ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Climatización de un Edificio de Labores Administrativas mediante el Diseño de un Sistema de Agua Enfriada por Aire, con Volumen Variable tanto en el Circuito de Agua Fría como en el Suministro de Aire Acondicionado, utilizando un Sistema Automático de Control y Monitoreo"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

David Alejandro Delgado Rodríguez

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año: 2006

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por la Vida, las Fuerzas y la Salud, mis Padres por su amor incondicional, mi hermano por su apoyo, mis amigos de toda la vida, mis compañeros de trabajo por su valiosísimo aporte técnico en la realización de mi Tesis de Grado…….

Gracias…

DEDICATORIA

DIOS

A MIS PADRES

A MI HERMANO

A MIS AMIGOS

A MIS COMPAÑEROS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Eduardo Donoso P.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Eduardo Orcés P.
VOCAL

Ing. Francisco Andrade S.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

_____

David Delgado Rodríguez

RESUMEN

El presente trabajo contiene un estudio completo y específico sobre los diferentes aspectos técnicos, variables, parámetros, cálculos, criterios de selección y una serie de importantes consideraciones que intervienen en el arte de “Producir frío” creando de esta manera las condiciones de “Confort” necesarias, detallando el conjunto de procedimientos básicos dentro de los cuales se desarrolla la Ingeniería del Acondicionamiento del Aire para resolver una situación en particular.

Se desea climatizar un Edificio de cinco pisos en el cual se realizarán labores administrativas y de oficina, con un determinado número de personas que necesitan un ambiente de trabajo agradable para realizar sus funciones de la mejor manera.

Esta Tesis tiene como objetivo diseñar un Sistema de Agua Enfriada por Aire, con Volumen Variable en los Sistemas de Distribución, tanto en el agua fría como en el aire, con la finalidad de satisfacer la necesidad de Climatización del Edificio, que nos permite obtener un gasto menor de energía y nos ofrece la posibilidad de controlar los parámetros tales como presión y temperatura por medio de un Sistema Automático.

Consideraremos también la eficiencia del Sistema y que su funcionamiento no cause daño a la atmósfera (Ecológico), condición tan discutida en nuestros días.

Para su efecto calcularemos la carga térmica del Edificio y las condiciones Psicrométricas; basándose en esto describiremos el Sistema y seleccionaremos los equipos y materiales necesarios; diseñaremos los ductos y el circuito de agua fría de acuerdo a las Normas Internacionales; implementaremos el Sistema de Control, detallando su funcionamiento y sus principales componentes , los parámetros medidos , la descripción de los Sensores y su ubicación en el Sistema; y finalmente , evaluaremos la Factibilidad Económica del Proyecto y las Especificaciones Técnicas.

Al presentar los resultados habremos diseñado un Sistema de Climatización eficiente, porque ahorramos energía ya que con la utilización del Sistema de Control y Monitoreo solo se utiliza lo necesario según la demanda del momento (Volumen Variable); Ecológico, porque el refrigerante que utilizamos es el 410A y a diferencia de otros, las Organizaciones del Medio Ambiente permiten su uso sin problemas; versátil, porque la carga se la puede trasladar donde se lo necesite automáticamente a cualquier lugar del Edificio por medio del monitoreo constante de los parámetros; flexible, porque el Sistema ofrece una mejor distribución de sus elementos .

De esta manera, las condiciones de confort dentro del Edificio y la seguridad en el servicio, están garantizadas por el Sistema.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN II

ÍNDICE GENERAL V

ABREVIATURAS IX

SIMBOLOGÍA XII

ÍNDICE DE FIGURAS XV

ÍNDICE DE TABLAS XVI

ÌNDICE DE PLANOS XIX

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO 1

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA ACONDICIONADOR DE AIRE 2

1.1 Consideraciones Generales del Proyecto 2

1.2 Proceso de Diseño 3

1.3 Criterio de Selección del Sistema 5

1.4 Componentes del Sistema 8

1.5 Funcionamiento del Sistema 8

1.6 Descripción del Proyecto 11

CAPITULO 2

2. CARGA TÉRMICA....13

2.1 Consideraciones Generales....13

2.2 Definiciones Térmicas....14

2.3 Criterios de Diseño....15

2.4 Determinación de Factores....18

2.5 Clasificación de las Cargas Térmicas....19

2.5.1 Cargas del Espacio Externo....19

2.5.2 Cargas del Espacio Interno....60

2.5.3 Factor de Seguridad....74

2.6 Balanceamiento de la Carga de Enfriamiento....74

2.7 Criterio para seleccionar la capacidad de las Unidades Manejadoras de Aire....82

2.8 Criterio para seleccionar la capacidad de los Enfriadores de Agua....83

CAPITULO 3

3. PSICROMETRÍA DEL SISTEMA....85

3.1 Propiedades Psicrométricas del Aire....85

3.2 Carta Psicrométrica....87

3.3 Procesos Psicrométricos....88

3.4 Factores de Selección del Serpentín....89

3.5 Procedimiento de Cálculo para el Serpentín de Enfriamiento y Deshumidificación 94
3.6 Parámetros para seleccionar el Serpentín de Enfriamiento de las Unidades Manejadoras de Aire 97

CAPITULO 4

4. SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO 117
4.1 Consideraciones Generales del Sistema 117
4.2 Distribución del Agua de Enfriamiento 118
4.3 Proceso de Diseño del Sistema 119
4.4 Procedimiento de Selección del Diámetro de la Tubería 125
4.5 Accesorios del Sistema 133

CAPITULO 5

5. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE 134
5.1 Consideraciones Generales 134
5.2 Espacio disponible 135
5.3 Criterios de Diseño 135
5.4 Diseño de Ductos 137
5.4.1 Variables que intervienen en el Proceso de Diseño 138
5.4.2 Dimensionamiento del Ducto 144
5.4.3 Método de Diseño 146
5.4.4 Construcción de los Ductos 148
5.4.5 Accesorios 149

5.5 Ductos Flexibles 149

5.6 Difusores y Rejillas 150

5.7 Resultados.....151

CAPITULO 6

6. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Y MONITOREO……..……166

6.1 Introducción.....167

6.2 Objetivos del Sistema.....168

6.3 Descripción General del Sistema 168

6.4 Descripción de las Variables de Control.....173

6.4.1 Entradas.....173

6.4.2 Salidas 179

6.4.3 Señales de Retroalimentación.....184

6.5 Ubicación de cada componente en el Sistema.....185

CAPITULO 7

7. FACTIBILIDAD DEL PROYECTO 200

CAPITULO 8

8. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 206

CAPITULO 9

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 217

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

Ba	Factor de Absorción para Bloques de Vidrio
BdV	Bloque de Vidrio
BF	Factor de Bypass
Bi	Factor de Transmisión para Bloques de Vidrio
BP	Bomba del Circuito Primario
BS	Bomba del Circuito Secundario
C	Carga de Enfriamiento
CFM_{da}	Cantidad de Aire Deshumidificado
CFM_{oa}	Cantidad de Aire Externo por Ventilación
CFM_{sa}	Cantidad de Aire Suministrado
C_{inst}	Costos de Instalación del Sistema de Climatización
CKw/h	Costo de cada Kw/h.
Clp	Carga Latente de Enfriamiento por Personas
C_{oper}	Costos de Operación del Sistema de Climatización
Csp	Carga Sensible de Enfriamiento por Personas
CTon	Costo de la Tonelada del Sistema
CV	Compuerta Reguladora de Aire
DTE	Diferencia de Temperatura Equivalente
ERLH	Calor Latente Efectivo
ERSH	Calor Sensible Efectivo
ERTH	Calor Total Efectivo
ESHF	Factor de Calor Sensible Efectivo
Fa	Factor de Almacenamiento
Fd	Factor de Diversidad
Fs	Factor de Sombra del vidrio
FSg	Factor de Seguridad
Ga	Ganancia por Radiación 3 horas antes a través de vidrios
Gf	Ganancia de Calor por Luces Fluorescentes
Gi	Ganancia de Calor por Luces Incandescentes
Gl	Ganancia Latente de Calor por Personas
Glb	Globo - Tipo de Válvula
Gs	Ganancia Sensible de Calor por Personas
GSHF	Factor de Calor Sensible Total
GTH	Carga Total de Enfriamiento
Gv	Ganancia de Calor por Radiación a través de vidrios
HR	Humedad Relativa

Marip	Mariposa - Tipo de Válvula
N	Número de Personas
N_a	Años de Operación del Sistema
NAM	Network Access Module
N_d	Días de Operación del Sistema
Ndif	Diferencia en Años - Recuperación Inversión Inicial
N_h	Horas de Operación del Sistema
N_m	Meses de Operación del Sistema
Otd	Diferencia entre t_{romm} y t_{sa}
P1	Piso 1
P2	Piso 2
P3	Piso 3
P4	Piso 4
P5	Piso 5
Pb	Planta Baja
PR	Punto de Rocío
Ql	Calor Latente
Qs	Calor Sensible
Reg	Reguladora - Tipo de Válvula
R_{eh}	Recalentamiento
Rg	Rango Diario
RLH	Calor Latente del Espacio
Rn	Número de Resistencias Térmicas
RSH	Calor Sensible del Espacio
RSHF	Factor de Calor Sensible del Espacio
Rt	Resistencia Térmica
Serp	Serpentín de Enfriamiento
T	Acoplamiento Tipo T
t_{adp}	Punto de Rocío del Serpentín de Enfriamiento
TBH	Temperatura de Bulbo Húmedo
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
T_{edb}	Temperatura Bulbo Seco Entrada de Aire al Serpentín
Tes	Temperatura Equivalente de Superficie
T_{ex}	Temperatura externa (condición de bulbo seco)
T_{in}	Temperatura interna (condición de bulbo seco)
T_{ldb}	Temperatura Bulbo Seco Salida de Aire del Serpentín
TLH	Calor Latente Total
Ton	Toneladas de Refrigeración
Trip	Triple - Tipo de Válvula
t_{room}	Temperatura del Espacio Acondicionado
t_{sa}	Temperatura del Aire Suministrado
TSH	Calor Sensible Total
U	Acoplamiento Tipo Unión
UEA	Unidad Enfriadora de Agua

UMA	Unidad Manejadora de Aire
Ve	Vidrio esmerilado
Vn	Vidrio natural
2 V	Dos Vías- Tipo de Válvula

SIMBOLOGÍA

A	Área
Δt	Diferencia de temperatura externa e interna. ºF
Btu/hr	Btu por Horas
C_c	Coeficiente de Pérdida de Presión para los Codos
C_e	Coeficiente de Pérdida de Presión para las Expansiones
CFM	Pies Cúbicos por minuto
Cp	Calor Específico del agua, 1 BTU / °F Lb
Cpa	Calor específico del aire seco, 0.24 Btu/Lb ºF
Cpw	Calor específico del vapor de agua, 0.45 Btu/Lb ºF
C_r	Coeficiente de Pérdida de Presión para las Reducciones
D	Diámetro de la Tubería o el Ducto
ΔP	Pérdida por Fricción
DPBS	Control - Diferencia de Presión Circuito Secundario
DPDM	Control - Diferencia de Presión Ducto de Mando
EABP	Control - Encendido/Apagado Arrancador Bomba Circuito Primario
EABS	Control - Encendido/Apagado Variador Bomba Circuito Secundario
EAM	Control - Encendido/Apagado Variador UMA
EBP	Control - Estado Circuito Primario
EC	Control - Estado Compuerta Reguladora de Aire
EF	Control - Estado del Filtro de UMA
EV	Control - Estado del Ventilador de UMA
EVFBS	Control - Estado Variador Bomba Circuito Secundario
EVFM	Control - Estado Variador de UMA
EVM	Control - Estado Válvula de Dos Vías
f	Fricción
FPM	Pies por Minutos
FPS	Pies por Segundos
ft	Pies
ft^2	Pies cuadrados
Gb	Giga bites
GPM	Galones por Minuto
Grn/Lb	Granos de Humedad por Libras de Aire Seco
H	Cabezal de Fricción
Hf	Máximo Cabezal

Hp	Caballos de Potencia
in	Pulgadas
in.H_2O	Pulgadas de Agua
Kg	Kilogramos
Kg/m^3	Kilogramos por Metro Cúbico
Kg/mm^2	Kilogramos por Milímetros Cuadrados
Kw	Kilovatios
Kw-hr	Kilovatios Hora
Kw-hr / Ton	Kilovatios Hora por Tonelada de Refrigeración
L	Longitud de la Tubería, Ducto o Difusor
Lb/ft^2	Libras por pie cuadrado
Lb/ft^3	Libras por pie cúbico
L_{equiv}	Longitud Equivalente de la Tubería o del Ducto
m	Metros Lineales
M	Flujo másico
mA	Miliamperios
Mb	Mega bites
MC	Control - Acción Proporcional sobre Motor de Compuerta Reguladora de Aire
mm	Milímetros
mph	millas por horas
MV	Control - Acción Proporcional sobre Motor de Válvula de Dos Vías
º F	Grados Fahrenheit de Temperatura
º K	Grados Kelvin de Temperatura
psig	Presión Manométrica en Lb/in^2
PT	Pérdida de Presión Total por Fricción
Q	Capacidad de Enfriamiento de UMA
R	Radiación Solar Total
Ra	Razón de Aspecto de un Ducto
RPM	Revoluciones por Minuto
SP	Presión Estática
T_1	Temperatura de entrada del agua en °F
T_2	Temperatura de salida del agua en °F
TA	Control - Temperatura Ambiente
TDM	Control - Temperatura del Ducto de Mando
U	Coeficiente de Transmisión de Calor
V	Volumen Específico del agua, 0,01603 ft^3/Lb
Vdc	Voltaje de Corriente Directa
VFBS	Control - Acción Proporcional sobre Variador de Bomba Circuito Secundario
VFM	Control - Acción Proporcional sobre Variador de UMA
VP	Velocidad de Presión
W	Peso

W/m.ºK	Watts por Metro-Grados Kelvin
Wt	Razón de Humedad, 0.01 Grn/Lb
ρ	Densidad del aire estándar, 0.075 Lb/ft3

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Componentes del Sistema de Agua Enfriada por Aire.....9
Figura 1.2 Componentes del Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor.....11
Figura 2.1 Radiación Solar sobre un Vidrio Ordinario.....21
Figura 2.2 Radiación Solar sobre un Vidrio Especial 52% Absorbente.....23
Figura 2.3 Componentes de Paredes Externas Expuestas al Sol – Sur Este y Oeste.....43
Figura 2.4 Componentes de Pared Externa a la Sombra – Norte.....43
Figura 2.5 Componentes de Paredes Recubiertas con Porcelanato – Sur y Oeste Pb.....49
Figura 2.6 Componentes de Pared Interna – Este Pb.....49
Figura 2.7 Componentes de la Base de la Azotea.....53
Figura 2.8 Componentes de la Losa de un Piso.....56
Figura 3.1 Representación de t_{adp}, BF y las Rectas RSHF, GSHF, ESHF sobre Carta Psicrométrica.....91
Figura 3.2 Diagrama Psicrométrico Pb UMA 1.....100
Figura 3.3 Diagrama Psicrométrico P1 UMA 2 y 3.....102
Figura 3.4 Diagrama Psicrométrico P2 UMA 4 y 5.....104
Figura 3.5 Diagrama Psicrométrico P3 UMA 6 y 7.....106
Figura 3.6 Diagrama Psicrométrico P4 Oficinas UMA 8.....108
Figura 3.7 Diagrama Psicrométrico P4 Auditorio UMA 9.....110
Figura 3.8 Diagrama Psicrométrico P4 Aulas UMA 10.....112
Figura 3.9 Diagrama Psicrométrico P4 Comedor UMA 11.....114
Figura 3.10 Diagrama Psicrométrico P5 UMA 12 y 13.....116
Figura 4.1 Componentes del Circuito Primario.....127
Figura 4.2 Componentes del Circuito Secundario.....130

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Descripción Funcional del Edificio	3
Tabla 2	Cálculo de Área Total de Vidrios Esmerilados	27
Tabla 3	Cálculo de Área Total de Vidrios Naturales	27
Tabla 4	Cálculo de Carga de Enfriamiento por Radiación a través de los Vidrios Esmerilados	29
Tabla 5	Cálculo de Carga de Enfriamiento por Radiación a través de los Vidrios Naturales	30
Tabla 6	Cálculo de Área Total de Bloques de Vidrio	32
Tabla 7	Cálculo de Carga de Enfriamiento por Radiación a través de los Bloques de Vidrio	32
Tabla 8	Cálculo de Carga de Enfriamiento por Conducción a través de los Vidrios	34
Tabla 9	Cálculo del Area Total de las Paredes Externas de un Piso	42
Tabla 10	Cálculo de Resistencia Térmica Total para las Paredes Externas al Sol – Sur, Este y Oeste	44
Tabla 11	Cálculo de Resistencia Térmica Total para la Pared Externa Sombreada – Norte	44
Tabla 12	Cálculo de Carga de Enfriamiento por Conducción a través de las Paredes Externas del Edificio	45
Tabla 13	Área de las Paredes de Pb	47
Tabla 14	Cálculo de Resistencia Térmica Total para la Pared Recubierta con Porcelanato – Sur, Oeste	50
Tabla 15	Cálculo de Resistencia Térmica Total para la Pared Interior – Este	50
Tabla 16	Cálculo de la Carga de Enfriamiento por Conducción a través de las Paredes Recubiertas con Porcelanato – Sur , Este y la Pared Sombreada Norte Pb	51
Tabla 17	Cálculo de Resistencia Térmica Total para la Base de la Azotea	53
Tabla 18	Cálculo de Carga de Enfriamiento por Conducción a través de la Azotea	54
Tabla 19	Cálculo de Resistencia Térmica Total para la Losa de los Pisos	56
Tabla 20	Cálculo de Carga de Enfriamiento por Conducción a través de la Losa de los Pisos	57
Tabla 21	Cálculo de Carga de Enfriamiento por Ventilación en el Edificio	61

Tabla 22 Cálculo Multiplicativo entre Ganancias, Número de Personas y Factor de Diversidad, por Piso 66
Tabla 23 Cálculo de Carga de Enfriamiento por Personas en el Edificio.....68
Tabla 24 Cálculo de Ganancia de Calor por Luces Fluorescentes en el Edificio 72
Tabla 25 Cálculo de Carga de Enfriamiento por Luces Fluorescentes en el Edificio.....73
Tabla 26 Balance Térmico Pb 76
Tabla 27 Balance Térmico P1 77
Tabla 28 Balance Térmico P2 78
Tabla 29 Balance Térmico P3 79
Tabla 30 Balance Térmico P4 80
Tabla 31 Balance Térmico P5 81
Tabla 32 Capacidad de UMAS 82
Tabla 33 Capacidad de los Enfriadores de Agua.....84
Tabla 34 Parámetros del Serpentín Pb UMA 1.....99
Tabla 35 Parámetros del Serpentín P1 UMA 2 y 3.....101
Tabla 36 Parámetros del Serpentín P2 UMA 4 y 5.....103
Tabla 37 Parámetros del Serpentín P3 UMA 6 y 7.....105
Tabla 38 Parámetros del Serpentín P4 Oficinas UMA 8.....107
Tabla 39 Parámetros del Serpentín P4 Auditorio UMA 9.....109
Tabla 40 Parámetros del Serpentín P4 Aulas UMA 10.....111
Tabla 41 Parámetros del Serpentín P4 Corredor UMA 11.....113
Tabla 42 Parámetros del Serpentín P5 UMA 12 y 13.....115
Tabla 43 Flujo de Agua para UMAS y Enfriadores 121
Tabla 44 Análisis del Circuito Primario – Dimensionamiento – Máximo Cabezal – Potencia Requerida 128
Tabla 45 Análisis del Circuito Secundario – Dimensionamiento – Máximo Cabezal – Potencia Requerida 131
Tabla 46 Dimensionamiento de las Tuberías de Descarga de UMAS 132
Tabla 47 Cálculo de Potencia UMA 1 153
Tabla 48 Cálculo de Potencia UMA 2 154
Tabla 49 Cálculo de Potencia UMA 3 155
Tabla 50 Cálculo de Potencia UMA 4 156
Tabla 51 Cálculo de Potencia UMA 5 157
Tabla 52 Cálculo de Potencia UMA 6 158
Tabla 53 Cálculo de Potencia UMA 7 159
Tabla 54 Cálculo de Potencia UMA 8 160
Tabla 55 Cálculo de Potencia UMA 9 161
Tabla 56 Cálculo de Potencia UMA 10 162
Tabla 57 Cálculo de Potencia UMA 11 163
Tabla 58 Cálculo de Potencia UMA 12 164

Tabla 59 Cálculo de Potencia UMA 13 165
Tabla 60 Cantidad de Componentes del Sistema de Control y Monitoreo 188
Tabla 61 Cantidad de Compuertas Reguladoras Pb 188
Tabla 62 Cantidad de Compuertas Reguladoras P1 189
Tabla 63 Cantidad de Compuertas Reguladoras P2 190
Tabla 64 Cantidad de Compuertas Reguladoras P3 191
Tabla 65 Cantidad de Compuertas Reguladoras P4 192
Tabla 66 Cantidad de Compuertas Reguladoras P5 193
Tabla 67 Cantidad de Controladores Pb.....196
Tabla 68 Cantidad de Controladores P1.....196
Tabla 69 Cantidad de Controladores P2.....197
Tabla 70 Cantidad de Controladores P3.....197
Tabla 71 Cantidad de Controladores P4.....198
Tabla 72 Cantidad de Controladores P5.....198
Tabla 73 Cantidad de Controladores Terraza.....199
Tabla 74 Análisis de Factibilidad 205

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Pb
Plano 2	P1
Plano 3	P2
Plano 4	P3
Plano 5	P4
Plano 6	P5
Plano 7	Terraza
Plano 8	Fachadas
Plano 9	Detalle de Fachadas Planta Baja
Plano 10	Diagrama Esquemático Sistema de Distribución de Agua Fría
Plano 11	Diagrama Esquemático del Sistema de Distribución de Aire Pb
Plano 12	Diagrama Esquemático del Sistema de Distribución de Aire P1
Plano 13	Diagrama Esquemático del Sistema de Distribución de Aire P2
Plano 14	Diagrama Esquemático del Sistema de Distribución de Aire P3
Plano 15	Diagrama Esquemático del Sistema de Distribución de Aire P4
Plano 16	Diagrama Esquemático del Sistema de Distribución de Aire P5

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los lugares de trabajo, oficinas, negocios, salas de reuniones, locales comerciales y de comida, etc., ofrecer un ambiente confortable no es un lujo, es una necesidad y debe de ser visto como una inversión inicial indispensable para que las personas se sientan cómodas y relajadas, deseosas de brindar su mejor esfuerzo, o simplemente listas para firmar ese contrato tan esperado.

Por eso, la Climatización de un Espacio es un aspecto muy importante que los Empresarios, Gerentes e Ingenieros deben considerar en el momento de planificar un Proyecto; producir las condiciones térmicas agradables no es un proceso implementado al azar, se requiere realizar un estudio técnico, sistemático, basado en el análisis de variables que se relacionan entre si afectando directamente el calor almacenado en el Espacio, y parámetros físicos muchas veces difíciles de medir, pero con un criterio adecuado, posibles de estimar.

En el presente trabajo mostraremos la metodología y los procedimientos básicos para diseñar un Sistema que satisfaga los requerimientos de climatización de un Edificio y que sea conveniente desde un punto de vista energético y económico.

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA ACONDICIONADOR DE AIRE

Para utilizar las herramientas de Ingeniería que nos permiten brindar "confort" necesitamos identificar detalladamente el problema; es decir, conocer las características del lugar que necesitamos climatizar, no solo físicas y geométricas sino también funcionales. En este Capítulo describiremos las características del Edificio y el Sistema que nos permite proporcionar las condiciones térmicas necesarias para su climatización.

1.1 Consideraciones Generales del Proyecto.

La funcionalidad del edificio nos proporciona información sobre el tipo de actividad que se realiza en los diferentes departamentos, y para nuestro caso en particular, se realizarán actividades administrativas de oficina para las cuales se requiere un ambiente fresco y agradable en el desarrollo óptimo de las mismas.

El Edificio tiene cinco pisos con diferentes departamentos donde se realizan las operaciones previstas por la Organización. En la Tabla 1 describimos el tipo de actividad que se realiza en cada uno de ellos .

TABLA 1

DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL EDIFICIO

PB	Ingreso del Personal y Recepción
P1	Departamento de Crédito, Cobranzas y Archivo General
P2	Departamento de Compras
P3	Departamento de Sistemas, Contraloría y Servicios Generales
P4	Departamento de Recursos Humanos, Auditorio, Aulas y Comedor
P5	Presidencia

En los Planos, del 1 al 8 , adjuntamos los dibujos arquitectónicos del Edificio que nos proporcionan una completa información de la distribución de los departamentos en cada piso, con la finalidad de realizar los cálculos de Ingeniería y las mediciones pertinentes .

1.2 Proceso de Diseño

Al definir los objetivos de nuestro trabajo y el alcance del proyecto, debemos establecer el procedimiento técnico que debemos seguir para encontrar una solución económica y eficiente al problema de la climatización del Edificio.

Conociendo las características geométricas, físicas y funcionales calculamos primeramente la Carga Térmica, que es un valor que nos permite tener una idea aproximada de cuanto calor necesitamos "vencer" para climatizar el Edificio y seleccionar adecuadamente la capacidad de los equipos requeridos.

Como el enfriamiento del aire es un Proceso de Transferencia de Calor, es necesario evaluar las condiciones del aire para determinar las características de las superficies de los serpentines de enfriamiento donde se produce dicha transferencia. Para su efecto realizamos los respectivos Cálculos Psicrométricos.

El agua de enfriamiento se encarga de extraer el calor del aire, por lo tanto hemos diseñado el Sistema de Distribución del Agua que alimentará a las Unidades Manejadoras de Aire de acuerdo a las condiciones de volumen requeridas.

El aire acondicionado debe ser suministrado al ambiente con las condiciones de velocidad y volumen necesarias para garantizar un nivel de ruido aceptable y una variación de temperatura dentro de los rangos permisibles; el Sistema de Distribución del Aire es diseñado basándose en estos requerimientos.

Para un funcionamiento dirigido hacia el ahorro de la energía y tomando en consideración el continuo avance de la Tecnología, utilizamos un Sistema de Control y Monitoreo con la finalidad de mantener las condiciones térmicas y las variables del Sistema Mecánico dentro de los parámetros de diseño.

Todos los procedimientos mencionados son explicados y desarrollados en los capítulos del presente trabajo con la finalidad de justificar los argumentos técnicos que hemos utilizado para seleccionar finalmente el Sistema de Climatización y sus Componentes.

1.3 Criterio de Selección del Sistema

En el campo de la Ingeniería existe una variedad de Sistemas de Acondicionamiento de Aire para edificios; podríamos mencionar Expansión Directa, Agua Enfriada por Aire, Agua Enfriada por Agua, Sistema de Absorción, etc; la elección de uno u otro depende de algunos factores que se relacionan entre sí, como por ejemplo, el factor económico, la eficiencia, el tiempo de instalación y el espacio físico disponible.

En el Proceso de Diseño para un proyecto en particular podrían ser muchas las consideraciones para seleccionar el Sistema que cumpla

con los requerimientos; nosotros hemos seleccionado un Sistema de Agua Enfriada por Aire para el Acondicionamiento del Edificio de acuerdo a los siguientes criterios:

- **Consumo Energético.-** Una ventaja de utilizar un Sistema de Agua enfriada por Aire en relación con otros sistemas es que el mayor consumo energético está en la casa de máquinas, es decir en la Unidad Enfriadora (90-95 %) en comparación, como por ejemplo, en el Sistema de Expansión Directa donde el consumo energético está distribuido en todo el edificio. Esta condición en particular es muy importante sobre todo cuando existe un solo dueño como en nuestro caso, porque él asume el gasto del consumo sin discusiones debido a que ha dividido cada piso de acuerdo a sus necesidades organizacionales; por lo tanto, por consumo energético y desde un punto de vista administrativo, el Sistema de Agua enfriada por Aire es conveniente.

- **Compatibilidad con el Sistema de Control y Monitoreo.-** En la actualidad, implementar un Sistema Automático no es un lujo o una opción, es una necesidad de que los sistemas mecánicos, eléctricos, informáticos, etc., tengan la capacidad de comunicarnos su estado de funcionamiento y si los

parámetros involucrados en el proceso se encuentran en los valores previamente establecidos en el diseño. Por esta razón, el Sistema de Climatización que seleccionemos debe ofrecernos cierta adaptabilidad para el Sistema Automático, y esta es una de las características que proporciona el Sistema de Agua enfriada por Aire, una distribución ordenada de sus elementos en comparación con los otros sistemas.

- **Costos.-** Quizás el criterio más importante para seleccionar un sistema es el económico; de los estudios que hemos realizado, el Sistema que proponemos tiene un costo de inversión alto, debido principalmente a la instalación de los equipos y sus componentes; sin embargo , el costo de operación es menor por el ahorro que se produce en el consumo de la energía eléctrica, razón por la cual , la inversión se recupera en menor tiempo en comparación con los otros sistemas , como por ejemplo , Expansión Directa.

En conclusión, seleccionar un Sistema de Agua enfriada por Aire para las necesidades térmicas del Edificio es la mejor alternativa, decisión que hemos tomado sobre la base de los criterios presentados.

1.4 Componentes del Sistema

El Sistema de Agua enfriada por Aire que hemos seleccionado tiene los siguientes componentes básicos:

- Unidad Enfriadora de Agua
- Bomba del Circuito Primario
- Bomba del Circuito Secundario
- Unidad Manejadora de Aire
- Sistema de Distribución de Aire

En la Figura 1.1 mostramos un esquema ilustrativo de cada uno de los Componentes del Sistema.

1.5 Funcionamiento del Sistema

Los componentes que hemos descrito son los que en conjunto producen el confort necesario para climatizar el Edificio; el resultado es un ambiente de trabajo cómodo y agradable.

Todo el Sistema está interconectado por tuberías de hierro; la Bomba del Circuito Secundario se encarga de suministrar el agua de enfriamiento a la UMA y retornarla hacia la UEA; la Bomba del Circuito Primario se encarga de hacer circular una cantidad de agua fría constante porque uno de los principios de funcionamiento del Enfriador es trabajar con estas condiciones de flujo.

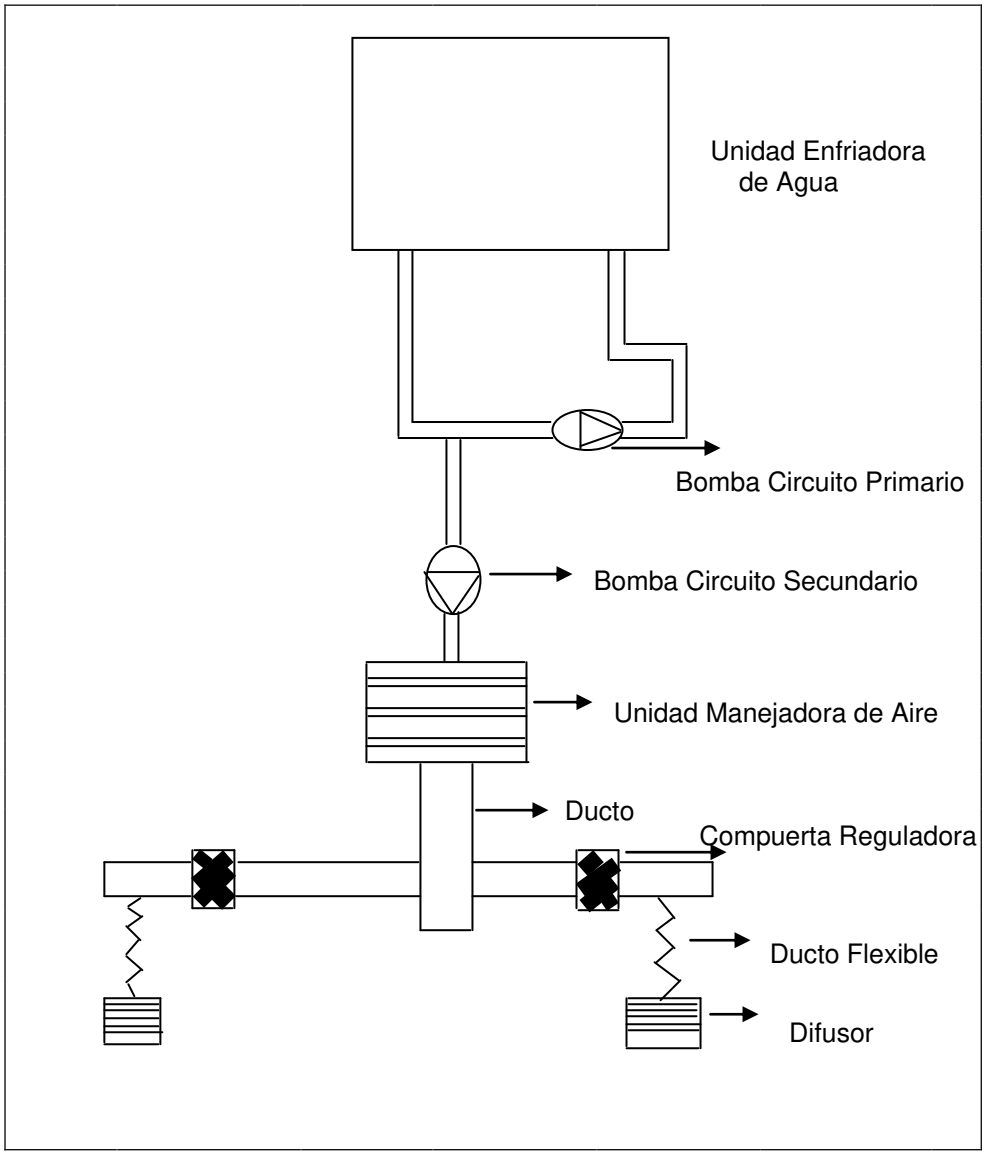

Figura 1.1 Componentes del Sistema de Agua Enfriada por Aire

El ventilador de la UMA hace pasar el aire caliente a través del serpentín por donde circula el agua fría; por un Proceso de Transferencia, el calor fluye de un cuerpo a otro siempre que exista una diferencia de temperatura y es transferido hacia el cuerpo de

menor temperatura; de esta manera el calor es extraído del aire y transferido al agua fría; como consecuencia, el aire es enfriado y suministrado al ambiente por medio del Sistema de Distribución. Las condiciones y propiedades a las cuales el aire ingresa y sale del serpentín deben ser determinadas por medio de un análisis psicrométrico.

El calor del agua que retorna de la UMA es rechazado en el Enfriador. La UEA opera mediante el Ciclo de Refrigeración a base de la compresión de un vapor, y lo que específicamente realiza es extraer el calor de un espacio (agua) y rechazarlo a otro espacio seleccionado (aire). Para ello cuenta con cuatro componentes básicos y un fluido conocido como refrigerante que circula entre ellos.

En el Intercambiador se absorbe el calor del agua por lo cual baja la temperatura de la misma. Al desarrollar este proceso, el fluido que circula (refrigerante) se evapora y fluye hacia el Compresor donde se le eleva la presión y la temperatura , para luego rechazar en el Condensador el calor absorbido a un medio seleccionado , en nuestro caso aire por medio de ventiladores.

Al rechazar el calor el refrigerante se condensa y pasa a través de la Válvula de Expansión donde se le baja la presión y la temperatura para ingresar nuevamente al Intercambiador y repetir el ciclo.

En la Figura 1.2 mostramos un esquema ilustrativo de los Componentes del Ciclo de Refrigeración por compresión de vapor.

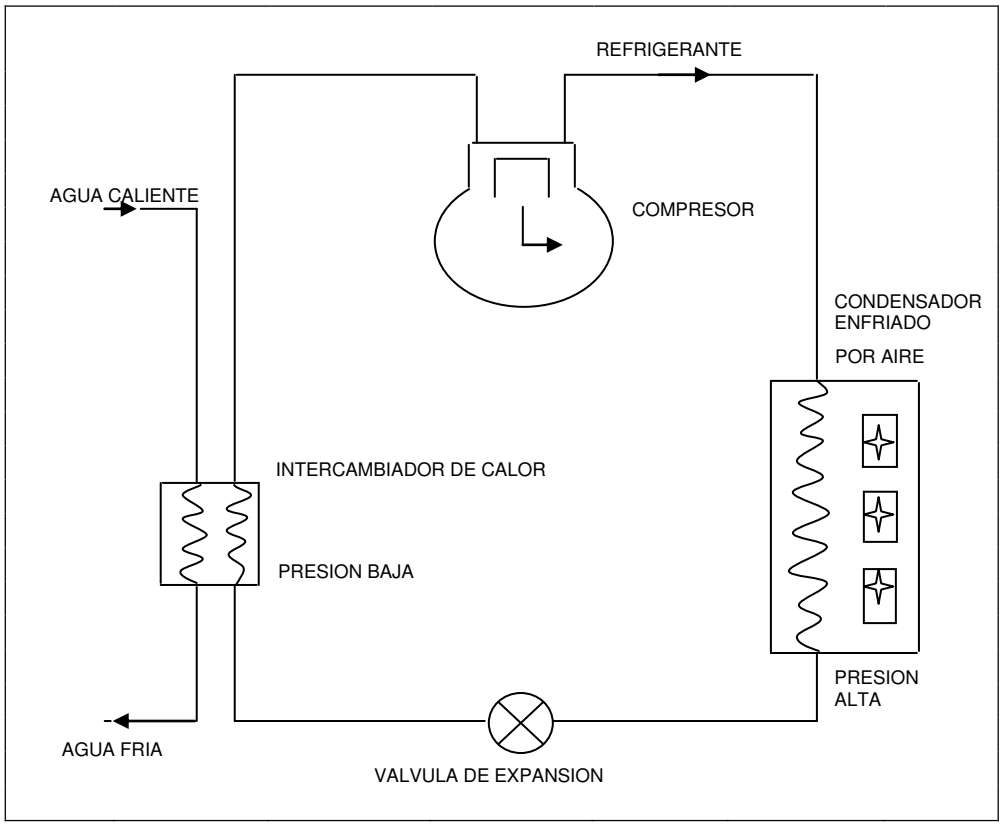

Figura 1.2 Componentes del Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor

1.6 Descripción del Proyecto.

De acuerdo a los estudios que hemos realizado y a los procedimientos, cálculos y resultados que presentamos en nuestro trabajo, el Sistema de Climatización del Edificio está constituido por

dos Unidades de Enfriamiento de 135 Ton. cada una con Condensadores enfriados por aire, 13 Unidades Manejadoras de aire para climatizar las diferentes áreas de cada piso, 3 Bombas en el Circuito Primario (2 en funcionamiento y 1 de reserva), 2 Bombas en el Circuito Secundario (1 en funcionamiento y la otra de reserva), una red de tubería de hierro negro que interconectará todo el Sistema, un lote de ductos aislados para la distribución del aire acondicionado y una serie de accesorios para el normal funcionamiento de las partes.

El Sistema de Control y Monitoreo del Edificio está orientado a manejar y verificar, en forma automática, el estado de funcionamiento de los equipos que conforman el Sistema de Climatización con el fin de mantener los parámetros de confort preestablecidos.

CAPÍTULO 2

2. CARGA TÉRMICA

A través de años de trabajo, diversas compañías y organizaciones han evaluado múltiples factores requeridos para determinar la Carga de Enfriamiento. Cuando se utilizan estos factores para el cálculo de cargas en espacios y edificios, lo importante es aplicar un buen criterio para desarrollar algún procedimiento definido. En este Capítulo presentamos los cálculos de Carga Térmica que nos permiten seleccionar la capacidad requerida para los equipos climatizadores del Edificio.

2.1 Consideraciones Generales

Las variables que afectan el cálculo de Carga Térmica son numerosas, frecuentemente difíciles de definir en forma precisa, y no siempre están en cada momento mutuamente relacionadas.

Muchas variables de Carga de Enfriamiento cambian extensamente en magnitud durante un período de 24 horas; los cambios pueden producirse en momentos diferentes unos de otros, por ello deben analizarse individualmente.

La variación en los coeficientes de transmisión de calor de los materiales, el grado de actividad de las personas, el tipo y número de ventanas, la forma de construcción, orientación y la manera como el Edificio opera son algunas de las variables que imposibilitan un cálculo numéricamente preciso.

Mientras que los procedimientos sean usados en forma razonable por el diseñador, el cálculo es aceptado como correcto, pero todavía es solamente una estimación buena de la real Carga de Enfriamiento.

2.2 Definiciones Térmicas

Para realizar el cálculo térmico es necesario definir ciertos conceptos básicos que nos permiten entender el comportamiento de las variables involucradas en el proceso. Producir las condiciones de confort significa extraer el calor que el espacio ha ganado durante la jornada de trabajo, mediante el funcionamiento de un equipo acondicionador seleccionado apropiadamente.

Ganancia de Calor

La Ganancia de Calor es la razón a la cual el calor entra o es generado en el espacio en un momento determinado. Se clasifica por el modo en el cual entra al espacio y se expresa en Btu/hr.

Carga Térmica

También llamada Carga de Enfriamiento, es la razón a la cual el calor tiene que ser removido de un espacio para mantener determinadas condiciones de temperatura y humedad que dan lugar al confort humano; se expresa en Btu/hr.

Calor Sensible y Latente

Cuando aplicamos calor a una sustancia y esta responde aumentando su temperatura, estamos aplicando Calor Sensible; cuando aplicamos calor a una sustancia y esta no aumenta su temperatura pero si cambia de estado, estamos aplicando Calor Latente.

2.3 Criterios de Diseño

Los Criterios de Diseño son argumentos técnicos importantes que los Ingenieros utilizan como información inicial para realizar el cálculo térmico; se basan en la experiencia y la investigación científica y consisten en establecer adecuadamente las condiciones interiores y

exteriores así como también el momento del día para el cual la Carga Térmica es máxima.

Condiciones Exteriores

Las Condiciones Exteriores de diseño se definen como la temperatura exterior de bulbo seco y de bulbo húmedo respectivamente, del ambiente donde se requiere calcular la Carga de Enfriamiento. Lógicamente, estos valores dependen de los factores metereológicos y climáticos que se manifiestan sobre la región geográfica donde se encuentra nuestro objeto de cálculo. En el Apéndice A.1 se encuentran recopilados los datos sobre las variaciones de la temperatura exterior en Guayaquil.

Para el diseño del Sistema de Climatización del Edificio, tomaremos como condiciones exteriores los siguientes valores:

TBS : 92 º F

TBH : 80 º F

Condiciones Interiores

Las Condiciones Interiores de diseño se definen como la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa que deseamos mantener dentro del espacio para producir un clima confortable. En el Apéndice A.2

se muestra información sobre las condiciones interiores de diseño recomendadas para diferentes tipos de aplicación.

Para el diseño del Sistema de Climatización del Edificio, tomaremos como condiciones interiores los siguientes valores:

TBS : 75 º F

HR : 50 %

Hora de Diseño

La Hora de Diseño se define como el instante de máxima Ganancia de Calor para el cual calculamos la Carga de Enfriamiento.

Este momento no es detectable fácilmente, no es posible definirlo a priori, ya que los componentes principales de la Carga de Enfriamiento no se dan al mismo tiempo. La carga máxima de temperatura exterior se toma como las 3:00 p.m., la máxima ganancia solar a través de vidrios llega a cualquier hora desde las 7:00 a.m. hasta las 5:00 p.m., dependiendo de la orientación geográfica de la ventana; las ganancias de calor internas pueden llegar a su pico en cualquier momento.

Para determinar el instante de máxima carga se recomienda realizar la sumatoria individual de las diferentes cargas para cada hora de acuerdo al tiempo de operación del Edificio; es decir, por ejemplo,

sumar todas las ganancias de calor que se generan a las 09:00 a.m., 12:00 p.m. , 3:00 p.m. ; este procedimiento sencillo nos permite encontrar la hora de diseño y balancear correctamente la Carga de Enfriamiento.

2.4 Determinación de Factores

Para calcular la Carga de Enfriamiento de un espacio, se requiere información detallada de la edificación que deseamos climatizar.

Generalmente, los siguientes factores influyen en nuestros cálculos:

Orientación del Edificio.- Localización del espacio que vamos a acondicionar con respecto al sol y los efectos del viento; superficies reflexivas, sombra debido a estructuras adyacentes.

Uso del Espacio y Dimensiones.- Tipo de Actividad que ejercen las personas si el espacio es una Oficina, hospital, hotel, tienda especial, cuarto de máquinas, industria, laboratorio, salón de reuniones, etc; dimensiones físicas de las paredes, pisos, losas; largo, ancho y altura.

Materiales de Construcción.- Materiales y espesores de paredes exteriores e interiores, azotea, pisos, techos internos y su posición relativa en la estructura; columnas y vigas.

Ventanas y Puertas.- Dimensiones y localización, marco de madera o metal, tipo de vidrio, tipo de dispositivo de sombra, frecuencia de uso, bloques de vidrio, tragaluz, etc.

Rutina de Operación.- Información sobre una rutina de iluminación, personas, equipo interno, aplicaciones y procesos que contribuyan a incrementar la Carga Térmica.

2.5 Clasificación de las Cargas Térmicas

Para poder evaluar los efectos térmicos sobre el espacio y para definir el proceso de selección y dimensionamiento del Sistema de Climatización, es necesario clasificar las cargas de acuerdo a como se generan, interna o externamente.

2.5.1 Cargas del Espacio Externo

Son las ganancias de calor que se producen por factores físicos que ocurren fuera del espacio que deseamos acondicionar. El calor solar que fluye a través de las superficies transparentes, paredes externas, azotea y el aire que fluye hacia el espacio por ventilación forzada , son las cargas que afectan primordialmente el comportamiento térmico del espacio y deben ser evaluadas para la más crítica de las condiciones, es decir, para la hora de diseño.

Ganancia de Calor a través de Vidrios Ordinarios

Un vidrio ordinario se lo define como un cristal de simple espesor y simple o doble refuerzo.

La ganancia de calor solar a través de un vidrio ordinario depende de su localización sobre la superficie de la tierra (latitud), tiempo del día, tiempo del año, y la orientación de la ventana.

La componente de la radiación directa es considerada una ganancia de calor para el espacio solamente cuando la ventana está directamente afectada por los rayos del sol, mientras que la componente de la radiación difusa es considerada ganancia de calor cuando la ventana no es afectada por los rayos del sol.

Un vidrio ordinario absorbe una pequeña porción del calor solar (5 a 6%) y refleja o transmite el resto. La cantidad reflejada o transmitida depende del ángulo de incidencia.

La Figura 2.1 nos muestra el calor reflejado, absorbido y transmitido a través de un vidrio ordinario para un ángulo de incidencia de 30º. La ganancia de calor solar total en el

espacio consiste en el calor transmitido más un 40% del calor que es absorbido en el vidrio.

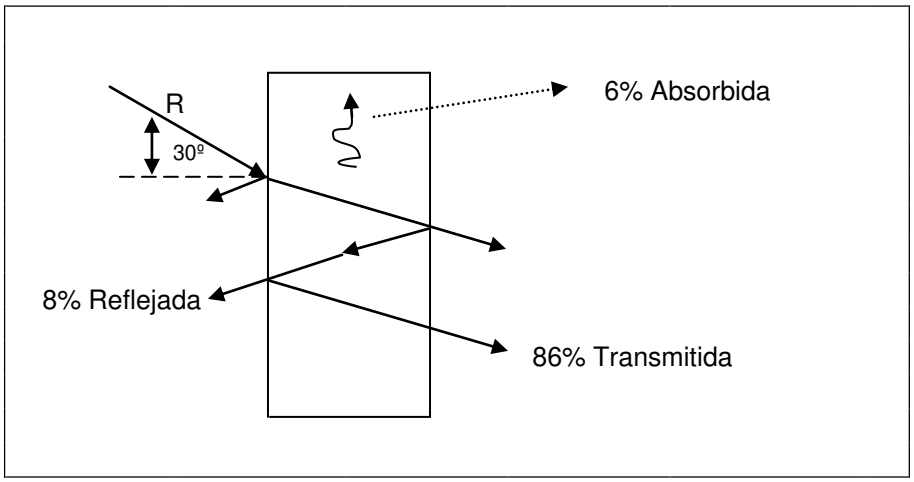

Figura 2.1 Radiación Solar sobre un Vidrio Ordinario

El Apéndice A.3, nos muestra las Ganancias de Calor solar para 0 º latitud sur, los meses del año y horas del día a través de un vidrio ordinario. Estos valores incluyen la radiación directa y difusa así como la porción de calor absorbido por el vidrio; no incluye la transmisión de calor a través del vidrio debido a la diferencia de temperaturas entre el aire interno y externo, respectivamente.

Las Ganancias de Calor presentadas en el Apéndice A.3 se basan en las siguientes condiciones:

- Area de vidrio igual al 85% en relación al área del marco de la ventana.
- Aire sin neblina
- Nivel del mar
- PR : 67 ºF, TBS : 95 º F, TBH : 75 º F.

Corrección de la Ganancia de Calor

Para condiciones diferentes a las mencionadas, como en el caso de nuestro proyecto, se deben utilizar los respectivos factores de corrección de la Ganancia de Calor de acuerdo a las recomendaciones técnicas.

En el Apéndice A.4 se muestra la Ganancia de Calor a través de un vidrio ordinario corregida para nuestros requerimientos.

Básicamente, hemos añadido un 7% de ganancia a los meses de Diciembre y Enero; como los marcos de las ventanas del Edificio son metálicos, hemos multiplicado cada valor por 1.17; adicionalmente, a cada valor le hemos restado un 7% de la ganancia debido a que nuestras condiciones exteriores difieren .

Todo Tipo de Vidrio

Existe una variedad de vidrios capaces de absorber más calor solar porque pueden tener un mayor espesor o han sido tratados térmicamente para este propósito; estos vidrios especiales reducen el calor solar transmitido hacia el espacio porque incrementan la cantidad de calor solar absorbido como se muestra en la Figura 2.2 para el caso de un vidrio especial 52% absorbente.

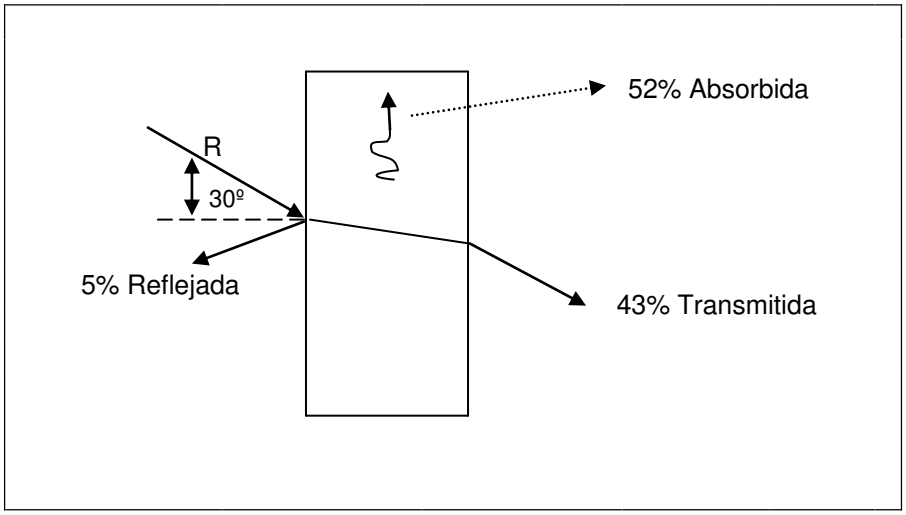

Figura 2.2 Radiación Solar sobre un Vidrio Especial 52% Absorbente

Dispositivos de Sombra

La efectividad de un dispositivo de sombra depende de su capacidad de reducir al mínimo la cantidad de calor solar transmitido en el espacio acondicionado. Todo dispositivo

refleja y absorbe una gran parte de la ganancia de calor, dejando una pequeña porción para ser transmitida, siendo los dispositivos externos mucho más eficientes que los internos porque todo el calor solar reflejado es mantenido fuera del espacio y el calor absorbido es disipado hacia el aire externo.

Para relacionar las características físicas de los vidrios especiales con los vidrios ordinarios, en el Apéndice A.5 , se muestran los Factores de Sombra para la Ganancia de Calor solar a través de diferentes tipos de vidrio considerando los dispositivos de sombra, externos e internos respectivamente.

Almacenamiento de Calor en la Estructura del Edificio

Una larga porción de la ganancia instantánea de calor es radiante, razón por la cual no se convierte en una carga instantánea para el equipo porque debe incidir primeramente sobre una superficie sólida y ser absorbida por esta superficie (paredes, azotea, vidrios) . El calor absorbido produce un aumento de la temperatura de la superficie del material y del aire adyacente a la superficie. Esta diferencia de temperatura causa que el calor fluya hacia el interior del material por conducción y desde la superficie al aire por convección. El calor transferido por conducción se almacena y el transferido

por convección se convierte en una Carga Instantánea de Enfriamiento.

Las construcciones pesadas almacenan más calor que las livianas, siendo esta una consideración importante cuando se calcula la carga.

Otro aspecto que afecta significativamente el calor almacenado es el período de operación del equipo acondicionador de aire. Si el equipo es apagado después de 12 horas de operación, una parte del calor almacenado permanece en la construcción. Este calor debe ser removido y aparecerá como una carga adicional cuando el equipo sea prendido el día siguiente.

Períodos más cortos de operación incrementan la carga adicional porque más calor almacenado no es removido de la construcción debido a que el equipo está apagado.

En el Apéndice A.6 se muestran los Factores de Almacenamiento para la Ganancia de Calor Solar a través de los vidrios. Estos valores han sido desarrollados para 12 horas de operación, horas del día, orientación y peso de la estructura.

Cálculo de la Carga de Enfriamiento por Radiación a través de los vidrios del Edificio

Para calcular la Carga de Enfriamiento que contrarreste la Radiación Solar transferida a través de los vidrios, utilizamos la Ecuación 2.1 :

$$C = Gv \times A \times Fs \times Fa \qquad (2.1)$$

donde

Gv = Máxima Ganancia de Calor Solar, Btu / hr ft^2, Apéndice A.4.

A = Area del vidrio, ft^2

Fs = Factor de Sombra del vidrio, Apéndice A.5.

Fa = Factor de Almacenamiento**,** Apéndice A.6.

Revisando detalladamente los planos arquitectónicos del Edificio, para nuestro proyecto en particular, podemos notar que las ventanas exteriores para las cuatro orientaciones, están conformadas por dos tipos de vidrio: Natural y Esmerilado. Además, la cantidad de vidrios para cada uno de los pisos según el diseño, es la misma excepto Pb; por lo tanto, bastará hacer el análisis de carga para un solo piso. De los planos arquitectónicos, obtenemos las dimensiones de las ventanas y procedemos primeramente a calcular el área total

de las mismas para cada una de las orientaciones. Las Tablas 2 y 3 muestran los resultados del cálculo.

TABLA 2

CÁLCULO DEL ÁREA TOTAL DE VIDRIOS ESMERILADOS

Orientación	Cantidad	Alto (ft)	Ancho (ft)	Area (ft^2)	Area Total (ft^2)
Norte					
Sur	26	4,92	1,64	8,07	**209,79**
Este	14	4,92	1,64	8,07	**112,96**
Oeste	6	4,92	1,64	8,07	**48,41**

TABLA 3

CÁLCULO DEL ÁREA TOTAL DE VIDRIOS NATURALES

Orientación	Cantidad	Alto (ft)	Ancho (ft)	Área (ft^2)	Área Total (ft^2)
Norte	9	5,90	4,92	29,05	261,43
					261,43
Sur	3	4,92	5,64	27,76	83,27
	22	4,92	5,67	27,92	614,20
	1	4,92	3,02	14,85	14,85
	1	4,92	6,07	29,85	29,85
					742,17
Este	13	4,92	5,67	27,92	362,93
	1	4,92	2,36	11,62	11,62
	1	4,92	2,30	11,30	11,30
					385,85
Oeste	5	4,92	5,67	27,92	139,59
	2	4,92	2,36	11,62	23,24
					162,83

Finalmente la Carga de Enfriamiento es calculada de acuerdo a la Ecuación 2.1. Las Tablas 4 y 5 muestran los resultados del cálculo de Carga de Enfriamiento para la Radiación Solar a través de los Vidrios Esmerilados y Naturales, utilizando una Hoja Electrónica de Excel. Cada valor de ganancia es multiplicado por el área de la ventana de acuerdo a su orientación, por Fs de acuerdo al tipo de vidrio y por Fa considerando un peso promedio de 30 Lb/ft^2 de área por piso.

La Máxima Carga de Enfriamiento debido a la Radiación Solar a través de los Vidrios Esmerilados es de **24.245 Btu/hr** y ocurre en Diciembre 22 a las 9:00 A.M.

La Máxima Carga de Enfriamiento debido a la Radiación Solar a través de los Vidrios Naturales es de **88.889 Btu/hr** y ocurre en Diciembre 22 a las 9:00 A.M.

Bloques de Vidrio

Los Bloques de Vidrio se diferencian de los vidrios ordinarios (delgados) porque tienen una mayor capacidad de absorber la radiación solar de tal manera que el calor se transfiere en un tiempo posterior, aproximadamente en 3 horas. Esto es causado por la notable capacidad de almacenamiento térmico

TABLA 4

CÁLCULO DE CARGA DE ENFRIAMIENTO POR RADIACIÓN A TRAVÉS DE LOS VIDRIOS ESMERILADOS

Fs :	0,74	A.M.							P.M.					
Día	**Orient.**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
	Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dic 22	Sur	0	8174	11806	13441	14168	14531	14894	14531	14168	13441	11806	8174	0
	Este	0	8395	11789	10695	5912	1808	342	260	219	178	118	53	0
	Oeste	0	86	115	109	100	82	76	397	1715	3791	5053	4133	0
		0	**16655**	**23711**	**24245**	**20180**	**16421**	**15313**	**15187**	**16102**	**17410**	**16977**	**12359**	**0**
	Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nov-21	Sur	0	6721	9808	11080	11806	11988	12170	11988	11806	11080	9808	6721	0
Ene-21	Este	0	8757	12190	11012	6103	1808	342	260	219	178	118	53	0
	Oeste	0	86	115	109	100	82	76	397	1771	3904	5224	4311	0
		0	**15563**	**22114**	**22200**	**18009**	**13878**	**12588**	**12645**	**13796**	**15161**	**15151**	**11084**	**0**
	Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oct-23	Sur	0	2886	4753	5262	5602	5772	5772	5772	5602	5262	4753	2886	0
Feb-20	Este	0	8726	12217	10958	6120	1808	320	243	205	166	121	49	0
	Oeste	0	80	118	102	93	77	71	396	1775	3884	5236	4295	0
		0	**11691**	**17088**	**16322**	**11815**	**7656**	**6163**	**6411**	**7582**	**9313**	**10110**	**7231**	**0**
	Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar-22	Sur	0	1019	2037	2207	2377	2377	2377	2377	2377	2207	2037	1019	0
Sep-22	Este	0	9064	12517	11180	6357	1847	320	243	205	166	121	49	0
	Oeste	0	80	118	102	93	77	71	405	1844	3963	5364	4462	0
		0	**10162**	**14672**	**13488**	**8827**	**4301**	**2768**	**3025**	**4426**	**6336**	**7522**	**5530**	**0**
	Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr-20	Sur	0	1019	2037	2207	2377	2377	2377	2377	2377	2207	2037	1019	0
Ago-24	Este	0	8726	12217	10958	6120	1808	320	243	205	166	121	49	0
	Oeste	0	80	118	102	93	77	71	396	1775	3884	5236	4295	0
		0	**9824**	**14372**	**13266**	**8589**	**4261**	**2768**	**3016**	**4357**	**6258**	**7394**	**5363**	**0**
	Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May-21	Sur	0	1019	1867	2207	2377	2377	2377	2377	2377	2207	1867	1019	0
Jul-23	Este	0	8184	11393	10291	5704	1690	320	243	205	166	111	49	0
	Oeste	0	80	108	102	93	77	71	371	1655	3648	4883	4029	0
		0	**9283**	**13368**	**12600**	**8173**	**4143**	**2768**	**2990**	**4236**	**6021**	**6860**	**5097**	**0**
	Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jun-21	Sur	0	1019	1867	2207	2377	2377	2377	2377	2377	2207	1867	1019	0
	Este	0	7846	11018	9995	5525	1690	320	243	205	166	111	49	0
	Oeste	0	80	108	102	93	77	71	371	1603	3543	4722	3863	0
		0	**8945**	**12993**	**12304**	**7995**	**4143**	**2768**	**2990**	**4184**	**5916**	**6700**	**4930**	**0**

TABLA 5

CÁLCULO DE CARGA DE ENFRIAMIENTO POR RADIACIÓN A TRAVÉS DE LOS VIDRIOS NATURALES

Fs :	0,65	A.M.							P.M.					
Día	**Orient.**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Dic 22	Norte	0	8947	12923	14712	15508	15905	16303	15905	15508	14712	12923	8947	0
	Sur	0	25399	36687	41767	44025	45154	46282	45154	44025	41767	36687	25399	0
	Este	0	25189	35371	32088	17738	5426	1027	781	657	534	355	158	0
	Oeste	0	253	341	322	295	243	225	1171	5067	11201	14927	12210	0
		0	**59787**	**85322**	***88889***	**77566**	**66727**	**63838**	**63011**	**65257**	**68214**	**64892**	**46714**	**0**
Nov-21 Ene-21	Norte	0	7356	10736	12128	12923	13122	13321	13122	12923	12128	10736	7356	0
	Sur	0	20884	30479	34430	36687	37252	37816	37252	36687	34430	30479	20884	0
	Este	0	26275	36574	33038	18311	5426	1027	781	657	534	355	158	0
	Oeste	0	253	341	322	295	243	225	1171	5231	11532	15434	12736	0
		0	**54767**	**78130**	**79918**	**68216**	**56042**	**52389**	**52326**	**55498**	**58624**	**57004**	**41134**	**0**
Oct-23 Feb-20	Norte	0	3159	5203	5760	6132	6318	6318	6318	6132	5760	5203	3159	0
	Sur	0	8967	14770	16352	17407	17935	17935	17935	17407	16352	14770	8967	0
	Este	0	26179	36655	32876	18361	5425	960	729	614	499	362	148	0
	Oeste	0	236	347	301	275	227	211	1171	5245	11476	15469	12690	0
		0	**38541**	**56975**	**55290**	**42175**	**29904**	**25423**	**26153**	**29398**	**34087**	**35803**	**24964**	**0**
Mar-22 Sep-22	Norte	0	1115	2230	2416	2601	2601	2601	2601	2601	2416	2230	1115	0
	Sur	0	3165	6330	6857	7385	7385	7385	7385	7385	6857	6330	3165	0
	Este	0	27194	37555	33543	19074	5542	960	729	614	499	362	148	0
	Oeste	0	236	347	301	275	227	211	1197	5449	11709	15848	13182	0
		0	**31710**	**46462**	**43116**	**29335**	**15756**	**11157**	**11912**	**16049**	**21481**	**24770**	**17610**	**0**
Abr-20 Ago-24	Norte	0	1115	2230	2416	2601	2601	2601	2601	2601	2416	2230	1115	0
	Sur	0	3165	6330	6857	7385	7385	7385	7385	7385	6857	6330	3165	0
	Este	0	26179	36655	32876	18361	5425	960	729	614	499	362	148	0
	Oeste	0	236	347	301	275	227	211	1171	5245	11476	15469	12690	0
		0	**30695**	**45562**	**42450**	**28622**	**15638**	**11157**	**11887**	**15846**	**21248**	**24390**	**17118**	**0**
May-21 Jul-23	Norte	0	1115	2044	2416	2601	2601	2601	2601	2601	2416	2044	1115	0
	Sur	0	3165	5802	6857	7385	7385	7385	7385	7385	6857	5802	3165	0
	Este	0	24556	34182	30877	17113	5071	960	729	614	499	332	148	0
	Oeste	0	236	318	301	275	227	211	1095	4888	10778	14425	11903	0
		0	**29072**	**42346**	**40451**	**27374**	**15284**	**11157**	**11811**	**15489**	**20550**	**22603**	**16331**	**0**
Jun-21	Norte	0	1115	2044	2416	2601	2601	2601	2601	2601	2416	2044	1115	0
	Sur	0	3165	5802	6857	7385	7385	7385	7385	7385	6857	5802	3165	0
	Este	0	23541	33057	29988	16578	5071	960	729	614	499	332	148	0
	Oeste	0	236	318	301	275	227	211	1095	4736	10468	13950	11411	0
		0	**28057**	**41222**	**39562**	**26840**	**15284**	**11157**	**11811**	**15336**	**20240**	**22128**	**15839**	**0**

del bloque de vidrio.

Para calcular la Carga de Enfriamiento por Radiación a través de un Bloque de Vidrio utilizamos la Ecuación 2.2 :

$$C = A\,[(Bi \times Gv) + (Ba \times Ga)] \qquad (2.2)$$

donde:

A = Área del Bloque, ft^2.

Bi = Factor de Transmisión , Apéndice A.7.

Ba = Factor de Absorción, Apéndice A.7.

Gv = Máxima Ganancia de Calor Solar, Btu / hr ft^2, Apéndice A.4.

Ga = Máxima Ganancia de Calor Solar 3 horas antes, Btu / hr ft^2, Apéndice A.4.

Revisando los detalles arquitectónicos, Plano 1 y 9, podemos observar que en Pb se encuentran 2 Bloques de Vidrio que generan carga directamente en el lobby, en la orientación Sur.

Los Bloques en el Este generan carga hacia el estacionamiento, pero esta carga no forma parte de nuestro análisis.

De los planos, medimos las dimensiones de los Bloques de Vidrio y la Tabla 6 muestra el resultado del cálculo de área total.

TABLA 6
CÁLCULO DE ÁREA TOTAL DE BLOQUES DE VIDRIO

Orientación	Cantidad	Alto (ft)	Ancho (ft)	Área (ft2)	Área Total (ft2)
Sur	2	11,81	13,78	162,67	325,33

Utilizando la Ecuación 2.2 , calculamos la Carga de Enfriamiento por Radiación Solar a través de Bloques de Vidrio, escogiendo los factores adecuadamente según la orientación y la latitud, del Apéndice A.7. ; diseñamos una Hoja Electrónica de Excel con las fórmulas respectivas y los resultados los mostramos en la Tabla 7.

TABLA 7
CÁLCULO DE CARGA DE ENFRIAMIENTO POR RADIACIÓN A TRAVES DE LOS BLOQUES DE VIDRIO

Orient.				Area = 325.3 ft^2			Bi= 0.3	Ba= 0.24				
Sur	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Dec22	3953	5710	6500	10365	12102	12981	13117	13098	12903	11956	10043	5778
Nov-Ene	527	966	5358	8598	10014	10648	10873	10863	10589	9897	8325	4763
Oct-Feb	0	0	2545	3950	4834	5053	5199	5190	5026	4780	3804	2262
Mar-Sep	3250	4743	1067	1587	2025	2098	2171	2171	2089	2007	1514	949
Abr-Ago	527	966	1067	1587	2025	2098	2171	2171	2089	2007	1514	949
May-Jul	0	0	1067	1587	1952	2098	2171	2171	2089	1925	1514	949
Jun	1396	2299	1067	1587	1952	2098	2171	2171	2089	1925	1514	949

La Máxima Carga de Enfriamiento debido a la Radiación Solar a través de los Bloques de Vidrio es de **13.117 Btu/hr** y ocurre en Diciembre 22 a las 1:00 P.M.

Cálculo de la Carga de Enfriamiento por Conducción a través de los Vidrios del Edificio

El calor se transfiere por conducción a través del vidrio debido a la diferencia de temperatura exterior e interior respectivamente. La Carga Térmica necesaria dependerá del área total, tipo de vidrio y de la cantidad de calor almacenado en su superficie.

La Carga de Enfriamiento se calcula utilizando la Ecuación 2.3:

$$C = A \times U \times Fa \qquad (2.3)$$

donde :

A = Area, ft^2.

U = Coeficiente de Transmisión de Calor del vidrio, Btu/hr. ft^2.ºF.

Fa = Factor de Almacenamiento por Conducción.

El área se refiere a la suma total de los valores de cada tipo de vidrio en todas las orientaciones tanto para el Natural, Esmerilado y los Bloques; U se lo elige del Apéndice A.8 de acuerdo al tipo y espesor de vidrio; el Apéndice A.9 nos muestra los valores de Fa; la primera fila son datos obtenidos para una T_{in} = 78 ºF y T_{ex} = 95 ºF; se corrigen los valores para nuestras condiciones, añadiendo a cada uno de ellos la diferencia entre 78 ºF y 75 ºF, es decir +3.

Utilizando la Ecuación 2.3, diseñamos una Hoja Electrónica de Excel con las respectivas fórmulas y los resultados los mostramos en la Tabla 8.

TABLA 8
CÁLCULO DE CARGA DE ENFRIAMIENTO POR CONDUCCIÓN A TRAVES DE LOS VIDRIOS

Ve		**A=371,16**			**U=0,81**							
A.M.							P.M.					
6	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
301	301	902	1503	2105	3006	3608	4510	4810	5111	**5111**	4810	4510
Vn		**A=1.552,28**			**U=0,83**							
A.M.							P.M.					
6	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1288	1288	3865	6442	9019	12884	15461	19326	20614	21903	**21903**	20614	19326
BdV		**A=325,33**			**U=0,56**							
A.M.							P.M.					
6	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
182	182	547	911	1275	1822	2186	2733	2915	3097	**3097**	2915	2733

La Máxima Carga de Enfriamiento debido a la transmisión de calor por Conducción a través de los Vidrios Esmerilados es de **5.111 Btu/hr** y ocurre a las 4:00 P.M.

La Máxima Carga de Enfriamiento debido a la transmisión de calor por Conducción a través de los Vidrios Naturales es de **21.903 Btu/hr** y ocurre a las 4:00 P.M.

La Máxima Carga de Enfriamiento debido a la transmisión de calor por Conducción a través de los Bloques de Vidrio es de **3.097 Btu/hr** y ocurre a las 4:00 P.M.

Ganancia de Calor a través de Superficies Externas e Internas

Es importante considerar el procedimiento para determinar la Ganancia de Calor a través de las superficies externas tales como las paredes, la azotea y la losa de una edificación o a través de las paredes interiores del espacio que deseamos climatizar; la Carga de Enfriamiento debe ser calculada para las máximas condiciones de flujo de calor.

El calor fluye de un punto a otro siempre que exista una diferencia de temperatura entre los dos puntos. La dirección del flujo siempre es hacia el punto de menor temperatura. La

razón a la cual el calor es transferido varia con la resistencia al flujo entre dos puntos del material.

El flujo es causado por el calor solar absorbido por la superficie exterior y por la diferencia de temperaturas entre el aire externo e interno. Como la temperatura y el calor transferido son altamente variables durante el día, resulta difícil evaluar el estado exacto de flujo a través de la pared exterior. Sin embargo, el calor transferido puede ser estimado introduciendo el concepto de Diferencia de Temperatura Equivalente.

En términos generales, para calcular la Carga de Enfriamiento a través de una superficie externa, utilizamos la Ecuación 2.4 :

$$C = U \times A \times DTE \qquad (2.4)$$

donde:

U = Coeficiente de Transmisión de Calor, Btu / hr ft^2 °F.

A = Area de la superficie, ft^2 .

DTE = Diferencia de Temperatura Equivalente, °F.

Diferencia de Temperatura Equivalente

La Diferencia de Temperatura Equivalente es la diferencia de temperatura que resulta del calor total que fluye a través de la estructura debido a la radiación solar variable y a la temperatura externa. Es un valor "promedio" desarrollado que debe incluirse dentro del cálculo para diferentes tipos de construcción y orientación, tiempo del día, latitud, y diferentes condiciones de diseño.

Los Apéndices A.10 y A.11 muestran los valores de DTE para Paredes Externas y Azoteas respectivamente, de acuerdo a las siguientes condiciones:

- Color de la pared : Oscuro
- T_{ex} : 95 º F.
- T_{in} : 80 º F.
- Rg : 20 º F.
- Tiempo de Operación : 24 horas.
- Julio y 40 º Latitud Norte.

Corrección de la Diferencia de Temperatura Equivalente

Para condiciones diferentes a las mencionadas, los valores de DTE deben ser corregidos con el objeto de obtener resultados

de carga que reflejen de ser posible, aproximadamente, la realidad térmica de la estructura.

Primeramente debemos corregir los valores de DTE para nuestras condiciones exteriores e interiores de diseño T_{ex} : 92 º F, T_{in} : 75 º F y Rg : 18 º F, utilizando los valores de corrección del Apéndice A.12.; a cada valor de DTE se la añade 3.

Este cálculo supone condiciones dadas en el mes de Julio; no obstante, de los cálculos de carga para los vidrios podemos definir que el mes para el cual la carga debe ser analizada es Diciembre.

Para corregir los valores de DTE de acuerdo al mes de diseño y a una condición diferente de 40º de latitud, utilizamos la Ecuación 2.5 :

$$\Delta t_e = \Delta t_{es} + \frac{Rs}{Rm}\left(\Delta t_{em} - \Delta t_{es}\right) \qquad (2.5)$$

donde:

Δt_e = Diferencia de Temperatura Equivalente para el mes y tiempo del día deseado.

Δt_{es} = Diferencia de Temperatura Equivalente de la

pared o azotea a la sombra, para el tiempo del día deseado, corregida si es necesario para las condiciones del proyecto.

Δt_{em}= Diferencia de Temperatura Equivalente de la pared o azotea expuesta al sol, para el tiempo del día deseado, corregida si es necesario para las condiciones del proyecto.

R_s = Máxima Ganancia de Calor Solar en Btu/hr ft^2 a través de vidrios ordinarios, para el mes y latitud deseado.

R_m = Máxima Ganancia de Calor Solar en Btu/hr ft^2 a través de vidrios ordinarios, para Julio y 40º Latitud Norte.

Los valores de Máxima Ganancia de Calor, R_s y R_m, son obtenidos de los Apéndices A.3 y A.13 respectivamente.

Para el análisis de carga de acuerdo a nuestra situación geográfica, Latitud Sur, intercambiamos los valores de la orientación Norte por el Sur y viceversa; los valores en las orientaciones Este y Oeste permanecen igual.

Finalmente, diseñamos una Hoja Electrónica de Excel utilizando como fórmula de cálculo la Ecuación 2.5 y seleccionando los parámetros adecuadamente; los resultados de DTE corregido para las Paredes Externas y la Azotea de acuerdo a nuestras condiciones, son presentados en los Apéndices A.14 y A.15.

El peso total por ft^2 es obtenido añadiendo los pesos parciales de cada componente de la pared dada.

Coeficiente de Transmisión de Calor

El Coeficiente de Transmisión U es una propiedad intrínseca de un material que representa la razón a la cual el calor es transferido a través de la estructura en Btu / hr ft^2 °F. El recíproco de U para cualquier pared representa la Resistencia Térmica total de esa pared al flujo de calor. El valor total de la Resistencia es la sumatoria de las resistencias de cada componente de la estructura y las resistencias de las películas de aire interno y externo respectivamente.

Los valores de las Resistencias Térmicas son obtenidos del Apéndice A.16 donde han sido calculados para los más comunes tipos de construcción y materiales.

Cálculo de la Carga de Enfriamiento por Conducción del Calor a través de las Paredes Exteriores del Edificio

Revisando los planos arquitectónicos del Edificio, observamos que el diseño, las dimensiones y la geometría de los 5 pisos es la misma; por lo tanto, bastará calcular la carga para uno de ellos; por otro lado, es importante destacar que las paredes Sur, Este y Oeste están directamente expuestas al sol mientras que la pared Norte no, porque recibe la sombra de los edificios que están a su alrededor (pared sombreada).

Para calcular el área de las paredes no hemos considerado la porción de la superficie que está en contacto con el espacio no acondicionado del piso, espacio entre el tumbado falso y la losa por donde se encuentran los ductos de suministro.

La Tabla 9 nos muestra el cálculo de área para un piso de acuerdo a cada una de las orientaciones.

Para calcular el valor de U utilizamos la Ecuación 2.6:

$$U = \frac{1}{(R1 + R2 + R3 + \ldots\ldots\ldots Rn)} \qquad (2.6)$$

donde:

R1,R2,R3,…Rn : Resistencias Térmicas de cada componente de la pared, ºF Btu / hr ft^2.

TABLA 9
CÁLCULO DEL ÁREA TOTAL DE LAS PAREDES EXTERNAS DE UN PISO

Orient.	Largo (ft)	Alto (ft)	Area (ft^2)
Norte	259,02	8,86	2.293,90
Sur	194,08	3,94	763,89
Este	106,86	3,94	420,61
Oeste	47,23	3,94	185,91

La descripción de los componentes de las paredes expuestas al sol y de la pared a la sombra, la obtenemos de la información técnica-civil del proyecto, y el espesor de las mismas, de los planos arquitectónicos. Los valores individuales de las Resistencias Térmicas son seleccionados del Apéndice A.16.

Las Figuras 2.3 y 2.4 muestran los diagramas esquemáticos de los Componentes de las Paredes Exteriores expuestas al Sol y a la Sombra respectivamente y el cálculo de la Resistencia Térmica Total es presentado en las Tablas 10 y 11.

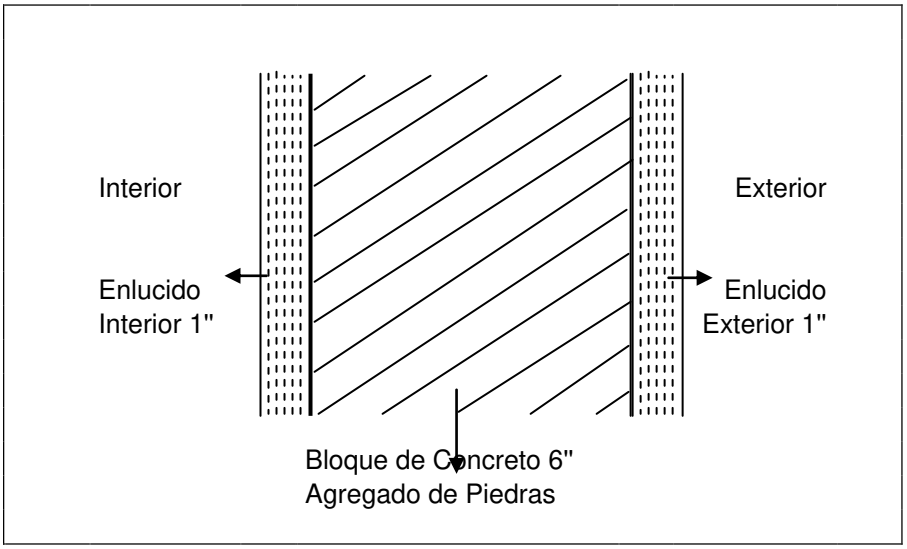

Figura 2.3 Componentes de Paredes Externas Expuestas al Sol - Sur, Este y Oeste

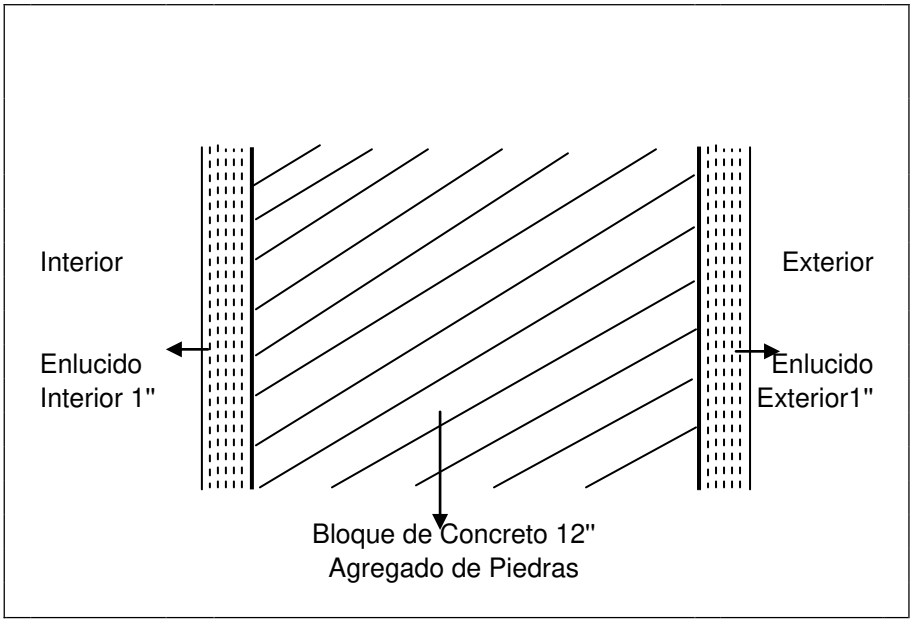

Figura 2.4 Componentes de Pared Externa a la Sombra Norte

TABLA 10
CÁLCULO DE RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL PARA LAS PAREDES EXTERNAS AL SOL – SUR ESTE Y OESTE

Componentes	Espesor (in)	Rt	W (Lb/ft^2)
Coeficiente fílmico Exterior 7.5mph		0,25	
Enlucido Exterior de Cemento	1,00	0,20	
Bloque de Concreto con Agregado de Piedras	6,00	0,91	32,00
Enlucido interior de Cemento	1,00	0,20	
Coeficiente fílmico Interior 1.14mph reposo		0,68	
Sumatoria Total =	8,00	2,24	32,00
	U=	**0,45**	

TABLA 11
CÁLCULO DE RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL PARA LA PARED EXTERNA SOMBREADA – NORTE

Componentes	Espesor	Rt	W (Lb/ft^2)

	(in)		
Coeficiente fílmico Exterior 7.5 mph		0,25	
Enlucido exterior de Cemento	1,00	0,20	
Bloque de Concreto con Agregado de Piedras	12,00	1,28	63,00
Enlucido interior de Cemento	1,00	0,20	
Coeficiente fílmico Interior 1.14mph reposo		0,68	
Sumatoria Total =	14,00	2,61	63,00
	U=	**0,38**	

La Carga de Enfriamiento se calcula utilizando la Ecuación 2.4 donde los valores de DTE corregidos para las Paredes Externas son mostrados en el Apéndice A.14 y deben de ser multiplicados por el área total de acuerdo a la orientación y por el valor de U calculado previamente; diseñamos una Hoja Electrónica de Excel con su respectiva formulación y los resultados son presentados en la Tabla 12.

TABLA 12

CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO POR CONDUCCIÓN A TRAVES DE LAS PAREDES EXTERNAS DEL EDIFICIO

	Usol. = 0.45							**U somb. = 0.38**					
	A.M.							P.M.					
	6	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**

S	0	0	-341	0	341	1364	2387	3751	4433	5115	5797	5456	5115
N	0	0	-879	0	879	1758	2637	5273	7910	9668	11426	12304	13183
E	673	3366	5535	6059	6583	6474	6027	4085	2778	2985	3192	3173	3153
O	74	0	-83	74	232	481	730	1359	1823	2733	3345	3708	3923
	748	**3366**	**4232**	**6133**	**8035**	**10076**	**11781**	**14469**	**16944**	**20501**	**23760**	**24642**	25375

Hemos considerado para las paredes soleadas un peso de 20 Lb/ft^2 y para la pared sombreada 60 Lb/ft^2.

La Máxima Carga de Enfriamiento debido a la transmisión de calor por Conducción a través de las Paredes Externas del Edificio es de **25.375 Btu/hr** y ocurre a las 6:00 P.M.

Cálculo de la Carga de Enfriamiento por Conducción del Calor a través de las Paredes Exteriores e Interior de la Planta Baja del Edificio

Los planos arquitectónicos nos muestran las características geométricas que debemos considerar en el análisis de carga por conducción en Pb del edificio.

Observamos básicamente que el área de Pb está dividida en 2 zonas: el estacionamiento y las oficinas; siendo esta última la zona de nuestro interés, ya que en el estacionamiento se debería realizar un estudio de Ventilación Mecánica, y este análisis se encuentra fuera del alcance de nuestro proyecto.

Por lo tanto, todas las paredes externas que conforman la superficie limitante del estacionamiento, no forman parte de nuestros cálculos.

Sin embargo, las oficinas que deseamos climatizar limitan con el estacionamiento por una Pared Interna Este que si la consideraremos en el análisis.

Definiendo las orientaciones en Pb, se transmite el calor a través de las Paredes Externas Sur y Oeste las cuales se caracterizan por estar recubiertas de un material decorativo llamado Porcelanato como lo muestra el Plano 9; la Pared Norte que ya la hemos identificado como una pared sombreada; y la Pared Este por medio de la cual fluye el calor desde un espacio no acondicionado (el estacionamiento).

De los planos verificamos las dimensiones pertinentes y la Tabla 13 nos muestra el área de las paredes de Pb de acuerdo a la orientación.

TABLA 13

AREA DE LAS PAREDES DE PB

Orient.	Area (ft^2)
Norte Sombreada	1330,44
Sur	488,00

Porcelanato	
Este Interior	1221,92
Oeste Porcelanato	460,89

La descripción de los Componentes de las Paredes recubiertas con Porcelanato y de la Pared Interior en Pb, la obtenemos de la información técnica-civil del proyecto, y el espesor de las mismas, de los planos arquitectónicos. Los valores individuales de las Resistencias Térmicas son seleccionados del Apéndice A.16.

Las Figuras 2.5 y 2.6 muestran los diagramas esquemáticos de los Componentes de las Paredes recubiertas con Porcelanato y la Pared Interior Este y el cálculo de la Resistencia Térmica Total es presentado en las Tablas 14 y 15.

La Carga de Enfriamiento por conducción a través de las Paredes recubiertas con Porcelanato se calcula utilizando la Ecuación 2.4 donde los valores de DTE corregidos para las Paredes Externas son mostrados en el Apéndice A.14 y deben de ser multiplicados por el área total de las orientaciones Sur y

Oeste y por el valor de U calculado en la Tabla 14; de igual forma se realiza el cálculo para la Pared Sombreada Norte de Pb utilizando el valor de U calculado en la Tabla 11; diseñamos una Hoja Electrónica de Excel con su respectiva formulación y los resultados son presentados en la Tabla 16.

La Máxima Carga de Enfriamiento debido a la transmisión de calor por Conducción a través de las Paredes recubiertas de Porcelanato y la Pared Sombreada en Pb del Edificio es de **22.055 Btu/hr** y ocurre a las 6:00 P.M.

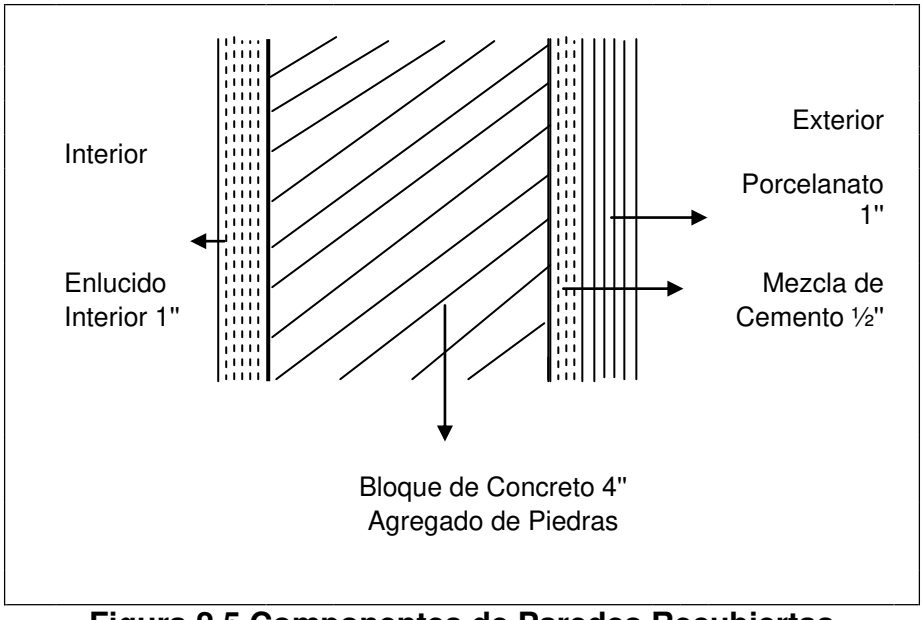

Figura 2.5 Componentes de Paredes Recubiertas con Porcelanato – Sur y Oeste PB

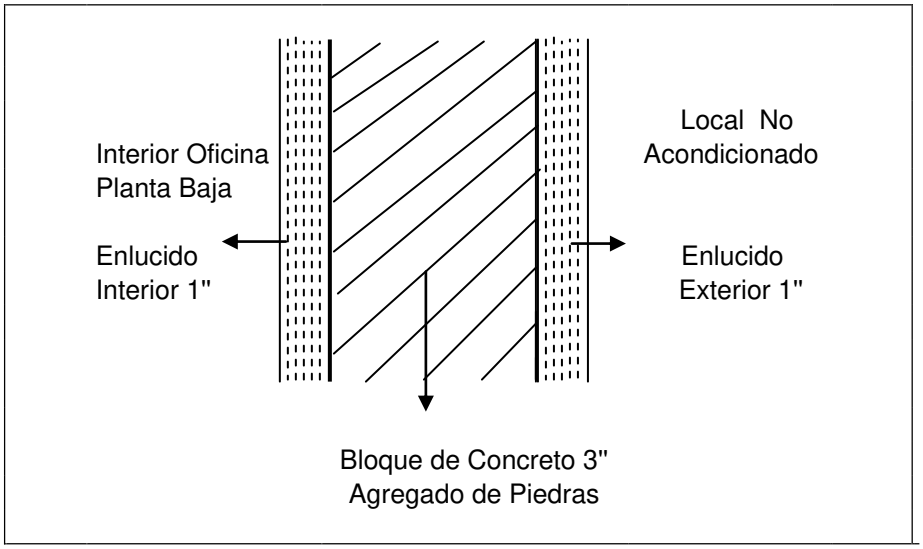

Figura 2.6 Componentes de Pared Interna – Este Pb

TABLA 14

CÁLCULO DE RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL PARA LA PARED RECUBIERTA PORCELANATO – SUR OESTE

Componentes	**Espesor (in)**	**R**	**W (Lb/ft^2)**
Coeficiente fìlmico Exterior 7.5mph		0,25	
Porcelanato	1,00	0,08	
Mezcla de Cemento	0,50	0,10	4,80
Bloque de Concreto con Agregado de Piedras	4,00	0,71	23,00
Enlucido interior de Cemento	1,00	0,20	
Coeficiente fìlmico Interior 1.14mph reposo		0,68	
Sumatoria Total =	6,50	2,02	27,80
	U=	**0,50**	

TABLA 15
CÁLCULO DE RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL PARA LA PARED INTERIOR - ESTE

Componentes	Espesor (in)	R	W (Lb/ft^2)
Coeficiente fílmico Exterior Local No Acond.		0,68	
Enlucido exterior de Cemento	1,00	0,20	
Bloque de Concreto con Agregado de Piedras	3,00	0,40	19,00
Enlucido interior de Cemento	1,00	0,20	
Coeficiente filmico Interior 1.14mph reposo		0,68	
Sumatoria Total =	5,00	2,16	19,00
	U=	**0,46**	

TABLA 16
CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO POR CONDUCCIÓN A TRAVES DE LAS PAREDES RECUBIERTAS CON PORCELANATO – SUR ESTE Y LA PARED SOMBREADA NORTE PB

	Uporcel.= 0.50							Usom.=0.38					
	A.M.							P.M.					
	6	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
S	0	0	-242	0	242	966	1691	2657	3141	3624	4107	3865	3624
N	0	0	-510	0	510	1019	1529	3058	4588	5607	6627	7136	7646
O	205	0	-228	205	637	1322	2006	3737	5011	7513	9196	10195	10785
	205	**0**	**-979**	**205**	**1389**	**3308**	**5227**	**9453**	**12740**	**16744**	**19930**	**21197**	**22055**

Para calcular la Carga de Enfriamiento a través de la pared interior Este debido al flujo de calor desde un espacio no acondicionado, se utiliza la **Ecuación 2.7**.

$$C = A \times U \times (T_{ex} - T_{in} - 5) \qquad (2.7)$$

Reemplazando los valores en la **Ecuación 2.7** :

$$C = 1.221,92 \times 0,46 \times (92 - 75 - 5)$$

$$C = 6.745 \text{ Btu / Hr}$$

La Carga de Enfriamiento debido a la transmisión de calor por Conducción desde un espacio no acondicionado a través de la Pared Interna orientación Este es de **6.745 Btu/hr.**

Cálculo de la Carga de Enfriamiento por Conducción del Calor a través de la Azotea

El Edificio experimenta una considerable Ganancia de Calor a través de la Azotea debido a su constante exposición al sol durante el día y por supuesto, al almacenamiento de calor en su estructura; desde el punto de vista individual, es en P5 donde esta carga se manifiesta y es necesario contrarrestar sus efectos.

La descripción de los Componentes de la Azotea, la obtenemos de la información técnica-civil del proyecto, y el espesor de la misma así como sus dimensiones, de los planos arquitectónicos; los valores individuales de las Resistencias Térmicas son seleccionados del Apéndice A.16. La Figura 2.7 muestra el diagrama esquemático de los Componentes de la Base de la Azotea y el cálculo de la Resistencia Térmica Total es presentado en la Tabla 17.

La Carga de Enfriamiento por Conducción a través de la Azotea se calcula utilizando la Ecuación 2.4 donde los valores de DTE corregidos para las Azoteas Expuestas al Sol de acuerdo a su peso son mostrados en el Apéndice A.15 y deben de ser multiplicados por el área total y por el valor de U calculado en la Tabla 17.

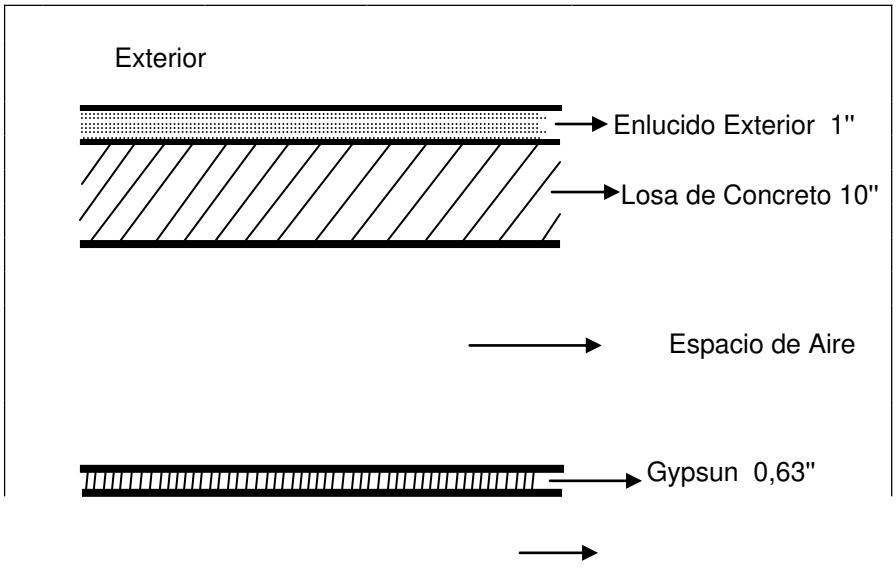

Figura 2.7 Componentes de la Base de la Azotea

TABLA 17
CÁLCULO DE RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL PARA LA BASE DE LA AZOTEA

Componentes	Espesor (in)	R	W - Lb/ft^2
Coeficiente fílmico Exterior 7.5 mph		0,25	
Enlucido exterior de cemento	1,00	0,20	
Losa de Concreto	10,00	1,19	53,00
Espacio de Aire		0,92	
Tumbado de Yeso	0,63	0,39	2,34
Coeficiente fílmico Interior 1.14mph reposo		0,92	
Sumatoria Total =	11,63	3,87	55,34
	U=	**0,26**	

Diseñamos una Hoja Electrónica de Excel con su respectiva formulación, seleccionamos los valores de DTE para un peso de 60 Lb./ft^2 y los resultados son presentados en la Tabla 18.

TABLA 18
CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO POR CONDUCCIÓN A TRAVES DE LA AZOTEA

	U = 0,26							A = 10.137,21 ft^2					
	A.M.							P.M.					
W-Lb/ft 2	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
60	30489	27948	22945	25486	28027	35728	48510	63912	76773	87093	97414	105115	**107734**

La Máxima Carga de Enfriamiento debido a la transmisión de calor por Conducción a través de la Azotea es de **107.734 Btu/hr** y ocurre a las 6:00 P.M.

Cálculo de la Carga de Enfriamiento por Conducción del Calor a través de la Losa de los Pisos

Cada uno de los pisos gana calor a través de la losa debido a la diferencia de temperaturas entre el espacio acondicionado y el espacio no acondicionado que normalmente se encuentra a una temperatura inferior a la externa.

La descripción de los Componentes de la Losa de los pisos, la obtenemos de la información técnica-civil del proyecto, y el espesor de la misma así como las dimensiones de cada piso, de los planos arquitectónicos.

Los valores individuales de las Resistencias Térmicas son seleccionados del Apéndice A.16.

La Figura 2.8 muestra el diagrama esquemático de los Componentes de la Losa de un piso y el cálculo de la Resistencia Térmica Total es presentado en la Tabla 19.

La Carga de Enfriamiento por Conducción a través de la Losa se calcula utilizando la Ecuación 2.7 donde el valor de A se calcula de acuerdo a las dimensiones de cada piso excluyendo el área de las escaleras y del tragaluz; U es calculado en la Tabla 19**.**

Realizamos los cálculos en una Hoja Electrónica de Excel con su respectiva formulación, y los resultados son presentados en la Tabla 20.

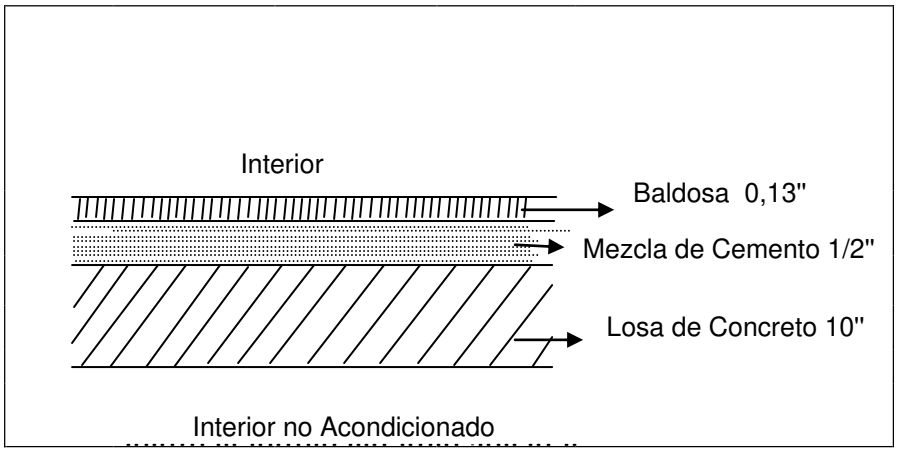

Figura 2.8 Componentes de la Losa de un Piso

TABLA 19

CÁLCULO DE RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL PARA LA LOSA DE LOS PISOS

Componentes	Espesor (in)	R	W-Lb/ft^2
Coeficiente fìlmico Interior 1.14mph reposo		0,61	
Baldosa	0,13	0,05	
Mezcla de Cemento	0,50	0,10	4,8
Losa de Concreto	10,00	1,19	53,00
Coeficiente fìlmico Interior 1.14mph reposo		0,61	
Sumatoria Total =	10,63	2,56	57,80
	U=	**0,39**	

TABLA 20
CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO POR CONDUCCIÓN A TRAVES DE LA LOSA DE LOS PISOS

U = 0,39	T_{ex}= 92ºF	T_{in} = 75ºF
	Area (ft^2)	Btu/Hr
Pb	3.856	18.073
P1	15.214	71.317
P2	14.392	67.464
P3	14.392	67.464
P4	14.392	67.464
P5	13.384	62.738

Ganancia Exterior por Ventilación

La introducción de aire exterior para ventilación del espacio es sumamente necesaria para diluir el mal olor emitido por las personas, el humo de los cigarrillos y otros contaminantes internos del aire.

La cantidad de ventilación requerida varia principalmente con el número total de personas, la altura del tumbado interior y el número de personas fumadoras.

En el Apéndice A.17 se muestra una tabla que es utilizada para determinar las cantidades de aire mínimas y recomendadas para una correcta ventilación del espacio y para diferentes tipos de aplicaciones. Estos datos se han desarrollado sobre la base de observaciones de aire externo requerido para mantener el nivel de malos olores dentro de un rango aceptable en presencia de personas fumadoras y no fumadoras.

Carga de Enfriamiento por Ventilación

El aire exterior que suministramos por ventilación contribuye con Calor Sensible y Latente en el espacio, siendo esta carga la más importante para nuestro análisis térmico.

La cantidad total de CFM depende del número de personas que se encuentran normalmente en el lugar durante el tiempo en el cual estamos estimando la carga.

El Calor Sensible por Ventilación se lo calcula mediante la Ecuación 2.8:

$$Qs = CFM \times \rho \times (Cpa + Cpw \times Wt) \times \Delta t \times 60 \qquad (2.8)$$

donde:

CFM = Cantidad total de aire suministrado de acuerdo al número de personas.

ρ = Densidad del aire estándar, 0.075 Lb/ft^3 .

Cpa = Calor específico del aire seco, 0.24 Btu/Lb ºF.

Cpw = Calor específico del vapor de agua, 0.45 Btu/Lb ºF

Wt = Razón de Humedad, 0.01 Grn/Lb.

Δt = Diferencia de temperatura externa e interna. ºF .

El Calor Latente por Ventilación se lo calcula mediante la Ecuación 2.9:

$$Ql = CFM \times \rho \times \Delta E \times \Delta Wt \times 60 \qquad (2.9)$$

donde:

CFM = Cantidad total de aire suministrado de acuerdo al número de personas.

ρ = Densidad del aire estándar, 0.075 Lb/ft^3 .

ΔE = Energía contenida en el aire a 50% de HR y 75 ºF menos la energía contenida en agua a 50 ºF, 1076

ΔWt = Diferencia de la Razón de Humedad, Grn/Lb.

Cálculo de la Carga de Enfriamiento por Ventilación en el Edificio

Aplicando las Ecuaciones 2.8 y 2.9 , calculamos la Carga Sensible y Latente por Ventilación que se necesita para producir las condiciones de confort en el Edificio; para su efecto, los valores de CFM son seleccionados del Apéndice A.17 de acuerdo al tipo de aplicación; el número de personas se determina aproximadamente de los planos arquitectónicos contando los escritorios de los diferentes departamentos más un 10% de visitantes.

Para nuestros cálculos, hemos considerado la cantidad de CFM para tres aplicaciones diferentes: hall, oficinas y sala de reuniones; adicionalmente para el P4 incluimos los CFM necesarios para las Aulas (509-510-511-514), el Auditorio

(512) y el Comedor (520), respectivamente, detalles que son mostrados en el Plano 5.

Utilizando una Hoja Electrónica de Excel con su respectiva formulación, presentamos los resultados del cálculo de Carga por Ventilación en la Tabla 21.

2.5.2 Cargas del Espacio Interno

Son las Ganancias de Calor que se generan dentro del espacio que deseamos acondicionar, básicamente debido a las personas, luces, motores eléctricos y en algunos casos, herramientas e instrumentos; el análisis térmico se define por la evaluación de las cargas para los momentos en que la ganancia pudiera ser máxima.

TABLA 21

CÁLCULO DE CARGA DE ENFRIAMIENTO POR VENTILACIÓN EN EL EDIFICIO

Aplicación	Número de Personas	CFM Tot. por Personas	Qs Btu/hr	Ql Btu/hr
Pb				
Oficinas	19	285	5.330	13.794
P1				
Halles	20	200	3.740	9.680
Sala Reuniones	8	240	4.488	11.616
Oficinas	149	2.235	41.795	108.174
TOTAL	177	2.675	**50.023**	**129.470**
P2				

Halles	24	240	4.488	11.616
Sala Reuniones	64	1.920	35.904	92.928
Oficinas	132	1.980	37.026	95.832
TOTAL	220	4.140	**77.418**	**200.376**
P3				
Halles	23	230	4.301	11.132
Sala Reuniones	17	510	9.537	24.684
Oficinas	156	2.340	43.758	113.256
TOTAL	196	3.080	**57.596**	**149.072**
P4				
Halles	13	130	2.431	6.292
Sala Reuniones	8	240	4.488	11.616
Oficinas	72	1.080	20.196	52.272
TOTAL	93	1.450	**27.115**	**70.180**
Auditorio	100	750	**14.025**	**36.300**
Aulas	110	825	**15.428**	**39.930**
Comedor	116	1.392	**26.030**	**67.373**
P5				
Halles	15	150	2.805	7.260
Sala Reuniones	20	600	11.220	29.040
Oficinas	95	1.425	26.648	68.970
TOTAL	130	2.175	**40.673**	**105.270**

Diversidad de la Carga de Enfriamiento

Las diferentes cargas que afectan el comportamiento térmico del espacio causan que las Máximas Ganancias de Calor no ocurran simultáneamente durante la hora de diseño.

Es poco probable que todas las personas estén presentes en el Edificio y que todas las luces estén encendidas a una hora determinada. Por lo tanto, la Diversidad debe de ser considerada para la selección del equipo.

En el Apéndice A.18 se muestra los valores típicos del Factor de Diversidad para las personas y las luces dependiendo del tipo de aplicación. Estos datos son usados por el diseñador de acuerdo a su experiencia.

Ganancia Interna de Calor por Personas

Las personas que ocupan el espacio que debe ser acondicionado contribuyen con cantidades importantes de Calor Sensible y Calor Latente, que aumenta la Carga total de Enfriamiento de dicho espacio.

El calor es generado dentro del cuerpo humano por oxidación, comúnmente llamado como proceso de metabolismo, que varía con cada individuo y con su nivel de actividad.

El Apéndice A.19 nos proporciona información sobre la Ganancia de Calor debido a las Personas para diferentes aplicaciones típicas.

El cálculo de la Carga Térmica debe basarse en el número promedio de personas dentro del espacio durante el período de máxima carga; para su efecto, las condiciones interiores de

diseño y el grado de actividad de los ocupantes deben ser conocidos.

Carga de Enfriamiento por Personas

Para calcular la Carga de Enfriamiento que contrarreste el Calor Sensible y Latente producidos por las personas, utilizamos las Ecuaciones 2.10 y 2.11 respectivamente :

$$Csp = N \times Gs \times Fa \times Fd \qquad (2.10)$$

$$Clp = N \times Gl \times Fd \qquad (2.11)$$

donde:

N = Número de personas .

Gs = Ganancia Sensible de Calor por Personas, Btu/hr.

Gl = Ganancia Latente de Calor por Personas, Btu/hr .

Fa = Factor de Almacenamiento para la Carga por Personas.

Fd = Factor de Diversidad .

Las Ganancias de Calor Sensible y Latente son seleccionadas del Apéndice A.19; el Factor de Diversidad debe ser

seleccionado de acuerdo a un buen criterio, del Apéndice A.18.

Los Factores de Almacenamiento son presentados en el Apéndice A.20 y deben ser multiplicados por Gs, porque Gl puede considerarse directamente como una Carga de Enfriamiento.

Los valores de Fa deben seleccionarse de acuerdo a las horas de operación del equipo climatizador, las horas de permanencia de las personas en el lugar y el peso de la estructura.

Cálculo de la Carga de Enfriamiento por Personas en el Edificio

Para nuestro análisis de Carga por Personas en el Edificio, debemos definir primeramente de una manera aproximada el número de personas por piso, siendo lo más importante, el grado de actividad de las mismas, con la finalidad de seleccionar una Ganancia de calor conveniente.

En términos generales , resumiremos los grados de actividad de las personas dentro de las siguientes categorías : Trabajos de Oficina, Caminata Lenta Parado (visitantes), Sentado en Reposo (Aulas y Auditorio) y Trabajo Sedentario (Comedor).

Para los cálculos hemos diseñado una Hoja Electrónica de Excel seleccionando como Fd el valor de 0.75 excepto para Pb, Auditorio, Aulas y Comedor de P4 donde Fd es 1.

La Tabla 22 muestra los resultados del calculo multiplicativo entre las Ganancias Sensibles y Latentes, el Número de Personas y Fa para cada uno de los pisos.

TABLA 22

CÁLCULO MULTIPLICATIVO ENTRE GANANCIAS, NÚMERO DE PERSONAS

Y FACTOR DE DIVERSIDAD, POR PISO

Ubicación en el Edificio	N		N x Gs x Fd / N X Gl x Fd				Ganancia Sensible Total Btu/hr	Ganancia Latente Total Btu/hr
			Trabajador Oficina		Parado Caminando Lento			
	Trabajador de Oficina	Parado Caminando Lento	Sensible Btu/Hr	Latente Btu/Hr	Sensible Btu/Hr	Latente Btu/Hr		
Pb	4	15	980	820	3.825	3.675	**4.805**	**4.495**
P1	157	20	28.849	24.139	3.825	3.675	**32.674**	**27.814**
P2	196	24	36.015	30.135	4.590	4.410	**40.605**	**34.545**
P3	173	23	31.789	26.599	4.399	4.226	**36.188**	**30.825**
P4	80	13	14.700	12.300	2.486	2.389	**17.186**	**14.689**
P5	115	15	21.131	17.681	2.869	2.756	**24.000**	**20.438**

Ubicación en P4	Sentado en Reposo	Trabajo Sedentario	Sentado en Reposo		Trabajo Sedentario		Ganancia Sensible Total Btu/hr	Ganancia Latente Total Btu/hr
	Sentado en Reposo	Trabajo Sedentario	Sensible Btu/Hr	Latente Btu/Hr	Sensible Btu/Hr	Latente Btu/Hr		
Aulas	110		25.300	13.200			**25.300**	**13.200**
Auditorio	100		23.000	12.000			**23.000**	**12.000**
Comedor		116			32.480	31.320	**32.480**	**31.320**

Hemos mencionado que la Ganancia Latente puede considerarse directamente como Carga de Enfriamiento; sin embargo la Ganancia Sensible debe ser multiplicada por Fa.

Para un tiempo de operación del equipo climatizador de 12 horas, un tiempo de permanencia de las personas en el Edificio de 8 horas y un peso de la estructura de 30 Lb/ft^2, la Tabla 23 muestra los resultados finales de la Carga de Enfriamiento por Personas.

Es importante destacar que para el Auditorio, Aulas y Comedor en P4, hemos seleccionado un valor de Fa igual a 1 porque la carga debe de ser calculada para la condición térmica máxima.

Las Máximas Cargas Sensibles ocurren después de 8 horas de permanencia de las personas en los diferentes pisos, es decir a las 4:00 P.M.

TABLA 23
CÁLCULO DE CARGA DE ENFRIAMIENTO POR PERSONAS EN EL EDIFICIO

Ubic.	# horas después que personas entran													Cpl	C
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Btu/hr	Btu/hr
	Carga Sensible Btu/hr														
Pb	1.586	3.796	4.180	4.373	4.469	4.565	4.661	4.661	***4.709***	1.249	817	577	0	**4.495**	***9.204***
P1	10.782	25.812	28.426	29.733	30.387	31.040	31.694	31.694	***32.020***	8.495	5.555	3.921	0	**27.814**	***59.834***
P2	13.400	32.078	35.326	36.951	37.763	38.575	39.387	39.387	***39.793***	10.557	6.903	4.873	0	**34.545**	***74.338***
P3	11.942	28.588	31.483	32.931	33.654	34.378	35.102	35.102	***35.464***	9.409	6.152	4.343	0	**30.825**	***66.289***
P4	5.671	13.577	14.952	15.639	15.983	16.327	16.671	16.671	***16.843***	4.468	2.922	2.062	0	**14.689**	***31.532***
P5	7.920	18.960	20.880	21.840	22.320	22.800	23.280	23.280	***23.520***	6.240	4.080	2.880	0	**20.438**	***43.958***

Ganancia Interna de Calor por Luces

Las luces generan Calor Sensible por la conversión de la Potencia Eléctrica de entrada en luz y calor. El calor es disipado por radiación hacia las superficies circundantes, por conducción hacia los materiales adyacentes y por convección hacia el aire. La porción radiante de la carga debida a las luces es parcialmente almacenada, y la porción convectiva puede ser estratificada.

Las luces incandescentes convierten aproximadamente el 10% de la potencia eléctrica de entrada en luz y el resto es generado como calor en el bulbo y disipado por radiación, conducción y convección. De hecho, alrededor de un 80% de la potencia es disipada por radiación y solamente un 10% por conducción y convección.

Las luces fluorescentes convierten alrededor del 25% de la potencia de entrada en luz y un 25% es disipado por radiación hacia las superficies circundantes; el otro 50% es disipado por conducción y convección. Adicionalmente, un 25% más de calor es generado en el lastre de la lámpara fluorescente.

Para calcular la Ganancia de Calor debido a las Luces tanto fluorescentes como incandescentes utilizamos las Ecuaciones 2.12 y 2.13 respectivamente.

$$Gf = \text{Watts Total} \times 1.25 \times 3.4 \qquad (2.12)$$

$$Gi = \text{Watts Total} \times 3.4 \qquad (2.13)$$

Carga de Enfriamiento por las Luces Fluorescentes

La Carga de Enfriamiento por Luces Fluorescentes la calculamos utilizando la Ecuación 2.14 :

$$C = Gf \times Fa \times Fd \qquad (2.14)$$

donde:

Gf = Ganancia por Luces Fluorescentes, Btu/hr

Fa = Factor de Almacenamiento para Luces

Fd = Factor de Diversidad para Luces

Tanto Fd como Fa son obtenidos del Apéndice A.18 y A.20 respectivamente.

Cálculo de la Carga de Enfriamiento por las Luces Fluorescentes en el Edificio

Primeramente debemos calcular Gf para cada uno de los pisos; para su efecto necesitamos determinar la Potencia Eléctrica Total (Watts) de las luces fluorescentes.

Los planos arquitectónicos y la información técnica del Edificio no nos proporcionan detalles precisos sobre el sistema de iluminación; sin embargo podemos estimar aproximadamente la cantidad de potencia necesaria para iluminar cada piso conociendo el área de construcción y aplicando un criterio empírico de 2 watts por cada ft^2.

Utilizando la Ecuación 2.12 y diseñando una Hoja Electrónica de Excel, el cálculo de Gf se muestra en la Tabla 24 para cada uno de los pisos.

Finalmente seleccionamos los valores de Fa del Apéndice A.20 con las mismas consideraciones que utilizamos para las personas: un tiempo de operación del equipo climatizador de 12 horas, un tiempo en el cual las luces fluorescentes permanecerán encendidas de 8 horas y un peso de la estructura de 30 Lb/ft^2 .

TABLA 24
CÁLCULO DE GANANCIA DE CALOR POR LUCES FLUORESCENTES EN EL EDIFICIO

Ubicación	Area de Construcción ft^2	Watts Total 2 W/ft^2	Gf Btu/hr
Pb	3.855,60	7.711,19	**32.772,56**
P1	16.254,01	32.508,01	**138.159,05**
P2	15.432,17	30.864,34	**131.173,46**
P3	15.432,17	30.864,34	**131.173,46**
P4	10.418,00	20.836,01	**88.553,04**
Auditorio	1.354,16	2.708,32	**11.510,36**
Aulas	1.902,09	3.804,17	**16.167,72**
Comedor	1.757,92	3.515,85	**14.942,34**
P5	14.423,89	28.847,79	**122.603,10**

De igual manera el valor de Fa y Fd para el cálculo de la Carga en el Auditorio, Aulas y Comedor de P4 es igual a 1; por lo tanto, para estos espacios, consideraremos Gf directamente como la Carga de Enfriamiento.

Para un tipo de aplicación de Oficina, seleccionamos del Apéndice A.18 un Fd igual 0.85 y los resultados del cálculo de Carga los presentamos en la Tabla 25.

Las Máximas Cargas Sensibles ocurren después de 8 horas de permanecer encendidas las Luces Fluorescentes de los diferentes pisos, es decir a las 4:00 P.M.

TABLA 25

CÁLCULO DE CARGA DE ENFRIAMIENTO POR LUCES FLUORESCENTES EN EL EDIFICIO

Fd = 0,85	# horas después que las luces son encendidas												
Ubicación	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Carga Sensible Btu/hr												
Pb	9193	22007	24235	25350	25907	26464	27021	27021	**27300**	7243	4736	3343	0
P1	38754	92774	102169	106866	109215	111563	113912	113912	**115086**	30533	19964	14092	0
P2	36794	88083	97003	101463	103693	105923	108153	108153	**109267**	28989	18955	13380	0
P3	36794	88083	97003	101463	103693	105923	108153	108153	**109267**	28989	18955	13380	0
P4	24839	59463	65485	68496	70001	71507	73012	73012	**73765**	19570	12796	9032	0
P5	34390	82328	90665	94834	96918	99002	101086	101086	**102128**	27095	17716	12506	0

2.5.3 Factor de Seguridad

Cuando realizamos el cálculo de Carga Térmica, es evidente que los criterios y procedimientos utilizados nos permiten obtener una estimación aproximada del efecto físico que intentamos medir; no obstante, es posible que existan Ganancias de Calor que no podamos cuantificar por diferentes motivos; por ejemplo, quizás el número exacto de personas, el funcionamiento de maquinaria eléctrica, la posibilidad que en un futuro se construyan edificios adyacentes, en fin, una serie de factores que no podemos evaluar con exactitud podrían convertirse en fuentes de calor y afectar considerablemente nuestros cálculos.

Por esta razón, se recomienda que en el Análisis Térmico, se incluya un Factor de Seguridad mínimo del 10% de la Carga total de Enfriamiento como una forma de considerar las cargas que eventualmente no podríamos medir.

2.6 Balanceamiento de la Carga de Enfriamiento

En los párrafos anteriores, hemos definido las cargas que afectan directamente el proceso de climatización; de hecho, se ha calculado la Carga de Enfriamiento debido a cada una de las posibles Ganancias de Calor, sean estas externas o internas.

No obstante, para dimensionar los equipos climatizadores, es necesario determinar el valor de la Carga Máxima total y en que momento se produce. Observamos de nuestros cálculos que la Máxima Carga debido a la Radiación a través de los Vidrios se produce a las 9:00 A.M.; a través de las Paredes Externas, 6:00 P.M.; a través de los Bloques de Vidrio, 1:00 P.M. ; por Personas y Luces, 4:00 P.M.

Los máximos valores de carga se producen en diferentes momentos del día; por lo tanto, determinamos la Carga total de Enfriamiento para el Edificio realizando un Balanceamiento Térmico por pisos.

El Balance Térmico consiste en sumar todas las cargas calculadas en cada uno de los momentos del día, durante el tiempo de operación del equipo, es decir, 12 horas; de esta manera , determinamos la Hora de Diseño.

Las Tablas 26 a la 31 nos muestran los resultados del Balanceamiento Térmico de Pb y cada uno de los Pisos que conforman el Edificio.

TABLA 26
BALANCE TÉRMICO PB

CARGA	A.M.						P.M.						
Btu/hr	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Rad. BdV													
Sur	0	3953	5710	6500	10365	12102	12981	**13117**	13098	12903	11956	10043	5778
Trans. BdV	182	182	547	911	1275	1822	2186	2733	2915	3097	**3097**	2915	2733
Losa	18073	18073	18073	18073	18073	18073	18073	18073	18073	18073	18073	18073	18073
Paredes Ext.													
Porcelanato													
Sur	0	0	-242	0	242	966	1691	2657	3141	3624	4107	3865	3624
Oeste	205	0	-228	205	637	1322	2006	3737	5011	7513	9196	10195	10785
	205	0	-470	205	879	2288	3697	6394	8152	11136	13303	14060	**14409**
Pared Inter.													
Este	6745	6745	6745	6745	6745	6745	6745	6745	6745	6745	6745	6745	6745
Paredes Ext.													
Norte	0	0	-510	0	510	1019	1529	3058	4588	5607	6627	7136	**7646**
Luces	0	0	9193	22007	24235	25350	25907	26464	27021	27021	**27300**	7243	4736
Personas													
Sensible	0	0	1586	3796	4180	4373	4469	4565	4661	4661	4709	1249	817
Latente	0	0	4495	4495	4495	4495	4495	4495	4495	4495	4495	4495	4495
	0	0	6081	8291	8675	8868	8964	9060	9156	9156	**9204**	5744	5312
Ventilación													
Sensible	5330	5330	5330	5330	5330	5330	5330	5330	5330	5330	5330	5330	5330
Latente	13794	13794	13794	13794	13794	13794	13794	13794	13794	13794	13794	13794	13794
	19124	19124	19124	19124	19124	19124	19124	19124	19124	19124	19124	19124	19124
Total	44329	48077	64492	81855	89881	95391	99206	104768	108871	112862	**115428**	91084	84555
FS 10%	48761	52884	70941	90041	98869	104930	109126	115245	119758	124148	**126971**	100192	93010

TABLA 27
BALANCE TÉRMICO P1

CARGA	A.M.						P.M.						
Btu/hr	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Rad. Ve													
Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sur	0	8174	11806	13441	14168	14531	14894	14531	14168	13441	11806	8174	0
Este	0	8395	11789	10695	5912	1808	342	260	219	178	118	53	0
Oeste	0	86	115	109	100	82	76	397	1715	3791	5053	4133	0
	0	16655	23711	**24245**	20180	16421	15313	15187	16102	17410	16977	12359	0
Rad. Vn													
Norte	0	8947	12923	14712	15508	15905	16303	15905	15508	14712	12923	8947	0
Sur	0	25399	36687	41767	44025	45154	46282	45154	44025	41767	36687	25399	0
Este	0	25189	35371	32088	17738	5426	1027	781	657	534	355	158	0
Oeste	0	253	341	322	295	243	225	1171	5067	11201	14927	12210	0
	0	59787	85322	**88889**	77566	66727	63838	63011	65257	68214	64892	46714	0
Trans. Ve	301	301	902	1503	2105	3006	3608	4510	4810	5111	**5111**	4810	4510
Trans. Vn	1288	1288	3865	6442	9019	12884	15461	19326	20614	21903	**21903**	20614	19326
Losa	71317	71317	71317	71317	71317	71317	71317	71317	71317	71317	71317	71317	71317
Paredes Ext.													
Norte	0	0	-879	0	879	1758	2637	5273	7910	9668	11426	12304	13183
Sur	0	0	-341	0	341	1364	2387	3751	4433	5115	5797	5456	5115
Este	673	3366	5535	6059	6583	6474	6027	4085	2778	2985	3192	3173	3153
Oeste	74	0	-83	74	232	481	730	1359	1823	2733	3345	3708	3923
	748	3366	4232	6133	8035	10076	11781	14469	16944	20501	23760	24642	**25375**
Luces	0	0	38754	92774	102169	106866	109215	111563	113912	113912	**115086**	30533	19964
Personas													
Sensible	0	0	10782	25812	28426	29733	30387	31040	31694	31694	32020	8495	5555
Latente	0	0	27814	27814	27814	27814	27814	27814	27814	27814	27814	27814	27814
	0	0	38596	53626	56240	57547	58200	58854	59507	59507	**59834**	36309	33368
Ventilación													
Sensible	50023	50023	50023	50023	50023	50023	50023	50023	50023	50023	50023	50023	50023
Latente	129470	129470	129470	129470	129470	129470	129470	129470	129470	129470	129470	129470	129470
	179493	179493	179493	179493	179493	179493	179493	179493	179493	179493	179493	179493	179493
Total	253146	332206	446191	524421	526121	524337	528224	537729	547956	557367	558373	426791	353352
FS 10%	278460	365427	490810	576864	578733	576771	581046	591502	602751	613104	**614210**	469470	388687

TABLA 28
BALANCE TÉRMICO P2

CARGA	A.M.						P.M.						
Btu/hr	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Rad. Ve													
Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sur	0	8174	11806	13441	14168	14531	14894	14531	14168	13441	11806	8174	0
Este	0	8395	11789	10695	5912	1808	342	260	219	178	118	53	0
Oeste	0	86	115	109	100	82	76	397	1715	3791	5053	4133	0
	0	16655	23711	**24245**	20180	16421	15313	15187	16102	17410	16977	12359	0
Rad. Vn													
Norte	0	8947	12923	14712	15508	15905	16303	15905	15508	14712	12923	8947	0
Sur	0	25399	36687	41767	44025	45154	46282	45154	44025	41767	36687	25399	0
Este	0	25189	35371	32088	17738	5426	1027	781	657	534	355	158	0
Oeste	0	253	341	322	295	243	225	1171	5067	11201	14927	12210	0
	0	59787	85322	**88889**	77566	66727	63838	63011	65257	68214	64892	46714	0
Trans. Ve	301	301	902	1503	2105	3006	3608	4510	4810	5111	**5111**	4810	4510
Trans. Vn	1288	1288	3865	6442	9019	12884	15461	19326	20614	21903	**21903**	20614	19326
Losa	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464
Paredes Ext.													
Norte	0	0	-879	0	879	1758	2637	5273	7910	9668	11426	12304	13183
Sur	0	0	-341	0	341	1364	2387	3751	4433	5115	5797	5456	5115
Este	673	3366	5535	6059	6583	6474	6027	4085	2778	2985	3192	3173	3153
Oeste	74	0	-83	74	232	481	730	1359	1823	2733	3345	3708	3923
	748	3366	4232	6133	8035	10076	11781	14469	16944	20501	23760	24642	**25375**
Luces	0	0	36794	88083	97003	101463	103693	105923	108153	108153	**109267**	28989	18955
Personas													
Sensible	0	0	13400	32078	35326	36951	37763	38575	39387	39387	39793	10557	6903
Latente	0	0	34545	34545	34545	34545	34545	34545	34545	34545	34545	34545	34545
	0	0	47945	66623	69871	71496	72308	73120	73932	73932	**74338**	45102	41448
Ventilación													
Sensible	77418	77418	77418	77418	77418	77418	77418	77418	77418	77418	77418	77418	77418
Latente	200376	200376	200376	200376	200376	200376	200376	200376	200376	200376	200376	200376	200376
	277794	277794	277794	277794	277794	277794	277794	277794	277794	277794	277794	277794	277794
Total	347595	426655	548029	627177	629036	627332	631258	640804	651070	660481	**661507**	528490	454871
FS 10%	382354	469321	602832	689894	691940	690065	694384	704884	716177	726530	**727657**	581339	500358

TABLA 29
BALANCE TÉRMICO P3

CARGA	A.M.						P.M.						
Btu/hr	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Rad. Ve													
Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sur	0	8174	11806	13441	14168	14531	14894	14531	14168	13441	11806	8174	0
Este	0	8395	11789	10695	5912	1808	342	260	219	178	118	53	0
Oeste	0	86	115	109	100	82	76	397	1715	3791	5053	4133	0
	0	16655	23711	**24245**	20180	16421	15313	15187	16102	17410	16977	12359	0
Rad. Vn													
Norte	0	8947	12923	14712	15508	15905	16303	15905	15508	14712	12923	8947	0
Sur	0	25399	36687	41767	44025	45154	46282	45154	44025	41767	36687	25399	0
Este	0	25189	35371	32088	17738	5426	1027	781	657	534	355	158	0
Oeste	0	253	341	322	295	243	225	1171	5067	11201	14927	12210	0
	0	59787	85322	**88889**	77566	66727	63838	63011	65257	68214	64892	46714	0
Trans. Ve	301	301	902	1503	2105	3006	3608	4510	4810	5111	**5111**	4810	4510
Trans. Vn	1288	1288	3865	6442	9019	12884	15461	19326	20614	21903	**21903**	20614	19326
Losa	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464
Paredes Ext.													
Norte	0	0	-879	0	879	1758	2637	5273	7910	9668	11426	12304	13183
Sur	0	0	-341	0	341	1364	2387	3751	4433	5115	5797	5456	5115
Este	673	3366	5535	6059	6583	6474	6027	4085	2778	2985	3192	3173	3153
Oeste	74	0	-83	74	232	481	730	1359	1823	2733	3345	3708	3923
	748	3366	4232	6133	8035	10076	11781	14469	16944	20501	23760	24642	**25375**
Luces	0	0	36794	88083	97003	101463	103693	105923	108153	108153	**109267**	28989	18955
Personas													
Sensible	0	0	11942	28588	31483	32931	33654	34378	35102	35102	35464	9409	6152
Latente	0	0	30825	30825	30825	30825	30825	30825	30825	30825	30825	30825	30825
	0	0	42767	59413	62308	63756	64479	65203	65927	65927	**66289**	40234	36977
Ventilaciòn													
Sensible	57596	57596	57596	57596	57596	57596	57596	57596	57596	57596	57596	57596	57596
Latente	149072	149072	149072	149072	149072	149072	149072	149072	149072	149072	149072	149072	149072
	206668	206668	206668	206668	206668	206668	206668	206668	206668	206668	206668	206668	206668
Total	276469	355529	471725	548841	550347	548466	552304	561761	571939	581350	**582332**	452495	379274
FS 10%	304116	391082	518898	603725	605381	603312	607534	617937	629133	639485	**640565**	497744	417201

TABLA 30
BALANCE TÉRMICO P4

CARGA	A.M.						P.M.						
Btu/hr	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Rad. Ve													
Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sur	0	8174	11806	13441	14168	14531	14894	14531	14168	13441	11806	8174	0
Este	0	8395	11789	10695	5912	1808	342	260	219	178	118	53	0
Oeste	0	86	115	109	100	82	76	397	1715	3791	5053	4133	0
	0	16655	23711	**24245**	20180	16421	15313	15187	16102	17410	16977	12359	0
Rad. Vn													
Norte	0	8947	12923	14712	15508	15905	16303	15905	15508	14712	12923	8947	0
Sur	0	25399	36687	41767	44025	45154	46282	45154	44025	41767	36687	25399	0
Este	0	25189	35371	32088	17738	5426	1027	781	657	534	355	158	0
Oeste	0	253	341	322	295	243	225	1171	5067	11201	14927	12210	0
	0	59787	85322	**88889**	77566	66727	63838	63011	65257	68214	64892	46714	0
Trans. Ve	301	301	902	1503	2105	3006	3608	4510	4810	5111	**5111**	4810	4510
Trans. Vn	1288	1288	3865	6442	9019	12884	15461	19326	20614	21903	**21903**	20614	19326
Losa	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464	67464
Paredes Ext.													
Norte	0	0	-879	0	879	1758	2637	5273	7910	9668	11426	12304	13183
Sur	0	0	-341	0	341	1364	2387	3751	4433	5115	5797	5456	5115
Este	673	3366	5535	6059	6583	6474	6027	4085	2778	2985	3192	3173	3153
Oeste	74	0	-83	74	232	481	730	1359	1823	2733	3345	3708	3923
	748	3366	4232	6133	8035	10076	11781	14469	16944	20501	23760	24642	**25375**
Luces													
Oficinas	0	0	24839	59463	65485	68496	70001	71507	73012	73012	73765	19570	12796
Auditorio	0	0	11510	11510	11510	11510	11510	11510	11510	11510	11510	11510	11510
Aulas	0	0	16168	16168	16168	16168	16168	16168	16168	16168	16168	16168	16168
Comedor	0	0	14942	14942	14942	14942	14942	14942	14942	14942	14942	14942	14942
	0	0	67459	102083	108105	111116	112621	114127	115632	115632	**116385**	62190	55416
Personas													
Oficinas	0	0	20360	28266	29641	30328	30672	31016	31359	31359	31531	19157	17610
Auditorio	0	0	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000
Aulas	0	0	38500	38500	38500	38500	38500	38500	38500	38500	38500	38500	38500
Comedor	0	0	63800	63800	63800	63800	63800	63800	63800	63800	63800	63800	63800
	0	0	157660	165566	166941	167628	167972	168316	168659	168659	**168831**	156457	154910
Ventilación													
Oficinas	97295	97295	97295	97295	97295	97295	97295	97295	97295	97295	97295	97295	97295
Auditorio	50325	50325	50325	50325	50325	50325	50325	50325	50325	50325	50325	50325	50325
Aulas	55358	55358	55358	55358	55358	55358	55358	55358	55358	55358	55358	55358	55358
Comedor	93403	93403	93403	93403	93403	93403	93403	93403	93403	93403	93403	93403	93403

	296381	296381	296381	296381	296381	296381	296381	296381	296381	296381	296381	296381	296381
Total	366182	445242	706996	758707	755795	751705	754438	762791	771864	781275	**781704**	691632	623382
FS 10%	402800	489766	777696	834578	831374	826875	829882	839070	849050	859403	**859875**	760796	685720

TABLA 31
BALANCE TÉRMICO P5

CARGA	**A.M.**						**P.M.**						
Btu/hr	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Rad. Ve													
Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sur	0	8174	11806	13441	14168	14531	14894	14531	14168	13441	11806	8174	0
Este	0	8395	11789	10695	5912	1808	342	260	219	178	118	53	0
Oeste	0	86	115	109	100	82	76	397	1715	3791	5053	4133	0
	0	16655	23711	**24245**	20180	16421	15313	15187	16102	17410	16977	12359	0
Rad. Vn													
Norte	0	8947	12923	14712	15508	15905	16303	15905	15508	14712	12923	8947	0
Sur	0	25399	36687	41767	44025	45154	46282	45154	44025	41767	36687	25399	0
Este	0	25189	35371	32088	17738	5426	1027	781	657	534	355	158	0
Oeste	0	253	341	322	295	243	225	1171	5067	11201	14927	12210	0
	0	59787	85322	**88889**	77566	66727	63838	63011	65257	68214	64892	46714	0
Trans. Ve	301	301	902	1503	2105	3006	3608	4510	4810	5111	**5111**	4810	4510
Trans. Vn	1288	1288	3865	6442	9019	12884	15461	19326	20614	21903	**21903**	20614	19326
Losa	62738	62738	62738	62738	62738	62738	62738	62738	62738	62738	62738	62738	62738
Paredes Ext.													
Norte	0	0	-879	0	879	1758	2637	5273	7910	9668	11426	12304	13183
Sur	0	0	-341	0	341	1364	2387	3751	4433	5115	5797	5456	5115
Este	673	3366	5535	6059	6583	6474	6027	4085	2778	2985	3192	3173	3153
Oeste	74	0	-83	74	232	481	730	1359	1823	2733	3345	3708	3923
	748	3366	4232	6133	8035	10076	11781	14469	16944	20501	23760	24642	**25375**
Azotea	30489	27948	22945	25486	28027	35728	48510	63912	76773	87093	97414	105115	**107734**
Luces	0	0	34390	82328	90665	94834	96918	99002	101086	101086	**102128**	27095	17716
Personas													
Sensible	0	0	7920	18960	20880	21840	22320	22800	23280	23280	23520	6240	4080
Latente	0	0	20438	20438	20438	20438	20438	20438	20438	20438	20438	20438	20438
	0	0	28358	39398	41318	42278	42758	43238	43718	43718	**43958**	26678	24518
Ventilación													
Sensible	40673	40673	40673	40673	40673	40673	40673	40673	40673	40673	40673	40673	40673
Latente	105270	105270	105270	105270	105270	105270	105270	105270	105270	105270	105270	105270	105270
	145943	145943	145943	145943	145943	145943	145943	145943	145943	145943	145943	145943	145943

Total	241506	318025	412405	483105	485593	490634	506865	531335	553984	573716	584823	476708	407858
FS 10%	265657	349828	453646	531415	534153	539698	557552	584468	609383	631088	**643305**	524378	448644

2.7 Criterio para seleccionar la Capacidad de las Unidades Manejadoras de Aire

La Capacidad de la UMA esta en función de la Carga de Enfriamiento; su selección se define de acuerdo a la cantidad de calor que necesitamos remover del espacio para garantizar las condiciones de confort; sin embargo, el área de construcción de cada uno de los pisos es considerable, por lo tanto, dividiremos la Carga de Enfriamiento total para dos unidades de climatización excepto Pb . En P4 se considera una UMA para las Oficinas Generales y tres UMAS independientes para el Auditorio, las Aulas y el Comedor. La Tabla 32 muestra la capacidad y la numeración de las UMAS que conforman el Sistema de Climatización.

TABLA 32

CAPACIDAD DE UMAS

Nº Uma	Btu/hr	Ubicación
1	126.971	Pb
2	307.105	P1
3	307.105	P1
4	363.829	P2
5	363.829	P2
6	320.282	P3
7	320.282	P3
8	372.530	P4 Oficinas
9	126.329	P4 Auditorio
10	147.443	P4 Aulas
11	213.572	P4 Comedor

12	321.653	P5
13	321.653	P5

2.8 Criterio para seleccionar la Capacidad de los Enfriadores de Agua

La Capacidad de los Enfriadores es determinada considerando el Edificio como un sólido macizo y evaluando todas las cargas externas e internas , excepto la Carga de Enfriamiento debido a la Transferencia de Calor a través de la Losa de cada piso porque estamos asumiendo que no existen divisiones internas.

De las resultados del Balanceamiento Térmico para cada piso, a la Carga total le restamos la carga debido a la Transferencia de Calor a través de la Losa ; sumamos los valores parciales de carga, añadimos un Factor de Seguridad recomendado y la Capacidad de los Enfriadores es calculada y presentada en la Tabla 33 .

De igual manera que para las UMAS, dividimos la carga para dos Unidades de Enfriamiento por una razón de eficiencia y seguridad.

TABLA 33
CAPACIDAD DE LOS ENFRIADORES DE AGUA

Ubicación	Btu/Hr Total	Btu/Hr Losa	Btu/Hr Enfriador
PB	115.428		115.428
P1	558.373	71.317	487.056
P2	661.507	67.464	594.042
P3	582.332	67.464	514.867
P4	781.704	67.464	714.240
P5	584.823	62.738	522.085
			2.947.719
FSg 10%		-	3.242.491
Toneladas			***270***
UEA-1			**135**
UEA-2			**135**

CAPÍTULO 3

3. PSICROMETRÍA DEL SISTEMA

Las características geométricas de las Superficies de Enfriamiento dependen del análisis de las condiciones del aire húmedo; en este Capítulo describiremos las principales propiedades del aire y en función de las mismas definiremos el procedimiento para calcular los parámetros que nos permiten seleccionar el serpentín de las UMAS.

3.1 Propiedades Psicrométricas del Aire

Para definir las condiciones térmicas que producen confort, es necesario determinar ciertas propiedades que tienen relación con la temperatura y la cantidad de vapor de agua contenida en el aire.

Estas dos variables afectan el comportamiento de las personas y producen un ambiente de trabajo pesado y caluroso; nuestro objetivo es enfriar el aire y deshumidificarlo, haciéndolo pasar a través del

serpentín de la UMA describiendo su condición térmica por medio de las siguientes propiedades:

Temperatura del Punto de Rocío

El Punto de Rocío (PR) es la temperatura a la cual el vapor de agua en el aire está saturado; es una propiedad que depende de la masa de vapor de agua contenida en el aire.

Humedad Absoluta

A la cantidad de vapor de agua contenido en el aire se le llama humedad. La Humedad Absoluta del aire para cualquier condición dada, es la masa de vapor de agua por unidad de volumen de aire a dicha condición, como tal, esto es propiamente la expresión de la densidad del vapor y se expresa en libras por pie cúbico.

Humedad Relativa

La Humedad Relativa (HR) expresada en porcentaje, es la relación entre la presión parcial real ejercida por el vapor de agua en cualquier volumen de aire y la presión parcial que ejercería el vapor de agua si el vapor de agua contenido en el aire estuviera saturado a la temperatura del aire .

Temperatura de Bulbo Seco

La Temperatura de Bulbo Seco del aire (TBS) es la temperatura leída en un termómetro ordinario agitado al aire libre y abrigado de los rayos térmicos, es decir a la sombra. El termómetro de bulbo seco no es afectado por la humedad y solo mide la temperatura real del aire.

Temperatura de Bulbo Húmedo

La Temperatura de Bulbo Húmedo del aire (TBH) es la temperatura leída en un termómetro ordinario cuyo bulbo está envuelto con un pabilo humedecido. Es una medida de la relación entre la temperatura de bulbo seco y el contenido de humedad del aire.

3.2 Carta Psicrométrica

La Carta Psicrométrica es una gráfica que representa las Propiedades Psicrométricas del aire. Su uso permite el análisis de datos psicrométricos y procesos facilitándose la solución de muchos problemas prácticos relacionados con aire, que de otra manera requeriría de soluciones matemáticas tediosas. En el Apéndice A.21 se ilustra una Carta Psicrométrica típica. Los valores dados en la carta son para aire a presión barométrica estándar debiendo hacerse correcciones para otras elevaciones.

El esquema presentado muestra la construcción general de la Carta Psicrométrica y las relaciones entre algunas de las propiedades fundamentales del aire.

Obsérvese que las líneas verticales sobre la carta son líneas TBS constante, mientras que las líneas horizontales son líneas PR constante y relaciones de humedad. Las líneas diagonales a partir de la intersección TBS y PR son líneas TBH constante. Las líneas más inclinadas y de mayor separación representan el volumen específico. Las líneas curvas que se extienden del extremo inferior izquierdo hasta el extremo superior derecho de la carta, son líneas de HR constante.

3.3 Procesos Psicrométricos

Los Procesos Psicrométricos son definidos como los pasos necesarios para transformar las condiciones térmicas del aire, los mismos que pueden ser ilustrados, analizados y evaluados sobre una Carta Psicrométrica; como ejemplo podemos mencionar la Mezcla de dos o más Corrientes de Aire, el Calentamiento o Enfriamiento Sensible, la Deshumidificación, etc.

Entre los diferentes procesos que hemos mencionado en el párrafo anterior, estamos interesados en el Enfriamiento y Deshumidificación

simultánea del aire; proceso que ocurre cuando el aire es pasado a través de una superficie de enfriamiento cuya temperatura sea menor que PR del aire de entrada.

Ciclo de Evaluación del Aire

El Ciclo de Evaluación del Aire puede representarse en la Carta Psicrométrica como se ilustra en el Apéndice A.22 .

El aire en el estado (3), mezcla de aire exterior (2) y de retorno con condiciones interiores (1), ingresa al aparato acondicionador; fluye a través del serpentín, y el Proceso de Enfriamiento y Deshumidificación se lo representa por la línea (3-4). Abandona el aparato en (4) y es impulsado hacia el espacio donde absorbe calor y humedad, según la línea (4-1). Gran parte del aire impulsado retorna a la máquina para mezclarse con el aire exterior, repitiendo de esta manera el ciclo.

3.4 Factores de Selección del Serpentín

El aire al pasar a través del aparato acondicionador, abandona la humedad y el calor recibidos para mantener el confort en el espacio, dependiendo de las características técnicas del serpentín.

La selección de las características del serpentín por medio del cual llevaremos el aire a las condiciones deseadas, depende de un cierto número de factores que se relacionan entre sí y definen un procedimiento específico de cálculos.

Factor de Calor Sensible del Espacio

El Factor de Calor Sensible del Espacio (RSHF) es la razón del Calor Sensible del espacio a la suma del Calor Sensible y del Calor Latente del espacio. Esta relación se expresa en la ecuación 3.1 :

$$\mathrm{RSHF} = \frac{\mathrm{RSH}}{\mathrm{RSH} + \mathrm{RLH}} \qquad (3.1)$$

El estado del aire impulsado en el espacio debe ser tal que compense simultáneamente las Ganancias Sensibles y Latentes del mismo. Los puntos que representan sobre el diagrama psicrométrico el estado del aire impulsado y las condiciones interiores pueden unirse por un segmento de recta (4 -1) según la Figura 3.1 .

Factor de Calor Sensible Total

El Factor de Calor Sensible Total (GSHF) es la relación entre el Calor Sensible total y el Balance Térmico de la instalación, incluyendo todas las cargas de Calor Sensible y Latente que proceden del aire exterior. Esta relación se expresa en la ecuación 3.2 .

$$GSHF = \frac{TSH}{TLH + TSH} \qquad (3.2)$$

Podemos graficar en la Carta Psicrométrica los puntos que representan el estado del aire a la entrada y a la salida del serpentín y unirlos con un segmento de recta (3 - 4) según la Figura 3.1.

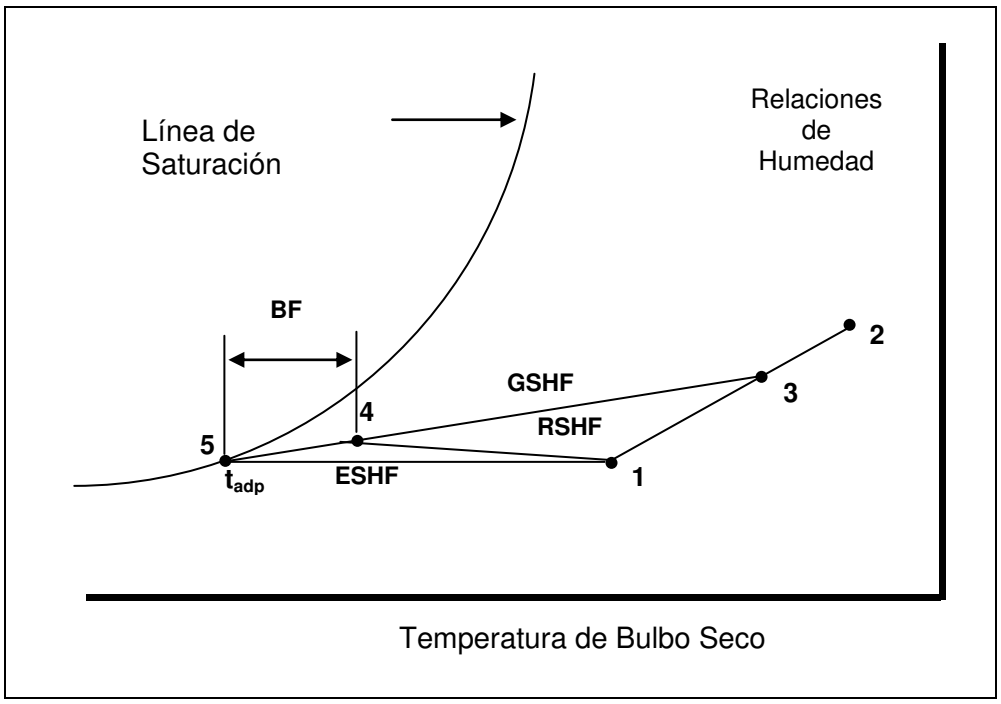

Figura 3.1 Representación t_{adp} -BF y las Rectas RSHF,GSHF,ESHF sobre la Carta Psicrométrica

Temperatura Equivalente de Superficie

La temperatura de la superficie exterior de un serpentín de enfriamiento es variable de un punto a otro. Sin embargo, podemos considerar una temperatura media, de tal manera que si fuera

constante en toda la superficie daría lugar a las mismas condiciones en la salida que la temperatura real variable. Esta temperatura se llama Temperatura Equivalente de Superficie (T_{es}) y la utilizaremos para determinar el caudal del aire.

Para aplicaciones en las que se requiere un Proceso de Enfriamiento y Deshumidificación, la Temperatura Equivalente de Superficie estará representada por la intersección de la recta GSHF con la curva de saturación (punto 5) como se muestra en la Figura 3.1 . Esta temperatura puede considerarse como el Punto de Rocío del Serpentín de Enfriamiento (t_{adp}).

Factor de Bypass

El Factor de Bypass (BF) representa el porcentaje de aire que pasa a través del serpentín sin sufrir ningún cambio. Depende de las características del serpentín y de sus condiciones de funcionamiento.

La superficie externa de intercambio (número de tubos y separación entre aletas) y la velocidad del aire influyen en el Factor de Bypass.
A una disminución de la superficie corresponde un aumento de BF; por otro lado, una disminución de la velocidad corresponde una disminución de BF debido al mayor tiempo de contacto entre el aire y la superficie de intercambio.

Existe una relación entre BF, GSHF y RSHF. Para las condiciones exteriores, interiores y caudales de aire exterior determinados, el GSHF y el RSHF son fijos. La posición de RSHF es igualmente fija, pero la de la recta GSHF varía de acuerdo con el caudal de aire y las condiciones impulsadas, como se muestra en la Figura 3.1.

Factor de Calor Sensible Efectivo

El Factor de Calor Sensible Efectivo (ESHF) se define como la relación entre las Ganancias Sensibles Efectivas del espacio y la suma de las Ganancias Sensibles y Latentes Efectivas del mismo.

Estas Ganancias Efectivas son iguales a la suma de las ganancias del espacio propiamente dicho aumentadas en las cantidades de Calor Sensible y Latente correspondientes al caudal de aire que pasa por el serpentín sin que su estado se modifique, y cuyo porcentaje viene dado por BF. La Ecuación 3.3 expresa esta relación.

$$\mathrm{ESHF} = \frac{\mathrm{ERSH}}{\mathrm{ERSH} + \mathrm{ERLH}} \qquad (3.3)$$

La recta ESHF puede obtenerse gráficamente de la Carta Psicrométrica uniendo t_{adp} y el punto que representa las condiciones interiores del espacio (5-1) como se muestra en la Figura 3.1.

3.5 Procedimiento de Cálculo para el Serpentín de Enfriamiento y Deshumidificación

Para seleccionar el serpentín por medio del cual definiremos en el espacio las condiciones de confort, estamos básicamente interesados en calcular las Propiedades Psicrométricas de entrada y salida del aire a través de su superficie.

El procedimiento que nos permite obtener los resultados indicados con la finalidad de enfriar y deshumidificar el aire en el espacio, lo explicaremos con detalle a continuación:

a.- De los cálculos de la Carga de Enfriamiento por Ventilación, tomamos los datos sobre la cantidad de aire externo (CFM_{oa}) necesario para diluir “el aire pesado” debido a la concentración de las personas en el espacio.

b.- Asumimos un BF de acuerdo a la funcionalidad del espacio que deseamos climatizar; el Apéndice A.23 nos muestra los valores típicos de BF para distintas aplicaciones.

c.- Definimos una tabla de todas las Cargas Sensibles y Latentes calculadas por Radiación a través de Vidrios, Paredes, Azoteas, Luces, Personas, Ventilación , etc.

d.- De la Carta Psicrométrica y definidas las Condiciones Interiores y Exteriores de Diseño, incluimos en la tabla las siguientes Propiedades del aire: TBS, TBH, HR y PR.

e.- Calculamos RSHF utilizando la Ecuación 3.1

f.- Calculamos ESHF utilizando la Ecuación 3.3

g.- Con ESHF y las Condiciones Interiores de Diseño, seleccionamos t_{adp} del Apéndice A.24.

h.- La cantidad de aire deshudificado (CFM_{da}) tratado por el serpentín se calcula utilizando la Ecuación 3.4:

$$CFM_{da} = \frac{ERSH}{1.08 \times (1 - BF)(t_{room} - t_{adp})} \qquad (3.4)$$

i.- La diferencia de temperatura entre el aire del espacio (t_{room}) y el suministrado (t_{sa}) se calcula utilizando la Ecuación 3.5 :

$$Otd = \frac{RSH}{1.08 \times CFM_{da}} \qquad (3.5)$$

j.- La temperatura del aire suministrado (t_{sa}) se calcula utilizando la Ecuación 3.6; t_{sa} es diferente a t_{room} porque se producen pérdidas en el ducto de suministro.

$$t_{sa} = t_{room} - \frac{RSH}{1.08 \times CFM_{da}} \qquad (3.6)$$

k.- La cantidad de aire suministrado (CFM_{sa}) se calcula utilizando la Ecuación 3.7 :

$$CFM_{sa} = \frac{RSH}{1.08 \times (t_{room} - t_{sa})} \qquad (3.7)$$

l.- Las Temperaturas de Bulbo Seco, entrada y salida del aire a través del Serpentín de Enfriamiento, T_{edb} y T_{ldb}, se calculan utilizando las Ecuaciones 3.8 y 3.9 respectivamente.

$$T_{edb} = t_{room} + \frac{CFM_{oa}}{CFM_{da}} \times (T_{ex} - t_{room}) \qquad (3.8)$$

$$T_{ldb} = t_{adp} + BF \times (T_{edb} - t_{adp}) \qquad (3.9)$$

m.- Las demás Propiedades del aire , entrada y salida del Serpentín de Enfriamiento, se las determina de la Carta Psicrométrica.

n.- Si las condiciones del espacio son tales que producen una alta Carga Latente, obtendríamos un valor de t_{adp} muy bajo; por lo tanto se procede a asumir un valor de ESHF conveniente lo que implica necesariamente aplicar un Proceso de Recalentamiento al espacio utilizando la Ecuación 3.10:

$$R_{eh} = \frac{ESHF \times ERTH - ERSH}{1 - ESHF} \qquad (3.10)$$

3.6 Parámetros para Seleccionar el Serpentín de Enfriamiento de las Unidades Manejadoras de Aire

Utilizando el procedimiento que hemos explicado en los párrafos anteriores, calculamos los valores numéricos de los parámetros mediante los cuales seleccionamos un Serpentín de Enfriamiento.

Las características del Serpentín y su selección están en función de BF, la Carga Total de Enfriamiento (GTH), t_{adp} , la cantidad de aire suministrado CFM_{sa} y las Condiciones Psicrométricas del aire a la entrada y salida de la Superficie de Enfriamiento.

Aplicando la metodología de cálculo para el Edificio, es importante recordar que dividiremos la carga de cada piso en dos unidades, dos serpentines con las mismas propiedades, por lo tanto, CFMoa y cada

una de las cargas serán reducidas a la mitad, excepto Pb y las Aulas, Comedor, Auditorio de P4.

Diseñando una Hoja Electrónica de Excel con la respectiva formulación, las Tablas 34 a la 42 nos muestran los resultados del cálculo de los Parámetros de Selección para los Serpentines de las UMAS de cada uno de los pisos; además las Figuras 3.2 a la 3.10 nos muestran esquemáticamente las condiciones de entrada y de salida del aire sobre la Carta Psicrométrica, para cada caso.

TABLA 34
PARÁMETROS DEL SERPENTÍN PB UMA 1

Aire Externo	
CFM_{oa}	285
Factor de Bypass	0,10
Carga Tèrmica por Ventilaciòn	**Btu/Hr**
Sensible	5330
Latente	13794
Carga Solar-Vidrios	
Bloques de Vidrio	11956
Carga Solar-Paredes	
Paredes Porcelanato	13303
Paredes Exteriores	6627
Carga por Conducción	
Bloques de Vidrio	3097
Pared Interior	6745
Piso	18073
Cargas Internas	
Personas	4709
Luces	27300
Factor de Seguridad	10%
RSH	**100991**
Ventilaciòn*BF	533
ERSH	**101524**
Calor Latente	
Personas	4495
Factor de Seguridad	10%
RLH	**4945**
Ventilaciòn*BF	1379
ERLH	**6324**
ERTH	***107848***
Ventilaciòn	
Sensible*(1-BF)	4797
Latente*(1-BF)	12415
GTH	**125060**
CONDICIONES EXTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	92
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	80
Humedad Relativa (%)	60
Temperatura Punto de Rocío (ºF)	76
CONDICIONES INTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	75
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	63
Humedad Relativa (%)	50
Temperatura Punto de Rocío (ºF)	55
RSHF	0,95
ESHF	0,94
t_{adp} ºF	**54,3**
CFM_{da}	5046
Otd	18,53
T_{sa} (ºF)	56,47
CFM_{sa}	**5046**
T_{edb} ºF	**75,96**
T_{ldb} ºF	**56,47**
CONDICIONES PSICROMÊTRICAS	
Entrada Serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	64
Temperatura Punto de Rocío ºF	57
Humedad Relativa %	52
Salida Serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	55,2
Temperatura Punto de Rocío ºF	54,8
Humedad Relativa %	92

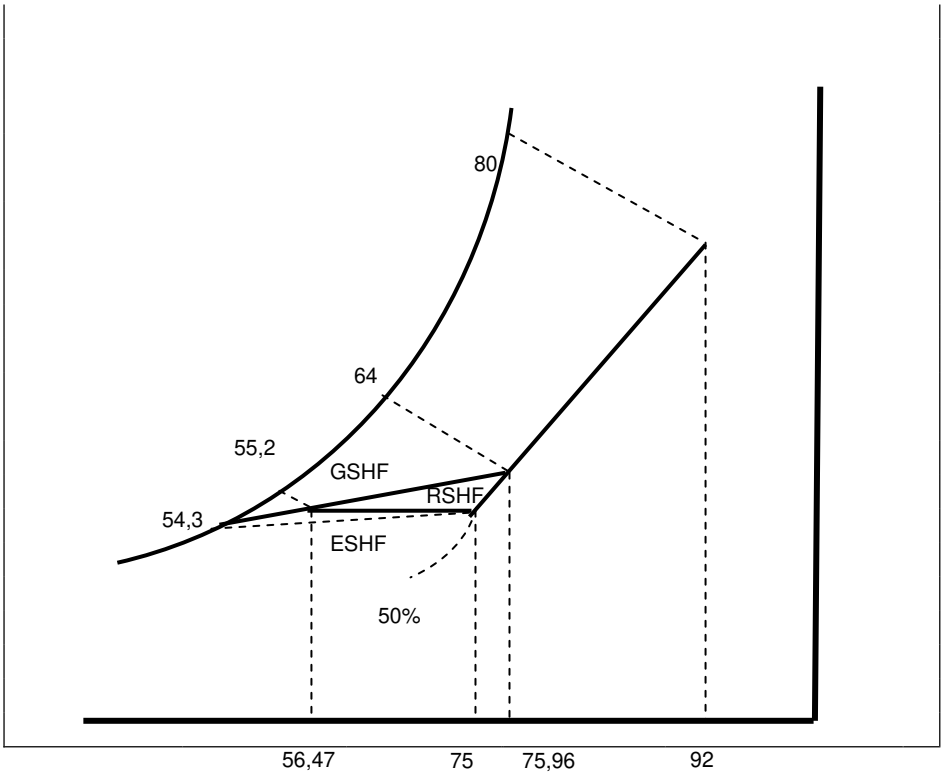

Figura 3.2 Diagrama Psicrométrico Pb UMA 1

TABLA 35
PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P1 UMA 2 y 3

Aire Externo	
CFM_{oa}	1338
Factor de Bypass	0,10
Carga Tèrmica por Ventilación	**Btu/Hr**
Sensible	25012
Latente	64735
Carga Solar-Vidrios	
Vidrio Natural	32446
Vidrio Esmerilado	8489
Carga Solar-Paredes	
Paredes Exteriores	11880
Carga por Conducción	
Vidrio Natural	10952
Vidrio Esmerilado	2556
Piso	35659
Cargas Internas	
Personas	16010
Luces	57543
Factor de Seguridad	10%
RSH	**193086**
Ventilaciòn*BF	2501
ERSH	**195587**
Calor Latente	
Personas	13907
Factor de Seguridad	10%
RLH	**15298**
Ventilaciòn*BF	6474
ERLH	**21771**
ERTH	**217359**
Ventilación	
Sensible*(1-BF)	22510
Latente*(1-BF)	58262
GTH	**298130,5**
CONDICIONES EXTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	92
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	80
Humedad Relativa (%)	60
Temperatura Punto de Rocío (ºF)	76
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	75
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	63
Humedad Relativa (%)	50
Temperatura Punto de Rocío (ºF)	55
RSHF	0,93
ESHF	0,90
t_{adp} ºF	**53,5**
CFM_{da}	9359
Otd	19,10
T_{sa} (ºF)	55,90
CFM_{sa}	**9359**
T_{edb} ºF	**77,43**
T_{ldb} ºF	**55,89**
CONDICIONES PSICROMÈTRICAS	
Entrada Serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	65,5
Temperatura Punto de Rocìo ºF	58,5
Humedad Relativa %	54
Salida Serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	55
Temperatura Punto de Rocìo ºF	54
Humedad Relativa %	92

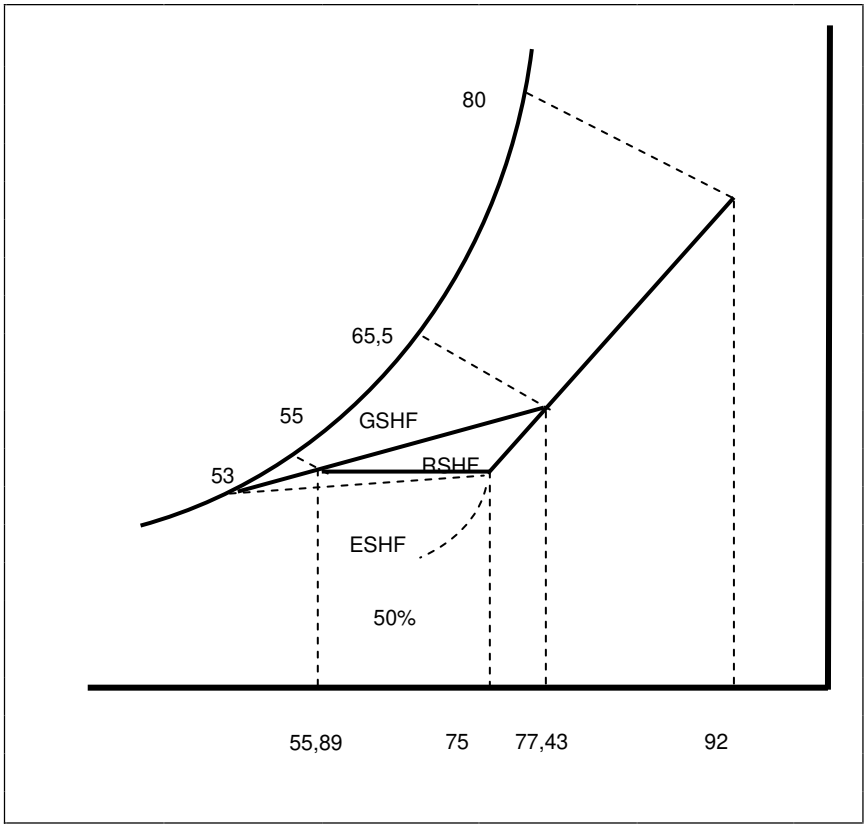

Figura 3.3 Diagrama Psicrométrico P1 UMA 2 y 3

TABLA 36
PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P2 UMA 4 y 5

Aire Externo	
CFM_{oa}	2070
Factor de Bypass	0,10
Carga Tèrmica por Ventilación	**Btu/Hr**
Sensible	38709
Latente	100188
Carga Solar-Vidrios	
Vidrio Natural	32446
Vidrio Esmerilado	8489
Carga Solar-Paredes	
Paredes Exteriores	11880
Carga por Conducción	
Vidrio Natural	10952
Vidrio Esmerilado	2556
Piso	33732
Cargas Internas	
Personas	19897
Luces	54634
Factor de Seguridad	10%
RSH	**192042**
Ventilaciòn*BF	3871
ERSH	**195913**
Calor Latente	
Personas	17273
Factor de Seguridad	10%
RLH	**19000**
Ventilaciòn*BF	10019
ERLH	**29019**
ERTH	**224931**
Ventilación	
Sensible*(1-BF)	34838
Latente*(1-BF)	90169
GTH	**349939**
CONDICIONES EXTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	92
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	80
Humedad Relativa (%)	60
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	76
CONDICIONES INTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	75
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	63
Humedad Relativa (%)	50
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	55
RSHF	0,91
ESHF	0,87
t_{adp} ºF	**52,75**
CFM_{da}	9059
Otd	19,63
T_{sa} (ºF)	55,37
CFM_{sa}	**9059**
T_{edb} ºF	**78,88**
T_{ldb} ºF	**55,36**
CONDICIONES PSICROMÊTRICAS	
Entrada Serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	67,3
Temperatura Punto de Rocìo ºF	61,5
Humedad Relativa %	55
Salida Serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	54,5
Temperatura Punto de Rocìo ºF	53,8
Humedad Relativa %	93

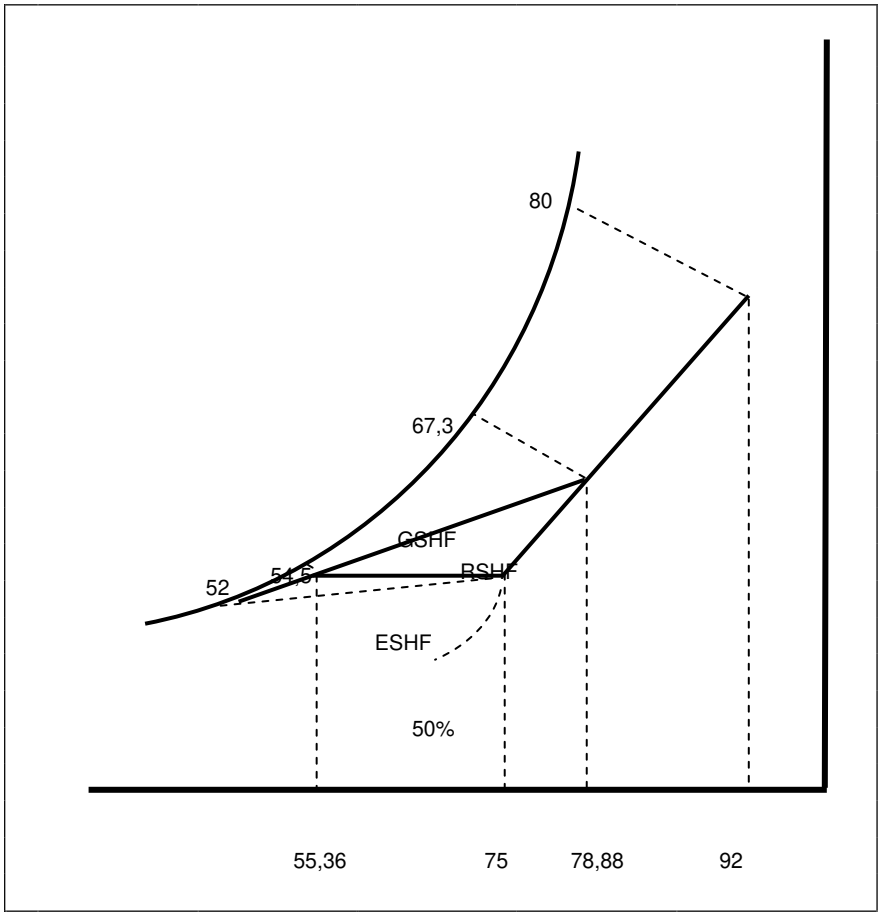

Figura 3.4 Diagrama Psicrométrico P2 UMA 4 y 5

TABLA 37
PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P3 UMA 6 y 7

Aire Externo	
CFM_{oa}	1540
Factor de Bypass	0,10
Carga Tèrmica por Ventilación	**Btu/Hr**
Sensible	28798
Latente	74536
Carga Solar-Vidrios	
Vidrio Natural	32446
Vidrio Esmerilado	8489
Carga Solar-Paredes	
Paredes Exteriores	11880
Carga por Conducción	
Vidrio Natural	10952
Vidrio Esmerilado	2556
Piso	33732
Cargas Internas	
Personas	17732
Luces	54634
Factor de Seguridad	10%
RSH	**189661**
Ventilaciòn*BF	2880
ERSH	**192541**
Calor Latente	
Personas	15413
Factor de Seguridad	10%
RLH	**16954**
Ventilaciòn*BF	7454
ERLH	**24407**
ERTH	**216948**
Ventilaciòn	
Sensible*(1-BF)	25918
Latente*(1-BF)	67082
GTH	**309949**
CONDICIONES EXTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	92
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	80
Humedad Relativa (%)	60
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	76
CONDICIONES INTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	75
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	63
Humedad Relativa (%)	50
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	55
RSHF	0,92
ESHF	0,89
t_{adp} ºF	**53,25**
CFM_{da}	9107
Otd	19,28
T_{sa} (ºF)	55,72
CFM_{sa}	**9107**
T_{edb} ºF	**77,87**
T_{ldb} ºF	**55,71**
CONDICIONES PSICROMÈTRICAS	
Entrada Serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	66,3
Temperatura Punto de Rocìo ºF	60
Humedad Relativa %	54
Salida Serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	54,8
Temperatura Punto de Rocìo ºF	54,2
Humedad Relativa %	94

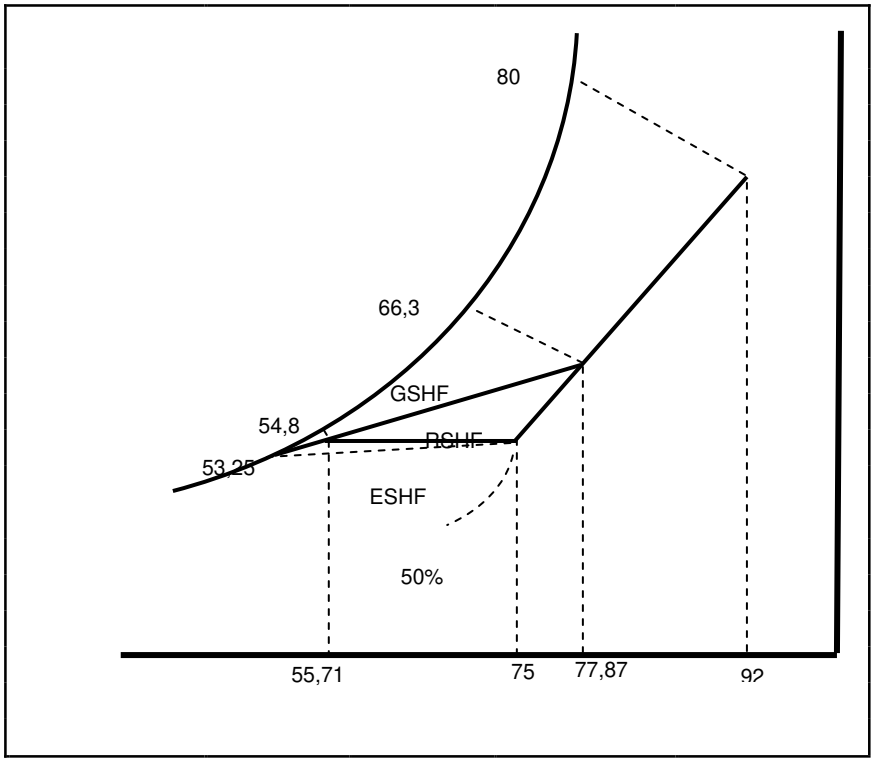

Figura 3.5 Diagrama Psicrométrico P3 UMA 6 y 7

TABLA 38
PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P4 OFICINAS UMA 8

Aire Externo	
CFM_{oa}	1450
Factor de Bypass	0,10
Carga Tèrmica por Ventilaciòn	**Btu/Hr**
Sensible	27115
Latente	70180
Carga Solar-Vidrios	
Vidrio Natural	44127
Vidrio Esmerilado	11544
Carga Solar-Paredes	
Paredes Exteriores	16157
Carga por Conducción	
Vidrio Natural	14894
Vidrio Esmerilado	3475
Piso	45876
Cargas Internas	
Personas	16843
Luces	73765
Factor de Seguridad	10%
RSH	**249349**
Ventilaciòn*BF	2712
ERSH	**252060**
Calor Latente	
Personas	14689
Factor de Seguridad	10%
RLH	**16158**
Ventilaciòn*BF	7018
ERLH	**23176**
ERTH	**275236**
Ventilaciòn	
Sensible*(1-BF)	24404
Latente*(1-BF)	63162
GTH	**362802**
CONDICIONES EXTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	92
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	80
Humedad Relativa (%)	60
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	76
CONDICIONES INTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	75
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	63
Humedad Relativa (%)	50
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	55
RSHF	0,94
ESHF	0,92
t_{adp} ºF	**54**
CFM_{da}	12349
Otd	18,70
T_{sa} (ºF)	56,30
CFM_{sa}	**12349**
T_{edb} ºF	**77,00**
T_{ldb} ºF	**56,30**
CONDICIONES PSICROMÊTRICAS	
Entrada Serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	65
Temperatura Punto de Rocìo ºF	58,2
Humedad Relativa %	53
Salida Serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	55,1
Temperatura Punto de Rocìo ºF	54,1
Humedad Relativa %	92

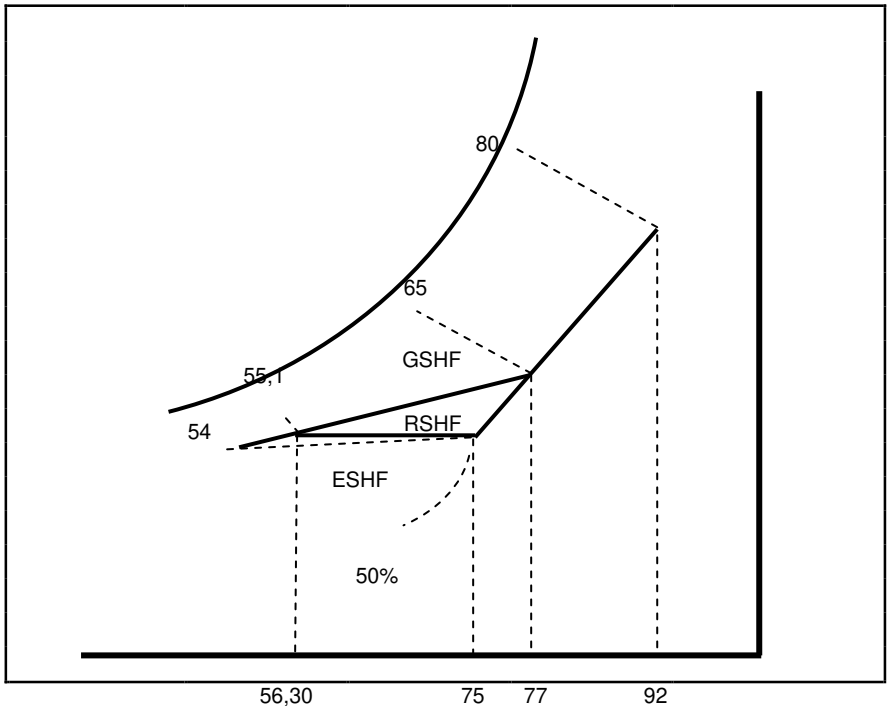

Figura 3.6 Diagrama Psicrométrico P4 Oficinas UMA 8

TABLA 39
PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P4
AUDITORIO UMA 9

Aire Externo	
CFM_{oa}	750
Factor de Bypass	0,10
Carga Tèrmica por Ventilación	**Btu/Hr**
Sensible	14025
Latente	36300
Carga Solar-Vidrios	
Vidrio Natural	5840
Vidrio Esmerilado	1528
Carga Solar-Paredes	
Paredes Exteriores	2138
Carga por Conducción	
Vidrio Natural	1971
Vidrio Esmerilado	460
Piso	6072
Cargas Internas	
Personas	23000
Luces	11510
Factor de Seguridad	10%
RSH	**57772**
Ventilaciòn*BF	1403
ERSH	**59174**
Calor Latente	
Personas	12000
Factor de Seguridad	10%
RLH	**13200**
Ventilaciòn*BF	3630
ERLH	**16830**
ERTH	**76004**
Ventilación	
Sensible*(1-BF)	12623
Latente*(1-BF)	32670
GTH	**121297**
CONDICIONES EXTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	92
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	80
Humedad Relativa (%)	60
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	76
CONDICIONES INTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	75
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	63
Humedad Relativa (%)	50
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	55
RSHF	0,81
ESHF	0,78
t_{adp} ºF	**50**
CFM_{da}	2435
Otd	21,97
T_{sa} (ºF)	53,03
CFM_{sa}	**2435**
T_{edb} ºF	**80,24**
T_{ldb} ºF	**53,02**
CONDICIONES PSICROMÉTRICAS	
Entrada serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	68,7
Temperatura Punto de Rocìo ºF	63
Humedad Relativa %	56
Salida Serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	52,2
Temperatura Punto de Rocìo ºF	51,5
Humedad Relativa %	95

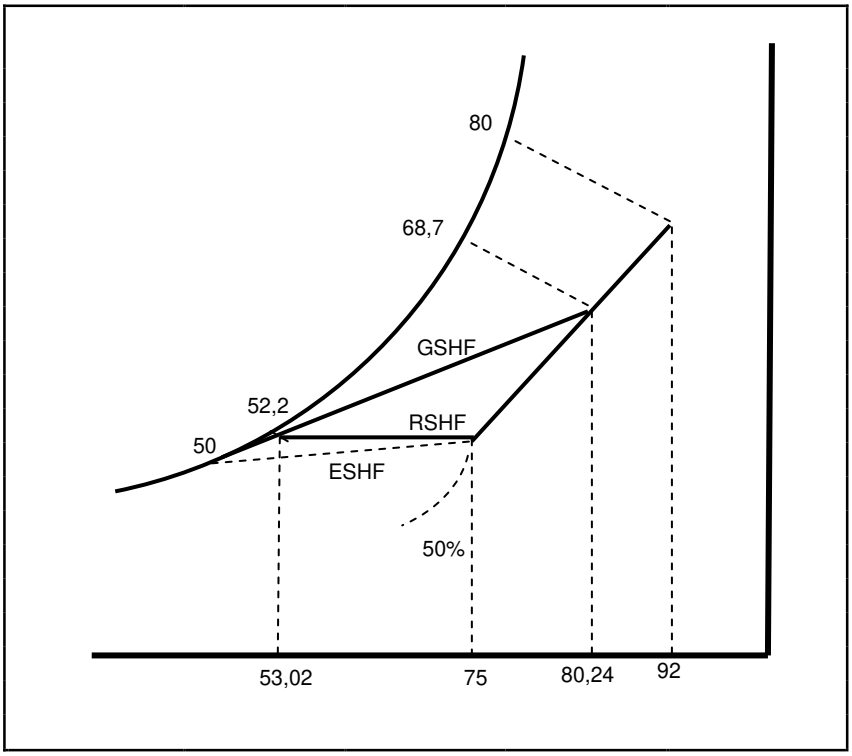

Figura 3.7 Diagrama Psicrométrico P4 Auditorio UMA 9

.

TABLA 40
PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P4
AULAS UMA 10

Aire Externo	
CFM_{oa}	825
Factor de Bypass	0,10
Carga Tèrmica por Ventilación	**Btu/Hr**
Sensible	15428
Latente	39930
Carga Solar-Vidrios	
Vidrio Natural	7787
Vidrio Esmerilado	2037
Carga Solar-Paredes	
Paredes Exteriores	2851
Carga por Conducción	
Vidrio Natural	2628
Vidrio Esmerilado	613
Piso	8096
Cargas Internas	
Personas	25300
Luces	16168
Factor de Seguridad	10%
RSH	**72029**
Ventilaciòn*BF	1543
ERSH	**73572**
Calor Latente	
Personas	13200
Factor de Seguridad	10%
RLH	**14520**
Ventilaciòn*BF	3993
ERLH	**18513**
ERTH	**92085**
Ventilación	
Sensible*(1-BF)	13885
Latente*(1-BF)	35937
GTH	**141907**
CONDICIONES EXTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	92
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	80
Humedad Relativa (%)	60
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	76
CONDICIONES INTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	75
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	63
Humedad Relativa (%)	50
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	55
RSHF	0,83
ESHF	0,80
t_{adp} ºF	**50,66**
CFM_{da}	3110
Otd	21,45
T_{sa} (ºF)	53,55
CFM_{sa}	**3110**
T_{edb} ºF	**79,51**
T_{ldb} ºF	**53,55**
CONDICIONES PSICROMÊTRICAS	
Entrada serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	67,6
Temperatura Punto de Rocìo ºF	62
Humedad Relativa %	55
Salida Serpentín	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	52,5
Temperatura Punto de Rocìo ºF	52
Humedad Relativa %	94

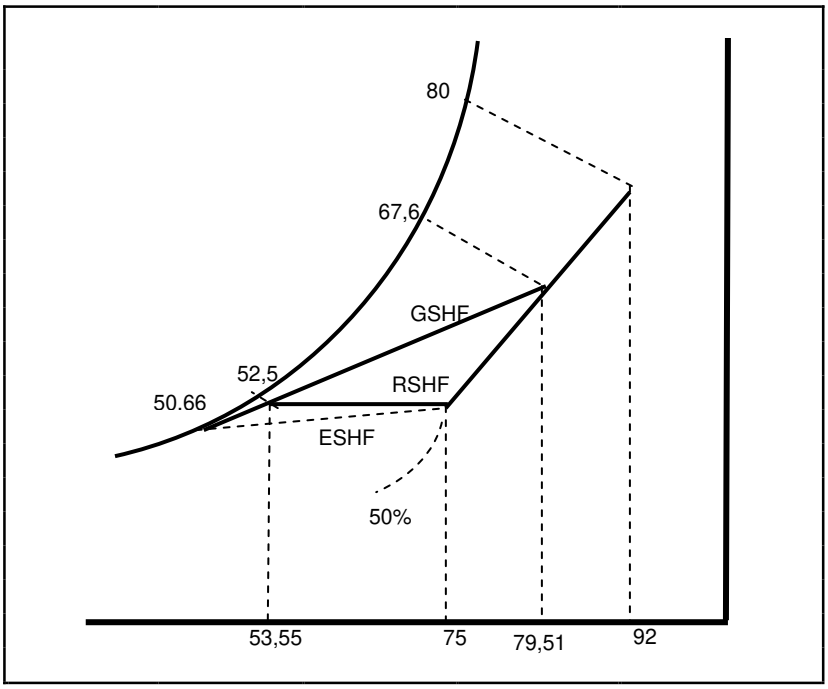

Figura 3.8 Diagrama Psicrométrico P4 Aulas UMA 10

TABLA 41
PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P4
COMEDOR UMA 11

Aire Externo	
CFM_{oa}	1392
Factor de Bypass	0,05
Carga Tèrmica por Ventilación	**Btu/Hr**
Sensible	26030
Latente	67373
Carga Solar-Vidrios	
Vidrio Natural	7138
Vidrio Esmerilado	1867
Carga Solar-Paredes	
Paredes Exteriores	2614
Carga por Conducción	
Vidrio Natural	2409
Vidrio Esmerilado	562
Piso	7421
Cargas Internas	
Personas	32480
Luces	14942
Factor de Seguridad	10%
RSH	**76377**
Ventilaciòn*BF	1302
ERSH	**77679**
Calor Latente	
Personas	31320
Factor de Seguridad	10%
RLH	**34452**
Ventilaciòn*BF	3369
ERLH	**37821**
ERTH	**115499**
Ventilación	
Sensible*(1-BF)	24729
Latente*(1-BF)	64004
GTH	**204232**
CONDICIONES EXTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	92
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	80
Humedad Relativa (%)	60
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	76
CONDICIONES INTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	75
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	63
Humedad Relativa (%)	50
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	55
RSHF	0,69
ESHF	0,67
t_{adp} ºF	41,33
ESHF Seleccionado	0,74
t_{adp} ºF	**48**
Recalentamiento	**29965**
CFM_{da}	3886
Otd	18,20
T_{sa} (ºF)	56,80
CFM_{sa}	**3886**
T_{edb} ºF	**81,09**
T_{ldb} ºF	**49,65**
CONDICIONES PSICROMÊTRICAS	
Entrada Serpentìn	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	69,5
Temperatura Punto de Rocìo ºF	63,9
Humedad Relativa %	56
Salida Serpentìn	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	49,4
Temperatura Punto de Rocìo ºF	49
Humedad Relativa %	98
Salida Suministro	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	52,2
Temperatura Punto de Rocìo ºF	49
Humedad Relativa %	75

TABLA 42

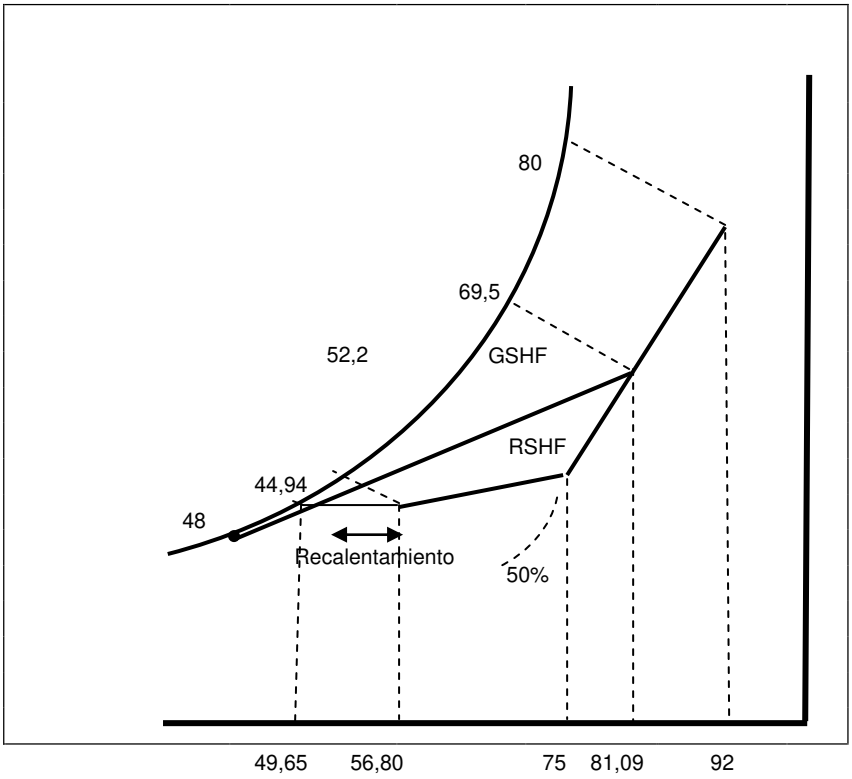

Figura 3.9 Diagrama Psicrométrico P4 Comedor UMA 11

PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P5
UMA 12 y 13

Aire Externo	
CFM_{oa}	1088
Factor de Bypass	0,10
Carga Tèrmica por Ventilación	**Btu/Hr**
Sensible	20337
Latente	52635
Carga Solar-Vidrios	
Vidrio Natural	32446
Vidrio Esmerilado	8489
Carga Solar-Paredes y Azotea	
Paredes Exteriores	11880
Azotea	48707
Carga por Conducción	
Vidrio Natural	10952
Vidrio Esmerilado	2556
Piso	31369
Cargas Internas	
Personas	11760
Luces	51064
Factor de Seguridad	10%
RSH	**230144**
Ventilaciòn*BF	2034
ERSH	**232177**
Calor Latente	
Personas	10219
Factor de Seguridad	10%
RLH	**11241**
Ventilaciòn*BF	5264
ERLH	**16504**
ERTH	**248682**
Ventilación	
Sensible*(1-BF)	18303
Latente*(1-BF)	47372
GTH	**314356**
CONDICIONES EXTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	92
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	80
Humedad Relativa (%)	60
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	76
CONDICIONES INTERIORES	
Temperatura Bulbo Seco (ºF)	75
Temperatura Bulbo Hùmedo (ºF)	63
Humedad Relativa (%)	50
Temperatura Punto de Rocìo (ºF)	55
RSHF	0,95
ESHF	0,93
t_{adp} ºF	**54,15**
CFM_{da}	11456
Otd	18,60
T_{sa} (ºF)	56,40
CFM_{sa}	**11456**
T_{edb} ºF	**76,61**
T_{ldb} ºF	**56,40**
CONDICIONES PSICROMÊTRICAS	
Entrada Serpentìn	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	64,3
Temperatura Punto de Rocìo ºF	57,5
Humedad Relativa %	52
Salida Serpentìn	
Temperatura Bulbo Hùmedo ºF	55,1
Temperatura Punto de Rocìo ºF	54,5
Humedad Relativa %	92

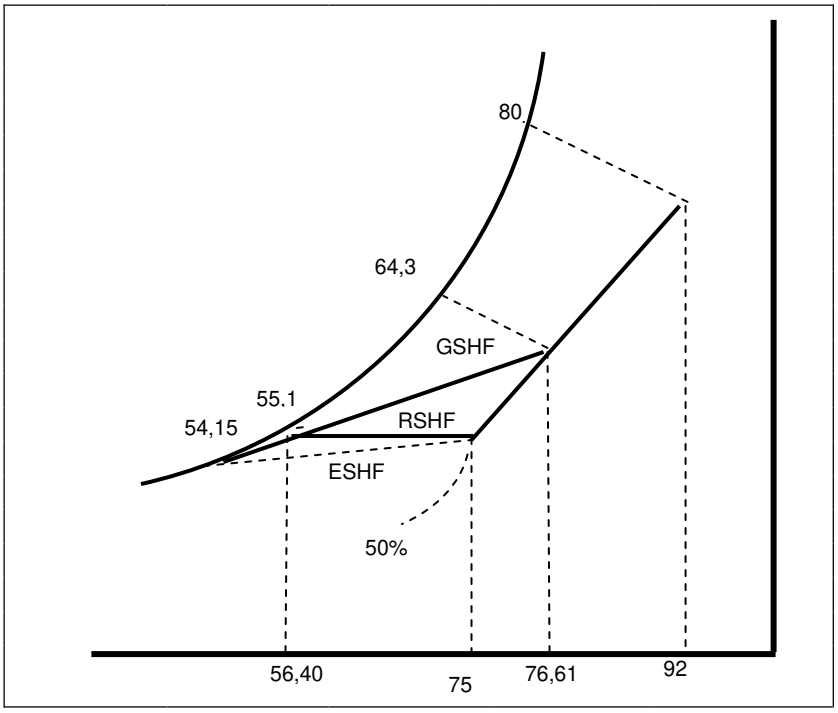

Figura 3.10 Diagrama Psicrométrico P5 UMA 12 y 13

CAPÍTULO 4

4. SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

Para climatizar cada uno de los espacios es necesario quitar el calor del aire y añadirlo a un medio que esté a una temperatura inferior; en el Sistema propuesto , el medio de transferencia es el agua, que debe fluir a través de los serpentines de la UMA cuyos parámetros los hemos calculado. En este Capítulo definiremos los componentes del Sistema de Distribución del Agua de Enfriamiento que nos permite realizar el proceso de transferencia de Calor de acuerdo a las condiciones del Diseño.

4.1 Consideraciones Generales del Sistema

El objetivo del Sistema es distribuir el agua de enfriamiento a los serpentines de las UMAS para extraer el calor del aire. El agua retorna a la UEA y el calor es disipado al exterior por medio de condensadores. Para su efecto, es necesario conectar todos los puntos del Sistema por medio de una red de tuberías técnicamente

dimensionadas que suministren un determinado flujo de agua, favoreciendo las condiciones de confort. Obviamente, se necesita calcular los parámetros que permiten seleccionar la bomba, e implementar los accesorios para el funcionamiento óptimo del Sistema.

4.2 Distribución del Agua de Enfriamiento

El Sistema de Distribución debe ser instalado de acuerdo al espacio disponible; por lo tanto, el agua de enfriamiento será distribuida desde la casa de máquinas ubicada en la terraza por medio de las tuberías de acero que alimentarán las UMAS de los respectivos pisos.

El Sistema esta formado básicamente por dos circuitos. El Circuito Primario hará circular un volumen de agua constante porque el principio de funcionamiento de la UEA no admite un cambio en el flujo. El Circuito Secundario tomará del Circuito Primario el volumen de agua que el edificio necesite y lo distribuirá por todo el Sistema .

El Sistema que implementaremos es de Recirculación porque el agua es distribuida y retorna a la casa de máquinas repitiendo el ciclo continuamente, a diferencia de los sistemas en que el agua pasa una sola vez y es descargada. La Recirculación del agua es del Tipo

Cerrado porque el Sistema no tiene contacto con la atmósfera excepto en el tanque de expansión que sería el único contacto con ella, punto que realmente es insignificante.

4.3 Proceso de Diseño del Sistema

Diseñar el Sistema de Agua de Enfriamiento significa dimensionar la tubería de tal forma que suministre la cantidad de agua requerida a una velocidad seleccionada, considerando la carga de fricción que la bomba debe ser capaz de vencer. Dicha carga dependerá de la longitud de la tubería y de la rugosidad de su pared interior.

Por lo tanto, desarrollaremos el procedimiento que nos permite relacionar las variables de diseño.

Flujo de Agua

Primero seleccionamos las temperaturas de entrada y de salida del agua según las recomendaciones de ASHRAE, 44°F y 54°F respectivamente.

La cantidad de agua de enfriamiento que se necesita para alimentar cada UMA se la calcula a partir de la Carga Térmica utilizando la Ecuación 4.1:

$$M = \frac{Q}{C_p (T_2 - T_1)} \quad (4.1)$$

donde:

M = Flujo másico en Lb / hr.

Q = Capacidad de Enfriamiento de la UMA, Btu / hr.

C_p = Calor Específico del agua, 1 BTU / °F Lb.

T_2 = Temperatura de Salida del agua en °F.

T_1 = Temperatura de Entrada del agua en °F.

Para expresar el flujo másico en GPM utilizamos la Ecuación 4.2 :

$$GPM = \frac{7{,}48 \times M \times V}{60} \quad (4.2)$$

donde :

M = Flujo másico en Lb / hr.

V = Volumen Específico del agua, 0.01603 ft^3 / Lb.

La Tabla 43 muestra los flujos de agua en GPM para cada manejadora y los enfriadores, en función de la Carga Térmica.

Velocidad

Las velocidades recomendadas para un Sistema de Agua de Enfriamiento dependen de dos condiciones:

TABLA 43
FLUJO DE AGUA
PARA UMAS Y ENFRIADORES

Descripción	Q (Btu/hr)	M (Lb/Hr)	GPM
UEA 1	1620.000	162.000	324
UEA 2	1620.000	162.000	324
UMA 1	126.971	12.697	23
UMA 2	307.105	30.710	55
UMA 3	307.105	30.710	55
UMA 4	363.829	36.383	65
UMA 5	363.829	36.383	65
UMA 6	320.282	32.028	57
UMA 7	320.282	32.028	57
UMA 8	372.530	37.253	67
UMA 9	126.329	12.633	23
UMA 10	147.443	14.744	26
UMA 11	213.572	21.357	38
UMA 12	321.653	32.165	58
UMA 13	321.653	32.165	58

- El servicio para el cual el sistema es usado.
- Los efectos de la erosión.

En el Apéndice A.25 se muestra los rangos de velocidad recomendados (FPS) para diferentes tipos de servicios. El diseño del Sistema está limitado por la velocidad máxima permisible. Los valores de máxima velocidad están basados en niveles de sonido permitidos para el agua en movimiento.

Los efectos de la erosión deben ser considerados porque podrían causar el deterioro completo de la tubería, particularmente sobre el fondo de la superficie y en los codos. Estos efectos se manifiestan en

función del tiempo y dependen de la velocidad del agua y de los materiales suspendidos. Por esta razón, el Apéndice A.26 nos muestra las velocidades máximas (FPS) del agua para minimizar los efectos de la erosión, basados en la experiencia y en pruebas sobre equipos cuyo funcionamiento es óptimo.

Longitud de la Tubería

La longitud de cada tramo de la tubería de hierro la definimos a partir de las distancias físicas existentes entre la casa de máquinas y la posición de cada una de las UMAS. Esta información la obtenemos de los planos arquitectónicos y por supuesto, las condiciones del sitio deben ser consideradas para garantizar el recorrido más corto posible y una instalación sin problemas de espacio.

Mientras las condiciones lo permitan, se recomienda evitar los cambios de dirección continuos porque incrementan la cantidad de material y por ende los costos de inversión.

Pérdidas de Presión por Fricción

En el proceso de diseño e implementación del Sistema es indispensable considerar las pérdidas de presión por rozamiento. La pérdida de presión total está formada por las distintas pérdidas que se producen en el Sistema, tales como en la descarga de la bomba,

la tubería y los diferentes acoplamientos. La caída total de presión del Sistema debe ser menor que la presión de la línea principal.

Las pérdidas de presión deben ser evaluadas y correctamente calculadas para satisfacer los requerimientos de distribución del Edificio.

Pérdidas Mayores

Estas pérdidas se deben al rozamiento constante del agua con las paredes interiores de la tubería y se denominan “Mayores” porque son las que influyen con mayor peso sobre la carga o cabezal de la bomba; la pérdida por rozamiento en la tubería del Sistema depende de la velocidad del agua, la rugosidad de la superficie interior, la longitud y obviamente, del diámetro.

El Apéndice A.27 muestra un gráfico que es utilizado para evaluar las pérdidas por fricción para tubería de acero y sistemas de recirculación cerrados; nos indica la velocidad del fluido, el caudal, el diámetro de la tubería y las pérdidas en pies de agua por cada 100 pies de longitud equivalente de tubería.

Pérdidas Menores

Son las pérdidas que se producen por las longitudes equivalentes adicionales de tubería debidas a acoplamientos, válvulas, codos y otros elementos intercalados en el Sistema.

En los Apéndices A.28 y A.29 se muestran las pérdidas por válvulas y acoplamientos respectivamente, en longitudes equivalentes de tubería.

Cabezal de la Bomba

Los efectos de la fricción en el Sistema pueden ser evaluados introduciendo el concepto de cabezal de la bomba; se define como la Máxima Pérdida de Presión en la tubería y se calcula utilizando la Ecuación 4.3:

$$H = \frac{f \times L_{equiv}}{100} \qquad (4.3)$$

donde:

f = Fricción, ft H_20 por cada 100 ft de tubería.

L_{equiv} = Longitud Equivalente de tubería, incluyen los respectivos valores proporcionados en las tablas para los acoplamientos.

Para el diseño del Sistema , se requiere calcular el Cabezal Máximo Hf debido a las pérdidas de cada tramo que conforman el recorrido de tubería más largo.

Potencia requerida

Para calcular la Potencia requerida por la bomba (Hp) utilizamos la Ecuación 4.4 :

$$Hp = \frac{GPM \times Hf}{\eta \times 3960} \qquad (4.4)$$

donde :

GPM = Máximo Caudal del circuito.

Hf = Máximo Cabezal , ft.

η = Eficiencia de la bomba.

4.4 Procedimiento de Selección del Diámetro de la Tubería

El Sistema de Recirculación se dimensiona para suministrar la cantidad de agua necesaria de acuerdo a las condiciones relacionadas con la velocidad y la fricción.

Evaluando las condiciones del sitio para determinar el recorrido de la tubería y su longitud, con los valores de caudal y velocidad, el gráfico

mostrado en el Apéndice A.27 nos permite seleccionar el diámetro de la tubería.

Análisis del Circuito Primario

El Circuito Primario esta formado por 3 bombas, 2 en funcionamiento y 1 de reserva; está interconectado por medio de tuberías de acero y su recorrido se muestra esquemáticamente en la Figura 4.1.

Los tramos y las longitudes se han definido de acuerdo al espacio disponible .

Considerando un caudal máximo de 648 GPM, una eficiencia de la bomba del 60%, las velocidades recomendadas y diseñando una Hoja Electrónica de Excel con su respectiva formulación de acuerdo a las Ecuaciones 4.3 y 4.4, la Tabla 44 nos muestra los resultados del Proceso de Selección del Diámetro de la Tubería para cada tramo del circuito, el Máximo Cabezal y la Potencia requerida por la bomba.

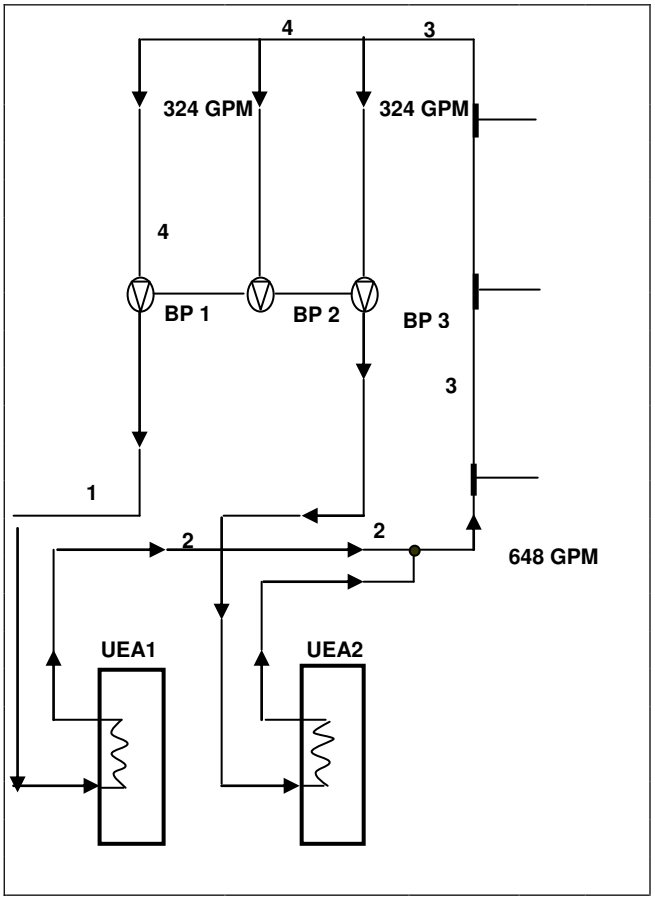

Figura 4.1 Componentes del Circuito Primario

TABLA 44
ANÁLISIS DEL CIRCUITO PRIMARIO – DIMENSIONAMIENTO MÁXIMO CABEZAL – POTENCIA REQUERIDA

PARAMETROS DEL DISEÑO					CANTIDAD					LONGITUD EQUIVALENTE						PERDIDAS	
					ACOPLES			VALVULAS		ACOPLES			VALVULAS			f	Cabezal
TRAMO	GPM	FPS	D (in)	L (ft)	Codo	T	U	Trip	Marip	Codo	T	U	Trip	Marip	Total	ft H2O/100 ft	H
1	324	6	5	34,59	4		1	1	2	16		10	150	115	488,59	2,4	11,73
S_{erp}																	10,00
2	324	7	5	32,08	3				1	16				115	195,08	3,6	7,02
3	648	7	6	19,01	2	3				20	13				98,01	2,7	1,32
4	324	7	5	13,44	1	2			1	16	10			115	164,44	3,6	5,92
																Hf =	**35,99**
																Hp =	**10**

Análisis del Circuito Secundario

El Circuito Secundario esta formado por 2 bombas, 1 en funcionamiento y 1 de reserva; está interconectado por medio de tuberías de acero y su recorrido se muestra esquemáticamente en la Figura 4.2.

Los tramos y las longitudes se han definido de acuerdo al espacio disponible . La distribución y la cantidad de agua se han calculado de acuerdo al Principio de Conservación de la Masa y a las necesidades térmicas de cada piso.

Considerando un caudal máximo de 648 GPM, una eficiencia de la bomba del 75%, las velocidades recomendadas y diseñando una Hoja Electrónica de Excel con su respectiva formulación, Ecuaciones 4.3 y 4.4, la Tabla 45 nos muestra los resultados del Proceso de Selección del Diámetro de la Tubería para cada tramo que conforma el recorrido más largo del circuito (A B C D E F), el Máximo Cabezal y la Potencia requerida por la bomba.

La Tabla 46 nos muestra los resultados del Proceso de Selección del Diámetro de la Tubería de Descarga para cada UMA en los respectivos pisos.

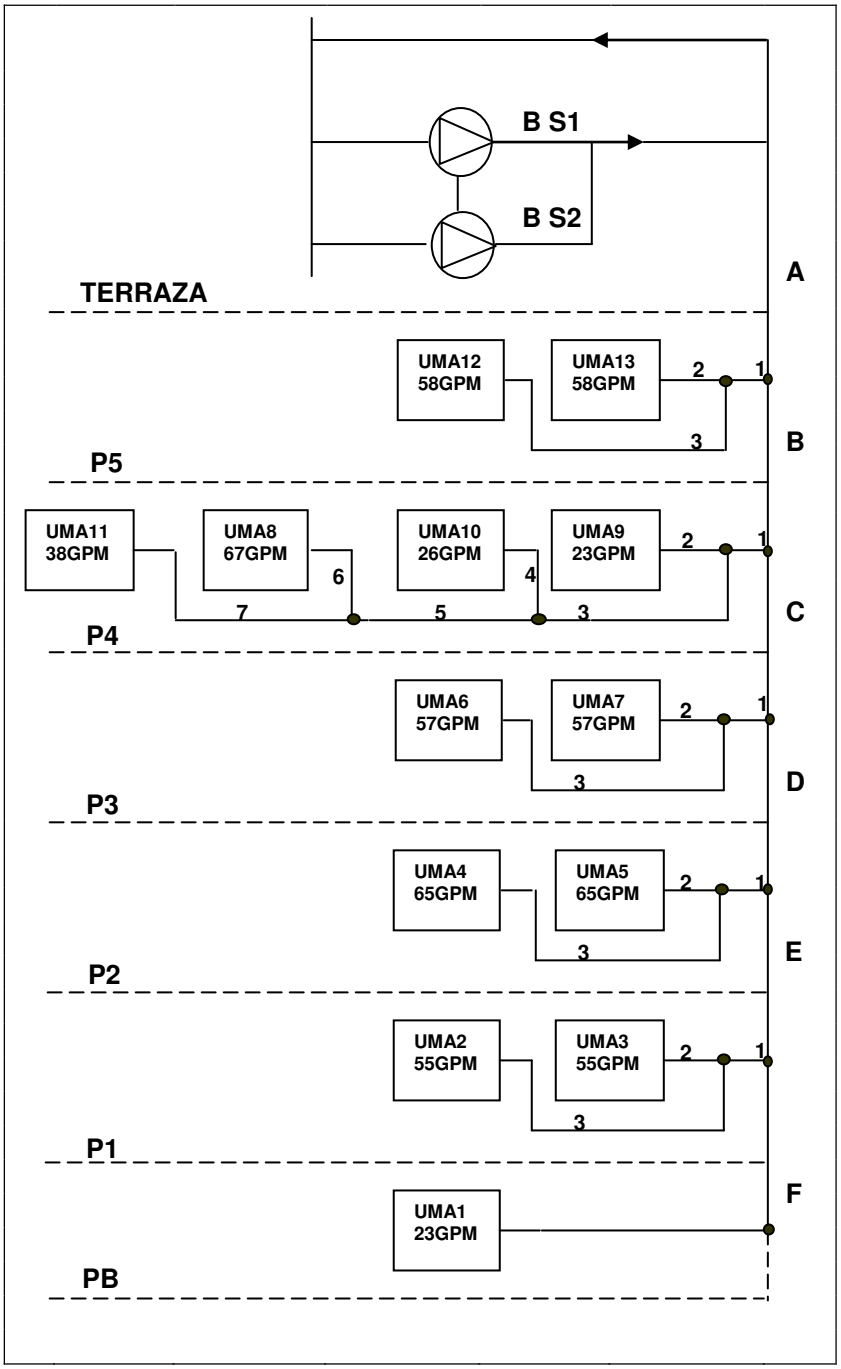

Figura 4.2 Componentes del Circuito Secundario

TABLA 45
ANÁLISIS DEL CIRCUITO SECUNDARIO - DIMENSIONAMIENTO
MÁXIMO CABEZAL - POTENCIA REQUERIDA

PARAMETROS DEL DISEÑO					CANTIDAD								LONGITUD EQUIVALENTE									PERDIDAS	
					ACOPLES			VALVULAS					ACOPLES			VALVULAS						f	Cabezal
TRAMO	GPM	FPS	D (in)	L (ft)	Codos	T	U	Trip	Marip	Reg	Glb	2 V	Codos	T	U	Trip	Marip	Reg	Glb	2 V	Total	ft H2O/100 ft	H
A	648	7	8	37,78	2	2		1	1				20	13		150	115				368,78	2,5	9,22
B	532	7	6	28,86		2								18							64,86	2,7	1,75
C	378	7	5	28,86		2								14							56,86	3,5	1,99
D	264	7	5	28,86		2								8							45,26	4,5	2,04
E	134	7	3	34,12	2	2							8	13							75,12	6,5	4,88
F	24	7	1 1/4	315,52	18	2	10			1	1	1	3	8	2			2	38	15	467,42	17,00	79,46
																						Hf =	**99,34**
																						Hp =	**22**

TABLA 46
DIMENSIONAMIENTO DE LAS TUBERÍAS DE DESCARGA DE UMAS

TRAMO	GPM	FPS	D (in)
P1			
1	110	6	3
2	55	4	2 1/2
3	55	4	2 1/2
P2			
1	130	6	3 1/2
2	65	4	3
3	65	4	3
P3			
1	114	6	3
2	57	4	2 1/2
3	57	4	2 1/2
P4			
1	154	6	3 1/2
2	23	4	2
3	131	6	3 1/2
4	26	4	2
5	105	6	3
6	67	4	3
7	38	4	2
P5			
1	116	6	3
2	58	4	2 1/2
3	58	4	2 1/2

4.5 Accesorios del Sistema

Para el funcionamiento óptimo del Circuito Primario y Secundario se necesita implementar ciertos accesorios que permiten controlar los parámetros del Sistema, como una medida preventiva. El tipo de accesorio y la cantidad dependen del recorrido de la tubería y difieren dependiendo de los requerimientos técnicos.

Entre los accesorios del Sistema podemos mencionar los eliminadores de vibración, medidores de presión y temperatura, válvulas, tanque de expansión, separador de aire, etc. En el Plano 10**,** se muestra el diagrama esquemático del Sistema de Distribución de Agua.

CAPÍTULO 5

5. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE

Los procedimientos anteriores nos permiten obtener un aire completamente acondicionado de acuerdo a las necesidades térmicas del Edificio; un aire cuyas condiciones de temperatura y humedad brindará a las personas un clima confortable.

En este Capítulo se describe la metodología que nos permite distribuirlo a los diferentes ambientes de una forma homogénea a través de un Sistema de Ductos.

5.1 Consideraciones Generales

El objetivo del Sistema de Distribución es entregar una cantidad específica de aire a cada uno de los difusores del ejercicio acondicionado. Para su efecto, necesitaremos considerar ciertos parámetros como la velocidad, la pérdida de presión por fricción, las condiciones geométricas del sitio, el nivel del ruido entre otros; los

conceptos teóricos son aplicados de acuerdo a los criterios que nos garantizan un servicio funcional y eficiente.

5.2 Espacio Disponible

Es importante tener una idea clara sobre las características físicas del sitio que necesitamos climatizar. Se recomienda visitar el lugar para realizar una inspección; sin embargo, de los detallas arquitectónicos mostrados en los Planos del 1 al 9, podemos obtener una completa información sobre el espacio disponible en donde puede instalarse el Sistema de Distribución en cada piso; consideraciones tales como la distancia entre la losa y el techo falso, y el número de esquinas, definirán el recorrido del ducto; lógicamente, lo más simétrico posible.

Por otro lado, para construcciones pesadas , el suficiente espacio disponible facilitará la construcción de ductos más grandes y por ende, una considerable reducción de la velocidad del aire y del nivel del ruido.

5.3 Criterios de Diseño

Para diseñar el Sistema de Distribución debemos considerar tres criterios que limitan y afectan directamente el alcance de nuestros

cálculos desde un punto de vista técnico y económico: el nivel de ruido, la velocidad y la presión del aire.

Ruido

El Sistema de Distribución debe tener un nivel de ruido tolerable. Esto significa que su funcionamiento no afecte las actividades realizadas ni cause distracción en sitios como un estudio, sala-conferencia, sala de espera, etc.

Para el Edificio de funciones administrativas, se requiere un ambiente tranquilo y con relativo silencio. El ruido debe ser prevenido antes de la instalación, porque una vez en servicio, es muy costoso corregirlo y peor aún, eliminarlo.

El nivel de ruido tiene directa relación con la velocidad del aire y con la geometría del ducto. Si queremos reducirlo, debemos utilizar velocidades bajas, que para nuestra aplicación de confort, es un criterio aceptable.

Velocidad del Aire

Un Sistema de Distribución puede ser clasificado como de baja o de alta velocidad. Para una aplicación comercial se considera baja velocidad entre 1.200 y 2.200 FPM; alta velocidad para valores sobre

2.500 FPM. Para una aplicación industrial, baja velocidad entre 2.200 y 2.500 FPM; alta velocidad entre 2.500 y 5.000 FPM.

Presión del Aire

Un Sistema de Distribución también puede clasificarse como baja presión para valores por debajo de 3 ¾ in. H_2O; media presión para valores entre 3 ¾ a 6 ¾ in. H_2O ; alta presión para valores entre 6 ¾ a 12 ¼ in. H_2O . Estos rangos de presión se refieren a presiones totales considerando las pérdidas a través de la máquina, el ducto, el ducto flexible y los difusores.

5.4 Diseño de Ductos

Diseñar un ducto es dimensionarlo de tal forma que entregue una cantidad determinada de aire a través de los ductos flexibles y los difusores, con una velocidad debidamente seleccionada y una pérdida de presión definida .

Para determinar las dimensiones, es necesario conocer las variables que afectan directamente el diseño y los procedimientos aceptados por las Normas Internacionales, las condiciones del sitio que nos permiten seleccionar el recorrido del ducto y los requerimientos necesarios para su construcción.

5.4.1 Variables que intervienen en el Proceso de Diseño

El Proceso de Diseño depende de ciertos parámetros que se relacionan entre si para crear las mejores condiciones de distribución. El flujo de aire (CFM) , su velocidad (FPM) , la longitud del ducto (L) y la fricción (f) son las variables que identificaremos , por medio de las cuales es posible definir el dimensionamiento del ducto.

Flujo de Aire (CFM)

La cantidad de aire que debemos distribuir en cada piso depende de la Capacidad Térmica de las UMAS, en otras palabras, se relaciona con la Carga de Enfriamiento. En el Capítulo 3, determinamos los Parámetros del Serpentín, entre ellos, CFM_{sa}, la cantidad de aire inicial que la UMA es capaz de suministrar, flujo que es distribuido a través de todos los tramos de una manera uniforme de acuerdo al Principio de la Conservación de Masa.

Velocidad del Aire (FPM)

En los párrafos anteriores hemos explicado que la selección de la velocidad para un Sistema de Distribución de aire depende

principalmente del nivel de ruido; consideración que puede afectar los costos de inversión y de operación.

En el Apéndice A.30 se muestra una lista de velocidades recomendadas para el suministro y retorno del aire en Sistemas de Baja Velocidad, basadas en la experiencia. Velocidades superiores a estos valores incrementan el rozamiento entre el aire y las paredes del ducto lo que implicaría un aumento del nivel del ruido.

Longitud del Ducto

Las condiciones del sitio y su geometría nos permiten definir el recorrido del ducto principal y cada una de sus ramificaciones. Las longitudes de cada trayectoria serán tomadas de acuerdo a las distancias físicas que separan cada uno de los ambientes, valores que pueden ser medidos en los Planos del 1 al 6.

Con el flujo de aire y las distancias, podemos representar esquemáticamente mediante un diagrama unifilar las longitudes de los ductos, considerando una distribución homogénea y simétrica. Estos gráficos nos servirán de soporte para el dimensionamiento de los ductos.

Fricción

Conforme el aire circula por el ducto, experimenta una pérdida de presión debido a la fricción; esta pérdida representa un cambio de energía mecánica a energía térmica debido al rozamiento continuo del aire con las paredes del ducto, codos, acoples y transformaciones.

Conocer los efectos de la fricción es muy importante porque si la pérdida de presión esta por encima de los valores de diseño, simplemente la distribución del aire no será uniforme.

Pérdidas por Longitud

Diversas experimentaciones han demostrado que las pérdidas de presión por fricción debido al rozamiento del aire con las paredes del ducto dependen de la velocidad , las dimensiones, la longitud y la superficie rugosa interior del ducto.

Las variables mencionadas se relacionan entre si por medio de la Ecuación 5.1:

$$\Delta P = 0.03\, f \left(\frac{L}{d^{1.22}} \right) \left(\frac{V}{1000} \right)^{1.82} \qquad (5.1)$$

donde:

$\triangle P$ = Pérdida por Fricción, in. H_2O.

f = Rugosidad de la superficie interior del ducto.

L = Longitud del ducto, ft.

d = Diámetro del ducto, in.

V = Velocidad del aire, FPM.

Esta ecuación es usada para construir la Carta Stándar de Fricción mostrada en el Apéndice A.31 para ductos galvanizados y aire a 70 ° F. Esta carta presenta de una forma práctica las relaciones entre el caudal, la velocidad, la pérdida de fricción (in.H_2O. por 100 ft de longitud equivalente) y el diámetro del ducto.

Pérdidas por Acoplamientos, Transformaciones y Codos

La pérdida total de presión es calculada para la longitud equivalente del ducto e incluye las pérdidas a través de los acoplamientos, transformaciones, reducciones y codos; todo elemento que represente una obstrucción del flujo de aire en el ducto contribuye a dicha pérdida. Los datos del Apéndice A.32 y A.33 son usados para evaluar las pérdidas a través de determinados elementos del Sistema de Ductos en términos de un coeficiente y las velocidades de presión.

Pérdida de Presión Total

El Sistema de Ductos debe ser diseñado considerando la pérdida de presión al final de cada tramo. La potencia del motor debe ser tal que el ventilador de la UMA sea capaz de distribuir el aire hasta el último difusor del Sistema. Para su efecto debe vencer el rozamiento que se manifiesta en la pérdida de presión estática más la pérdida de presión dinámica o velocidad de presión.

Para calcular la presión estática total debemos considerar las pérdidas en el tramo que tenga la mayor longitud, adicionando las pérdidas en los codos, transformaciones, acoplamientos, ducto flexible y difusor.

La pérdida de presión estática a través de un ducto se calcula utilizando la Ecuación 5.2:

$$SP = \frac{L \times f}{100} \quad (5.2)$$

donde:

L = Longitud total del ducto, ft.

f = Fricción,in.H_2O por 100 ft de Longitud Equivalente.

La velocidad de presión se calcula utilizando la Ecuación 5.3:

$$Vp = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 \qquad (5.3)$$

donde:

V = Velocidad del aire a través del ducto, FPM.

La pérdida de presión estática que experimenta el aire a través de los codos, reducciones y expansiones es calculada utilizando las Ecuaciones 5.4 , 5.5 y 5.6 respectivamente:

$$SP = C_c \times VP \qquad (5.4)$$

$$SP = C_r (VP_2 - VP_1) \qquad (5.5)$$

$$SP = C_e (Vp_1 - VP_2) \qquad (5.6)$$

donde:

VP_1 = Velocidad de Presión a la Entrada del Acoplamiento, in H_2O.

VP_2 = Velocidad de Presión a la Salida del Acoplamiento in H_2O.

C_c = Coeficiente de Pérdida de Presión para Codos.

C_r = Coeficiente de Pérdida de Presión para Reducciones.

C_e = Coeficiente de Pérdida de Presión para Expansiones.

Potencia requerida

Para calcular la Potencia requerida por el motor del ventilador de la UMA (Hp) utilizamos la Ecuación 5.7:

$$Hp = \frac{CFM \times Hf}{\eta \times 6344} \qquad (5.7)$$

donde :

CFM = Flujo de aire suministrado por la UMA.

Hf = Máxima Pérdida de Presión a través del tramo más largo , del Sistema de Ductos, in H_2O.

η = Eficiencia del motor del ventilador de la UMA.

5.4.2 Dimensionamiento del Ducto

Con el flujo de aire suministrado por la UMA y la selección de una velocidad adecuada, el problema básico del diseño de un ducto es dimensionarlo; lógicamente las dimensiones dependerán de la geometría del ducto.

Una configuración geométrica bien proporcionada nos garantizará una Distribución eficiente del aire. Obviamente, las condiciones del sitio limitan sus dimensiones en el sentido de que si el espacio disponible es pequeño y el ducto es grande, el diseño no es correcto (el ducto no entra en ese espacio); no obstante, para Sistemas de Baja Velocidad y alta disponibilidad de espacio, el tamaño del ducto no es un problema.

Consideraciones Geométricas

El círculo es la geometría ideal para los ductos que transportan aire acondicionado porque la superficie de contacto con el aire es menor en comparación con los ductos cuadrados o rectangulares; esto significa menor rozamiento y por ende menor pérdida de presión.

De la Carta mostrada en el Apéndice A.31, con dos de estas variables, flujo, velocidad o pérdidas por fricción, determinamos el diámetro del ducto que mantiene estas condiciones.

El problema del ducto circular es que es muy difícil de implementar porque se requiere de cierta tecnología costosa para construirlo; por eso, en la práctica se prefiere trabajar con

ductos rectangulares y si las condiciones de flujo y velocidad lo permiten, con ductos cuadrados. Las Tablas de los Apéndices A.34 y A.35 son utilizadas para transformar el diámetro equivalente de un ducto circular en las dimensiones de un ducto rectangular.

Razón de Aspecto

La Razón de Aspecto de un ducto, Ra, es la relación entre el ancho y la altura; es un valor que nos indica que tan grande es el ducto; para ductos cuadrados Ra es igual a 1 ; para ductos rectangulares Ra es mayor que 1.

Se recomienda que Ra sea menor que 2; valores superiores inciden directamente en la eficiencia y en los costos de inversión y operación del ducto por que aumenta la cantidad de material, y no solo eso, se incrementa el peso del ducto, por lo tanto se requiere de más accesorios para la correcta sujeción del mismo.

5.4.3 Método de Diseño

Para dimensionar un ducto que maneja determinada cantidad de aire y fluye con cierta velocidad, de la Carta mostrada en el

Apéndice A.31 obtenemos el diámetro equivalente del ducto**,** luego de las Tablas del Apéndice A.34 y A.35 obtenemos las dimensiones equivalentes del ducto rectangular; este análisis es relativamente sencillo.

El problema es que un Sistema de Distribución consta de una serie de ductos con transformaciones, codos, ramificaciones y elementos adicionales que no permiten establecer a priori el comportamiento de las variables. Por esa razón los investigadores han desarrollado unos métodos que nos sirven para dimensionar cada tramo utilizando un procedimiento definido y ordenado.

Dependiendo si el Sistema es de alta o baja velocidad, podemos mencionar los métodos de Reducción de Velocidad, Igual Fricción, Reganancia Estática, Capacidad Balanceada, Velocidad Asumida, Presión Total de Ashrae, etc.

Desarrollaremos con mayor atención el método de Igual Fricción.

Igual Fricción

Es un método muy sencillo y se lo recomienda para Sistemas de Baja Velocidad. Consiste en seleccionar una velocidad de

los datos del Apéndice A.30 y con el caudal que queremos manejar inicialmente calculamos una pérdida por fricción y un diámetro equivalente de la Carta del Apéndice A.31. Este mismo valor de fricción lo mantendremos constante a través del ducto incluyendo las reducciones de área y los diversos tramos; por lo tanto, automáticamente la velocidad del aire se reducirá en la dirección del flujo.

5.4.4 Construcción de los Ductos

El calibre de la lámina del metal usado en la construcción de los ductos, uniones longitudinales y sus refuerzos requeridos dependen de las condiciones de presión del Sistema de Distribución. Existe también una extensa variedad de juntas y costuras utilizadas en la conformación rectangular del ducto. En el Capítulo 8 de Especificaciones Técnicas se describen las recomendaciones de construcción para ductos rectangulares así como las características de los codos y de las piezas de trancisión. La figura del Apéndice A.36 ilustra las juntas y costuras más comunes usadas en Sistemas de Baja Presión.

5.4.5 Accesorios

Para un funcionamiento óptimo de los ductos, se necesita implementar unos elementos adicionales que contribuirán a la eficiencia del Sistema, una Distribución correcta del aire, y lo más importante un considerable ahorro de energía. Existe una variedad de accesorios que dependiendo de las condiciones geométricas y físicas del sitio son de mucha utilidad, pero para las consideraciones prácticas que planteamos, mencionaremos entre otros: los elementos de acople, el aislamiento, los soportes, las juntas flexibles y las compuertas reguladoras del flujo de aire.

5.5 Ductos Flexibles

Como su nombre lo indica, son elementos flexibles que utilizamos para distribuir el aire acondicionado desde el ducto hasta el difusor o rejilla. La ventaja que nos ofrecen los ductos flexibles es la versatilidad en la instalación; esto significa que si las condiciones físicas no son favorables en cuanto al espacio disponible, el ducto flexible se adapta a estas condiciones.

Además, reducimos los Costos de Instalación al prescindir de planchas galvanizadas de acero adicionales. Por medio de collarines se acoplan fácilmente a los ductos y difusores. Existe una variedad

de diámetros estándar; debemos seleccionar el diámetro del ducto flexible que cumpla con las condiciones de flujo y velocidad de aire.

Proceso de Selección

En el Apéndice A.37 se muestra la Carta de Fricción para Ductos Flexibles. Con el flujo de aire que queremos distribuir, y con una pérdida de presión por fricción entre 0.08 y de 0.15 in.H_2O por 100 ft longitud (un valor empírico recomendado), determinamos el diámetro y la velocidad del aire a través del ducto flexible**.**

5.6 Difusores y Rejillas

Son los elementos terminales que finalmente distribuyen el aire acondicionado al ambiente de una forma homogénea y de acuerdo a las condiciones de flujo y velocidad requeridas; para asegurar estas condiciones el dimensionamiento del elemento debe ser calculado sobre la base de un criterio técnico.

Los difusores y rejillas pueden ser instalados en el techo, en la pared o en el piso dependiendo de las condiciones del sitio. El aire que fluye a través de ellos experimenta una pérdida de presión; los Apéndices A.38 y A.39 muestran los valores correspondientes a la pérdida de presión para difusores de diferentes dimensiones .

El criterio más importante que afecta los cálculos es el nivel del ruido que esta directamente relacionado con la velocidad de salida del aire.

El Apéndice A.40 muestra datos sobre las Velocidades de Salida recomendadas que resultan de un nivel de ruido aceptable para distintas aplicaciones.

Cálculos y Dimensionamiento

Para dimensionar el elemento terminal utilizamos la Ecuación 5.8 :

$$L = \sqrt{\frac{CFM \times 144}{FPM}} \qquad (5.8)$$

donde :

L = Lado del difusor, in.

CFM = Caudal de aire que se esta distribuyendo.

FPM = Velocidad de salida recomendada.

5.7 Resultados

Realizando un análisis metódico de los parámetros de cálculo y de las características arquitectónicas del Edificio, procedemos a diseñar el Sistema de Distribución de Aire de acuerdo a las necesidades de confort del mismo.

El criterio para el Edificio puede ser enfocado desde un punto de vista comercial utilizando los rangos de Baja Velocidad y Presión para la correcta distribución del aire.

La cantidad de aire suministrado en cada departamento dependerá del porcentaje de área en relación al área total del piso.

Utilizaremos para el dimensionamiento de los ductos el Método de Igual Fricción y las Ecuaciones 5.2 a la 5.8 para el cálculo de cada uno de los parámetros involucrados en el proceso.

El Diseño del Sistema de Distribución de Aire es mostrado en los Planos del 11 al 16 para cada uno de los pisos y es formado, con sus respectivas dimensiones, por los ductos de mando y sus ramificaciones, acoplamientos, ductos flexibles y difusores.

El Planos de diseño incluye el ducto de toma de aire exterior y las rejillas para el retorno del aire hasta la UMA.

Implementando una Hoja Electrónica de Excel con su respectiva formulación , las Tablas 47 a la 59 muestran el Cálculo de las Pérdidas por Fricción para el tramo más largo del Sistema de Distribución y la Potencia Requerida, para cada UMA.

TABLA 47
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 1

Ductos	**Parámetros de Diseño**							**Pieza de Transcisiòn**			**Codo**			**Coeficiente**		**Pérdidas por Fricción**			
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**B(in)**	**H(in)**	**f/100**	**Ra**	**FPM**	**L(ft)**	**f/100**	**B(in)**	**H(in)**	**Ra**	**Codo**	**Exp.**	**VP_1**	**VP_2**	**SP**	**PT**
A	5046	1600	16,40	30	16	0,14	1,88				30	16	1,88	0,22			0,1596	0,0581	0,2177
B	4318	1550	7,49	26	16	0,14	1,63	1680	2,00	0,17					0,17	0,1760	0,1498	0,0183	0,1681
C	3407	1500	10,12	24	16	0,14	1,50	1700	2,00	0,19					0,45	0,1802	0,1403	0,0359	0,1762
D	1913	1300	13,12	20	12	0,14	1,67				20	12	1,67	0,22		0,0000	0,1054	0,0415	0,1469
E	658	1000	36,36	10	10	0,14	1,00	1210	2,00	0,23	10	10	1,00	0,22	0,28	0,0913	0,0623	0,0910	0,1534
F	454	900	5,20	10	8	0,14	1,25	1000	2,00	0,18					0,28	0,0623	0,0505	0,0142	0,0647

Ducto Flexible						
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**D(in)**	**f/100**	**PT**
G	454	600	8,52	12	0,08	0,0068

Difusor					
Ubicación	**CFM**	**FPM**	**B(in)**	**H(in)**	**PT**
107	454	500	12	12	0,106

Potencia Requerida			
CFM	**Hf**	**η**	**Hp**
5046	1,0398	0,50	**2**

TABLA 48
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 2

Ductos	Parámetros de Diseño							Pieza de Transcisiòn			Codo			Coeficiente			Pérdidas por Fricción			
TRAMO	CFM	FPM	L(ft)	B(in)	H(in)	f/100	Ra	FPM	L(ft)	f/100	B(in)	H(in)	Ra	Codo	Red.	Exp.	VP_1	VP_2	SP	PT
A	9359	1600	44,28	30	30	0,09	1,00				30	30	1,00	0,22				0,1596	0,0750	0,2346
B	7801	1500	19,30	30	26	0,09	1,15	1650	2,00	0,11						0,45	0,1697	0,1403	0,0328	0,1731
C	5451	1400	2,90	30	20	0,09	1,50	1550	2,00	0,12						0,59	0,1498	0,1222	0,0213	0,1435
D	5133	1350	13,07	28	20	0,09	1,40	1480	2,00	0,11						0,17	0,1366	0,1136	0,0179	0,1315
E	4231	1300	29,80	26	20	0,09	1,30	1530	2,00	0,11	26	20	1,30	0,22		0,28	0,1459	0,1054	0,0636	0,1689
F	3051	1200	27,50	20	20	0,09	1,00	1350	2,00	0,12						0,28	0,1136	0,0898	0,0338	0,1236
G	2040	1100	10,12	20	14	0,09	1,43	1250	2,00	0,13						0,59	0,0974	0,0754	0,0247	0,1001
H	1756	1050	17,33	18	14	0,09	1,29	1150	2,00	0,11						0,17	0,0824	0,0687	0,0201	0,0889
I	1227	950	4,87	14	14	0,09	1,00	1080	2,00	0,11						0,17	0,0727	0,0563	0,0094	0,0656
J	982	925	9,82	14	12	0,09	1,17	950							0,07		0,0563	0,0533	0,0086	0,0620
K	736	850	6,38	14	10	0,09	1,40	925			14	10	1,40	0,22	0,07		0,0533	0,0450	0,0151	0,0601
L	491	775	7,85	12	8	0,09	1,50	850							0,07		0,0450	0,0374	0,0065	0,0440

Ducto Flexible						
TRAMO	CFM	FPM	L(ft)	D(in)	f/100	PT
M	245,5	500	4,92	10	0,08	0,0039

Difusor					
Ubicación	CFM	FPM	B(in)	H(in)	PT
207	245,5	500	10	10	0,075

Potencia Requerida			
CFM	Hf	η	Hp
9359	1,4748	0,50	**4**

TABLA 49
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 3

Ductos	Parámetros de Diseño							Pieza de Transcisiòn			Codo			Coeficiente			Pérdidas por Fricción			
TRAMO	CFM	FPM	L(ft)	B(in)	H(in)	f/100	Ra	FPM	L(ft)	f/100	B(in)	H(in)	Ra	Codo	Red.	Exp.	VP_1	VP_2	SP	PT
A	9359	1600	6,56	30	30	0,09	1,00											0,1596	0,0059	0,1655
B	5256	1350	30,75	30	20	0,09	1,50				30	20	1,50	0,22			0,0000	0,1136	0,0777	0,1913
C	3827	1290	17,91	30	16	0,09	1,88	1350	2,00	0,11						0,59	0,1136	0,1037	0,0241	0,1279
D	2707	1190	14,22	26	14	0,09	1,86	1270	2,00	0,11						0,45	0,1006	0,0883	0,0205	0,1088
E	1136	950	41,28	18	10	0,09	1,80	1550	2,00	0,30						0,73	0,1498	0,0563	0,1114	0,1677
F	945	900	17,22	14	12	0,09	1,17				14	12	1,17	0,22			0,0000	0,0505	0,0266	0,0771
G	816	875	4,59	12	12	0,09	1,00	900							0,07		0,0505	0,0477	0,0039	0,0517
H	676	825	5,24	12	10	0,09	1,20				12	10	1,20	0,22			0,0000	0,0424	0,0141	0,0565
I	363	725	11,80	10	8	0,09	1,25	825							0,07		0,0424	0,0328	0,0099	0,0427

Ducto Flexible						
TRAMO	CFM	FPM	L(ft)	D(in)	f/100	PT
J	181,5	500	4,59	8	0,08	0,0037

Difusor					
Ubicación	CFM	FPM	B(in)	H(in)	PT
241A	181,5	500	8	8	0,085

Potencia Requerida			
CFM	Hf	η	Hp
9359	1,0778	0,50	**3**

TABLA 50
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 4

Ductos	Parámetros de Diseño						Pieza de Transcisiòn				Codo			Coeficiente			Pérdidas por Fricción			
TRAMO	CFM	FPM	L(ft)	B(in)	H(in)	f/100	Ra	FPM	L(ft)	f/100	B(in)	H(in)	Ra	Codo	Red.	Exp.	VP_1	VP_2	SP	PT
A	9059	1600	41,65	30	30	0,10	1,00				30	30		0,22				0,1596	0,1119	0,2715
B	7674	1520	21,60	30	26	0,10	1,15	1630	2,00	0,11						0,59	0,1656	0,1440	0,0365	0,1806
C	5325	1450	1,92	30	20	0,10	1,50	1650	2,00	0,14						0,73	0,1697	0,1311	0,0329	0,1640
D	5110	1400	14,71	28	20	0,10	1,40	1600	2,00	0,13						0,22	0,1596	0,1222	0,0255	0,1477
E	3149	1270	14,38	22	18	0,10	1,22	1350	2,00	0,12						0,45	0,1136	0,1006	0,0227	0,1232
F	2826	1250	9,13	20	18	0,10	1,11	1350	2,00	0,13	20	18	1,11	0,22		0,28	0,1136	0,0974	0,0377	0,1351
G	2541	1200	12,74	18	18	0,10	1,00	1350	2,00	0,14						0,28	0,1136	0,0898	0,0222	0,1120
H	2187	1150	8,48	18	16	0,10	1,13	1300	2,00	0,14						0,45	0,1054	0,0824	0,0216	0,1040
I	1978	1100	9,46	16	16	0,10	1,00	1375	2,00	0,15						0,28	0,1179	0,0754	0,0243	0,0998
J	1763	1080	13,40	16	16	0,10	1,00	1400	2,00	0,18						0,45	0,1222	0,0727	0,0393	0,1120
K	1440	1050	15,04	16	14	0,10	1,14	1400	2,00	0,18						0,45	0,1222	0,0687	0,0427	0,1114
L	1074	980	16,02	16	12	0,10	1,33	1150	2,00	0,15						0,59	0,0824	0,0599	0,0323	0,0922
M	631	860	3,60	12	10	0,10	1,20				12	10	1,20	0,22			0,0000	0,0461	0,0137	0,0599
N	463	800	3,60	10	10	0,10	1,00	860							0,07		0,0461	0,0399	0,0032	0,0431
O	262	700	3,60	10	6	0,10	1,67	800							0,07		0,0399	0,0305	0,0029	0,0335
P	94	550	4,92	6	6	0,10	1,00	700							0,07		0,0305	0,0189	0,0041	0,0230

Ducto Flexible						
TRAMO	CFM	FPM	L(ft)	D(in)	f/100	PT
Q	94	500	5,90	6	0,13	0,0077

Difusor					
Ubicación	CFM	FPM	B(in)	H(in)	PT
313A	94	500	6	6	0,084

Potencia Requerida			
CFM	Hf	η	Hp
9059	1,9046	0,50	**5**

TABLA 51
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 5

Ductos	Parámetros de Diseño						Pieza de Transcisiòn			Codo		Coeficiente				Pérdidas por Fricción				
TRAMO	CFM	FPM	L(ft)	B(in)	H(in)	f/100	Ra	FPM	L(ft)	f/100	B(in)	H(in)	Ra	Codo	Red.	Exp.	VP_1	VP_2	SP	PT
A	9059	1600	8,20	30	30	0,10	1,00											0,1596	0,0082	0,1678
B	6835	1500	30,50	30	24	0,10	1,25				30	24	1,25	0,22			0,0000	0,1403	0,0922	0,2325
C	5361	1450	2,90	30	20	0,10	1,50	1500	2,00	0,11						0,59	0,1403	0,1311	0,0105	0,1416
D	4120	1350	18,97	26	18	0,10	1,44	1500	2,00	0,13						0,45	0,1403	0,1136	0,0336	0,1472
E	2497	1200	10,77	20	16	0,10	1,25	1350	2,00	0,14						0,45	0,1136	0,0898	0,0243	0,1141
F	1841	1100	11,10	18	14	0,10	1,29	1250	2,00	0,13						0,45	0,0974	0,0754	0,0236	0,0990
G	885	940	8,80	12	12	0,10	1,00	1100	2,00	0,15						0,28	0,0754	0,0551	0,0175	0,0726
H	578	850	20,99	12	10	0,10	1,20				12	10	1,20	0,22			0,0000	0,0450	0,0309	0,0759
I	385	750	9,84	10	8	0,10	1,25	850							0,07		0,0450	0,0351	0,0091	0,0442

Ducto Flexible						
TRAMO	CFM	FPM	L(ft)	D(in)	f/100	PT
J	192,66	500	3,28	8	0,12	0,0039

Difusor					
Ubicación	CFM	FPM	B(in)	H(in)	PT
327	192,66	500	8	8	0,085

Potencia Requerida			
CFM	Hf	η	Hp
9059	1,1839	0,50	**3**

TABLA 52
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 6

Ductos	Parámetros de Diseño							Pieza de Transcisiòn			Codo			Coeficiente			Pérdidas por Fricción			
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**B(in)**	**H(in)**	**f/100**	**Ra**	**FPM**	**L(ft)**	**f/100**	**B(in)**	**H(in)**	**Ra**	**Codo**	**Red.**	**Exp.**	**VP_1**	**VP_2**	**SP**	**PT**
A	9107	1600	41,00	30	30	0,10	1,00				30	30	1,00	0,22				0,1596	0,1112	0,2708
B	7867	1550	23,24	30	26	0,10	1,15	1580	2,00	0,10						0,45	0,1556	0,1498	0,0279	0,1777
C	5580	1450	1,92	30	20	0,10	1,50	1600	2,00	0,13						0,73	0,1596	0,1311	0,0253	0,1564
D	5066	1400	28,16	28	20	0,10	1,40	1500	2,00	0,12	28	20	1,40	0,22		0,28	0,1403	0,1222	0,0625	0,1847
E	2837	1250	44,56	20	18	0,10	1,11	1350	2,00	0,13	20	18	1,11	0,22		0,45	0,1136	0,0974	0,0973	0,1947
F	2190	1180	8,15	18	16	0,10	1,13	1350	2,00	0,15						0,45	0,1136	0,0868	0,0232	0,1100
G	1697	1100	15,36	16	16	0,10	1,00	1400	2,00	0,17						0,45	0,1222	0,0754	0,0398	0,1152
H	1294	1025	13,07	14	14	0,10	1,00	1300	2,00	0,17						0,45	0,1054	0,0655	0,0344	0,0999
I	864	930	6,88	14	10	0,10	1,40				14	10	1,40	0,22			0,0000	0,0539	0,0187	0,0727
J	426	840	6,56	10	8	0,10	1,25				10	8	1,25	0,22			0,0000	0,0440	0,0162	0,0602
K	213	660	10,16	8	6	0,10	1,33	840							0,07		0,0440	0,0272	0,0090	0,0361

Ducto Flexible

TRAMO	CFM	FPM	L(ft)	D(in)	f/100	PT
L	213	500	1,64	10	0,08	0,0013

Difusor

Ubicaciòn	CFM	FPM	B(in)	H(in)	PT
411	213	500	8	8	0,108

Potencia Requerida

CFM	Hf	η	Hp
9107	1,5878	0,50	**5**

TABLA 53
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 7

Ductos	Parámetros de Diseño							Pieza de Transcisiòn			Codo			Coeficiente			Pérdidas por Fricción			
TRAMO	CFM	FPM	L(ft)	B(in)	H(in)	f/100	Ra	FPM	L(ft)	f/100	B(in)	H(in)	Ra	Codo	Red.	Exp.	VP_1	VP_2	SP	PT
A	9107	1600	11,48	30	30	0,10	1,00											0,1596	0,0115	0,1711
B	4384	1350	26,24	30	16	0,10	1,88				30	16	1,88	0,22			0,0000	0,1136	0,0762	0,1899
C	3770	1325	9,46	28	16	0,10	1,75	1470	2,00	0,12						0,28	0,1347	0,1095	0,0189	0,1284
D	3422	1300	10,77	26	16	0,10	1,63	1400	2,00	0,12						0,28	0,1222	0,1054	0,0179	0,1232
E	2893	1250	8,48	26	14	0,10	1,86	1300	2,00	0,11						0,45	0,1054	0,0974	0,0143	0,1117
F	2066	1150	9,46	18	16	0,10	1,13	1400	2,00	0,17						0,28	0,1222	0,0824	0,0240	0,1064
G	1239	1050	8,48	16	12	0,10	1,33	1200	2,00	0,15						0,59	0,0898	0,0687	0,0239	0,0926
H	413	725	8,20	10	8	0,10	1,25				10	8	1,25	0,22			0,0000	0,0328	0,0154	0,0482
I	206	660	9,84	8	6	0,10	1,33	725							0,07		0,0328	0,0272	0,0094	0,0366

Ducto Flexible						
TRAMO	CFM	FPM	L(ft)	D(in)	f/100	PT
J	206	500	4,92	10	0,08	0,0039

Difusor					
Ubicaciòn	CFM	FPM	B(in)	H(in)	PT
447	206	500	8	8	0,085

Potencia Requerida			
CFM	Hf	η	Hp
9107	1,0970	0,50	**3**

TABLA 54
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 8

Ductos	Parámetros de Diseño							Pieza de Transcisiòn			Codo			Coeficiente			Pérdidas por Fricción			
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**B(in)**	**H(in)**	**f/100**	**Ra**	**FPM**	**L(ft)**	**f/100**	**B(in)**	**H(in)**	**Ra**	**Codo**	**Red.**	**Exp.**	**VP_1**	**VP_2**	**SP**	**PT**
A	12349	1600	44,28	40	30	0,08	1,33											0,1596	0,0354	0,1950
B	9485	1500	1,26	34	30	0,08	1,13	1700	2,00	0,11						0,45	0,1802	0,1403	0,0212	0,1614
C	7639	1400	14,71	30	28	0,08	1,07	1600	2,00	0,10						0,45	0,1596	0,1222	0,0306	0,1528
D	6726	1350	5,20	30	26	0,08	1,15	1550	2,00	0,10						0,45	0,1498	0,1136	0,0224	0,1361
E	4767	1250	26,52	28	20	0,08	1,40	1450	2,00	0,12	28	20	1,40	0,22		0,59	0,1311	0,0974	0,0649	0,1623
F	4308	1230	8,48	26	20	0,08	1,30	1360	2,00	0,11						0,28	0,1153	0,0943	0,0149	0,1092
G	3649	1200	6,84	24	20	0,08	1,20	1300	2,00	0,10						0,28	0,1054	0,0898	0,0118	0,1016
H	3269	1175	10,12	22	20	0,08	1,10	1250	2,00	0,10						0,28	0,0974	0,0861	0,0133	0,0993
I	2469	1100	3,88	20	18	0,08	1,11	1180	2,00	0,10						0,45	0,0868	0,0754	0,0102	0,0857
J	2246	1080	10,77	18	18	0,08	1,00	1200	2,00	0,11						0,28	0,0898	0,0727	0,0156	0,0883
K	1991	1050	8,15	18	16	0,08	1,13	1250	2,00	0,12						0,45	0,0974	0,0687	0,0218	0,0906
L	1781	1000	7,82	16	16	0,08	1,00	1280	2,00	0,14						0,28	0,1021	0,0623	0,0202	0,0825
M	1565	975	7,82	16	14	0,08	1,14	1200	2,00	0,14						0,45	0,0898	0,0593	0,0228	0,0821
N	1349	950	1,59	16	14	0,08	1,14	1200	2,00	0,15						0,45	0,0898	0,0563	0,0194	0,0756
O	955	860	2,57	14	12	0,08	1,17	1050	2,00	0,13						0,45	0,0687	0,0461	0,0148	0,0609
P	739	825	6,51	14	10	0,08	1,40	980	2,00	0,12						0,45	0,0599	0,0424	0,0155	0,0579
Q	486	750	2,24	10	10	0,08	1,00	950	2,00	0,14						0,28	0,0563	0,0351	0,0105	0,0456
R	324	675	4,26	10	8	0,08	1,25				10	8	1,25	0,22			0,0000	0,0284	0,0097	0,0381
S	162	540	4,92	8	6	0,08	1,33	675							0,07		0,0284	0,0182	0,0032	0,0214

Ducto Flexible						
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**D(in)**	**f/100**	**PT**
T	162	500	3,28	8	0,09	0,003

Difusor					
Ubicaciòn	**CFM**	**FPM**	**B(in)**	**H(in)**	**PT**
513	162	500	8	8	0,066

Potencia Requerida			
CFM	**Hf**	**η**	**Hp**
12349	1,9154	0,50	**7**

TABLA 55
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 9

Ductos	**Parámetros de Diseño**							**Codo**				**Coeficiente**		**Pérdidas por Fricción**			
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**B(in)**	**H(in)**	**f/100**	**Ra**	**FPM**	**B(in)**	**H(in)**	**Ra**	**Codo**	**Red.**	**VP_1**	**VP_2**	**SP**	**PT**
A	2435	1300	37,06	18	16	0,12	1,13		18	16	1,13	0,22			0,1054	0,0908	0,1962
B	1826	1200	10,49	18	14	0,12	1,29	1300					0,07	0,1054	0,0898	0,0115	0,1013
C	1217	1080	11,80	14	12	0,12	1,17	1200					0,07	0,0898	0,0727	0,0130	0,0857
D	608	925	11,48	10	10	0,12	1,00	1080					0,07	0,0727	0,0533	0,0124	0,0658

Ducto Flexible						
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**D(in)**	**f/100**	**PT**
E	304	500	5,58	10	0,08	0,0045

Difusor					
Ubicaciòn	**CFM**	**FPM**	**B(in)**	**H(in)**	**PT**
512	304	500	10	10	0,106

Potencia Requerida			
CFM	**Hf**	**η**	**Hp**
2435	0,5594	0,50	**1**

TABLA 56
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 10

Ductos	**Parámetros de Diseño**							**Pieza de Transcisiòn**			**Codo**			**Coeficiente**		**Pérdidas por Fricción**			
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**B(in)**	**H(in)**	**f/100**	**Ra**	**FPM**	**L(ft)**	**f/100**	**B(in)**	**H(in)**	**Ra**	**Codo**	**Exp.**	**VP_1**	**VP_2**	**SP**	**PT**
A	3110	1600	29,84	20	16	0,18	1,25				20	16	1,25	0,22			0,1596	0,1239	0,2835
B	2034	1430	34,72	18	12	0,18	1,50	1500	2,00	0,20					0,45	0,1403	0,1275	0,0723	0,1997
C	1328	1300	12,41	16	10	0,18	1,60	1400	2,00	0,22					0,45	0,1222	0,1054	0,0343	0,1397
D	678	1100	26,84	10	10	0,18	1,00	1300	2,00	0,26	10	10	1,00	0,22	0,28	0,1054	0,0754	0,0785	0,1539

Ducto Flexible						
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**D(in)**	**f/100**	**PT**
E	339	500	3,94	10	0,1	0,0039

Difusor					
Ubicaciòn	**CFM**	**FPM**	**B(in)**	**H(in)**	**PT**
509	339	500	10	10	0,147

Potencia Requerida			
CFM	**Hf**	**η**	**Hp**
3110	0,9278	0,50	**1**

TABLA 57
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 11

Ductos	**Parámetros de Diseño**							**Codo**				**Coeficiente**		**Pérdidas por Fricción**			
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**B(in)**	**H(in)**	**f/100**	**Ra**	**FPM**	**B(in)**	**H(in)**	**Ra**	**Codo**	**Red.**	**VP_1**	**VP_2**	**SP**	**PT**
A	3886	1500	22,30	20	20	0,14	1,00		20	20	1,00	0,22			0,1403	0,0929	0,2332
B	2590	1300	13,12	18	16	0,14	1,13	1500					0,07	0,1403	0,1054	0,0159	0,1213
C	1295	1180	14,76	14	12	0,14	1,17	1300					0,07	0,1054	0,0868	0,0194	0,1062

Ducto Flexible						
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**D(in)**	**f/100**	**PT**
D	647	500	7,54	14	0,07	0,0053

Difusor					
Ubicaciòn	**CFM**	**FPM**	**B(in)**	**H(in)**	**PT**
520	647	500	14	14	0,141

Potencia Requerida			
CFM	**Hf**	**η**	**Hp**
3886	0,6070	0,50	**1**

TABLA 58
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 12

Ductos	**Parámetros de Diseño**							**Pieza de Transcisiòn**			**Codo**			**Coeficiente**		**Pérdidas por Fricción**			
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**B(in)**	**H(in)**	**f/100**	**Ra**	**FPM**	**L(ft)**	**f/100**	**B(in)**	**H(in)**	**Ra**	**Codo**	**Exp.**	**VP_1**	**VP_2**	**SP**	**PT**
A	11456	1600	45,26	38	30	0,08	1,27				38	30	1,27	0,22			0,1596	0,1064	0,2660
B	9352	1450	18,97	34	30	0,08	1,13	1680	2,00	0,10					0,28	0,1760	0,1311	0,0297	0,1608
C	6424	1380	30,12	30	24	0,08	1,25	1550	2,00	0,11	30	24	1,25	0,22	0,59	0,1498	0,1187	0,0707	0,1895
D	4977	1280	18,32	30	20	0,08	1,50	1400	2,00	0,10					0,59	0,1222	0,1021	0,0285	0,1306
E	3853	1200	21,59	24	20	0,08	1,20	1380	2,00	0,11	24	20	1,20	0,22	0,28	0,1187	0,0898	0,0473	0,1371
F	2185	1080	16,67	18	18	0,08	1,00	1200	2,00	0,12	18	18	1,00	0,22	0,45	0,0898	0,0727	0,0394	0,1121
G	1556	975	18,97	18	14	0,08	1,29	1100	2,00	0,11					0,59	0,0754	0,0593	0,0269	0,0862
H	987	875	9,79	14	12	0,08	1,17	1100	2,00	0,14					0,45	0,0754	0,0477	0,0231	0,0708
I	740	830	6,51	14	10	0,08	1,40	1070	2,00	0,15					0,45	0,0714	0,0429	0,0210	0,0639
J	370	725	6,88	10	8	0,08	1,25				10	8	1,25	0,22		0,0000	0,0328	0,0127	0,0455

Ducto Flexible						
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**D(in)**	**f/100**	**PT**
K	370	500	5,24	12	0,08	0,0042

Difusor					
Ubicaciòn	**CFM**	**FPM**	**B(in)**	**H(in)**	**PT**
617	370	500	12	12	0,075

Potencia Requerida			
CFM	**Hf**	**η**	**Hp**
11456	1,3418	0,50	**5**

TABLA 59
CÁLCULO DE POTENCIA UMA 13

Ductos	**Parámetros de Diseño**							**Pieza de Transcisiòn**			**Codo**			**Coeficiente**			**Pérdidas por Fricción**			
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**B(in)**	**H(in)**	**f/100**	**Ra**	**FPM**	**L(ft)**	**f/100**	**B(in)**	**H(in)**	**Ra**	**Codo**	**Red.**	**Exp.**	**VP1**	**VP2**	SP	PT
A	11456	1600	11,48	38	30	0,08	1,27											0,1596	0,0092	0,1688
B	4469	1250	22,30	30	18	0,08	1,67				30	18	1,67	0,22			0,0000	0,0974	0,0607	0,1581
C	3032	1125	8,48	20	20	0,08	1,00	1420	2,00	0,14						0,28	0,1257	0,0789	0,0227	0,1016
D	1800	1000	11,76	20	14	0,08	1,43	1200	2,00	0,12						0,59	0,0898	0,0623	0,0280	0,0903
E	1075	900	42,26	16	12	0,08	1,33	980	2,00	0,11	16	12	1,33	0,22		0,45	0,0599	0,0505	0,0624	0,1129
F	537	770	12,46	14	8	0,08	1,75	900							0,07		0,0505	0,0370	0,0090	0,0460

Ducto Flexible						
TRAMO	**CFM**	**FPM**	**L(ft)**	**D(in)**	**f/100**	**PT**
G	268	500	5,90	10	0,08	0,0047

Difusor					
Ubicaciòn	**CFM**	**FPM**	**B(in)**	**H(in)**	**PT**
651	268	500	10	10	0,09

Potencia Requerida			
CFM	**Hf**	η	**Hp**
11456	0,7725	0,50	**3**

CAPÍTULO 6

6. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO

El Sistema de Control y Monitoreo nos permite proporcionar un flujo de agua fría y aire acondicionado “variable” de acuerdo a los requerimientos del Edificio en determinado momento. Esta característica representa un considerable ahorro de energía.

El Sistema se encargará de recoger información técnica del espacio y procesarla, con la finalidad de tomar acciones. La información que el Sistema necesita es proporcionada por los Sensores, procesada por el Controlador, y las acciones son efectuadas por Actuadores.

En el presente Capítulo describiremos con detalle el Sistema de Control y su funcionamiento, sus componentes y la ubicación de cada uno de ellos en relación con el Controlador y los componentes del Sistema de Climatización.

6.1 Introducción

Hemos descrito la funcionalidad del Edificio en los Capítulos anteriores; es lógico pensar que en el transcurso de la jornada laboral, la cantidad de personas que se encuentran en el Edificio es variable; de hecho, las máximas condiciones de calor que experimentan se presentan a las 4:00 P.M. ; la sala de sesiones por ejemplo, pasará gran parte de la jornada vacía, el comedor estaría completamente lleno a las 1:30 P.M., habrá departamentos que dependiendo del número de clientes tendrán más actividad que otros.

Con todos estos antecedentes, lo que intentamos explicar es que el calor que se genera y se almacena en el Edificio, no es constante durante el día, porque depende de muchos factores. Claro está, que nosotros diseñamos el Sistema de Climatización para la más exigente de las condiciones de calor.

Si el calor no es constante, entonces el flujo de aire acondicionado que se suministra tampoco debería serlo; existirán momentos del día en que se necesite más o menos aire acondicionado dependiendo de las condiciones térmicas. Si dichas condiciones son las de confort, entonces sería un gasto innecesario de energía seguir produciendo “frío”, peor aún para un departamento que a cierta hora esta vacío o con muy pocas personas; si es así , no debería haber flujo de aire

acondicionado o deberíamos disminuirlo , porque el exceso de “frío” se transforma en un mayor consumo eléctrico del motor de la UMA y de la bomba, y por consecuencia lógica , en una inmensa pérdida de energía , y por supuesto , de dinero.

6.2 Objetivos del Sistema

El Sistema de Control y Monitoreo que vamos a utilizar tiene como objetivos los siguientes aspectos:

- Centralizar el Control y Monitoreo del Sistema de Climatización del Edificio.
- Mantener el Sistema de Climatización del Edificio dentro de los parámetros de confort requeridos.
- Optimizar el funcionamiento de los equipos con la finalidad de ahorrar energía.

6.3 Descripción General del Sistema

En términos generales, el Sistema de Control y Monitoreo del Edificio está constituido por Controladores para el procesamiento de la información; por Sensores para medir los parámetros que afectan directamente la Climatización del Edificio; por Actuadores, Arrancadores y Variadores de Frecuencia para ejecutar las acciones “ordenadas” por el Controlador; por Módulos de Expansión de

Entrada y de Salida; por una Computadora Central con su respectivo NAM; por un número de Accesorios Varios.

Controlador

Es un dispositivo que procesa la información que recibe por medio de Sensores y ejecuta las acciones de control correspondientes mediante Actuadores; normalmente poseen ocho Entradas y ocho Salidas universales y son del Tipo Modular con capacidad de proveer Monitoreo usando Control de Lazo Cerrado y Control Digital Directo. Este concepto modular contribuye a la versatilidad y facilidad total en una instalación.

Módulos de Expansión

Son dispositivos opcionales de Entrada/Salida que se pueden añadir a cada Controlador para aumentar los puntos de campo; cada Módulo tiene 8 entradas y 8 salidas. Usando múltiples Módulos se puede conectar hasta 48 puntos adicionales, brindando la capacidad de controlar y/o monitorear un total de 64 puntos de campo. Para cada situación de control se selecciona la cantidad adecuada de Módulos y son sencillamente instalados junto al Controlador quien los comanda porque por sí solos no tienen capacidad de procesar la información que reciben de los Sensores.

Bus de Comunicaciones

Se denomina de esta manera a la Red que conecta una serie de dispositivos que conforman un Sistema de Control en particular. Para nuestro caso definiremos un Bus Principal y un Bus Secundario.

Bus Principal

El Bus Principal es la Red que conecta a todos los Controladores para programarlos y visualizarlos a través de una computadora. Cada Controlador se le debe dar una dirección para ubicarlos dentro de la Red.

Bus Secundario

El Bus Secundario es la Red que conecta a los Módulos de Expansión con su respectivo Controlador con la finalidad de aumentar los puntos de control. Para el Bus Principal, los Módulos no existen; por lo tanto solamente se los puede direccionar para darles una ubicación desde el Controlador.

Computadora y Software de Control y Monitoreo

La Computadora de Control y Monitoreo tiene las siguientes características : Procesador Pentium IV 2 GHz , memoria RAM de 256 Mb, CD Room. El Software empleado para controlar y monitorear

el Sistema de Climatización del Edificio contiene generalmente un paquete de programas como por ejemplo Work Space Manager que permite el acceso a la programación de cada Controlador y el desarrollo de la aplicación de visualización.

NAM

Es un dispositivo de interfase (Network Access Module) que sirve para conectar la Computadora al Bus Principal. Como el lenguaje del Bus es diferente al de la Computadora, el NAM es el traductor.

Paneles de Control

Son las cajas donde se coloca cada Controlador con sus respectivos accesorios eléctricos para su normal funcionamiento. Los paneles están ubicados generalmente en la casa de máquinas.

Sensores

Los Sensores son los dispositivos encargados de enviar al Controlador la información acerca de las mediciones de los parámetros de interés, para mantener el Sistema de Climatización dentro de las condiciones requeridas. En el presente proyecto utilizaremos los siguientes: Sensores de Temperatura, de Diferencial de Presión y de Estado.

Actuadores

Son los dispositivos mecánicos-eléctricos que reciben una señal del Controlador con la finalidad de ejecutar una acción sobre el Sistema. En el presente proyecto utilizaremos un Actuador sobre la Compuerta Reguladora de Aire y un Actuador sobre la Válvula de Dos Vías.

Arrancadores

Son dispositivos que permiten el encendido y apagado de los motores en modo manual o automático. En modo automático reciben una señal digital (0 o 24 Vdc) del Controlador , que acciona la bobina del contactor de arranque. En modo manual se enciende el motor colocando el selector en posición de encendido.

Variadores de Frecuencia

Son dispositivos que permiten reducir o aumentar la velocidad de los motores con la finalidad de suministrar un flujo variable de aire o de agua. Su accionamiento está directamente relacionado con mediciones de diferencia de presión. Adicionalmente, el Variador es utilizado para poner en funcionamiento las UMAS y las Bombas del Circuito Secundario.

Cables de Control

Los Cables de Control transportan las señales desde los Sensores hasta el Controlador, desde el Controlador hasta los Actuadores; comunica a través del Bus Principal a todos los Controladores y a través del Bus Secundario a los Módulos de Expansión. El número de hilos depende de la aplicación específica dentro del Sistema.

6.4 Descripción de las Variables de Control

Las Variables de Control son todas aquellas señales que entran o salen del Controlador, así como también las señales de Retroalimentación. Dichas señales son las que afectan directamente el comportamiento del Sistema.

Como Variables de Control podríamos citar como ejemplo las mediciones de Temperatura, de Diferencia de Presión, Estado de los mecanismos, acciones sobre los Actuadores y las funciones Encendido/Apagado; estas variables serán interpretadas continuamente por el Controlador con el propósito de mantener las condiciones de confort.

6.4.1 Entradas

Son las señales que envían los Sensores al Controlador y están relacionadas con la información recopilada por ellos.

Para mantener las condiciones del Edificio es importante medir constantemente las variaciones de Temperatura que experimenta el aire en el Ambiente que deseamos climatizar, así como la Temperatura del Aire Acondicionado en el Ducto de Mando.

Además, es necesario conocer los cambios de Presión en la Distribución del Aire y del Agua de Enfriamiento como una medida relacionada con la cantidad de flujo suministrado.

Adicionalmente, el Sistema es capaz de determinar si los Ventiladores y los Filtros de las UMAS están en funcionamiento así como verificar la presencia de Flujo en el Circuito Primario; estas señales proporcionan información sobre el estado del dispositivo mecánico.

Temperatura

La Temperatura es una variable de entrada fundamental que nos proporcionará una idea clara de la cantidad de frío que estamos produciendo. Mucho o poco frío provocará reacciones no confortables en las personas por lo que la estimación de este parámetro es de suma importancia.

Para su efecto, una señal viajará hacia el Controlador por medio de un cable belden de 2 hilos con la información de la temperatura medida por los siguientes Sensores:

Ducto de Mando

El Sensor de Temperatura del Ducto de Mando realiza la medición del aire acondicionado lo más cerca posible de la boca de la UMA; consiste en un dispositivo con una varilla que está técnicamente acoplada hacia el cuerpo del Sensor, el aire pasa a través de un pequeño orificio; el cuerpo tiene una resistencia eléctrica que cambia su valor óhmico de acuerdo a la variación de temperatura.

El cambio en la resistencia se debe a una propiedad mecánica del material. Esta señal eléctrica es enviada al Controlador para su respectivo procesamiento y la representaremos con **TDM**.

Ambiente

En lugares predeterminados, y en los que de acuerdo a los Cálculos de Carga Térmica se necesite vencer el Calor generado en el espacio, se instalarán Sensores de

Temperatura Ambiente para poder regular adecuadamente cualquier cambio en las condiciones de confort, y mantenerlas. El Sensor consiste simplemente en un termistor adaptado a un cuerpo metálico cuyo principio de medición es el mismo, una resistencia eléctrica que varía su valor óhmico de acuerdo a los cambios de temperatura. La relación entre la resistencia y la temperatura es inversamente proporcional. La señal es enviada hacia el Controlador y la representaremos con **TA**.

Diferencia de Presión

Los cambios de Presión dentro del Sistema de Climatización representan un verdadero problema; la eficiencia del Sistema podría disminuir si por alguna razón mecánica la presión no se mantiene dentro de los valores de diseño; los ductos y las tuberías por donde circulan el aire acondicionado y el agua de enfriamiento podrían verse fisicamente afectados.

Por esta razón, la variable indicada va a ser medida en el Ducto de Mando y en el Circuito Secundario para prevenir las situaciones que estamos describiendo, por medio de los siguientes Sensores:

Ducto de Mando

El Sensor de Diferencia de Presión del Ducto de Mando realiza la medición entre el aire que se dirige al ventilador dentro de la UMA y el aire suministrado en el ducto. El Sensor detecta cualquier variación mecánica y un transductor la transforma en señal eléctrica para ser enviada al Controlador; la señal la representaremos con **DPDM**.

Circuito Secundario

El Sensor se lo coloca entre la succión y descarga de la bomba del Circuito Secundario para mantener la Diferencia de Presión dentro de los valores permisibles. Es un dispositivo que se coloca entre las tuberías; un transductor mide la señal mecánica y la transforma en eléctrica para ser enviada al controlador; la señal la representaremos con **DPBS**.

Estado

El Estado es una señal de entrada digital que nos permite establecer si en el momento de arrancar un equipo, efectivamente este se ha puesto en marcha o está operando de una forma incorrecta.

Los Sensores de Estado nos permiten anticiparnos a una eventual falla mecánica con la finalidad de tomar las respectivas medidas preventivas. Para efectos de control, mediremos el Estado de las máquinas por medio de los siguientes Sensores:

Ventilador de la UMA

El Sensor del Estado del Ventilador de la UMA es un dispositivo que nos permite conocer si éste está en funcionamiento; básicamente consta de una manguera conectada a unos contactos eléctricos; un piquito sobresale de la manguera y es la parte del Sensor donde ingresa el aire, lo cual cambia los estados de los contactos indicando la presencia de flujo de aire; la señal eléctrica es enviada hacia el Controlador y la representaremos con **EV**.

Filtro de la UMA

El Sensor del Estado del Filtro de la UMA mide una Diferencia de Presión entre el aire antes y después de pasar por el mismo.

Esta diferencia de presión se manifiesta en la poca circulación del aire lo cual cambia el estado de los contactos. La señal

eléctrica enviada al Controlador es una medida que nos indica que tan sucio se encuentra el filtro; la señal la representaremos con **EF**.

Circuito Primario

El Sensor del Estado de la Bomba del Circuito Primario sirve para determinar la presencia de flujo de agua en la tubería como una medida del funcionamiento correcto de las UEA.

Cuando el agua pasa a través del piquito, el movimiento de éste debido a la presión cierra un contacto seco normalmente abierto. La señal es enviada al Controlador y la representaremos con **EBP**.

6.4.2 Salidas

Son las señales que el Controlador envía hacia los Actuadores y Variadores de Frecuencia después de haber procesado e interpretado la información recibida por los Sensores. También llamadas “acciones de control” son precisamente las “órdenes” que permiten crear las condiciones de volumen variable en el Sistema.

Dependiendo de los parámetros inicialmente medidos, el Controlador se encargará de comandar el movimiento de los Actuadores y Variadores en beneficio de las condiciones de confort por medio de las siguientes señales:

Actuador- Válvula de Dos Vías

El Actuador permite abrir o cerrar proporcionalmente la Válvula de Dos Vías en función de la Temperatura del Aire en el Ducto de Mando. El Sensor (TDM) constantemente está enviando la información, el Controlador realiza sus interpretaciones y actúa solo cuando las condiciones de confort se ven amenazadas; la señal es enviada al Actuador y este a su vez abre o cierra la Válvula de Dos Vías proporcionalmente de acuerdo a las “ordenes” que recibe; esta consideración permite el paso de mayor o menor cantidad de flujo de agua fría hacia los serpentines de la UMA, regulándose de esta manera la producción de frío. La señal la representaremos con **MV**.

Actuador- Compuerta de Aire

El Actuador permite abrir o cerrar proporcionalmente la Compuerta de Aire en función de la Temperatura en el

Ambiente medida por el Sensor. La señal (TA) entra en el Controlador, es procesada, y una señal de control es enviada al Actuador permitiendo que la Compuerta se abra o se cierre de acuerdo a las “órdenes” recibidas; el porcentaje de movimiento dependerá de la temperatura.

Lógicamente, cuando el calor comienza a afectar a las personas, se requiere un movimiento variable de la Compuerta permitiendo el flujo de mayor o menor cantidad de aire acondicionado a través del ducto, dependiendo de las necesidades térmicas del espacio. La señal la representaremos con **MC**.

Variador de Frecuencia

En los párrafos anteriores se ha explicado la razón básica por la cual utilizamos los Variadores en el Sistema. A continuación detallaremos sus principales funciones:

Encendido/Apagado-UMAS

El Controlador tiene programado la hora de encendido y apagado de las UMAS que suministran un volumen variable de aire, esto es 8 A.M. y 8 P.M. respectivamente. Se envía una

señal de 24 v hasta el Variador, se trasmite la velocidad al ventilador y de esta manera el equipo comienza a trabajar. La señal es representada con **EAM**.

Encendido/Apagado-Bomba Circuito Secundario

Asimismo, el horario de encendido y apagado de las Bombas es 8 A.M. y 6 P.M. respectivamente; el Controlador envía una señal de 24 V al Variador, la velocidad es transmitida al motor de la bomba y por ende se produce la circulación del agua de enfriamiento. La señal es representada con **EABS**.

Motor-UMA

El Sensor de Diferencia de Presión del Ducto envía una señal (DPDM) al Controlador, este compara el valor con el rango permisible , procesa la información y envía una señal de control hacia el Variador de Frecuencia. La velocidad del motor del ventilador es aumentada o disminuida para variar el flujo de aire acondicionado y para estabilizar los valores de presión. La señal es representada con **VFM**.

Motor-Bomba Circuito Secundario

Cuando se produce una variación del Diferencial de Presión establecido en el Circuito Secundario, el Sensor detecta el cambio mecánico del Sistema, envía la información al Controlador, y dependiendo del procesamiento, éste "ordena" al Variador reducir o aumentar la velocidad del motor de la bomba para recuperar los niveles de presión iniciales; a su vez esta consideración permite obtener un flujo variable de agua de enfriamiento . La señal es representada con **VFBS**.

Arrancadores

La función general de los Arrancadores es encender y apagar los equipos de un Sistema. En nuestro proyecto de Climatización, los Arrancadores recibirán la siguiente señal:

Encendido/Apagado-Bomba Circuito Primario

Las Bombas del Circuito Primario son encendidas y apagadas en los horarios establecidos, 8 A.M. y 6 P.M. respectivamente; el Controlador envía la señal hacia el Arrancador, el motor de la bomba adquiere velocidad permitiendo el flujo de agua constante a través del circuito hacia la UEA. La señal es representada con **EABP**.

6.4.3 Señales de Retroalimentación

Son señales de Estado que tienen la particularidad de ser producidas por los Actuadores y Variadores con la finalidad de indicarle al Controlador su porcentaje de movimiento, entre las cuales podemos identificar las siguientes:

Estado Válvula Dos Vías

El Controlador envía la señal hacia el Actuador de la Válvula y éste le devuelve una señal en que le informa si efectivamente se abrió o se cerró proporcionalmente de acuerdo al porcentaje ordenado. La señal es representada con **EVM**.

Estado Compuerta de Aire

Igualmente, el Actuador de la Compuerta al recibir la "orden" del Controlador, le devuelve una señal mediante la cual le informa su porcentaje de movimiento; esta información le sirve al Controlador para determinar una posible falla en el motor de la Compuerta. La señal es representada con **EC**.

Estado Variador de Frecuencia

Los Variadores de Frecuencia que producen el flujo variable en los Sistemas de Distribución tanto del Are Acondicionado como del Agua de enfriamiento, envían una señal de retroalimentación hacia el Controlador para informarle el

porcentaje de aumento o disminución del motor, como una medida preventiva. Las señales son representadas con **EVFM** y **EVFBS** respectivamente.

6.5 Ubicación de cada componente en el Sistema

En los párrafos anteriores hemos descrito los componentes del Sistema de una forma individual mencionando sus características y sus funciones principales dentro del Control de cada una de las Variables ; hemos definido cada una de las señales como de Entrada o de Salida y la relación mecánica existente entre los Equipos de Climatización, los Sensores, el Controlador y los Actuadores.

Para que el Sistema de Control quede definido es necesario tomar cada componente y ubicarlo en el Sistema de una forma ordenada, de acuerdo a los requerimientos de Climatización del Edificio y en función de las condiciones de diseño.

Variables de Control – Sistema de Distribución de Aire

Los parámetros que deseamos controlar de cada UMA son la Temperatura del Aire y la Diferencia de Presión en el Ducto de Mando, con la finalidad de ejercer control sobre la Válvula de Dos Vías y el Variador de Frecuencia; el Estado del Ventilador y el Filtro

serán verificados adicionalmente como una medida preventiva y de mantenimiento.

Se monitoreará constantemente la Temperatura Ambiente de ciertos espacios específicos de cada piso con la finalidad de ejercer control en la distribución del aire por medio de las Compuertas Reguladoras. Los Actuadores informarán permanentemente su estado o situación de movimiento al Controlador.

Variables de Control – Bomba Circuito Primario

El parámetro que deseamos monitorear en el Circuito Primario es el Estado del Flujo de las Bombas, con la finalidad de prevenir cualquier tipo de falla en los Enfriadores y mantener un flujo constante; adicionalmente, el Controlador comanda las órdenes Encendido/Apagado mediante los Arrancadores.

Variables de Control – Bomba Circuito Secundario

La Diferencia de Presión de las bombas es el parámetro que vamos a medir para mantener las condiciones termomecánicas del Sistema y ejercer control sobre el Variador de Frecuencia, el cual recibe las órdenes Encendido/Apagado enviadas por el Controlador e informa su condición de movimiento.

Todos los parámetros mencionados y las acciones pertinentes son representadas como Señales o Variables de Control, y son mostradas de una forma general en el Apéndice C.1 para cada una de las situaciones descritas**.**

Cantidad de Sensores, Actuadores, Variadores y Arrancadores

El número de componentes que el Sistema necesita para operar depende simplemente de la cantidad de unidades mecánicas que deseamos monitorear. La Tabla 60 nos muestra las cantidades de Sensores, Actuadores (Válvula de Dos Vias), Variadores y Arrancadores que en conjunto definen el Control y Monitoreo del Sistema de Climatización propuesto para el Edificio.

Las Tablas 61 a la 66 nos muestran la cantidad de Compuertas Reguladoras y por ende, la cantidad de Sensores de Temperatura Ambiente para cada uno de los Pisos que conforman el Edificio; la capacidad de cada Compuerta es calculada en función de las necesidades térmicas del espacio y su ubicación en el Sistema, así como la ubicación de los Sensores de Temperatura Ambiente, son mostradas en los Planos 11 al 16. En el Apéndice B, presentamos una recopilación técnica de información relacionada con los diferentes tipos de Sensores, Controladores y Variadores de Frecuencia utilizados en nuestro Proyecto.

TABLA 60
CANTIDAD DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO

Descripción y Ubicación de los Componentes	Número de Componente por Unidad Mecánica	Número de Unidades Mecánicas del Sistema	Total de Componentes
Sistema de Distribución de Aire - Umas			
Sensor Temperatura Ducto Mando	1	13	**13**
Sensor Diferencia de Presión Ducto Mando	1	13	**13**
Sensor Estado Ventilador	1	13	**13**
Sensor Estado del Filtro	1	13	**13**
Válvula Dos Vías	1	13	**13**
Variador de Frecuencia	1	13	**13**
Circuito Primario - Bombas			
Sensor Estado Flujo	1	3	**3**
Arrancador	1	3	**3**
Circuito Secundario - Bombas			
Sensor Diferencia de Presión	1	2	**2**
Variador de Frecuencia	1	2	**2**

TABLA 61
CANTIDAD DE COMPUERTAS REGULADORAS Pb

Compuerta	CFM
CV 0.1	478
CV 0.2	250
CV 0.3	911
CV 0.4	1255
CV 0.5	1255
CV 0.6	204
CV 0.7	454
CV 0.8	101
CV 0.9	141

TABLA 62
CANTIDAD DE
COMPUERTAS REGULADORAS P1

Compuerta	CFM
CV 1.1	1558
CV 1.2	712
CV 1.3	662
CV 1.4	976
CV 1.5	318
CV 1.6	902
CV 1.7	1180
CV 1.8	1011
CV 1.9	284
CV 1.10	529
CV 1.11	1228
CV 1.12	1401
CV 1.13	1249
CV 1.14	360
CV 1.15	574
CV 1.16	331
CV 1.17	188
CV 1.18	1429
CV 1.19	1120
CV 1.20	1571
CV 1.21	945
CV 1.22	191

TABLA 63
CANTIDAD DE
COMPUERTAS REGULADORAS P2

Compuerta	CFM
CV 2.1	1385
CV 2.2	714
CV 2.3	637
CV 2.4	191
CV 2.5	346
CV 2.6	461
CV 2.7	215
CV 2.8	1160
CV 2.9	801
CV 2.10	323
CV 2.11	285
CV 2.12	354
CV 2.13	209
CV 2.14	215
CV 2.15	323
CV 2.16	366
CV 2.17	630
CV 2.18	443
CV 2.19	1474
CV 2.20	1241
CV 2.21	1623
CV 2.22	656
CV 2.23	956
CV 2.24	578
CV 2.25	307
CV 2.26	245
CV 2.27	221
CV 2.28	215
CV 2.29	209
CV 2.30	209
CV 2.31	339
CV 2.32	395
CV 2.33	395

TABLA 64
CANTIDAD DE
COMPUERTAS REGULADORAS P3

Compuerta	CFM
CV 3.1	1240
CV 3.2	806
CV 3.3	628
CV 3.4	853
CV 3.5	514
CV 3.6	2229
CV 3.7	647
CV 3.8	493
CV 3.9	403
CV 3.10	865
CV 3.11	427
CV 3.12	1237
CV 3.13	1057
CV 3.14	404
CV 3.15	844
CV 3.16	1182
CV 3.17	614
CV 3.18	348
CV 3.19	529
CV 3.20	827
CV 3.21	827
CV 3.22	827
CV 3.23	413

TABLA 65
CANTIDAD DE
COMPUERTAS REGULADORAS P4

Compuerta	CFM
CV 4.1	2435
CV 4.2	3886
CV 4.3	1076
CV 4.4	706
CV 4.5	650
CV 4.6	678
CV 4.7	1103
CV 4.8	843
CV 4.9	530
CV 4.10	388
CV 4.11	907
CV 4.12	939
CV 4.13	319
CV 4.14	594
CV 4.15	673
CV 4.16	1286
CV 4.17	459
CV 4.18	659
CV 4.19	380
CV 4.20	800
CV 4.21	223
CV 4.22	255
CV 4.23	210
CV 4.24	216
CV 4.25	216
CV 4.26	240
CV 4.27	154
CV 4.28	216
CV 4.29	253
CV 4.30	486

TABLA 66
CANTIDAD DE
COMPUERTAS REGULADORAS P5

Compuerta	CFM
CV 5.1	2104
CV 5.2	924
CV 5.3	1117
CV 5.4	523
CV 5.5	364
CV 5.6	1447
CV 5.7	1124
CV 5.8	1668
CV 5.9	629
CV 5.10	569
CV 5.11	247
CV 5.12	740
CV 5.13	1437
CV 5.14	1232
CV 5.15	725
CV 5.16	1075
CV 5.17	737
CV 5.18	1206
CV 5.19	1591
CV 5.20	932
CV 5.21	1233
CV 5.22	1288

Cantidad de Controladores

El procedimiento más importante al diseñar el Sistema de Control es el de seleccionar el número de Controladores necesarios para conectar por medio del Bus Principal todas las Variables con la finalidad de ser interpretadas por el Controlador y visualizadas en la Computadora; cada Controlador tiene una capacidad de conexión de 8 entradas y 8 salidas, pero se puede ampliar la conexión si conectamos por medio del Bus Secundario, hasta 3 Módulos de Expansión por Controlador.

Si cada Módulo tiene una capacidad de conexión de 8 entradas y 8 salidas independientemente, significa que 1 Controlador con 3 Módulos de Expansión nos proporciona una capacidad máxima de conexión de 32 entradas y 32 salidas respectivamente.

Para determinar el número de Controladores seguimos el siguiente procedimiento:

a) Suma de las Señales de Entrada.
b) Suma de las Señales de Salida.
c) El resultado mayor de las sumas anteriores se divide para 8 y se lo redondea.
d) El valor final redondeado se lo divide para 3 y el número entero resultante se lo toma como la cantidad de

Controladores; el resto, es la cantidad de Módulos de Expansión.

Las Tablas 67 a la 73 nos muestran los resultados del Cálculo para determinar el Número de Controladores necesarios para cada definir el Sistema de Control propuesto para el Edificio.

Interconexión del Sistema de Control

Toda la información medida, procesada y ejecutada se la puede visualizar en la Computadora utilizando un Software, debido a que los Controladores están conectados entre si por medio del Bus Principal y a su vez los Módulos de Expansión con el Controlador por medio del Bus Secundario.

En el Apéndice C.2 mostramos un diagrama esquemático del Sistema de Control y Monitoreo interconectado a través de los Buses y su ubicación en cada uno de los pisos que conforman el Edificio; los Controladores están representados con la letra C y los Módulos con la letra M, ambos numerados y direccionados para establecer un orden dentro del Sistema.

TABLA 67
CANTIDAD DE CONTROLADORES Pb

Variable	Entradas	Salidas
TA	9	
TDM	1	
DPDM	1	
EV	1	
EF	1	
MC		9
EC	9	
MV		1
EVM	1	
EAM		1
VFM		1
EVFM	1	
Total=	24	12
Total/8=	3	
#Controladores=	**1**	
# Módulos=	**2**	

TABLA 68
CANTIDAD DE CONTROLADORES P1

Variable	Entradas	Salidas
TA	22	
TDM	2	
DPDM	2	
EV	2	
EF	2	
MC		22
EC	22	
MV		2
EVM	2	
EAM		2
VFM		2
EVFM	2	
Total=	56	28
Total/8=	7	
#Controladores=	**2**	
# Módulos=	**5**	

TABLA 69
CANTIDAD DE CONTROLADORES P2

Variable	Entradas	Salidas
TA	33	
TDM	2	
DPDM	2	
EV	2	
EF	2	
MC		33
EC	33	
MV		2
EVM	2	
EAM		2
VFM		2
EVFM	2	
Total=	78	39
Total/8=	10	
#Controladores=	**3**	
# Módulos=	**7**	

TABLA 70
CANTIDAD DE CONTROLADORES P3

Variable	Entradas	Salidas
TA	23	
TDM	2	
DPDM	2	
EV	2	
EF	2	
MC		23
EC	23	

MV		2
EVM	2	
EAM		2
VFM		2
EVFM	2	
Total=	58	29
Total/8=	8	
#Controladores=	**2**	
# Módulos=	**6**	

TABLA 71
CANTIDAD DE CONTROLADORES P4

Variable	Entradas	Salidas
TA	30	
TDM	4	
DPDM	4	
EV	4	
EF	4	
MC		30
EC	30	
MV		4
EVM	4	
EAM		4
VFM		4
EVFM	4	
Total=	84	42
Total/8=	11	
#Controladores=	**3**	
# Módulos=	**8**	

TABLA 72
CANTIDAD DE CONTROLADORES P5

Variable	Entradas	Salidas
TA	22	
TDM	2	
DPDM	2	
EV	2	
EF	2	
MC		22
EC	22	
MV		2

EVM	2	
EAM		2
VFM		2
EVFM	2	
Total=	56	28
Total/8=	7	
#Controladores=	**2**	
# Módulos=	**5**	

TABLA 73
CANTIDAD DE CONTROLADORES
TERRAZA

Variable	Entradas	Salidas
EBP	3	
EABP		3
DPBS	2	
EABS		2
VFBS		2
EVFBS	2	
Total=	7	7
Total/8=	1	
#Controladores=	**1**	
# Modulos=	**0**	

En el Apéndice C, del 3 al 16, mostramos esquemáticamente los Diagramas de Conexión de cada Controlador y sus respectivos Módulos, representando las Señales de Entrada y de Salida con la descripción que las caracteriza; los espacios de conexión se han numerado y se relacionan gráficamente con las señales por medio de una flecha; los espacios que no están interconectados con el Sistema son representados por medio de la palabra “libre”.

CAPÍTULO 7

7. FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

En los problemas que se presentan en el campo de la Ingeniería, no solo es suficiente encontrar una respuesta, es necesario justificarla sobre argumentos que nos permitan concluir que dicha solución es la más idónea.

Para su efecto, el Proyecto que estamos describiendo debe ser analizado desde el punto de vista de la factibilidad del mismo; es decir, que tan posible es aplicar el Sistema propuesto en términos de tiempo, eficiencia y dinero.

Generalmente, el Análisis de Factibilidad se reduce al estudio de los Costos de Instalación y Operación del Sistema en comparación con otros.

Características de un Sistema de Climatización

Para seleccionar un Sistema debemos considerar que, entre otros factores, el consumo de energía de los Equipos Climatizadores representa un 55% de toda la energía consumida por la estructura; por lo tanto, el Sistema Acondicionador de Aire debe cumplir las siguientes características:

- Bajo costo de inversión.
- Confiable en una operación de 24 horas continuas.
- De bajo costo de operación y mantenimiento.
- Flexible y de fácil manejo.
- Eficiente desde el punto de vista energético.

Características principales del Sistema de Agua Enfriada por Aire

El Sistema que hemos elegido para climatizar el Edificio nos proporciona en términos generales las siguientes ventajas:

- Vida útil de 20 años aproximadamente.
- Sistema tipo Industrial
- Instalación eléctrica de fuerza centralizada en la sala de máquinas.
- Rendimiento 1.0 Kw – Hr por Ton.
- Mantenimiento centralizado en su mayor parte en la sala de máquinas.

- Carga no es puntual, se la puede trasladar donde se necesite mayor producción de frío.

Otro Sistema de Climatización tal como Expansión Directa es frecuentemente utilizado en las instalaciones de aire acondicionado.

Dicho sistema en comparación con Agua Enfriada por Aire nos ofrece las siguientes características:

- Vida útil de 12 años aproximadamente.
- Sistema tipo Comercial.
- Instalación eléctrica de fuerza está por toda la estructura.
- Rendimiento 1.3 Kw – Hr por Ton.
- Mantenimiento no está centralizado.
- Carga es puntual, no se puede trasladar.

De acuerdo a las ventajas que hemos presentado, el Sistema de Agua Enfriada por Aire es el más factible desde un punto de vista técnico.

Análisis de Costos

Para justificar la elección del Sistema de Agua Enfriada por Aire, estudiaremos los Costos de Instalación y Operación del Sistema en comparación con Expansión Directa de acuerdo a un procedimiento definido que explicamos a continuación:

a. Calcular o definir la Carga Térmica en Ton. necesarias para climatizar la estructura.
b. Calcular o definir el Consumo Energético del Sistema en Kw / h.
c. Calcular o definir el costo de cada Kw /h.
d. Para calcular el Costo de Operación del Sistema utilizamos la Ecuación 7.1:

$$C_{oper} = Ton \times Kw/h \times N_h \times N_d \times N_m \times N_a \times C_{Kw/h} \quad (7.1)$$

donde:

Ton = Toneladas de Refrigeración que el Sistema debe suministrar.

Kw/h = Consumo energético del Sistema.

N_h = Horas de Operación del Sistema.

N_d = Días de Operación del Sistema.

N_m = Meses de Operación del Sistema.

N_a = Años de Operación del Sistema.

$C_{Kw/h}$ = Costo de cada Kw/h.

e. Calcular o definir el Costo de Instalación de 1 Ton. para cada Sistema.
f. Para calcular el Costo de Instalación del Sistema utilizamos la Ecuación 7.2 :

$$C_{inst} = C_{Ton} \times Ton \quad (7.2)$$

donde:

C_{Ton} = Costo de la Tonelada del Sistema.

Ton = Toneladas de Refrigeración que el Sistema debe suministrar.

Resultados del Estudio de Factibilidad

Diseñando una Hoja Electrónica de Excel y utilizando las Ecuaciones 7.1 y 7.2, la Tabla 74 nos muestra los resultados del Análisis de Factibilidad para la implementación del Sistema de Agua Enfriada por Aire para satisfacer los requerimientos de climatización del Edificio.

La Diferencia entre los Costos de Operación de los Sistemas es nuestro ahorro en consumo de energía por implementar un Sistema de Agua Enfriada por Aire para climatizar el Edificio.

La Diferencia entre los Costos de Instalación de los Sistemas es nuestra inversión adicional por implementar un Sistema de Agua Enfriada por Aire para climatizar el Edificio.

TABLA 74
ANALISIS DE FACTIBILIDAD

	Ton=	270
	Agua Enfriada Por Aire	**Expansión Directa**
Kw/h	1,1	1,5
$C_{Kw/h}$	0,08	
N_h	10	
N_d	22	
N_m	12	
N_a	15	
C_{oper}	$ 940.896	$ 1.283.040
C_{Ton}	$ 1.800	$ 1.000
C_{inst}	$ 486.000	$ 270.000
Diferencia C_{oper}		**$ 342.144**
Diferencia C_{inst}		**$ 216.000**
Ndif (Años)		**9**

Si en **15 años** por implementar el Sistema de Agua Enfriada por Aire tendremos un ahorro de **342.144 dólares** en consumo de energía, la diferencia por instalación de **216.000 dólares** es pagada en **9 años**.

CAPÍTULO 8

8. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En el presente Capítulo describiremos las Especificaciones Técnicas de los principales componentes del Sistema de Climatización con la finalidad de completar la información sobre ellos.

Unidades Enfriadoras de Agua

Se suministrarán e instalarán, dos Enfriadores de agua. Estos deberán ser ensamblados en fábrica y trabajarán con Refrigerante 410A (refrigerante no tóxico, no produce daños a la atmósfera), del tipo integral.

El Enfriador será del tipo de expansión directa con refrigerante en los tubos, estará aislado de fábrica y cubierto con una barrera de vapor contra la humedad. Será construido y ensayado de acuerdo con los códigos y

requisitos de la “ASME”. Tendrá cabezas de agua desmontables para facilitar el mantenimiento. La presión de trabajo en el lado del agua será de 125 psig.

Todos los Compresores serán del tipo caracol hermético (scroll); trabajarán a 460 voltios, 3 fases, 60 ciclos.

El Condensador será enfriado por aire, del tipo de intemperie, el cual consistirá básicamente de serpentín de condensación construido en tubería de cobre con aletas de aluminio, ventiladores helicoidales para descarga vertical con su respectivo motor, diseñado para una presión de trabajo de 450 psig y bajo ruido.

Los circuitos de refrigerante constarán de líneas de succión debidamente aisladas, válvula de expansión electrónica o termostática, visores con indicadores de humedad y válvula de carga.

El conjunto de cada unidad será montado sobre bases antivibradoras que impidan el paso de ruidos y vibraciones a la estructura del Edificio.

Las Unidades a suministrar deberán tener una capacidad mínima de 270 Ton. cada una, cuando enfría 648 GPM de agua a 44ºF, y el aire que pasa por el Condensador tiene una temperatura máxima de 92ºF, teniendo un consumo máximo de 355 Kw. La pérdida de presión no excederá 20 pies de columna de agua al pasar por el Enfriador.

Unidades Manejadoras de Aire

Se suministrarán e instalarán, 13 Unidades Manejadoras de Aire con sus accesorios respectivos.

La sección del ventilador, tendrá ventiladores centrífugos del tipo de aletas múltiples inclinadas hacia delante, de doble ancho y doble entrada, balanceados estática y dinámicamente.

El motor que se suministre en conjunto con cada Unidad, será trifásico para 230 voltios y un máximo de 1750 RPM.

El serpentín de enfriamiento debe ser del tipo de tubos de cobre sin costura y aletas de aluminio, del cual habrá un mínimo de ocho y un máximo de catorce por pulgada de longitud, teniendo el número de hileras necesarias para la carga especificada; el serpentín debe ser ensayado a una presión de 300 psig.

Bombas de Agua Fría

Se suministrará para ser instaladas, 5 bombas de agua tipo monoblock estando el conjunto montado sobre una base integral de acero.

Las bombas serán centrífugas horizontales con carcaza de hierro fundido, diseñadas para una presión de trabajo de 150 psig, impulsor cerrado de

bronce, eje de acero inoxidable y sello mecánico. La operación de las bombas debe ser libre de vibraciones y ruidos.

Los motores que se suministren en conjunto con las bombas, serán trifásicos, con velocidad máxima de 1750 RPM, para operar a 460 voltios.

Las bombas se montarán sobre bases de inercia fabricadas en concreto, conformadas por marcos metálicos construidos en perfil de acero, las cuales estarán a su vez montadas sobre aisladores de vibración basándose en resortes, iguales o similares aprobados al Modelo A, fabricado por "VIBRATION MOUNTINGS AND CONTROLS, INC", que tendrán una deflexión mínima de 1".

Dentro del marco metálico, se fundirá una base de concreto con varillas de refuerzo, que en conjunto tenga un peso mínimo igual a $1^1/_2$ vez el peso de la bomba.

Redes de Agua Fría

Se suministrará e instalará las redes de agua fría, de acuerdo con las dimensiones, rutas generales y detalles de los planos, utilizando tubería de acero sin costura cédula 40, con uniones roscadas ó soldadas para tuberías hasta 2" y soldadas de 2 ½" en adelante.

Las tuberías con diámetro iguales o mayores a 2 ½" se unirán mediante soldadura eléctrica que cumpla con las Norma Clase AWSE-6010 ó E-6011, para ser aplicada con soldadura de corriente continua, con una resistencia a la tracción de Kg/mm^2, valor impacto Charpy-V de 9.8 Kg; alargamiento en 2" de 24%, contracción de 40%, dureza 170 Brinell.

Las tuberías con diámetro igual o menor a 2" se podrán unir por roscas, o soldadura de igual tipo antes especificado, según convenga.

Las válvulas serán todas de paso directo para tuberías hasta de 2", para tuberías mayores serán bridadas. Todas las válvulas serán diseñadas para una presión de 125 psig.

Todas las tuberías después de ser probadas y en el caso de las redes de agua fría, antes de ser aisladas, serán cubiertas de una pintura anticorrosiva aprobada.

Aislamiento para Redes de Agua Fría.

Todo el Sistema de tuberías de agua fría, deberá ser aislado térmicamente, incluyendo válvulas, codos, uniones, filtros, bridas, etc.

Todo el aislamiento estará recubierto por una barrera de vapor continua, completamente impermeable al vapor de agua. La barrera de vapor no

tendrá rajaduras, grietas ni perforaciones, será instalada de tal manera que no haya parte alguna del aislamiento expuestas a la atmósfera.

Las redes de agua fría serán aisladas con aislamiento preformado en cañuelas de poliuretano expandido de una densidad de 25 Kg/m^3, que lo hace resistente a la compresión, que tienen un bajo coeficiente de conductividad 0.036 W/m.ºK.

Ductos

Se deberá construir e instalar todo el Sistema de ductos de acuerdo con los planos del proyecto, para lo cual se suministrará todos los materiales necesarios, de acuerdo a las siguientes especificaciones:

Lámina.- Se empleará lámina lisa de acero galvanizado de primera calidad, de acuerdo con los calibres que se enumeran enseguida. En ningún caso se aceptará el empleo de lámina galvanizada que muestre deterioro en sus pliegues o quiebres.

- Ductos cuyo lado mayor este comprendido entre 0 y 12'': Calibre No. 26 (0.55, 0.47, 0.63)
- Ductos cuyo lado mayor este comprendido entre 13'' y 30'': Calibre No. 24 (0.70, 0.60, 0.80)
- Ductos cuyo lado mayor este comprendido entre 31'' y 54'': Calibre No. 22 (0.85, 0.75, 0.95)

- Ductos cuyo lado mayor este comprendido entre 55'' y 84'': Calibre No. 20 (1.00, 0.90, 1.10)
- Ductos cuyo lado mayor sea a 85'': Calibre No. 18 (1.31, 1.18, 1.44).

Los números entre paréntesis son las tolerancias de los calibres (normal, mínimo, máximo).

Uniones Transversales.- Las uniones transversales entre secciones se harán de la siguiente manera:

- Ductos cuyo lado mayor este comprendido entre 0 y 20''. "S-Slip" de 1".
- Ductos cuyo lado mayor este comprendido entre 21'' y 40''. "Bar-Slip" de 1".
- Ductos cuyo lado mayor este comprendido entre 41'' y 60'': unión de flange en ángulo de hierro de 1'' x 1'' x 1/8''.
- Ductos cuyo lado mayor este comprendido entre 61'' y 96'': unión de flange en ángulo de hierro de 1-1/2'' x 1-1/2'' x 1/8''.
- Ductos cuyo lado mayor 97'': unión de flange en ángulo de hierro de 2'' x 2'' x 1/4''.
- Las uniones flange tendrán su correspondiente empaque.

Uniones Longitudinales**.-** Las uniones longitudinales en las esquinas de todos los ductos se harán utilizando unión tipo "Pittsburg".

Sellamiento.- La construcción de todos los ductos y sus uniones será hecha en forma tal que los escapes de aire queden reducidos a un mínimo. Además todas las uniones transversales y de accesorios serán selladas con masilla plástica; sin embargo este recurso no será utilizado para tapar escapes producidos por defectos en la construcción e instalación.

Refuerzos Transversales.- Los conductos tendrán refuerzos transversales intermedios entre las uniones, de la siguiente manera:

- Lado comprendido entre 0 y 15'': sin refuerzo.
- Lado comprendido entre 16'' y 25'': sin refuerzo pero con la lámina quebrada en forma de diamante.
- Lado comprendido entre 26'' y 43'': refuerzo en ángulo de 1" x 1" x $^1/_8$".
- Lado comprendido entre 43'' y 96'': refuerzo en ángulo de 1 $^1/_2$" x 1 $^1/_2$" x $^1/_8$".
- Lado comprendido entre 97'' y 125'': refuerzos en ángulo de 2'' x 2'' x ¼''.
- Lado mayor a 126'': refuerzos en ángulo de 2'' x 2'' x ¼'' cada 14''.

Codos.- Todos los codos deberán tener radio igual o mayor al lado del ducto; donde por dificultades de espacio no pueda obtenerse este radio mínimo, podrán instalarse codos sin radio, siempre y cuando sean provistos de deflectores dobles, de construcción igual a la especificada en los planos de detalles.

Piezas de Transición.- Las piezas de transición entre ductos de secciones diferentes, serán hechas con pendientes que no excedan 1 a 5 en cualquier cara del ducto y preferiblemente 1 a 7 donde ello sea posible.

Compuertas.- En las partes indicadas en los planos, se instalarán compuertas reguladoras de aire de fácil manejo exterior, para el correcto Balanceamiento del Sistema. Toda compuerta ajustable tendrá indicación exterior que permita determinar su posición y compuerta de acceso en inspección en el ducto. Los reguladores serán construidos de acuerdo a los detalles de los planos y en forma tal que no produzcan ruidos ni vibraciones metálicas. Los marcos deberán ser construidos con perfiles de acero galvanizado, calibre # 14 y soldados de tal manera que formen una sola estructura. Sobre los laterales se insertarán los cojinetes para los ejes de las hojas. Deberán tener sellos elastoméricos en los cantos de las hojas y en todo el perímetro del marco, para evitar fugas de aire.

Aislamiento.- Los Sistemas de Enfriamiento de aire tendrán un ducto de suministro aislado a partir de la unidad, con aislante térmico de lana de fibra de vidrio de una libra por pie cúbico de densidad y 1-1/2 de espesor, igual o similar al modelo CA-26 de Fiberglas, el cual irá recubierto a su vez con barrera de vapor debidamente aplicada y sellada en los extremos y uniones para evitar totalmente las filtraciones de la humedad.

Difusores y Rejillas

Los elementos terminales de distribución de aire deberán cumplir las especificaciones en los planos**;** todos los Difusores de Mando, serán de cuatro o tres vías construidos en aluminio, de los tamaños indicados en los planos similares al modelo **CB** de Air Guide; todas las Rejillas de Retorno, serán de tipo álabe fijo inclinados 45° , construidos en aluminio, de los tamaños indicados en los planos similares al modelo **RA--A** de Air Guide.

Ductos Flexibles

Se debe suministrar e instalar toda la ductería flexible requerida para interconectar el Sistema de ductos con los difusores de suministro, la cual será igual o similar al modelo M-KE fabricado por "THERMAFLEX", especial para presiones hasta de 2'', con su correspondiente aislamiento térmico de R-4.2 $1^{1}/_{2}$ espesor y barrera de vapor.

El tubo interior será construido en polipropileno Calibre No. 4. Se utilizará alambre acerado tipo plano de 1 mm; el alambre será adherido con cinta de polipropileno tipo "Super Ecoflex" de 72 mm. de ancho; la barrera de vapor será construida en polipropileno Calibre No. 4.

Paneles de Control Digital Directo

Los paneles deberán ser de estado sólido, basados en microprocesadores que regularán el funcionamiento de todo el equipamiento termomecánico del Edificio, usando rutinas de control digital directo de tipo lazo cerrado y rutinas especiales para administración y ahorro de energía. Los paneles electrónicos deberán ser instalados en gabinetes metálicos con protección NEMA 1, tipo puertas abisagradas con cerradura y llave común a todos los paneles.

Los paneles serán capaces de recibir señales analógicas y digitales; las analógicas serán termistores, RTD, normalizadas dC 4-20 mA ó 2-10 V dC; las digitales serán de tipo contacto seco y podrán ser permanentes o pulsatorias.

Estación de Operación Central

El Sistema de Control y Monitoreo deberá contar con una estación de operación central compuesta por un computador tipo PC Pentium IV con una memoria RAM de 512 Mb al menos, una disketera para micro floppy de 3" 1/2, lectora de CD de 52X, un hard disk de al menos 120 Gb., un monitor color SVGA de 17”, un mouse y una impresora matricial de carro ancho.

CAPÍTULO 9

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En los Capítulos anteriores hemos presentado los Cálculos para definir los parámetros que regirán cada uno de los componentes que conforman el Sistema de Climatización propuesto.

Inicialmente, recopilamos los detalles arquitectónicos concernientes al Edificio por medio de los Planos y definimos un determinado número de factores tales como dimensiones, cantidades de vidrios, paredes externas e internas, azotea, losas, número de personas, luces, etc, y hemos calculado sobre la base de procedimientos, la Ganancia de Calor que cada uno de ellos produce así como la Carga de Enfriamiento necesaria para contrarrestar dichos efectos térmicos; obviamente, hemos alcanzado un conocimiento claro de ambos conceptos ya que para el desarrollo de los cálculos hemos utilizado ecuaciones que demuestran su relación y diferencia.

El Balanceamiento Térmico es un procedimiento necesario para definir la Hora de Diseño; es importante destacar la Diversidad de la Carga de Enfriamiento; a pesar de que las Máximas Ganancias ocurren a diferentes horas del día como lo demuestran los cálculos, la Máxima Carga de Enfriamiento (Sumatoria de todas las Cargas Individuales) ocurre a las 4:00 P.M.

Dividir la Carga Total del Edificio para dos Unidades de Enfriamiento es una decisión correcta porque un número menor o mayor pondría en riesgo la seguridad del Sistema o incrementaría los Costos de Instalación, respectivamente; por otro lado, estudiar individualmente el comportamiento térmico del Auditorio, las Aulas y el Comedor ha sido una consideración fundamental para nuestros resultados debido a la alta Carga Latente con que estos ambientes contribuyen a la Carga, básicamente por el número de personas.

Las características de las Superficies de Enfriamiento que hemos determinado son las necesarias para mantener las condiciones térmicas del Sistema pero no las únicas, porque los Cálculos Psicrométricos dependen obviamente de la Carga de Enfriamiento, y del Factor de Bypass que hemos seleccionado en base a las recopilaciones bibliográficas y a los criterios proporcionados por un grupo de Ingenieros con una amplia trayectoria en el campo de la Climatización.

Las dimensiones de los Sistemas de Distribución son las mínimas para suministrar bajo las Condiciones de Diseño, el agua de enfriamiento y el aire acondicionado, respectivamente; cada una de las variables involucradas en el proceso y la metodología de cálculo, han sido seleccionadas de acuerdo a las Recomendaciones Técnicas y a las Normas Internacionales; el recorrido de las tuberías y de los ductos se ha trazado lo más simétrico posible como lo muestran los Planos, con la finalidad de reducir las pérdidas por fricción y mantener el funcionamiento estable del Sistema; la potencia requerida por el motor de las UMAS y de las bombas ha sido calculada para suministrar el flujo de una forma homogénea, hasta el punto más lejano del Sistema.

La implementación del Control y Monitoreo contribuye a la eficiencia del Sistema de Climatización; el flujo variable se produce justamente por la interacción de cada componente de Control; los diferentes ambientes son climatizados con la cantidad necesaria de aire de acuerdo a la Carga Instantánea, debido al movimiento de las Compuertas Reguladoras ubicadas en cada ramificación del Sistema de Ductos como lo muestran los Planos; la producción de frío es controlada por el movimiento de la Válvula de Dos Vías que proporciona un flujo variable de agua de enfriamiento a cada UMA; el ahorro de energía se ve reflejado en los Costos de Operación porque el consumo eléctrico es menor, debido a que el Sistema de Control regula constantemente el proceso de

climatización de acuerdo a la Carga que el Edificio necesita en determinado instante.

El procedimiento para calcular la Carga Térmica del Edificio, los Parámetros del Serpentín, el Máximo Cabezal y la Potencia de las bombas y de las UMAS, ha sido revisado cuidadosamente así como las operaciones matemáticas involucradas; la utilización de una Hoja Electrónica de Excel garantiza nuestros resultados.

El uso de las Tablas y de los Gráficos del Apéndice, nos ha permitido mejorar nuestra capacidad de desición al tener que seleccionar los diferentes valores, de acuerdo a un criterio razonable.

El desarrollo de este Proyecto ha incrementado nuestros conocimientos sobre los Procesos de Climatización y ha sido una oportunidad para iniciarse con paso firme en el amplio campo que nos ofrece la Ingeniería.

Recomendamos para los futuros trabajos, climatizar el Edificio por medio de otro Sistema con la finalidad de comparar los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

1. AIR GUIDE, Manual de Diseño de Difusores y Rejillas, 1982.

2. ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS, 1985.

3. CARRIER, System Design Manual, Air Distribution, Part 2, 1974.

4. CARRIER, System Design Manual, Load Estimating, Part 1, 1972.

5. CARRIER, System Design Manual, Piping Design, Part 3 , 1973.

6. FAIRES VIRGIL M., Termodinámica, Segunda Edición, Unión Tipográfica Editorial Hispano – Americana, México 1973.

7. INCROPERA FRANK P., Fundamentos de Transferencia de Calor, Cuarta Edición, Prentice Hall, México 1999.

8. SANCHEZ GERMAN, "Diseño y Especificaciones Técnicas del Sistema de Aire Acondicionado para el Pabellón Central del Hospital Luis Vernaza" (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1984).

9. SONNTAG – VAN WYLEN, Introducción a la Termodinámica Clásica y Estadística, Grupo Noriega Editores, México 1994.