002). *Evaporative Cooling design Guidelines manual*. Albuquerque: s. n.
- Pita, E. G. (1994). *Acondicionamiento de aire: Principios y sistemas*. Compañía Editorial Continental.
- Wark Jr., K., & Richards, D. E. (2001). *Termodinámica*. España: McGraw-Hill.

ANEXOS

Tablas

Tabla A1: Propiedades del agua saturada.

Propiedades del agua saturada ²		
Temperatura (°C)	Entalpía de vaporización (kJ/kg)	Presión de saturación (kPa)
0.01	2501	0.6113
5	2490	0.8721
10	2478	1.2276
15	2466	1.7051
20	2454	2.339
25	2442	3.169
30	2431	4.246
35	2419	5.628
40	2407	7.384
45	2395	9.593
50	2383	12.35
55	2371	15.76

Tabla A2: Propiedades del aire a 1 atm.

Propiedades del aire a 1 atm ³		
Temperatura (°C)	Densidad (kg/m ³)	Viscosidad cinemática (m ² /s)
0	1.292	1.338E-05
5	1.269	1.382E-05
10	1.246	1.426E-05
15	1.225	1.470E-05
20	1.204	1.516E-05
25	1.184	1.562E-05
30	1.164	1.608E-05

35	1.145	1.655E-05
40	1.127	1.702E-05
45	1.109	1.750E-05
50	1.092	1.798E-05
60	1.059	1.896E-05

Tabla A3-Rugosidades de materiales

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	ϵ (mm)	Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Tabla A4-Propiedades físicas del agua

Propiedades físicas del agua (en unidades del SI)

Temp. °C	Peso específico ρ N/m ³	Densidad ρ kg/m ³	Viscosidad $\mu \times 10^3$, N·s/m ²	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^6$ m ² /s	Tensión superficial $\sigma \times 10^2$, N/m	Carga de presión de vapor p_v/γ * m	Módulo de elasticidad volumétrica $K \times 10^{-7}$, N/m ²
0	9806	999.9	1.792	1.792	7.62	0.06	204
5	9807	1000.0	1.519	1.519	7.54	0.09	206
10	9804	999.7	1.308	1.308	7.48	0.12	211
15	9798	999.1	1.140	1.141	7.41	0.17	214
20	9789	998.2	1.005	1.007	7.36	0.25	220
25	9778	997.1	0.894	0.897	7.26	0.33	222
30	9764	995.7	0.801	0.804	7.18	0.44	223
35	9749	994.1	0.723	0.727	7.10	0.58	224
40	9730	992.2	0.656	0.661	7.01	0.76	227
45	9711	990.2	0.599	0.605	6.92	0.98	229
50	9690	988.1	0.549	0.556	6.82	1.26	230
55	9666	985.7	0.506	0.513	6.74	1.61	231
60	9642	983.2	0.469	0.477	6.68	2.03	228
65	9616	980.6	0.436	0.444	6.58	2.56	226
70	9589	977.8	0.406	0.415	6.50	3.20	225
75	9560	974.9	0.380	0.390	6.40	3.96	223
80	9530	971.8	0.357	0.367	6.30	4.86	221
85	9499	968.6	0.336	0.347	6.20	5.93	217
90	9466	965.3	0.317	0.328	6.12	7.18	216
95	9433	961.9	0.299	0.311	6.02	8.62	211
100	9399	958.4	0.284	0.296	5.94	10.33	207

* $\gamma = 9806 \text{ N/m}^3$.

Código del microcontrolador

```

float velocidadmanual=0;
int c=0;
int estadonivel = 0;
int controlnivel = 27;
int interruptor = 26;
int interruptorbomba = 29;
int potpin = 8;
int val;
int grados;
  long T1 = 0;          //Declaramos la variable long a T1 e igualamos a
cero
  long T2 = 0;          //Declaramos la variable long a T2 e igualamos a
cero
  long Delta = 0;      //Declaramos la variable long a Delta e igualamos
a cero
  int C = 0;           //Declaramos la variable int a C e igualamos a
cero
int a=0;
int pagina=0;
int Tpantalla=26;
int Tusuario=23;
int bomba = 25;
int vent = 28;
int hint=0;
int tint=0;
int hext=0;
int text=0;
#include "DHT.h"
#include <Servo.h>
Servo myservo;
#define DHTPIN 22
#define DHTPIN2 23
#define DHTTYPE DHT11
#define DHTTYPE2 DHT11
DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE);
DHT dht2 (DHTPIN2, DHTTYPE2);
#include <Adafruit_GFX.h>
#include "SWTFT.h"
#include <TouchScreen.h>

#define YP A1 // must be an analog pin, use "An" notation!
#define XM A2 // must be an analog pin, use "An" notation!
#define YM 7 // can be a digital pin
#define XP 6 // can be a digital pin

#define TS_MINX 150
#define TS_MINY 120
#define TS_MAXX 920
#define TS_MAXY 940

TouchScreen ts = TouchScreen(XP, YP, XM, YM, 300);

```

```
#define MINPRESSURE 10
#define MAXPRESSURE 1000

#define BLACK 0x0000
#define BLUE 0x001F
#define RED 0xF800
#define GREEN 0x07E0
#define CYAN 0x07FF
#define MAGENTA 0xF81F
#define YELLOW 0xFFE0
#define WHITE 0xFFFF

SWTFT tft;
int estadointerruptor = 0;
int estadointerruptorbomba =0;

void setup(void) {

    pinMode(controlnivel, INPUT);
    pinMode(interruptor, INPUT);
    pinMode(interruptorbomba, INPUT);
    pinMode(bomba, OUTPUT);
    pinMode(vent, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
    Serial.println(F("TFT LCD test"));
    dht.begin();
    dht2.begin();
    myservo.attach(24);

    tft.reset();

    uint16_t identifier = tft.readID();

    Serial.print(F("LCD driver chip: "));
    Serial.println(identifier, HEX);

    tft.begin(identifier);

    tft.fillScreen(WHITE);

}

void loop() {

    hint = ((-0.16)*(dht.readHumidity()))+53.944;
    tint = ((0.86)*(dht.readTemperature()))+6.36;
    hext = ((-0.117)*(dht2.readHumidity()))+49.281;
    text = ((0.6857)*(dht2.readTemperature()))+11.86;
    estadointerruptor=digitalRead(interruptor);
    if(estadointerruptor==LOW){
        estadonivel=digitalRead(controlnivel);
        if (estadonivel==LOW){
```

```

    digitalWrite(bomba, LOW);
  }
  else{
    digitalWrite(bomba, HIGH);
  }
  if(pagina==4){
    tft.fillScreen(WHITE);
    pagina=0;
    a=0;
    c=0;
  }
  if (pagina==0){
    tft.setRotation(1);
    tft.setCursor(0,0);
    tft.setTextSize(2);
    tft.setTextColor(BLACK);
    tft.print("Temperatura y humedad del aula:");
    tft.setCursor(30,40);
    tft.setTextSize(4);
    tft.setTextColor(BLACK);
    tft.fillRect(30,40,200,30,WHITE);
    tft.print(tint); tft.print((char)247); tft.print("C/");
    tft.print(hint); tft.print("%");
    tft.setCursor(0,80);
    tft.setTextSize(2);
    tft.setTextColor(BLACK);
    tft.print("Temperatura del usuario:");
    tft.setCursor(30,110);
    tft.setTextSize(4);
    tft.setTextColor(BLACK);
    tft.print(Tusuario); tft.print((char)247); tft.print("C");
    rectangulo();
  }
  tactil();
  delay(500);
  analisis();
}
else{
  estadointerruptorbomba=digitalRead(interruptorbomba);
  estadonivel=digitalRead(controlnivel);
  if (estadonivel==HIGH && estadointerruptorbomba==HIGH) {
    digitalWrite(bomba, HIGH);
  }
  else{
    digitalWrite(bomba, LOW);
  }

  if(c==0){
    tft.fillScreen(WHITE);
    c++;
  }
  val = analogRead(potpin); // reads the value of the
potentiometer (value between 0 and 1023)
  val = map(val, 0, 1023, 130, 75); // scale it to use it with the
servo (value between 0 and 180)

```

```

myservo.write(val); // sets the servo position
according to the scaled value
velocidadmanual=6.83*pow(10,-6)*pow(val,3)-2.91*pow(10,-
3)*pow(val,2)+4.13*pow(10,-1)*val-14.4;
delay(1000);
tft.fillRect(263,50,25,120,WHITE);
tft.fillRect(220,175,55,20,WHITE);
datosmanual();
}
}

void rectangulo(){
  if (a==0){
    a=a+1;
    tft.drawRect(0,150,100,60,BLUE);
    tft.fillRect(1,151,98,58,BLUE);
    tft.setCursor(5,165);
    tft.setTextSize(2);
    tft.setTextColor(WHITE);
    tft.print(" Temp.\n usuario");
    tft.fillRect(110,150,98,58,BLUE);
    tft.setCursor(115,165);
    tft.setTextSize(2);
    tft.setTextColor(WHITE);
    tft.print(" Datos");
    tft.fillRect(220,150,98,58,BLUE);
    tft.setCursor(225,165);
    tft.setTextSize(2);
    tft.setTextColor(WHITE);
    tft.print(" Rese");tft.print((char)164);tft.print("a");
  }
}

void rectangulook (){
  tft.fillRect(60,175,80,60,BLUE);
  tft.setCursor(70,190);
  tft.setTextSize(5);
  tft.setTextColor(WHITE);
  tft.print("OK");
}

void tactil(){
  TSPoint p = ts.getPoint();
  pinMode(XM, OUTPUT);
  pinMode(YP, OUTPUT);
  if (p.z > MINPRESSURE && p.z < MAXPRESSURE) {
    p.x = map(p.x, TS_MINX, TS_MAXX, 240, 0);
    p.y = map(p.y, TS_MINY, TS_MAXY, 320, 0);
    Serial.print("p.y:");
    Serial.print(p.y);
    Serial.print(" p.x:");
    Serial.println(p.x);
    if (p.y > 235 && p.y < 329 && p.x > 160 && p.x < 236) {
      if (pagina==0){
        pagina=1;

```

```

        temperaturausuario();
    }
}
if (p.y > 132 && p.y < 216 && p.x > 157 && p.x < 219) {
    if (pagina==0){
        pagina=2;
        pantalladatos();
    }
}
if (p.y > 19 && p.y < 98 && p.x > 150 && p.x < 226) {
    if (pagina==0){
        pagina=3;
        informacion();
    }
}
if (pagina==1 or pagina==2 or pagina==3) {
    if (p.y > 0 && p.y < 68 && p.x > 210 && p.x < 247){
        pagina=0;
        a=0;
        tft.fillScreen(WHITE);
    }
}
if (pagina==1){
    if (p.y > 190 && p.y < 282 && p.x > 185 && p.x < 242){
        Tusuario=Tpantalla;
        pagina=0;
        a=0;
        tft.fillScreen(WHITE);
    }
}

    if (p.y > 35 && p.y < 126 && p.x > 55 && p.x < 100 &&
Tpantalla<=28){
        Tpantalla=Tpantalla+1;
        delay(500);
        tft.fillRect(20,100,165,60,WHITE);
        tempusuario();
    }

    if (p.y > 35 && p.y < 126 && p.x > 150 && p.x < 200 &&
Tpantalla>=23){
        Tpantalla=Tpantalla-1;
        delay(500);
        tft.fillRect(20,100,165,60,WHITE);
        tempusuario();
    }
}
}

void temperaturausuario(){
    if (pagina==1){
        tft.fillScreen(WHITE);
        tft.setCursor(0,15);
        tft.setTextSize(2);
        tft.setTextColor(BLACK);
    }
}

```

```
tft.print("Ingrese valor de Temperatura deseado");
tempusuario();
triangulo();
drawhomeicon();
rectangulook();
}
}

void pantalladatos() {
    if (pagina==2) {
        tft.fillScreen(WHITE);
        tft.setCursor(0,15);
        tft.setTextSize(4);
        tft.setTextColor(BLACK);
        tft.print("  Datos\n");
        tft.setCursor(0,50);
        tft.setTextSize(2);
        tft.setTextColor(BLACK);
        tft.print("Temperatura interna "); tft.println(tint);tft.println();
        tft.print("Humedad interna ");tft.println(hint);tft.println();
        tft.print("Temperatura externa ");tft.println(text);tft.println();
        tft.print("Humedad externa ");tft.println(hext); tft.println();
        drawhomeicon();
    }
}

void informacion() {
    if (pagina==3) {
        tft.fillScreen(WHITE);
        tft.setCursor(0,15);
        tft.setTextSize(2);
        tft.setTextColor(BLACK);
        tft.println("  Equipo de climatizacion \n          evaporativa");
        tft.print("Rese");tft.print((char)164);tft.println("a \n");
        tft.setTextSize(1);
        tft.print("Su funcionamiento se basa en la transferencia de calor
latente desde el aire hacia el agua");
        tft.print(" por consiguiente, el agua en la superficie de analisis
(Panel) se evapora y se lleva a cabo una transferencia");
        tft.println(" de masa de agua hacia la corriente de aire, lo cual
reduce su temperatura y aumenta su humedad relativa.\n");
        tft.setTextSize(2);
        tft.println("Datos tecnicos \n");
        tft.setTextSize(1);
        tft.println("Carga termica: 8.14 kW");
        tft.println("Datos de bomba: 55 W, 220 V, 1850 L/h");
        tft.println("Datos del ventilador: 1/8 hp, 110 V, 3.2 A");
        drawhomeicon();
    }
}

void datosmanual() {
    pagina=4;
    tft.setCursor(30,5);
    tft.setTextSize(4);
}
```

```
tft.setTextColor(BLACK);
tft.println("  Datos\n");
tft.setCursor(0,50);
tft.setTextSize(2);
tft.print("Temperatura interior: ");
tft.print(tint); tft.print((char)247); tft.println("C\n");
tft.print("Humedad interior:    ");
tft.print(hint); tft.println("%\n");
tft.print("Temperatura exterior: ");
tft.print(text); tft.print((char)247); tft.println("C\n");
tft.print("Humedad exterior:    ");
tft.print(hext); tft.println("%\n");
tft.print("Velocidad viento:  ");
tft.print(velocidadmanual); tft.println("m/s");

}

void tempusuario(){
  tft.setCursor(20,100);
  tft.setTextSize(7);
  tft.setTextColor(BLACK);
  tft.print(Tpantalla); tft.print((char)247); tft.print("C");
}

void error1(){
  tft.fillScreen(RED);
  tft.setCursor(20,10);
  tft.setTextSize(4);
  tft.setTextColor(WHITE);
  tft.print((char)173); tft.println("ERROR! \n");
  tft.setTextSize(3);
  tft.print("La temperatura \ndel usuario debe ser menor que la
\n temperatura en el aula ("); tft.print(tint); tft.print(").");
  delay(5000);
  pagina=1;
  temperaturausuario();
}

void error2(){
  tft.fillScreen(RED);
  tft.setCursor(20,10);
  tft.setTextSize(4);
  tft.setTextColor(WHITE);
  tft.print((char)173); tft.println("ERROR! \n");
  tft.setTextSize(3);
  tft.print("La humedad \ndel aula debe ser menor que 85%");
  delay(5000);
  pagina=0;
  a=0;
  tft.fillScreen(WHITE);
}

void drawhomeicon() {
  tft.drawLine(280, 219, 299, 200, RED);
  tft.drawLine(300, 200, 304, 204, RED);
}
```

```
tft.drawLine(304, 203, 304, 200, RED);
tft.drawLine(305, 200, 307, 200, RED);
tft.drawLine(308, 200, 308, 208, RED);
tft.drawLine(309, 209, 319, 219, RED);
tft.drawLine(281, 219, 283, 219, RED);
tft.drawLine(316, 219, 318, 219, RED);
tft.drawRect(284, 219, 32, 21, RED);
tft.drawRect(295, 225, 10, 15, RED);
}

void triangulo(){
  tft.drawTriangle(250,50,200,100,300,100,BLUE);
  tft.fillTriangle(250,50,200,100,300,100,BLUE);
  tft.drawTriangle(250,190,200,140,300,140,BLUE);
  tft.fillTriangle(250,190,200,140,300,140,BLUE);
}

void analisis(){
  if (hint>=85){
    error2();
    return;
  }
  if (Tusuario>=tint){
    digitalWrite (bomba, LOW);
    digitalWrite (vent, HIGH);
    int tint = dht.readTemperature();
    return;
  }
  else{
    if (estadonivel==HIGH){
      digitalWrite(bomba,HIGH);
    }
    digitalWrite(vent,LOW);
  }

  if (text<=22){
    digitalWrite (bomba, LOW);
    digitalWrite (vent, HIGH);
  }

  if (text<=24){
    if (hext<=20){
      controlBV(13.82,0.965);
      return;
    }
    if (hext<=25){
      controlBV(14.74,1.068);
      return;
    }
    if (hext<=30){
      controlBV(15.72,1.196);
      return;
    }
    if (hext<=35){
      controlBV(16.72,1.359);
    }
  }
}
```

```
    return;
}
if (hext<=40){
    controlBV(17.72,1.575);
    return;
}
if (hext<=45){
    controlBV(18.72,1.873);
    return;
}
if (hext<=50){
    controlBV(19.72,2.312);
    return;
}
if (hext<=55){
    controlBV(20.52,3.024);
    return;
}
if (hext<=60){
    controlBV(21.72,4.372);
    digitalWrite (bomba, LOW);
    return;
}

return;
//Aqui termina el if de temperatura menor a 24
}

if (text<=26){
    if (hext<=20){
        controlBV(15.08,1.018);
        return;
    }
    if (hext<=25){
        controlBV(16.28,1.15);
        return;
    }
    if (hext<=30){
        controlBV(17.28,1.321);
        return;
    }
    if (hext<=35){
        controlBV(18.58,1.553);
        return;
    }
    if (hext<=40){
        controlBV(19.58,1.885);
        return;
    }
    if (hext<=45){
        controlBV(20.58,2.401);
        return;
    }
    if (hext<=50){
        controlBV(21.68,3.309);
        return;
    }
}
```

```
    }
    if (hext<=55){
        digitalWrite (bomba,LOW);
        return;
    }

    return;
    //Aqui termina el if de temperatura menor a 26
}
if (text<=28){
    if (hext<=20){
        controlBV(16.53,1.085);
        return;
    }
    if (hext<=25){
        controlBV(17.83,1.257);
        return;
    }
    if (hext<=30){
        controlBV(18.93,1.496);
        return;
    }
    if (hext<=35){
        controlBV(20.43,1.849);
        return;
    }
    if (hext<=40){
        controlBV(21.43,2.421);
        return;
    }
    if (hext<=45){
        controlBV(22.73,3.515);
        return;
    }
    if (hext<=50){
        digitalWrite (bomba,LOW);
        return;
    }

    return;
    //Aqui termina el if de temperatura menor a 28
}
if (text<=30){
    if (hext<=20){
        controlBV(17.88,1.16);
        return;
    }
    if (hext<=25){
        controlBV(19.28,1.386);
        return;
    }
    if (hext<=30){
        controlBV(20.78,1.724);
        return;
    }
    if (hext<=35){
```

```
        controlBV(22.18,2.281);
        return;
    }
    if (hext<=40){
        controlBV(23.58,3.379);
        return;
    }
    if (hext<=45){
        digitalWrite (bomba,LOW);
        return;
    }

    return;
    //Aqui termina el if de temperatura menor a 30
}
if (text<=32){
    if (hext<=20){
        controlBV(19.43,1.272);
        return;
    }
    if (hext<=25){
        controlBV(21.03,1.594);
        return;
    }
    if (hext<=30){
        controlBV(22.53,2.137);
        return;
    }
    if (hext<=35){
        controlBV(24.13,3.251);
        return;
    }
    if (hext<=40){
        digitalWrite (bomba,LOW);
        return;
    }

    return;
    //Aqui termina el if de temperatura menor a 32
}
if (text<=34){
    if (hext<=20){
        controlBV(20.88,1.407);
        return;
    }
    if (hext<=25){
        controlBV(22.58,1.873);
        return;
    }
    if (hext<=30){
        controlBV(24.48,2.809);
        return;
    }
    if (hext<=35){
        digitalWrite (bomba,LOW);
        return;
    }
}
```

```
    }

    return;
    //Aqui termina el if de temperatura menor a 34
}
if (text<=36){
    if (hext<=20){
        controlBV(22.44,1.598);
        return;
    }
    if (hext<=25){
        controlBV(24.44,2.335);
        return;
    }
    if (hext<=30){
        controlBV(26.34,4.357);
        return;
    }
    if (hext<=35){
        digitalWrite (bomba,LOW);
        return;
    }

    return;
    //Aqui termina el if de temperatura menor a 36
}

}

void Temporizador(int tiempo)
{

//DECLARACION DE LAS VARIABLES INTERNAS DE LA FUNCION

//INICIO DE LA FUNCION PROPIAMENTE DICHA

    C=C+1;           //La variable C se suma asi misma en una unidad
    if (C == 1){     //Pregunta si C es igual a 1
        T1 = millis(); //Aqui T1 toma el valor de millis
    }

    T2 = millis();   //Aqui T2 toma el valor de millis
    Delta = T2-T1;   //En este caso realiza diferencia entre los
tiempos

    Serial.println(Delta);
    if (Delta>=tiempo){
        T1 = 0;
        T2 = 0;
        Delta = 0;
        C = 0;
    }
}
```

```
}

void controlBV(float b, float velocidadviento){
float wint;
float Psat;
int hint2;

wint=(-0.426*Tusuario+b)/1000;

Psat=((8.06263)*pow(10,-5)*pow(Tusuario,3))-((6.90922)*pow(10,-4)*pow(Tusuario,2))+((6.94785)*pow(10,-2)*Tusuario)+((5.66304)*pow(10,-1));

hint2=((46.7615*wint)/(Psat*(0.287+(0.4615*wint))))*100;

if (hint2<=85){
  grados=((2.717)*pow(velocidadviento,3))-((16.9)*pow(velocidadviento,2))+((34.06)*(velocidadviento))+41.98;
  grados=map(grados,60,110,130,75);
  Temporizador(1500);
  if(C==0){
    myservo.write(grados);
    Serial.println(grados);
  }
  }
  else{
    digitalWrite(bomba,LOW);
  }
}
```

Inversión

INVERSIÓN	
	Monto
PAPELERÍA	
Impresiones	\$5.80
Papelería	\$1.80
TOTAL	\$7.60
TRANSPORTE	
Transporte a taller de construcción	\$89.96
Transporte para otros fines	\$2.00
TOTAL	\$91.96
GASTOS MATERIALES	
Materiales para construcción	\$181.96
Materiales para instalación hidráulica	\$18.91
Materiales para instalación eléctrica	\$95.74
Materiales para control automático	\$159.20
Otros materiales	\$15.00
TOTAL	\$470.81
MANO DE OBRA	
Mano de obra	\$350.00
INVERSIÓN TOTAL	
TOTAL	\$920.37

través de vidrio

TABLE 7—STORAGE LOAD FACTORS, SOLAR HEAT GAIN THRU GLASS

WITH INTERNAL SHADE*

24 Hour Operation, Constant Space Temperature†

EXPOSURE (North Lat)	WEIGHT‡ (lb per sq ft of floor area)	SUN TIME																				EXPOSURE (South Lat)					
		AM										PM											AM				
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1		2	3	4	5	
Northeast	150 & over	.47	.58	.54	.42	.27	.21	.20	.19	.18	.17	.16	.14	.12	.09	.08	.07	.06	.06	.05	.05	.04	.04	.04	.03	Southeast	
	100	.48	.60	.57	.46	.30	.24	.20	.19	.17	.16	.15	.13	.11	.08	.07	.06	.05	.05	.04	.04	.03	.03	.02	.02		
East	150 & over	.39	.56	.62	.59	.49	.33	.23	.21	.20	.18	.17	.15	.12	.10	.09	.08	.08	.07	.06	.05	.05	.05	.04	.04	East	
	100	.40	.58	.65	.64	.52	.35	.24	.22	.20	.18	.16	.14	.12	.09	.08	.07	.06	.05	.05	.04	.04	.03	.03	.02		
Southwest	150 & over	.46	.70	.80	.79	.64	.42	.25	.19	.16	.14	.11	.09	.07	.04	.02	.02	.01	.01	0	0	0	0	0	0	Southwest	
	30	.46	.70	.80	.79	.64	.42	.25	.19	.16	.14	.11	.09	.07	.04	.02	.02	.01	.01	0	0	0	0	0	0		
South	150 & over	.04	.28	.47	.59	.64	.62	.53	.41	.27	.24	.21	.19	.16	.14	.12	.11	.10	.09	.08	.07	.06	.05	.05	.04	South	
	100	.03	.28	.47	.61	.67	.65	.57	.44	.29	.24	.21	.18	.15	.12	.10	.09	.08	.07	.06	.05	.05	.04	.04	.03		
Southwest	150 & over	0	.30	.57	.75	.84	.81	.69	.50	.30	.20	.17	.13	.09	.05	.04	.03	.02	.01	0	0	0	0	0	0	Southwest	
	30	0	.30	.57	.75	.84	.81	.69	.50	.30	.20	.17	.13	.09	.05	.04	.03	.02	.01	0	0	0	0	0	0		
South	150 & over	.06	.06	.23	.38	.51	.60	.66	.67	.64	.59	.42	.24	.22	.19	.17	.15	.13	.12	.11	.10	.09	.08	.07	.07	South	
	100	.04	.04	.22	.38	.52	.63	.70	.71	.69	.59	.45	.26	.22	.18	.16	.13	.12	.10	.09	.08	.07	.06	.06	.05		
Southwest	150 & over	.10	.21	.43	.63	.77	.86	.88	.82	.56	.50	.24	.16	.11	.08	.05	.04	.02	.02	.01	.01	0	0	0	0	Southwest	
	30	.10	.21	.43	.63	.77	.86	.88	.82	.56	.50	.24	.16	.11	.08	.05	.04	.02	.02	.01	.01	0	0	0	0		
Southwest	150 & over	.08	.08	.09	.10	.11	.24	.39	.53	.63	.66	.61	.47	.23	.19	.18	.16	.14	.13	.11	.10	.09	.08	.08	.07	Southwest	
	100	.07	.08	.08	.08	.10	.24	.40	.55	.66	.70	.64	.50	.26	.20	.17	.15	.13	.11	.10	.09	.08	.07	.06	.05		
West	150 & over	.03	.04	.06	.07	.09	.23	.47	.67	.81	.86	.79	.60	.26	.17	.12	.08	.05	.04	.03	.02	.01	.01	0	0	West	
	30	.03	.04	.06	.07	.08	.08	.19	.42	.65	.81	.85	.74	.50	.19	.13	.09	.06	.05	.03	.02	.02	.01	0	0		
West	150 & over	.08	.09	.09	.10	.10	.10	.10	.18	.36	.52	.63	.65	.55	.22	.19	.17	.15	.14	.12	.11	.10	.09	.08	.07	West	
	100	.07	.08	.08	.09	.09	.09	.09	.18	.36	.54	.66	.68	.60	.25	.20	.17	.15	.13	.11	.10	.08	.07	.06	.05		
West	150 & over	.03	.04	.06	.07	.08	.08	.08	.19	.42	.65	.81	.85	.74	.50	.19	.13	.09	.06	.05	.03	.02	.02	.01	0	West	
	30	.03	.04	.06	.07	.08	.08	.08	.19	.42	.65	.81	.85	.74	.50	.19	.13	.09	.06	.05	.03	.02	.02	.01	0		
Northwest	150 & over	.08	.09	.10	.10	.10	.10	.10	.10	.16	.33	.49	.61	.60	.19	.17	.15	.13	.12	.10	.09	.08	.08	.07	.06	Northwest	
	100	.07	.08	.09	.09	.10	.10	.10	.10	.16	.34	.52	.65	.64	.23	.18	.15	.12	.11	.09	.08	.07	.06	.06	.05		
Northwest	150 & over	.03	.05	.07	.08	.09	.09	.10	.10	.17	.39	.63	.80	.79	.28	.18	.12	.09	.06	.04	.03	.02	.02	.01	0	Northwest	
	30	.03	.05	.07	.08	.09	.09	.10	.10	.17	.39	.63	.80	.79	.28	.18	.12	.09	.06	.04	.03	.02	.02	.01	0		
North and Shade	150 & over	.08	.37	.67	.71	.74	.76	.79	.81	.83	.84	.86	.87	.88	.29	.26	.23	.20	.19	.17	.15	.14	.12	.11	.10	North and Shade	
	100	.06	.31	.67	.72	.76	.79	.81	.83	.85	.87	.88	.90	.91	.30	.26	.22	.19	.16	.15	.13	.12	.10	.09	.08		
North and Shade	150 & over	0	.25	.74	.83	.88	.91	.94	.96	.96	.98	.98	.99	.99	.26	.17	.12	.08	.05	.04	.03	.02	.01	.01	.01	North and Shade	
	30	0	.25	.74	.83	.88	.91	.94	.96	.96	.98	.98	.99	.99	.26	.17	.12	.08	.05	.04	.03	.02	.01	.01	.01		

Tabla 21- Manual de Carrier: Coeficientes de transmisión global k. Muros de mampostería verano-

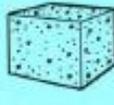
invierno

TABLE 21—TRANSMISSION COEFFICIENT U—MASONRY WALLS*

FOR SUMMER AND WINTER

Btu/(hr) (sq ft) (deg F temp diff)

All numbers in parentheses indicate weight per sq ft. Total weight per sq ft is sum of wall and finishes.

EXTERIOR FINISH	THICK-NESS (inches) and WEIGHT (lb per sq ft)	INTERIOR FINISH											
		None	½" Gypsum Board (Plaster Board) (2)	½" Plaster on Wall		Metal Lath Plastered on Furring		½" Gypsum or Wood Lath Plastered on Furring		Insulating Board Plain or Plastered on Furring			
				Sand Agg (6)	Lt Wt Agg (3)	¾" Sand Plaster(7)	¾" Lt Wt Plaster(3)	½" Sand Plaster(7)	½" Lt Wt Plaster(2)	½" Board (2)	1" Board (4)		
SOLID BRICK 	Face & Common	8 (87)	.48	.41	.45	.41	.31	.28	.29	.27	.22	.16	
		12 (123)	.35	.31	.33	.30	.25	.23	.23	.22	.19	.14	
		16 (173)	.27	.25	.26	.25	.21	.19	.20	.19	.16	.13	
	Common Only	8 (80)	.41	.36	.39	.35	.28	.26	.26	.25	.21	.15	
		12 (129)	.31	.28	.30	.27	.23	.22	.22	.21	.18	.14	
		16 (169)	.25	.22	.24	.23	.19	.18	.18	.18	.16	.12	
STONE 	8 (100)	.57	.55	.63	.53	.39	.34	.35	.32	.26	.18		
	12 (150)	.55	.47	.52	.46	.34	.31	.31	.29	.24	.17		
	16 (200)	.47	.41	.45	.40	.31	.28	.28	.27	.22	.16		
	34 (300)	.36	.32	.35	.32	.26	.24	.24	.23	.19	.15		
ADDBE-BLOCKS OR BRICK	8 (26)	.34	.30	.32	.30	.25	.23	.23	.22	.18	.12		
	12 (40)	.25	.23	.24	.23	.20	.18	.18	.18	.15	.14		
POURED CONCRETE 	140 lb/cu ft	6 (79)	.75	.55	.69	.58	.41	.36	.37	.34	.27	.18	
		8 (93)	.67	.49	.63	.53	.39	.34	.35	.32	.26	.17	
		10 (117)	.61	.44	.57	.49	.36	.32	.33	.31	.25	.17	
	80 lb/cu ft	6 (40)	.31	.28	.30	.27	.23	.21	.22	.21	.18	.14	
		8 (53)	.25	.23	.24	.23	.19	.18	.18	.18	.16	.12	
		10 (66)	.21	.19	.20	.19	.17	.16	.15	.14	.14	.11	
	30 lb/cu ft	6 (15)	.15	.13	.13	.13	.12	.11	.11	.11	.13	.09	
		8 (20)	.10	.10	.10	.10	.09	.09	.09	.09	.10	.07	
		10 (25)	.08	.08	.08	.08	.08	.07	.08	.07	.08	.06	
	HOLLOW CONCRETE BLOCKS 	Sand & Gravel Agg	8 (43)	.52	.44	.48	.43	.33	.29	.30	.28	.23	.17
			12 (63)	.47	.41	.45	.40	.31	.28	.28	.27	.22	.16
		Cinder Agg	8 (37)	.39	.35	.37	.34	.27	.25	.25	.24	.20	.15
12 (53)			.36	.33	.35	.32	.26	.24	.23	.23	.19	.15	
Lt Wt Agg		8 (32)	.35	.32	.34	.31	.26	.23	.24	.22	.19	.15	
		12 (43)	.32	.29	.31	.28	.24	.22	.22	.21	.18	.14	
STUCCO ON HOLLOW CLAY TILE	8 (39)	.36	.32	.34	.32	.26	.24	.24	.23	.19	.15		
	10 (44)	.32	.29	.31	.28	.23	.22	.22	.21	.18	.14		
	12 (49)	.29	.27	.28	.26	.22	.20	.21	.20	.17	.13		

1958 ASHRAE Guide

Tabla 33- Manual de Carrier: Coeficientes de transmisión global k-ventanas, claraboyas puertas y paredes en baldosas o adoquines de vidrios

TABLE 33—TRANSMISSION COEFFICIENT U—WINDOWS, SKYLIGHTS, DOORS & GLASS BLOCK WALLS

Btu/(hr) (sq ft) (deg F temp diff)

	GLASS										
	Single	Vertical Glass						Horizontal Glass			
		Double			Triple			Single		Double (¼")	
Air Space Thickness (in.)	¼	½	¾-4	¼	½	¾-4	Summer	Winter	Summer	Winter	
Without Storm Windows	1.13	0.61	0.55	0.53	0.41	0.36	0.34	0.86	1.40	0.50	0.70
With Storm Windows	0.54							0.43	0.64		

Tabla 20 A- Manual de Carrier: Correcciones de las diferencias equivalentes de temperatura (°C)

TABLE 20A – CORRECTIONS TO EQUIVALENT TEMPERATURES (DEG F)

OUTDOOR DESIGN FOR MONTH AT 3 P.M. MINUS ROOM TEMP (deg F)	DAILY RANGE (deg F)																
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
-30	-39	-40	-41	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54	-55
-20	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40	-41	-42	-43	-44	-45
-10	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35
0	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25
5	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20
10	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15
15	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
20	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5
25	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
30	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
35	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
40	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15

Tabla 19- Manual de Carrier: Diferencia equivalente de temperatura (°C)

TABLE 19—EQUIVALENT TEMPERATURE DIFFERENCE (DEG F)

FOR DARK COLORED†, SUNLIT AND SHADED WALLS*

Based on Dark Colored Walls; 95 F db Outdoor Design Temp; Constant 80 F db Room Temp;
20 deg F Daily Range; 24-hour Operation; July and 40° N. Lat.†

EXPOSURE	WEIGHT OF WALL‡ (lb/sq ft)	SUN TIME																												
		AM												PM												AM				
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5					
Northeast	20	5	15	22	23	24	19	14	13	12	13	14	14	14	12	10	8	6	4	2	0	-2	-3	-4	-2					
	60	-1	-2	-2	5	24	22	20	15	10	11	12	13	14	13	12	11	10	8	6	4	2	1	0	-1					
	100	4	3	4	4	4	10	16	15	14	12	10	11	12	12	12	11	10	9	8	7	6	6	5	5					
	140	5	5	6	6	6	6	6	10	14	16	14	12	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	8	7	7				
East	20	1	17	30	33	36	35	32	20	12	13	14	14	14	12	10	8	6	4	2	0	-1	-2	-3	-3					
	60	-1	-1	0	21	30	31	31	19	14	13	13	14	13	12	11	10	8	6	4	2	1	0	0	-1					
	100	5	5	6	8	14	20	24	25	24	20	18	16	14	14	14	13	12	11	10	9	8	7	7	6					
	140	11	10	10	9	8	9	10	15	18	19	18	17	16	14	12	13	14	14	14	13	13	12	12	12					
Southeast	20	10	6	13	19	26	27	28	26	24	19	16	15	14	12	10	8	6	4	2	0	-1	-1	-2	-2					
	60	1	1	0	13	20	24	28	26	25	21	18	15	14	13	12	11	10	8	6	5	4	3	3	2					
	100	7	7	6	6	6	11	16	17	18	19	18	16	14	13	12	11	10	10	9	9	8	8	7	7					
	140	9	8	8	8	8	7	6	11	14	15	16	18	16	15	14	13	12	12	12	11	11	10	10	9					
South	20	-1	-2	-4	1	4	14	22	27	30	28	26	20	16	12	10	7	6	3	2	1	1	0	0	-1					
	60	-1	-3	-4	-3	-2	7	12	20	24	25	26	23	20	15	12	10	8	6	4	2	1	1	0	-1					
	100	4	4	2	2	2	3	4	8	12	15	16	18	18	15	14	11	10	9	8	8	7	6	6	5					
	140	7	6	6	5	4	4	4	4	4	7	10	13	14	15	16	16	14	12	10	10	9	9	8	7					
Southwest	20	-2	-4	-4	-2	0	4	6	19	26	34	40	41	42	30	24	12	6	4	2	1	1	0	-1	-1					
	60	2	1	0	0	0	1	2	8	12	24	32	35	36	35	34	20	10	7	6	5	4	4	3	3					
	100	7	5	6	5	4	5	6	7	8	12	14	19	22	23	24	23	22	15	10	10	9	9	8	7					
	140	8	8	8	8	8	7	6	6	6	7	8	9	10	15	18	19	20	13	8	8	8	8	8	8					
West	20	-2	-3	-4	-2	0	3	6	14	20	32	40	45	48	34	22	14	8	5	2	1	0	0	-1	-1					
	60	2	1	0	0	0	2	4	7	10	19	26	34	40	41	36	28	16	10	6	5	4	3	3	2					
	100	7	7	6	6	6	6	7	8	10	12	17	20	25	28	27	26	19	14	12	11	10	9	8	7					
	140	12	11	10	9	8	8	9	10	10	10	11	12	14	16	21	22	23	22	20	18	16	15	13	13					
Northwest	20	-3	-4	-4	-2	0	3	6	10	12	19	24	33	40	37	34	18	6	4	2	0	-1	-1	-2	-2					
	60	-2	-3	-4	-3	-2	0	2	6	8	10	12	21	30	31	32	21	12	8	6	4	3	1	0	-1					
	100	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	6	9	12	17	20	21	22	14	8	7	7	6	6	5					
	140	8	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	8	9	10	14	18	19	20	16	13	11	10	9					
North (Shade)	20	-3	-3	-4	-3	-2	1	4	8	10	12	14	13	12	10	8	6	4	2	0	0	-1	-1	-2	-2					
	60	-3	-3	-4	-3	-2	-1	0	3	6	8	10	11	12	12	10	8	6	4	2	1	0	-1	-2	-2					
	100	1	1	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	5	5	8	7	6	5	4	3	3	2	2	1					
	140	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	7	6	4	3	2	2	1					
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5					
		AM												PM												AM				
		SUN TIME																												

Equation: Heat Gain Thru Walls, Btu/hr = (Area, sq ft) × (equivalent temp diff) × (transmission coefficient U, Tables 21 thru 25)

*All values are for both insulated and uninsulated walls.

†For other conditions, refer to corrections on page 64.

‡"Weight per sq ft" values for common types of construction are listed in Tables 21 thru 25. For wall constructions less than 20 lb/sq ft, use listed values of 20 lb/sq ft.

Tabla 15- Manual de Carrier: Aportaciones solares a través de vidrio sencillo

TABLE 15—SOLAR HEAT GAIN THRU ORDINARY GLASS (Contd)

10° Btu/(hr) (sq ft sash area) 10°

10° NORTH LATITUDE		SUN TIME												10° SOUTH LATITUDE		
Time of Year	Exposure	6	7	8	9	10	11	Noon	1	2	3	4	5	6	Exposure	Time of Year
JUNE 21	North	19	44	50	45	44	43	41	43	44	45	50	44	2	South	DEC 22
	Northeast	55	131	153	140	105	65	28	14	14	13	11	8	2	Southeast	
	East	54	134	155	139	99	41	14	14	14	13	11	8	2	East	
	Southeast	18	49	55	43	35	14	14	14	14	13	11	8	2	Northeast	
	South	2	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	2	North	
	Southwest	2	8	8	13	14	14	14	14	25	43	55	42	13	Northwest	
JULY 23	West	2	8	8	13	14	14	14	41	59	139	155	134	54	West	JAN 21
	Northeast	2	8	8	13	14	18	26	65	106	140	153	131	55	Southwest	
	East	4	44	107	166	205	233	243	233	205	166	107	44	4	Horizontal	
	Southeast	5	34	39	35	33	31	30	31	33	35	39	34	5	South	
	South	42	127	148	133	109	56	22	14	14	13	11	7	1	Southeast	
	Southwest	25	57	66	56	32	14	14	14	14	13	11	7	1	East	
MAY 21	West	1	7	11	13	14	14	14	43	58	142	158	135	50	West	NOV 21
	Northeast	1	7	11	13	14	14	22	56	109	133	148	127	42	Southwest	
	East	1	7	11	13	14	14	24	56	109	133	148	127	42	Horizontal	
	Southeast	1	7	11	13	14	14	14	14	14	13	11	7	1	South	
	South	1	7	11	13	14	14	14	14	14	13	11	7	1	Southeast	
	Southwest	1	7	11	13	14	14	14	14	36	52	66	57	25	East	
AUG 24	West	1	7	11	13	14	14	14	46	80	149	163	138	25	West	FEB 20
	Northeast	1	7	11	13	14	14	14	34	55	111	130	113	17	Southwest	
	East	2	38	105	167	213	242	250	242	213	167	105	38	2	Horizontal	
	Southeast	18	79	94	85	60	27	14	14	14	13	11	7	1	South	
	South	1	7	11	13	14	14	14	14	14	13	11	7	1	Southeast	
	Southwest	1	7	11	13	14	14	14	27	60	85	94	79	18	East	
SEPT 22	West	1	7	11	13	14	14	14	47	106	181	164	130	1	West	MAR 22
	Northeast	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	Southwest	
	East	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	Horizontal	
	Southeast	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	South	
	South	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	Southeast	
	Southwest	1	6	11	13	14	14	14	14	56	94	122	127	97	1	
OCT 23	West	1	6	11	13	14	14	14	47	106	181	164	130	1	West	APR 20
	Northeast	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	Southwest	
	East	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	Horizontal	
	Southeast	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	South	
	South	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	Southeast	
	Southwest	1	6	11	13	14	14	14	14	56	94	122	127	97	1	
NOV 21	West	1	6	11	13	14	14	14	47	106	181	164	130	1	West	MAY 21
	Northeast	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	Southwest	
	East	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	Horizontal	
	Southeast	0	5	10	13	14	14	14	14	14	13	10	5	0	South	
	South	0	5	10	13	14	14	14	14	14	13	10	5	0	Southeast	
	Southwest	0	5	10	13	14	14	14	14	14	13	10	5	0	East	
JAN 21	West	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	West	JULY 23
	Northeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southwest	
	East	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Horizontal	
	Southeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	South	
	South	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southeast	
	Southwest	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	East	
MAY 21	West	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	West	NOV 21
	Northeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southwest	
	East	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Horizontal	
	Southeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	South	
	South	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southeast	
	Southwest	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	East	
JULY 23	West	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	West	MAY 21
	Northeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southwest	
	East	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Horizontal	
	Southeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	South	
	South	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southeast	
	Southwest	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	East	
SEP 22	West	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	West	NOV 21
	Northeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southwest	
	East	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Horizontal	
	Southeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	South	
	South	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southeast	
	Southwest	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	East	
NOV 21	West	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	West	MAY 21
	Northeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southwest	
	East	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Horizontal	
	Southeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	South	
	South	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southeast	
	Southwest	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	East	
JAN 21	West	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	West	NOV 21
	Northeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southwest	
	East	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Horizontal	
	Southeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	South	
	South	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southeast	
	Southwest	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	East	
MAY 21	West	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	West	NOV 21
	Northeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southwest	
	East	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Horizontal	
	Southeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	South	
	South	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southeast	
	Southwest	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	East	
JULY 23	West	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	West	NOV 21
	Northeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southwest	
	East	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Horizontal	
	Southeast	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	South	
	South	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	Southeast	
	Southwest	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	East	
SEP 22	West	0	4	9	12	13	14	14	40	100	145	155	118	0	West	NOV 21
	Northeast	0	4	9	12	13										

Tabla 15- Manual de Carrier: Aportaciones solares a través de vidrio sencillo (cont.)

TABLE 15—SOLAR HEAT GAIN THRU ORDINARY GLASS (Contd)

40° Btu/(hr) (sq ft sash area) 40°

40° NORTH LATITUDE		SUN TIME												40° SOUTH LATITUDE		
Time of Year	Exposure	6	7	8	9	10	11	Noon	1	2	3	4	5	6	Exposure	Time of Year
JUNE 21	North	32	20	12	13	14	14	14	14	14	13	12	20	32	South	DEC 22
	Northeast	118	133	112	73	30	14	14	14	14	13	12	10	6	Southeast	
	East	126	161	162	147	95	44	16	14	14	13	12	10	6	East	
	Southeast	51	88	109	111	99	71	34	14	14	13	12	10	6	Northeast	
	South	6	10	12	13	14	14	14	14	14	13	12	10	6	North	
	Southwest	6	10	12	13	14	14	14	14	14	13	12	10	6	Northwest	
JULY 23	West	6	10	12	13	14	14	14	14	14	13	12	10	6	West	JAN 21
	Northeast	6	10	12	13	14	14	14	14	14	13	12	10	6	Southeast	
	East	31	82	134	179	210	232	237	232	210	179	134	82	31	East	
	Southeast	54	96	119	125	110	82	42	15	14	13	12	10	5	Northeast	
	South	5	10	13	14	14	14	14	14	14	13	12	10	5	North	
	Southwest	5	10	13	14	14	14	14	14	14	13	12	10	5	Northwest	
AUG 24	West	5	10	12	13	14	14	14	14	14	13	12	10	5	West	FEB 20
	Northeast	5	10	12	13	14	14	14	14	14	13	12	10	5	Southeast	
	East	118	167	164	144	98	43	14	14	14	13	12	10	5	East	
	Southeast	54	96	119	125	110	82	42	15	14	13	12	10	5	Northeast	
	South	5	10	13	14	14	14	14	14	14	13	12	10	5	North	
	Southwest	5	10	13	14	14	14	14	14	14	13	12	10	5	Northwest	
SEPT 22	West	5	10	12	13	14	14	14	14	14	13	12	10	5	West	MAY 21
	Northeast	5	10	12	13	14	14	14	14	14	13	12	10	5	Southeast	
	East	24	73	126	171	203	225	233	225	203	171	126	73	24	East	
	Southeast	54	96	119	125	110	82	42	15	14	13	12	10	5	Northeast	
	South	5	10	13	14	14	14	14	14	14	13	12	10	5	North	
	Southwest	5	10	13	14	14	14	14	14	14	13	12	10	5	Northwest	
OCT 23	West	4	7	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	West	OCT 23
	Northeast	4	7	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Southeast	
	East	84	147	162	144	101	45	14	14	14	13	11	8	7	East	
	Southeast	48	105	138	146	139	107	65	25	14	13	11	8	7	Northeast	
	South	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	North	
	Southwest	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Northwest	
NOV 21	West	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	West	JULY 23
	Northeast	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Southeast	
	East	118	167	164	144	98	43	14	14	14	13	12	10	5	East	
	Southeast	54	96	119	125	110	82	42	15	14	13	12	10	5	Northeast	
	South	5	10	13	14	14	14	14	14	14	13	12	10	5	North	
	Southwest	5	10	13	14	14	14	14	14	14	13	12	10	5	Northwest	
DEC 22	West	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	West	JUNE 21
	Northeast	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Southeast	
	East	84	147	162	144	101	45	14	14	14	13	11	8	7	East	
	Southeast	48	105	138	146	139	107	65	25	14	13	11	8	7	Northeast	
	South	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	North	
	Southwest	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Northwest	
JAN 21	West	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	West	JUNE 21
	Northeast	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Southeast	
	East	118	167	164	144	98	43	14	14	14	13	12	10	5	East	
	Southeast	54	96	119	125	110	82	42	15	14	13	12	10	5	Northeast	
	South	5	10	13	14	14	14	14	14	14	13	12	10	5	North	
	Southwest	5	10	13	14	14	14	14	14	14	13	12	10	5	Northwest	
FEB 20	West	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	West	JUNE 21
	Northeast	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Southeast	
	East	84	147	162	144	101	45	14	14	14	13	11	8	7	East	
	Southeast	48	105	138	146	139	107	65	25	14	13	11	8	7	Northeast	
	South	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	North	
	Southwest	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Northwest	
MAY 21	West	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	West	JUNE 21
	Northeast	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Southeast	
	East	84	147	162	144	101	45	14	14	14	13	11	8	7	East	
	Southeast	48	105	138	146	139	107	65	25	14	13	11	8	7	Northeast	
	South	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	North	
	Southwest	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Northwest	
JULY 23	West	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	West	JUNE 21
	Northeast	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Southeast	
	East	84	147	162	144	101	45	14	14	14	13	11	8	7	East	
	Southeast	48	105	138	146	139	107	65	25	14	13	11	8	7	Northeast	
	South	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	North	
	Southwest	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Northwest	
AUG 24	West	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	West	JUNE 21
	Northeast	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Southeast	
	East	84	147	162	144	101	45	14	14	14	13	11	8	7	East	
	Southeast	48	105	138	146	139	107	65	25	14	13	11	8	7	Northeast	
	South	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	North	
	Southwest	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Northwest	
SEPT 22	West	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	West	JUNE 21
	Northeast	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Southeast	
	East	84	147	162	144	101	45	14	14	14	13	11	8	7	East	
	Southeast	48	105	138	146	139	107	65	25	14	13	11	8	7	Northeast	
	South	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	North	
	Southwest	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Northwest	
OCT 23	West	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	West	JUNE 21
	Northeast	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Southeast	
	East	84	147	162	144	101	45	14	14	14	13	11	8	7	East	
	Southeast	48	105	138	146	139	107	65	25	14	13	11	8	7	Northeast	
	South	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	North	
	Southwest	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Northwest	
NOV 21	West	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	West	JUNE 21
	Northeast	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Southeast	
	East	84	147	162	144	101	45	14	14	14	13	11	8	7	East	
	Southeast	48	105	138	146	139	107	65	25	14	13	11	8	7	Northeast	
	South	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	North	
	Southwest	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Northwest	
DEC 22	West	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	West	JUNE 21
	Northeast	3	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8			

Tabla 41- Manual de Carrier: Infiltraciones por las puertas y ventanas en verano

TABLE 41—INFILTRATION THRU WINDOWS AND DOORS—SUMMER*

7.5 mph Wind Velocity†

TABLE 41a—DOUBLE HUNG WINDOWS‡

DESCRIPTION	CFM PER SQ FT SASH AREA					
	Small—30" x 72"			Large—54" x 96"		
	No W-Strip	W-Strip	Storm Sash	No W-Strip	W-Strip	Storm Sash
Average Wood Sash	.43	.26	.22	.27	.17	.14
Poorly Fitted Wood Sash	1.20	.37	.60	.76	.24	.38
Metal Sash	.80	.35	.40	.51	.22	.25

TABLE 41b—CASEMENT TYPE WINDOWS‡

DESCRIPTION	CFM PER SQ FT SASH AREA									
	Percent Openable Area									
	0%	25%	33%	40%	45%	50%	60%	66%	75%	100%
Rolled Section—Steel Sash										
Industrial Pivoted	.33	.72	—	.99	—	—	—	1.45	—	2.6
Architectural Projected	—	.39	—	—	—	.55	.74	—	—	—
Residential	—	—	.28	—	—	.49	—	—	—	.63
Heavy Projected	—	—	—	—	.23	—	—	.32	.39	—
Hollow Metal—Vertically Pivoted	.27	.58	—	.82	—	—	—	1.2	—	2.2

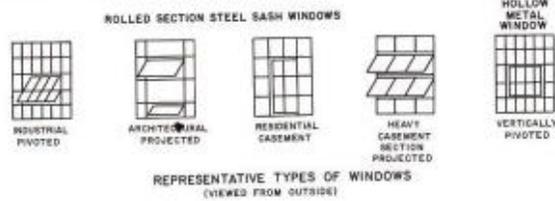


Tabla 49- Manual de Carrier: Ganancias debidas al alumbrado
TABLE 49—HEAT GAIN FROM LIGHTS

TYPE	HEAT GAIN* Btu/hr
Fluorescent	Total Light Watts \times 1.25 [†] \times 3.4
Incandescent	Total Light Watts \times 3.4

*Refer to Tables 12 and 13, pages 35-37 to determine actual cooling load.

[†]Fluorescent light wattage is multiplied by 1.25 to include heat gain in ballast.

Tabla 48- Manual de Carrier: Ganancias debidas a los ocupantes
TABLE 48—HEAT GAIN FROM PEOPLE

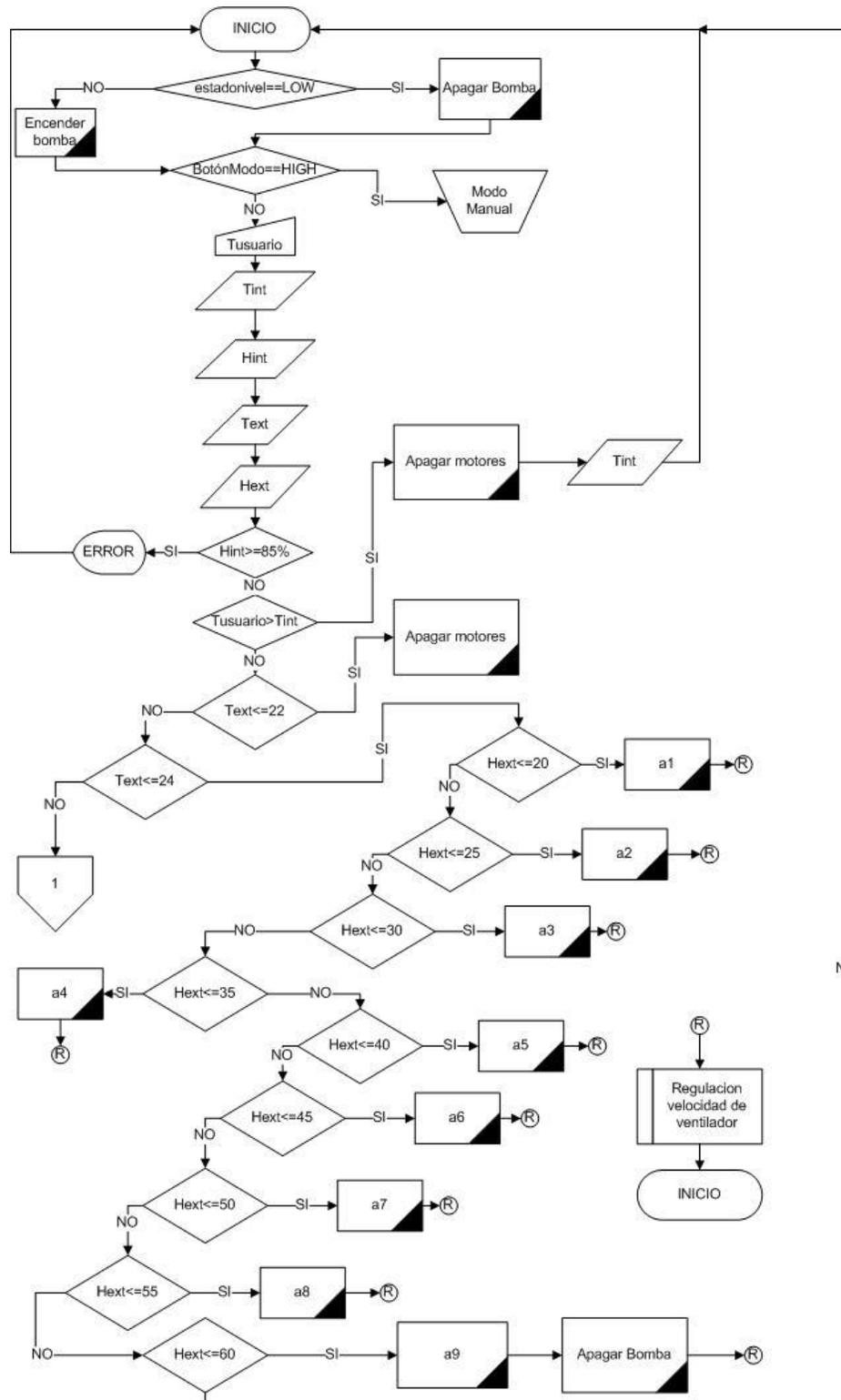
DEGREE OF ACTIVITY	TYPICAL APPLICATION	Metabolic Rate (Adult Male) Btu/hr	Average Adjusted Metabolic Rate* Btu/hr	ROOM DRY-BULB TEMPERATURE									
				82 F		80 F		78 F		75 F		70 F	
				Sensible	Latent	Sensible	Latent	Sensible	Latent	Sensible	Latent	Sensible	Latent
Seated at rest	Theater, Grade School	390	350	175	175	195	155	210	140	230	120	260	90
Seated, very light work	High School	450	400	180	220	195	205	215	185	240	160	275	125
Office worker	Offices, Hotels, Apts., College	475	450	180	270	200	250	215	235	245	205	285	165
Standing, walking slowly	Dept., Retail, or Variety Store	550											
Walking, seated	Drug Store	550	500	180	320	200	300	220	280	255	245	290	210
Standing, walking slowly	Bank	550											
Sedentary work	Restaurant [†]	500	550	190	360	220	330	240	310	280	270	320	230
Light bench work	Factory, light work	800	750	190	560	220	530	245	505	295	455	365	385
Moderate dancing	Dance Hall	900	850	220	630	245	605	275	575	325	525	400	450
Walking, 3 mph	Factory, fairly heavy work	1000	1000	270	730	300	700	330	670	380	620	460	540
Heavy work	Bowling Alley [‡] , Factory	1500	1450	450	1000	465	985	485	965	525	925	605	845

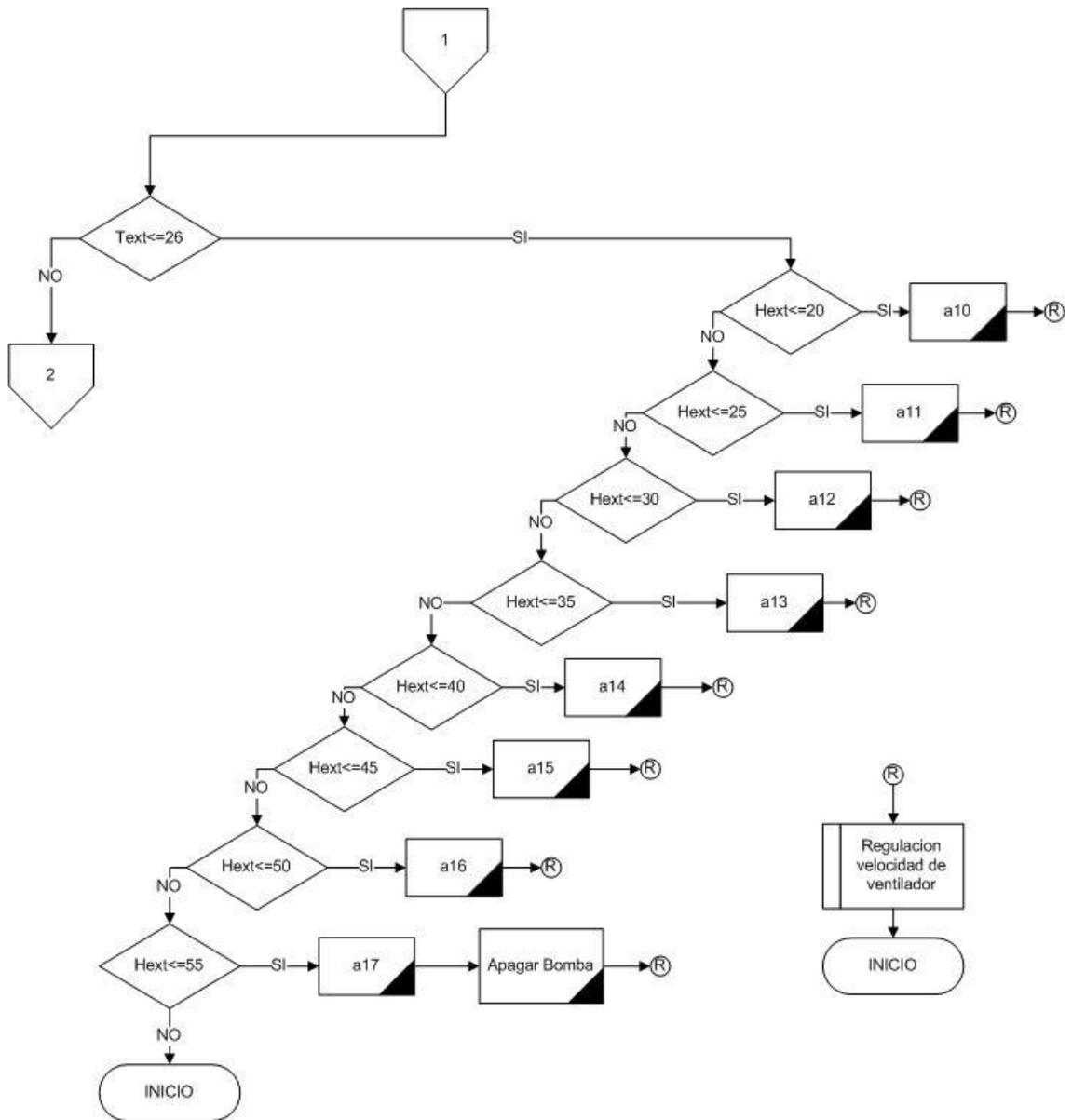
*Adjusted Metabolic Rate is the metabolic rate to be applied to a mixed group of people with a typical percent composition based on the following factors:
 Metabolic rate, adult female = Metabolic rate, adult male \times 0.85
 Metabolic rate, children = Metabolic rate, adult male \times 0.75

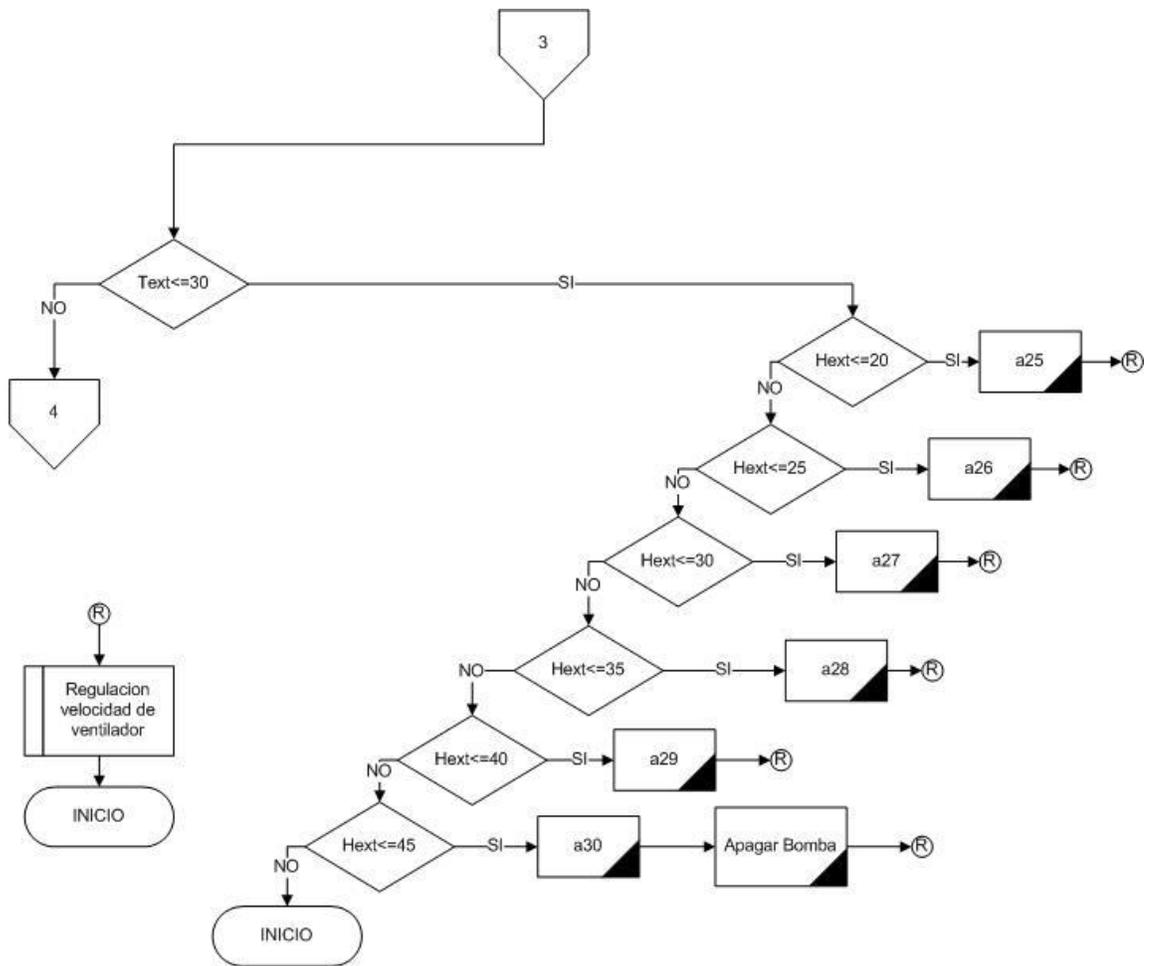
[†]Restaurant—Values for this application include 60 Btu per hr for food per individual (30 Btu sensible and 30 Btu latent heat per hr).

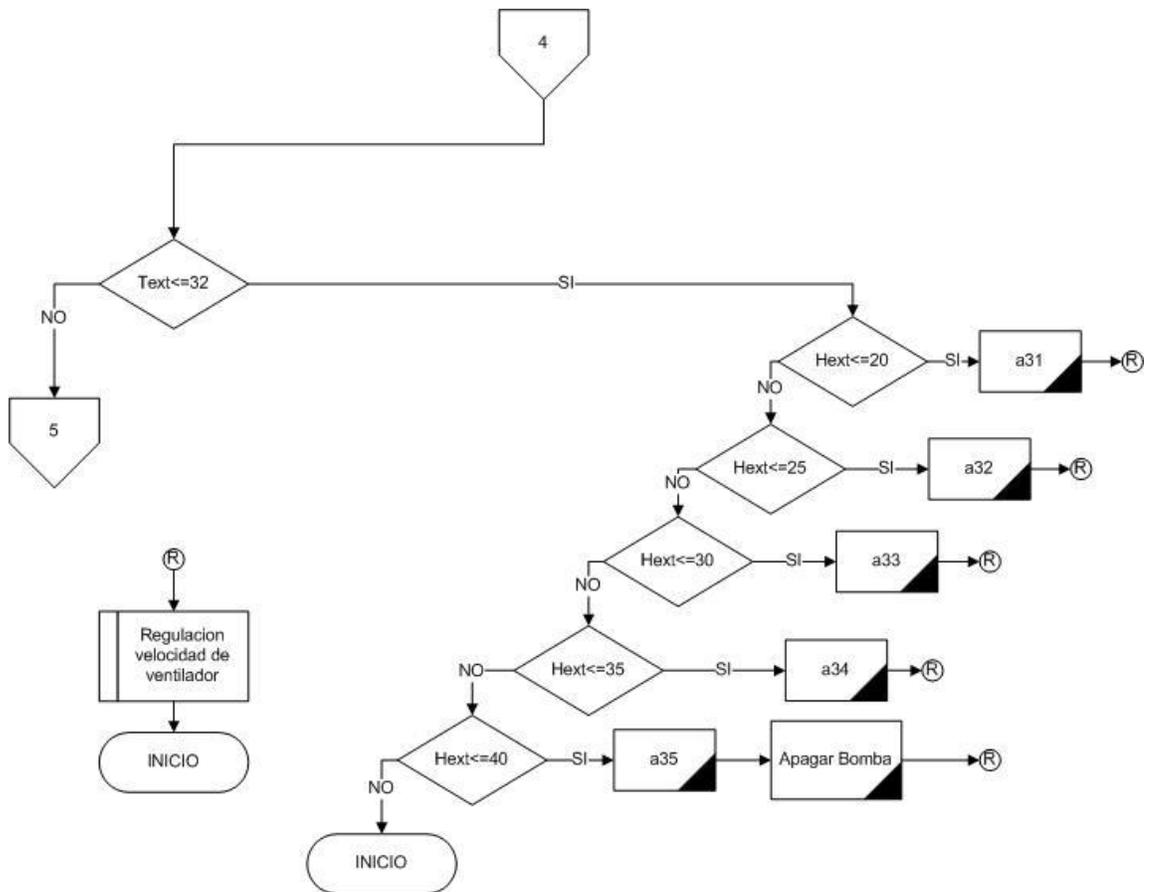
[‡]Bowling—Assume one person per alley actually bowling and all others sitting, metabolic rate 400 Btu per hr; or standing, 550 Btu per hr.

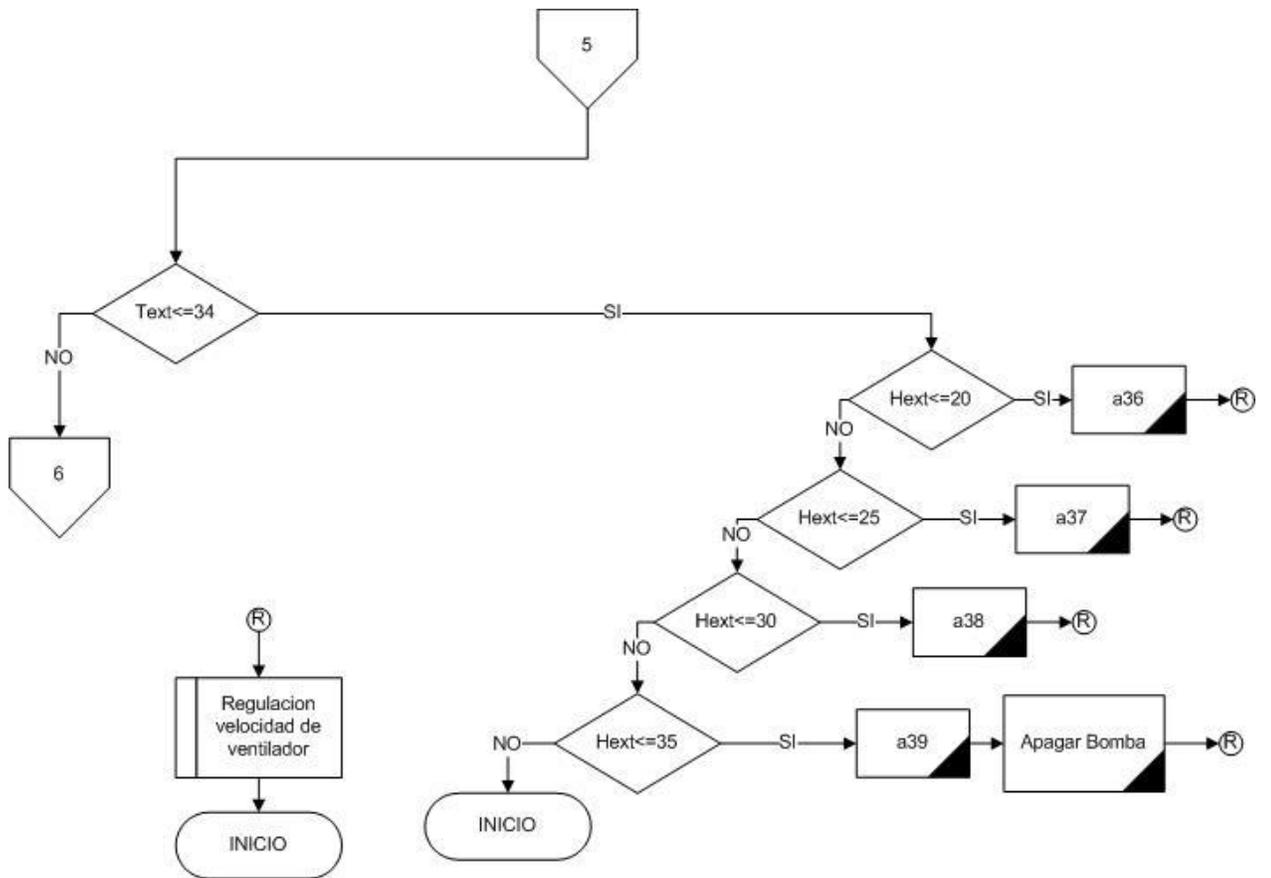
Diagrama de flujo

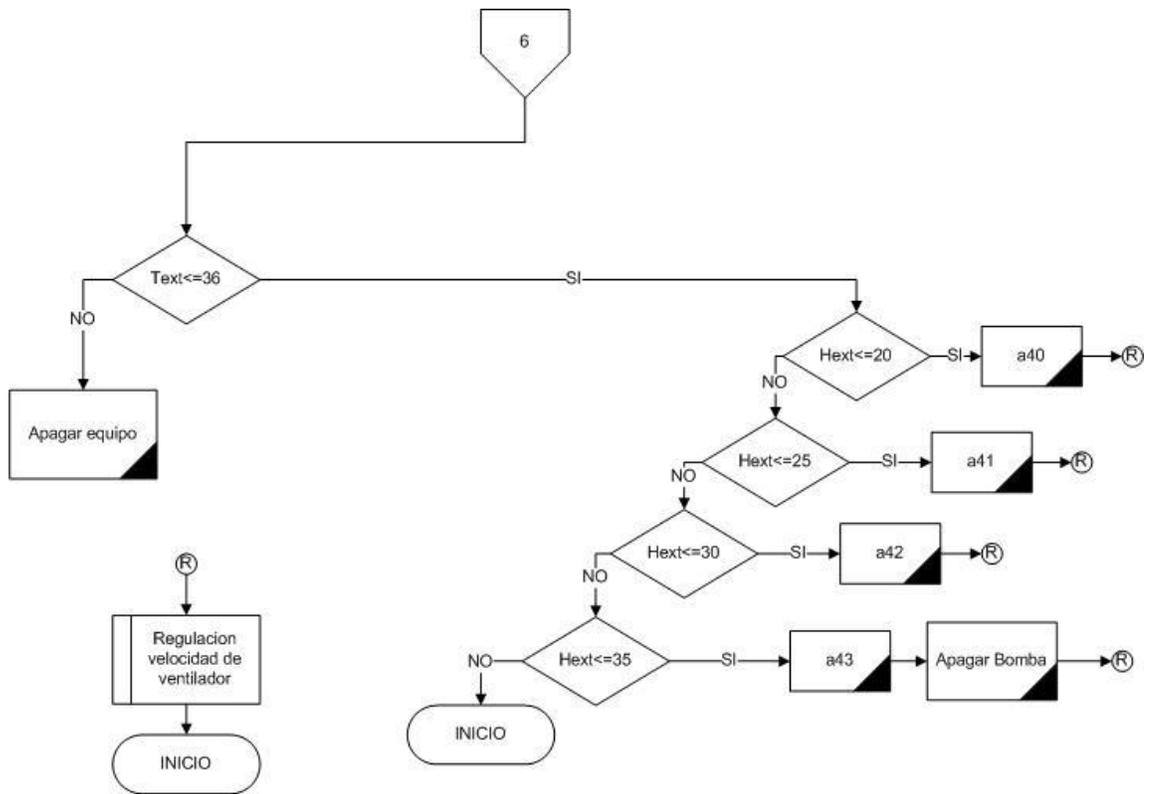












Guías de laboratorio

PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 1: CLIMATIZACIÓN **EVAPORATIVA**

Ídem. Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre, Br. Abraham Orlando Turcios Marquez



OBJETIVOS

- ✓ Conocer los componentes que forman parte de un equipo de climatización evaporativo y su principio de funcionamiento.
- ✓ Establecer diferencias entre los procesos de acondicionamiento evaporativo y acondicionamiento mediante un equipo por compresión de vapor.
- ✓ Determinar en qué casos es posible utilizar un equipo de climatización evaporativa.

INTRODUCCIÓN

La climatización evaporativa utiliza un mecanismo sencillo para acondicionar un ambiente, emplea el proceso de evaporación de agua en el seno de una corriente de aire aumentando su contenido de humedad y por consiguiente reduce su temperatura. Un equipo de climatización cuenta con tres elementos básicos para su funcionamiento: Panel evaporativo, bomba y ventilador.

1. MARCO TEÓRICO

El proceso de enfriamiento evaporativo tiene como particularidad que es un proceso isoentálpico (Adiabático), en la cual una corriente de aire pasa sobre una superficie con agua cediéndole calor latente para que éste pase a estado gaseoso y posteriormente es arrastrado por el seno del flujo de aire.



Ilustración 80- Esquema que representa la climatización evaporativa.

Un equipo de climatización evaporativo utiliza este mecanismo de transferencia de calor y masa para modificar la temperatura y humedad de un espacio, sus componentes básicos son los siguientes:

- **Panel evaporativo:** Es el elemento en el cual se lleva a cabo el proceso de evaporación, está construido de láminas corrugadas de papel de celulosa las cuales están diseñadas para mejorar la transferencia de energía y masa, al mismo tiempo, disminuye la caída de presión a través de él.
- **Bomba:** Es el elemento hidráulico encargado de suministrar el agua hacia los paneles.
- **Ventilador:** Es el encargado de generar el arrastre de aire desde el exterior hacia el interior del recinto, las variaciones de velocidad de éste afecta el rendimiento de un equipo de climatización evaporativo, dependiendo del tipo de actividad y tamaño del área a climatizar pueden ser de tipo axiales o centrífugos.
- **Tanque:** Constituye el elemento que almacena el agua que utiliza la bomba.
- **Distribuidores:** Son los encargados de distribuir adecuadamente el agua hacia el panel.

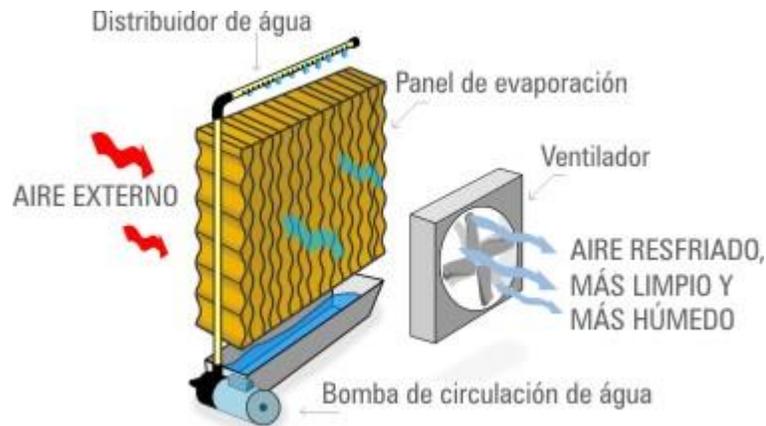


Ilustración 81- Componentes básicos de un equipo de climatización evaporativo.

2. PROCEDIMIENTO

- I. Visualice el equipo de climatización evaporativo, identifique y tome capturas de los elementos internos.
- II. Ponga en marcha el equipo, tome en cuenta y anote la sensación de los cambios de temperatura y humedad frente al equipo.
- III. Utilizando el control manual, varíe la velocidad del ventilador oscilando entre la mínima y la máxima velocidad, establezca en que condición se siente un mayor grado de enfriamiento y con ella elabore sus conclusiones.
- IV. Ponga en marcha un equipo de aire acondicionado y anote las diferencias sentidas con respecto al equipo de climatización evaporativo.

3. ASIGNACIONES

- Investigue cómo se grafica en la carta psicrométrica un proceso de acondicionamiento evaporativo y un proceso de acondicionamiento por un equipo por compresión de vapor, determine diferencias y conclusiones entre ambos procesos.
- Responda a las siguientes preguntas:
 - ¿Las variaciones de velocidad del aire varían el consumo de agua?
 - ¿En qué casos es posible sustituir un equipo de aire acondicionado por uno de climatización evaporativa?

PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 2: EFICIENCIA

Ídem. Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre, Br. Abraham Orlando Turcios Marquez



OBJETIVOS

- ✓ Calcular la eficiencia de un equipo de climatización evaporativo.
- ✓ Determinar en qué condiciones puede operar eficientemente un equipo de climatización evaporativo.
- ✓ Conocer que parámetros afectan el consumo de agua de un equipo de climatización evaporativo.

INTRODUCCIÓN

En un proceso de evaporación intervienen muchas variables que afectan la capacidad de alcanzar un estado ideal de enfriamiento, en un equipo esto se traduce en la capacidad de climatizar un espacio con una cantidad razonable de recursos.

1. MARCO TEÓRICO

La eficiencia de un equipo de climatización evaporativo radica directamente en el panel evaporativo, la eficiencia del mismo es un indicador de que tanto puede disminuir la temperatura con respecto al punto de saturación respecto a las condiciones externas. Para su cálculo se emplea la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{T_{ent} - T_{sal}}{T_{ent} - (T_{bh})_{ent}} \times 100\%$$

En donde:

T_{ent} : Es la temperatura a la entrada del panel evaporativo.

T_{sal} : Es la temperatura a la salida del panel evaporativo.

$(T_{bh})_{ent}$: Es la temperatura de bulbo húmedo correspondiente a las condiciones de entrada del panel.

Cabe notar que la eficiencia se encuentra limitada a las condiciones de temperatura y humedad externas y de la misma manera las condiciones de salida dependen en gran medida del diseño y estado del panel, el flujo de aire, el flujo de agua que es rociado.

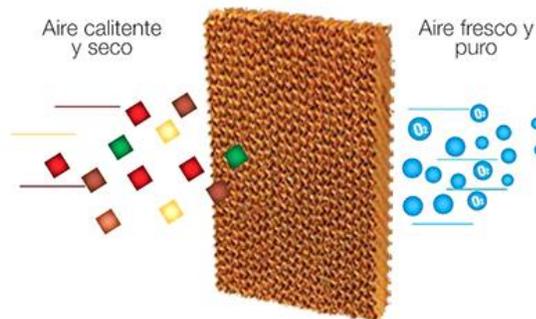


Ilustración 82- Un panel en buen estado permite un mejor desempeño del equipo.

2. MATERIAL A UTILIZAR

- Equipo de climatización evaporativo.
- Higrómetro.

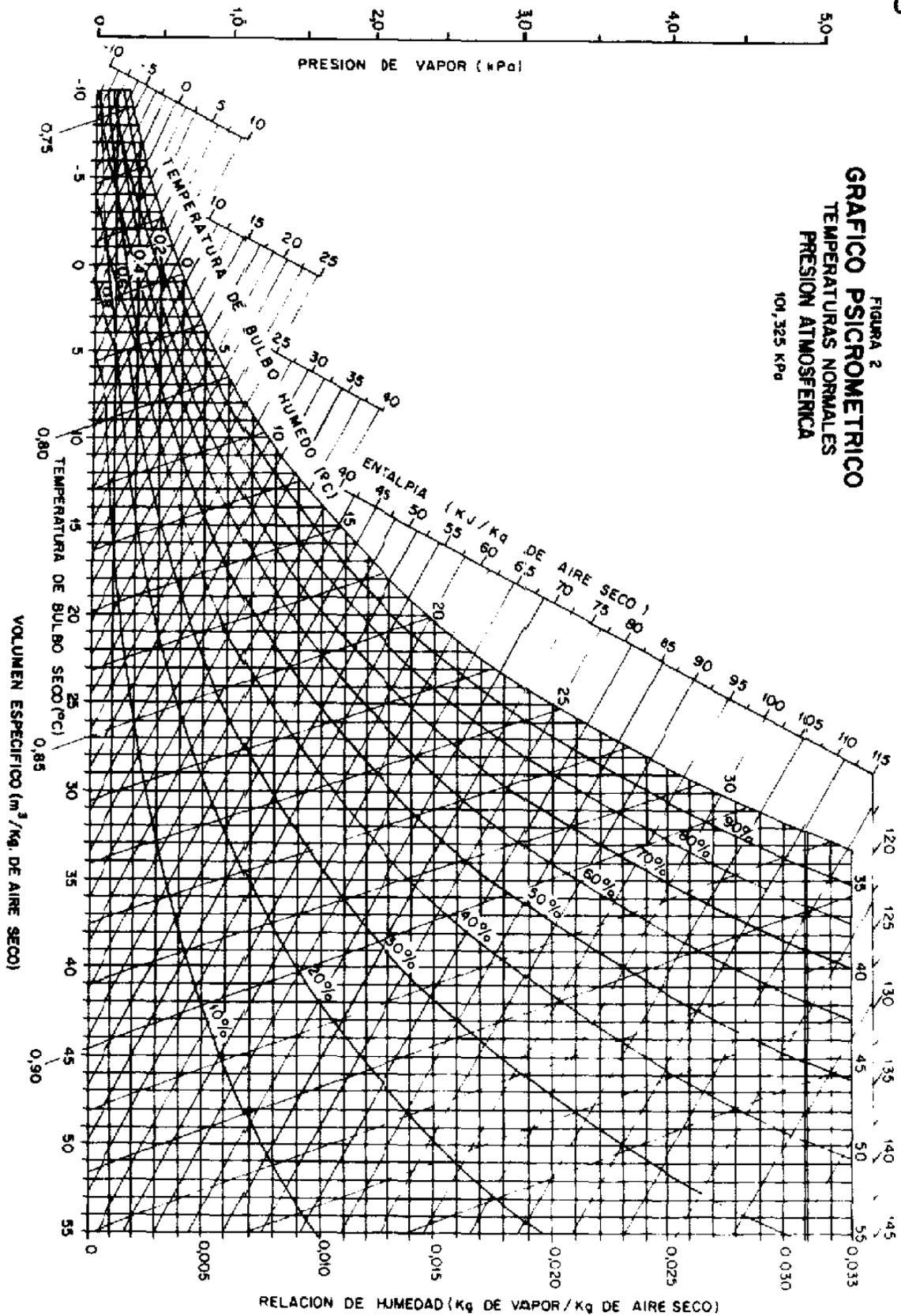
3. PROCEDIMIENTO

- I. Configure el equipo en modo manual con la velocidad mínima de operación.
- II. Realice 5 mediciones cada 2 minutos del sensor externo y del higrómetro y complete la tabla siguiente:

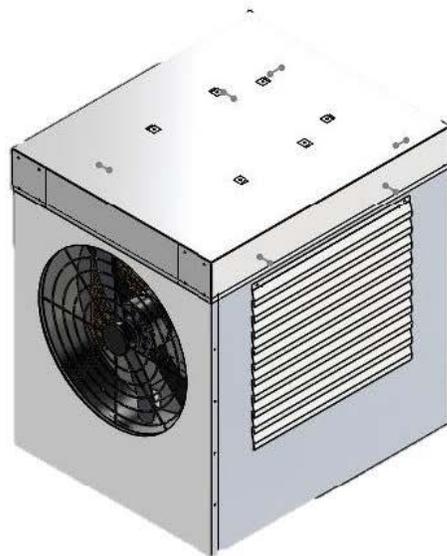
MEDICIONES	BOMBA APAGADA			
	Velocidad mínima			
	T_{ext}	H_{ext}	T_{sensor}	H_{sensor}
1				
2				
3				
4				
5				
	Velocidad máxima			
	T_{ext}	H_{ext}	T_{sensor}	H_{sensor}
	1			
2				
3				
4				
5				
	BOMBA ENCENDIDA			
	Velocidad mínima			
	T_{ext}	H_{ext}	T_{sensor}	H_{sensor}
1				
2				
3				
4				
5				
	Velocidad máxima			
	T_{ext}	H_{ext}	T_{sensor}	H_{sensor}
	1			
2				
3				
4				
5				

4. ASIGNACIONES

1. Realice un análisis que involucre las variaciones externas con respecto a las internas para cada una de las condiciones de operación.
2. Para cada condición ubique dentro de la carta psicrométrica la primera y última medida y trace el proceso, lea los valores de entalpía para cada punto y con ello analice cada proceso para explicar si corresponde o no, a un proceso isoentálpico.
3. Realice un promedio de las temperaturas y humedades externas y elija 3 mediciones representativas de temperatura y humedad del sensor para cada estado de operación y realice las siguientes actividades
 - a. Gráfiqelas con respecto al tiempo, realice comparaciones entre cada gráfico.
 - b. Apóyese con la carta psicrométrica y calcule la eficiencia para estas medidas.
 - i. Analice bajo qué condiciones disminuye la eficiencia y cuáles serían las condiciones óptimas de funcionamiento.
 - c. De la pantalla tome los datos de velocidad máxima y mínima del viento y elabore un gráfico de velocidad vs velocidad del viento, elabore conclusiones para cada una de ellas.
4. De los datos correspondientes a la bomba puesta en marcha realice lo siguiente:
 - a. Realice un promedio de las temperaturas y humedades externas, grafique este punto y el estado final (última medida registrada) para cada estado de operación del ventilador y estime la humedad absoluta con apoyo de la carta psicrométrica.
 - b. Calcule la razón de incremento de humedad absoluta por hora y compare ambos resultados y realice sus conclusiones.



Manual de operación



Equipo de climatización evaporativo

MANUAL DE USUARIO

Antes de utilizar el equipo se recomienda leer detenidamente el contenido de este documento para referencias, indicaciones y precauciones sobre su uso.

ÍNDICE

PREFACIO	1
PRECAUCIONES	1
DIAGRAMA DEL EQUIPO	2
EMPAQUE Y TRANSPORTE	3
INSPECCIÓN Y PREPARACIÓN ANTES DE REALIZAR LA INSTALACIÓN	4
VISTA DEL EQUIPO INSTALADO EN LA PARED	5
GUÍA PARA USUARIOS.....	6
INDICACIONES PREVIAS.....	6
VISTA GENERAL DEL TABLERO DE CONTROL.....	8
CONTROL MANUAL	9
CONTROL AUTOMÁTICO.....	9
CÓMO NAVEGAR POR MEDIO DE LA PANTALLA.....	10
TEMPERATURA DE USUARIO	10
DATOS.....	11
RESEÑA	11
CONTROL MANUAL	12
PANTALLA DE ERROR.....	13

➤ **PREFACIO**

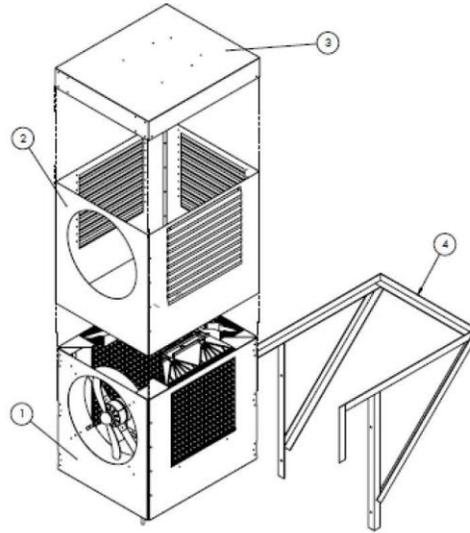
El climatizador evaporativo, utiliza cálculos retomados de los libros de estudios dados por la EIM; el objetivo de la presente es la orientación sobre el equipo y su respectivo uso, se pide que lea cuidadosamente este manual antes de utilizar el climatizador.

➤ **PRECAUCIONES**

- ✓ El climatizador debe instalarse en un lugar bien ventilado y seco para brindar en mejor medida un aire fresco a la habitación.
- ✓ Evitar el funcionamiento en una habitación cerrada, es apropiado tener espacios para el escape del aire fresco.
- ✓ Al operar por primera vez, se deben realizar revisiones y asegurar que opera correctamente.
- ✓ Estar seguro de prevenir cualquier fuente de incendio.
- ✓ Mantener el voltaje en una tolerancia de ± 10 V del indicado en la tabla de especificaciones.
- ✓ Mantener los cables de alimentación lejos de fuentes electromagnéticas que puedan inducir corrientes paralelas.
- ✓ Antes de realizar las tareas de mantenimiento, lea cuidadosamente el manual de mantenimiento.



➤ **DIAGRAMA DEL EQUIPO**



PARTES:

- 1- Marco interno
- 2- Chapa metálica
- 3- Tapadera
- 4- Estructura de soporte

➤ EMPAQUE Y TRANSPORTE

En caso de reubicar el equipo y transportarlo a otro lado por efectos de mantenimiento o de otra índole se recomienda:

- ✓ En caso de transportarlo ensamblado, asegurar que todos los componentes no se encuentran sueltos, de lo contrario, verificar que cuenta se encuentran todos los componentes; los elementos de tamaño pequeño deben ser ubicados en un contenedor aparte con su correspondiente identificación.



- ✓ Asegurarse de secar la mayor cantidad de humedad posible.
- ✓ Utilizar una base estable, se recomienda utilizar una tarima de madera que permita reducir la vibración del vehículo durante su transporte.

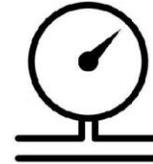


- ✓ Envolver mediante plástico o empacar cuidadosamente en el interior de una caja de tamaño adecuado.
- ✓ Mantener vertical y transportar con cuidado.



➤ **INSPECCIÓN Y PREPARACIÓN ANTES DE REALIZAR LA INSTALACIÓN**

- ✓ Revisar la lista de componentes del climatizador en los planos constructivos, si en algún dado caso no se encuentra algún componente en particular, consiga asesoría del docente encargado.
- ✓ Revisar si el suministro eléctrico es el adecuado para realizar la instalación del climatizador.
- ✓ Tomar en cuenta las dimensiones de la ventana/pared para realizar la instalación.
- ✓ Identifique que la tubería de suministro de agua potable más cercana tiene la presión necesaria.
- ✓ Ubicar la tubería de descarga en una zona lejana de componentes eléctricos y del paso peatonal o vehicular.



➤ **VISTA DEL EQUIPO INSTALADO EN LA PARED**

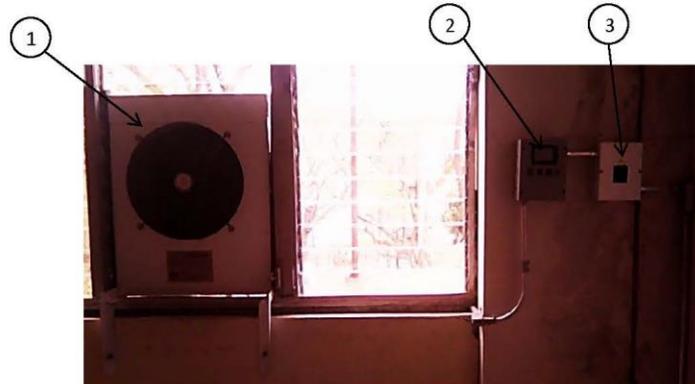


Ilustración 1- Vista del equipo

1. **Climatizador evaporativo:** Conjunto de componentes conformados por un ventilador, bomba y paneles.
2. **Módulo de control:** Permite seleccionar el tipo de funcionamiento, ingreso de datos e información de la misma.
3. **Módulo de protección:** Consta de un circuit breaker que protege el equipo y a su vez lo energiza.

MANUAL PARA USUARIOS

➤ INDICACIONES PREVIAS

- ✓ Tenga en cuenta que para su funcionamiento, es necesario contar el suministro de agua potable, en caso de utilizar únicamente el ventilador, programe el control manual y apague la bomba¹.
- ✓ Revise cuidadosamente si la válvula de desagüe se encuentre cerrada (Véase la figura anexa).



Ilustración 2- Sentido de apertura y cierre de válvula de desagüe.

¹ Véase la sección "Control manual".

- ✓ Abra la válvula de suministro (Así como en la figura siguiente).



Ilustración 3-Sentido de apertura y cierre de válvula de alimentación.

- ✓ Acérquese hacia el módulo de protección y accione el térmico en posición "ON".

➤ **VISTA GENERAL DEL TABLERO DE CONTROL**

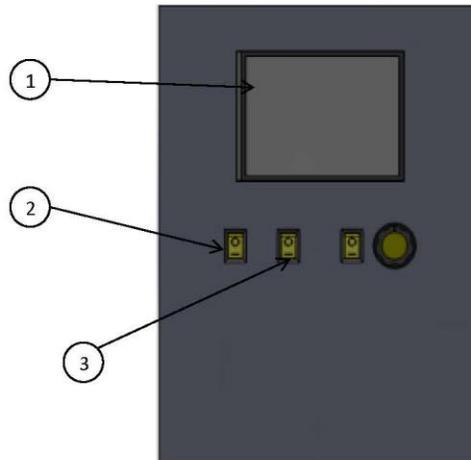


Ilustración 4- Tablero de control.

4. **Pantalla:** Muestra la información relevante a las condiciones de operación del equipo y para el ingreso de datos.
5. **Interruptor de encendido/apagado:** Permite la energización y desconexión del climatizador.
6. **Interruptor automático/manual:** Mediante el interruptor el usuario decide si el equipo operará en modo automático o en modo manual (Para su uso en prácticas de laboratorio).

➤ **CONTROL MANUAL**

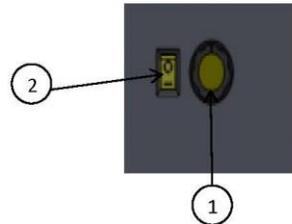


Ilustración 5- Elementos que componen el control manual.

1. **Perilla de control:** Permite controlar la velocidad de rotación del ventilador.
2. **Interruptor de la bomba:** Conecta y desconecta la bomba.

➤ **CONTROL AUTOMÁTICO**



Ilustración 6- Pantalla de inicio para el control automático.

Pantalla: Permite ver los datos relevantes como las temperaturas y humedades relativas en el exterior y en el interior. Su componente táctil permite ingresar la temperatura deseada y poder navegar por su interface.

➤ **CÓMO NAVEGAR POR MEDIO DE LA PANTALLA**

Al encender el equipo en modo automático se presenta la pantalla de inicio presentada en la Ilustración 6, la cual se puede desglosar en 3 partes importantes:

1. **Condiciones del interior del aula:** En ella se muestran los valores de temperatura y humedad relativa dadas por el sensor al interior del salón de clases.
2. **Temperatura deseada:** En ella se muestra la temperatura que el usuario desea obtener.
3. **Botones:** Cada uno de ellos tiene una función en particular que se va a detallar a continuación.

TEMPERATURA DE USUARIO

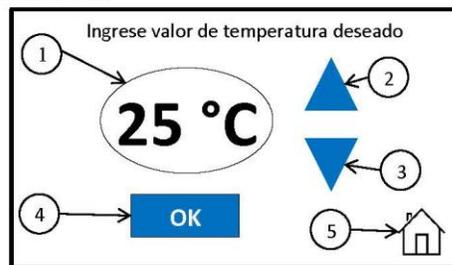


Ilustración 7- Pantalla de selección de temperatura.

Esta pantalla aparece al momento de presionar el botón "Temp. usuario", su función es permitir que el usuario establezca la temperatura del aula.

Mediante los botones en forma de triángulos puede incrementar o disminuir (2 y 3 respectivamente) la temperatura (1), el usuario puede establecer entre 22 y 29 °C siempre y cuando se tome en cuenta que es necesario que la temperatura al interior del aula sea mayor a la cual se desea trabajar.

Para aceptar los cambios debe pulsar el botón "OK" (4), en caso que desee cancelar los cambios efectuados puede presionar el botón "Home" (5), este último reestablece cualquier modificación y retorna a la pantalla principal (Ilustración 6).

DATOS

Datos	
Temperatura interna	27 °C
Humedad interna	35 %
Temperatura externa	33 °C
Humedad externa	25 %



Ilustración 8- Información de los sensores.

Desde la pantalla principal al presionar el botón “Datos”, éste abrirá una pantalla dentro de la cual muestra la información de interés sobre las condiciones de operación tanto interna como externa, incluye algunos parámetros de operación del equipo, para retornar a la pantalla principal, basta con presionar el botón “Home”.

RESEÑA

Equipo de climatización evaporativa

Su funcionamiento se basa en la transferencia de calor latente desde el aire hacia el agua por consiguiente, el agua en la superficie de análisis (Panel) se evapora y se lleva a cabo una transferencia de masa de agua hacia la corriente de aire, lo cual reduce su temperatura y aumenta su humedad relativa.

Datos técnicos

Carga termica: 8.14 kW
 Datos de bomba: 55 W, 220 V, 1850 L/h
 Datos del ventilador: 1/8 hp, 110 V, 3.2 A



Ilustración 9- Información acerca del equipo y su funcionamiento.

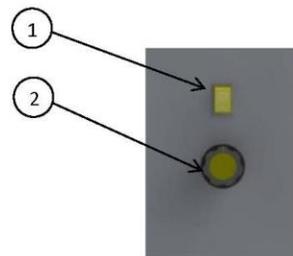
Nuevamente dentro de la pantalla principal, al presionar el botón “Reseña” se muestra en la pantalla la información básica sobre el proceso de climatización evaporativa y datos de importancia sobre las características básicas del equipo, para retornar nuevamente a la pantalla principal basta con presionar el botón “Home”.

➤ **CONTROL MANUAL**

Datos	
Temperatura interior:	27 °C
Humedad interior:	35 %
Temperatura exterior:	33 °C
Humedad exterior:	25 %
Velocidad del viento:	2.5 m/s

Ilustración 10- Información de las condiciones de operación.

El uso del control manual se basa únicamente en la variación de la velocidad del ventilador y del estado de funcionamiento de la bomba (Apagado y encendido), la pantalla que se muestra indica los datos obtenidos por los sensores y un cálculo estimado de la velocidad del viento para fines didácticos.



La - Tablero de control Ilustración 5, muestra dos elementos básicos para su control, el primero es un interruptor para controlar la puesta en marcha de la bomba (1), el segundo elemento es la perilla de control del ventilador (2), a diferencia de la bomba, el ventilador siempre se encontrará en marcha con la opción de variar su velocidad de operación.

➤ **PANTALLA DE ERROR**

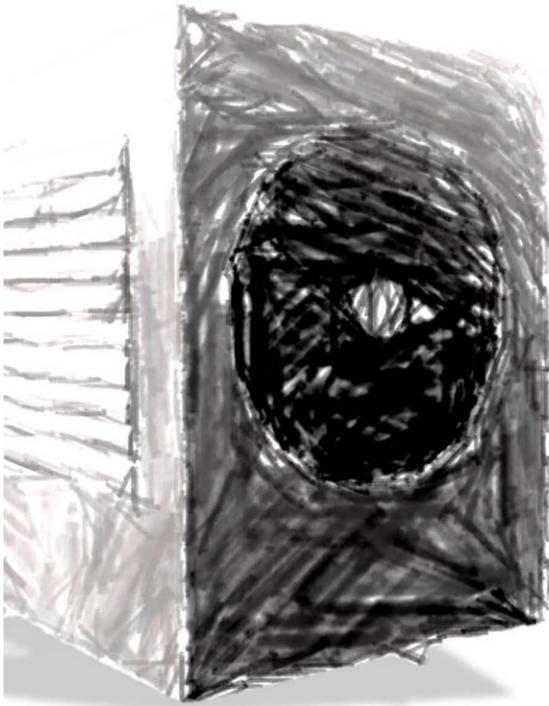


Ilustración 11- Pantalla de advertencia operacional.

Esta pantalla aparece cuando las condiciones internas del salón superan el 85 % de humedad relativa con el objetivo de evitar saturar de humedad el recinto y evitar generar un ambiente muy húmedo que permita la proliferación de bacterias y el deterioro de papelería por exposición prolongada, en dado caso, se recomienda que el usuario apague la bomba o en su defecto el equipo hasta que la humedad haya disminuido naturalmente.

Manual de mantenimiento

2017



MANUAL DE MANTENIMIENTO “CLIMATIZADOR EVAPORATIVO”

por

Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre
Br. Abraham Orlando Turcios Marquez

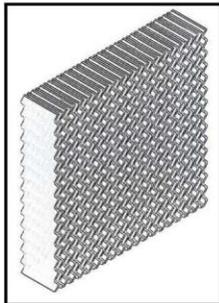
TABLA DE CONTENIDO

<u>DESCRIPCIÓN GENERAL</u>	2
GENERALIDADES	2
PRECAUCIONES	3
<u>INSPECCIONES Y LIMPIEZA</u>	8
INSPECCIONES PERIÓDICAS	8
LIMPIEZA	8
<u>TABLA DE ANOMALÍAS Y SOLUCIONES</u>	12
<u>REPUESTOS</u>	14

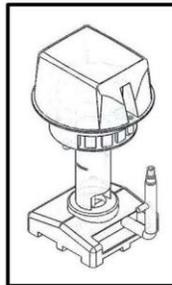
DESCRIPCIÓN GENERAL

CLIMATIZADOR EVAPORATIVO AUTOMATIZADO

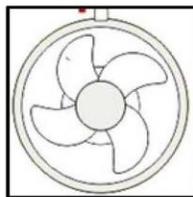
El climatizador evaporativo automatizado es un equipo de acondicionamiento de aire que requiere inspecciones periódicas y limpieza constante para mantenerlo en óptimas condiciones de operación. El equipo consta con 3 elementos principales que requieren el mayor mantenimiento:



Paneles evaporativos: cuya función es el intercambio de energía entre el aire caliente y el agua. Su limpieza es recomendada aproximadamente cada 6 meses con la utilización de un compresor que permita la remoción completa de las partículas almacenadas. En dependencia de su rendimiento y uso se recomienda su cambio entre los 3 y 4 años.

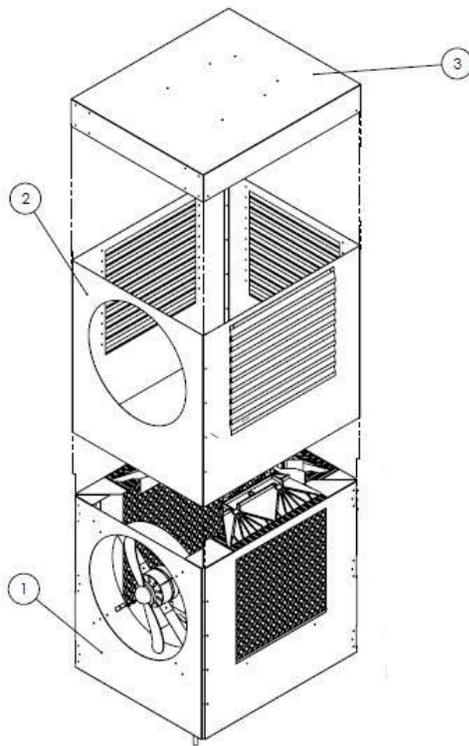


Bomba de agua: encargada de la distribución del agua en todo el equipo. La bomba es un dispositivo que requiere revisiones periódicas, principalmente en caso de que se escuchen ruidos fuertes o en caso que el flujo de agua no corresponda al indicado en el manual de operación.



Ventilador: el cual distribuye el aire frío y húmedo al espacio a acondicionar. Su mantenimiento es requerido al igual que la bomba en caso que presente ruidos o que el flujo de aire no sea uniforme.

El equipo de climatizado evaporativo consta de diferentes sistemas de operación, un sistema mecánico, un sistema hidráulico y un sistema electrónico. Dentro del sistema mecánico se contemplan todos los elementos de que componen el marco de soporte, el ventilador y sus componentes y la chapa metálica que lo recubre. Dentro del sistema hidráulico se contemplan la bomba de agua, la válvula de flotador y los elementos que evitan que haya fugas en el equipo.



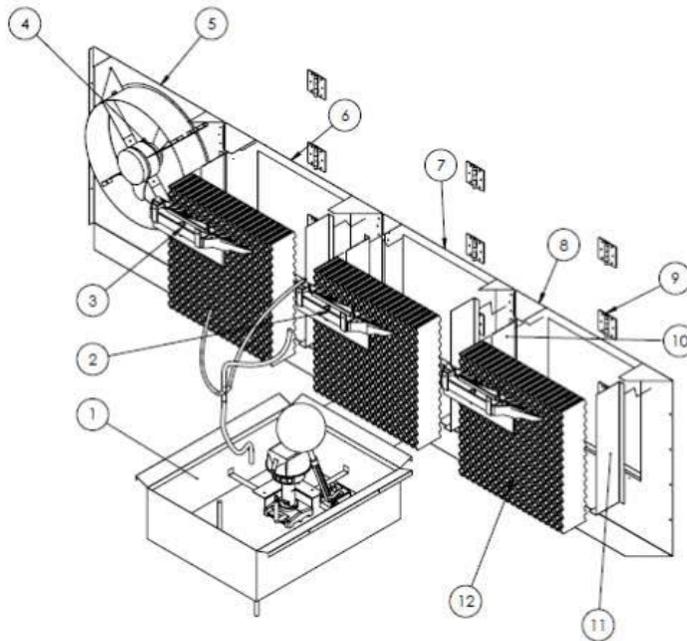
Elementos:

1—Marco interno

2—Chapa metálica

3—Tapadera

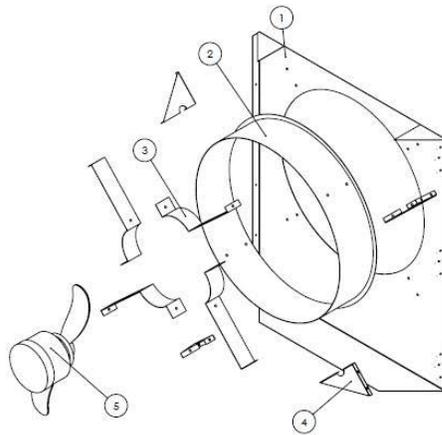
El interior del marco interno se muestra en la siguiente vista explosionada, las piezas del marco cada una cuenta con bisagras que permiten la extensión del equipo para la extracción de los paneles en caso de reemplazo o limpieza.



Elementos:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1—Tanque de almacenamiento de agua | 8—Marco de soporte lateral derecho |
| 2—Distribuidor posterior de agua | 9—Bisagras |
| 3—Distribuidor lateral de agua | 10—Pieza de soporte izquierda de paneles |
| 4—Ventilador | 11—Piezas de soporte derecha de paneles |
| 5—Marco de soporte frontal | 12—Paneles evaporativos |
| 6—Marco de soporte lateral izquierdo | |
| 7—Marco de soporte posterior | |

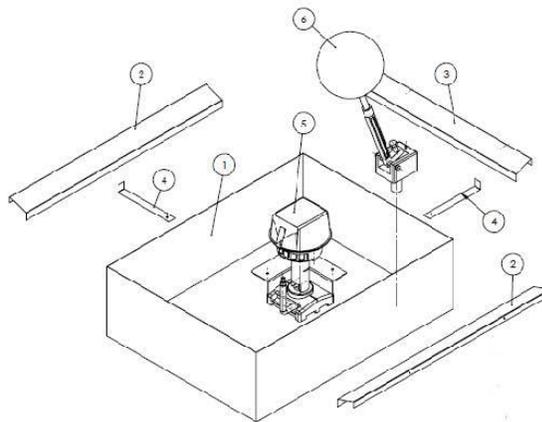
En la vista explosionada mostrada se puede observar la parte de transmisión de aire, sus elementos son los siguientes:



Elementos:

- 1--Marco frontal
- 2--Protección del ventilador
- 3--Piezas de soporte del ventilador
- 4--Escuadras de apoyo
- 5--Ventilador

En la siguiente vista explosionada se observan los componentes del sistema hidráulico del equipo:



Elementos:

- 1--Tanque de almacenamiento de agua
- 2--Soporte tanque lateral
- 3--Soporte tanque posterior
- 4--Soporte bomba
- 5--Bomba
- 6--Válvula de flotador

Dentro del manual de mantenimiento se especifican las precauciones, inspecciones periódicas y el mantenimiento a realizar al equipo.

PRECAUCIONES

El equipo consta de una etiqueta que indica las precauciones a la hora de operarlo:



Tomar en cuenta las siguientes indicaciones:

En caso de ruidos:

- Apagar el equipo utilizando el interruptor ubicado en la caja de control correspondiente.
- Dirigirse a la sección de mantenimiento en caso de fallos de la página 12

En caso de falta de agua:

- Asegurarse que la válvula de entrada del suministro se encuentre abierta.
- Cerciorarse que la válvula de desague no se encuentre abierta.
- En caso de no haber agua en el suministro llenar con ayuda de un recipiente, levantando cuidadosamente la tapa y evitando mojar el motor del ventilador.
- En ningún momento encender el equipo pues podría dañarse la bomba de suministro de agua.

INSPECCIONES Y LIMPIEZA

INSPECCIONES PERIÓDICAS

Es necesario aclarar que las inspecciones deberán efectuarse cada 3 meses de operación del equipo, y el mantenimiento general cada 6 meses. El reemplazo de los paneles evaporativos se deberá realizar entre 3 y 4 años.

Al momento de realizar una inspección del funcionamiento del equipo se llevarán a cabo los siguientes pasos:

- Primeramente se recomienda operar el equipo en modo manual para poder inspeccionar detenidamente y por separado cada uno de los elementos del equipo.
- Al inspeccionar el equipo se recomienda encender primeramente la bomba de distribución de agua, esto con el fin de determinar si presenta ruidos o si el equipo presentara fugas.
- Segundo se deberá levantar la tapadera del equipo con cuidado y observar detenidamente cada uno de los paneles evaporativos, si estos poseen partículas de aproximadamente 0.5 mm de espesor deberá efectuarse la limpieza correspondiente.
- Encender el ventilador luego de apagada la bomba y observar detenidamente el movimiento a la más baja velocidad posible, si el giro de la propela es inestable o presenta una leve oscilación deberá reajustarse al eje. En caso de que presente ruidos ir a la sección de mantenimiento en la página 12.
- Luego de realizada la inspección general, encender ambos elementos y lentamente incrementar la velocidad del ventilador. Si este alcanza la velocidad máxima sin ningún problema el equipo se encuentra operando correctamente.

LIMPIEZA

Los elementos que requieren mayor limpieza son los paneles evaporativo, debido a que estos elementos son principales en el equipo, es necesario llevar a cabo un desensamble, para eso seguiremos los siguientes pasos:

DESENSAMBLE DEL EQUIPO

HERRAMIENTAS NECESARIAS:

- Destornillador Philip y plano
- Llave de 10 mm
- Repuestos ubicados en la sección de repuestos página 14.

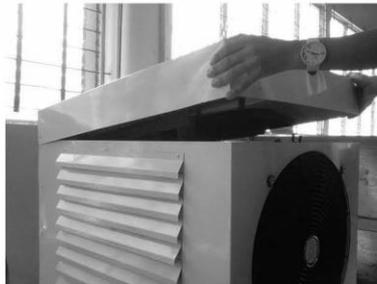
- Una toalla para remover agua.

PROCEDIMIENTO

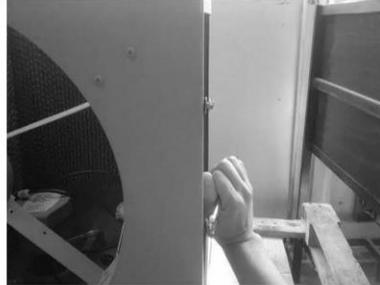
- Asegurarse que el equipo se encuentre vacío para evitar arrastrarlo con tan elevado peso.
- Abrir las ventanas del cuarto y con cuidado remover los acoples que se encuentran en las tuberías del equipo, los 3 acoples son: el acople de la válvula de flotador, el acople de la tubería de rebalse y el acople de la válvula de desagüe. Los acoples deben ser removidos como se observa en la imagen, girando los acoples en dirección horaria.



- Luego arrastrar el equipo hacia en interior del cuarto y con ayuda de otras personas colocarlo en el suelo.
- Con cuidado remover la chapa metálica que lo protege, levantandola lentamente hasta removerla.



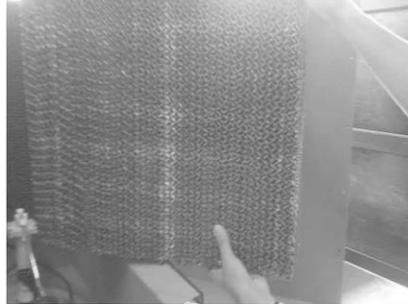
- Con ayuda de una llave número 11 remover los tornillos autoroscantes que mantienen al equipo cerrado, su ubicación se detalla en la siguiente imagen:



- Con mucho cuidado y con ayuda de un destornillador Philip remover los tornillos autoroscantes que mantienen al tanque sujeto al marco, estos tornillos se encuentran ubicados en cada marco que con panel evaporativo, sus posiciones se detallan a continuación:



- Extender el marco y remover los paneles evaporativos.



LIMPIEZA

Ahora que el equipo ya se encuentra desarmado es muy simple efectuar limpieza de cada uno de los elementos por separado. Principalmente de los paneles evaporativos y del tanque de almacenamiento de agua.

En el caso de los paneles evaporativos con ayuda de un compresor o un esparcidor de agua con alta presión limpiar cada uno de ellos hasta que el espesor de las partículas que contiene sean mínimas.

Para el caso de tanque de almacenamiento de agua con ayuda de una toalla limpiar toda la superficie.

TABLA DE ANOMALÍAS Y SOLUCIONES

ANOMALÍAS Y SOLUCIONES

Las anomalías más comunes que presentan estos equipos pueden ser provocadas por la falta de mantenimiento periódico y limpieza. A continuación se detallan las anomalías que presentan estos equipos y su posible solución:

ANOMALÍA	SOLUCIÓN
El equipo no arranca	<p>Asegurarse que se encuentra conectado correctamente y que se cuenta con energía eléctrica.</p> <p>Revisar la caja de control y asegurarse que los contactores se encuentran conectados.</p> <p>Con ayuda de un tester verificar la conexión donde no se presente energía, en este caso se deberá revisar cada componente y en caso que se encuentren dañados habrá que reemplazarlo.</p>
La bomba no arranca	<p>En caso que la bomba no arranca lo más recomendable es removerla y verificar que no esté dañada o quemada.</p> <p>Si es necesario desarmarla seguir el procedimiento definido en los manuales de la bomba correspondiente.</p>
El ventilador no arranca	<p>En caso que el ventilador no arranca lo más recomendable es removerlo y verificar que no esté dañado o quemado.</p> <p>Si es necesario desarmarlo seguir el procedimiento definido en los manuales del ventilador correspondiente.</p>

La pantalla no muestra datos	Verificar en la caja de control que los circuitos no se encuentren desconectados o quemados.
El aire que el equipo distribuye tiene un mal olor.	Realizar el procedimiento de limpieza establecido en la sección anterior o efectuar un cambio de agua.
El equipo presenta mucho ruido	Asegurarse que el ventilador se encuentra en la posición correcta y que no presenta problemas en su giro.
El equipo no llena el tanque de agua correctamente	Cambiar la válvula de flotador.
El equipo presenta fugas en los acoples de las tuberías	Cambiar los sellos con los de repuesto anexados en el equipo
El equipo presenta fugas en los laterales del equipo	Cambiar los sellos de los marcos efectuando primeramente el desensamble del equipo y sustituyéndolos por los repuestos anexados en el equipo.

REPUESTOS

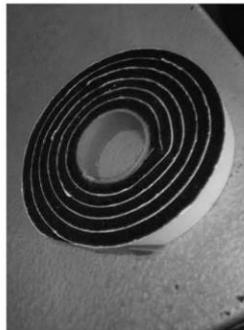
REPUESTOS ANEXADOS

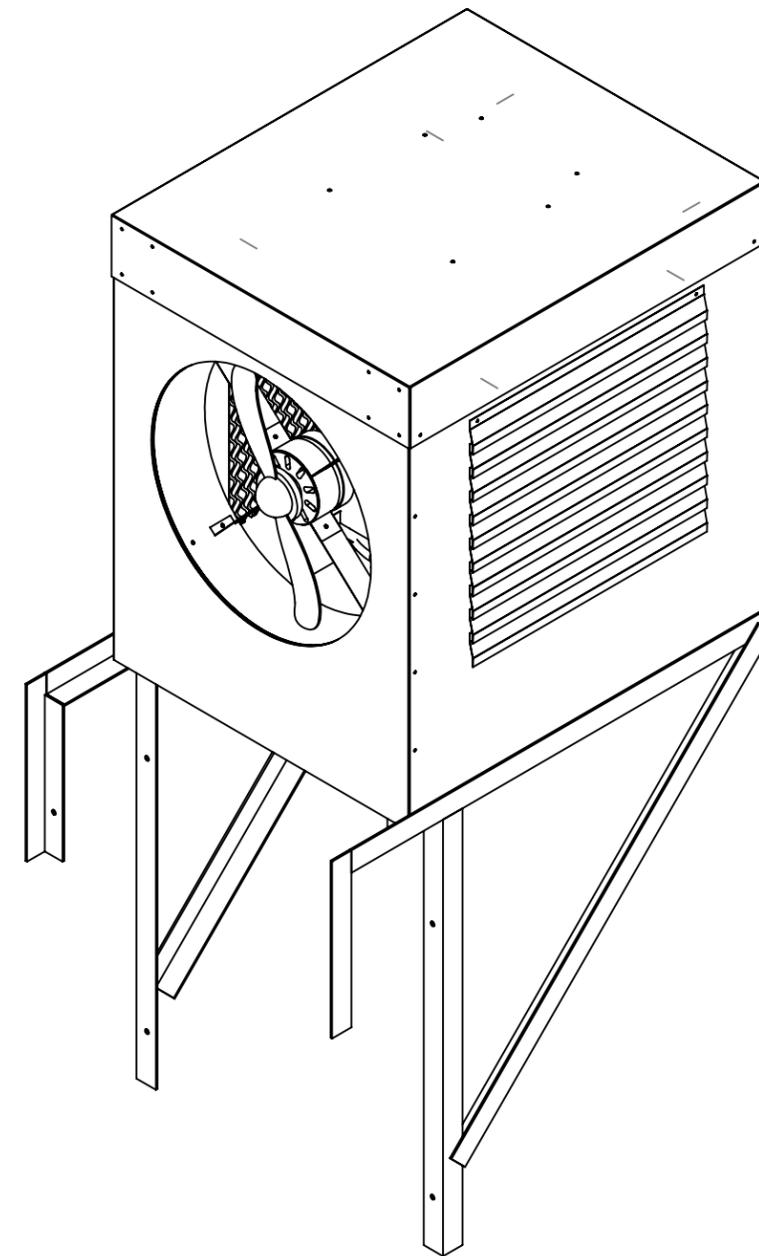
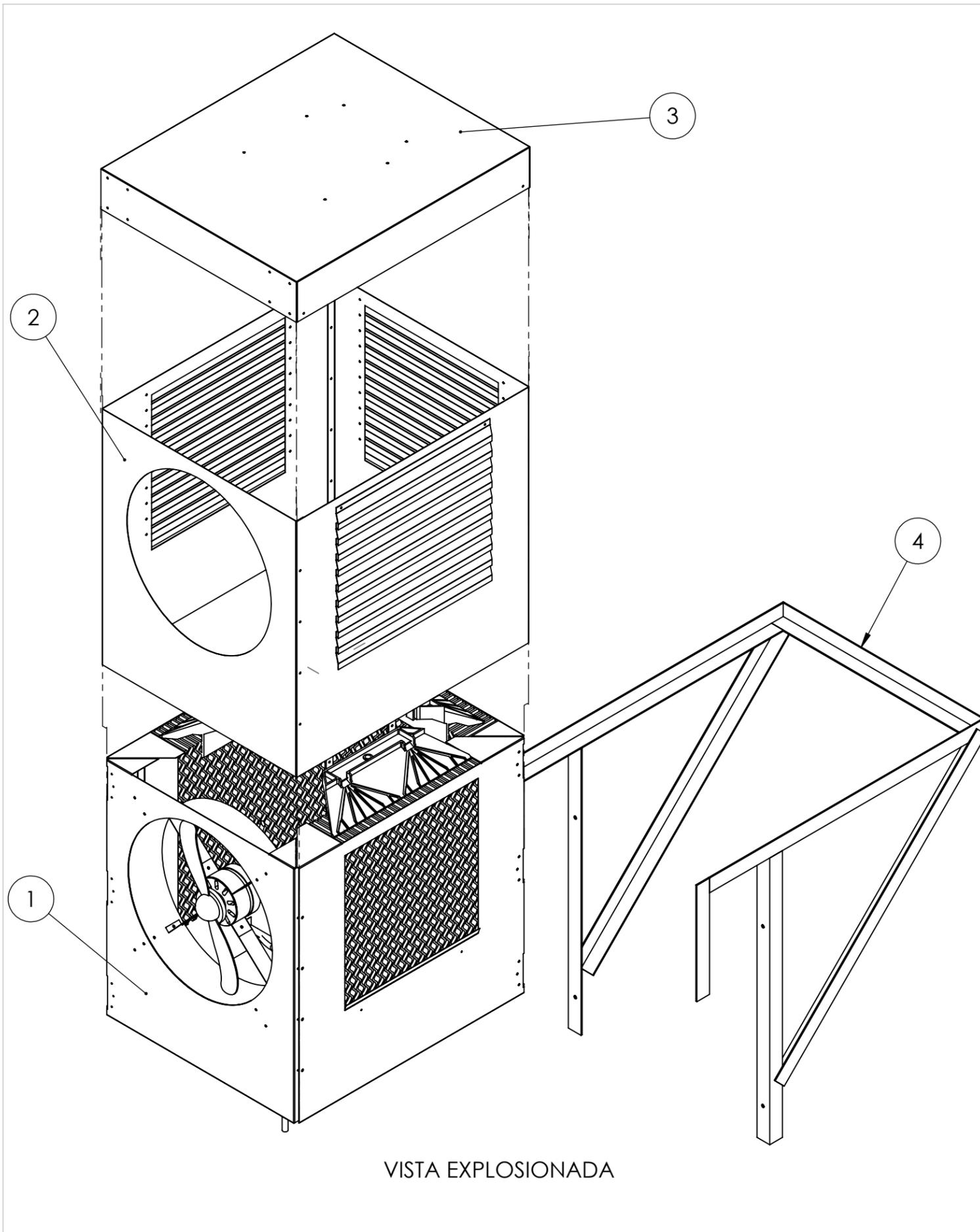
El equipo consta en sí mismo de repuestos que se encuentran a la disposición de los usuarios.

Consta con sellos ya cortados a la medida en caso de fugas:

Sellos para los laterales y posterior del marco, cada uno con una longitud de 50 cm. Se encuentran anexados 6 para la realización de 2 sesiones de mantenimiento cada una especulada cada 6 meses.

Sellos para los acoples de las tuberías. 6 sellos cortados a la medida en caso de fugas.





ISOMÉTRICO

ID	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
1	MRCO VE	MARCO DE SOPORTE Y TANQUE	1	
2	CHAPA	CHAPA METÁLICA	1	ALUMINIO
3	TAPA	TAPADERA METÁLICA	1	ALUMINIO
4	ESTR	ESTRUCTURA DE SOPORTE	1	AISI 1045

ESCALA	DISEÑARON: Br. Abraham Orlando Turcios Marquez Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre		04/03/2017
1:10	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un equipo de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Quando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	CLIMATIZADOR VISTA EXPLOSIONADA	MATERIAL CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

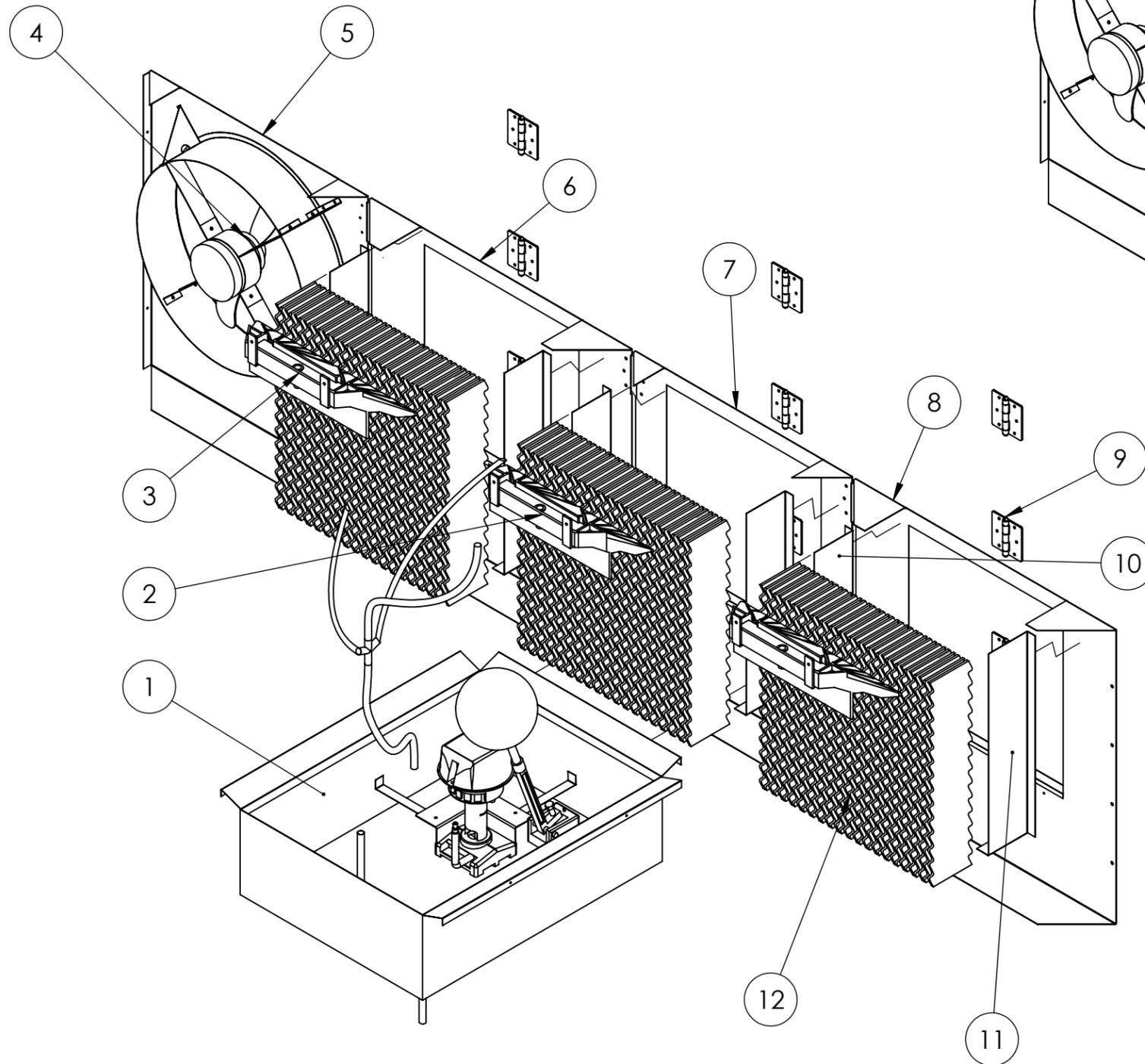


HOJA 1/1

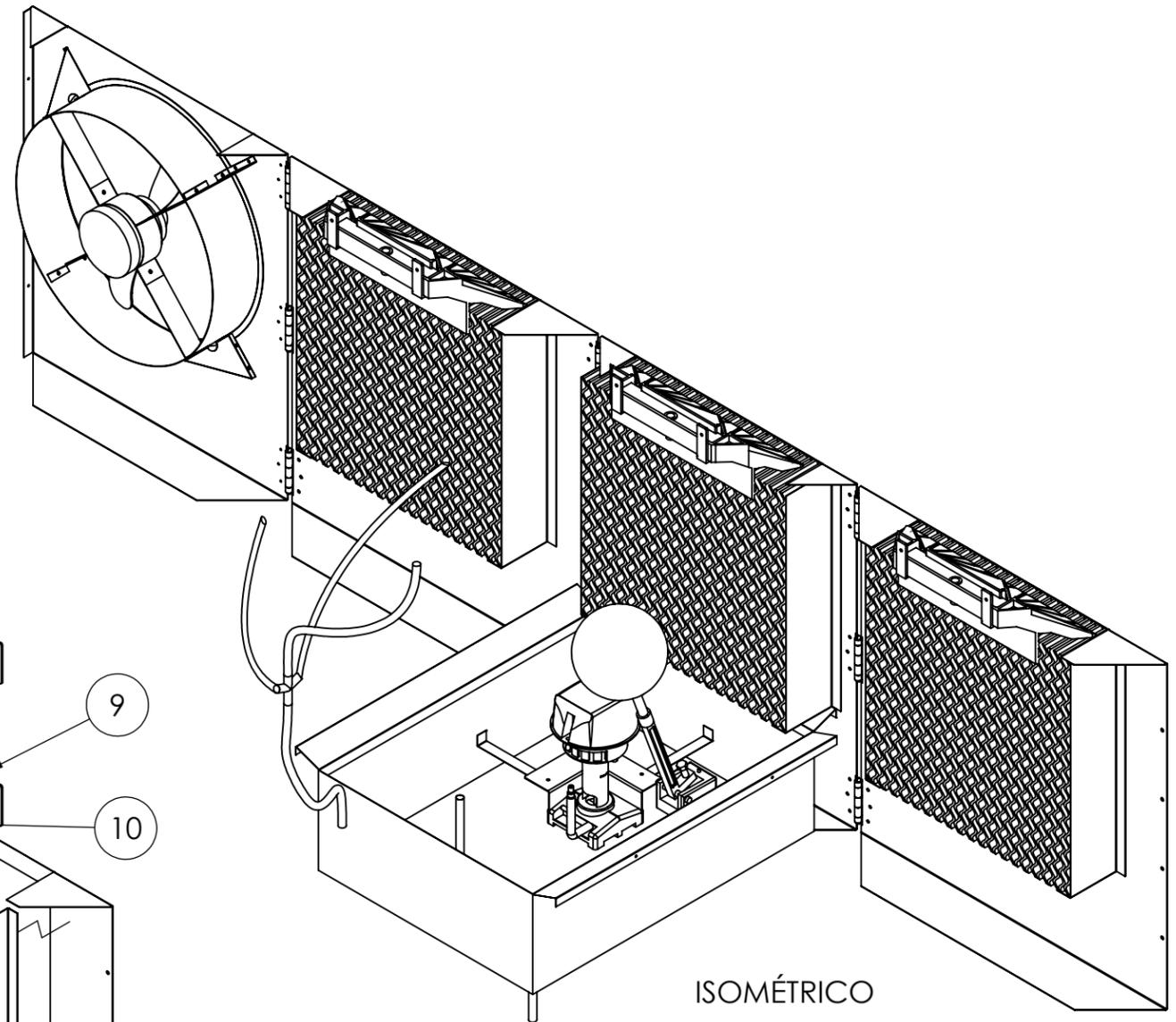
CÓDIGO

CLI
VE

A3



VISTA EXPLOSIONADA



ISOMÉTRICO

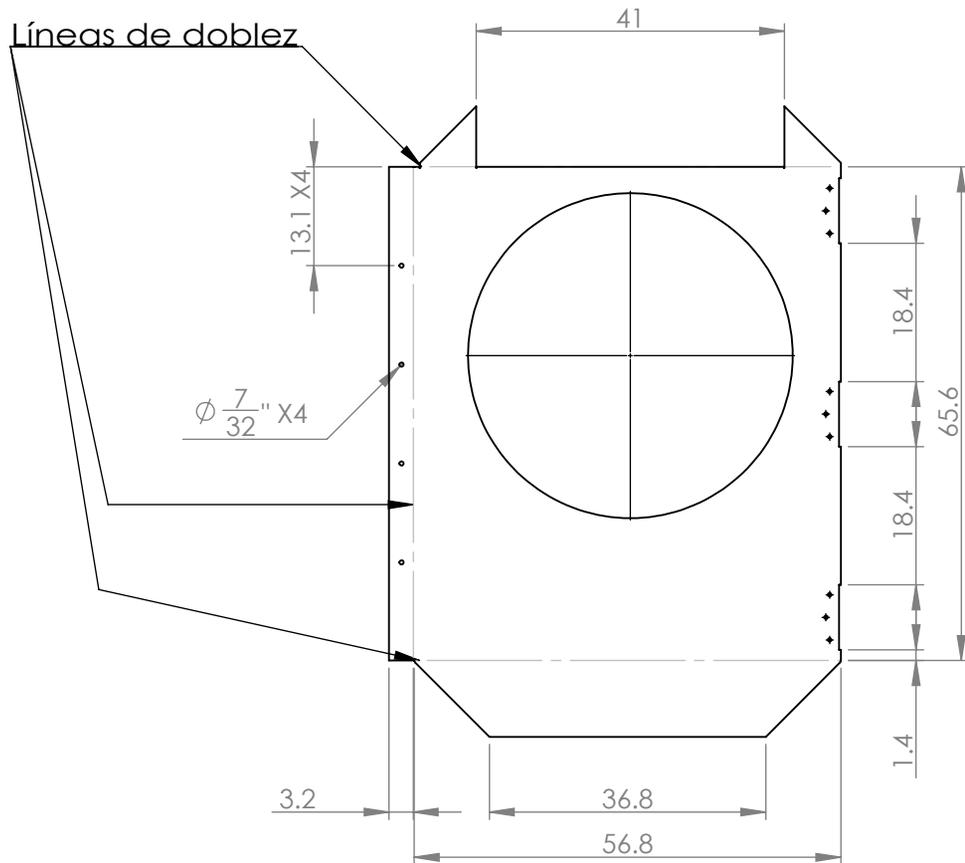
ID	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
1	TQUE	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA	1	LÁMINA GALVANIZADA
2	DIST P	DISTRIBUIDOR POSTERIOR	1	PVC
3	DIST L	DISTRIBUIDOR LATERAL	2	PVC
4	VENT	VENTILADOR	1	
5	MRCO FR	MARCO DE SOPORTE FRONTAL	1	LÁMINA GALVANIZADA
6	MRCO LI	MARCO DE SOPORTE LATERAL IZQUIERDO	1	LÁMINA GALVANIZADA
7	MRCO P	MARCO DE SOPORTE POSTERIOR	1	LÁMINA GALVANIZADA
8	MRCO LD	MARCO DE SOPORTE LATERAL DERECHO	1	LÁMINA GALVANIZADA
9		BISAGRAS	9	
10	SOP PANEL LI	SUJETADOR DE PANEL IZQUIERDO	3	LÁMINA GALVANIZADA
11	SOP PANEL LD	SUJETADOR DE PANEL DERECHO	3	LÁMINA GALVANIZADA
12	PANEL	PANEL EVAPORATIVO 45X45X10 cm	3	CELULOSA

ESCALA	1:10	
DISENARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un equipo de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos	
Quando no se especifique	NOMBRE	MATERIAL
Unidades: mm	ENSAMBLE INTERNO EXPLOSIONADO	CANTIDAD: 1

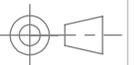


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1
 CÓDIGO
 MRCO
 VE
 A3



NOTA: LÁMINA DE CALIBRE 22



ESCALA 1:10	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	MARCO INTERNO FRONTAL	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 1



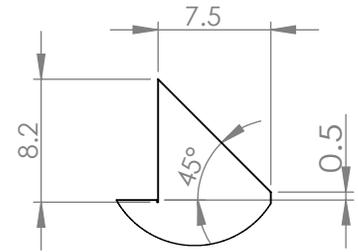
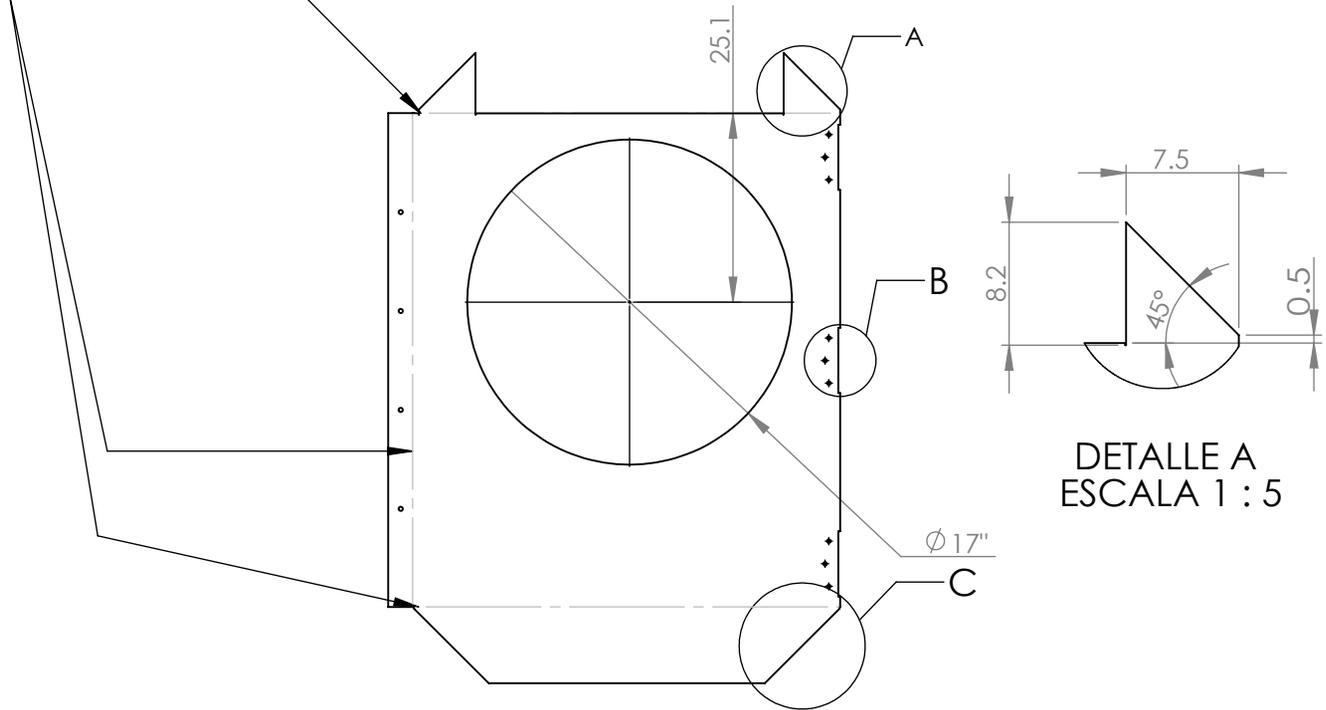
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/2

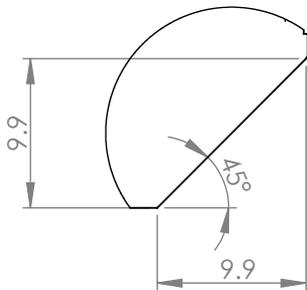
CÓDIGO
 MRCO
 F

A4

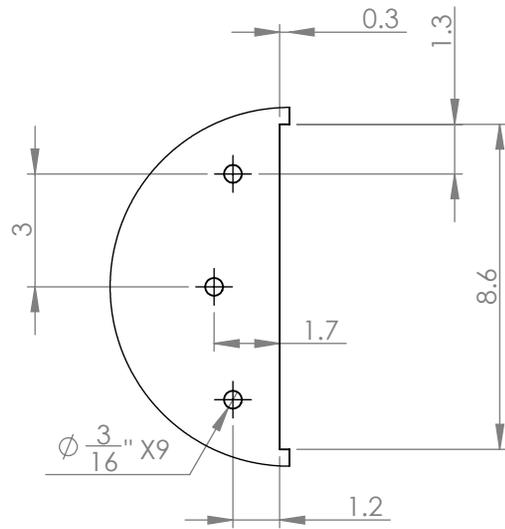
Líneas de doblez



DETALLE A
ESCALA 1 : 5

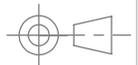


DETALLE C
ESCALA 1 : 5



DETALLE B
ESCALA 1 : 2

NOTA: LÁMINA CALIBRE 22

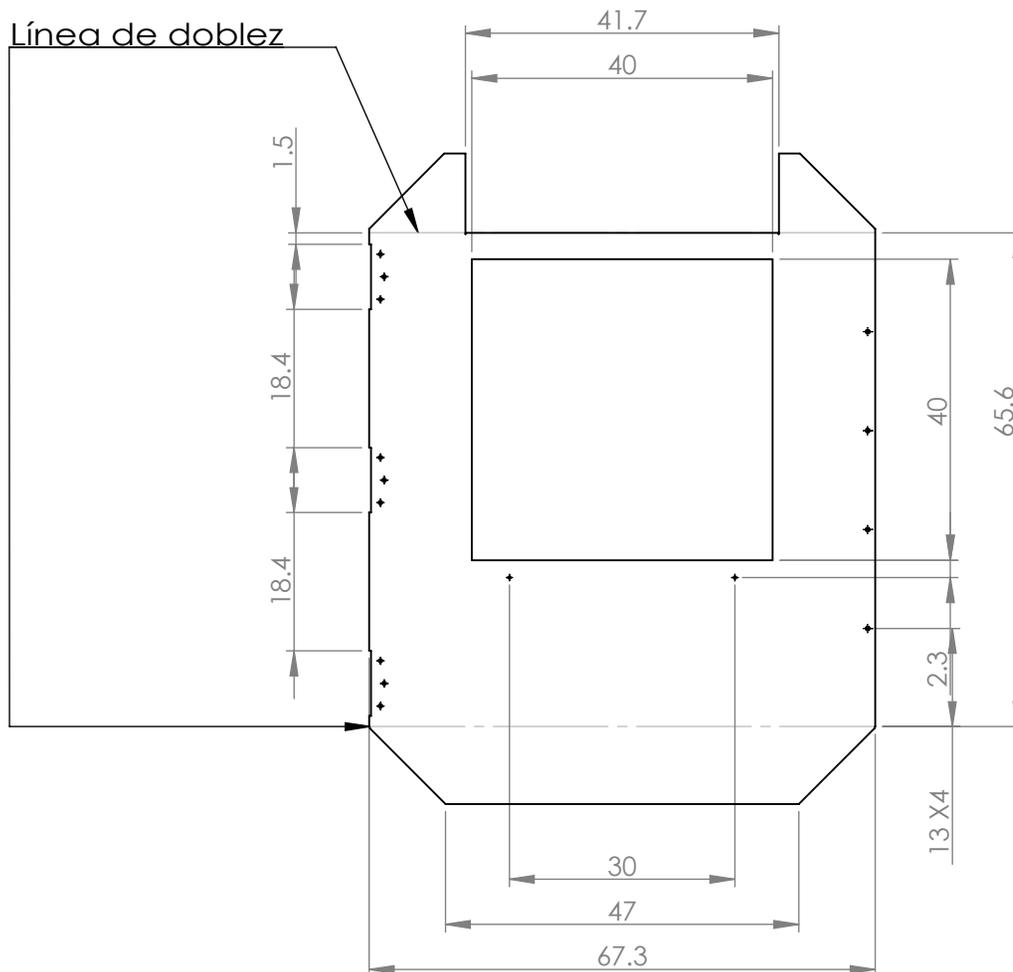


ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:10	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	MARCO INTERNO FRONTAL	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 2/2
CÓDIGO MRCO F
A4



NOTA: LÁMINA CALIBRE 22



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:10	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	MARCO INTERNO LATERAL DERECHO	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

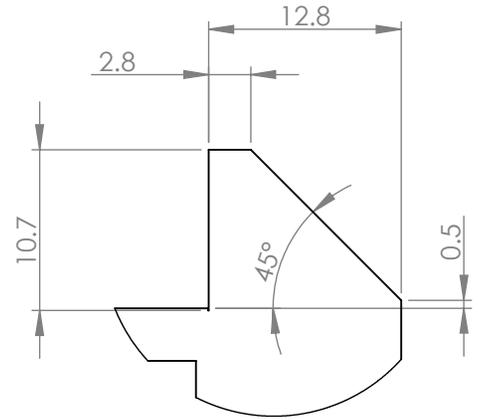
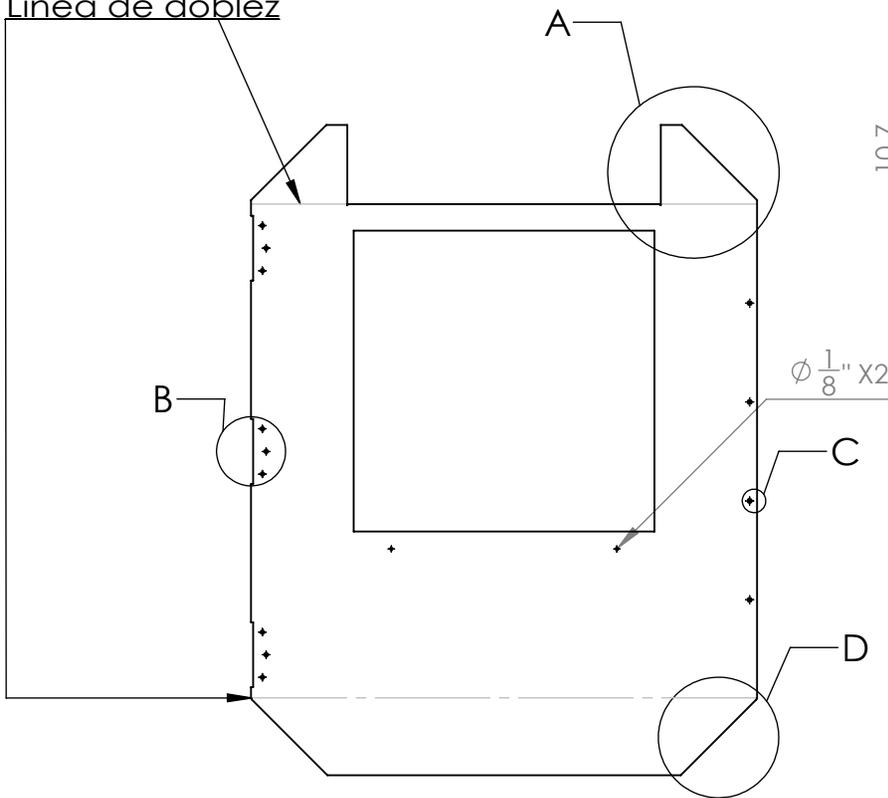
HOJA 1/2

CÓDIGO

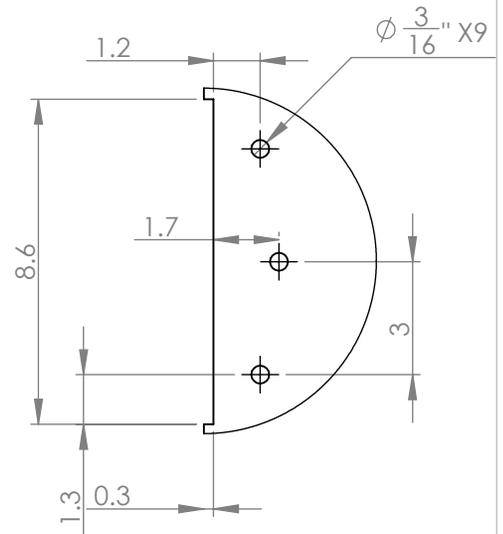
MRCO
LD

A4

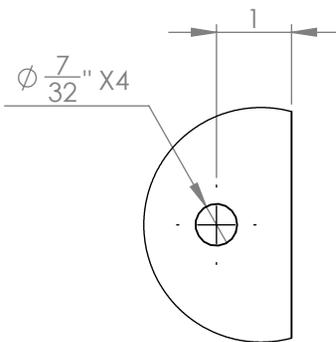
Línea de doblez



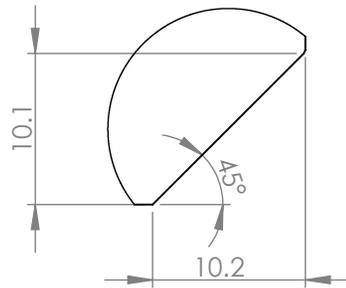
DETALLE A
ESCALA 1 : 5



DETALLE B
ESCALA 1 : 2

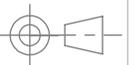


DETALLE C
ESCALA 1 : 1



DETALLE D
ESCALA 1 : 5

NOTA: LÁMINA CALIBRE 22



ESCALA 1:10	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	MARCO INTERNO LATERAL DERECHO	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 1

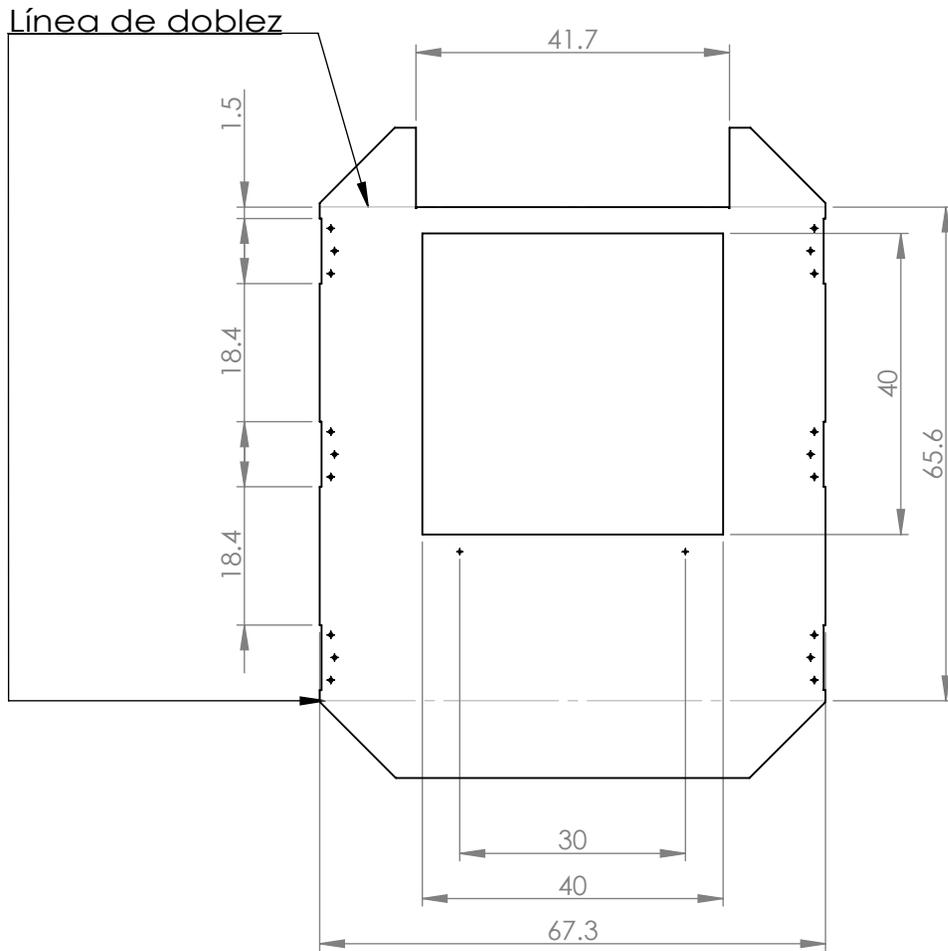


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

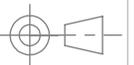
HOJA 2/2

CÓDIGO
MRCO
LD

A4



NOTA: LÁMINA CALIBRE 22



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:10	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	MARCO INTERNO LATERAL IZQUIERDO	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 1



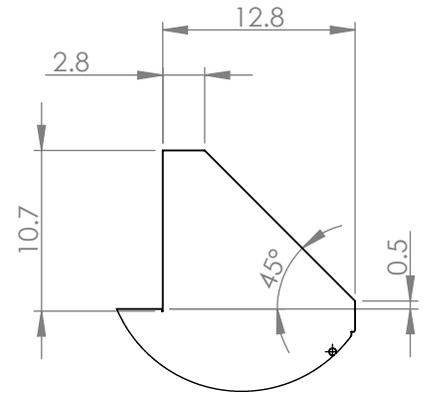
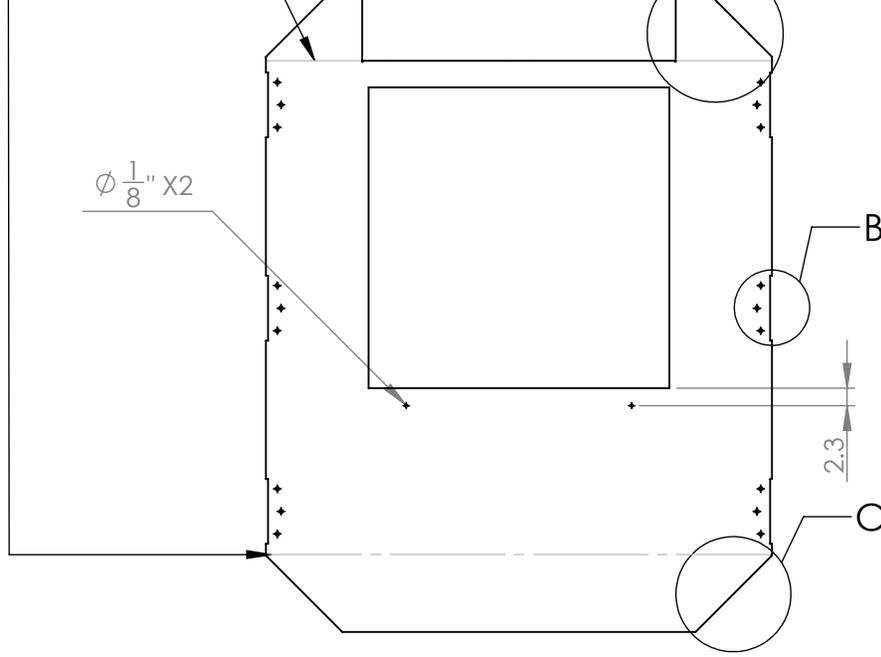
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/2

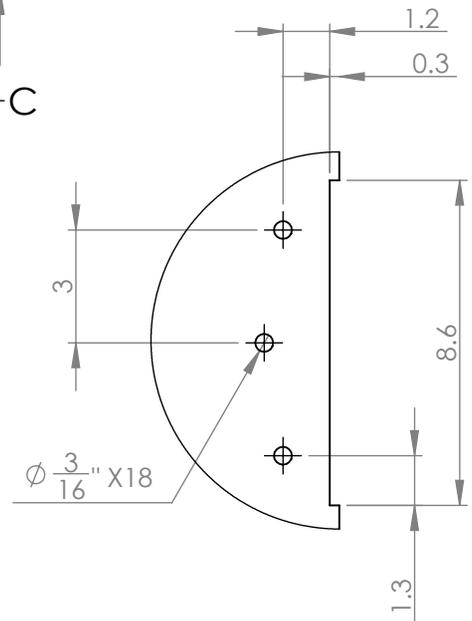
CÓDIGO
MRCO
LI

A4

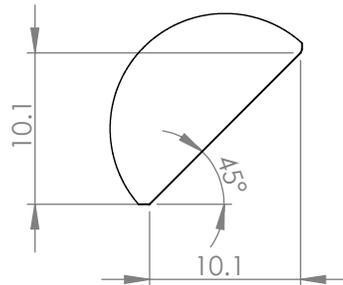
Línea de doblez



DETALLE A
ESCALA 1 : 5

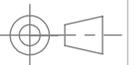


DETALLE B
ESCALA 1 : 2



DETALLE C
ESCALA 1 : 5

NOTA: LÁMINA CALIBRE 22



ESCALA 1:10	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	MARCO INTERNO LATERAL IZQUIERDO	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 1

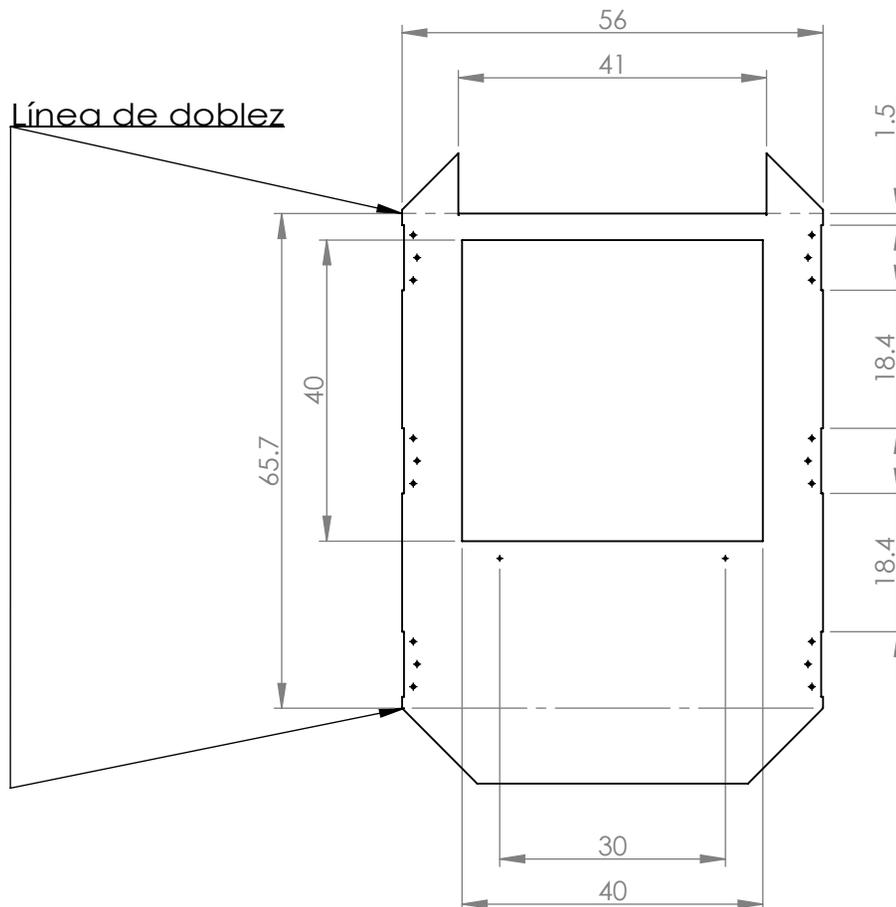


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 2/2

CÓDIGO
MRCO
LI

A4



NOTA: LÁMINA CALIBRE 22



ESCALA 1:10	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	MARCO INTERNO POSTERIOR	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

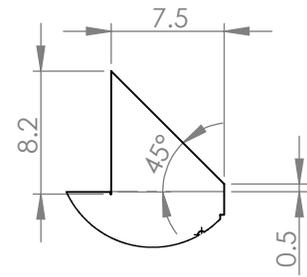
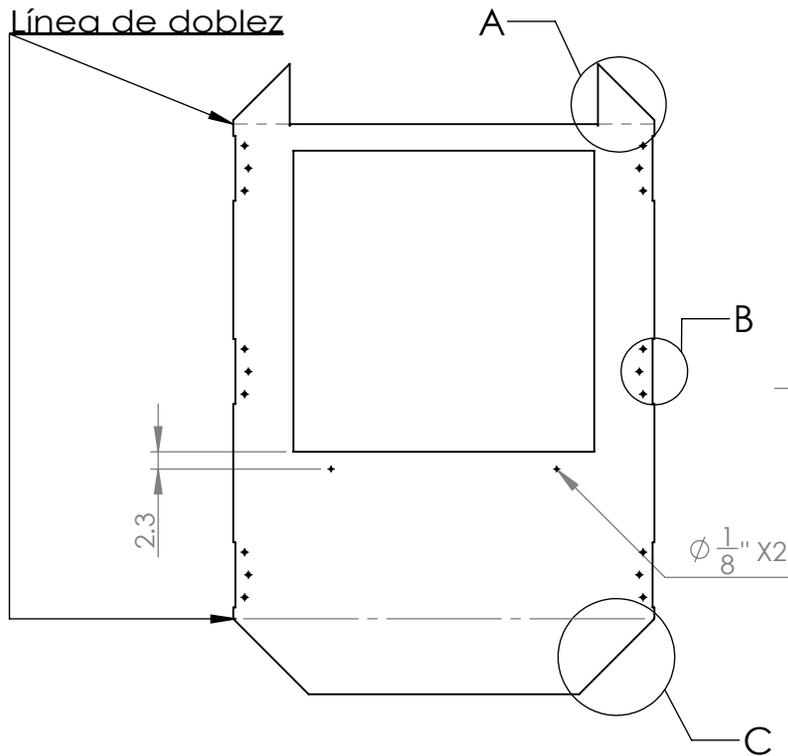
HOJA 1/2

CÓDIGO

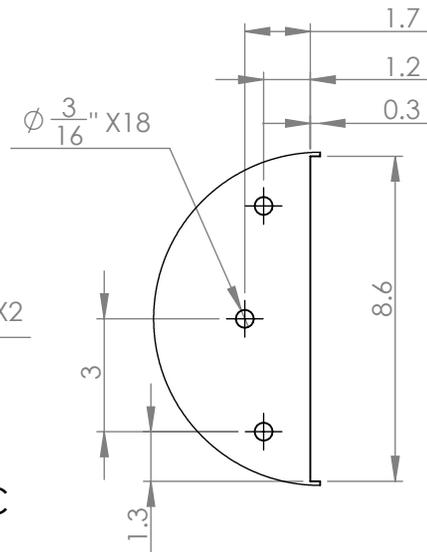
MRCO
P

A4

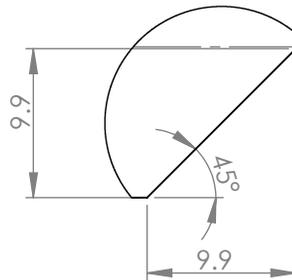
Línea de doblez



DETALLE A
ESCALA 1 : 5

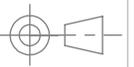


DETALLE B
ESCALA 1 : 2



DETALLE C
ESCALA 1 : 5

NOTA: LÁMINA CALIBRE 22



ESCALA 1:10	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	MARCO INTERNO POSTERIOR	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 1

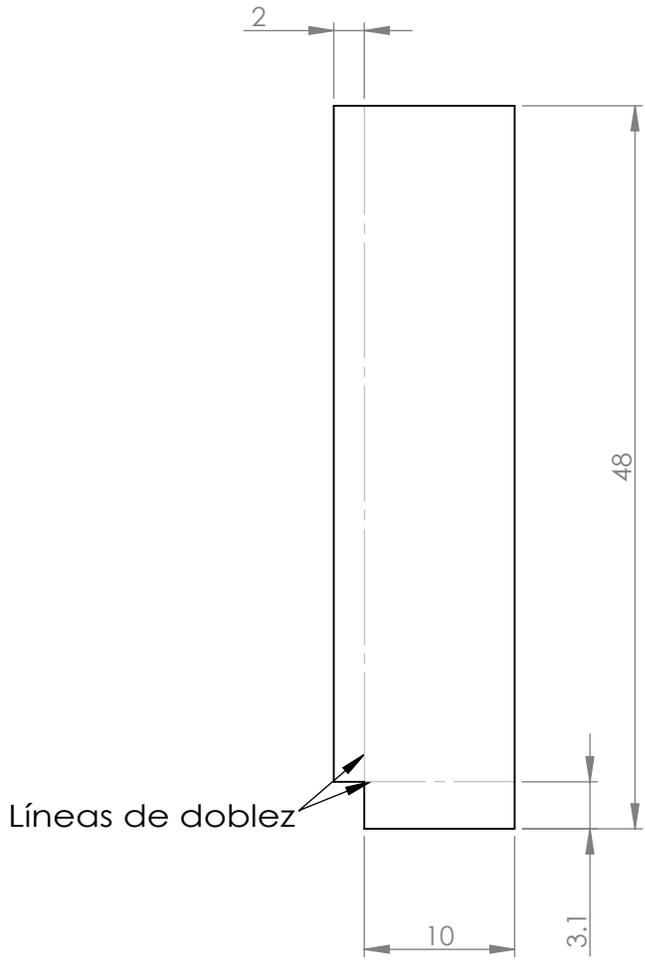


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

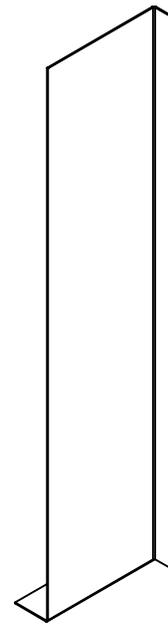
HOJA 2/2

CÓDIGO
MRCO
P

A4

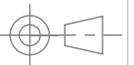


VISTA FRONTAL



ISOMÉTRICO

NOTA: LÁMINA CALIBRE 22



ESCALA 1:5	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	SOPORTE PANEL LATERAL DERECHO	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 3



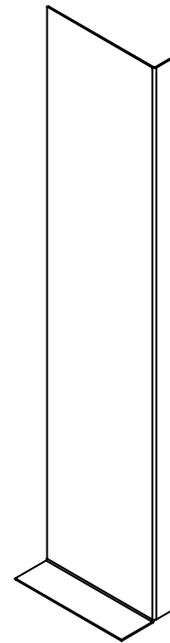
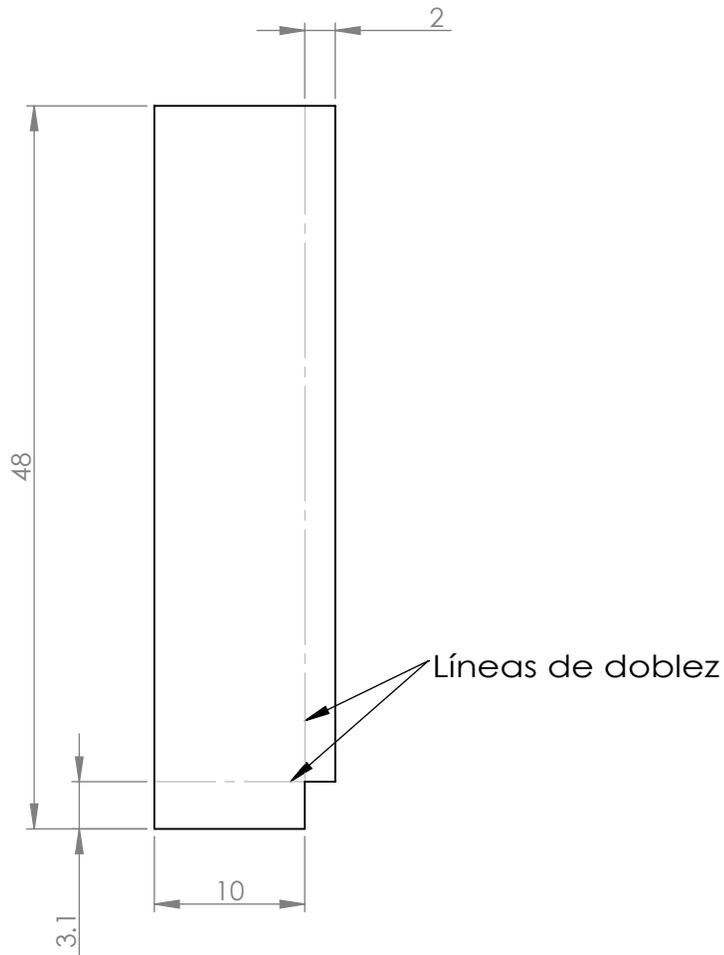
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

CÓDIGO

SOP
PANEL
LD

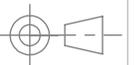
A4



ISOMÉTRICO

VISTA FRONTAL

NOTA: LÁMINA CALIBRE 22



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:5	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	SOPORTE PANEL LATERAL IZQUIERDO	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 3



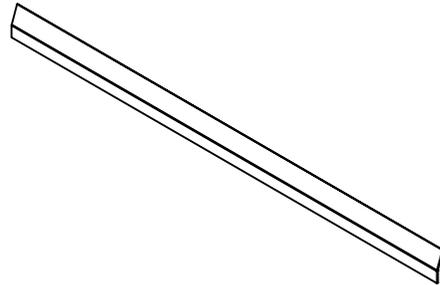
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

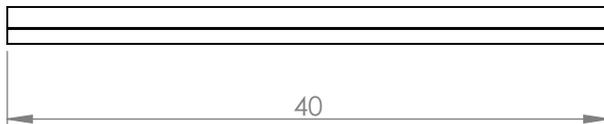
CÓDIGO

SOP
PANEL
LI

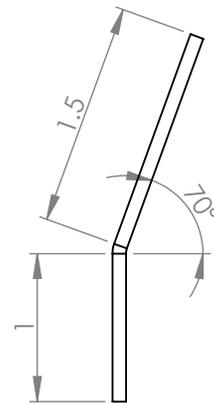
A4



ISOMÉTRICO



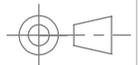
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

ESCALA 2:1

NOTA: LÁMINA CALIBRE 22



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:5	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PESTAÑA	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 3

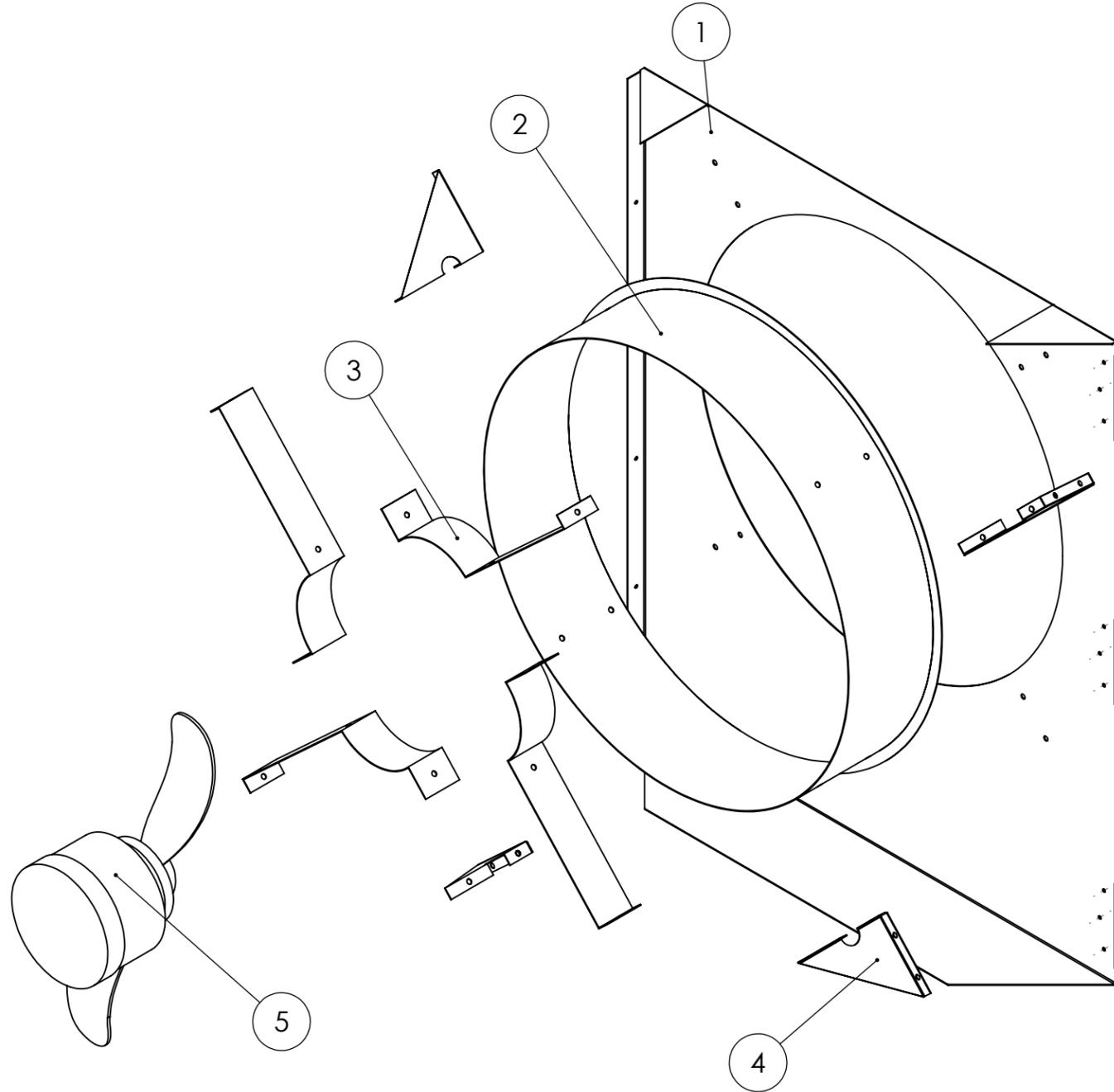


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

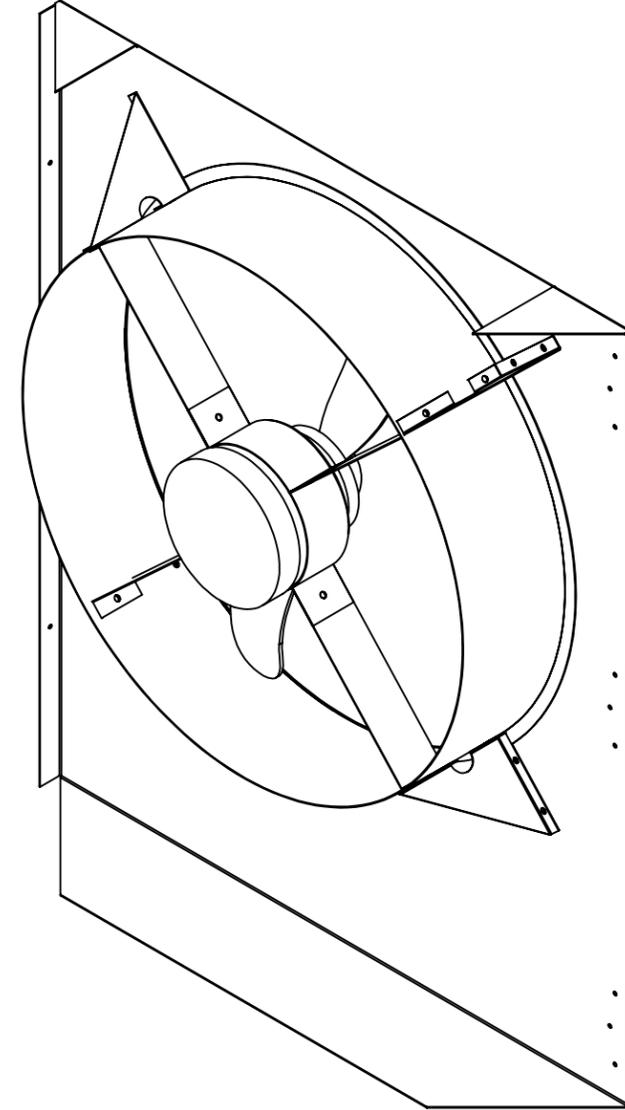
HOJA 1/1

CÓDIGO
MRCO
PES

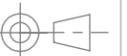
A4



VISTA EXPLOSIONADA



ISOMÉTRICO

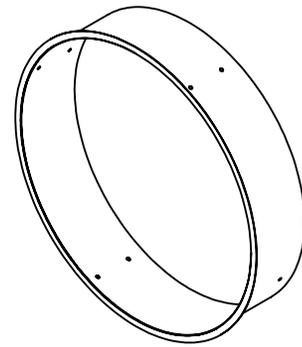


ID	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
1	MRCO FR	MARCO FRONTAL	1	LÁMINA GALVANIZADA
2	PRT VENT	PROTECCIÓN DEL VENTILADOR	1	LÁMINA GALVANIZADA
3	SOP VENT	SOPORTE DE VENTILADOR	4	LÁMINA GALVANIZADA
4	ESC	ESCUADRAS DE SOPORTE	4	LÁMINA GALVANIZADA
5	VENT	VENTILADOR	1	

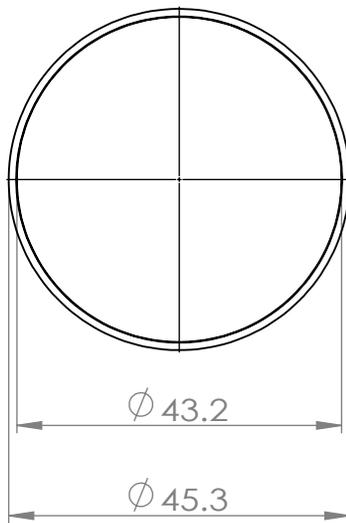
ESCALA	1:5	DISEÑARON: Br. Abraham Orlando Turcios Marquez Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre REVISÓ: Ing. Luis José Salalá Santos TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un equipo de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos	04/03/2017 06/03/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 1/1 CÓDIGO MRCO FR VE
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE VISTA EXPLOSIONADA VENTILADOR	MATERIAL CANTIDAD:	A3		



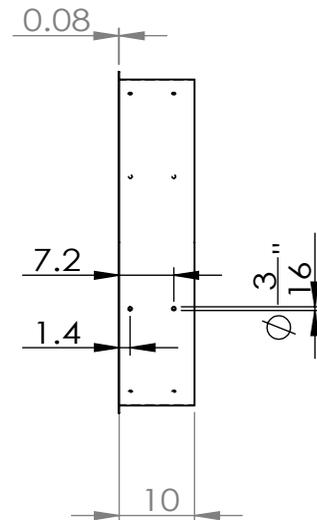
VISTA SUPERIOR



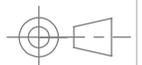
ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:10	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PROTECCIÓN VENTILADOR	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 1



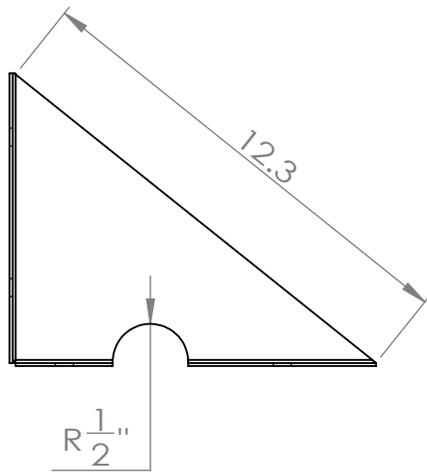
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

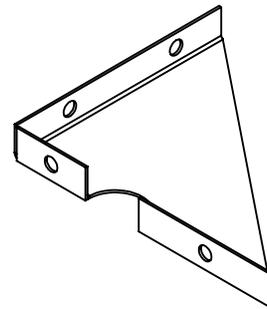
CÓDIGO

PRT
VENT

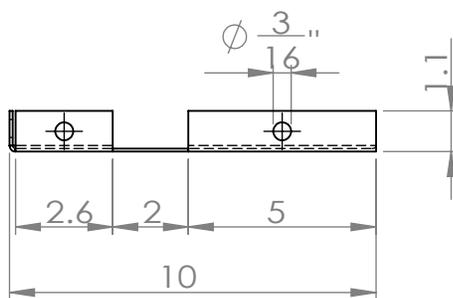
A4



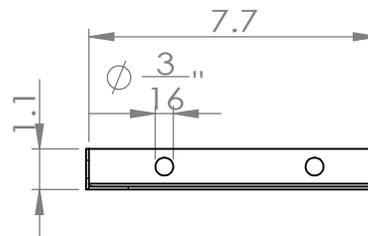
VISTA SUPERIOR



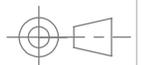
ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:2	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	ESCUADRA	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 4

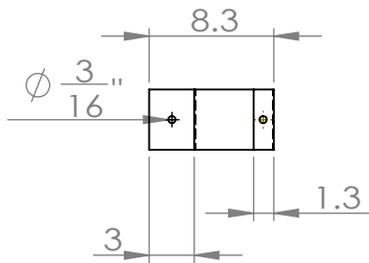


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

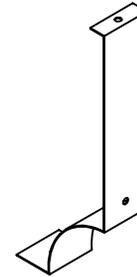
HOJA 1/1

CÓDIGO
ESC

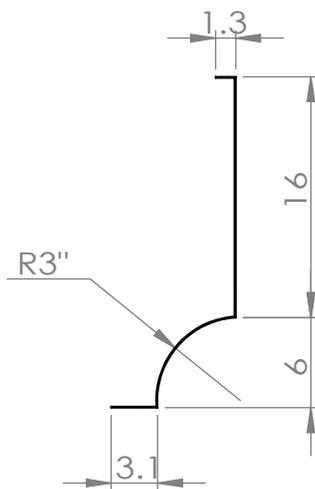
A4



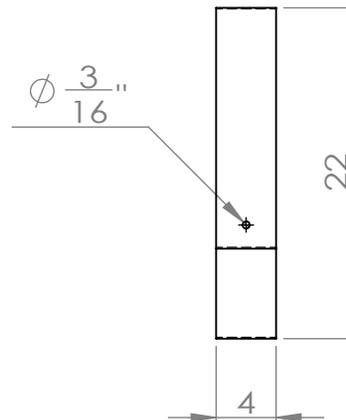
VISTA SUPERIOR



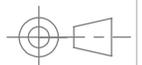
ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:5	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	CINCHO MOTOR DE VENTILADOR	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 4

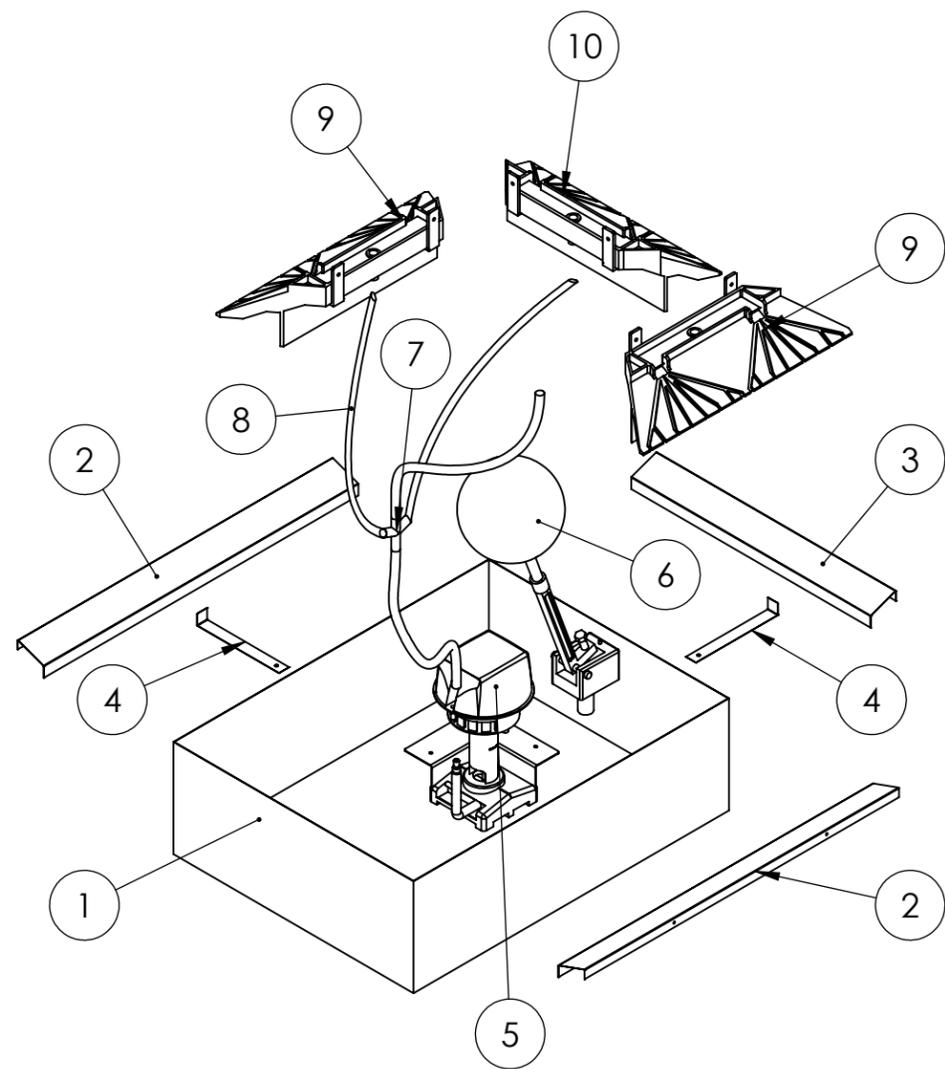


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

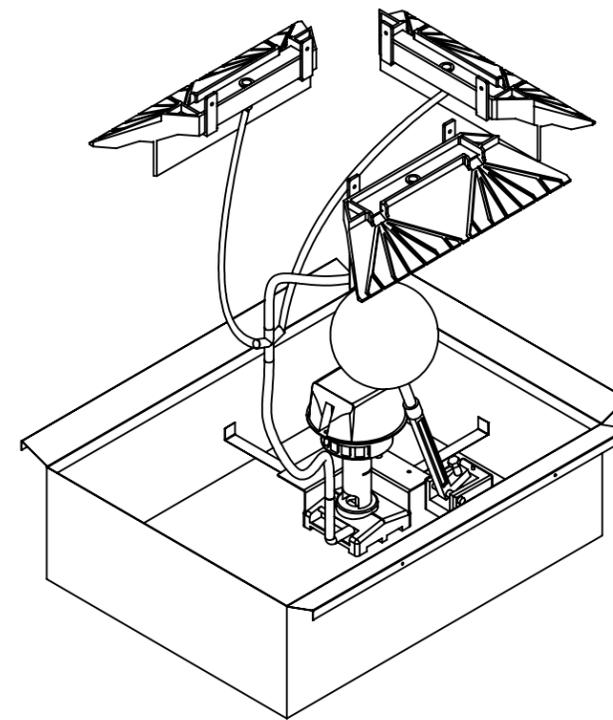
HOJA 1/1

CÓDIGO
 SOP
 VENT

A4



VISTA EXPLOSIONADA

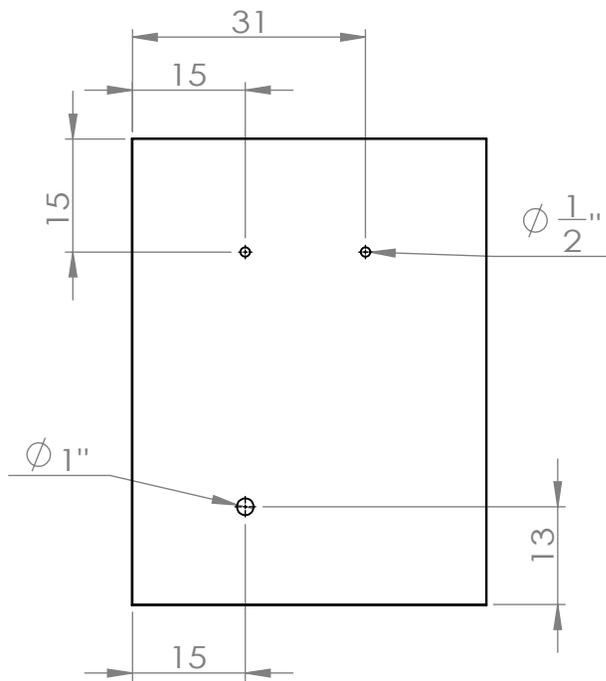


ISOMÉTRICO

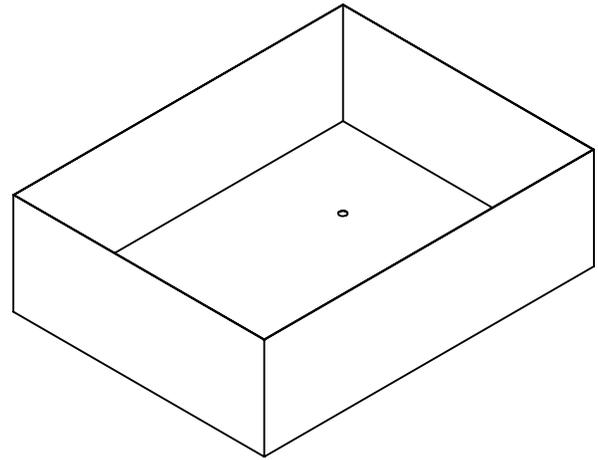


ID	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
1	TQUE	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA	1	LÁMINA GALVANIZADA
2	SOP TQUE L	PIEZA DE SOPORTE DEL TANQUE LATERAL	2	LÁMINA GALVANIZADA
3	SOP TQUE P	PIEZA DE SOPORTE DEL TANQUE POSTERIOR	1	LÁMINA GALVANIZADA
4	SOP BOM	PIEZA DE SOPORTE DE BOMBA	2	LÁMINA GALVANIZADA
5	BOM	BOMBA	1	
6	VAL	VÁLVULA DE FLOTADOR	1	
7	DIV CAUDAL	DIVISOR DE CAUDAL	1	PVC
8	MANG	MANGUERAS	4	PVC
9	DISTR-L	DISTRIBUIDOR LATERAL	2	PVC
10	DISTR-P	DISTRIBUIDOR POSTERIOR	1	PVC

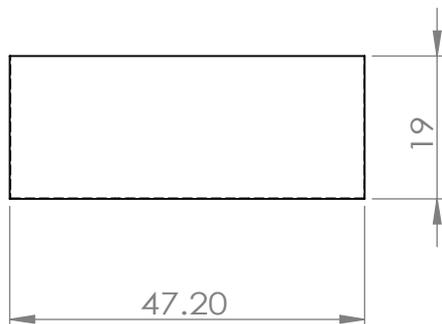
ESCALA	1:10	DISEÑARON: Br. Abraham Orlando Turcios Marquez Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre REVISÓ: Ing. Luis José Salalá Santos TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un equipo de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos	04/03/2017 06/03/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 1/1
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	VISTA EXPLOSIONADA TANQUE	MATERIAL CANTIDAD: 1		CÓDIGO



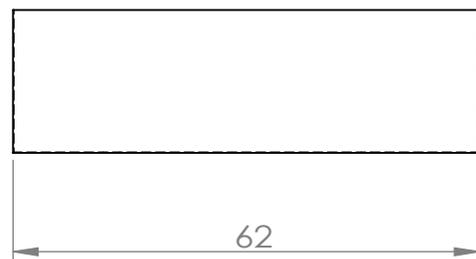
VISTA SUPERIOR



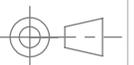
ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:10	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

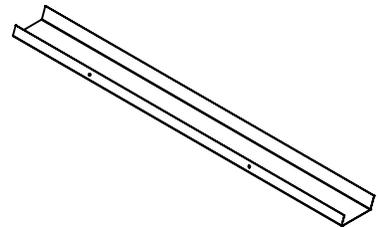
CÓDIGO

TQUE

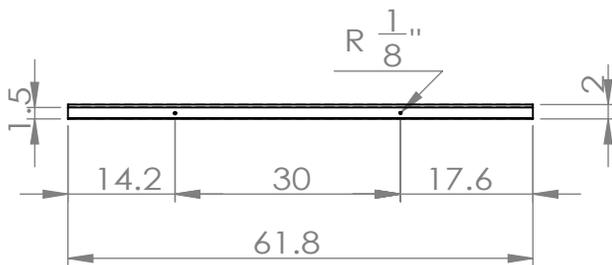
A4



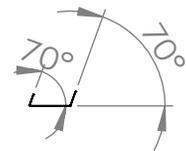
VISTA SUPERIOR



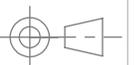
ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:10	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	SOPORTE DE TANQUE LATERAL	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 2

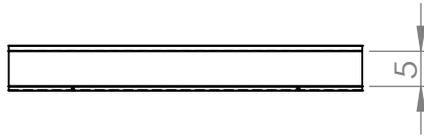


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

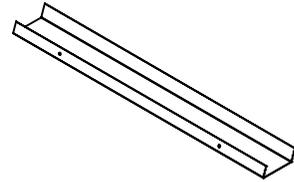
HOJA 1/1

CÓDIGO
 SOP
 TQUE
 L

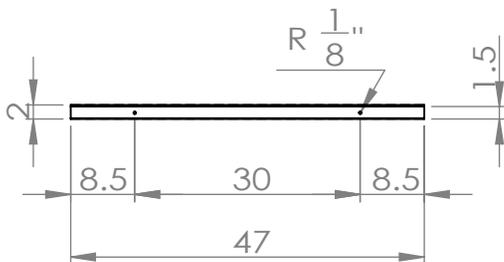
A4



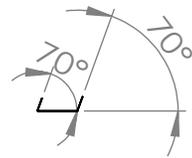
VISTA SUPERIOR



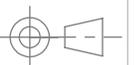
ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:5	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	SOPORTE DE TANQUE POSTERIOR	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 1



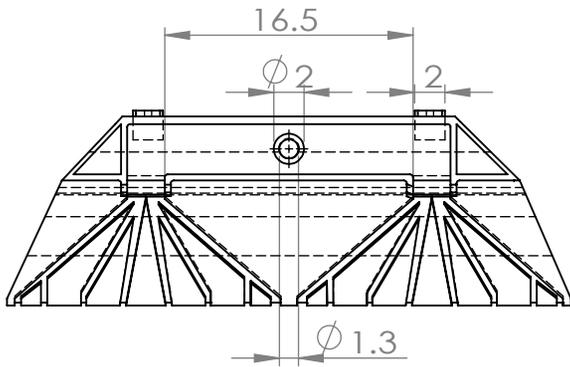
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

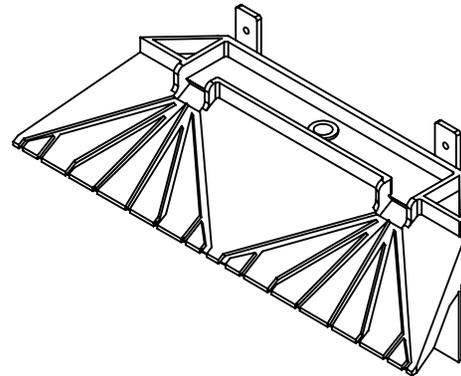
CÓDIGO

SOP
 TQUE
 P

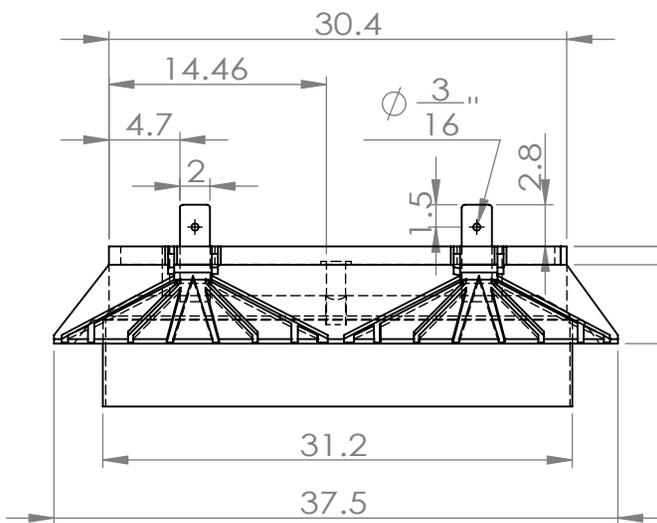
A4



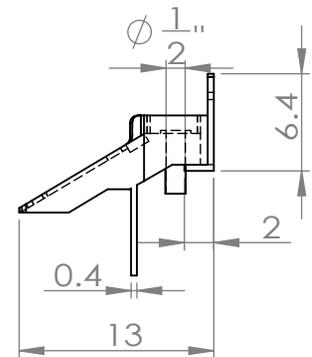
VISTA SUPERIOR



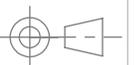
ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:5	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique	NOMBRE	DISTRIBUIDOR LATERAL	MATERIAL PVC
Unidades: mm			CANTIDAD: 2



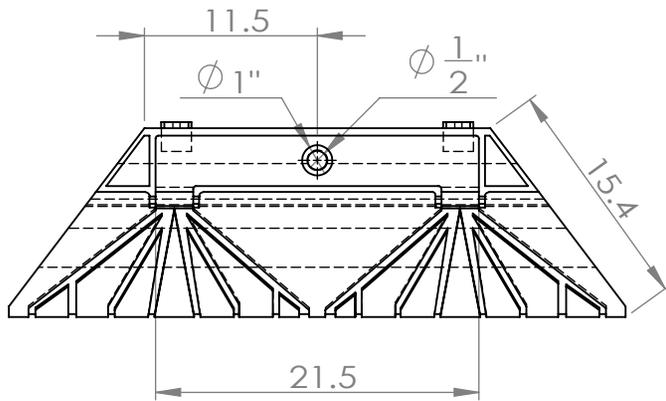
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

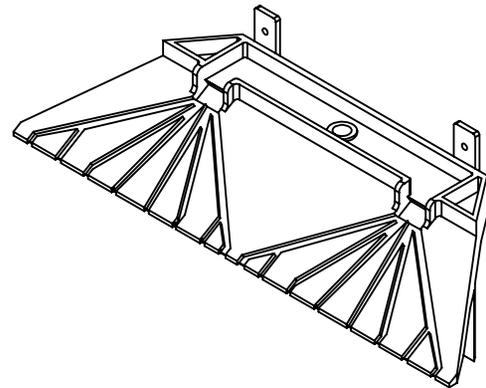
CÓDIGO

DIST
L

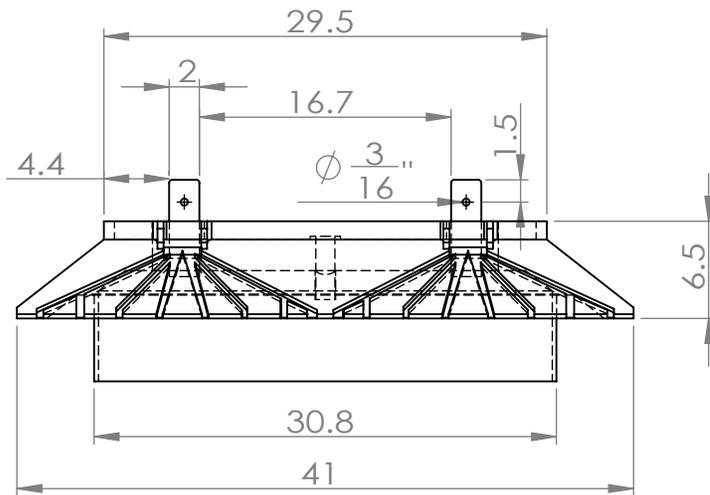
A4



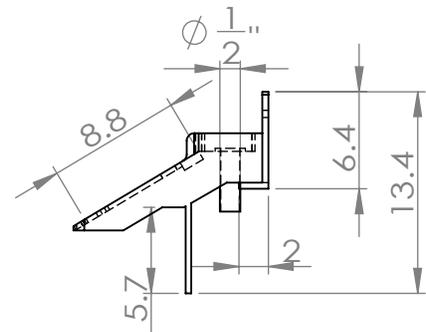
VISTA SUPERIOR



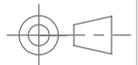
ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:5	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	DISTRIBUIDOR POSTERIOR	MATERIAL PVC
			CANTIDAD: 1



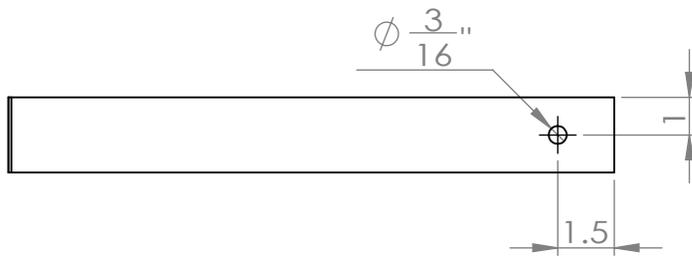
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

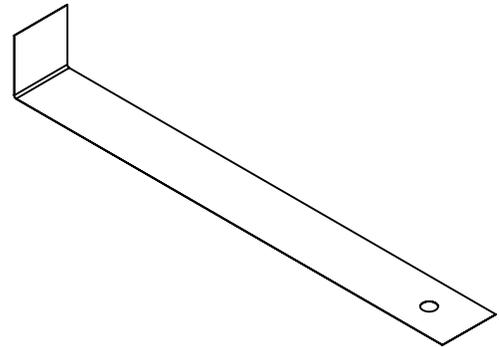
CÓDIGO

DIST
P

A4



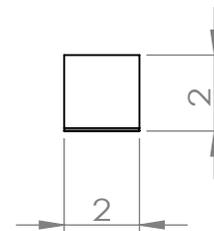
VISTA SUPERIOR



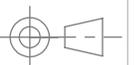
ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:2	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	SOPORTE BOMBA	MATERIAL Lámina galvanizada CANTIDAD: 2



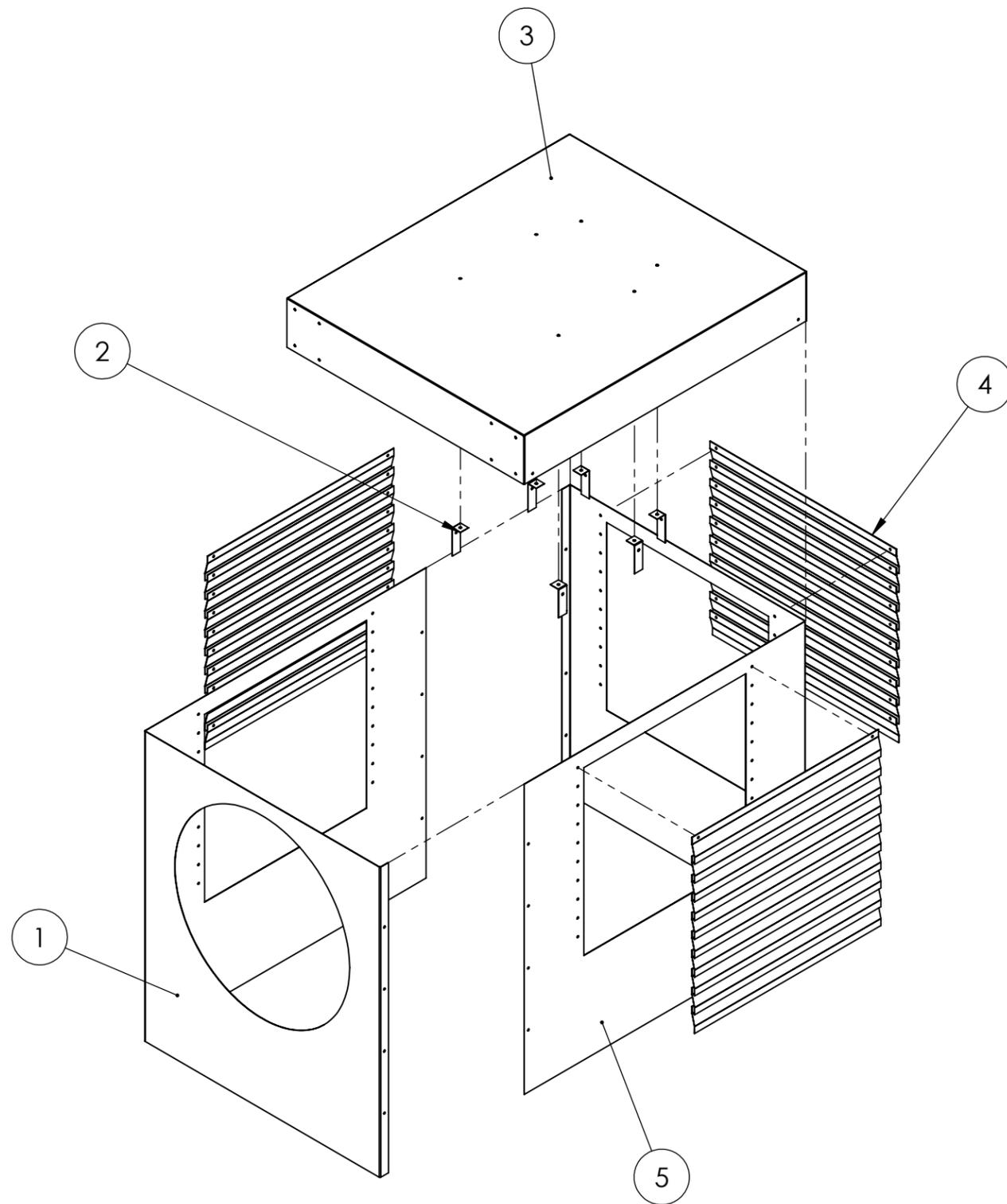
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

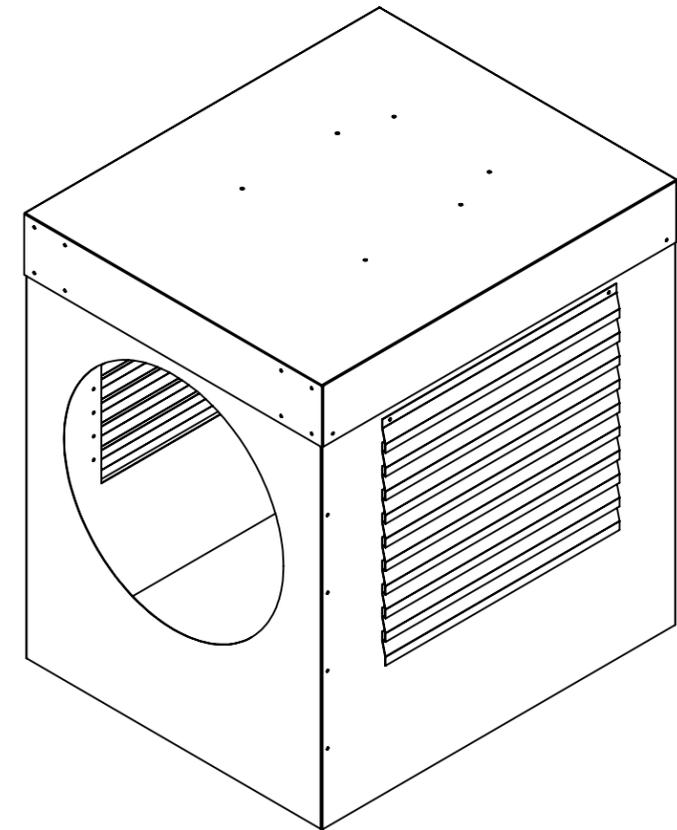
CÓDIGO

SOP
BOM

A4



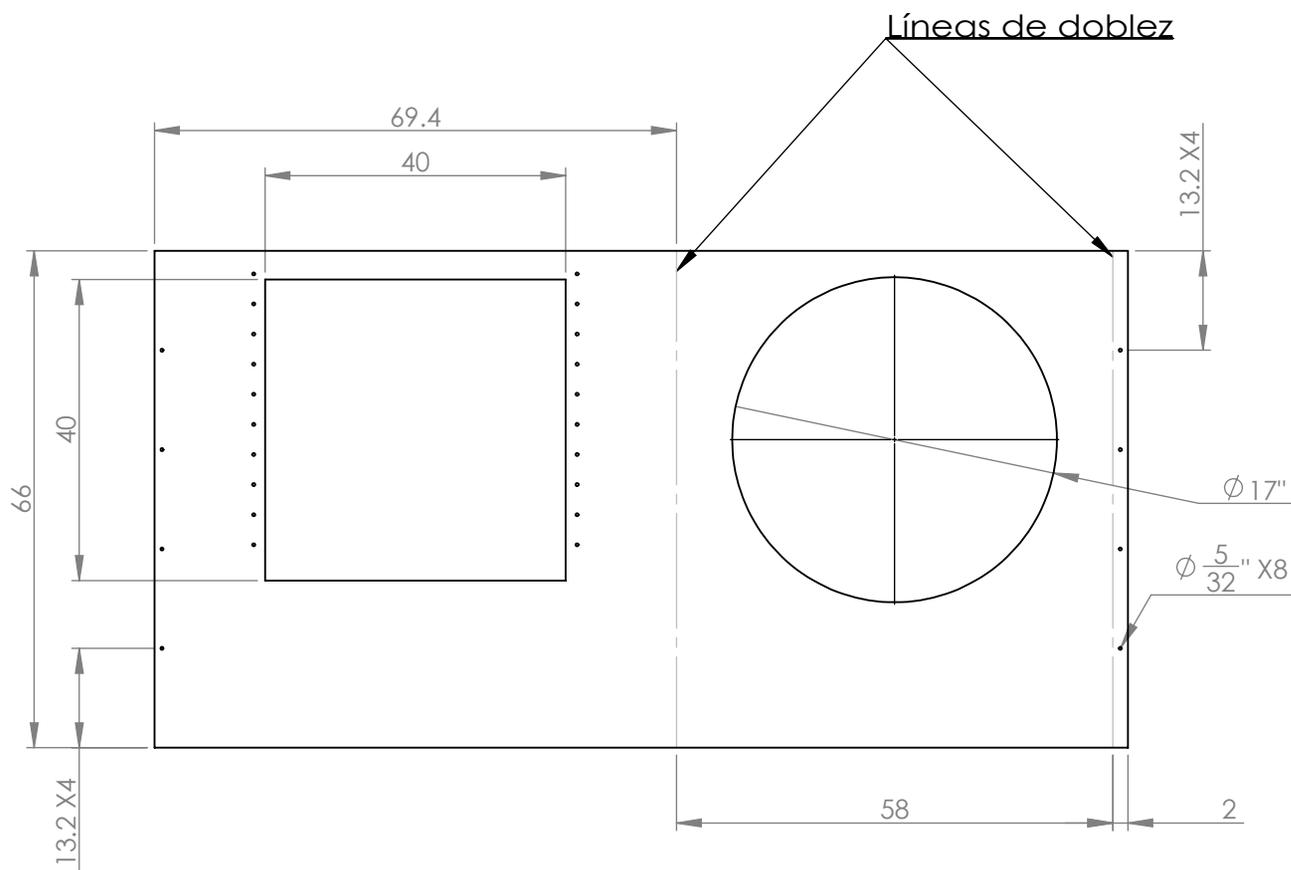
VISTA EXPLOSIONADA



ISOMÉTRICO

ID	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
1	CHAPA 1	CHAPA FRONTAL Y LATERAL IZQUIERDA	1	ALUMINIO
2	SOP DIST	SOPORTE DISTRIBUIDOR	6	ALUMINIO
3	TAPA	TAPADERA EQUIPO	1	ALUMINIO
4	PERS	PERSIANA	30	ALUMINIO
5	CHAPA 2	CHAPA POSTERIOR Y LATERAL DERECHA	1	ALUMINIO

ESCALA	DISEÑARON: Br. Abraham Orlando Turcios Marquez		04/03/2017	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador	HOJA 1/1
1:10	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017		CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un equipo de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos				CHAPA VE
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	CHAPA VISTA EXPLOSIONADA	MATERIAL Aluminio	CANTIDAD: 1	A3



NOTA: LÁMINA CALIBRE 24



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:10	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
	NOMBRE	CHAPA FRONTAL Y LATERAL IZQUIERDA	
Cuando no se especifique Unidades: mm	MATERIAL	Aluminio	
	CANTIDAD:	1	



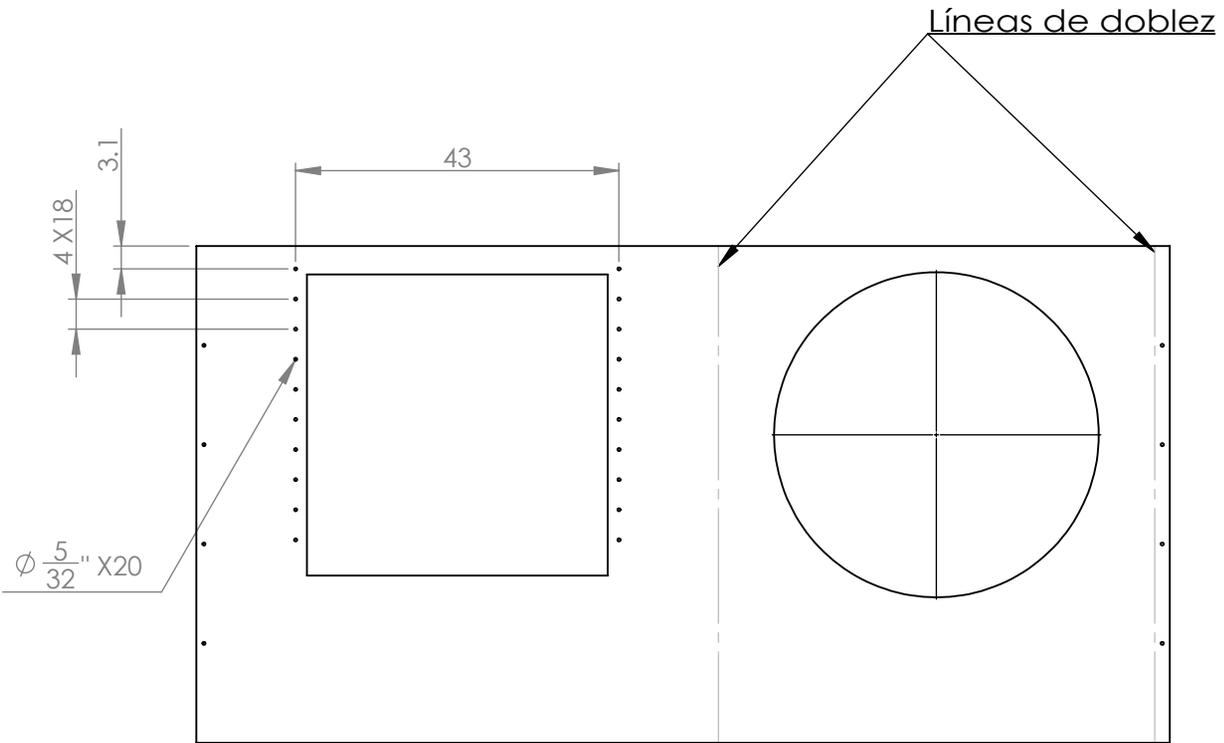
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/2

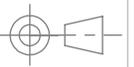
CÓDIGO

CHAPA
1

A4



NOTA: LÁMINA CALIBRE 24



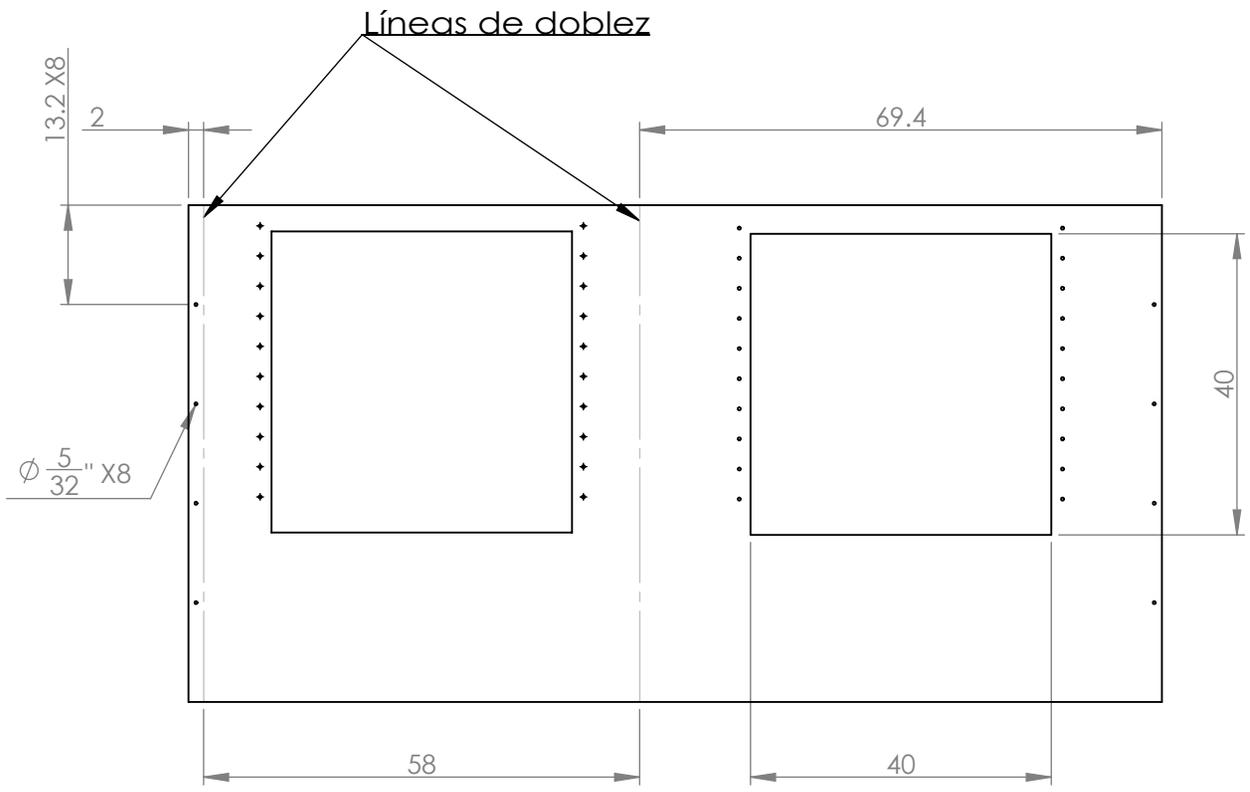
ESCALA 1:10	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos	
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	CHAPA FRONTAL Y LATERAL IZQUIERDA	MATERIAL Aluminio CANTIDAD: 1



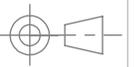
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 2/2
CÓDIGO CHAPA 1
A4



NOTA: LÁMINA CALIBRE 24

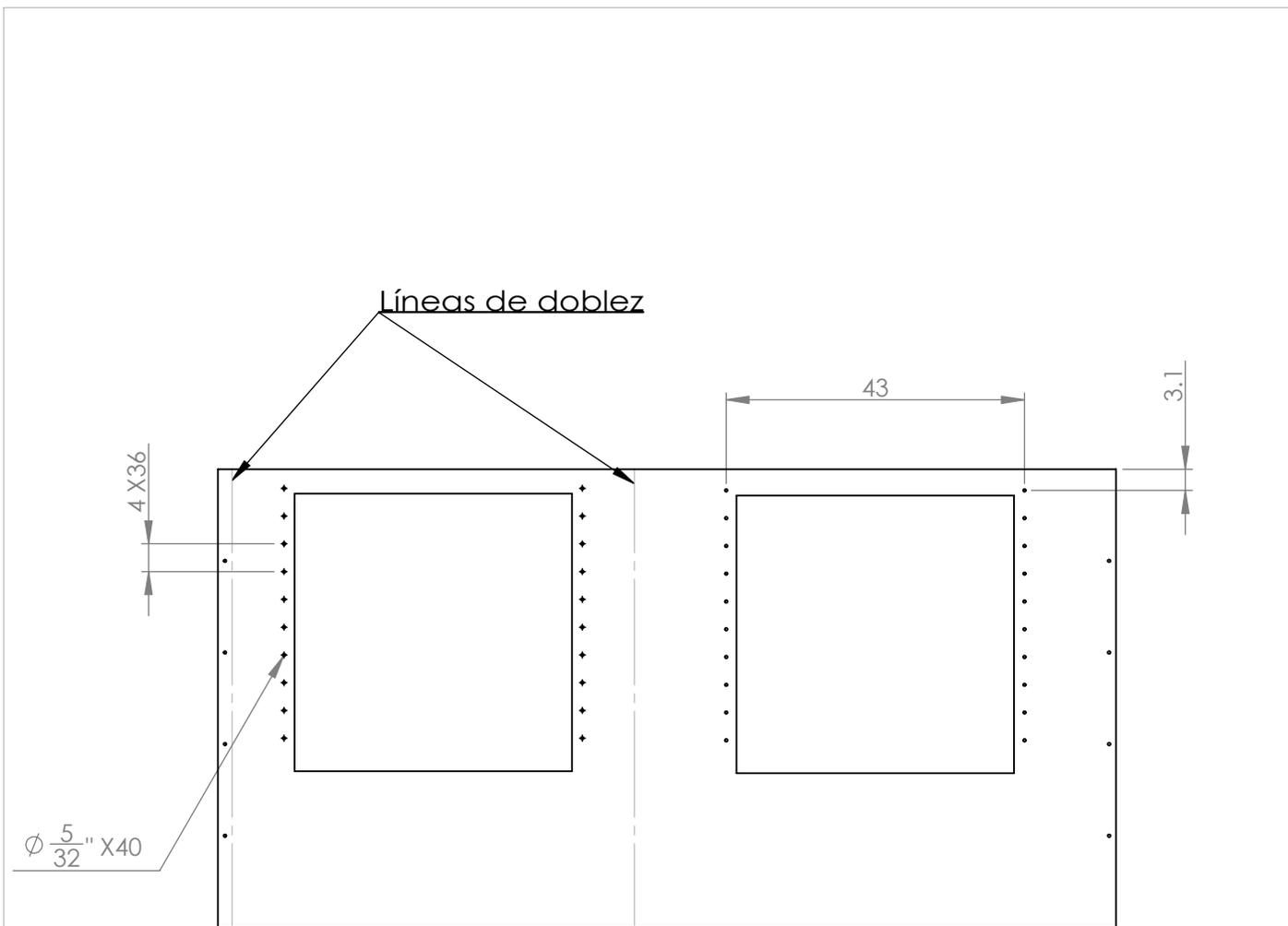


ESCALA 1:10	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	CHAPA POSTERIOR Y LATERAL DERECHA	MATERIAL Aluminio CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/2
CÓDIGO CHAPA 2
A4



NOTA: LÁMINA CALIBRE 24

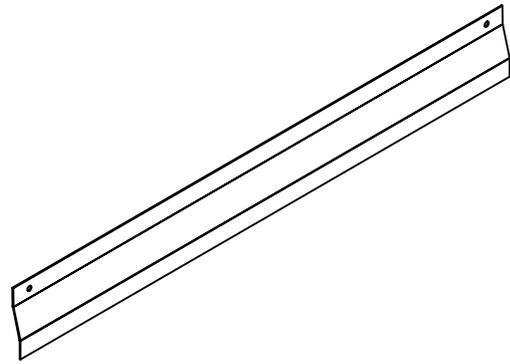


ESCALA 1:10	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	CHAPA POSTERIOR Y LATERAL DERECHA	MATERIAL Aluminio CANTIDAD: 1

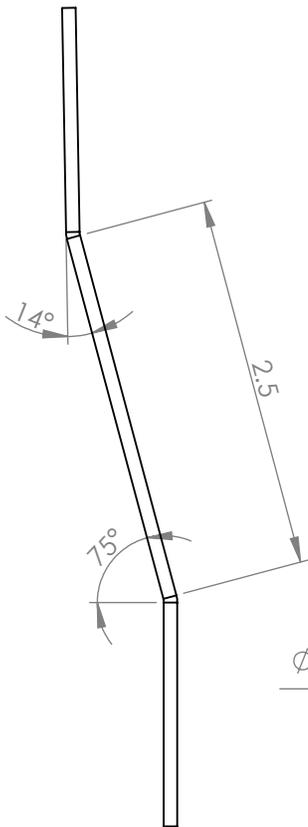


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 2/2
CÓDIGO CHAPA 2
A4



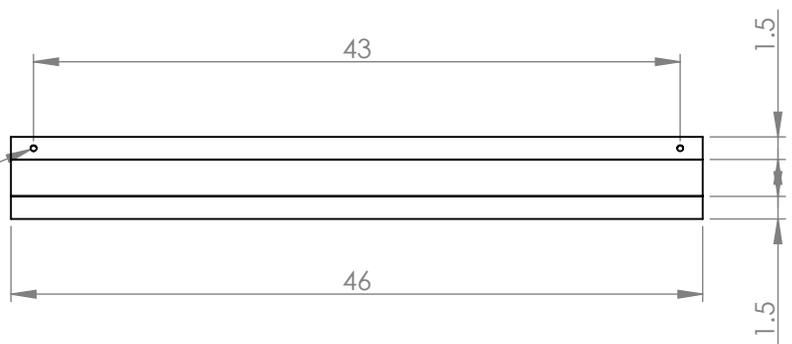
ISOMÉTRICO



VISTA LATERAL

ESCALA 2:1

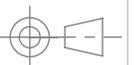
$\varnothing \frac{3}{32}'' \times 2$



VISTA FRONTAL

ESCALA 1:5

NOTA: LÁMINA CALIBRE 24



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:5	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PERSIANA	MATERIAL Aluminio CANTIDAD: 30



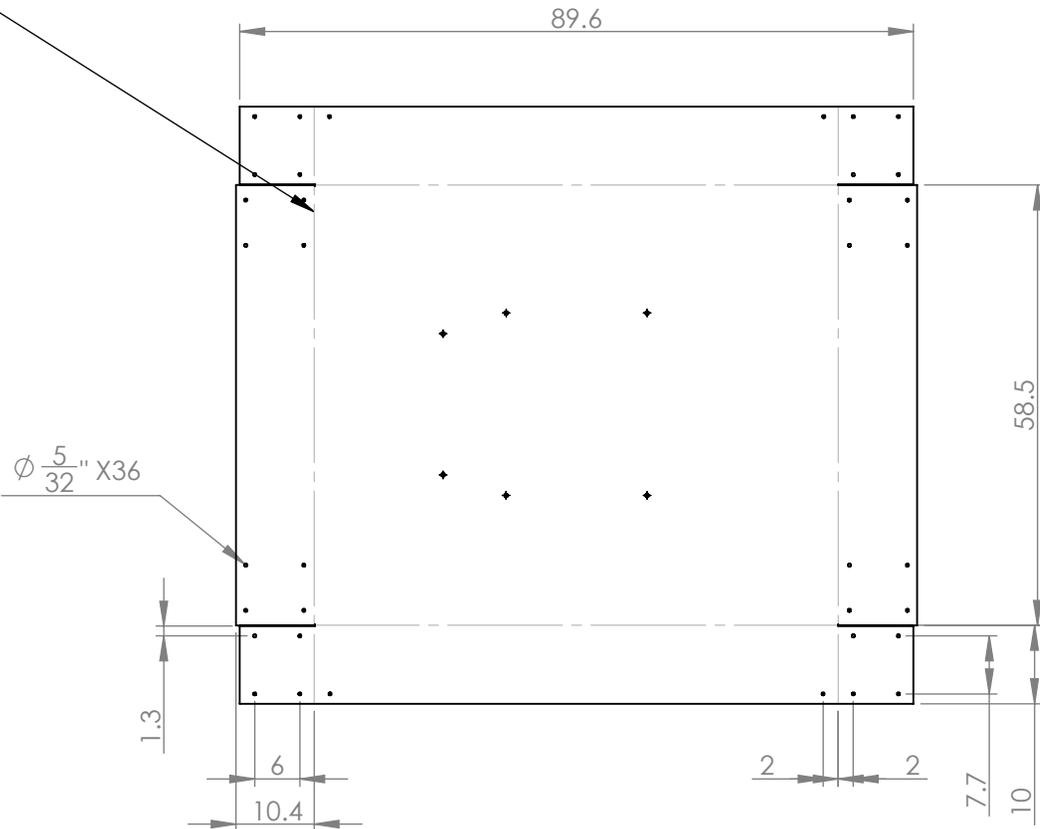
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

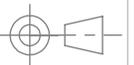
CÓDIGO
PERS

A4

Líneas de doblez



NOTA: LÁMINA CALIBRE 24



ESCALA 1:10	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	TAPADERA	MATERIAL Aluminio CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

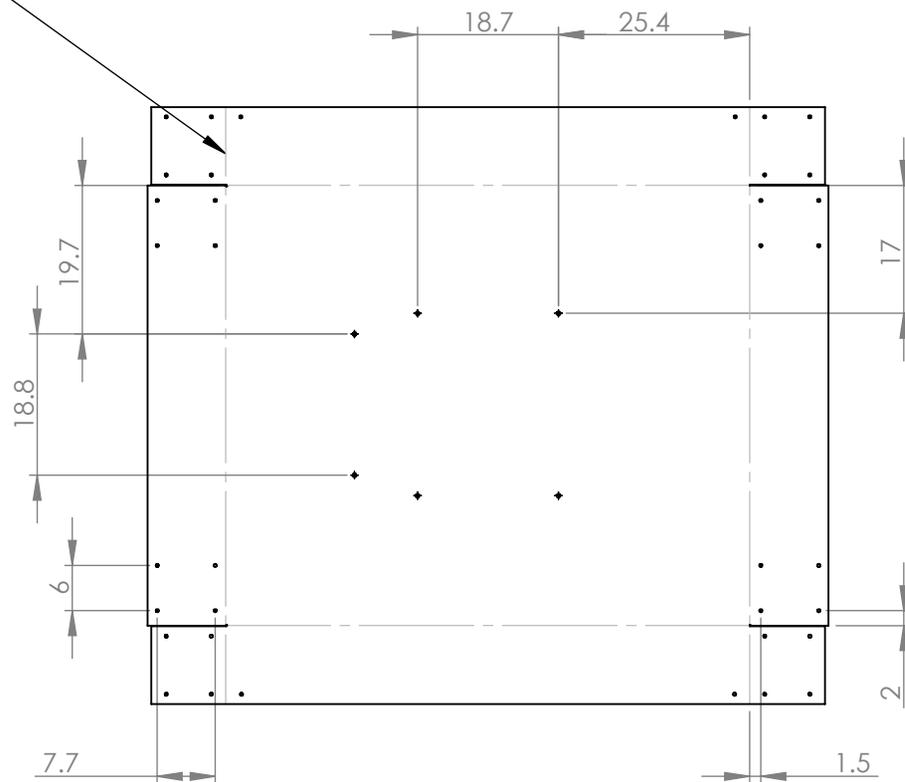
HOJA 1/3

CÓDIGO

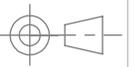
TAPA

A4

Líneas de doblez



NOTA: LÁMINA CALIBRE 24



ESCALA	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez		04/03/2017
1:10	DISEÑARON:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	TAPADERA	MATERIAL Aluminio CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

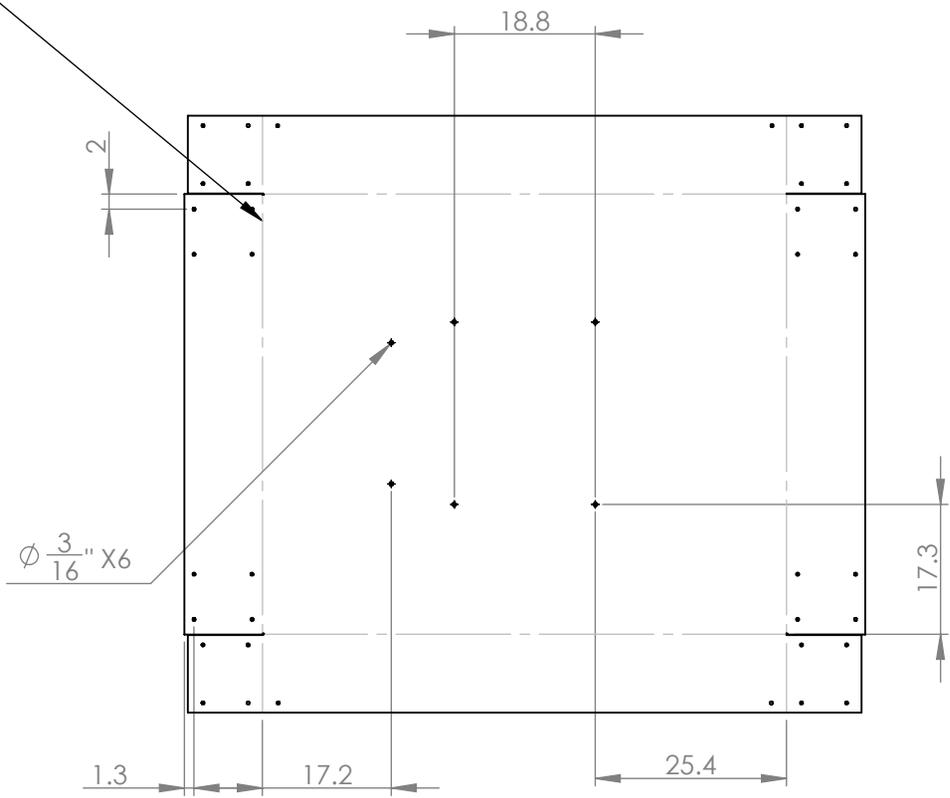
HOJA 2/3

CÓDIGO

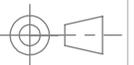
TAPA

A4

Líneas de doblez



NOTA: LÁMINA CALIBRE 24



ESCALA 1:10	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	TAPADERA	MATERIAL Aluminio CANTIDAD: 1



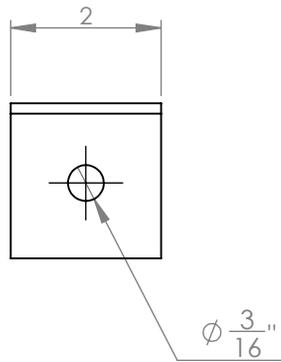
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 3/3

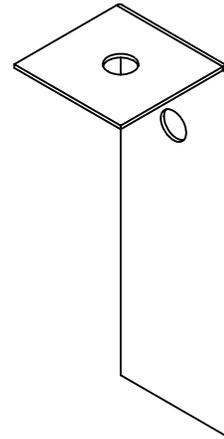
CÓDIGO

TAPA

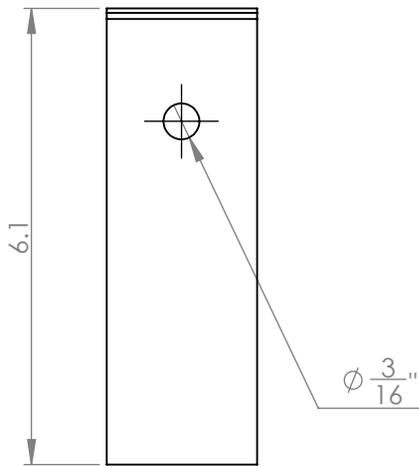
A4



VISTA SUPERIOR

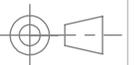


ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL

NOTA: LÁMINA CALIBRE 24



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:1	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
	NOMBRE	SOPORTE DE DISTRIBUIDORES	MATERIAL Aluminio
Cuando no se especifique Unidades: mm			CANTIDAD: 6

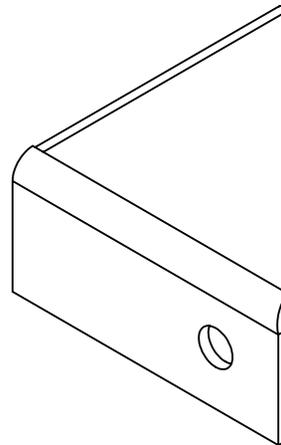


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

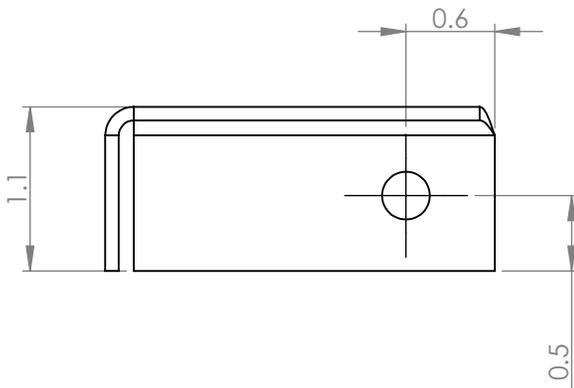
HOJA 1/1

CÓDIGO
SOP
DIST

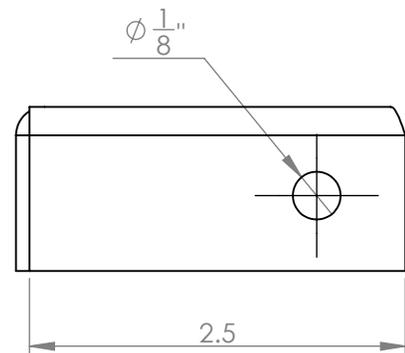
A4



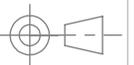
ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
2:1	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
	NOMBRE	ESQUINERA	MATERIAL Aluminio
Cuando no se especifique Unidades: mm			CANTIDAD: 4



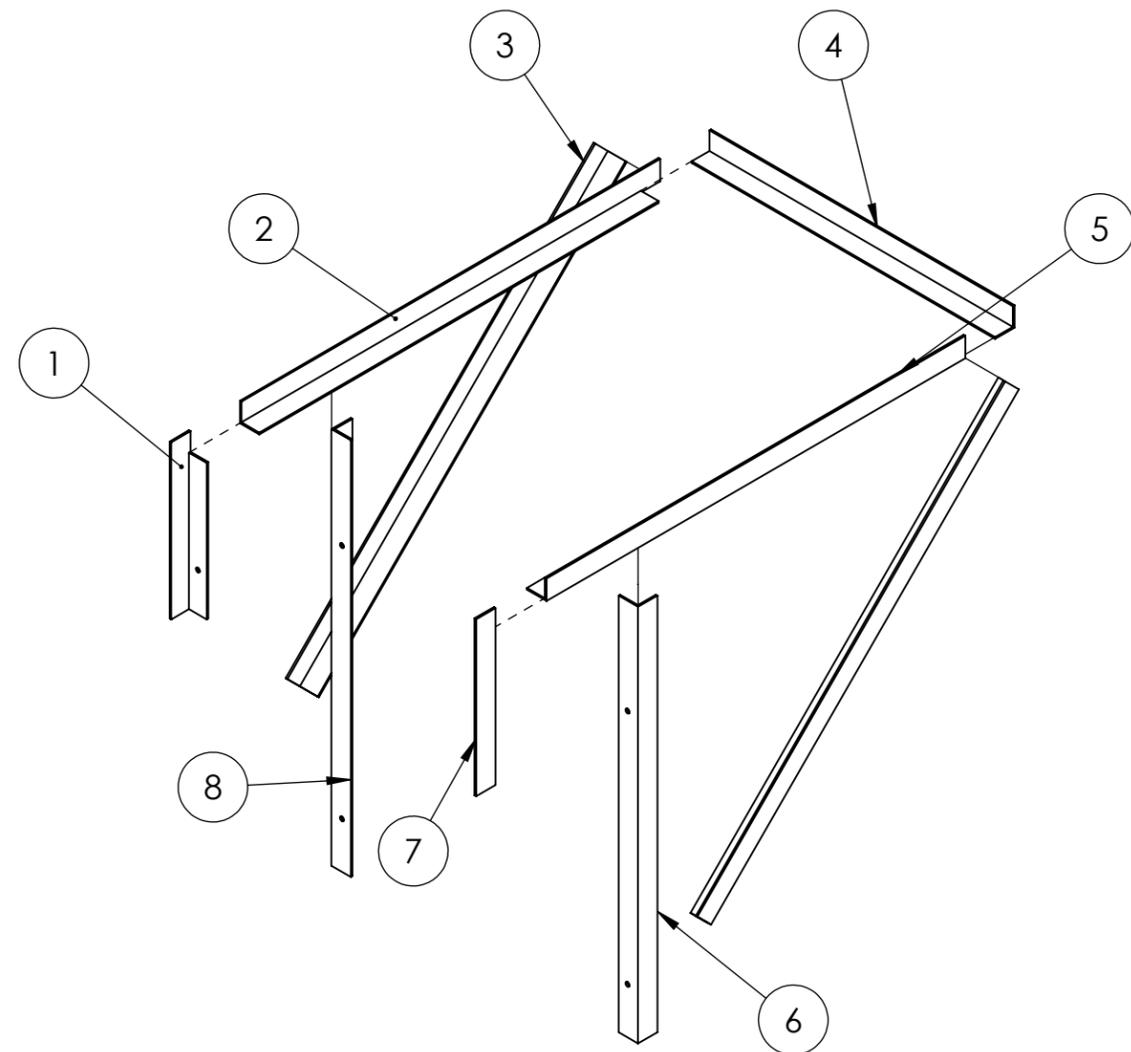
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA
 MECÁNICA
 Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
 Mártires del 30 de julio,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

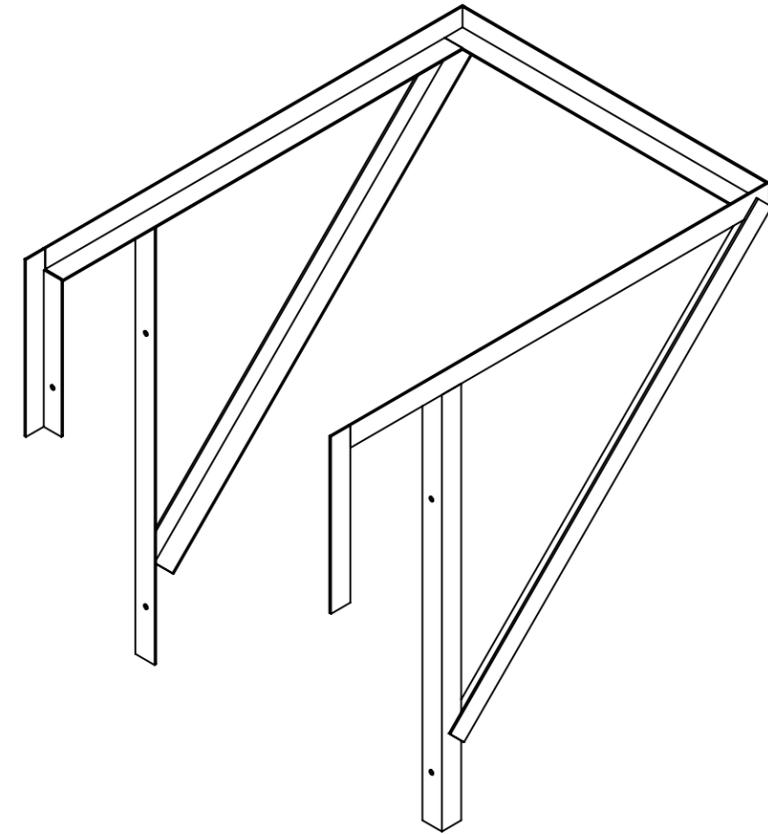
CÓDIGO

ESQ

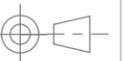
A4



VISTA EXPLOSIONADA

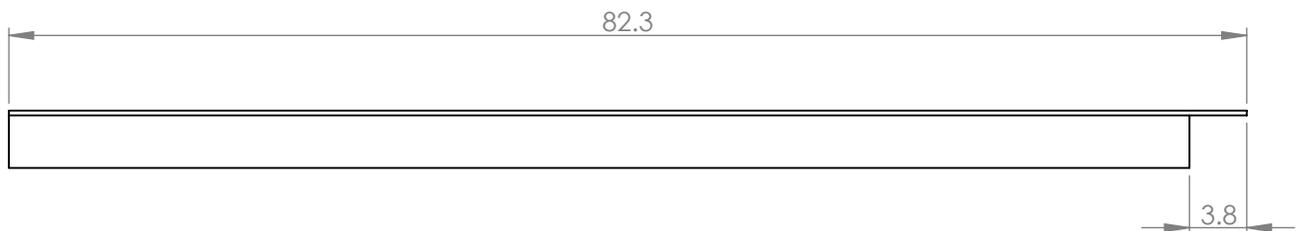


ISOMÉTRICO

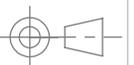


ID	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
1	BRAZO INT I	BRAZO INTERNO IZQUIERDO	1	AISI 1045
2	LAT I	LATERAL IZQUIERDO	1	AISI 1045
3	LAT INCL	LATERALES INCLINADOS 1 1/2"X1/8"X85.57 cm	2	AISI 1045
4	POST	POSTERIOR 1 1/2"X1/8"X59.64 cm	1	AISI 1045
5	LAT D	LATERAL DERECHO	1	AISI 1045
6	BRAZO EXT D	BRAZO EXTERNO DERECHO 1 1/2"X1/8"X74 cm	1	AISI 1045
7	BRAZO INT D	BRAZO INTERNO DERECHO	1	AISI 1045
8	BRAZO EXT I	BRAZO EXTERNO IZQUIERDO 1 1/2"X1/8"X74 cm	1	AISI 1045

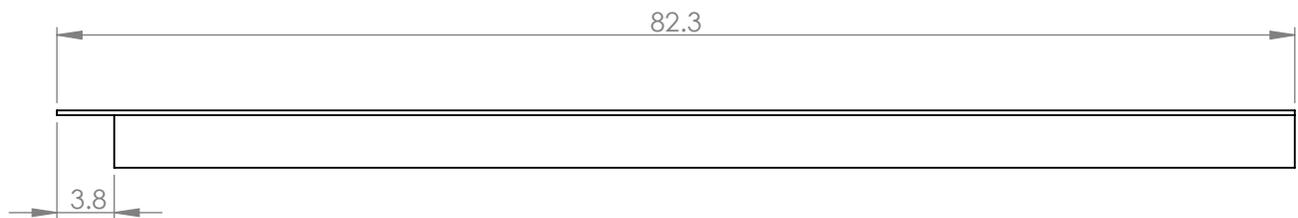
ESCALA	1:10	DISEÑARON: Br. Abraham Orlando Turcios Marquez Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre REVISÓ: Ing. Luis José Salalá Santos TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un equipo de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos	04/03/2017 06/03/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 1/1
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE ESTRUCTURA DE SOPORTE VISTA EXPLOSIONADA	MATERIAL AISI 1045 CANTIDAD: 1	CÓDIGO ESTR VE		A3



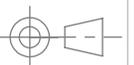
NOTA: PERFIL ANGULAR 1 1/2" x 1/8"



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 1/6
1:5	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017		CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos				LAT I
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	LATERAL IZQUIERDO	MATERIAL AISI 1045		A4
			CANTIDAD: 1		



NOTA: PERFIL ANGULAR 1 1/2" x 1/8"



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017
1:5	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos		
	NOMBRE	LATERAL DERECHO	MATERIAL AISI 1045
Cuando no se especifique Unidades: mm			CANTIDAD: 1



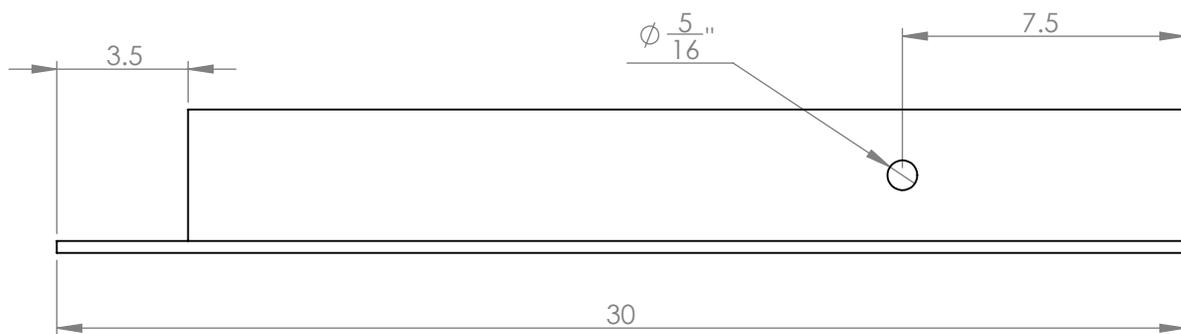
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y
Mártires del 30 de julio,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 2/6

CÓDIGO

LAT
D

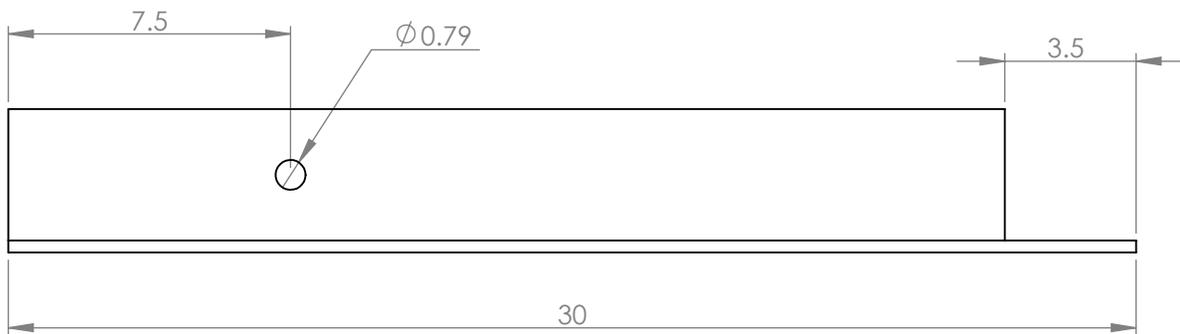
A4



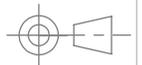
NOTA: PERFIL ANGULAR 1 1/2" x 1/8"



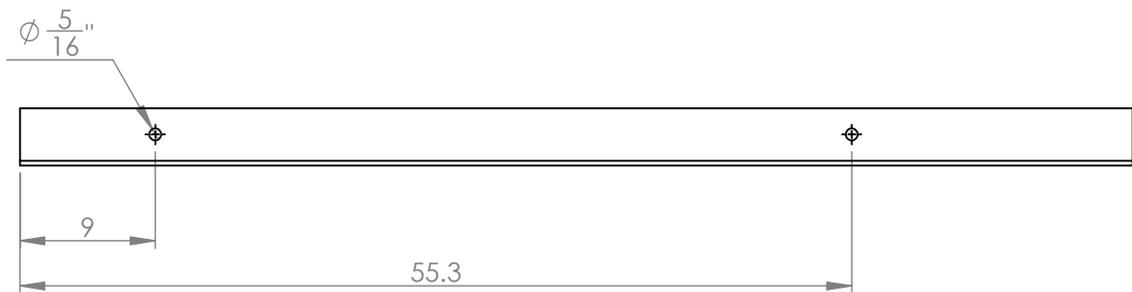
ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 3/6
1:2	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017		CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos				BRAZO INT I
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	BRAZO INTERNO IZQUIERDO		MATERIAL AISI 1045	A4
				CANTIDAD: 1	



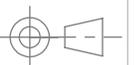
NOTA: PERFIL ANGULAR 1 1/2" x 1/8"



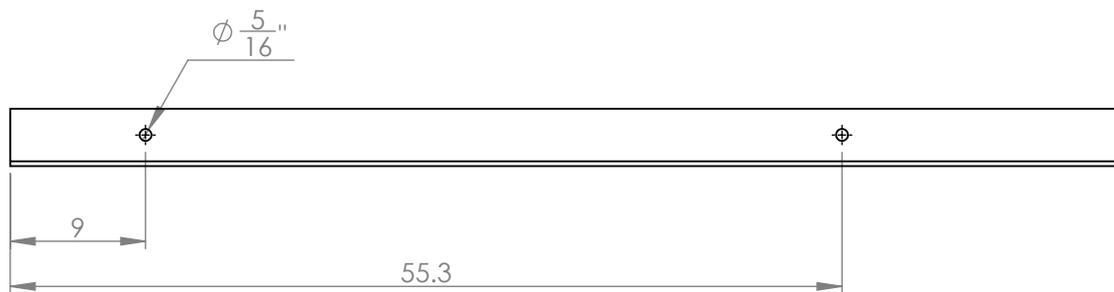
ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 4/6
1:2	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017		CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:				BRAZO INT D
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	BRAZO INTERNO DERECHO	MATERIAL AISI 1045	CANTIDAD: 1	A4



NOTA: PERFIL ANGULAR 1 1/2" x 1/8" X 74 cm



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 5/6
1:5	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017		CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:				BRAZO EXT I
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	BRAZO DE FIJACIÓN EXTERNO IZQUIERDO		MATERIAL AISI 1045	A4
			CANTIDAD: 1		



NOTA: PERFIL ANGULAR 1 1/2" x 1/8" X 74 cm



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Abraham Orlando Turcios Marquez	04/03/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 6/6
1:5	REVISÓ:	Br. Cecilia Carolina Linares Aguirre	06/03/2017		CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un sistema de climatizado evaporativo automatizado para fines didácticos				BRAZO EXT D
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	BRAZO DE FIJACIÓN EXTERNO DERECHO	MATERIAL AISI 1045	CANTIDAD: 1	A4