**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 Orcés P.

VOCAL

Ing. Eduardo Donoso P.

DIRECTOR DE TESIS

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. Consideraciones Generales del Proyecto 2
   2. Proceso de Diseño 3
   3. Criterio de Selección del Sistema 5
   4. Componentes del Sistema 8
   5. Funcionamiento del Sistema 8
   6. Descripción del Proyecto 11

CAPITULO 2

1. CARGA TÉRMICA 13
   1. Consideraciones Generales 13
   2. Definiciones Térmicas 14
   3. Criterios de Diseño 15
   4. Determinación de Factores 18
   5. Clasificación de las Cargas Térmicas 19
      1. Cargas del Espacio Externo 19
      2. Cargas del Espacio Interno 60
      3. Factor de Seguridad 74
   6. Balanceamiento de la Carga de Enfriamiento 74
   7. Criterio para seleccionar la capacidad de las Unidades Manejadoras de Aire 82
   8. Criterio para seleccionar la capacidad de los Enfriadores de Agua 83

CAPITULO 3

1. PSICROMETRÍA DEL SISTEMA 85
   1. Propiedades Psicrométricas del Aire 85
   2. Carta Psicrométrica 87
   3. Procesos Psicrométricos 88
   4. Factores de Selección del Serpentín 89
   5. Procedimiento de Cálculo para el Serpentín de Enfriamiento y Deshumidificación 94
   6. Parámetros para seleccionar el Serpentín de Enfriamiento de las Unidades Manejadoras de Aire 97

CAPITULO 4

1. SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO 117
   1. Consideraciones Generales del Sistema 117
   2. Distribución del Agua de Enfriamiento 118
   3. Proceso de Diseño del Sistema 119
   4. Procedimiento de Selección del Diámetro de la Tubería 125
   5. Accesorios del Sistema 133

CAPITULO 5

1. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE 134
   1. Consideraciones Generales 134
   2. Espacio disponible 135
   3. Criterios de Diseño 135
   4. Diseño de Ductos 137
      1. Variables que intervienen en el Proceso de Diseño 138
      2. Dimensionamiento del Ducto 144
      3. Método de Diseño 146
      4. Construcción de los Ductos 148
      5. Accesorios 149
   5. Ductos Flexibles 149
   6. Difusores y Rejillas .150
   7. Resultados ..151

CAPITULO 6

1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Y MONITOREO……………………………………………………...……166

* 1. Introducción 167
  2. Objetivos del Sistema 168
  3. Descripción General del Sistema 168
  4. Descripción de las Variables de Control 173
     1. Entradas 173
     2. Salidas 179
     3. Señales de Retroalimentación 184
  5. Ubicación de cada componente en el Sistema 185

CAPITULO 7

1. FACTIBILIDAD DEL PROYECTO 200

CAPITULO 8

1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 206

CAPITULO 9

1. 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

CFMda  Cantidad de Aire Deshumidificado

CFMoa Cantidad de Aire Externo por Ventilación

CFMsa Cantidad de Aire Suministrado

Cinst Costos de Instalación del Sistema de Climatización

CKw/h Costo de cada Kw/h.

Clp Carga Latente de Enfriamiento por Personas

Coper 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

Na Años de Operación del Sistema

NAM Network Access Module

Nd Días de Operación del Sistema

Ndif Diferencia en Años - Recuperación Inversión Inicial

Nh Horas de Operación del Sistema

Nm Meses de Operación del Sistema

Otd Diferencia entre tromm y tsa

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

Reh 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

tadp Punto de Rocío del Serpentín de Enfriamiento

TBH Temperatura de Bulbo Húmedo

TBS Temperatura de Bulbo Seco

Tedb Temperatura Bulbo Seco Entrada de Aire al Serpentín

Tes Temperatura Equivalente de Superficie

Tex Temperatura externa (condición de bulbo seco)

Tin Temperatura interna (condición de bulbo seco)

Tldb Temperatura Bulbo Seco Salida de Aire del Serpentín

TLH Calor Latente Total

Ton Toneladas de Refrigeración

Trip Triple - Tipo de Válvula

troom Temperatura del Espacio Acondicionado

tsa 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

∆t Diferencia de temperatura externa e interna. ºF

Btu/hr Btu por Horas

Cc Coeficiente de Pérdida de Presión para los Codos

Ce 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

Cr Coeficiente de Pérdida de Presión para las Reducciones

D Diámetro de la Tubería o el Ducto

∆P 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

ft2 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.H2O Pulgadas de Agua

Kg Kilogramos

Kg/m3 Kilogramos por Metro Cúbico

Kg/mm2 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/ft2 Libras por pie cuadrado

Lb/ft3 Libras por pie cúbico

Lequiv 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/in2

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

T1 Temperatura de entrada del agua en °F

T2 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 ft3/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 tadp, 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. **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 .

##### 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.

##### 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.

##### 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.

##### 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.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Bomba Circuito Secundario  Unidad Manejadora de Aire  Ducto Flexible |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | Unidad Enfriadora  de Agua | | |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | Bomba Circuito Primario |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | Ducto |  |  |  |
|  |  |  |  | Compuerta Reguladora |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | Difusor |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **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.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | COMPRESOR  REFRIGERANTE  AGUA CALIENTE  AGUA FRIA  VALVULA DE EXPANSION  INTERCAMBIADOR DE CALOR  PRESION BAJA   |  | | --- | |  | |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  | CONDENSADOR ENFRIADO |  | |  |  |  |  |  | POR AIRE |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  | PRESION ALTA |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Figura 1.2 Componentes del Ciclo de Refrigeración por**  **Compresión de Vapor** |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | | | | | | | | |

##### 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**

1. **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.

* 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.

* 1. **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.

* 1. **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.

* 1. **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.

* 1. **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.

* + 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 2.1nos 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.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| R |  |  | 6% Absorbida |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 30º |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 8% Reflejada |  |  |  |  |  |
|  |  |  | 86% Transmitida |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **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 2.2para el caso de un vidrio especial 52% absorbente.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| R |  | 52% Absorbida |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 30º |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 5% Reflejada |  |  |  |  |  |
|  |  | 43% Transmitida |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **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.6se 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, utilizamosla Ecuación 2.1 :

C = Gv x A x Fs x Fa (2.1)

donde

Gv = Máxima Ganancia de Calor Solar, Btu / hr ft2,

Apéndice A.4.

A = Area del vidrio, ft2

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** | **Ca Cantidad** | **Alto (ft)** | **Ancho (ft)** | **Area (ft2)** | **Area Total (ft2)** |
| **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**  **(ft2)** | **Área Total (ft2)** |
| **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/ft2 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** |
|  | Norte | 0 | 8947 | 12923 | 14712 | 15508 | 15905 | 16303 | 15905 | 15508 | 14712 | 12923 | 8947 | 0 |
| Dic 22 | 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** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Norte | 0 | 7356 | 10736 | 12128 | 12923 | 13122 | 13321 | 13122 | 12923 | 12128 | 10736 | 7356 | 0 |
| Nov-21 | Sur | 0 | 20884 | 30479 | 34430 | 36687 | 37252 | 37816 | 37252 | 36687 | 34430 | 30479 | 20884 | 0 |
| Ene-21 | 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** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Norte | 0 | 3159 | 5203 | 5760 | 6132 | 6318 | 6318 | 6318 | 6132 | 5760 | 5203 | 3159 | 0 |
| Oct-23 | Sur | 0 | 8967 | 14770 | 16352 | 17407 | 17935 | 17935 | 17935 | 17407 | 16352 | 14770 | 8967 | 0 |
| Feb-20 | 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** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Norte | 0 | 1115 | 2230 | 2416 | 2601 | 2601 | 2601 | 2601 | 2601 | 2416 | 2230 | 1115 | 0 |
| Mar-22 | Sur | 0 | 3165 | 6330 | 6857 | 7385 | 7385 | 7385 | 7385 | 7385 | 6857 | 6330 | 3165 | 0 |
| Sep-22 | 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** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Norte | 0 | 1115 | 2230 | 2416 | 2601 | 2601 | 2601 | 2601 | 2601 | 2416 | 2230 | 1115 | 0 |
| Abr-20 | Sur | 0 | 3165 | 6330 | 6857 | 7385 | 7385 | 7385 | 7385 | 7385 | 6857 | 6330 | 3165 | 0 |
| Ago-24 | 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** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Norte | 0 | 1115 | 2044 | 2416 | 2601 | 2601 | 2601 | 2601 | 2601 | 2416 | 2044 | 1115 | 0 |
| May-21 | Sur | 0 | 3165 | 5802 | 6857 | 7385 | 7385 | 7385 | 7385 | 7385 | 6857 | 5802 | 3165 | 0 |
| Jul-23 | 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** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Norte | 0 | 1115 | 2044 | 2416 | 2601 | 2601 | 2601 | 2601 | 2601 | 2416 | 2044 | 1115 | 0 |
| Jun-21 | 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 x Gv) + (Ba x Ga)] (2.2)

donde:

A = Área del Bloque, ft2.

Bi = Factor de Transmisión , Apéndice A.7.

Ba = Factor de Absorción, Apéndice A.7.

Gv = Máxima Ganancia de Calor Solar, Btu / hr ft2,

Apéndice A.4.

Ga = Máxima Ganancia de Calor Solar 3 horas antes,

Btu / hr ft2, 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 ft2 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 x U x Fa (2.3)

donde :

A = Area, ft2.

U = Coeficiente de Transmisión de Calor del vidrio,

Btu/hr. ft2.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 Tin = 78 ºF y Tex = 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 x A x DTE (2.4)

donde:

U = Coeficiente de Transmisión de Calor, Btu / hr ft2

°F.

A = Area de la superficie, ft2 .

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

* Color de la pared : Oscuro
* Tex : 95 º F.
* Tin : 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 Tex : 92 º F, Tin : 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 :

 (2.5)

donde:

Δte = Diferencia de Temperatura Equivalente para el

mes y tiempo del día deseado.

Δtes = 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.

Δtem= 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.

Rs = Máxima Ganancia de Calor Solar en Btu/hr ft2 a

través de vidrios ordinarios, para el mes y latitud deseado.

Rm = Máxima Ganancia de Calor Solar en Btu/hr ft2 a

través de vidrios ordinarios, para Julio y 40º Latitud Norte.

Los valores de Máxima Ganancia de Calor, Rs y Rm, 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 ft2 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 ft2 °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:

 (2.6)

donde:

R1,R2,R3,…Rn : Resistencias Térmicas de cada componente de la pared, ºF Btu / hr ft2.

**TABLA 9**

**CÁLCULO DEL ÁREA TOTAL DE LAS PAREDES EXTERNAS DE UN PISO**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Orient.** | **Largo (ft)** | **Alto (ft)** | **Area (ft2)** |
| 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.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | Interior |  |  |  | Exterior |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | Enlucido |  |  |  | Enlucido |  |
|  | Interior 1'' |  |  |  | Exterior 1'' |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | Bloque de Concreto 6'' |  |  |  |
|  |  |  | Agregado de Piedras |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Figura 2.3 Componentes de Paredes Externas** | | | | | | |
| **Expuestas al Sol - Sur, Este y Oeste** | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | Interior |  |  |  | Exterior |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | Enlucido |  |  |  | Enlucido |  |
|  | Interior 1'' |  |  |  | Exterior1'' |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | Bloque de Concreto 12'' |  |  |  |
|  |  |  | Agregado de Piedras |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **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/ft2)** |
| 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 (in)** | **Rt** | **W (Lb/ft2)** |
| 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 2.4donde 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 laTabla 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/ft2 y para la pared sombreada 60 Lb/ft2.

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 ( ft2 )** |
| **Norte Sombreada** | 1330,44 |
| **Sur Porcelanato** | 488,00 |
| **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 2.4donde 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.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | Exterior |  |
|  | Interior |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | Porcelanato 1'' |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Enlucido |  |  |  |  | Mezcla de |  |
|  | Interior 1'' |  |  |  |  | Cemento ½'' |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | Bloque de Concreto 4'' |  |  |  |  |
|  |  |  | Agregado de Piedras |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Figura 2.5 Componentes de Paredes Recubiertas** | | | | | | | |
| **con Porcelanato – Sur y Oeste PB** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  | Local No |  |
|  | Interior Oficina |  | Acondicionado | |
|  | Planta Baja |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | Enlucido |  | Enlucido |  |
|  | Interior 1'' |  | Exterior 1'' |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | Bloque de Concreto 3'' |  |  |
|  |  | Agregado de Piedras |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **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/ft2)** |
| 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/ft2)** |
| 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 fìlmico 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** |

L

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 x U x ( Tex-Tin-5 ) (2.7)

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

C = 1.221,92 x 0,46 x ( 92 – 75 – 5 )

C = 6.745 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 2.4donde 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.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Exterior |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | Enlucido Exterior 1'' |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | Losa de Concreto 10'' |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | Espacio de Aire |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | Gypsun 0,63'' |
|  | Interior |  |  |  |
|  |  |  |  | Espacio Acondicionado |
|  |  |  |  |  |
| **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/ft2** |
| 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./ft2 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 ft2** | | | | | |
|  | **A.M.** | | | | | | | **P.M.** | | | | | |
| **W-Lb/ft2** | **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 2.7donde 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.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Interior |  |  | Baldosa 0,13'' |
|  |  |  | Mezcla de Cemento 1/2'' |  |
|  |  |  |  | Losa de Concreto 10'' |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | Interior no Acondicionado | | |  |
| **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/ft2** |
| 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** | **Tex= 92ºF** | **Tin = 75ºF** |
|  | **Area ( ft2 )** | **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.17se 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 x ρ x ( Cpa + Cpw x Wt ) x ∆t x 60 ( 2.8 )

donde:

CFM = Cantidad total de aire suministrado de acuerdo al

número de personas.

ρ = Densidad del aire estándar, 0.075 Lb/ft3 .

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.

∆t = Diferencia de temperatura externa e interna. ºF .

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

Ql = CFM x ρ x ∆E x ∆Wt x 60 ( 2.9 )

donde:

CFM = Cantidad total de aire suministrado de acuerdo al

número de personas.

ρ = Densidad del aire estándar, 0.075 Lb/ft3 .

∆E = Energía contenida en el aire a 50% de HR y 75 ºF

menos la energía contenida en agua a 50 ºF, 1076

∆Wt = 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 ApéndiceA.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.

* + 1. **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** | **CFM Tot. por** | **Qs** | **Ql** |
| **Personas** | **Personas** | **Btu/hr** | **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 sobrela 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 x Gs x Fa x Fd (2.10 )

Clp = N x Gl x Fd ( 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**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **N** | | **N x Gs x Fd / N X Gl x Fd** | | | | | |  |  |
| Ubicación |  | Parado | Trabajador Oficina | | | Parado Caminando Lento | | | Ganancia | Ganancia |
| en el | Trabajador | Caminando | Sensible | | Latente | Sensible | | Latente | Sensible | Latente |
| Edificio | de Oficina | Lento | Btu/Hr | | Btu/Hr | Btu/Hr | | Btu/Hr | Total Btu/hr | Total 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 |  |  | Sentado en Reposo | | | Trabajo Sedentario | | | Ganancia | Ganancia |
| en | Sentado | Trabajo | Sensible | Latente | | Sensible | Latente | | Sensible | Latente |
| P4 | en Reposo | Sedentario | Btu/Hr | Btu/Hr | | Btu/Hr | Btu/Hr | | Total Btu/hr | Total 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/ft2, 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 = Watts Total x 1.25 x 3.4 ( 2.12 )

Gi = Watts Total x 3.4 ( 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 x Fa x Fd ( 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 ft2.

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.20con 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/ft2 .

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **TABLA 24** | | | |
| **CÁLCULO DE GANANCIA DE CALOR POR** | | | |
| **LUCES FLUORESCENTES EN EL EDIFICIO** | | | |
|  |  |  |  |
|  | **Area de** | **Watts** |  |
| **Ubicación** | **Construcción** | **Total** | **Gf** |
|  | **ft2** | **2 W/ft2** | **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 |
|  |  | |  | | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | |  | | |  | |  | |  |

* + 1. **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.

* 1. **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 |

* 1. **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 |

* 1. **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** | | | |
|  |  |  |  |
|  | **Btu/Hr** | **Btu/Hr** | **Btu/Hr** |
| **Ubicación** | **Total** | **Losa** | **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**

1. **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.

* 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.

* 1. **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.21se 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.

* 1. **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.

* 1. **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 :

 (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 .

 (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.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Línea de Saturación  **1**  **3**  **2** |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | Relaciones  de  Humedad |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **BF** |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | **GSHF** |  |  |  |  |
|  |  | **4** | **RSHF** |  |  |  |  |
|  | **5** |  |  |  |  |  |  |
|  | **tadp** | **ESHF** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | Temperatura de Bulbo Seco |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Figura 3.1 Representación tadp -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 (Tes) 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 (tadp).

**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.

 (3.3)

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

* 1. **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 (CFMoa) 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 tadp del Apéndice A.24.

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

 (3.4)

i.- La diferencia de temperatura entre el aire del espacio (troom) y el suministrado (tsa) se calcula utilizando la Ecuación 3.5 :

 (3.5)

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

**** (3.6)

k.- La cantidad de aire suministrado (CFMsa) se calcula utilizando la Ecuación 3.7:

 (3.7)

l.- Las Temperaturas de Bulbo Seco, entrada y salida del aire a través del Serpentín de Enfriamiento, Tedb y Tldb, se calculan utilizando las Ecuaciones 3.8 y 3.9 respectivamente.

 (3.8)

 (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 tadp 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:

 (3.10)

* 1. **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), tadp , la cantidad de aire suministrado CFMsa  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** | |
| CFMoa | 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 |
| **tadp ºF** | **54,3** |
| CFMda | 5046 |
| Otd | 18,53 |
| Tsa (ºF) | 56,47 |
| **CFMsa** | **5046** |
| **Tedb ºF** | **75,96** |
| **Tldb 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 |
|  |  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  | 80 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 64 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  | GSHF  55,2 |  |  |  |  |
|  |  | RSHF |  |  |  |
| 54,3 | ESHF |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  | 50% |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 56,47 | 75 | 75,96 | 92 |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **Figura 3.2 Diagrama Psicrométrico Pb UMA 1** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **TABLA 35** | |
| **PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P1 UMA 2 y 3** | |
| **Aire Externo** | |
| CFMoa | 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 |
| **tadp ºF** | **53,5** |
| CFMda | 9359 |
| Otd | 19,10 |
| Tsa (ºF) | 55,90 |
| **CFMsa** | **9359** |
| **Tedb ºF** | **77,43** |
| **Tldb ºF** | **55,89** |
| **CONDICIONES PSICROMÊTRICAS** |  |
| **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 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| 53,5 |  |  |  |  |  |
|  |  | 80 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  | 65,5 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 55 | GSHF |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  | RSHF |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  | ESHF |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  | 50% |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 55,89 | 75 | 77,43 | 92 |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **Figura 3.3 Diagrama Psicrométrico P1 UMA 2 y 3** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **TABLA 36** | |
| **PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P2 UMA 4 y 5** | |
| **Aire Externo** | |
| CFMoa | 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 |
| **tadp ºF** | **52,75** |
| CFMda | 9059 |
| Otd | 19,63 |
| Tsa (ºF) | 55,37 |
| **CFMsa** | **9059** |
| **Tedb ºF** | **78,88** |
| **Tldb 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 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 52..7,75 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | 80 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | 67,3 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | GSHF |  |  |
|  |  | 54,5 | RSHF |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | ESHF |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | 50% |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  | 55,36 | 75 | 78,88 | 92 |
|  |  |  |  |  |  |
| **Figura 3.4 Diagrama Psicrométrico P2 UMA 4 y 5** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **TABLA 37** | |
| **PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P3 UMA 6 y 7** | |
| **Aire Externo** | |
| CFMoa | 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 |
| **tadp ºF** | **53,25** |
| CFMda | 9107 |
| Otd | 19,28 |
| Tsa (ºF) | 55,72 |
| **CFMsa** | **9107** |
| **Tedb ºF** | **77,87** |
| **Tldb ºF** | **55,71** |
| **CONDICIONES PSICROMÊTRICAS** |  |
| **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 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 80 |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 66,3 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | GSHF |  |  |
|  | 54,8 | RSHF |  |  |
| 53,25 |  |  |  |  |
|  | ESHF |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | 50% |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 55,71 |  | 75  77,87 | 92 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **Figura 3.5 Diagrama Psicrométrico P3 UMA 6 y 7** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **TABLA 38** | |
| **PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P4 OFICINAS UMA 8** | |
| **Aire Externo** | |
| CFMoa | 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 |
| **tadp ºF** | **54** |
| CFMda | 12349 |
| Otd | 18,70 |
| Tsa (ºF) | 56,30 |
| **CFMsa** | **12349** |
| **Tedb ºF** | **77,00** |
| **Tldb 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 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  |  | 80 |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | 65 |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 55,1 | GSHF |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 54 |  | RSHF |  |  |
|  | ESHF |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 50% |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 56,30 | 75  77 | 92 |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | |  | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Figura 3.6 Diagrama Psicrométrico P4 Oficinas UMA 8**

|  |  |
| --- | --- |
| **TABLA 39** | |
| **PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P4 AUDITORIO UMA 9** | |
| **Aire Externo** | |
| CFMoa | 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 |
| **tadp ºF** | **50** |
| CFMda | 2435 |
| Otd | 21,97 |
| Tsa (ºF) | 53,03 |
| **CFMsa** | **2435** |
| **Tedb ºF** | **80,24** |
| **Tldb ºF** | **53,02** |
| **CONDICIONES PSICROMÊTRICAS** |  |
| **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 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | 80 |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | 68,7 |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | GSHF |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 52,2 | RSHF |  |  |
| 50 |  |  |  |  |
|  | ESHF |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | 50% |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 53,02 | 75 | 80,24  92 |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **Figura 3.7 Diagrama Psicrométrico P4 Auditorio UMA 9**   |  | | --- | |  | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

.

|  |  |
| --- | --- |
| **TABLA 40** | |
| **PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P4**  **AULAS UMA 10** | |
| **Aire Externo** | |
| CFMoa | 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 |
| **tadp ºF** | **50,66** |
| CFMda | 3110 |
| Otd | 21,45 |
| Tsa (ºF) | 53,55 |
| **CFMsa** | **3110** |
| **Tedb ºF** | **79,51** |
| **Tldb 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 |
|  |  |

.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  |  | 80 |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | 67,6 |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | GSHF |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 52,5 | RSHF |  |  |
| 50,66 |  |  |  |  |
|  | ESHF |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | 50% |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 53,55 | 75 | 79,51  92 |  |
|  |  |  |  |  |
| **Figura 3.8 Diagrama Psicrométrico P4 Aulas UMA 10** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **TABLA 41** | |
| **PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P4 COMEDOR UMA 11** | |
| **Aire Externo** | |
| CFMoa | 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 |
| **tadp ºF** | 41,33 |
| ESHF Seleccionado | 0,74 |
| **tadp ºF** | **48** |
| **Recalentamiento** | **29965** |
| CFMda | 3886 |
| Otd | 18,20 |
| Tsa (ºF) | 56,80 |
| **CFMsa** | **3886** |
| **Tedb ºF** | **81,09** |
| **Tldb 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 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  | 80 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  | 69,5 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 52,2 | GSHF |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 44,94 |  |  |  |  |
| 48 |  | RSHF |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  | Recalentamiento | 50% |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 56,80  49,65 | 75 | 81,09 | 92 |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **Figura 3.9 Diagrama Psicrométrico P4 Comedor**  **UMA 11** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **TABLA 42** | |
| **PARÁMETROS DEL SERPENTÍN P5**  **UMA 12 y 13** | |
| **Aire Externo** | |
| CFMoa | 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 |
| **tadp ºF** | **54,15** |
| CFMda | 11456 |
| Otd | 18,60 |
| Tsa (ºF) | 56,40 |
| **CFMsa** | **11456** |
| **Tedb ºF** | **76,61** |
| **Tldb 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 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  |  | 80 |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | 64,3 |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | GSHF |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 55,1 | RSHF |  |  |
|  | 54,15 |  |  |  |
|  | ESHF |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | 50% |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 56,40 | 75 | 92  76,61 |  |
| **Figura 3.10 Diagrama Psicrométrico P5 UMA 12 y 13**    Figura 3.10 Diagrama Psicrométrico Piso 5 Uma 12 y 13 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

# **CAPÍTULO 4**

1. **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.

* 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.

* 1. **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.

* 1. **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 utilizandola Ecuación 4.1:

 (4.1)

donde:

M = Flujo másico en Lb / hr.

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

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

T2 = Temperatura de Salida del agua en °F.

T1 = Temperatura de Entrada del agua en °F.

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

## (4.2)

donde :

M = Flujo másico en Lb / hr.

V = Volumen Específico del agua, 0.01603 ft3 / 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.25semuestra 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.26nos 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.27muestra 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.29se 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:

 (4.3)

donde:

f = Fricción, ft H20 por cada 100 ft de tubería.

Lequiv = 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 :

 (4.4)

donde :

GPM = Máximo Caudal del circuito.

## Hf = Máximo Cabezal , ft.

η = Eficiencia de la bomba.

* 1. **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.27nos 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.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | |  |   **324 GPM**  **4**  **3**  **4** | **324 GPM** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **BP 1** | **BP 3**  **BP 2** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  | **3** |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **1** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **2** | **2** | **648 GPM** |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **UEA1** | **UEA2** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **Figura 4.1 Componentes del Circuito Primario** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **TABLA 44** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **ANÁLISIS DEL CIRCUITO PRIMARIO – DIMENSIONAMIENTO** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **MÁXIMO CABEZAL – POTENCIA REQUERIDA** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  |
| **PARAMETROS** | | | | | | **CANTIDAD** | | | | | **LONGITUD EQUIVALENTE** | | | | | | | | | | | **PERDIDAS** | | |
| **DEL DISEÑO** | | | | | | **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 | |
| Serp |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | 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.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **UMA13 58GPM**  **UMA12 58GPM**  **UMA10 26GPM**  **UMA9 23GPM**  **UMA8 67GPM**  **UMA11 38GPM**  **UMA7 57GPM**  **UMA6 57GPM**  **UMA5 65GPM**  **UMA4 65GPM**  **UMA3 55GPM**  **UMA2 55GPM**  **UMA1 23GPM**  **1**  **2**  **3**  **2**  **3**  **2**  **3**  **1**  **2**  **3**  **1**  **2**  **3**  **4**  **5**  **6**  **7**  **A**  **B**  **C**  **D**  **E**  **F**   |  | | --- | |  | |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | **B S1** |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | **B S2** |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **TERRAZA** |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | **P5** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | **1** |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | **P4** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | **1** |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | **P3** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | **P2** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | **P1** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **PB** |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**Figura 4.2 Componentes del Circuito Secundario**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **TABLA 45** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **ANÁLISIS DEL CIRCUITO SECUNDARIO - DIMENSIONAMIENTO** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **MÁXIMO CABEZAL - POTENCIA REQUERIDA** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | |  | |  | |  | |  | | |  |  | |  |  |  |  |  |  | |  | |  |  |  |  |  |  | |  | |  | | |  | | |
| **PARAMETROS** | | | | | | | | **CANTIDAD** | | | | | | | | | | | **LONGITUD EQUIVALENTE** | | | | | | | | | | | | | **PERDIDAS** | | | | |
| **DEL DISEÑO** | | | | | | | | **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 |
|  |  |  |  |

* 1. **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**

1. **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.

#### **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.

#### **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.

#### **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. H2O; media presión para valores entre 3 ¾ a 6 ¾ in. H2O ; alta presión para valores entre 6 ¾ a 12 ¼ in. H2O . 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.

#### **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.

* + 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, CFMsa, 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.30se 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:

**** (5.1)

donde:

ΔP = Pérdida por Fricción, in. H2O.

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.31para 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.H2O. 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.33son 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:

 (5.2)

donde:

L = Longitud total del ducto, ft.

f = Fricción,in.H2O por 100 ft de Longitud Equivalente.

La velocidad de presión se calcula utilizando la Ecuación 5.3:

 (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 = Cc x VP (5.4)

SP = Cr ( VP2 – VP1) (5.5)

SP = Ce (Vp1 – VP2) (5.6)

donde:

VP1 = Velocidad de Presión a la Entrada del

Acoplamiento, in H2O.

VP2 = Velocidad de Presión a la Salida del Acoplamiento

in H2O.

Cc = Coeficiente de Pérdida de Presión para Codos.

Cr = Coeficiente de Pérdida de Presión para

Reducciones.

Ce = 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:

 (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 H2O.

η = Eficiencia del motor del ventilador de la UMA.

* + 1. **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.35son 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.

* + 1. **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.31obtenemos el diámetro equivalente del ducto**,** luego de las Tablas del Apéndice A.34 y A.35obtenemos 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 delApéndice 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.

* + 1. **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.36ilustra las juntas y costuras más comunes usadas en Sistemas de Baja Presión.

* + 1. **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.

#### **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.H2O por 100 ft longitud (un valor empírico recomendado), determinamos el diámetro y la velocidad del aire a través del ducto flexible**.**

#### **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 muestranlos 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 :

 (5.8)

donde :

L = Lado del difusor, in.

##### CFM = Caudal de aire que se esta distribuyendo.

##### FPM = Velocidad de salida recomendada.

#### **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.** | **VP1** | **VP2** | **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** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **hfTot=** | | **#####** | |
| 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.** | **VP1** | **VP2** | | | **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** |  |  |  |  |  |  | |  |  | |  |  | |  | |  | | |  |  | **hfTot=** | | | | | **#####** |
| 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.** | **VP1** | | **VP2** | | **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** | |  | |  | |  |  | |  | |  |  | | |  |  |  | |  |  | | |  |  | | **hfTot=** | | | **#####** | |
| 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.** | | | | **VP1** | | | | **VP2** | | | | | **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** | | |  | | |  | |  | | |  | | | | |  | | | |  | |  | | | | |  | | | |  | | |  | |  | | | |  | | |  | | | |  | | | | **hfTot=** | | | | | | | | | | | **#####** | |
| 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.** | | | | **VP1** | | | | | **VP2** | | | | **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** | | |  | | |  | |  | | |  | | | |  | | | | |  | | | | |  | | | |  | | | |  | | |  | |  | | | | |  | |  | | | |  | | | | | **hfTot=** | | | | | | | | | | **#####** | | |
| 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.** | **VP1** | **VP2** | **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** |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **hfTot=** | | **#####** |
| 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.** | **VP1** | **VP2** | **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** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **hfTot=** | | **#####** |
| 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.** | **VP1** | **VP2** | **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** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **hfTot=** | | **#####** |
| 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.** | **VP1** | **VP2** | **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** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | hfTot= |  | **0,559** |
| 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.** | **VP1** | **VP2** | **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** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **hfTot=** | | **#####** |
| 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.** | **VP1** | **VP2** | **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** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | hfTot= |  | **0,607** |
| 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.** | **VP1** | **VP2** | **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** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | hfTot= |  | **1,342** |
| 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**

#### **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.

#### **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.

#### **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.

#### **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.

#### **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.

#### **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**.

#### **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**.

#### **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.

#### **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.1para 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** | **Número de** | **Número de** | **Total** |
| **Ubicación de** | **Componente por** | **Unidades Mecánicas** | **de** |
| **los Componentes** | **Unidad Mecánica** | **del Sistema** | **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:

1. Suma de las Señales de Entrada.
2. Suma de las Señales de Salida.
3. El resultado mayor de las sumas anteriores se divide para 8 y se lo redondea.
4. 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**

1. **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:

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

Coper = Ton x Kw/h x Nh x Nd X Nm x Na x CKw/h (7.1)

donde:

Ton = Toneladas de Refrigeración que el Sistema debe

suministrar.

Kw/h = Consumo energético del Sistema.

Nh = Horas de Operación del Sistema.

Nd = Días de Operación del Sistema.

Nm = Meses de Operación del Sistema.

Na = Años de Operación del Sistema.

CKw/h = Costo de cada Kw/h.

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

Cinst = CTon x Ton (7.2)

donde:

CTon = 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 |
| **CKw/h** | 0,08 | |
| **Nh** | 10 | |
| **Nd** | 22 | |
| **Nm** | 12 | |
| **Na** | 15 | |
| **Coper** | $ 940.896 | $ 1.283.040 |
| **CTon** | $ 1.800 | $ 1.000 |
| **Cinst** | $ 486.000 | $ 270.000 |
| **Diferencia Coper** |  | **$ 342.144** |
| **Diferencia Cinst** |  | **$ 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**

1. **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 11/2  vez el peso de la bomba.

**Redes de Agua Fría**

Sesuministrará 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/mm2, 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/m3, 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.

Unioneslongitudinales**.-** 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 45º , 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 11/2 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**

1. **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.