# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN EN HOSPITALES

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**RAÚL ANDRÉS DARQUEA MERCADO**

**radm_366@hotmail.com**

**DIRECTOR: Ing. Mario Germán Granja Ramírez, MSc**

**mario.granja@epn.edu.ec**

**Quito, Enero 2015**

# DECLARACIÓN

Yo Raúl Andrés Darquea Mercado, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

**Raúl Andrés Darquea Mercado**

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Raúl Andrés Darquea Mercado bajo mi supervisión.

**Ing. Mario Granja MSc.**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

**Ing. Homero Valladares**

**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres, Juan y Marta por apoyarme en todas las decisiones, acertadas y erradas de mi vida.*

*A mi hermana Marta Vero por enseñarme el valor de la constancia para la consecución de un objetivo.*

*A mi tío Jaime por compartir sus experiencias profesionales y enseñarme el valor de mi esfuerzo.*

*A mis familiares que siempre han estado conmigo en las buenas y las malas.*

*A mis grandes amigos: Pedro, Alejandra, Stheffanny, Mateo, Carlos, Alexis, Oscar y Jaime por esos buenos momento compartidos dentro y especialmente fuera de la universidad.*

*Y por último pero no menos importante a la gloriosa facultad de Ingeniería Mecánica por haberme acogido en sus aulas y formarme de manera integral.*

*Robándome la célebre frase del maestro Gustavo Cerati " NO SOLO NO HUBIERA SIDO NADA SIN USTEDES, SINO QUE TODA LA GENTE QUE ESTUBO A MI ALREDEDOR DESDE EL COMIENZO, ALGUNOS SIGUEN HASTA HOY, GRACIAS TOTALES".*

# DEDICATORIA

*El presente proyecto va dedicado a mis padres, hermana, amigos y familiares.*

**RAÚL**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN ..... II

CERTIFICACIÓN ..... III

AGRADECIMIENTOS ..... IV

DEDICATORIA ..... V

ÍNDICE DE FIGURAS ..... XI

ÍNDICE DE TABLAS ..... XIV

ÍNDICE DE GRÁFICOS ..... XVI

ÍNDICE DE ANEXOS ..... XVII

RESUMEN ..... XVIII

PRESENTACIÓN ..... XIX

CAPÍTULO I ..... 1

1 GENERALIDADES ..... 1

1.1 INTRODUCCIÓN ..... 1

1.2 CLIMATIZACIÓN ..... 2

1.2.1 CONDICIONANTES PARA LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN ... 2

1.2.2 SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN ..... 3

1.3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS ..... 9

1.3.1 PSICROMETRÍA ..... 9

1.4 EQUIPOS PARA LA CLIMATIZACIÓN ..... 14

1.4.1 EQUIPOS DE VENTILACIÓN ..... 14

1.4.2 EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO ..... 16

1.5 ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CLÍNICAS Y HOSPITALES. ..... 21

CAPÍTULO II ..... 24

2 MARCO TEÓRICO ..... 24

2.1 INTRODUCCIÓN ..... 24

2.2 INGENIERÍA DE CONTROL ..... 24

2.2.1 RESEÑA HISTÓRICA SOBRE EL CONTROL AUTOMÁTICO ..... 24
2.2.2 DEFINICIONES BÁSICAS ..... 26
2.2.3 SISTEMAS DE CONTROL ..... 27
2.2.4 MODELADO MATEMÁTICO DE LOS SISTEMAS DINÁMICOS ..... 28
2.2.5 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICOS ..... 29
2.3 TERMODINÁMICA ..... 31
2.3.1 ESCALAS DE TEMPERATURA ..... 31
2.3.2 PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA ..... 34
2.4 MECÁNICA DE FLUIDOS ..... 35
2.4.1 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS ..... 35
2.4.2 REGÍMENES DE FLUJO. ..... 37
2.5 TRANSFERENCIA DE CALOR ..... 39
2.5.1 CONDUCCIÓN ..... 39
2.5.2 CONVECCIÓN ..... 41
CAPÍTULO III ..... 46
3 FACTIBILIDAD ..... 46
3.1 HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS ..... 46
3.1.1 MATRIZ PONDERADA DE DOBLE ENTRADA ..... 46
3.1.2 FORMA DE UTILIZAR LA MATRIZ DE DOBLE ENTRADA ..... 47
3.2 PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO ..... 49
3.2.1 CONTROL INDVIDUAL ESTÁNDAR ..... 49
3.2.2 CONTROL CON RELÉ TIPO TIMER ..... 50
3.2.3 CONTROL CENTRALIZADO CON PLC´s ..... 51
3.2.4 CONTROL CENTRALIZADOPRE PROGRAMADO ..... 52

3.3 FACTORES DETERMINANTES PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA MÁS APROPIADO ..... 53
3.3.1 COSTO ..... 54
3.3.2 FACILIDAD DE INSTALACIÓN ..... 54
3.3.3 COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DISTINTOS EQUIPOS ..... 54
3.3.4 FACILIDAD DE UTILIZACIÓN PARA EL USUARIO FINAL ..... 54
3.4 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ..... 54
3.5 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS ..... 56
3.5.1 SISTEMA DE CONTROL DMS CON INTERFAZ TÁCTIL SNET MINI DE SAMSUNG ..... 56
3.5.2 SISTEMA DE CONTROL CAREL PCO5+ ..... 57
3.5.3 SELECCIÓN DELOS EQUIPOS ..... 57
3.6 DISEÑO DEL SISTEMA HVAC DE UN HOSPITAL TIPO MATERNIDAD DEL MINISTERIO DE SALUD PUBLICA DEL ECUADOR. ..... 59
3.6.1 CONDICIONES DE DISEÑO INTERNAS. ..... 59
3.6.2 BALANCE TÉRMICO. ..... 59
3.6.3 CÁLCULO DE CARGAS POR EL MÉTODO CLTD/CLF ..... 61
3.6.4 EJEMPLOS DE CÁLCULO. ..... 66
3.6.5 DISEÑO DE DUCTERÍA PARA CLIMATIZACIÓN ..... 82
3.6.6 DISEÑO FINAL DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN ..... 85
3.6.7 LISTADO DE UNIDADES EXTERIORES ..... 85
3.6.8 LISTADO DE UNIDADES INTERIORES ..... 86
3.6.9 LISTADO DE UNIDADES ROOFTOP ..... 87
3.6.10 LISTADO DE VENTILADORES ..... 87
3.7 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA ..... 88
3.7.1 ESQUEMA Y PROTOCOLO DE CONTROL DEL SISTEMA ..... 88
3.7.2 COMPONENTES A UTILIZAR PARA EL SISTEMA DE CONTROL 91

3.8 DISEÑO DEL SISTEMA ..... 95
3.8.1 DVM PRO ..... 95
3.8.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO ..... 100
3.9 SIMULACIÓN ..... 104
3.9.1 DVM-E SOLUTION ..... 104
3.9.2 SIMULACIÓN CON CONTROL INDIVIDUAL ESTANDAR ..... 106
3.9.3 SIMULACIÓN CON SISTEMA DE CONTROL DMS2 CON PANEL TÁCTIL S-NET MINI. ..... 110
3.9.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... 113
3.10 ANÁLISIS FINANCIERO ..... 114
3.10.1 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITÁRIOS ..... 115
3.10.2 COSTO FINAL DEL SISTEMA ..... 115
3.10.3 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO ..... 116
CAPÍTULO IV ..... 118
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 118
4.1 CONCLUSIONES ..... 118
4.2 RECOMENDACIONES ..... 120
5 BIBLIOGRAFÍA ..... 121
Anexo 1 Plantas arquitectónicas ..... 125
Anexo 2Tablas necesarias para el uso del método CLTD-CLF ..... 126
Anexo 3Tablas SMACNA para diseño de ductos ..... 127
Anexo 4Diseño del sistema HVAC ..... 128
Anexo 5 Fichas técnicas equipos (ejemplos) ..... 129
Anexo 6Fichas técnicas equipos de control ..... 130
Anexo 7 Diagrama de fuerza y control ..... 131
Anexo 8Diagrama de conexionado final del sistema de control ..... 132
Anexo 9Análisis de precios unitarios sistema de control ..... 133

# ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.1 Climatizador de ventana. ..... 4**
**Figura 1.2 Sistema Aire Acondicionado SPLIT. ..... 5**
**Figura 1.3 Sistema de climatización todo refrigerante. ..... 6**
**Figura 1.4 Unidad manejadora de aire (UMA). ..... 7**
**Figura 1.5 Ventilador de extracción tipo hongo ..... 7**
**Figura 1.6 Sistema de climatización todo agua ..... 8**
**Figura 1.7 Sistema de climatización aire-agua ..... 8**
**Figura 1.8 Estructura de la carta psicrométrica ..... 11**
**Figura 1.9 Procesos de calentamiento y enfriamiento sensible. ..... 12**
**Figura 1.10 Procesos de calentamiento y enfriamiento latente. ..... 13**
**Figura 1.11 Líneas de procesos combinados latente y sensible ..... 13**
**Figura 1.12 Extractor de baño ..... 15**
**Figura 1.13 Ventilador de extracción tipo hongo Greenheck CUBE 300-50 ..... 15**
**Figura 1.14 Ventilador de suministro Greenheck SAF-117 ..... 16**
**Figura 1.15: Ciclo básico de refrigeración. ..... 17**
**Figura 1.16 Unidad Paquete solo frío. ..... 18**
**Figura 1.17 Unidad Paquete Calor Frío McQuay ..... 18**
**Figura 1.18 Unidad Paquete inverter con heat pump GOODMAN ..... 19**
**Figura 1.19 Unidad manejadora UMA ..... 19**
**Figura 1.20 Fan-Coil Samsung. ..... 20**
**Figura 1.21 Equipo tipo cassette de 1 vía. ..... 21**
**Figura 1.22 Cassette de 4 vias. ..... 21**
**Figura 2.1 Ejemplo diagrama de bloques. ..... 30**
**Figura 2.2 Ejemplos de controladores automáticos. ..... 30**
**Figura 2.3 Escala Celsius. ..... 32**
**Figura 2.4 Escala Fahrenheit. ..... 33**
**Figura 2.5 Equilibrio Térmico. ..... 34**
**Figura 2.6 Flujo entre dos placas. ..... 36**
**Figura 2.7 Regímenes de flujo. ..... 38**
**Figura 2.8 Conducción de calor. ..... 40**
**Figura 2.9 Corriente de convección. ..... 42**

**Figura 3.1 Ejemplo de matriz de doble entrada ponderada..... 46**
**Figura 3.2 Sumatoria de los valores ponderados..... 47**
**Figura 3.3 Ejemplo de llenado matriz de doble entrada..... 48**
**Figura 3.4 Sumatoria de la calificación de cada criterio..... 48**
**Figura 3.5 Normalización de la matriz. ..... 48**
**Figura 3.6 Selección final de la alternativa. ..... 49**
**Figura 3.7 Sistema de control individual Samsung. ..... 50**
**Figura 3.8 Controlador tipo relé temporizador OMRON ..... 51**
**Figura 3.9 Controlador PLC TECO..... 52**
**Figura 3.10 Controlador pre programado PCO de carel..... 53**
**Figura 3.11 Tabla meteorológica de temperatura en la ciudad de Quito..... 67**
**Figura 3.12 Detalle arquitectónico del auditorio..... 68**
**Figura 3.13 Detalle arquitectónico del quirófano (C QUIR 17). ..... 75**
**Figura 3.14 Ductulador. ..... 85**
**Figura 3.15 Esquema de los sistemas de control Samsung..... 89**
**Figura 3.16 DMS2. ..... 92**
**Figura 3.17 Panel de control SNET mini. ..... 92**
**Figura 3.18 Módulo de interfaz MIM-B14..... 93**
**Figura 3.19 Control de grupo centralizado ON/OFF. ..... 93**
**Figura 3.20 Controlador multifunción con cable. ..... 94**
**Figura 3.21 Cable sucre AWG 2X16. ..... 95**
**Figura 3.22 Tubería EMT..... 95**
**Figura 3.23 Pantalla de inicio del DVM pro. ..... 96**
**Figura 3.24 Archivos generados por el DVM-pro CAD mode. ..... 97**
**Figura 3.25 Pantalla de trabajo de AutoCAD con menú DVM-pro. ..... 97**
**Figura 3.26 Pantalla de inicio del DVM-pro. ..... 99**
**Figura 3.27 Pantalla de diseño controller. ..... 100**
**Figura 3.28 Captura de pantalla de los equipos a controlar ingresados en el programa DVM-pro SALES mode..... 101**
**Figura 3.29 Captura de pantalla de la pestaña tubería en el DVM-pro SALES mode. ..... 102**
**Figura 3.30 Pantalla de alambrado del programa DVM-pro..... 103**
**Figura 3.31 Pantalla controlador del DVM-pro..... 104**

**Figura 3.32 DVM- E Solution ..... 105**

# ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.1 Recomendaciones de diferentes organizaciones en diferentes años. ..... 22**
**Tabla 1.2: Condiciones de confort térmico ..... 23**
**Tabla 2.1 Diámetros equivalentes..... 39**
**Tabla 2.2 Valores del número de Reynolds para los diferentes flujos. ..... 39**
**Tabla 2.3 Conductividad térmica de algunos materiales. ..... 41**
**Tabla 2.4 Resumen de correlaciones para convección forzada ..... 45**
**Tabla 3.1 Posibles alternativas de solución. ..... 55**
**Tabla 3.2 Criterios de evaluación y valores ponderados..... 55**
**Tabla 3.3 Matriz de doble entrada ..... 55**
**Tabla 3.4 Matriz de doble entrada racionalizada..... 56**
**Tabla 3.5 Resultados de la evaluación de alternativas. ..... 56**
**Tabla 3.6 Parámetros ponderados para la selección de equipos. ..... 58**
**Tabla 3.7 Evaluación de las alternativas..... 58**
**Tabla 3.8 Evaluación racionalizada de alternativas. ..... 58**
**Tabla 3.9 Resultado de la evaluación de alternativas. ..... 59**
**Tabla 3.10 Áreas de las paredes del auditorio. ..... 69**
**Tabla 3.11 CLTD sin corregir para cada posición (paredes). ..... 70**
**Tabla 3.12 Factores de corrección LM ..... 70**
**Tabla 3.13 CLTD corregidos. ..... 70**
**Tabla 3.14 Carga térmica determinada por cada pared. ..... 71**
**Tabla 3.15 Carga térmica por motores en quirófano ..... 81**
**Tabla 3.16 Orden de prioridades de cada ingeniería. ..... 83**
**Tabla 3.17 Listado de equipos exteriores. ..... 86**
**Tabla 3.18 Listado de unidades interiores. ..... 86**
**Tabla 3.19 Listado de equipos rooftop..... 87**
**Tabla 3.20 Listado de ventiladores. ..... 87**
**Tabla 3.21 Resultados de la simulación de consumo energético para el sistema de control individual estándar. ..... 106**
**Tabla 3.22 Resultado de la simulación de la unidad OUTDOOR 71. ..... 108**
**Tabla 3.23 Simulación de la parte de calentamiento unidad OUTDOOR 71 ..... 109**

**Tabla 3.24 Resultados de la simulación de consumo energético para el sistema de control DMS2 con panel táctil SNET mini..... 110**
**Tabla 3.25 Simulación de enfriamiento unidad OUTDOOR 71 con DMS2+S-NETMINI ..... 111**
**Tabla 3.26 Simulación de calentamiento unidad OUTDOOR 71 con DMS2+S-NETMINI ..... 112**
**Tabla 3.27 Costo final del proyecto. ..... 116**
**Tabla 3.28 Análisis costo beneficio en base al VAN y TIR..... 117**

# ÍNDICE DE GRÁFICOS

**Gráfico 3.1 Gráfico de barras de cargas y consumo eléctrico para el sistema de control estándar. ..... 107**
**Gráfico 3.2 Carga de enfriamiento de la unidad OUTDOOR 71. ..... 108**
**Gráfico 3.3 Carga de calentamiento unidad OUTDOOR 71..... 109**
**Gráfico 3.4 Grafico de resultados de la simulación del sistema de control DMS2 con panel táctil S-NET mini. ..... 111**
**Gráfico 3.5 Carga de enfriamiento de unidad OUTDOOR 71 con DMS2+SNET mini. ..... 112**
**Gráfico 3.6 Carga de calentamiento de unidad OUTDOOR 71 con DMS2+SNET mini. ..... 113**

# ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Plantas arquitectónicas ..... 125

Anexo 2 Tablas necesarias para el uso del método CLTD-CLF ..... 126

Anexo 3 Tablas SMACNA para diseño de ductos ..... 127

Anexo 4 Diseño del sistema HVAC ..... 128

Anexo 5 Fichas técnicas equipos (ejemplos) ..... 129

Anexo 6 Fichas técnicas equipos de control ..... 130

Anexo 7 Diagrama de fuerza y control ..... 131

Anexo 8 Diagrama de conexionado final del sistema de control ..... 132

Anexo 9 Análisis de precios unitarios sistema de control ..... 133

# RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo fundamental diseñar un sistema de control para el sistema de climatización de un hospital.

Este proyecto se inicia con una recopilación de información sobre los conceptos básicos de la climatización y los fundamentos teóricos de la misma, además de hacer una breve explicación sobre algunos equipos, aquellos que intervienen el sistema que se va a controlar.

Luego se procede a sentar las bases teóricas de las ciencias que intervienen en el proyecto, es así que en primer lugar se dan a conocer los aspectos teóricos del control automático, para luego dar conocimientos básicos sobre las ciencias fundamentales que influyen y son determinantes en la climatización.

Para llevar a cabo el análisis de factibilidad, en un principio se explica el funcionamiento de la herramienta para la selección y evaluación de las alternativas, luego se procede a definir el problema, en esta parte se explica y se justifica la necesidad de aplicar este proyecto en base a los costos operativos del sistema de climatización.

Dentro del mismo capítulos tres se procede a presentar las alternativas que se consideran las más apropiadas para el caso, de igual manera se presentan los factores que determinantes en la evaluación y selección de la alternativa más adecuada.

Para el diseño del sistema se utiliza el software DVM-pro de Samsung Electronics, como este es un software especializado para el diseño de sistemas de climatización, se explica el funcionamiento y utilización de cada uno de los modos del programa.

En la simulación al igual que en el diseño se utiliza un software especializado, así mismo este se explica antes de utilizarlo para obtener un resultado de la simulación.

# PRESENTACIÓN

En los hospitales modernos, el sistema de climatización se convierte en uno de los sistemas considerados fundamentales, puesto que mediante la correcta aplicación del aire acondicionado y la ventilación mecánica, se asegura que la esterilización de las áreas críticas se mantenga, por otra parte con un juego de presurizaciones se asegura que el aire de los cuartos sépticos sea expulsado fuera del edificio.

Por otra parte según la norma ASHRAE el funcionamiento de los climatizadores, requiere de aproximadamente el cuarenta por ciento del consumo eléctrico total de un hospital, es por este motivo que un adecuado control se hace indispensable, centralizar el control del sistema es una buena opción pero se debe considerar que en los sistemas VRF existen unidades exteriores grandes que manejan una serie de equipos interiores, considerando esto se debe resolver el problema de conflicto de temperatura considerada agradable para el ser humano, puesto que la gran mayoría de fallos ocurridos en los equipos son producto del mal uso que le dan los usuarios, un adecuado control central superior permite evitar estos problemas y posibles daños en los equipos.

Si bien el presente proyecto no representa un desarrollo tecnológico importante, presenta algunas bases para presentar un proyecto de ingeniería real, puesto que en el transcurso de la vida profesional de un ingeniero mecánico, muchas veces la labor que se desarrolla no es generar tecnologías nuevas, más bien se resume en implementar tecnologías existentes, además el objetivo de la simulación es demostrar a un posible cliente que el proyecto es financieramente viable, es por esto que todo el proyecto a más de ser un documento técnico, tiene un propósito más específico, mostrar una aproximación a un proyecto de la vida profesional del ingeniero mecánico.

# CAPÍTULO I

# 1 GENERALIDADES

## 1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad la tecnología de la climatización de espacios habitados o de convivencia común, se ha desarrollado ampliamente de tal forma que su campo de aplicación es demasiado grande, para que este pueda ser dominado se requiere de vastos conocimientos de ciencias fundamentales como son entre otras; la termodinámica, la mecánica de fluidos y la transferencia de calor.

Durante el desarrollo de este proyecto se analizarán brevemente los aspectos fundamentales de la climatización incluyendo las leyes y principios que rigen la climatización de espacios habitados, tomando especial énfasis en el acondicionamiento de espacios dedicados a la salud.

Para el desarrollo de este proyecto se considerará un proyecto hospitalario de la ciudad de Quito, Hospital Gineco-Obstétrico tipo del ministerio de salud pública del Ecuador, entre las características constructivas de este tipo de hospitales se conocen las siguientes:

- Se cuenta tres bloques (administrativo A, hospitalización B y especialidades C).
- Cada bloque cuenta tres plantas.
- Cada bloque cuenta con al menos una sala de espera.
- En el bloque C se encuentran distribuidos dieciséis quirófanos.
- El bloque C cuenta las zonas de: Emergencia, Imagenología, Centro Obstétrico, Neonatología, Centro Quirúrgico y Área de terapia intensiva.
- El bloque B cuenta con las zonas de: Laboratorio Clínico, Consulta externa y Hospitalización.
- El bloque A es utilizado para uso administrativo, adicionalmente cuenta con un auditorio con capacidad de trescientas personas.
- El subsuelo de todo el edificio los tres bloques está destinado para estacionamientos.

Los planos arquitectónicos se muestran en el anexo 1.

## 1.2 CLIMATIZACIÓN

La climatización tiene como objetivo fundamental adecuar las condiciones ambientales de un medio, para que estas sean aptas para la realización de diversas aplicaciones, para lograr esto existen tres parámetros fundamentales que deben ser adecuados, estos son; la temperatura ambiente, la humedad y nivel de pureza del aire. Es con este objetivo como punto de partida es que los ingenieros de climatización hacen uso de tres tecnologías complementarias una de la otra, la calefacción, la ventilación y el aire acondicionado. "A partir de esta definición se desprende que el concepto climatización equivalente a lo que en inglés se llama Heating, Ventilating and Air Conditioning, o por sus siglas HVAC"[1].

### 1.2.1 CONDICIONANTES PARA LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

Dentro de los condicionantes fundamentales que encontramos para el adecuado diseño de un sistema de climatización, se encuentra en primer lugar y sin derecho a discusión el confort térmico, este consta de unos factores que han de ser considerados, los mismos se enumeran y explican a continuación.

#### 1.2.1.1 Confort Térmico

El confort térmico se define como el conjunto de condiciones ideales para cada aplicación de un sistema de HVAC, para la determinación de las condiciones de confort, se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos y datos constructivos del sitio a ser climatizado.

- Localización geográfica del proyecto
- Tipo de construcción
- Materiales de construcción
- Utilización de las instalaciones

Así también debe existen tres factores dependientes de los ocupantes del espacio a ser climatizado, estos son:

- La forma de vestir
- El nivel de actividad

[1]http://es.wikipedia.org/wiki/climatizador

- El tiempo de permanencia

En lo que se refiere al aire del medio, los aspectos a ser considerados son:

- Su temperatura
- Su velocidad
- Su humedad relativa

En cuanto a la ofimática se refiere, los diseñadores deben tomar en cuenta que todo equipamiento eléctrico, electrónico y mecánico, genera calor de una u otra forma, es así que se debe considerar los siguientes aspectos de cada equipo:

- Potencia calórica generada (se obtiene de tablas)
- Tipo de equipo
- Número de equipos de un mismo tipo

La iluminación es un aspecto verdaderamente influyente para la determinación de la carga térmica es de este modo, que el trabajo de los ingenieros de climatización está estrechamente relacionado con el desarrollado por los arquitectos e ingenieros eléctricos, puesto que la adición de luminarias provocará un desbalance térmico y es posible que se requiera de un equipo de mayor capacidad.

### 1.2.2 SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

El sistema de climatización en general está compuesto de los equipos calefactores, equipos de aire acondicionado y los equipos de ventilación (en estos se incluyen los de extracción y de suministro), como se ha dicho la función de un sistema de climatización es adecuar las condiciones térmicas de un local.

Existen diversas formas de clasificar a los sistemas de climatización, sin embargo la forma más sencilla y didáctica seria realizar dos clasificaciones:

- Por el alcance de la instalación de climatización.
- Por el tipo de fluido de trabajo o calo portador.

#### 1.2.2.1 Clasificación por el alcance de la instalación de climatización

Según el alcance de la instalación, los sistemas de climatización suelen dividirse en 2 grandes grupos, estos son:

- Sistemas de climatización unitaria.
- Sistemas de climatización centralizados.

*1.2.2.1.1 Sistemas de climatización unitaria*

Los sistemas de climatización unitaria son los más comunes, por su relativa facilidad de instalación, la característica fundamental de estos sistemas, es que estos se encargan de generar y emitir su energía térmica, un claro ejemplo en el caso de la climatización de invierno son las chimeneas, en las cuales por medio de la combustión de un elemento solido se logra elevar la temperatura de un ambiente frio. Par el caso de climatización de verano o aire acondicionado, los ejemplos más comunes que podemos hallar son los equipos de tipo de ventana que se muestran en la figura 1.1, el funcionamiento de un equipo de aire acondicionado será desarrollado posteriormente en el presente capítulo.

**Figura 1.1**Climatizador de ventana.

**Fuente:** http://www.carrier.pe

*1.2.2.1.2 Sistemas de climatización centralizados*

En los sistemas de climatización central o centralizada, la característica fundamental es que no son equipos generadores-emisores de energía térmica, esto quiere decir que constan de diversos elementos que le permiten unos generar la energía y otros emitirla, en el caso de la climatización de invierno un sistema muy común es el uso de calefactores a base de calderas y radiadores de

calor, en cambio para la climatización de verano los sistemas MULTISPLIT como se indica en la figura 1.2, son los más comunes, estos cuentan con evaporadores internos y condensadores externos.

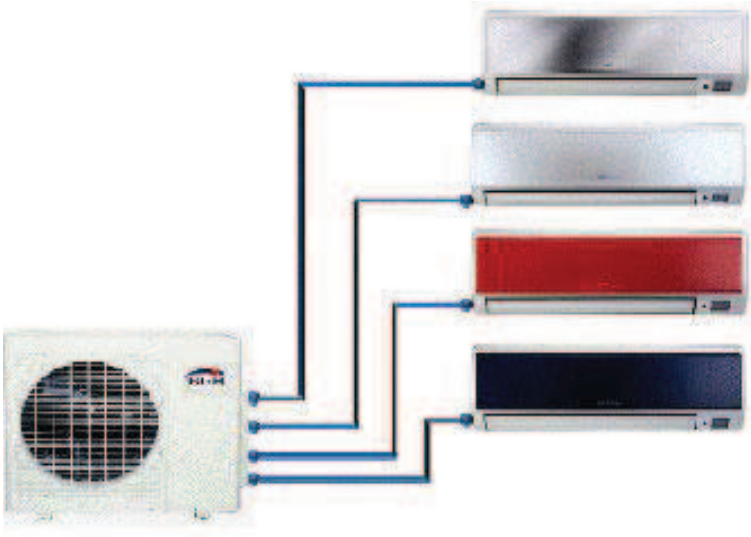

**Figura 1.2**Sistema Aire Acondicionado SPLIT.

**Fuente:** http://www.revistavivienda.com.ar

#### 1.2.2.2 Clasificación según el fluido de trabajo

La energía térmica puede ser transportada por fluidos calo portadores, estos fluidos pueden son:

- Aire
- Agua
- Fluidos refrigerantes

Se suele clasificar a los sistemas de acuerdo al fluido que realiza el transporte de la energía térmica, cabe recalcar que el aire es el fluido que se desea acondicionar, esto no implica que el aire no pueda ser considerado un fluido calo portador.

Al tipo de fluido de trabajo, los sistemas de climatización se clasifican en los siguientes grupos:

- Sistemas todo refrigerante
- Sistemas todo aire

- Sistemas todo agua
- Sistemas aire-agua

*1.2.2.2.1 Sistemas todos refrigerantes*

En los sistemas que funcionan con refrigerante, es común ver grandes conexionados de tuberías de cobre, normalmente cubiertas con aislante térmico como se indica en la figura 1.3, cuando se trabaja con este tipo de sistemas, suele ser común la utilización de medios de ventilación y adicionales.

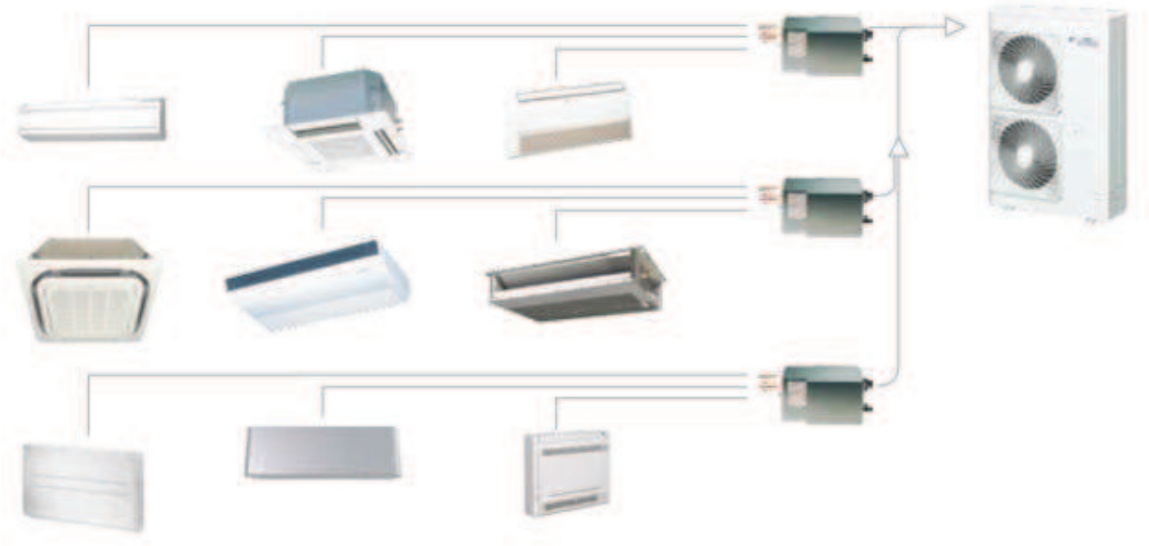

**Figura 1.3**Sistema de climatización todo refrigerante.

**Fuente:** http://www.daikin.es

*1.2.2.2.2 Sistemas todo aire*

En estos sistemas climatizadores, se trabaja con unidades manejadoras de aire (UMA), estas UMAS se colocan en la parte exterior de las edificaciones, donde toman el aire a ser tratado, este aire tratado se transporta a los locales a ser climatizados por medio de ductos, cabe recalcar que los ductos de suministro, es decir aquellos que transportan el aire tratado a las locaciones destinadas, deben estar debidamente aislados, con este fin se suele utilizar mantos de fibra aislante, la figura 1.4 muestra las secciones que conforman una UMA.

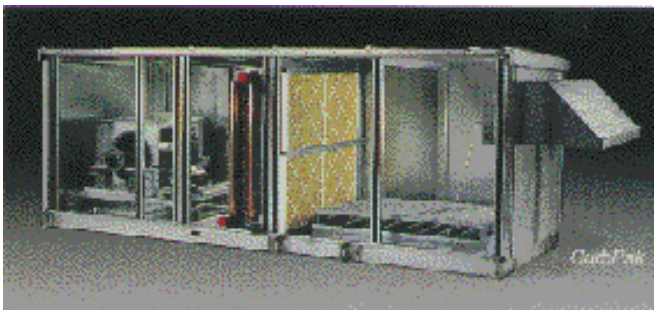

**Figura 1.4**Unidad manejadora de aire (UMA).

**Fuente:** http://www.conaire.com

De la misma manera que existe un suministro, en estos sistemas es obligatorio la implementación de sistemas de extracción, para esto se hace necesaria la utilización de ventiladores de extracción como el indicado en la figura 1.5 y ramales de ductos para extracción.

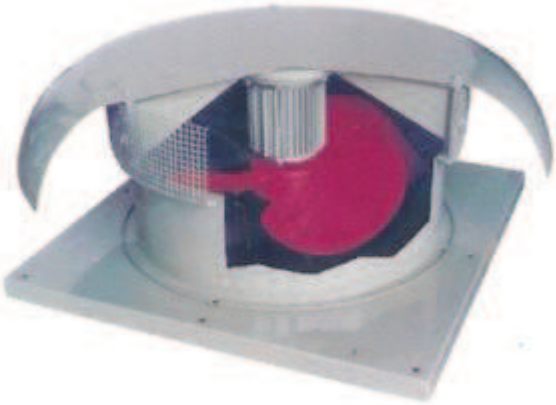

**Figura 1.5**Ventilador de extracción tipo hongo

**Fuente:** http://www.sanfranciscodigital.com.ar

*1.2.2.2.3 Sistemas todo agua*

En los sistemas todo agua el fluido es calentado o enfriado y transportado a las locaciones por medio de tuberías, una vez que el fluido caliente llega es transportado por radiadores de tubos que calientan el ambiente, para el caso del enfriamiento de aire se hace por medio de ventilo convectores (Fan-Coil), en la

figura 1.6 se puede observar una esquematización del funcionamiento de los ventilo-convectores, es necesario recalcar que la climatización en estos casos es incompleta puesto que la renovación de aire debe realizarse por otros medios.

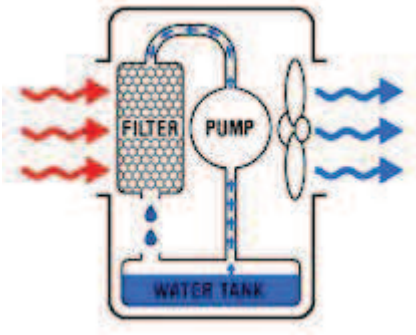


**Figura 1.6**Sistema de climatización todo agua

**Fuente: http://www.fission-engenieering.net**

*1.2.2.2.4 Sistemas aire-agua*

En este tipo de sistemas se utilizan fuentes de plantas de refrigeración de agua (chillers), y unidades de tratamiento de aire, que están fuera de los locales a ser climatizados, pero en el interior del local se encuentran ubicadas unidades de intercambio de calor entre el aire y el agua, esquemáticamente el sistema aire agua se encuentra explica en la figura 1.7.

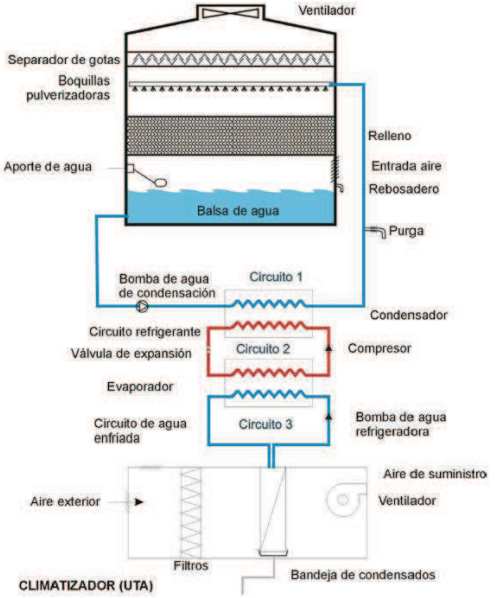


**Figura 1.7**Sistema de climatización aire-agua

**Fuente:** http://www.medellin.olx.com.co

## 1.3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Los sistemas de climatización fundamentan su funcionamiento en leyes y postulados de la termodinámica, transferencia de calor y la mecánica de fluidos, con esto como punto de partida, es importante realizar un adecuado estudio teórico de las leyes y postulados que lo rigen.

### 1.3.1 PSICROMETRÍA

La psicrometría es la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo, además esta se encarga de analizar los efectos que tiene la humedad atmosférica en los materiales y sobre el confort humano, la psicrometría también se encarga de analizar los procesos que se deben realizar para el acondicionamiento térmico de un ambiente.

#### 1.3.1.1 Propiedades del aire

Según la psicrometría las propiedades fundamentales del aire ambiental o atmosférico, son las siguientes.

- Temperatura de bulbo seco (Tbs).
- Temperatura de bulbo húmedo (Tbh).
- Temperatura de punto de rocío (PR).
- Humedad relativa (Hr).
- Relación de humedad (W).
- Volumen específico (v).
- Entalpia específica (h).

##### *1.3.1.1.1 Temperatura de bulbo seco*

Este término se utiliza para identificar la temperatura que muestra un termómetro de mercurio cuando este en contacto directo con el aire, los término “temperatura” y “temperatura de bulbo seco”, cuando se habla de aire, se utilizan para expresar lo mismo, la simbología que se utiliza comúnmente para identificarla es Tbs.

##### *1.3.1.1.2 Temperatura de bulbo húmedo*

La temperatura de bulbo húmedo, como su nombre lo indica es la medida que muestra un termómetro de mercurio, cuando su bulbo se encuentra cubierto con una mecha empapada en agua bajo la acción de aire en movimiento, su simbología común es Tbh.

*1.3.1.1.3 Temperatura de punto de rocío*

Es la temperatura a la cual el vapor de agua presente en el aire comienza con un proceso de condensación, la simbología comúnmente utilizada es PR.

*1.3.1.1.4 Humedad relativa*

Es la relación existente entra la cantidad de humedad existente en el aire ($m_v$), con la cantidad máxima de humedad que el aire puede tener a una misma condición de temperatura ($m_g$), su símbolo clásico es Hr y la misma se expresa en porcentaje de la siguiente manera.

$$Hr = \frac{m_v}{m_g} * 100\%$$

Ec. [1.1]

*1.3.1.1.5 Relación de humedad*

La relación de humedad también es conocida como humedad específica, es la relación existente entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco existente en un determinado volumen de mezcla aire-vapor de agua, normalmente se suele identificar con el símbolo W.

$$W = \frac{m_v}{m_a}$$

Ec. [1.2]

*1.3.1.1.6 Volumen especifico*

Es el volumen que ocupa el aire con relación a la masa de aire seco, su símbolo comúnmente aceptado es v.

*1.3.1.1.7 Entalpia especifica*

Es la cantidad de energía contenida por cada unidad de masa de aire, su identificación se la realiza por medio de h.

**1.3.1.2 Carta Psicrométrica**

La carta psicrométrica es un diagrama en el cual se relacionan todos los parámetros referentes a las propiedades del aire húmedo, es necesario dar a notar que para cada nivel de presión del ambiente o altura sobre la referencia (el mar) debe existir una carta especializada, sin embargo es de aplicación normal entre los ingenieros de climatización y refrigeración la utilización de la carta a nivel

cero, conocida como la carta a nivel del mar, en la figura 1.8 se muestra un esquema de las líneas presentes en la carta psicrométrica.

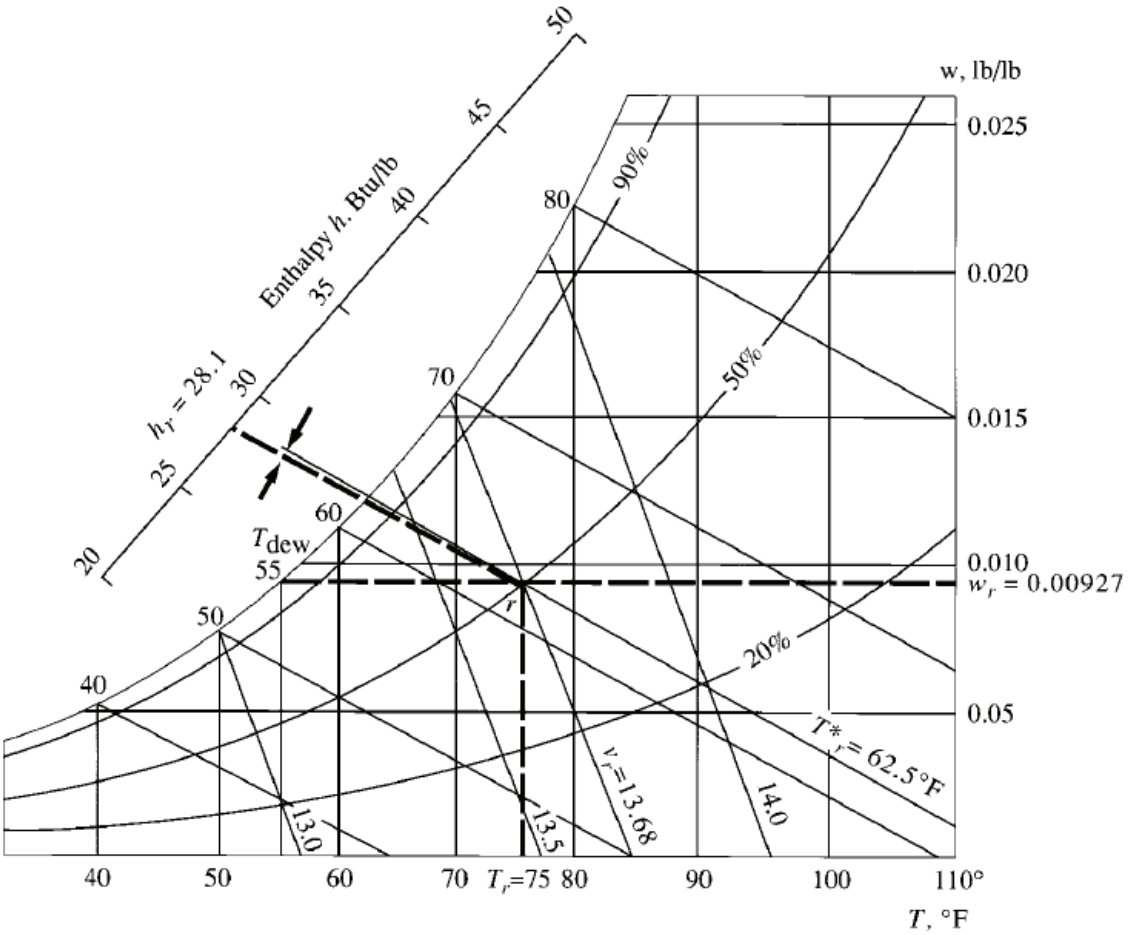


**Figura 1.8**Estructura de la carta psicrométrica

**Fuente:** ASHRAE HVAC fundamentals 2010

### 1.3.1.3 Líneas de procesos en la carta psicrométrica.

Los sistemas de climatización tienen por función principal cambiar las propiedades del aire, este cambio es denominado proceso psicrométrico y se esquematiza estos cambios en la carta psicrométrica por medio de líneas denominadas líneas de procesos.

#### *1.3.1.3.1 Línea de cambio de calor sensible*

Los procesos de cambio de calor sensible tienen por objeto cambiar la cantidad de energía interna del aire, por medio de la variación de temperatura de bulbo seco sin realizar ningún tipo de cambio en la humedad específica del mismo.

Cuando al aire se le eleva la temperatura de bulbo seco únicamente el proceso se conoce como calentamiento sensible y cuando al aire se le hace disminuir su temperatura de bulbo seco este proceso se denomina enfriamiento sensible.

Es así que la línea del proceso se representa en la carta como una línea que tiene una relación de humedad constante como se denota en la figura 1.9.

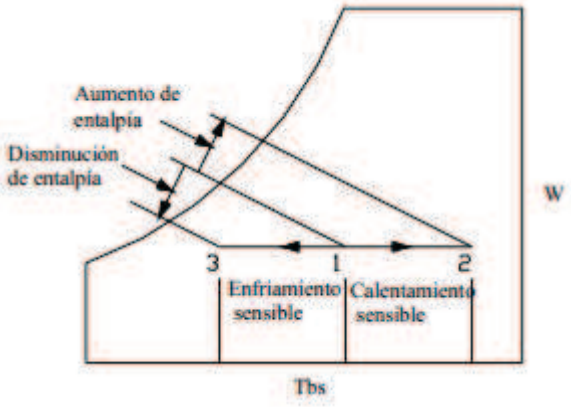


**Figura 1.9**Procesos de calentamiento y enfriamiento sensible.

**Fuente:** http://www.slideshare.com

*1.3.1.3.2 Línea de cambio de calor latente*

De manera similar en los procesos de cambio de calor latente, el objetivo es cambiar la energía interna del aire, a través del cambio de la humedad específica del aire, en este proceso se presentan dos alternativas la humidificación del aire cuando este es muy seco y la des humidificación del mismo cuando a su vez este presenta demasía de vapor de agua, la línea de cambio de calor latente se muestra esquemáticamente en la figura 1.10.

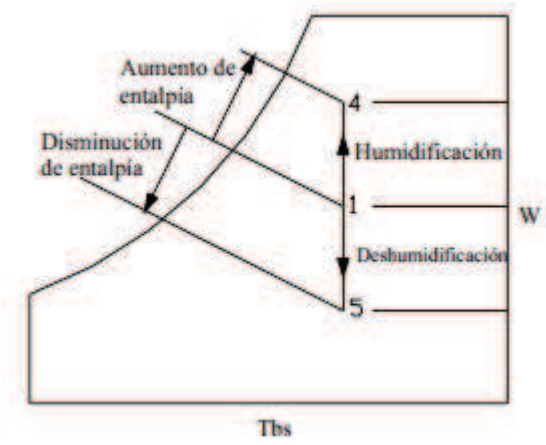


**Figura 1.10**Procesos de calentamiento y enfriamiento latente.

**Fuente:** http://www.slideshare.com

*1.3.1.3.3 Línea de cambios latente y sensible combinados*

Durante el funcionamiento de los sistemas de climatización, rara vez se realizan procesos de calentamiento o enfriamiento sensible o latente únicamente, el proceso más común y de mayor aplicación dentro del campo del HVAC es el denominado proceso combinado, a diferencia de los otros dos procesos, este presenta cuatro alternativas que son:

- Calentamiento y humidificación.
- Enfriamiento y humidificación.
- Calentamiento y des humidificación.
- Enfriamiento y des humidificación.

En la figura 1.11 se muestran las líneas de procesos combinadas posibles.

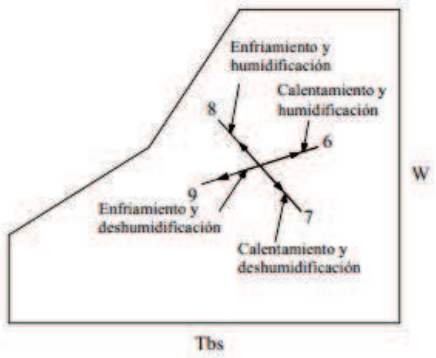


**Figura 1.11**Líneas de procesos combinados latente y sensible

**Fuente:** http://www.slideshare.com

## 1.4 EQUIPOS PARA LA CLIMATIZACIÓN

Es importante además de tener una base teórica de cómo funciona un sistema de climatización, conocer cuáles son los equipos que se van a controlar, se dará especial énfasis a los equipos que se utilizan comúnmente en los sistemas centralizados, para esto dividiremos los equipos en dos grandes grupos que son:

- Equipos de ventilación
- Equipos de aire acondicionado

### 1.4.1 EQUIPOS DE VENTILACIÓN

Al referirse a equipos de ventilación, se hace fácil entender que se habla de ventiladores, sin embargo hay que entender a estos como unidades funcionales del sistema de climatización, puesto que son los encargados de realizar la renovación de aire, para esto se cuenta con dos tipos de ventiladores:

- Ventiladores de succión o extracción
- Ventiladores de suministro

#### 1.4.1.1 Ventiladores de extracción

Estos ventiladores son los encargados de retirar el aire que se encuentra viciado y expulsarlo hacia el exterior, para permitir que mediante otros ventiladores se permita el ingreso de aire fresco.

La variedad de estos aparatos existente en el mercado es variado y complejo, puesto que se puede encontrar desde los pequeños extractores de baño hasta los grandes ventiladores tipo hongo, no se tratará a cada uno de estos puesto que su funcionamiento es igual, sin importar el tipo o tamaño del mismo.

Las figuras 1.12 y 1.13 mostraran los dos ejemplos citados.

**Figura 1.12**Extractor de baño

**Fuente:** http://www.archiexpo.es

**Figura 1.13**Ventilador de extracción tipo hongo Greenheck CUBE 300-50

**Fuente:** http://www.greenheck.com

Hay que anotar que todo ventilador de extracción, pequeño o grande, tiene que estar adaptado a un ducto de extracción, puesto que es a través de este que el aire sale del local.

#### 1.4.1.2 Ventiladores de suministro.

Estos equipos son los encargados de suministrar aire fresco del exterior, al sitio que va a ser climatizado, su característica fundamental es que sus alabes están orientados de tal manera que estos pueden impulsar el aire del exterior a través de ductos de suministro, estos pueden ser de cualquier tipo pero los más comunes son los centrífugos y los axiales, cabe recalcar que estos ventiladores no necesariamente requieren de ductería, para citar un ejemplo claro son los muy conocidos ventiladores gravitacionales de cajón, un ejemplo se muestra en la figura1.14.

**Figura1.14**Ventilador de suministro Greenheck SAF-117

**Fuente:** CAPS Engineering selection software.

### 1.4.2 EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Existen en el mercado gran variedad de nombres comerciales y marcas, para los equipos para el acondicionamiento de aire, pero es conveniente conocer aquellos equipos que se van a utilizar y controlar, siendo así los que nos interesará conocer a profundidad son equipos:

- Unidades Paquete
- Unidades Manejadoras de Aire
- Ventilo-Convectores (Fan-coils)
- Equipos (VRV) volumen variable

#### 1.4.2.1 Unidad Paquete

También son conocidas como unidades centrales, reciben su nombre del termino en inglés Unit Package (UP), básicamente son grandes gabinetes que contienen los cuatro elementos básicos del circuito de refrigeración, los elementos a los que se hacer referencia son los evaporador, compresor, condensador y equipo de expansión, estas suelen tener incorporados elementos adicionales que les permiten además de realizar el acondicionamiento de verano; realizar el acondicionamiento de invierno, estas pueden subdividirse según el trabajo que realizan, de la siguiente manera:

- Unidades paquete solo frio
- Unidades paquete calor-frio
- Unidades paquete con calefacción por bomba de calor.
- Unidades paquete con calefacción a gas

##### *1.4.2.1.1 Unidades paquete solo frio*

Estas unidades trabajan bajo el circuito básico de refrigeración, obsérvese la figura 1.15, es decir que solo cuentan con la capacidad de enfriar el aire.

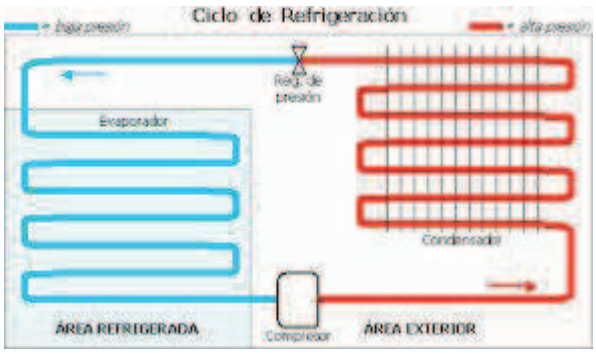


**Figura 1.15:** Ciclo básico de refrigeración.

**FUENTE:** http://kevin-contreras96.blogspot.com

En la figura 1.16 se muestra una unidad paquete del tipo solo frio.

**Figura 1.16**Unidad Paquete solo frío.

**Fuente:** http://www.proyectosyequipos.com

*1.4.2.1.2 Unidad paquete Calor-Frío*

En estas unidades trabajan bajo el mismo circuito de refrigeración, sin embargo estas cuentan con un juego de resistencias eléctricas o quemadores de gas que permiten realizar la calefacción, estéticamente son similares a las anteriores pero su interior es diferente, puesto que pueden calentar o enfriar el aire, en la figura 1.17 se puede observar una unidad paquete Calor-Frio.

**Figura 1.17**Unidad Paquete Calor Frío McQuay

**Fuente:** http://www.mcquay.com

*1.4.2.1.3 Unidad Paquete con calefacción por Bomba de Calor*

De manera análoga a las anteriores esta unidad posee el mismo ciclo de refrigeración, la principal diferencia es la condensadora de tipo bomba de calor, para resumir la condensadora de este equipo es reversible, la figura 1.18 muestra una unidad paquete con bomba de calor, es decir este equipo puede calentar o enfriar el ambiente, revirtiendo el ciclo de refrigeración.

**Figura 1.18**Unidad Paquete inverter con heatpump GOODMAN

**Fuente:** http://www.asylumclients.com

#### 1.4.2.2 Unidades manejadoras de aire (UMA)

Las unidades manejadoras de aire, también son conocidas como unidades de tratamiento de aire, estas unidades al igual que las unidades tipo paquete, también son unidades centralizadas y transportan el aire frio o caliente a un local determinado por medio de ducterías, la principal diferencia con las anteriores radica en que estos equipos aparte de enfriar y calentar el aire deben sanitizar el aire, para este fin estos equipos cuentan con juegos de filtros e incluso deben ser capaces de alterar la humedad del aire de suministro, la figura 1.19 muestra una UMA.

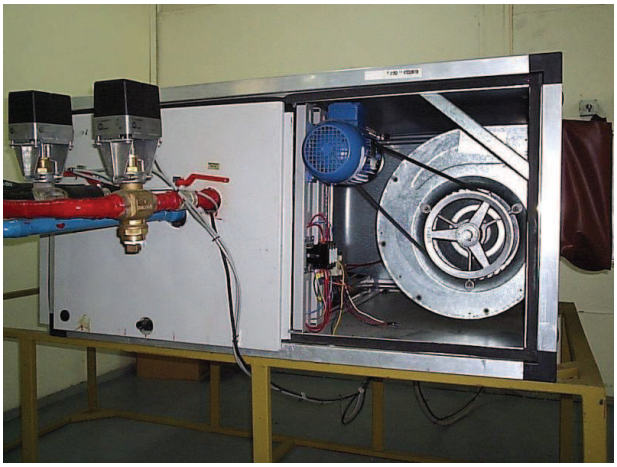

**Figura 1.19**Unidad manejadora UMA

**Fuente:** http://www.wikipedia.org

#### 1.4.2.3 Ventilo-Convectores FANCOIL

Los ventilo-convectores o fancoil, son equipos relativamente sencillos y mucho más económicos que las UP o las UMAs, normalmente funcionan dependientes de la condensadora, es decir que cuentan con todos los elementos del ciclo de refrigeración pero a diferencia de los anteriores, el fancoil como unidad solo actúa como evaporador o como condensador dependiendo del caso, obsérvese la figura 1.20, el resto de equipamientos se encuentran en la condensadora exterior y un ventilador provoca la convección desde los serpentines, hacia las tomas de los ductos o directamente al local a ser climatizado.

**Figura 1.20**Fan-Coil Samsung.

**Fuente:** http://www.refripartes.do

#### 1.4.2.4 Equipos de volumen variable (VRV)

Estos sistemas tienen la factibilidad de ajustarse al requerimiento térmico de cada zona, a diferencia de las UP y UMAs, energéticamente hablando este sistema es el más eficiente, son conocidos también como sistema múltiple o multisplit, básicamente una o varias condensadoras operan y nivelan el flujo de refrigerante que requiere cada equipo, los equipos más comunes son los equipos tipo cassette figuras 1.21 y 1.22, y los equipos tipo Split, aunque los fancoils también pueden ser parte de estos sistemas.

**Figura 1.21**Equipo tipo cassette de 1 vía.

**Fuente:** http://www.samsung.com

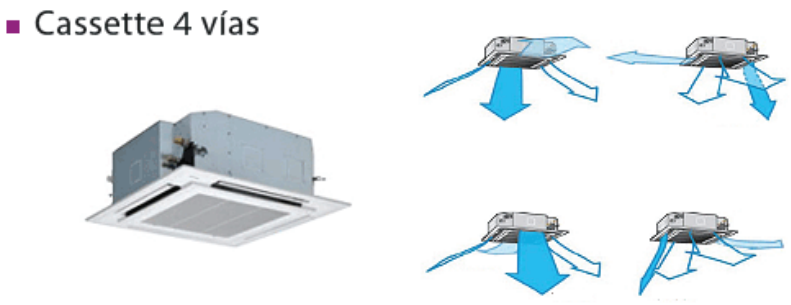


**Figura 1.22**Cassette de 4 vías.

**Fuente:** http://www.toshiba-aire.es

## 1.5 ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN CLÍNICAS Y HOSPITALES.

Los sistemas de climatización en facilidades de salud, como son los hospitales, clínicas y centros de salud, proveen un rango de servicios en orden de satisfacer las necesidades de confort, purificación y limpieza del aire que circula en el interior de estas unidades, puesto que en estos centros se pueden generar focos infecciosos.

La ASHRAE en el MANUAL DE DISEÑO PARA HOSPITALES Y CLÍNICAS, dicta las normativas básicas para el funcionamiento adecuado de una locación dedicada a la salud, entre otras doctrinas dictadas en esta manual una de las consideraciones más importantes es la que indica en forma textual “debido al

elevado riesgo de contaminación existente en cualquier unidad dedicada a proveer servicios de salud, los equipos HVAC típicamente operan veinticuatro horas al día siete días a la semana, proveyendo así por los flujos de aire limpio como un medio de descontaminación ”[2].

Los sistemas de climatización en las facilidades de salud suelen ser muy extensos y complejos por la naturaleza del servicio que en ellas se prestan, presentándose algunas excepciones como son los centros de medicina deportiva, en general los hospitales son locaciones con altos niveles de microorganismos.

En la tabla 1.1 se muestran las recomendaciones de temperatura, humedad relativa y número de cambios de aire recomendados para un edificio hospitalario en general.

**Tabla 1.1**Recomendaciones de diferentes organizaciones en diferentes años.

| Año | Fuente | Temperatura (tbs) °F (°C) | H.R.% | Cambios de aire por hora |
|---|---|---|---|---|
| **1971** | ASHRAE(1971) | 68 a 76 (20 a 25) | 50 | 5 |
| **1974** | U.S. HEW | 68 a 76 (20 a 25) | 50 a 60 | 25 |
| **1974** | U.S. HEW | 68 a 76 (20 a 25) | 50 a 60 | 5 |
| **1978** | U.S. HEW | 68 a 76 (20 a 25) | 50 a 60 | 15 |
| **1978** | U.S. HEW | 68 a 76 (20 a 25) | 50 a 60 | 5 |
| **1983** | AIA | 70 a 75 (21 a 24) | 45 a 60 | 4 |
| **1987** | AIA | 70 a 75 (21 a 24) | 50 a 60 | 3 |
| **1987** | ASHRAE(1987) | 68 a 76 (20 a 25) | 50 a 60 | 15 |
| **1992** | AIA | 70 a 75 (21 a 24) | 50 a 60 | 3 |
| **1999** | ASHRAE(1999) | 62 a 80 (20 a 27) | 45 a 55 | 5 |
| **2001** | AIA | 68 a 73 (20 a 23) | 30 a 60 | 3 |
| **2002** | NPFA(2002) | 68 a 73 (20 a 23) | 50 | 5 |
| **2003** | ASHRAE(2003a) | 62 a 80 (20 a 27) | 45 a 55 | 5 |
| **2003** | ASHRAE(2003b) | 68 a 75 (20 a 24) | 30 a 60 | 5 |
| **2005** | NPFA(2005) | 68 a 73 (20 a 23) | 35 | 5 |
| **2006** | AIA | 68 a 73 (20 a 23) | 30 a 60 | 3 |
| **2008** | AHSRAE(2008) | 68 a 75 (20 a 24) | 20 a 60 | 4 |
| **2010** | FGI(2010) | 68 a 75 (20 a 24) | 20 a 60 | 4 |

**Fuente:** ASHRAE HVAC Design Manual for Hospital and Clinics

[2](ASHRAE, 2013, pág. 1)

Las siglas de las diversas organizaciones que se denotan en la tabla corresponden a las siguientes:

- AIA: American Institute of Architects
- U.S HEW: United States departament of Health, Education and Welfare
- NFPA: National Fire Protection Association
- FGI: Facilities Guidelines Institute
- ASHRAE: American Society of Heating, Refrigeration and Air conditioning Engineers.

De todas las organizaciones y normativas detalladas en la tabla anterior, la que tiene mayor aceptación mundialmente es ASHRAE, puesto que es una asociación de ingenieros dedicada a los aspectos de la climatización. Debido a esto y considerando que en el Ecuador no existe una normativa específica sobre el asunto de climatización, es que se recurre a las normativas de esta asociación.

Los parámetros de confort térmico determinados por ASHRAE se detallan en la tabla 1.2.

**Tabla 1.2:** Condiciones de confort térmico

| Tipo de cuarto | Rango de temperatura (°C) | Rango de humedad relativa (%) | Normativa |
|---|---|---|---|
| Quirófanos | 20 a 24 | 20 a 60 | ANSI/ASHRAE/ASHE 170-2008 Debe incluir filtro HEPA 99.99% |
| Cuartos de imagenología | 20 a 21.1 | 45 a 60 | ANSI/ASHRAE/ASHE 170-2008 |
| Laboratorios | 21.1 a 23.9 | 42 a 58 | ANSI/ASHRAE/ASHE 170-2008 |
| Morgue | 20 a 23.9 | 25 a 40 | ANSI/ASHRAE/ASHE 170-2008 |
| Cuartos de aislamiento | 18 a 21 | 25 a 40 | ANSI/ASHRAE/ASHE 170-2008 |
| Centros estériles | 15 a 19 | 40 a 60 | ANSI/ASHRAE/ASHE 170-2008 |

**Fuente:** ASHRAE HVAC Design Manual for Hospital and Clinics

# CAPÍTULO II

# 2 MARCO TEÓRICO

## 2.1 INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, los sistemas de control son muy comunes y estos funcionan de forma precisa, manteniendo el equilibrio en los ciclos evolutivo y de desarrollo de los seres vivos. En el ser humano, por ejemplo, el cerebro y el sistema nervioso conservan el equilibrio y el adecuado funcionamiento del cuerpo. Por otra parte en la industria los controladores se constituyen en el cerebro de los sistemas productivos, de tal manera que estos por si solos pueden mantener el funcionamiento óptimo de los equipos de producción.

## 2.2 INGENIERÍA DE CONTROL

Es la rama de la ingeniería que se especializa en el control de procesos o sistemas, basándose en la utilización de elementos sistemáticos como son; PLC´s, micro controladores, control numérico, servomecanismos, entre otros; los mismos que se relacionan con aplicaciones tecnológicas de la información, como son las tecnologías de asistencia por computadora; CAD, CAM, CAE, CAX; para el control industrial de procesos y maquinaria, reduciendo así la necesidad de la intervención humana, puesto que esta puede ser causante de graves accidentes por desconcentración o descuido del operario.

Desde los orígenes de la ingeniería de control, esta ha tenido como pilar fundamental la automatización de sistemas complejos, es decir sin intervención humana directa sobre el proceso productivo, por citar un ejemplo; el control automático es fundamental en el control numérico presente en las máquinas-herramientas como los tornos y fresas CN y CNC.

### 2.2.1 RESEÑA HISTÓRICA SOBRE EL CONTROL AUTOMÁTICO

“El primer trabajo significativo en control automático fue el regulador de velocidad centrifugo de James Watt para el control de la velocidad de una máquina de vapor, en el siglo XVII.”[3] En la década de los años veinte, Minorsky desarrolló los

[3](Ogata, 2003, pág. 1)

primeros controladores autómatas para el guiado de embarcaciones, y demostró que es posible determinar el nivel de estabilidad de un sistema a través de las ecuaciones diferenciales que describen dicho sistema. Ya para la década de los treinta, Nyquist diseñó un procedimiento relativamente simple para la determinación de la estabilidad de los sistemas de lazo cerrado, desarrollado a partir de la respuesta en lazo abierto de las entradas sinusoidales en estado transitorio. En el año de 1934, Hazen, quien introdujo el término servomecanismos para los sistemas de control de posición, analizó el diseño de los dichos mecanismos con relé, los mismos que eran capaces de seguir con gran precisión una entrada cambiante. Durante el transcurso de los años cuarenta, las metodologías de respuesta en frecuencia, especialmente el diagrama de Bode, hicieron posible que los ingenieros diseñen sistemas de control lineales en lazo cerrado que cumplieran con los requisitos del comportamiento del sistema. A principios de la década de los cincuenta se desarrolló por completo el método del lugar de las raíces propuesto por Evans.

Son precisamente estos dos métodos, los que conforman el núcleo de la teoría de control clásica y cuya consecuencia fue sistemas estables que satisfacían un conjunto semiarbitrario de patrones de comportamiento deseado. “En general estos sistemas de control son aceptables, pero no son óptimos desde ningún punto de vista.” [4]

La segunda guerra mundial generó una urgente necesidad de mejorar los sistemas de control, a través del diseño de servomecanismos de altas prestaciones, es precisamente este hecho el que condujo a grandes avances a la fabricación de sistemas de control retroalimentados. “Las exigencias de la guerra centraron los esfuerzos en la atención sobre un importante problema, el control de tiro, proporcionando una cadena automática de órdenes entre la detección del blanco, el apuntamiento del arma y el disparo.”[5]

Conforme el desarrollo tecnológico ha ido en aumento, los controles basados en la teoría clásica del control van quedando obsoletos, es así que una nueva teoría de control es desarrollada, en la cual el tiempo en los procesos productivos toma

---

[4](Ogata, 2003, pág. 4)
[5]http://www.automata.cps.unizar.es/historia/webs/control_clasico.htm

suprema importancia, con el fin de reducir el tiempo de funcionamiento de los equipos de las industrias.

#### 2.2.1.1 Sistemas de control clásicos

La teoría de control clásica, centra su objetivo en la determinación del parámetro fundamental del funcionamiento, es decir que estos sistemas controlan una variable de entrada y una variable de salida, lo cual es adecuado para sistemas relativamente simples.

#### 2.2.1.2 Sistemas de control modernos

Con la llegada de las nuevas tecnologías, se nota claramente que las variables a controlar se multiplican, lo cual provocó que los sistemas clásicos de control se tornaron obsoletos. Con la llegada de los computadores digitales, que permiten emular de manera muy precisa los sistemas a ser controlados. Sin embargo, la estabilidad del sistema controlado depende de la similitud del modelo matemático del sistema a ser controlado y del sistema real, es por este motivo que si bien los sistemas de control son mucho más simples que los sistemas clásicos, requieren del dominio de un nivel superior de las matemáticas, para asegurar que el modelo matemático y el sistema real sean los más parecidos, para evitar la instabilidad del mismo.

### 2.2.2 DEFINICIONES BÁSICAS

#### 2.2.2.1 Variable controlada

La variable controlada es según Ogata “la cantidad que se mide y controla”[6], para esto se requiere variar otras variables del sistema, por ejemplo: en un horno eléctrico, lo que se desea controlar es la temperatura de operación del mismo, para conseguir un adecuado control del sistema “horno eléctrico” se debe considerar varios aspectos pero de manera general el parámetro a ser controlado es la cantidad de corriente eléctrica que circula por el circuito calefactor.

#### 2.2.2.2 Variable manipulada

Es aquella variable del sistema a controlar que se debe variar para obtener el valor deseado de la variable controlada, controlar significa medir, limitar la desviación existente entre el valor deseado y el valor real de esta variable.

---

[6](Ogata, 2003, pág. 7)

#### 2.2.2.3 Plantas

Se puede definir una planta como un elemento físico del sistema o una serie de elementos que funcionan juntos dentro del sistema y que permiten ser controlados.

#### 2.2.2.4 Procesos

Un proceso se define en el diccionario de Merriam-Webster, como "una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que suceden unos a otros de una forma relativamente fija y conducen a un resultado o propósitos determinados."[7]

#### 2.2.2.5 Sistemas

Un sistema es un conjunto de componentes que actúan juntos y cumplen o tratan de cumplir con un objetivo determinado. Los sistemas no necesariamente se limitan a los sistemas físicos, este concepto de sistema en particular se puede aplicar a fenómenos abstractos y dinámicos, como los que se encuentran por ejemplo en la economía.

#### 2.2.2.6 Perturbaciones

Una perturbación es una señal que normalmente tiene efectos negativos sobre los valores de salida del sistema, si las perturbaciones se producen dentro del sistema estas se denominan perturbaciones internas, mientras que si estas se producen en el exterior del sistema estas llevan el nombre de perturbaciones externas y deben ser consideradas como variables de entradas.

### 2.2.3 SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema de control es un conjunto de elementos que actúan en equipo para regular su propio funcionamiento o el de algún otro sistema y cuya finalidad es lograr un comportamiento determinado, de modo que se reduzcan los posibles fallos logrando así la obtención de los resultados deseados.

Los sistemas de control son utilizados típicamente en la industria para sustituir al trabajador pasivo que se encarga de controlar el sistema, reduciendo las posibilidades de fallo a casi cero con una eficiencia que se demuestra superior a la del trabajador.

---

[7](Ogata, 2003, pág. 8)

Como todo sistema, los sistemas de control tienen objetivos que deben ser cumplidos para el caso estos son:

- Presentarse estables y robustos frente a las perturbaciones y errores en el modelado del sistema.
- Presentar una eficiencia según los criterios preestablecidos evitando comportamientos bruscos e irreales.

#### 2.2.3.1 Tipos de sistemas de control

Los sistemas de control pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Sistemas de control de lazo abierto.
- Sistemas de con trol de lazo cerrado.

##### *2.2.3.1.1 Sistemas de control de lazo abierto*

Los sistemas de control de lazo abierto también son denominados como sistemas no retroalimentados, puesto que el funcionamiento básico de estos no se mide la salida ni se retroalimenta la misma para ser comparada con la entrada.

En cualquier sistema de control de lazo abierto, la entrada de referencia corresponde a una condición fija de trabajo del sistema, como resultado de esto la respuesta del sistema es causa del grado de calibración del sistema.

##### *2.2.3.1.2 Sistemas de control de lazo cerrado*

Estos sistemas suelen ser llamados por algunos autores como sistemas retroalimentados, el funcionamiento básico de este tipo de sistemas requiere de la medición de las señales de salida, la cual retroalimenta al controlador y es este el que toma las acciones pertinentes sobre las condiciones de trabajo para que la señal de salida se ajuste a los parámetros deseados.

### 2.2.4 MODELADO MATEMÁTICO DE LOS SISTEMAS DINÁMICOS

Un modelo matemático para un sistema dinámico puede ser definido como, un conjunto de ecuaciones que son capaces de representar con precisión la dinámica de un sistema.

La dinámica del sistema sin importar si este es: mecánico; eléctrico; térmico; biológico o cualquier otro, normalmente son descritos por ecuaciones

diferenciales, las mismas que deben ser obtenidas en base a las leyes que gobiernan el funcionamiento del sistema.

#### 2.2.4.1 Función de transferencia

La función de transferencia de cualquier sistema se puede entender como el cociente de los laplacianos de las funciones de respuesta u output y excitación o input.

$$G(s) = \frac{\mathcal{L}(output)}{\mathcal{L}(input)}$$

Ec [2.1]

A partir de la función de transferencia, se hace posible la representación de un sistema en función ecuaciones algebraicas en función de s.

### 2.2.5 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICOS

Los sistemas de control en general, presentan una gran variedad de componentes, para mostrar las funciones de cada componente en la ingeniería de control, generalmente se hace uso de los diagramas de bloques.

#### 2.2.5.1 Diagrama de bloques

Los diagramas de bloques, son representaciones graficas de las funciones que lleva a cabo cada componente además que estos permiten identificar el flujo de señales de una manera más didáctica.

En general es más fácil para los ingenieros de control, analizar un diagrama de bloques que analizar el sistema mismo, puesto que estos diagramas facilitan el funcionamiento interno de un sistema, tal como se muestra en la figura 2.1.

Cabe recalcar que para un mismo sistema es posible que exista más de un diagrama de bloques, esto depende del punto de análisis del sistema.

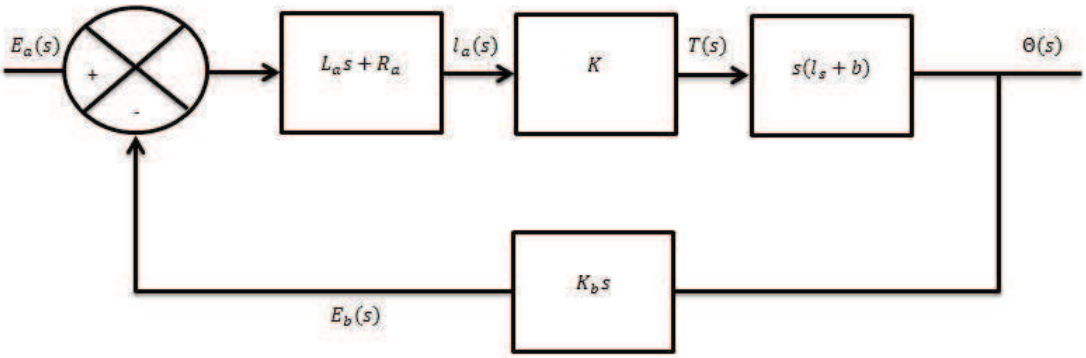


**Figura 2.1**Ejemplo diagrama de bloques.

**Fuente:** Propio

### 2.2.5.2 Controladores automáticos

El elemento fundamental de cualquier sistema de control automático es el propio controlador automático, su función principal es recopilar las señales enviadas por los sensores, para así compararlos con el valor de seteo y determinar si es necesario realizar alguna acción para que la variable controlada se acerque al valor deseado, dentro de un rango aceptable, algunos ejemplos (véase figura 2.2) de controladores automáticos son:

- Los PLC´S
- Controladores PIC´S
- Controladores PID

**Figura 2.2**Ejemplos de controladores automáticos.

**Fuente:** Dwyer instruments engineering and aplications handbook.

## 2.3 TERMODINÁMICA

Por definición la termodinámica es la ciencia de la energía, este concepto tiene su ascendencia de los vocablos griegos THREME (calor) y DYNAMIS (fuerza), que intenta describir los primeros esfuerzos de la humanidad para convertir el calor en energía motriz, más hoy en día este mismo concepto abarca todos los aspectos de la energía y sus transformaciones, podemos denotar entre otros:

- La generación de energía eléctrica.
- La refrigeración.
- Las relaciones existentes entre las propiedades de la materia en general.

Como es de conocimiento general, cualquier actividad en la naturaleza implica una interacción energética entre dos o más cuerpos, es por este motivo que una adecuada comprensión de las leyes y principios fundamentales de esta ciencia es y será parte fundamental de cualquier desarrollo ingenieril.

En la naturaleza la energía puede existir en numerosas formas entre las cuales podemos denotar las siguientes: térmica, mecánica, cinética, potencial, eléctrica, magnética, entre otras.

### 2.3.1 ESCALAS DE TEMPERATURA

De alguna manera algunas propiedades de los materiales se ven afectadas por la temperatura de manera repetible y predecible, es precisamente este hecho el que constituye una base precisa para la medición de la temperatura.

Las escalas de temperatura, permiten a los ingenieros y científicos la utilización de un patrón de medida común para realizar mediciones de la misma y a lo largo del tiempo se han presentado varias, todas estas escalas de temperatura tienen su fundamento en algunos estados fáciles de producir como los puntos de congelamiento y ebullición del agua.

#### 2.3.1.1 Escalas relativas

Las escalas relativas son aquellas que poseen valores por bajo el valor de cero, es decir tienen la posibilidad de presentar valores negativos de temperatura, en el sistema internacional SI esta unidad es el grado Celsius o centígrado, mientras que para el sistema inglés es el grado Fahrenheit.

*2.3.1.1.1 Escala Celsius o centígrada*

En la escala Celsius, denominada así en honor del astrónomo suizo A. Celsius, se les asignan los valores de cero y cien grados Celsius a cada uno, en la figura 2.3 se muestra un esquema de esta escala.

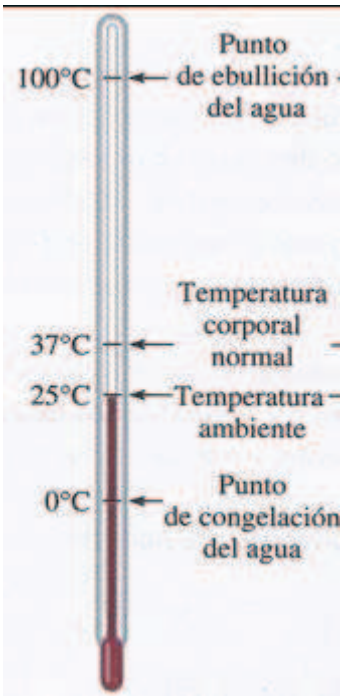


**Figura 2.3**Escala Celsius.

**FUENTE:** http://www.menteacida.com

El símbolo con el que se identifica mundialmente a esta escala de temperatura es °C

*2.3.1.1.2 Escala inglesa o Fahrenheit*

De manera análoga a la escala Celsius, la escala Fahrenheit asigna valores a los puntos de hielo y de vapor del agua, estos valores son treinta y dos y ciento doce grados, como se muestra en la figura 2.4.

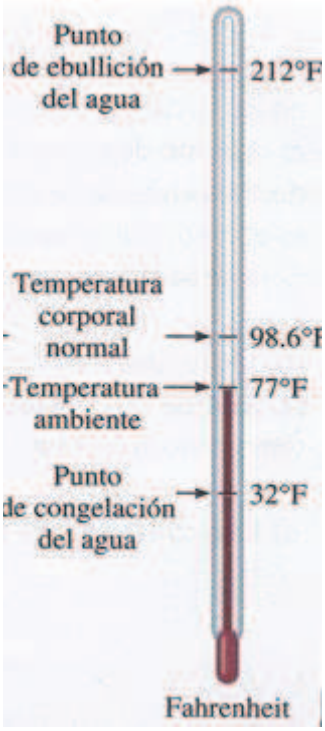


**Figura 2.4**Escala Fahrenheit.

**Fuente:** http://www.menteacida.com

A esta unidad de temperatura se la identifica mundialmente con el símbolo °F.

#### 2.3.1.2 Escalas absolutas

A diferencia de las escalas relativas las escalas absolutas no prestan la posibilidad de presentar valores de medida por debajo del cero, es decir que el menor valor factible de medir es el cero, para el sistema internacional SI la unidad aceptada es el grado Kelvin, mientras que para el sistema inglés la unidad adoptada es el grado Rankine, cabe indicar al momento que la relación entre las escalas Fahrenheit y Rankine así como entre las escalas Celsius y Kelvin es la operación suma de un valor determinado como se muestra en las siguientes ecuaciones 2.2 y 2.3.

$$R = °F + 459.76$$

Ec [2.3]

$$K = °C + 273.15$$

Ec [2.4]

#### 2.3.1.3 Principio de equilibrio térmico

Este principio fue establecido de manera empírica y textualmente según Congela "la ley cero de la termodinámica establece que si dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico con un tercero, están en equilibrio térmico entre sí"[8] tal como se indica en la figura 2.5.

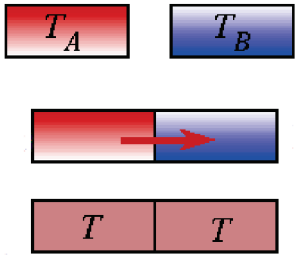


**Figura 2.5**Equilibrio Térmico.

**Fuente:** http://www.cienciasdelparque5.wikispaces.com

Si se realiza una interpretación adecuada de este principio, se puede decir que cuando un cuerpo a una temperatura A entra en contacto con uno que está a una temperatura B, se observa que el calor del cuerpo más caliente al más frío.

### 2.3.2 PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

La primera ley de la termodinámica, mejor conocida como la ley de la conservación de la energía, brinda una base sólida para la realización de análisis energéticos adecuados, tomando como base que la energía puede presentarse de diversas formas, es posible realizar balances entre todos los tipos de energía existentes.

#### 2.3.2.1 Balances energéticos

De manera muy simple, el principio de la ley de la conservación de la energía puede expresarse como sigue: el cambio neto de energía del sistema es igual la diferencia entre la energía que ingresa al sistema y la energía que sale del mismo, expresándolo en forma de ecuación se denotaría como sigue:

$$E_{entra} - E_{sale} = \Delta E_{sistema}$$

Ec [2.5]

[8](Cengel, 2002, pág. 12)

La ecuación 2.5 muestra numéricamente los parámetros que intervienen en cualquier proceso termodinámico, si esta relación se utiliza adecuadamente permite la resolución de diversos problemas de ingeniería.

Si consideramos todos los tipos de energía que pueden actuar en un sistema determinado la ecuación 2.5 toma la siguiente forma:

$$(Q_{entra} + W_{entra}) - (Q_{sale} + W_{sale}) = \Delta U + \Delta EC + \Delta EP$$

Ec [2.6]

Donde los términos representan las siguientes cantidades:

- Q= Transferencia de calor
- W= Trabajo neto

## 2.4 MECÁNICA DE FLUIDOS

La mecánica de fluidos es la rama de la física dedicada al estudio del movimiento de los fluidos, así como las fuerzas causantes de dichos movimientos. Es importante acotar que en los sistemas de aire acondicionado, más que el estudio dinámico de estos, lo que toma suprema importancia son las propiedades de los fluidos.

### 2.4.1 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

#### 2.4.1.1 Densidad

Se puede definir la densidad de un fluido como la masa del mismo por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{V}\left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

Ec [2.7]

Donde se cumple que:

m= masa

V= volumen

Para casi todas las aplicaciones HVAC se considera que la densidad del aire es constante, es por esta consideración que cualquier fluido en HVAC se considera

como un fluido incompresible. En general, la densidad de una sustancia es dependiente de otras propiedades como son la temperatura y la presión. La densidad de la mayoría de los gases es directamente proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura. Por otra parte los sólidos y líquidos que son sustancias esencialmente incompresibles, la variación de la densidad con la presión es por lo general despreciable.

#### 2.4.1.2 Viscosidad

La viscosidad se define como la oposición de las capas de un fluido a los esfuerzos tangenciales cortantes, a deslizarse sobre otra capa de fluido o límite del espacio destinado y a través de otro flujo, en la figura 2.6 se observa como las capas presentan resistencia al movimiento, en casi todos los fluidos existe un factor de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad denominado viscosidad absoluta μ.

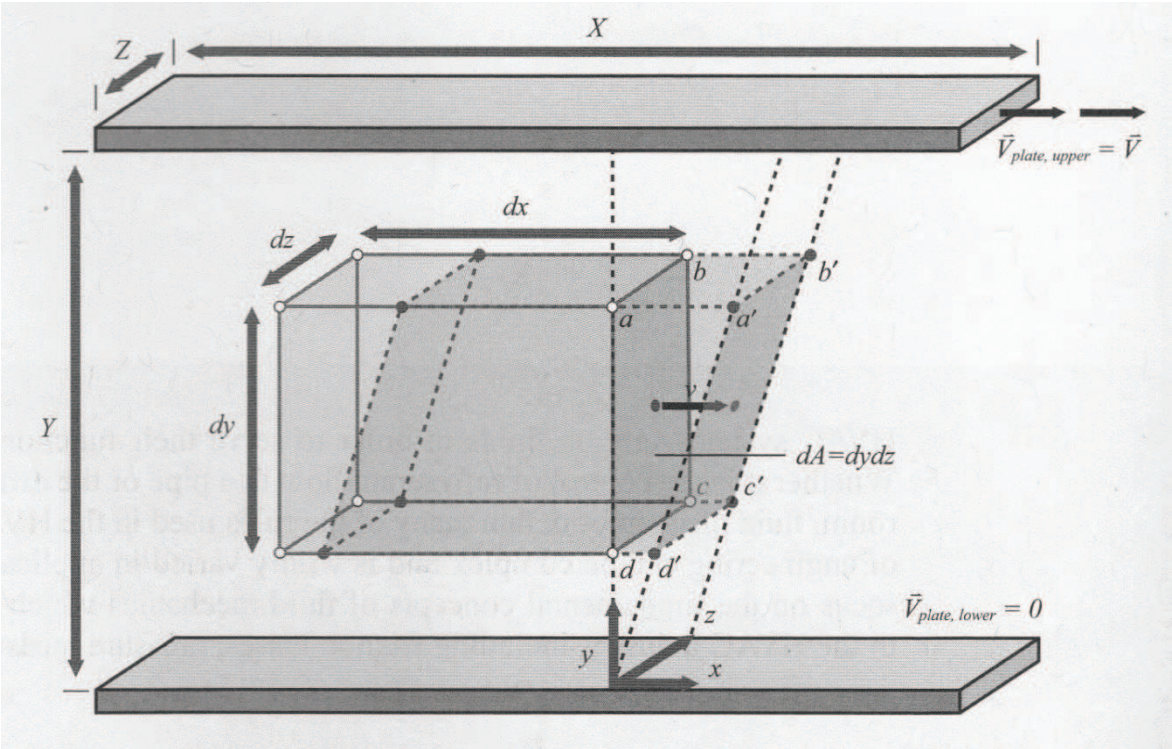


**Figura 2.6**Flujo entre dos placas.

**Fuente:** Engineer´s HVAC handbook PRICE

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu\left(\frac{\delta u}{\delta y} + \frac{\delta \vartheta}{\delta x}\right)$$

Ec [2.8]

Dónde:

- $\tau$= Esfuerzo cortante
- F= Fuerza de rozamiento o resistiva
- A= Área
- μ= Viscosidad absoluta
- $\left(\frac{\delta u}{\delta y} + \frac{\delta \vartheta}{\delta x}\right)$= Gradiente de velocidad

Muchas veces no es conveniente trabajar con los valores de la viscosidad absoluta, por su gran cantidad de parámetros (esfuerzos cortantes, fuerzas, área, gradientes de velocidad), para simplificar los cálculos los manuales de diseño de varias marcas como: Carrier; Samsung; LG; PRICE; entre otros, recomiendan la utilización de la viscosidad cinemática, esta se define como el cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad del fluido.

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

Ec [2.9]

### 2.4.2 REGÍMENES DE FLUJO.

Un flujo puede ser caracterizado dentro de dos regímenes de flujo primarios, cada uno de ellos con sus características particulares, estos son:

- Régimen de flujo laminar: cuando las líneas o capas de flujo no se cruzan entre ellas. Normalmente se presenta a bajas velocidades de traslación del fluido.
- Régimen de flujo turbulento: cuando las líneas o capas de flujo se sobreponen. Normalmente se presentan en altas velocidades de traslación del fluido.

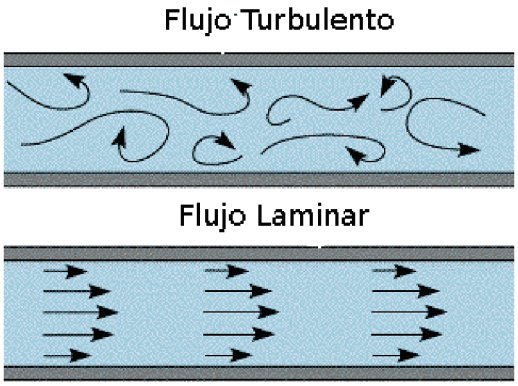


**Figura 2.7**Regímenes de flujo.

**Fuente:** http://www.fisica.laguia200.com

#### 2.4.2.1 Numero de Reynolds.

En cualquier aplicación de ingeniería en la que se trabaje con fluidos es necesario determinar el régimen de flujo bajo el cual trabaja el fluido de trabajo, con este fin en la mecánica de fluidos se presenta un análisis adimensional para determinar el tipo de flujo. El número adimensional de Reynolds permite determinar las características de cualquier flujo a través de una tubería o un ducto y la forma de determinar este número es en base a la fórmula siguiente:

$$Re = \frac{\rho . v^2}{\left(\frac{\mu . v}{L}\right)}$$

Ec [2.10]

Donde se cumple que:

- L= Longitud característica.
- $v$= Rapidez del fluido.

Realizando las simplificaciones del caso se tiene que:

$$Re = \frac{\rho . v . L}{\mu}$$

Ec [2.11]

Dependiendo del tipo de conducto por el cual circule el flujo, la longitud característica viene dada por las ecuaciones tabuladas:

**Tabla 2.1**Diámetros equivalentes.

| Tipo de flujo | Ecuación de la longitud características |
|---|---|
| Flujo en un cuarto | $L = \sqrt[3]{V}$ |
| Tuberías o ductos circulares | $L = D$ |
| Tuberías y ductos no circulares | $L = D_h = \frac{4.A_x}{P}$ |

**Fuente:** Engineer´s HVAC handbook PRICE

Para caracterizar el flujo una vez obtenido el correspondiente número de Reynolds se requiere comparar el valor obtenido con los valores tabulados que son:

**Tabla 2.2**Valores del número de Reynolds para los diferentes flujos.

| Régimen de flujo | Valores del número de Reynolds |
|---|---|
| Flujo Laminar | <2300 |
| Flujo Transitorio | 2300-4000 |
| Flujo Turbulento | >4000 |

**Fuente:** Engineer´s HVAC handbook PRICE

## 2.5 TRANSFERENCIA DE CALOR

El transporte y transferencia de calor es un criterio básico para el diseño de sistemas HVAC. Cada uno de los modos de transferencia de calor conduce a la determinación de los parámetros de pérdidas y ganancias de energía en los diferentes cuartos de un edificio.

### 2.5.1 CONDUCCIÓN

En transferencia de calor la conducción puede ser descrita como la difusión de energía por contacto de un medio cálido con un medio frío, este fenómeno puede ocurrir en medios sólidos, líquidos y gaseosos.

La figura 2.8 ilustra como ocurre la transferencia de energía a través del medio.

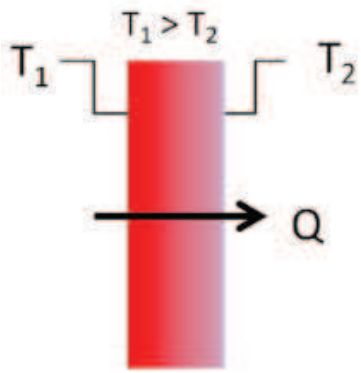


**Figura 2.8**Conducción de calor.

**FUENTE:** http://juliocarmonablog.wordpress.com

El flujo de calor en medios continuos producto de la conducción, está definido por la ley de Fourier, cuya ecuación para un caso unidimensional esta expresada como se muestra a continuación.

$$Q = k.A_x.\frac{dT}{dx}$$

Ec [2.12]

Donde las denominaciones utilizadas son:

- Q= Flujo de calor por conducción.
- k= Conductividad térmica del medio.
- Ax= Área transversal del medio.
- dT= Diferencial de temperatura.
- dx= Diferencial de longitud.

La conducción de calor se presenta en las paredes de los recintos a ser climatizados. Para estos casos se tienen las siguientes consideraciones:

dT= Variación de temperatura entre el principio y el final de la pared.

dx= Espesor del medio.

Como consecuencia de estas suposiciones la ecuación 2.17 queda expresada por:

$$Q = k.A_x.\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Ec[2.13]

Desarrollando se obtiene:

$$Q = k.A_x.\frac{T2 - T1}{L}$$

Ec [2.14]

Dónde:

- T2= Temperatura del foco caliente.
- T1= Temperatura del foco frío.
- L= Espesor del medio conductivo.

En general los valores de la constante k se encuentran tabulados, a continuación se denotan los de mayor aplicación.

**Tabla 2.3**Conductividad térmica de algunos materiales.

| **Material** | **Conductividad térmica.** | |
|---|---|---|
| | $^{Btu}/_{h.ft.°F}$ | $^{W}/_{m.K}$ |
| Aire a 20°C [68°F] | 0.0149 | 0.0257 |
| Concreto | 0.54 | 0.93 |
| Cobre | 227 | 393 |
| Vidrio | 0.59 | 1 |
| Lana de Vidrio | 0.022 | 0.038 |
| Plancha de Gypsum | 1.12 | 0.12 |

**Fuente:** Engineer´s HVAC handbook PRICE.

### 2.5.2 CONVECCIÓN

La convección es un proceso de transferencia de calor que solo se presenta en los fluidos, los mismos que transportan el calor entre zonas que presentan un gradiente de temperatura, en si lo que en transferencia de calor se denomina

convección es transporte de energía calórica producto del movimiento del fluido como se muestra en la figura 2.9.

**Figura 2.9**Corriente de convección.

**Fuente:** http://www.econo-heat.com

De manera sencilla la convección cumple con la ley del enfriamiento o calentamiento de Newton.

$$Q = h.A_s.\Delta T$$

Ec[2.15]

Dónde:

- Q= Transferencia de calor.
- As= El área superficial del medio.
- ΔT= Variación de temperatura entre las paredes del medio.
- h= Coeficiente local de transferencia de calor por convección.

El coeficiente h que aparece en la ecuación anterior se conoce como el coeficiente convectivo de transferencia de calor. A diferencia de la conducción térmica de un material, el coeficiente h no es una propiedad, es decir que su valor depende de una variedad de factores, tales como velocidad, densidad, viscosidad, conductividad térmica, calor especifico del fluido, geometría de la superficie de contacto, entre otros. Dicha dependencia, dificulta la obtención de una expresión de analítica del coeficiente convectivo, para simplificar este problema en la práctica se utiliza el análisis dimensional.

#### 2.5.2.1 Análisis dimensional

El desarrollo de las relaciones para la transferencia de calor por convección, se utilizan varios grupos adimensionales tales como el número de Nusselt (Nu), el de Prandtl (Pr) y el de Reynolds (Re).

En un problema cualquiera de convección, se involucran las siguientes siete variables:

- h= Coeficiente de convección.
- k= Conductividad térmica.
- L= Longitud del ducto.
- ρ= Densidad.
- μ= Viscosidad dinámica.
- Cp= Calor específico.
- $v$ = Velocidad.

Las dimensiones primarias son las cuatro siguientes:

- m= Masa.
- L= Longitud.
- t= Tiempo.
- T=Temperatura.

Todas las variables pueden reducirse a funciones de las cuatro dimensiones primarias. Por ejemplo citemos la velocidad.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Ec [2.16]

Donde se sabe que las unidades dimensionales las componentes son

$$\Delta x = [L]$$

Ec [2.17]

$$\Delta t = [t]$$

Ec [2.18]

Donde se obtiene que

$$v = \left[\frac{L}{t}\right]$$

Ec [2.19]

Resultado del análisis dimensional se observa que la velocidad es función de la longitud y el tiempo.

#### 2.5.2.2 Convección forzada

Se conoce como convección forzada cuando el movimiento del fluido fuerzas externas resultantes del funcionamiento de un aparato electromecánico como un ventilador o una bomba.

La manera más sencilla de determinar el factor h para la ecuación 2.15, es a través de la utilización del número adimensional de Nusselt, la ecuación para este número adimensional se muestra a continuación.

$$Nu = \frac{h.l}{k}$$

Ec [2.19]

Donde

k= Conductividad térmica del fluido.

l= Longitud característica.

A su vez el número de Nusselt es función del número de Reynolds y Prandtl.

$$Nu = f(Re, Pr)$$

Ec [2.20]

En la tabla 2.2 se presenta un resumen de las correlaciones existentes para la convección que se utilizan con mayor frecuencia.

**Tabla 2.4 Resumen de correlaciones para convección forzada**

| Correlación | Condiciones |
|---|---|
| $f = {}^{64}/_{Re_D}$ | Laminar, completamente desarrollado |
| $Nu = 4.36$ | Laminar, completamente desarrollado, qs" uniforme, $Pr \geq 0.6$ |
| $Nu = 3.66$ | Laminar, completamente desarrollado, Ts uniforme, $Pr \geq 0.6$ |
| $Nu = 3.66 + \dfrac{0.0668({}^{D}/_{l})Re_D Pr}{1 + 0.4\left(\left({}^{D}/_{l}\right)Re_D Pr\right)^{2/3}}$ | Laminar, longitud de entrada térmica ($Pr \gg 1$), Ts Uniforme |
| $f = 0.31{Re_D}^{-1/4}$ | Turbulento, completamente desarrollado, $Re_D \leq 2x10^4$ |
| $Nu = 0.023{Re_D}^{4/5}Pr^{0.4}$ | Turbulento, completamente desarrollado$Re_D \geq 10000$ |

**Fuente:** Transferencia de Calor de Karlekar 2da Edición.

# CAPÍTULO III

# 3 FACTIBILIDAD

## 3.1 HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Antes de comenzar con el desarrollo del diseño del sistema de control, es importante conocer cuál o cuáles van a ser las herramientas que se van a utilizar para este fin.

### 3.1.1 MATRIZ PONDERADA DE DOBLE ENTRADA

Para los ingenieros, la toma de decisiones es menester diario del trabajo, es así que para evitar conflictos de intereses alrededor de una decisión, normalmente en un proyecto se debe realizar una evaluación en base a ciertos criterios previamente determinados de las alternativas, para esto se utiliza la matriz de doble entrada.

La matriz ponderada de doble entrada, es una herramienta tipo tabla que permite el análisis de casos y permite la determinación adecuada de una alternativa que actúe como solución a un problema, en la figura 3.1 se muestra un ejemplo de esta herramienta.

| | CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ALTERNATIVAS | I | II | III | IV | PONDERACION | |
| A | 5 | 4 | 3 | 8 | 30 | I |
| B | 9 | 9 | 5 | 3 | 10 | II |
| C | 8 | 5 | 7 | 2 | 30 | III |
| D | 7 | 6 | 8 | 6 | 30 | IV |
| | | | | | | V |
| ∑ | 29 | 24 | 23 | 19 | 100 | |

**Figura 3.1**Ejemplo de matriz de doble entrada ponderada.

**Fuente:** Propia

Esta herramienta es de gran utilidad cuando se desea elegir una de entre varias alternativas, tomando en consideración factores que se consideran fundamentales, que pueden alterar la naturaleza del proyecto.

### 3.1.2 FORMA DE UTILIZAR LA MATRIZ DE DOBLE ENTRADA

Se debe establecer en primer lugar, cual es la definición del problema, es decir se deben sentar las bases y fundamentos técnicos que indican las características del problema, luego es conveniente realizar una interpretación más simple del problema en sí, puesto que es necesario que el cliente entienda claramente cuales pueden llegar a ser las consecuencias de no tomar acciones rectificadoras para el problema.

Una vez establecido el problema, se debe realizar una evaluación y ponderación de los factores determinantes, se puede colocar cualquier número de factores pero se recomienda que estos sean los más representativos. La ponderación de cada factor queda al criterio del usuario de la herramienta pero se debe observar que la sumatoria de los valores ponderados no puede superar el 100%.Esto se observa en la figura 3.2.

| | CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ALTERNATIVAS | I | II | III | IV | PONDERACION | |
| A | | | | | 30 | I |
| B | | | | | 10 | II |
| C | | | | | 30 | III |
| D | | | | | 30 | IV |
| | | | | | | V |
| ∑ | | | | | 100 | |

**Figura 3.2**Sumatoria de los valores ponderados.

**Fuente:** Propio.

Luego se procede calificar cada alternativa con relación a cada uno de los factores determinantes, es recomendable evaluar con valores estandarizados, por ejemplo con una escala de uno a diez como se observa en la figura 3.3.

| | CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ALTERNATIVAS | I | II | III | IV | PONDERACION | |
| A | 5 | 4 | 3 | 8 | 30 | I |
| B | 9 | 9 | 5 | 3 | 10 | II |
| C | 8 | 5 | 7 | 2 | 30 | III |
| D | 7 | 6 | 8 | 6 | 30 | IV |
| | | | | | | V |
| ∑ | | | | | 100 | |

**Figura 3.3**Ejemplo de llenado matriz de doble entrada.

Fuente: Propio.

Una vez que la tabla se encuentra llena, se procede a obtener las sumatorias de las calificaciones de los criterios, es importante notar que el valor nunca va a superar el valor resultante del producto de la escala por el número de alternativas.

| | CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ALTERNATIVAS | I | II | III | IV | PONDERACION | |
| A | 5 | 4 | 3 | 8 | 30 | I |
| B | 9 | 9 | 5 | 3 | 10 | II |
| C | 8 | 5 | 7 | 2 | 30 | III |
| D | 7 | 6 | 8 | 6 | 30 | IV |
| | | | | | | V |
| ∑ | 29 | 24 | 23 | 19 | 100 | |

**Figura 3.4**Sumatoria de la calificación de cada criterio.

**Fuente:** Propio.

Al momento que ya se tiene llena la tabla de ponderación, se debe dividir el valor de la calificación de cada alternativa para la sumatoria del criterio respectivo, esto se realiza con el fin de racionalizar o normalizar la matriz.

| | CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ALTERNATIVAS | I | II | III | IV | PONDERACION | |
| A | 0,17241379 | 0,16666667 | 0,13043478 | 0,42105263 | 0,3 | I |
| B | 0,31034483 | 0,375 | 0,2173913 | 0,15789474 | 0,1 | II |
| C | 0,27586207 | 0,20833333 | 0,30434783 | 0,10526316 | 0,3 | III |
| D | 0,24137931 | 0,25 | 0,34782609 | 0,31578947 | 0,3 | IV |
| | | | | | | |
| ∑ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

**Figura 3.5**Normalización de la matriz.

**Fuente:** Propia

$$\%Ponderación\ A = (AI * POND\ I) + (AII * POND\ 2) + (AIII * POND\ 3) + (AIV * POND\ 4)$$

Ec[3.1]

La ecuación 3.1 muestra matemáticamente como se debe calcular el porcentaje de ponderación de cada alternativa, la alternativa que se selecciona es la que posea mayor valor ponderado como se muestra en la figura 3.6.

| ALTERNATIVA | |
|---|---|
| A | 0,233837029 |
| B | 0,243189261 |
| C | 0,226475249 |
| D | 0,296498461 |

**Figura 3.6**Selección final de la alternativa.

**Fuente:** Propio.

## 3.2 PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

El objetivo principal del presente proyecto es presentar una alternativa viable para contralar adecuadamente el funcionamiento del sistema de climatización de un hospital, con esto como fondo del proyecto y considerando que el mismo no es un proyecto de electrónica, es decir no se requiere de diseñar un juego de implementos electrónicos para realizar el control de dicho sistema, se presentarán a continuación una serie de alternativas con el fin de analizar sus ventajas y desventajas y por medio de la aplicación de los cuadros de ponderación determinar cuál es el sistema de control más adecuado.

### 3.2.1 CONTROL INDVIDUAL ESTÁNDAR

Todos los sistemas de aire acondicionado, sin importar la marca, el modelo, el tipo, entre otros factores pueden ser controlados mediante la utilización de un sistema de control alámbrico o inalámbrico individual, esto quiere decir que se utiliza un controlador único para cada equipo evaporador interior.

La figura 3.1 muestra esquema de control individual.

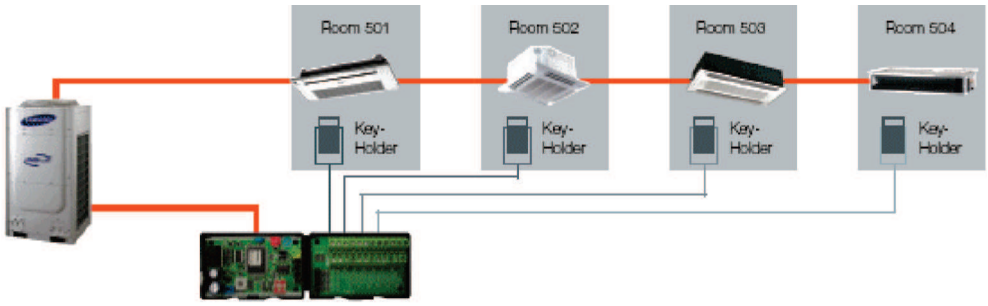


**Figura 3.7**Sistema de control individual Samsung.

**FUENTE:** http://www.samsung.com

#### 3.2.1.1 Ventajas

- Simplicidad en la instalación.
- El costo de instalación es relativamente bajo.
- Permite controlar unidades interiores o rooftop.
- Facilidad de uso del control.

#### 3.2.1.2 Desventajas

- Cualquier persona puede manipular los equipos.
- El control debe ser individualizado a cada equipo.
- Requiere mucho tiempo para la puesta en funcionamiento si son muchos equipos.
- No permite monitoreo centralizado del sistema.

### 3.2.2 CONTROL CON RELÉ TIPO TIMER

Este método de control utiliza temporizadores para dar tiempos de encendido y tiempos de apagado a los equipos que se requiera controlar, es un método de control bastante simple, pero requiere de la determinación de los tiempos e intervalos de funcionamiento adecuados.

**Figura 3.8 Controlador tipo relé temporizador OMRON**

**FUENTE:** http://www.ars-fla.com

#### 3.2.2.1 Ventajas

- Facilidad de instalación.
- Es el sistema más simple y económico.
- Permite el control por grupo VRF.

#### 3.2.2.2 Desventajas

- No permite monitoreo del sistema.
- No entrega datos sobre el estado de los equipos.
- No permite el control por zona.
- Puede existir incompatibilidad de protocolos de comunicación.

### 3.2.3 CONTROL CENTRALIZADO CON PLC´s

La utilización de un controlador lógico programable, en el control de cualquier sistema, es una práctica común en cualquier industria, estos controladores tienen la gran ventaja de poder controlar varios equipos diferentes al mismo tiempo, además de reemplazar a varios equipos de control lógico como los relés.

**Figura 3.9**Controlador PLC TECO

**FUENTE:** http://www.alltronicsperu.com

#### 3.2.3.1 Ventajas

- Automatiza todo el sistema.
- Centraliza el control en un solo punto de control.

#### 3.2.3.2 Desventajas

- Puede presentar incompatibilidad de protocolos de comunicación.
- No permite monitoreo del sistema.
- No entrega datos sobre el estado de los equipos.
- No permite el control por zona.
- Elevado costo.
- Complejidad en la instalación.
- Complejidad en la interpretación de las señales respuesta.
- No reconoce los códigos de error.

### 3.2.4 CONTROL CENTRALIZADOPRE PROGRAMADO

Los controladores pre programados, son PLC´s que no requieren ser programados, es decir sus funciones de trabajo son específicas para sistemas de aire acondicionado y ventilación. Estos controladores son especiales para trabajo con varios equipos al mismo tiempo, así también estos equipos pueden controlar equipos especiales como los aires acondicionados de precisión y equipos exteriores.

**Figura 3.10**Controlador pre programado PCO de carel.

Fuente: http://www.carel.com

#### 3.2.4.1 Ventajas

- No presentan problemas de comunicación.
- Automatiza todo el sistema.
- Centraliza el sistema.
- Reconoce e indica los códigos de error.
- Controla equipos tanto interiores como exteriores.
- Permite control por zona.
- Permite controlar equipos de diversas marcas con ayuda de dispositivos electrónicos convertidores de protocolo.
- Permite dar permisos de utilización a los diversos usuarios.
- Permite interconexión con otros sistemas.
- Interfaz del sistema amigable con el usuario final.

#### 3.2.4.2 Desventajas

- Costo alto.
- Instalación de complejidad moderada.

## 3.3 FACTORES DETERMINANTES PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA MÁS APROPIADO

Una vez planteadas las opciones para el sistema, se presenta la necesidad de evaluar cada una de las alternativas, para esto se han seleccionado cuatro factores que son los que se consideran primordiales en la elaboración, diseño y construcción de cualquier proyecto, sin importar la índole de estos.

### 3.3.1 COSTO

En todo proyecto una de las limitantes existentes es el costo real que este puede alcanzar, por lo general es uno de los factores que tiene mayor importancia a la hora de ponderar un sistema sobre otro, cuando se evalúa la importancia que tiene el precio a pagar en contraste con los beneficios adquiridos es de suma importancia que la alternativa seleccionada tenga altos beneficios con un bajo costo, cosa que no siempre es posible puesto que mientras más complejo tecnológicamente sea un sistema más costoso va a ser, es así que se ha seleccionado una ponderación del treinta por ciento.

### 3.3.2 FACILIDAD DE INSTALACIÓN

En este caso la facilidad de instalación es un factor que realmente no influye sobremanera en el trabajo a realizar, pese a eso es necesario que no sea muy complicado instalar los equipos de control, puesto que si esta operación es muy complicada, puede influir levemente en el costo que representa al cliente, de esta manera la ponderación seleccionada es del diez por ciento.

### 3.3.3 COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DISTINTOS EQUIPOS

La compatibilidad de un sistema de control electrónico con el sistema a controlar es fundamental, puesto que mientras más compatible sea el equipo, se reducirá la utilización de dispositivos convertidores de señal para que los sistemas trabajen en el mismo lenguaje de operación, con esta consideración se ha decidido ponderar el treinta por ciento.

### 3.3.4 FACILIDAD DE UTILIZACIÓN PARA EL USUARIO FINAL

Es fundamental conocer qué tipo de personas van a utilizar a diario el sistema, en el presente caso se asume que el personal de mantenimiento, pudiera ser capaz de operar los equipos, pero es absolutamente antihigiénico que un técnico ingrese a áreas estériles para accionar un equipo, por otra parte el personal con acceso a las áreas estériles puede no tener la preparación necesaria, este factor va a tener un treinta por ciento de ponderación.

## 3.4 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Para la selección de la alternativa se ha evaluado cada opción en función de los parámetros antes mencionados, es así que se ha obtenido un juego de tablas

denominado matrices de ponderación que se presentan a continuación. La tabla 3.1 muestra las posibles soluciones al requerimiento de control del sistema HVAC.

**Tabla 3.1**Posibles alternativas de solución.

| ALTERNATIVAS | |
|---|---|
| A | control individual standard |
| B | control con relé tipo timer |
| D | control centralizado con plc´s |
| E | control centralizado preprogramado |

**Fuente:** Propia

En la tabla 3.2 se muestran los criterios y su respectiva ponderación.

**Tabla 3.2**Criterios de evaluación y valores ponderados.

| CRITERIOS DE SELECCIÓN | | |
|---|---|---|
| I | COSTO | 30% |
| II | FACILIDAD DE INSTALACIÓN | 10% |
| III | COMPATIBILIDAD CON LOS EQUIPOS | 30% |
| IV | FACILIDAD DE UTILIZACIÓN PARA EL USUARIO FINAL | 30% |

**Fuente:** Propia

Para poder seleccionar el sistema, cada alternativa ha sido calificada con valores del uno al diez, siendo uno malo y 10 excelente, de este modo la matriz de evaluación de doble entrada queda como se muestra en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3**Matriz de doble entrada

| | CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ALTERNATIVAS** | **I** | **II** | **III** | **IV** | **PONDERACIÓN** | |
| **A** | 8 | 9 | 3 | 1 | 30 | **I** |
| **B** | 9 | 9 | 3 | 1 | 10 | **II** |
| **C** | 5 | 9 | 8 | 3 | 30 | **III** |
| **D** | 3 | 3 | 9 | 10 | 30 | **IV** |
| | | | | | | |
| ∑ | 25 | 30 | 23 | 15 | 100 | |

**Fuente:** Propia

Con los datos de la matriz de doble entrada, se procede a racionalizar la tabla, de esta manera se divide la sumatoria, para cada valor propio, el resultado de las operaciones correspondientes queda como se ve en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4**Matriz de doble entrada racionalizada.

| | CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ALTERNATIVAS** | **I** | **II** | **III** | **IV** | **PONDERACIÓN** | |
| **A** | 0,32 | 0,3 | 0,13043478 | 0,06666667 | 0,3 | **I** |
| **B** | 0,36 | 0,3 | 0,13043478 | 0,06666667 | 0,1 | **II** |
| **C** | 0,2 | 0,3 | 0,34782609 | 0,2 | 0,3 | **III** |
| **D** | 0,12 | 0,1 | 0,39130435 | 0,66666667 | 0,3 | **IV** |
| | | | | | | |
| ∑ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

**Fuente:** Propia

Para evaluar la matriz se procede a multiplicar los valores del ponderado, por el valor racionalizado de cada casillero y sumar el ponderado de la alternativa. Aplicando la ecuación 3.1 se obtienen los resultados ponderados en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5**Resultados de la evaluación de alternativas.

| | ALTERNATIVA |
|---|---|
| **A** | 0,185130435 |
| **B** | 0,197130435 |
| **C** | 0,254347826 |
| **D** | 0,363391304 |

**Fuente:** Propia

Como se aprecia en la tabla de resultados, la alternativa D “Control centralizado pre programado” es la alternativa que ha alcanzado mayor porcentaje ponderado, luego del análisis correspondiente se concluye que este es el sistema más adecuado de control para el sistema de climatización.

## 3.5 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

Una vez determinado el sistema que se va a utilizar, si bien en el mercado nacional existe una variada gama de estos controladores, aquellos que se considera cumplen con los requerimientos son los que se detallan a continuación.

### 3.5.1 SISTEMA DE CONTROL DMS CON INTERFAZ TÁCTIL SNET MINI DE SAMSUNG

#### 3.5.1.1 Ventajas

- Administración eficiente de energía.
- Sistema compatible con los protocolos de comunicación: Longhorn, BACnet y TCP IP.

- Interfaz de la aplicación compatible con Windows, Android y MacOS.
- Conexión y control remoto del sistema vía Web Browser.
- Permite dar preferencias a los diferentes usuarios.
- Facilidad de acceso a repuestos.
- Garantía de funcionamiento por 1 año

#### 3.5.1.2 Desventajas

- Costo del sistema alto.
- Requiere de una serie de elemento decodificadores de protocolo para la interconexión con equipamientos de otra marca.
- Fácil identificación y lectura de los códigos de error de cada equipo.

### 3.5.2 SISTEMA DE CONTROL CAREL PCO5+

#### 3.5.2.1 Ventajas.

- Alto grado de fiabilidad del sistema.
- Garantía del sistema por dos años.

#### 3.5.2.2 Desventajas.

- Alto costo.
- Interfaz poco amigable con el usuario final.
- Escases de repuestos.
- Requiere de una gran cantidad de elementos de interconexión para equipos de procedencia oriental (LG, Samsung, MIdea, etc.).
- En caso de fallo no identifica al equipo que presenta problemas.
- Dificultad en la instalación del sistema.
- No compatible a equipos de interface SITRAD (Greenheck).

### 3.5.3 SELECCIÓN DELOS EQUIPOS

De la misma manera en la que se realizó la selección del sistema más idóneo, se realizará la selección de los equipos más adecuados, las dos opciones presentadas son el sistema DMS y el sistema PCO5+ descritos brevemente en el apartado anterior, serán evaluados con base a los parámetros que se muestran en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6**Parámetros ponderados para la selección de equipos.

| | CRITERIOS DE SELECCIÓN | |
|---|---|---|
| **I** | COSTO | 40% |
| **II** | FACILIDAD DE UTILIZACIÓN PARA EL USUARIO FINAL | 30% |
| **III** | DISPONIBILIDAD DE REPUESTOS | 20% |
| **IV** | DETECCION DE ERRORES | 10% |

**Fuente:** Propio.

Para la evaluación se utilizó una escala de evaluación de uno a diez, donde diez es excelente y uno es pésimo, como se muestra en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7**Evaluación de las alternativas.

| | CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ALTERNATIVAS** | **I** | **II** | **III** | **IV** | **PONDERACION** | |
| **A** | 7 | 9 | 10 | 8 | 40 | **I** |
| **B** | 4 | 3 | 2 | 7 | 30 | **II** |
| | | | | | 20 | **III** |
| | | | | | 10 | **IV** |
| ∑ | 11 | 12 | 12 | 15 | 100 | |

**Fuente:** Propio.

En la tabla 3.8 se observa el resultado de la racionalización de la tabla 3.7.

**Tabla 3.8**Evaluación racionalizada de alternativas.

| | CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ALTERNATIVAS** | **I** | **II** | **III** | **IV** | **PONDERACIÓN** | |
| **A** | 0,63636364 | 0,75 | 0,83333333 | 0,53333333 | 0,4 | **I** |
| **B** | 0,36363636 | 0,25 | 0,16666667 | 0,46666667 | 0,3 | **II** |
| | | | | | 0,2 | **III** |
| | | | | | 0,1 | **IV** |
| ∑ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

**Fuente:** Propio.

Aplicando la ecuación 3.1 se puede obtener el resultado de la evaluación de las alternativas.

**Tabla 3.9**Resultado de la evaluación de alternativas.

| ALTERNATIVA | |
|---|---|
| A | 0,699545455 |
| B | 0,300454545 |

**Fuente:** Propio.

## 3.6 DISEÑO DEL SISTEMA HVAC DE UN HOSPITAL TIPO MATERNIDAD DEL MINISTERIO DE SALUD PUBLICA DEL ECUADOR.

### 3.6.1 CONDICIONES DE DISEÑO INTERNAS.

Antes de comenzar a diseñar el sistema HVAC de cualquier recinto, es importante conocer cuáles deben ser las condiciones de diseño de cada cuarto. Para el caso que se está tratando, un hospital gineco-obstétrico, dichas condiciones de confort internas serán referenciadas a un conjunto de normas especializadas. Como en el Ecuador no existen normativas INEN sobre el tema de la climatización en general, se ha optado por utilizar las normativas ASHRAE como se indica en el apartado 1.5.

### 3.6.2 BALANCE TÉRMICO.

El balance térmico es una relación entre las entradas y salidas de energía térmica, para mantener el interior del cuarto dentro de los parámetros de confort térmico.

Entre los factores que tienen mayor relevancia se deben considerar las siguientes:

- Condiciones de uso del local.
- Nivel de radiación solar.
- Condiciones ambientales del aire exterior (Temperatura de bulbo seco y humedad relativa).
- Número de personas y nivel de actividad.
- Condiciones de la iluminación eléctrica.
- Equipamientos del local (computadores, motores, equipamientos especiales, etc.).

Considerando estos seis factores como fuentes de generación calórica internas y externas, es que se puede comenzar a desarrollar el diseño del sistema HVAC para la maternidad tipo.

#### 3.6.2.1 Metodologías para la determinación de las cargas térmicas.

Dentro de las varias metodologías para la determinación de la carga térmica, existen varios métodos, a continuación se explicarán brevemente los más comunes.

##### *3.6.2.1.1 Método diferencia de temperatura total equivalente (TETD/TA).*

Este método es el que utilizan las aplicaciones computacionales. Esto se debe a la necesidad de determinar un perfil extendido de valores de ganancia de calor por hora. Los componentes que producen ganancia de calor en el espacio, se determinan utilizando los valores relacionados con el TETD, estos valores se añaden al calor interno, generando de este modo una tasa de ganancia instantánea. Esta tasa de ganancia se convierte en carga de frío por la técnica del tiempo promedio (TA), la misma que promedia las porciones radiantes de calor generado por los componentes.

##### *3.6.2.1.2 Método de cálculo de cargas por diferencia de temperatura y factores de carga de enfriamiento (CLTD/CLF)*

Este método simplifica el método anterior, en un solo paso, de procedencia directa de los datos obtenidos de la carga de enfriamiento sin la necesidad de una conversión intermedia de la ganancia de calor radiante. Esta metodología determina una serie de factores que deben ser tomados para la obtención de la carga; los factores de la carga de enfriamiento (CLF) y la diferencia de temperatura de la carga de enfriamiento (CLTD), utilizan la ecuación clásica de la transferencia de calor por conducción ecuación 2.12 que se simplifica a la ecuación 3.2.

$$Q = U.A.\Delta T$$

Ec[3.2]

Los valores resultantes de la aplicación de esta metodología de cálculo, son aproximaciones reales a la carga frigorífica requerida y no son simples valores de ganan de calor en el local.

Se ha optado por utilizar este método debido a que las aproximaciones que se consideran son adecuadas para el proyecto, puesto que dichas aproximaciones tienen un alto grado de fiabilidad según ASHRAE, es por esto que el software SEAAR de ASHRAE determina las carga a través de este método, así mismo algunos softwares especializados como el que se utilizará para el diseño del sistema de aire acondicionado DVM de Samsung utiliza este mismo método.

### 3.6.3 CÁLCULO DE CARGAS POR EL MÉTODO CLTD/CLF

El método CLTD/CLF, se basa en un balance energético simple y considera como se indica anteriormente una serie de factores determinados por ASHRAE para simplificar el análisis de la carga térmica. Las tablas de donde se obtienen los valores de los factores se presentaran en el ANEXO 2.

#### 3.6.3.1 Cargas externas

##### *3.6.3.1.1 Ganancia calórica a través de los techos*

Para calcular la transferencia de calor por radiación en techos, la metodología brinda la siguiente ecuación.

$$Q = U.A.CLTD$$

Ec[3.3]

Donde se cumple que:

- Q= Carga de calor sensible (Btu/h).
- U= Coeficiente de transferencia de calor $\left(\frac{Btu}{h}.ft^2.°F\right)$.
- CLTD= Carga de enfriamiento diferencial basada en las condiciones para los techos (°F).
- A= Área determinada en las plantas arquitectónicas ($ft^2$).

El factor CLTD se obtiene de la tabla 3.8 del ASHRAE cooling and heating manual, y depende de la composición del techo.

El factor CLTD debe ser corregido en a una serie de factores, esta corrección se realiza aplicando la siguiente ecuación.

$$CLTD_{Corr} = [(CLTD + LM).K + (78 - T_R) + (T_0 - 85)].f$$

Ec[3.4]

Dónde:

- LM= Factor de corrección mensual de la latitud de los techos.
- K= Factor de ajuste debido al color.
- (78-$T_R$)= Corrección de la temperatura interior.
- $(T_0 - 85)$= Corrección de la temperatura exterior.
- f= Factor de ventilación.

El factor de ventilación f toma los siguientes valores para cada los siguientes casos:

- f=1 Cuando no hay techo falso o se utilizan ductos para la ventilación.
- f=0.75 Cuando la presurización es positiva.

*3.6.3.1.2 Ganancia calórica a través de las paredes*

Para determinar la ganancia calórica a través de las paredes de un local, es necesario determinar algunas características que se exponen a continuación:

- El número de paredes.
- El tipo de construcción.
- La orientación.
- La tonalidad de la pintura.

La metodología es similar a la anteriormente desarrollada para los techos.

El factor CLTD es se obtiene de igual manera que para el techo de la tabla 3.10 del ASHRAE cooling and heating manual.

La corrección del factor CLTD se con una corrección a la ecuación 3.5, determinando la siguiente ecuación.

$$CLTD_{Corr} = [(CLTD + LM).K + (78 - T_R) + (T_0 - 85)]$$

Ec[3.5]

Los nuevos valores del factor K se muestran a continuación.

- K=1 si el color es de tonalidad fuerte.

- K=0.83 si la tonalidad es media.
- K=0.65 si la tonalidad es clara.

*3.6.3.1.3 Ganancia calórica por conducción y radiación solar a través de las ventanas*

La determinación de la ganancia de calor a través de las paredes requiere considerar las siguientes características de la ventana:

- El tipo de construcción.
- El número de arreglos.
- La descripción de la ventana.
- La orientación.
- Determinar la condición de sombreado.
- El área de la ventana.

Con estas consideraciones se procede a utilizar la ecuación siguiente.

$$Q = A.SC.SHGF.CLF$$

Ec[3.6]

Dónde se cumple que:

- SC= Coeficiente de sombreado.
- SHGF= Máxima ganancia de calor por las especificaciones de orientación de la superficie de la ventana.
- CLF= Factor de carga de enfriamiento para vidrios con o sin sombreado.

El factor SC se obtiene de la tabla 3.17 del ASHRAE cooling and heating manual.

El valor del SHGF se obtiene de la tabla 3.25 del ASHRAE cooling and heating manual.

El factor CLF depende de la condición de exposición de la pared, es así que se debe revisar la tabla 3.27 o 3.28 del ASHRAE cooling and heating manual.

**3.6.3.2 Cargas internas**

Las cargas internas involucran entre otros aspectos a los ocupantes, equipos, motores y luces como principales generadores de calor. En las edificaciones modernas, las cargas térmicas han ido en aumento, producto de la creciente

demanda aparatos electrónicos (celulares, tabletas, computadores personales, etc.) y la densidad ocupacional de las personas en un recinto, en ciertas locaciones de una unidad de salud la luz eléctrica es otro factor fundamental debido al uso de lámparas cielíticas para mejorar la visión del personal médico. A continuación se describen brevemente las que se consideran fundamentales.

*3.6.3.2.1 Carga térmica por personas.*

Para determinar la cantidad de calor generado por los seres humanos, es importante determinar entre otros aspectos los siguientes:

- El número de personas.
- El tiempo de ocupación del local.
- El grado de actividad que realiza cada persona.

El procedimiento de cálculo se realiza con base en las siguientes ecuaciones para el calor sensible y latente.

$$Q_S = \frac{q_s}{Personas}.\#\ de\ Personas.CLF$$

Ec[3.7]

$$Q_L = \frac{q_L}{Personas}.\#\ de\ Personas$$

Ec[3.8]

Dónde se cumple que:

- Qs= Carga total sensible.
- $\frac{q_s}{Personas}$=Ganancia instantánea sensible por persona.
- CLF= Factor de cálculo de calor sensible por personas.
- QL= Carga total latente.
- $\frac{q_L}{Personas}$=Ganancia instantánea latente por persona.

Para determinar el $\frac{q_s}{Personas}$y el $\frac{q_L}{Personas}$ se recurre a la tabla 4.5 del ASHRAE cooling and heating manual.

El valor del CLF para las personas se muestra en la tabla 4.6del ASHRAE cooling and heating manual.

*3.6.3.2.2 Carga térmica por iluminación*

Una de las principales fuentes de generación calóricas en un recinto que va a ser climatizado es la iluminación. Solo una pequeña poción de la potencia requerida para la iluminación es convertida en calor y esta permanece presente por un tiempo incluso cuando las luminarias han sido apagadas, toda esta energía debe ser retirada a través del sistema de climatización, esta fuente se considera solo como carga sensible. La formulación para determinar la carga se presenta a continuación.

$$Q_s = 3.41.q_i.F_u.F_s.CLF$$

Ec [3.9]

Dónde:

- Es= Carga total sensible.
- qi= Potencia de funcionamiento de las lámparas en (W).
- 3.41= Factor de conversión de W a Btu/h.
- Fu= Fracción de uso de la lámpara.
- Fs= Factor especial para lámparas fluorescentes.
- CLF= Factor de carga de enfriamiento por iluminación.

El factor Fu se determina al dividir el número de lámparas por el número total de lámparas.

El factor Fs proviene de la tabla 4.1 del ASHRAE cooling and heating manual.

*3.6.3.2.3 Carga térmica por equipamiento*

La potencia de funcionamiento de todo el instrumental motorizado es otra de los factores de alto impacto en la determinación de la carga térmica de un equipo. Al igual que la carga de iluminación esta carga es fundamentalmente calor sensible. Para determinar esta carga ASHRAE recomienda la siguiente ecuación.

$$Q_s = \begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix}.F_i.CLF$$

Ec [3.10]

Dónde se cumple que:

- Qs= Carga total sensible.
- A, B, C= Potencia de funcionamiento de Los equipamientos en (BTU/h).
- Fi=es el factor de carga.
- CLF= el factor de la carga de enfriamiento.

El valor del CLF se determina en la tabla 4.11 del ASHRAE cooling and heating manual.

Cabe recalcar que "el método CLTD-CLF muestra una precisión estimada del noventa por ciento lo cual para una estimación de cargas es más que aceptable y se considera correcto"[9]

### 3.6.4 EJEMPLOS DE CÁLCULO.

Se considerarán dos locaciones para ejemplificar el cálculo manual de la carga térmica, el primero será el auditorio, este se considera debido a que se conoce que esta locación por sus condiciones de uso es la que lleva la mayor carga térmica. El segundo ejemplo de cálculo será un quirófano debido a las altas exigencias de aire filtrado y purificado en un quirófano o área estéril que muestra el HVAC design manual for hospitals and clinics.

Así mismo es importante señalar que los procesos de determinación de la carga térmica se realizarán con el valor de la temperatura pico o la más alta registrada en la ciudad de Quito, esto se justifica bajo la consideración de que es posible que un pico tan o más alto en algún momento se vuelva a registrar.

#### 3.6.4.1 Condiciones de temperatura ambiental

La figura 3.12 muestra la tabla meteorológica estadística para la temperatura ambiental de la ciudad de Quito.

[9](Langley, 2002)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
DIRECCION DE INFORMATICA

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA (GC)

S E R I E S  D E  D A T O S  M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: QUITO INAMHI-INNAQUITO CODIGO: M024
PERIODO: 1970 - 2008 LATITUD: 0 10 0 S LONGITUD: 78 29 0 W ELEVACION: 2789

| | VALORES MENSUALES | | | | | | | | | | | VALORES ANUALES | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AÑOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | SUMA | MEDIA |
| 1975 | 21.0 | 21.5 | 21.7 | 22.0 | 22.7 | 20.8 | | | | | 20.6 | 21.2 | | |
| 1976 | 24.0 | 23.0 | 22.9 | 23.1 | 21.3 | 21.8 | 22.0 | 22.4 | 24.5 | 23.7 | 21.8 | 23.2 | 273.7 | 22.8 |
| 1977 | 23.5 | 23.6 | 25.0 | 23.4 | 22.8 | 21.1 | 22.8 | 24.3 | 24.3 | 20.6 | 23.0 | 24.5 | 278.9 | 23.2 |
| 1978 | 23.4 | 24.4 | 23.4 | 22.7 | 23.3 | 24.5 | 23.5 | 24.5 | 24.6 | 23.5 | 24.8 | 23.2 | 285.8 | 23.8 |
| 1979 | 24.0 | 24.7 | 23.8 | 24.0 | 23.6 | 22.9 | 22.7 | 25.8 | 23.1 | 23.2 | 22.8 | 24.7 | 285.3 | 23.7 |
| 1980 | 24.7 | 22.5 | 23.2 | 23.1 | 23.8 | 23.0 | 23.9 | 25.1 | 24.4 | 23.4 | 23.5 | 22.9 | 283.5 | 23.6 |
| 1981 | 23.6 | 23.1 | 25.0 | 23.0 | 23.7 | 23.9 | 22.8 | 24.9 | 25.0 | 25.6 | 23.2 | 22.6 | 286.4 | 23.8 |
| 1982 | 24.5 | 23.5 | 22.9 | 23.4 | 22.9 | 22.8 | 22.9 | 23.6 | 24.4 | 22.8 | 24.1 | 23.5 | 281.3 | 23.4 |
| 1983 | 23.3 | 24.4 | 23.0 | 22.7 | 23.0 | 23.6 | 23.0 | 23.3 | 24.0 | 23.5 | 24.5 | 23.7 | 282.0 | 23.5 |
| 1984 | 24.0 | 21.2 | 22.0 | 22.5 | 22.8 | 21.5 | 22.7 | 23.5 | 21.8 | 23.4 | 24.5 | 23.4 | 273.3 | 22.7 |
| 1985 | 23.5 | | | 23.6 | 23.3 | | | | | 22.8 | | | | |
| 1986 | 23.3 | 23.2 | 22.3 | 23.5 | 23.8 | 23.2 | 24.4 | 24.1 | 25.3 | 24.4 | 24.2 | 23.3 | 285.0 | 23.7 |
| 1987 | 25.0 | 25.1 | 24.7 | 23.9 | 23.6 | 24.4 | 24.2 | 24.8 | 26.2 | 23.9 | 26.3 | 25.8 | 297.9 | 24.8 |
| 1988 | 25.8 | 24.7 | 24.2 | 24.9 | 23.2 | 23.6 | 24.1 | 22.9 | 23.6 | 24.3 | 22.3 | 22.2 | 285.8 | 23.8 |
| 1989 | 22.2 | 21.9 | 23.5 | 22.6 | 23.8 | 23.5 | 22.9 | 24.9 | 24.6 | 23.3 | 24.5 | 25.5 | 283.2 | 23.6 |
| 1990 | 23.3 | 23.6 | 24.5 | 24.0 | 23.7 | 24.0 | 23.5 | 25.0 | 25.0 | 22.8 | 24.4 | 24.8 | 290.6 | 24.2 |
| 1991 | 24.2 | 25.0 | 23.4 | 23.5 | 23.4 | 25.2 | 23.4 | 24.0 | 25.0 | 24.5 | 23.4 | 24.2 | 289.2 | 24.1 |
| 1992 | 24.6 | 23.5 | 27.0 | 22.6 | 23.0 | 24.0 | 23.5 | 25.7 | 26.2 | 24.2 | 25.5 | 25.4 | 295.2 | 24.6 |
| 1993 | 23.6 | 23.5 | 22.5 | 23.0 | 22.6 | 25.5 | 24.6 | 24.5 | 24.5 | 24.2 | 23.2 | 24.3 | 286.0 | 23.8 |
| 1994 | | 23.0 | 22.8 | 24.1 | 23.8 | | 23.9 | 23.6 | | 24.0 | 22.9 | 23.8 | | |
| 1995 | | 25.2 | 24.0 | 24.5 | | 22.7 | | 23.6 | 24.7 | | 24.5 | 23.7 | | |
| 1996 | | | | 23.9 | 23.6 | 23.3 | 24.0 | 24.6 | 24.5 | | 25.2 | 24.2 | | |
| 1997 | | 24.0 | 24.6 | 23.5 | 24.6 | 24.2 | 24.2 | 25.6 | 25.3 | 25.0 | | | | |
| 1998 | 24.8 | | 24.7 | 24.0 | 24.8 | | 23.5 | 24.2 | | 26.0 | 23.6 | 24.0 | | |
| 1999 | | 23.5 | 24.0 | 24.0 | 22.6 | 21.9 | 23.4 | 24.4 | 24.0 | 22.8 | 24.5 | 22.4 | | |
| 2000 | 22.4 | 22.5 | 23.0 | 22.9 | | 22.9 | 22.6 | 24.6 | 24.4 | 26.4 | 24.2 | 25.0 | | |
| 2001 | 23.0 | 24.1 | | | 23.8 | 23.8 | 24.6 | 26.2 | 24.8 | 26.6 | | 24.2 | | |
| 2002 | 25.2 | 23.6 | 24.1 | 23.6 | 25.0 | 25.2 | 25.2 | 25.2 | | 25.5 | 24.3 | | | |
| 2003 | | 25.2 | 24.6 | 24.1 | 24.6 | 24.2 | 24.9 | | 26.4 | 25.2 | 23.7 | 23.9 | | |
| 2004 | | 25.2 | 25.0 | 25.3 | 26.2 | 23.2 | 23.6 | 25.8 | 29.7 | | | 24.0 | | |
| 2005 | | 25.4 | | | 24.2 | 24.3 | | 25.7 | 26.6 | 25.3 | 24.0 | | | |
| 2006 | 25.2 | 24.3 | | 23.0 | | 24.0 | | 26.4 | 26.6 | 27.0 | 23.8 | | | |
| 2007 | | | 24.0 | 23.5 | 24.2 | | | 29.5 | 25.4 | 26.0 | 24.0 | | | |
| 2008 | | | 22.7 | 23.5 | 23.3 | 23.5 | 23.4 | 23.4 | 24.5 | 23.4 | 24.2 | 31.0 | | |
| suma | 574.1 | 688.4 | 688.5 | 751.4 | 731.0 | 702.5 | 660.2 | 766.1 | 723.4 | 727.3 | 715.5 | 674.6 | 8403.0 | 700.2 |
| media | 23.9 | 23.7 | 23.7 | 23.4 | 23.5 | 23.4 | 23.5 | 24.7 | 24.9 | 24.2 | 23.8 | 24.0 | 287.3 | 23.9 |
| minima | 21.0 | 21.2 | 21.7 | 22.0 | 21.3 | 20.8 | 22.0 | 22.4 | 21.8 | 20.6 | 20.6 | 21.2 | | 20.6 |
| maxima | 25.8 | 25.4 | 27.0 | 25.3 | 26.2 | 25.5 | 25.2 | 29.5 | 29.7 | 27.0 | 26.3 | 31.0 | | 31.0 |
| amplit | 4.8 | 4.2 | 5.3 | 3.3 | 4.9 | 4.7 | 3.2 | 7.1 | 7.9 | 6.4 | 5.7 | 9.8 | | 10.4 |
| desvia | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | |

**Figura 3.11**Tabla meteorológica de temperatura en la ciudad de Quito.

**Fuente:** INHAMI.

En la figura anterior se muestra que la máxima temperatura registrada en la ciudad Quito es de 31°C que son 87.8°F, motivo por el cual esta será la que se considerará como temperatura ambiental, el mes que se considera es el de diciembre.

### 3.6.4.2 Carga térmica del auditorio.

Para determinar la carga térmica del auditorio, es necesario conocer los aspectos de diseño del auditorio, para eso se muestra la planta del mismo en la figura 3.11. La temperatura de confort será 20°C o 68°F

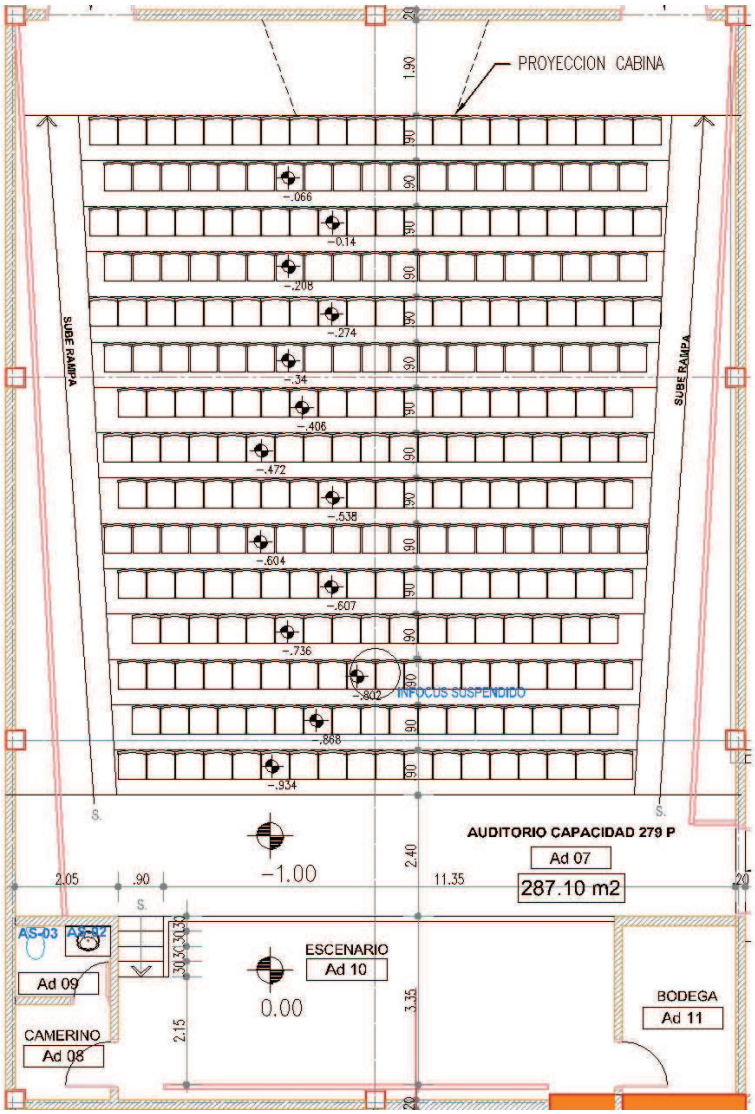


**Figura 3.12**Detallearquitectónico del auditorio.

**Fuente:** Anexo 1.

Para el ejemplo se considera que se realizara lo siguiente:

- El auditorio estará a su completa capacidad de personas (279).
- La altura de las paredes del auditorio es de 8.64m.
- El auditorio se encuentra situado bajo las oficinas que están debidamente climatizadas.
- Las puertas de acceso y emergencia son de vidrio.
- La posición geográfica de la ciudad es: " Latitud 78° 29' 06" W y longitud 0° 24' 22" N"[10]

[10]http://www.ecostravel.com/ecuador/ciudades-destinos/quito.php

- La distancia entre columnas es: 7.20m.

*3.6.4.2.1 Cargas externas*

*3.6.4.2.1.1 Carga por paredes.*

Para determinar la carga por paredes primero se debe determinar el área de cada una de las paredes que conforman el recinto, esta debe estar en pies cuadrados, como ejemplo se considera el área de la pared este.

Ejemplo:

$$A_E = A_T - A_V - A_P$$
$$A_E = (21.60 * 8.64) - (1 * 3 * 1.80) - (1 * 5x20)$$
$$A_E = 124.416 - 5.40 - 60$$
$$A_E = 121.224\, m^2$$
$$A_E = 121.224m^2 * \frac{10.76ft^2}{1m^2}$$
$$A_{E=}1304.37ft^2$$

Las áreas resultantes se muestran en la tabla 3.10.

**Tabla 3.10** Áreas de las paredes del auditorio.

| **Posición** | **Área($ft^2$)** |
|---|---|
| Norte | 1222.59 |
| Sur | 13338.72 |
| Este | 1304.37 |
| Oeste | 2008.07 |

**Fuente:** Propio

La composición de la construcción es de bloque normal con dos capas de mampostería de estuco, se obtiene de la tabla 3.8 del ASHRAE cooling and heating manual.

$$U = 0.358\frac{Btu}{ft^2.°F}$$

La determinación del CLTD se realiza para cada pared, dependiendo de su posición geográfica.

**Tabla 3.11 CLTD sin corregir para cada posición (paredes).**

| Posición | CLTD |
|---|---|
| Norte | 4 |
| Sur | 6 |
| Este | 7 |
| Oeste | 9 |

**Fuente:** ASHRAE cooling and heating manual.

Para corregir el factor CLTD se aplica la ecuación 3.5 y el factor K=0.83.

Los valores de LM se muestran en la tabla 3.12.

**Tabla 3.12** Factores de corrección LM

| Posición | LM |
|---|---|
| Norte | -3 |
| Sur | 2 |
| Este | 2 |
| Oeste | 9 |

**Fuente:** ASHRAE cooling and heating manual.

$$CLTD_{Corr(NORTE)} = [(CLTD + LM).K + (78 - T_R) + (T_0 - 85)]$$

$$CLTD_{Corr(NORTE)} = [(4 - 3).0.83 + (78 - 68) + (89 - 85)]$$

$$CLTD_{Corr(NORTE)} = 14.83$$

Todos los resultados se muestran en la tabla 3.13.

**Tabla 3.13**CLTD corregidos.

| Posición | $\mathbf{CLTD_{Corr}}$ |
|---|---|
| Norte | 14.83 |
| Sur | 20.64 |
| Este | 21.47 |
| Oeste | 28.94 |

**Fuente:** Propio.

Aplicando la ecuación 3.3 resulta que las cargas por paredes se determinan de la siguiente manera.

$$Q_{norte} = U.A.CLTD$$

$$Q_{norte} = 0.358 * 1338.72 * 14.83$$

$$Q_{norte} = 6490.47\left({}^{Btu}/_{h}\right)$$

La carga determinada por las paredes se muestra en la tabla 3.14

**Tabla 3.14** Carga térmica determinada por cada pared.

| **Posición** | $\mathbf{Q_{paredes}}\left({}^{\mathbf{Btu}}/_{\mathbf{h}}\right)$ |
|---|---|
| Norte | 6490.47 |
| Sur | 9891.93 |
| Este | 10025.72 |
| Oeste | 20804.69 |

**Fuente:** Propio.

*3.6.4.2.1.2 Carga térmica por techo*

El techo del auditorio, es la loza de sostén de la segunda planta alta donde se encuentran oficinas que están debidamente climatizadas, por lo tanto Q=0.

*3.6.4.2.1.3 Carga térmica por ventanales*

Los planos arquitectónicos del auditorio no presentan presencia de ventanales por este motivo no se presenta carga por ventanales.

*3.6.4.2.2 Cargas internas*

*3.6.4.2.2.1 Cargas térmicas por iluminación.*

Se conocen los siguientes datos:

- Veinte reflectores de 200 W cada uno.
- El tiempo de la conferencia será de 5 horas.
- Las luminarias estarán encendidas durante 4 horas.

$$q_i = n.Pi$$

Dónde se cumple que:

- n=el número de reflectores.
- Pi=Potencia de cada reflector.

$$q_i = 20 * 200$$

$$q_i = 4000W$$

El factor Fu se determina como la fracción de uso de las luminarias

$$F_u = \frac{Horas\ encendido}{Horas\ Totales}$$

$$F_u = \frac{4}{5}$$

$$F_u = 0.8$$

El factor Fs es necesario cuando se trabaja con luces fluorescentes, en este caso.

$$F_s = 1$$

El factor CLF se obtiene de la tabla 4.4 del manual ASHRAE.

$$CLF = 0.88$$

Al aplicar la ecuación 3.9 se obtiene que la carga por las luminarias se determina de la siguiente manera:

$$Q_s = 3.41.q_i.F_u.F_s.CLF$$

$$Q_s = 3.41 * 4000 * 1 * 0.8 * 0.88$$

$$Q_s = 9602.56\left[\frac{Btu}{h}\right]$$

*3.6.4.2.2.2 Carga térmica debido a las personas.*

Datos:

- El auditorio siempre estará al máximo de su capacidad (297 personas).
- La conferencia se dictara por ocho expositores que estarán presentes desde el principio.

Primero se debe determinar el grado de actividad de los ocupantes del recinto:

- Los expositores serán considerados como asistentes
- Los asistentes estarán sentados escuchando, para esta consideración se tiene que, el manual ASHRAE dice que:

$$q_s = 100[W] * 3.41\left[\frac{Btu/h}{W}\right]$$

$$q_s = 341\ \left[\frac{Btu}{h}\right]$$

$$ql = 140\left[\frac{Btu}{h}\right]$$

El valor del factor CLF se determina del manual ASHRAE en la tabla 4.6.

$$CLF = 0.76$$

Aplicando las ecuaciones 3.6 se obtiene la carga sensible.

$$Q_S = \frac{q_s}{Personas}.\#\ de\ Personas.CLF$$

$$Q_S = 341 * 307 * 0.76$$

$$Q_S = 79562.12\left[\frac{Btu}{h}\right]$$

La ecuación 3.7 entrega el calor latente.

$$Q_L = \frac{q_L}{Personas}.\#\ de\ Personas$$

$$Q_L = 140 * 307$$

$$Q_L = 42980\ \left[\frac{Btu}{h}\right]$$

*3.6.4.2.3 Carga total del auditorio*

La carga existente en el auditorio es eminentemente carga sensible, un análisis higroscópico del auditorio es irrelevante, puesto que la función específica del sistema de climatización del auditorio es mantener la temperatura de confort, además el rango de esta temperatura según ASHRAE puede variar hasta en más cinco grados centígrados, lo cual no es un inconveniente. Por otro lado la HR en un teatro se determina en un rango del “50 al 80% de HR”[11].

La carga total se obtiene al sumar las cargas internas y externas, de la siguiente manera.

$$Q_T = Q_{paredes} + Q_{techo} + Q_{ventana} + Q_{luminarias} + Qs_{personas} + Ql_{personas}$$

$$Q_T = 6490.47 + 9891.93 + 10025.72 + 20804.69 + 9602.56 + 79562.12 + 42980$$

$$Q_T = 179357.49\left[\frac{Btu}{h}\right]$$

[11](ASHRAE, Handbook HVAC applications, 2011)

*3.6.4.2.4 Análisis y criterio de diseño*

Una vez obtenida la carga un ingeniero de climatización debe decidir qué tipo de equipo va a colocar. Para este caso específico, por las condiciones de uso y porque el auditorio es un recinto que mayormente no tiene ningún requerimiento de filtrado especial, además se estima que una temperatura más elevada como la registrada en diciembre del año 2008 es poco probable, se opta por una unidad tipo paquete de 180000 Btu/h.

### 3.6.4.3 Carga térmica de un quirófano

Por las condiciones tan especiales existentes en el acondicionamiento de aire en un quirófano, este ejemplo toma suprema importancia, para al igual que en el caso anterior se detallan los parámetros interiores de un quirófano (C QUIR 17), ubicado en la segunda planta alta del bloque C. El detalle arquitectónico de dicho quirófano se muestra en la figura 3.13.

- Tbs=22°C=71.6°F.
- Posee pared exterior.
- Paredes interiores acondicionadas.
- Piso sobre otro quirófano acondicionado.
- Techo está a exposición directa a la luz solar.
- Puertas herméticas para mantener en lo posible la esterilización del local.
- Alto de las paredes 4.32m.
- Distancia entre columnas 7.20m.
- El techo es 4 pulgadas de concreto con 2 pulgadas de aislante.

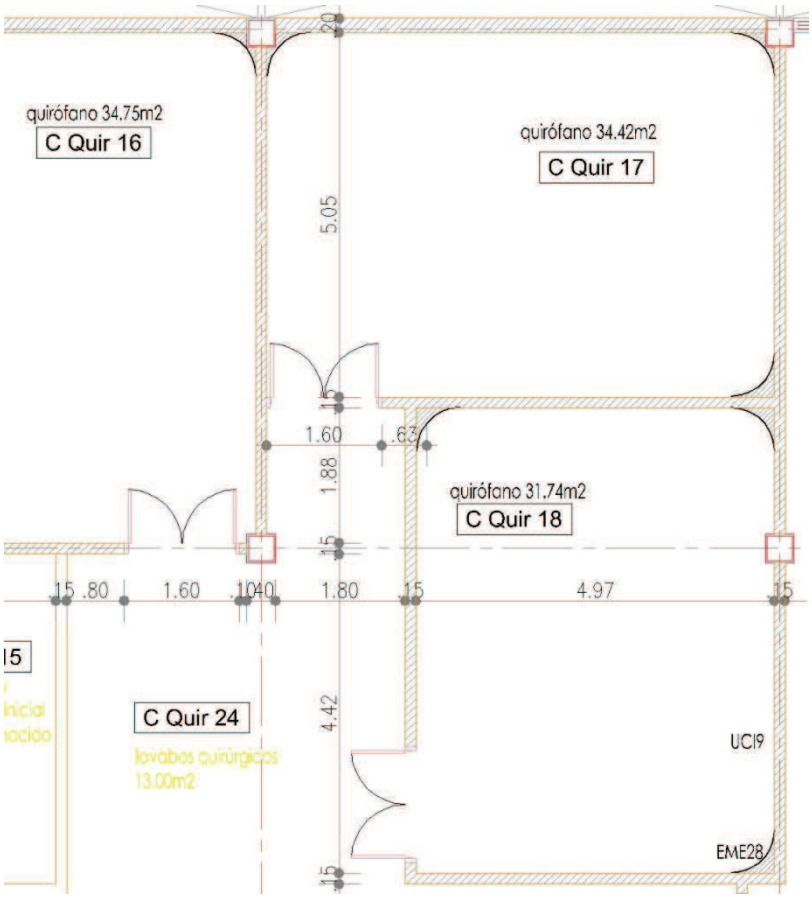


**Figura 3.13** Detalle arquitectónico del quirófano (C QUIR 17).

**Fuente:** Anexo 1.

*3.6.4.3.1 Cargas externas*

*3.6.4.3.1.1 Carga por paredes.*

En base a las consideraciones anteriores la única pared que se considerara transmite calor hacia el interior, es la pared Norte, la misma que no presenta ventanas. Para estas condiciones se tiene que.

$$A_N = A_T$$

$$A_N = (7.20 * 4.32)$$

$$A_N = 31.104m^2$$

$$A_N = 31.104m^2 * \frac{10.76ft^2}{1m^2}$$

$$A_N = 334.68ft^2$$

La composición de la construcción es de bloque normal con dos capas de mampostería de estuco, se obtiene de la tabla 3.8 del ASHRAE cooling and heating manual.

$$U = 0.358 \frac{Btu}{ft^2.°F}$$

La determinación del CLTD se realiza para cada pared, dependiendo de su posición geográfica.

De la tabla 3.11 se tiene que el CLTD para el norte es.

$$CLTD = 4$$

Para corregir el factor CLTD se aplica la ecuación 3.4 y el factor K=0.83.

Los valores de LM se muestran en la tabla 3.12.

$$CLTD_{Corr(NORTE)} = [(CLTD + LM).K + (78 - T_R) + (T_0 - 85)]$$

$$CLTD_{Corr(NORTE)} = [(4 - 3).0.83 + (78 - 71.6) + (89 - 85)]$$

$$CLTD_{Corr(NORTE)} = 11.23$$

Aplicando la ecuación 3.3 resulta que las cargas por paredes se determinan de la siguiente manera.

$$Q_{norte} = U.A.CLTD$$
$$Q_{norte} = 0.358 * 334.68 * 11.23$$

$$Q_{norte} = 1345.42 \left[\frac{Btu}{h}\right]$$

La carga determinada por las paredes se muestra en la tabla 3.14

*3.6.4.3.1.2 Carga térmica por techo*

La ecuación para determinar la carga térmica por techo se determina de manera similar al de las paredes, es así que la carga térmica se determina con la ecuación 3.3.

$$Q_{techo} = U.A.CLTD$$

De la tabla 3.8 para la constitución del techo se obtiene que.

$$CLTD_{Techo} = 18$$

$$U_{Techo} = 0.128\left[\frac{Btu}{ft^2.°F}\right]$$

La ecuación 3.4 corrige el factor CLTD para el techo

$$CLTD_{Corr} = [(CLTD + LM).K + (78 - T_R) + (T_0 - 85)].f$$

Dónde:

$$LM = -5$$
$$K = 0.86$$
$$f = 1$$

Con estos factores el valor corregido es.

$$CLTD_{Corr} = [(18 - 5).0.86 + (78 - 72.6) + (89 - 85)].1$$
$$CLTD_{Corr} = 20.58$$

De la figura 3.13 se conoce que el área de este quirófano es.

$$A = 34.42m^2 * \frac{10.76ft^2}{1m^2}$$
$$A = 370.36ft^2$$

Con estos datos la carga térmica obtenida para el techo es.

$$Q_{techo} = U.A.CLTD_{Corr}$$
$$Q_{techo} = 0.128 * 370.36 * 20.58$$
$$Q_{techo} = 975.62\left[\frac{Btu}{ft^2.°F}\right]$$

*3.6.4.3.1.3 Carga térmica por ventanales*

Los quirófanos por sus condiciones de sitios estériles y limpios no pueden permitir la infiltración de aire exterior sin que este sea tratado, por este motivo en general los quirófanos no presentan ventanas.

*3.6.4.3.2 Cargas internas*

*3.6.4.3.2.1 Cargas térmicas por iluminación*

Existen 2 tipos de luminarias las luminarias normales y las lámparas cielíticas, a continuación se analizará en primer lugar la lámpara cielítica y luego la luminaria normal y se considerará una cirugía de 8 horas.

*3.6.4.3.2.1.1 Lámpara cielítica*

Se conocen los siguientes datos para la lámpara cielítica:

- Lámpara cielítica de 20 focos por 250 W cada foco.
- La lámpara cielítica está encendida todo el tiempo.

$$q_i = n.Pi$$

$$q_i = 20 * 200$$

$$q_i = 5000W$$

El factor Fu se determina como la fracción de uso de la lámpara cielítica es

$$F_u = \frac{8}{8}$$

$$F_u = 1$$

El factor Fs es necesario cuando se trabaja con luces fluorescentes, en este caso.

$$F_s = 1$$

El factor CLF es.

$$CLF = 0.88$$

Al aplicar la ecuación 3.8 se obtiene

$$Q_s = 3.41.q_i.F_u.F_s.CLF$$

$$Q_s = 3.41 * 5000 * 1 * 1 * 0.88$$

$$Q_{s\ lamp\ cielítica} = 15004\left[\frac{Btu}{h}\right]$$

*3.6.4.3.2.1.2 Luminarias normales*

Se conocen los siguientes datos para las luminarias normales:

- Los arreglos de luminaria se ubican ocho luminarias fluorescentes dobles de 40W.

- Las luminarias normales están encendidas todo el tiempo.

$$q_i = n.N.Pi$$

$$q_i = 8 * 2 * 40W$$

$$q_i = 640W$$

El factor Fu se determina como la fracción de uso de las luminarias fluorescentes es.

$$F_u = \frac{8}{8}$$

$$F_u = 1$$

El factor Fs es necesario cuando se trabaja con luces fluorescentes, para este caso Fs se obtiene de la tabla 4.1 del manual de ASHRAE.

$$F_s = 1.20$$

El factor CLF se obtiene es el mismo que para el caso anterior.

$$CLF = 0.88$$

Al aplicar la ecuación 3.8 se obtiene que la carga por las luminarias fluorescentes normales es.

$$Q_s = 3.41.q_i.F_u.F_s.CLF$$

$$Q_s = 3.41 * 640 * 1 * 1.2 * 0.88$$

$$Q_{s\ lum\ normales} = 2304.61\left[\frac{Btu}{h}\right]$$

*3.6.4.3.2.2 Carga térmica debido a las personas.*

Aquí se debe diferenciar el nivel de actividad de un paciente y el personal médico que labora durante la cirugía.

*3.6.4.3.2.2.1 Personal médico*

- Se considerará como personal médico a 10 personas con un grado de trabajo mediano, según ASHRAE los valores promedio son:

$$q_s = 255[W] * 3.41 \left[\frac{Btu/_h}{W}\right]$$

$$q_s = 869.55 \left[\frac{Btu}{h}\right]$$

$$ql = 880 \left[\frac{Btu}{h}\right]$$

El valor del factor CLF se determinado por ASHRAE en la tabla 4.6.

$$CLF = 0.80$$

Aplicando las ecuaciones 3.6 se obtiene la carga sensible.

$$Q_S = \frac{q_s}{Personas}.\#\ de\ Personas.CLF$$

$$Q_S = 868.55 * 10 * 0.80$$

$$Q_S = 6956.40 \left[\frac{Btu}{h}\right]$$

Con la ecuación 3.7 se obtiene el calor latente del personal médico.

$$Q_L = \frac{q_L}{Personas}.\#\ de\ Personas$$

$$Q_L = 880 * 10$$

$$Q_L = 8800 \left[\frac{Btu}{h}\right]$$

*3.6.4.3.2.2.2 Paciente*

- El paciente se considera una persona totalmente relajada, según ASHRAE los valores son.

$$q_s = 115[W] * 3.41 \left[\frac{Btu/_h}{W}\right]$$

$$q_s = 392.15 \left[\frac{Btu}{h}\right]$$

$$ql = 400 \left[\frac{Btu}{h}\right]$$

*3.6.4.3.3 Cargas por motores*

En los quirófanos se realizan las siguientes consideraciones:

- Un motor de ½ HP del respirador.
- Tres motores de 1 HP de la mesa de cirugía.
- Un motor de 3 HP para otras solicitaciones propias del quirófano.
- Todos los motores son internos del quirófano, según la clasificación ASHRAE son del tipo A.

$$Q_s = A.F_i.CLF$$

De la tabla 4.12 del manual ASHRAE se obtienen los valores de A, B y C de cada potencia de los motores, para el primer motor A es.

$$A = 2120\left[{}^{Btu}/_{h}\right]$$

El factor Fi se obtiene de la tabla 4.13 del manual ASHRAE, este valor se considerará como constante para todos los motores.

$$F_i = 1.15$$

El factor CLF se obtiene de la tabla 4.11 del manual de ASHRAE, para el ejemplo CLF es.

$$CLF = 0.87$$

$$Q_{s\frac{1}{2}HP} = 2120 * 1.15 * 0.87$$

$$Q_{s\frac{1}{2}HP} = 2121.06\left[{}^{Btu}/_{h}\right]$$

**Tabla 3.15**Carga térmica por motores en quirófano

| Potencia | Número | A | Fi | CLF | Qs | Qs Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ½ | 1 | 2120 | 1.15 | 0.87 | 2121.06 | 2121.06 |
| 1 | 3 | 3391 | 1.15 | 0.87 | 3391.70 | 10175.09 |
| 3 | 1 | 9430 | 1.15 | 0.87 | 9434.71 | 9434.71 |

**Fuente:** Propio.

*3.6.4.3.4 Carga térmica total del quirófano CQUIR 17.*

La carga total se obtiene al sumar las cargas internas y externas, de la siguiente manera.

$$Q_T = Q_{paredes} + Q_{techo} + Q_{ventana} + Q_{luminarias} + Qs_{personas} + Ql_{personas}$$

$$Q_T = 1345.42 + 975.62 + 15004 + 2304.61 + 6956.40 + 8800 + 392.15 + 400 + 2121.06 + 10175.09 + 9434.71$$

$$Q_T = 57909.06 \left[\frac{Btu}{h}\right]$$

*3.6.4.3.5 Análisis y criterio de diseño*

Considerando las condiciones tan especiales de un quirófano, sea este del tipo que fuere, ASHRAE recomienda al menos dos procesos de filtrado, el único equipo capaz de proporcionar esta característica de filtrado es una manejadora de aire, la misma que debe contar con un filtro HEPA al cincuenta por ciento en la salida de la manejadora y un filtro terminal HEPA al noventa y nueve punto noventa y nueve por ciento de filtrado. Estas condiciones de filtrado garantizan que el aire pueda ingresar total y absolutamente limpio.

Se selecciona una manejadora de capacidad 60000 Btu/h con suministro de 4000 CFM y al menos 400 CFM de renovación de aire, para todos los quirófanos.

### 3.6.5 DISEÑO DE DUCTERÍA PARA CLIMATIZACIÓN

El sistema de ductos de extracción, suministro y aire acondicionado abarca en general entre un veinticinco a un cuarenta por ciento del costo global de una obra de climatización. Este motivo impulsa al desarrollo adecuado de dicho sistema. En este apartado se explicará brevemente la metodología más común para el diseño de los ductos, y se detallarán las características de la herramienta denominada ductulador.

#### 3.6.5.1 Pasos de diseño de ducterías

En primer lugar se debe estudiar detalladamente todos los planos arquitectónicos y de otras especialidades (contra incendios, gases medicinales, vapor, eléctricos, electrónicos, estructurales, entre otros) puesto que el espacio ocupado por el sistema de ductos es crítico y se debe considerar un orden prioritario de

ingenierías. Para determinar el orden prioritario de ingenierías se deben considerar algunos aspectos funcionales de cada edificación y priorizar la función de cada sistema, en la tabla 3.16 se muestra un cuadro de prioridades del proyecto.

**Tabla 3.16** Orden de prioridades de cada ingeniería.

| INGENIERÍA | PRIORIDAD 1 | PRIORIDAD 2 | PRIORIDAD 3 | PRIORDAD 4 | FUNCIONES |
|---|---|---|---|---|---|
| Estructural | X | | | | Fundamental la edificación. |
| Hidrosanitaria | X | | | | Para mantener la asepsia de los cuartos de baño y otros sitios |
| Vapor | | X | | | Funcionamiento de equipos de esterilización y cocina. |
| Gases medicinales | | X | | | Transporte de oxígeno y anestesias a los quirófanos y cuartos de hospitalización. |
| Contra incendios | | | X | | Prevención de emergencias por fuego. |
| Climatización | | X | | | Prevención de focos infecciosos por virus o bacterias que pueden transmitirse en un hospital |
| Eléctrica | | X | | | Sistema integral de iluminación y otros aspectos para el adecuado funcionamiento de todo el equipamiento del hospital. |
| Electrónica | | | X | | Redes de datos y servidores para el control integral de los aspectos funcionales del hospital. |
| Civil | | | | X | Obra gris, mampostería, etc. |

**Fuente:** Propio.

El orden de estas prioridades da mayor importancia a unas que a otras, pero en ciertos casos cuando la prioridad es igual se debe dar mayor importancia a la obra más compleja.

Una vez estudiados todos los planos se debe bosquejar una solución al problema del espacio ocupado y posibles cruces con otra ingeniería. Esto permite solucionar el sesenta por ciento de los inconvenientes de la construcción de cualquier obra.

Después se debe proceder a determinar las dimensiones de cada ducto y rejilla. Es fundamental que un especialista realice el dimensionamiento de la ductería, puesto que el índice de errores por mal diseñar el sistema de ductos es muy elevado según SMACNA.

#### 3.6.5.2 Método de dimensionamiento de ductos con igual fricción.

Es el método más común para dimensionar ductos, en este se establece que “la caída de presión de un ducto, codo, transición o cualquier otro; no puede superar el valor establecido como base de la caída de presión.”[12] Este método ocupa una serie de tablas y graficas se muestran en el anexo 3.

Para resumir este trabajo de diseño los ingenieros de la empresa Greenheck desarrollaron una herramienta circular llamada ductulador, en esta herramienta se resume el trabajo de buscar los datos de cada tabla y gráfico. En la figura 3.14 se presenta un ductulador.

[12](SMACNA, HVAC duct construction standards metal and flexible, 1995)

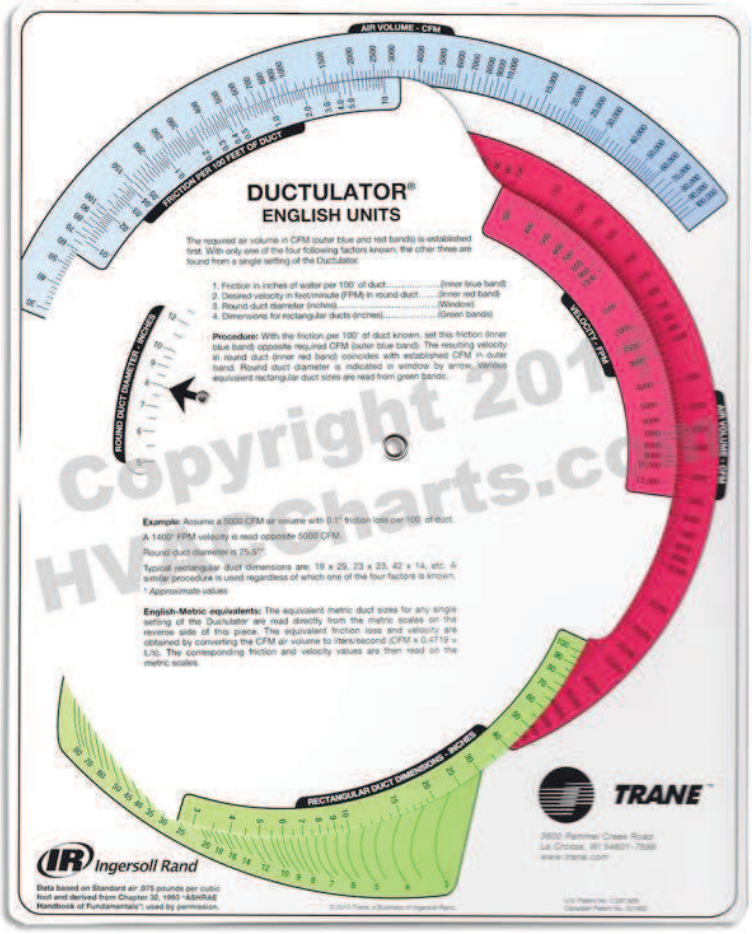


**Figura 3.14**Ductulador.

**Fuente:** http://www.hvaccharts.com

### 3.6.6 DISEÑO FINAL DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

El diseño final se presenta en el ANEXO 4. Este diseño fue realizado por la compañía consultora del proyecto y proporcionado con el fin de determinar una alternativa al diseño del sistema de control del sistema de climatización.

### 3.6.7 LISTADO DE UNIDADES EXTERIORES

**Tabla 3.17**Listado de equipos exteriores.

| MARCA | MODELO | CANTIDAD | CAPACIDAD (BTU/h) |
|---|---|---|---|
| Samsung | RD075VRXFA | 1 | 75000 |
| Samsung | RD075VHXFA | 4 | 75000 |
| Samsung | RD100VHXFA | 9 | 96000 |
| Samsung | RD125VRXFA | 1 | 120000 |
| Samsung | RD125VHXFA | 9 | 120000 |
| Samsung | RVXMHF040BA | 1 | 12000 |
| Samsung | AM096FXVAFH/AA | 2 | 96000 |
| Samsung | AM120FXVAFH/AA | 4 | 125000 |
| LG | VM122CS | 4 | 12000 |

**Fuente:** Anexo N°4

En el anexo 5 se presenta un ejemplo de las fichas técnicas de las condensadoras.

### 3.6.8 LISTADO DE UNIDADES INTERIORES

**Tabla 3.18**Listado de unidades interiores.

| MARCA | MODELO | CANTIDAD | CAPACIDAD (BTU/h) |
|---|---|---|---|
| Samsung | ND0231HXCA | 17 | 7500 |
| Samsung | ND0321HXCA | 18 | 9000 |
| Samsung | ND0401HXCA | 14 | 12000 |
| Samsung | ND110SHXCA | 4 | 36000 |
| Samsung | ND145SHXCA | 1 | 48000 |
| Samsung | ND0724HXCA | 5 | 24000 |
| Samsung | ND1004HXCA | 19 | 30000 |
| Samsung | ND1104HXCA | 13 | 36000 |
| Samsung | ND1454HXCA | 6 | 48000 |
| Samsung | ND032MHXCA | 1 | 9000 |
| Samsung | ND040MHXCA | 6 | 12000 |
| Samsung | ND052MHXCA | 11 | 20000 |
| Samsung | ND060MHXCA | 14 | 28000 |
| LG | VM122CSI | 4 | 12000 |

**Fuente:** Anexo N°4.

En el anexo 5 se muestra un ejemplo de las fichas técnicas de las unidades interiores.

### 3.6.9 LISTADO DE UNIDADES ROOFTOP

**Tabla 3.19**Listadode equipos rooftop.

| MARCA | MODELO | CANTIDAD | CAPACIDAD (BTU/h) |
|---|---|---|---|
| Greenheck | NSCF-50L-FC-20 | 16 | 60000 con 1800CFM |
| MIdea | MRBT-150CWN1-D | 1 | 180000 |

**Fuente:** Anexo N°4.

El anexo 5muestra la ficha técnica de las unidades Rooftop.

### 3.6.10 LISTADO DE VENTILADORES

**Tabla 3.20**Listado de ventiladores.

| MARCA | MODELO | CANTIDAD | CAPACIDAD (HP) |
|---|---|---|---|
| Greenheck | BDF-90-3 | 7 | 1/3 |
| Greenheck | BDF-90-7 | 2 | ¾ |
| Greenheck | SAF-115-20 | 1 | 2 |
| Greenheck | SAF-110-5 | 4 | ½ |
| Greenheck | SAF-120-75 | 1 | 7.5 |
| Greenheck | SAF-112-10 | 2 | 1 |
| Greenheck | SAF-110-10 | 1 | 1 |
| Greenheck | 16-BISW-21-10-I-5 | 1 | ½ |
| Greenheck | 10-BISW-21-10-I-5 | 1 | 1.5 |
| Greenheck | SAF-110-7 | 1 | ¾ |
| Greenheck | SAF-115-20 | 1 | 2 |
| Greenheck | SAF-118-30 | 1 | 3 |
| Greenheck | BDF-80-5 | 1 | 1.5 |
| Greenheck | BCF-107-3 | 1 | 1/3 |
| Greenheck | 40-BIDW-21 | 2 | 30 |
| Greenheck | GB-121-3 | 2 | 1/3 |
| Greenheck | GB-180HP-3 | 1 | 1/3 |
| Greenheck | BDF-100-10 | 1 | 1 |
| Greenheck | CUBE-360HP-75 | 1 | 7.5 |
| Greenheck | SQ-80-VG | 9 | ¼ |
| Greenheck | GB-091-3 | 2 | 1/3 |
| Greenheck | GB-081-3 | 4 | ¼ |
| Greenheck | GB-141-5 | 2 | ½ |
| Greenheck | BDF-90-5 | 1 | ½ |
| Greenheck | BDF-80-5 | 2 | ½ |
| Greenheck | BDF-80-3 | 1 | 1/3 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Greenheck | BDF-100-15 | 1 | 1.5 |
| Greenheck | BDF-150-15 | 2 | 1.5 |
| Greenheck | GB-161-7 | 1 | ¾ |

**Fuente:** Anexo N°4.

El anexo 5 contiene un ejemplo de ficha técnica de uno de estos ventiladores.

## 3.7 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Los productos de control, básicos y simples, no cumplen con los estándares requeridos, un diseño de control autómata de simple utilización pero sofisticado en sus funciones, permite garantizar la satisfacción total de los requerimientos del cliente. El control puede facilitar la operación sin complicaciones del sistema de climatización para un usuario general, además es conveniente para el administrador y provee un uso eficiente de la energía eléctrica, es una solución integrada capaz de brindar satisfacción y conveniencia a los usuarios de muchas maneras.

El sistema de control seleccionado DMS con interfaz táctil, es una solución integral al problema de control y monitoreo de las unidades funcionales del sistema de climatización, considerando las características esenciales que los fabricantes del sistema desean entregar al usuario promedio.

### 3.7.1 ESQUEMA Y PROTOCOLO DE CONTROL DEL SISTEMA

#### 3.7.1.1 Esquema del sistema de control

El sistema de control seleccionado presenta una clasificación por capas, cada capa presenta varias opciones, un esquema explicativo del sistema de control se presenta en la figura 3.15.

El sistema SNET trabaja bajo el protocolo de funcionamiento electrónico NASA desarrollado por la empresa Samsung electronics, el acrónimo NASA proviene del inglés NETWORK ARCHITECTURE FOR SYSTEM AIR CONDITIONER.

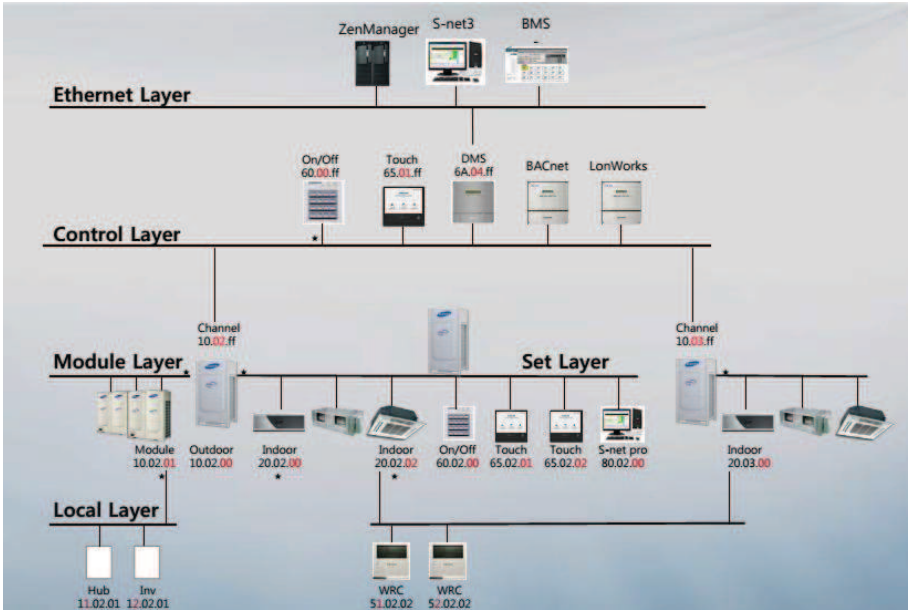


**Figura 3.15**Esquema de los sistemas de control Samsung.

**Fuente:** Control system guide Samsung electronics.

### 3.7.1.2 Protocolo de control NASA

El proyecto NASA tiene fue desarrollado bajo la consigna de lograr una automatización eficiente, capaz de comunicarse con otros protocolos de control para otros sistemas, en general la arquitectura de control NASA, es capaz de controlar, monitorear y llevar una memoria verídica del funcionamiento del sistema de climatización, de la misma manera es capaz de automatizar y llevar registro del uso de los ambientes aprendiendo los patrones de funcionamiento obteniendo así un funcionamiento eficiente del sistema de climatización.

Uno de los objetivos fundamentales de los desarrolladores de este protocolo, es aparte de lograr el control de los equipos de aire acondicionado; evitar el uso de complicados tableros de control; en lugar de esto como se observa en la figura 3.14, el protocolo NASA es un protocolo de capas.

El ETHERNET layer o capa de control superior cumple con las funciones de un tablero de control, puede ser reemplazado por un servidor de datos BMS, una configuración digital S-NET o un dispositivo ZEN manager.

El CONTROL layer, es propiamente el controlador, estos controladores pueden ir desde el simple control individual estándar, hasta la complejidad de un DMS con acceso Longworks o BACnet, en esta capa se encuentra el cerebro del sistema

de control. Los layers inferiores de la figura indican los módulos de control local de cada sitio específico, estos módulos pueden ser inhabilitados por un usuario con privilegios de administrador, lo cual evita el índice de ocurrencia de errores producto del mal manejo de los equipos.

#### 3.7.1.3 Protocolo NASA para equipos VRF.

El funcionamiento del protocolo de control NASA está basado en protocolo TCP-IP y se encarga del control de las unidades exteriores o condensadoras, las mismas que cuentan con variadores de frecuencia que "solo pueden ser controlados por un control superior como por ejemplo el ZEN manager"[13]. La explicación del porque el variador de frecuencia no puede ser operado por un control inferior es que este solo envía señales de encendido ON o señales de apagado OFF, determinando la no utilización de los sensores propios de cada unidad VRF, estos sensores se encuentran en las mascarillas decorativas de los VRF´s, y las señales emitidas por estos solo puede ser reconocidas e interpretadas por un control superior inteligente.

Las señales de los sensores son interpretadas por el módulo de control superior, DMS, BMS o ZEN y dependiendo de los requerimientos del recinto aceleran o desaceleran el funcionamiento de cada unidad exterior. Una vez interpretada la señal del termostato y del higrómetro, el controlador envía la señal de aceleración al variador de frecuencia de la condensadora para que esta acelere o desacelere su funcionamiento. Cuando la condensadora no recibe señales del controlador esta mantiene su funcionamiento en relantí.

#### 3.7.1.4 Protocolo NASA para unidades ROOFTOP.

Para las unidades ROOFTOP, en las cuales las unidades de condensación se encuentran dentro de las UMAs o paquetes, el protocolo NASA se basa en la arquitectura Lonworks, dependiendo de la marca de cada unidad de rooftop los sensores están conectados a la tarjeta de control que maneja su propio protocolo de control. Para interpretar los protocolos de equipos de que nos son Samsung, existen las tarjetas de interpretación y conversión de protocolo a NASA, se debe conocer cuál es la codificación de los conexionados por citar algunos ejemplos:

---

[13](Samsung Electronics, 2014)

- Conexionado de control Samsung F1/F2.
- Conexionado de control LG G1/G2.
- Conexionado de control Mitsubishi F1/F2.
- Conexionado de control Greenheck N1/N2.
- Conexionado de control MIdea F1/F2
- Conexionado de control York G1/G2.

Hay que indicar que esta información se encuentra en los manuales de instalación de los equipos, y en general se cumple para cualquier tipo de unidad sin importar de qué tipo de equipo se trate VRF o VAV, las siglas VAV también se emplean para denotar que se trata de equipos rooftop.

Los terminales citados, están conectados con los variadores de cada condensadora de la unidad rooftop, "el funcionamiento de los sistemas de control con base en protocolo NASA emplean  misma lógica que para las unidades VRF, "más requieres; más te doy"[14] y al igual que en el caso anterior cuando no se usa el equipo, este se mantiene en relantí.

### 3.7.2 COMPONENTES A UTILIZAR PARA EL SISTEMA DE CONTROL

Las fichas técnicas de cada uno de los componentes se presentan en el anexo 6.

#### 3.7.2.1 Controlador DMS2

DMS son las siglas de Data Management Server, su traducción textual se entiende como servidor para el manejo de datos y es precisamente la función del equipo en el sistema, es decir el DMS se convierte en el cerebro del sistema puesto que es el encargado de recibir e interpretar todas las señales que se envían constantemente a través del sistema.

El controlador DMS2 de Samsung, a diferencia de otros equipos de control pre programados, es capaz de cumplir con la función del control de sistemas de climatización multimarca, pero una característica especial es que este es absolutamente capaz de automatizar otros sistemas como el sistema de distribución eléctrica. En la figura 3.16 se muestra un DMS2.

[14](Samsung Electronics, 2014)

**Figura 3.16**DMS2.

**Fuente:** http://www.dvmdownloads.com

El controlador DMS2, es capaz de controlar de manera centralizada hasta un máximo de doscientos cincuenta y seis unidades interiores en los que se incluyen las manejadoras y los ventiladores de extracción y de suministro. Dentro de este controlador se incluye un servidor web que permite controlar y monitorear el sistema de climatización de manera remota.

#### 3.7.2.2 Panel Táctil SNET mini

El SNET mini es una unidad tipo panel táctil, cuya única aplicación es un software de gestión integrada, que puede administrar hasta cuatro DMS al mismo tiempo con limitación de hasta doscientas cincuenta y seis unidades centrales o exteriores. La figura 3.17 muestra al S-NET mini.

**Figura 3.17**Panel de control SNET mini.

**Fuente:** http://www.dvmdownloads.com

Dentro de las funciones del sistema de gestión integrada se enumeran las siguientes:

- Enciende y apaga todo el sistema.
- Genera restricciones a los diversos usuarios.
- Control por calendario.
- Control por zonas.
- Genera y guarda historiales de funcionamiento y error.

#### 3.7.2.3 Módulos de interfaz electrónica

Los módulos de interfaz electrónica son tarjetas de control electrónicas encargadas de recibir las órdenes de cualquier controlador, además estas son las que dan las ordenes de arranque y apagado del sistema, en la figura 3.18 se muestra un módulo de interfaz

**Figura 3.18**Módulo de interfaz MIM-B14.

**Fuente:** http://www.dvmdowloads.com

#### 3.7.2.4 Controlador de grupo ON/OFF

Los controladores de grupo ON/OFF, son dispositivos tipo botonera que pueden controlar directamente los equipos de climatización o pueden utilizarse dentro de un sistema automático más complejo como botonera para dar señales individuales de encendido o apagado a las diferentes unidades interiores. En la figura 3.19 se muestra un controlador de grupo.

**Figura 3.19**Control de grupo centralizado ON/OFF.

**Fuente:** http://www.dvmdownloads.com

#### 3.7.2.5 Controlador remoto multifunción con cable

Los controladores remotos multifunción con cable, pueden controlar unidades rooftop desde el interior del edificio, sin embargo en caso puntual que se está tratando son los encargados de obtener la información de las condiciones ambientales de las locaciones a ser climatizadas, estos dispositivos son capaces de regular las condiciones del aire de ingreso, en la figura 3.20 se muestra un control remoto multifunción con cable.

**Figura 3.20**Controlador multifunción con cable.

**Fuente:** http://www.dvmdownloads.com

#### 3.7.2.6 Cableado de control del sistema

El cableado del sistema de control se realiza en base a la norma constructiva del INEN 2568 para el cableado, que establece que todo cable que se utilice debe estar debidamente identificado según el código de colores, además este debe estar protegido con tubería EMT, la cual debe estar debidamente identificada con el color que le corresponda. En este caso se utilizaron los colores celeste para doce voltios y naranja para doscientos veinte voltios. Además en esta norma, por seguridad, exige la utilización de cable de seguridad con doble recubrimiento cuando se requieren dos o más alambres de conexión, es debido a este motivo que para el cableado se utilizará el denominado cable sucre AWG 2x16, este cable se presenta en la figura 3.21 y en la figura 3.22 se muestra la tubería EMT.

**Figura 3.21**Cable sucre AWG 2X16.

**Fuente:** http://www.electrocable.com

**Figura 3.22**Tubería EMT.

**Fuente:** http://www.robalinorosero.com

## 3.8 DISEÑO DEL SISTEMA

### 3.8.1 DVM PRO

DVM pro es un software desarrollado por Samsung para el diseño de sistemas de climatización, este software consta de dos modos de aplicación que son los siguientes:

- El modo SALES
- El modo CAD

En la figura 3.23 se muestra una captura de pantalla del arranque del programa.

**Figura 3.23**Pantalla de inicio del DVM pro.

**Fuente:** New DVM-pro CAD mode Manual Samsung electronics.

Como se observa en la figura 3.23, el programa entrega información acerca del sistema operativo de la máquina, la versión del AutoCAD y sobre las versiones de los módulos de trabajo de mismo programa. A continuación se explicará brevemente el funcionamiento de cada uno de los módulos de trabajo.

#### 3.8.1.1 Modo de trabajo CAD

El modo de trabajo CAD, es una extensión tipo plugin del AutoCAD, es importante notar que para el adecuado funcionamiento del modo CAD del programa, se debe tener instalada una versión del AutoCAD.

Cuando se trabaja en el modo CAD del programa automáticamente se generan dos archivos:

- El archivo de extensión .DWG, o extensión de dibujo de AutoCAD.
- El archivo de extensión .DVMX, o extensión de trabajo DVM.

En la figura 3.24 se muestra esquemáticamente el funcionamiento de cada extensión de trabajo generadas por el DVM-pro.

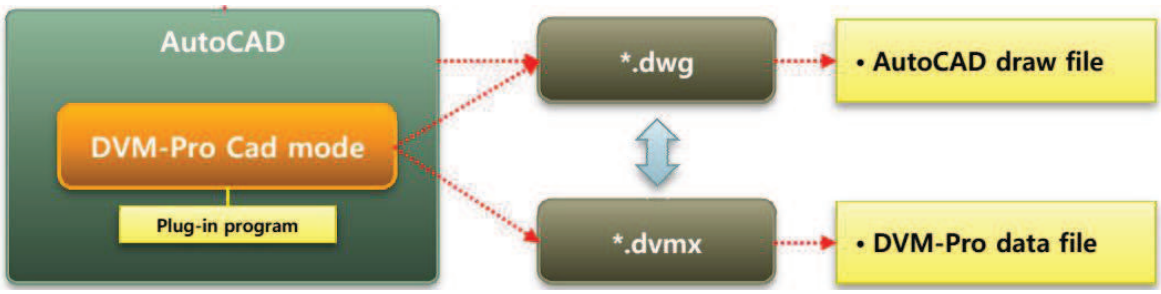


**Figura 3.24**Archivos generados por el DVM-pro CAD mode.

**Fuente:** New DVM-pro CAD mode Manual Samsung electronics.

El entorno de trabajo del modo CAD, es una pantalla del AutoCAD a la cual se le añade un menú adicional en el cual se encuentran las funciones de trabajo del DVM-pro, en la figura 3.25 se muestra la pantalla de trabajo de AutoCAD con el menú DVM-pro.

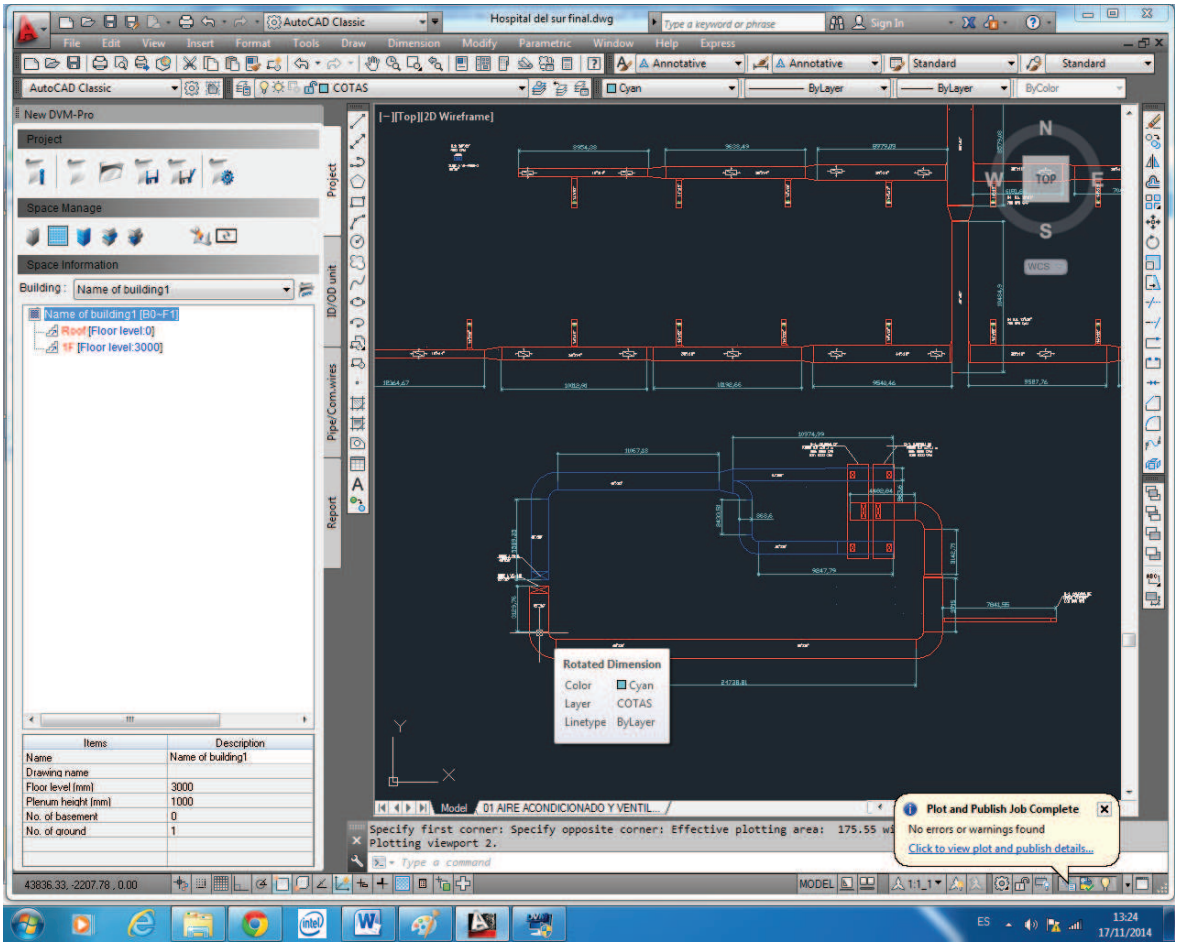


**Figura 3.25**Pantalla de trabajo de AutoCAD con menú DVM-pro.

**Fuente:** Propio.

Dentro de las funciones que se presentan en el modo CAD, se pueden enumerar las siguientes:

- Determinación de niveles.
- Determinación de cargas térmicas.
- Determinación de medidas de tubería de cobre.
- Determinación de equipamiento indoor y outdoor.
- Diagramado de líneas de tubería de refrigerante.
- Ubicación y determinación de las uniones Y BRANCH de ramificación.
- Ubicación de mandos y estructuras de cableado.
- Todas las demás aplicaciones propias del AutoCAD.

Básicamente el modo CAD nos permite realizar todo el diseño del sistema de aire acondicionado sobre una planta arquitectónica.

#### 3.8.1.2 Modo de trabajo SALES

A diferencia del modo de trabajo CAD, el modo SALES es un software totalmente independiente de AutoCAD, es en esta modalidad que el programa permite la realización más específica del sistema de control, en la figura 3.26 se muestra el entorno de trabajo del modo SALES.

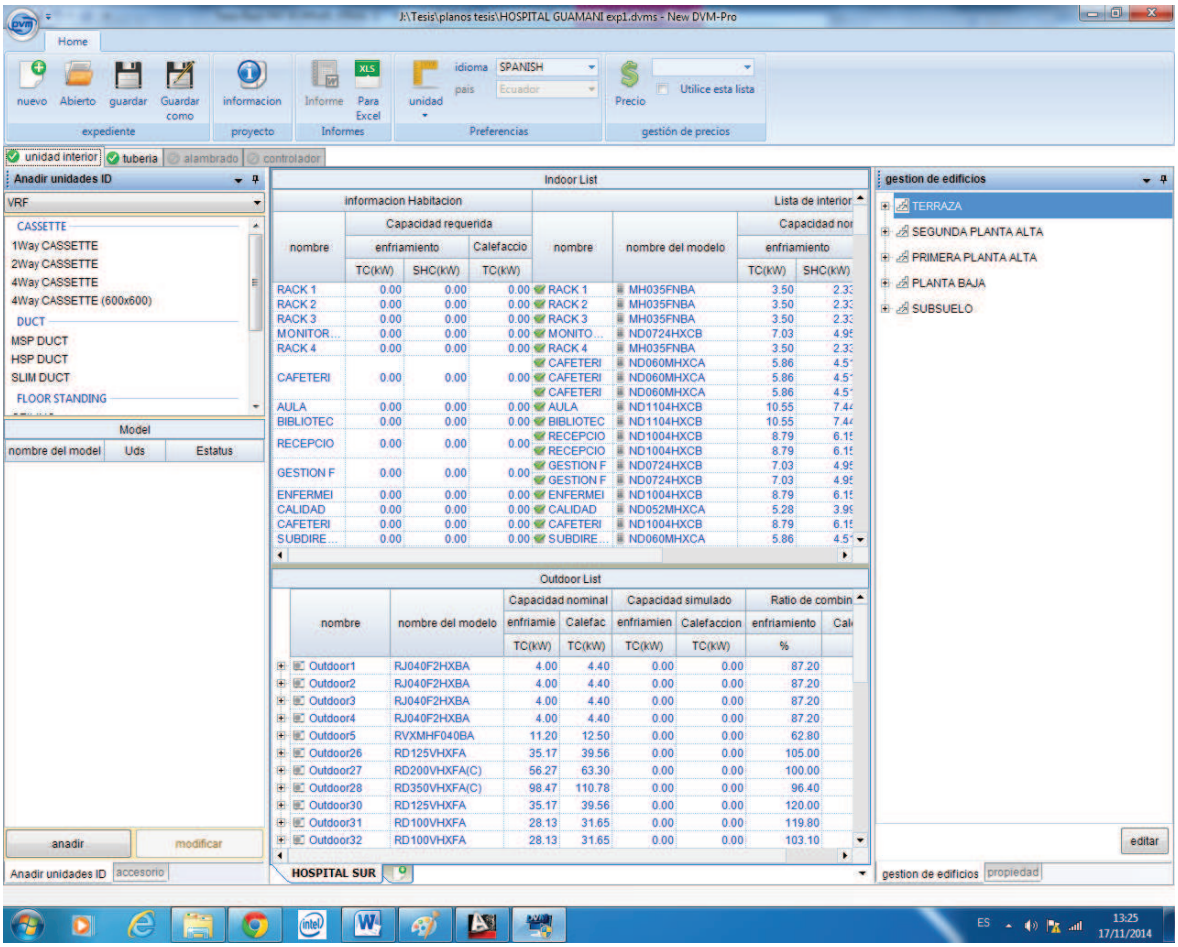


**Figura 3.26**Pantalla de inicio del DVM-pro.

**Fuente:** Propio.

De manera análoga al modo CAD, este modo permite realizar el diseño del sistema, pero tiene la restricción de no poder realizar el plano de implantación del sistema, es decir este programa puede presentar información general sobre los equipos que se requieren para que se pueda realizar una proforma muy previa. Es importante notar que en este modo se pierde información que entrega el modo CAD, como las cantidades de tubería y refrigerante que se debe utilizar.

Esta aplicación del DVM-pro permite realizar el diseño específico del sistema de control, una vez que ya se conoce el diseño del sistema a diseñar realizado en el modo CAD.

Para el diseño del sistema de control, el programa presenta la pantalla controller, es en esta que se selecciona cada uno de los equipamientos de control, en la figura 3.27 se presentan la pantalla para la selección de los equipos.

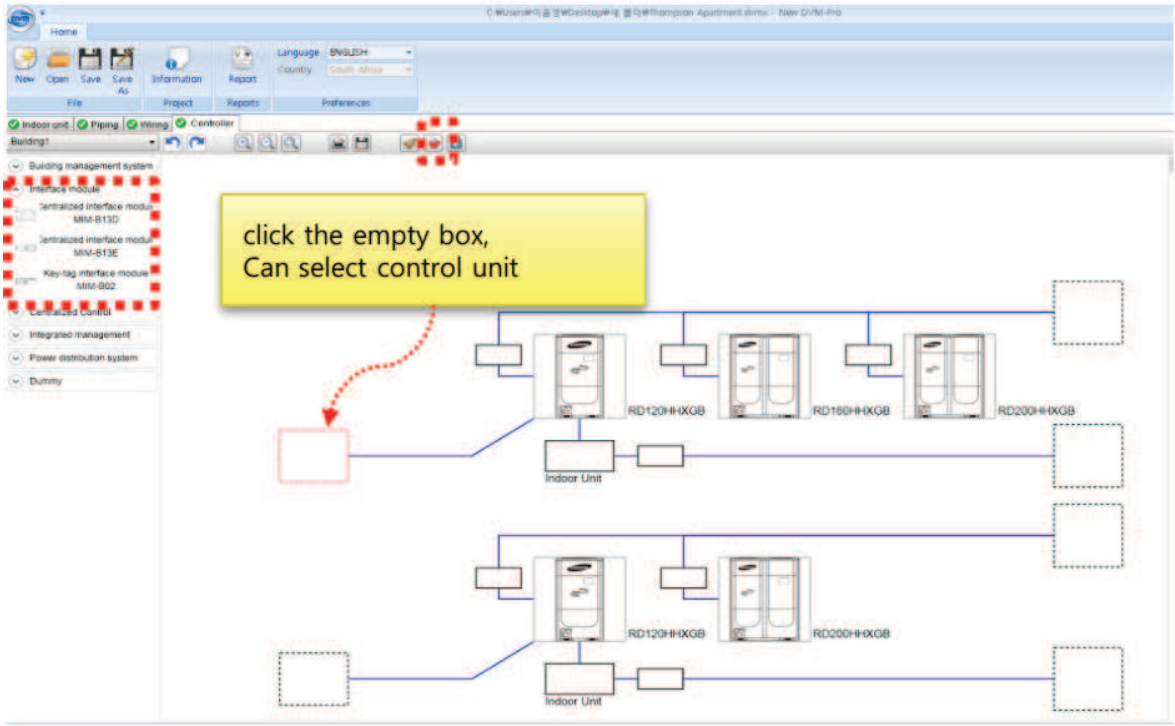


**Figura 3.27**Pantalla de diseño controller.

**Fuente:** New DVM-pro SALES mode Manual Samsung electronics.

### 3.8.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

El procedimiento de diseño del sistema consta de dos partes, en la primera es necesario colocar las especificaciones de los equipos que se van a controlar, para esto es importante notar que existen equipos de marca Samsung y equipos de otras marcas, para el caso que se está analizando son Greenheck y LG.

Es en este momento oportuno señalar que la automatización del sistema se realizara en dos conjuntos; los equipos de aire acondicionado se controlarán por medio del sistema de control DMS con panel táctil y los equipos de ventilación que pueden ser controlados por el mismo sistema de control, con la salvedad de que los requerimientos tecnológicos (interfaces) para realizar el conexionado del DMS a los ventiladores son muy escasos o casi nulos en el mercado nacional, debido a las políticas de importación del gobierno en la resolución 450 del COMEXI “841891000 se prohíbe la importación de muebles y aparatos que sirvan para incorporar a equipos de producción de frío base en el refrigerante R-22”[15], la tarjeta de interfaz MIM-024n es capaz de conectar el controlador DMS a

[15] Interpretación de (COMEXI, 2009)

ventiladores y equipos de aire acondicionado con base en R-22,es por este motivo que se para el control de estos se recomienda automatizarlos a través de relés tipo timer con contactor.

#### 3.8.2.1 Sistema de control de los equipos de aire acondicionado

Como se ha explicado anteriormente los equipos de aire acondicionado serán controlados mediante el sistema de control inteligente DMS2 con panel táctil S-NET mini. Para realizar este diseño se utiliza el software DVM-pro en el modo SALES, el mismo que fue presentado en el apartado 3.8.1.2.

Para empezar desde cero, se debe conocer los modelos de los equipos, para poder seleccionarlos e ingresarlos al programa, el resultado de ingresar todos los equipos se muestra en la figura 3.28.

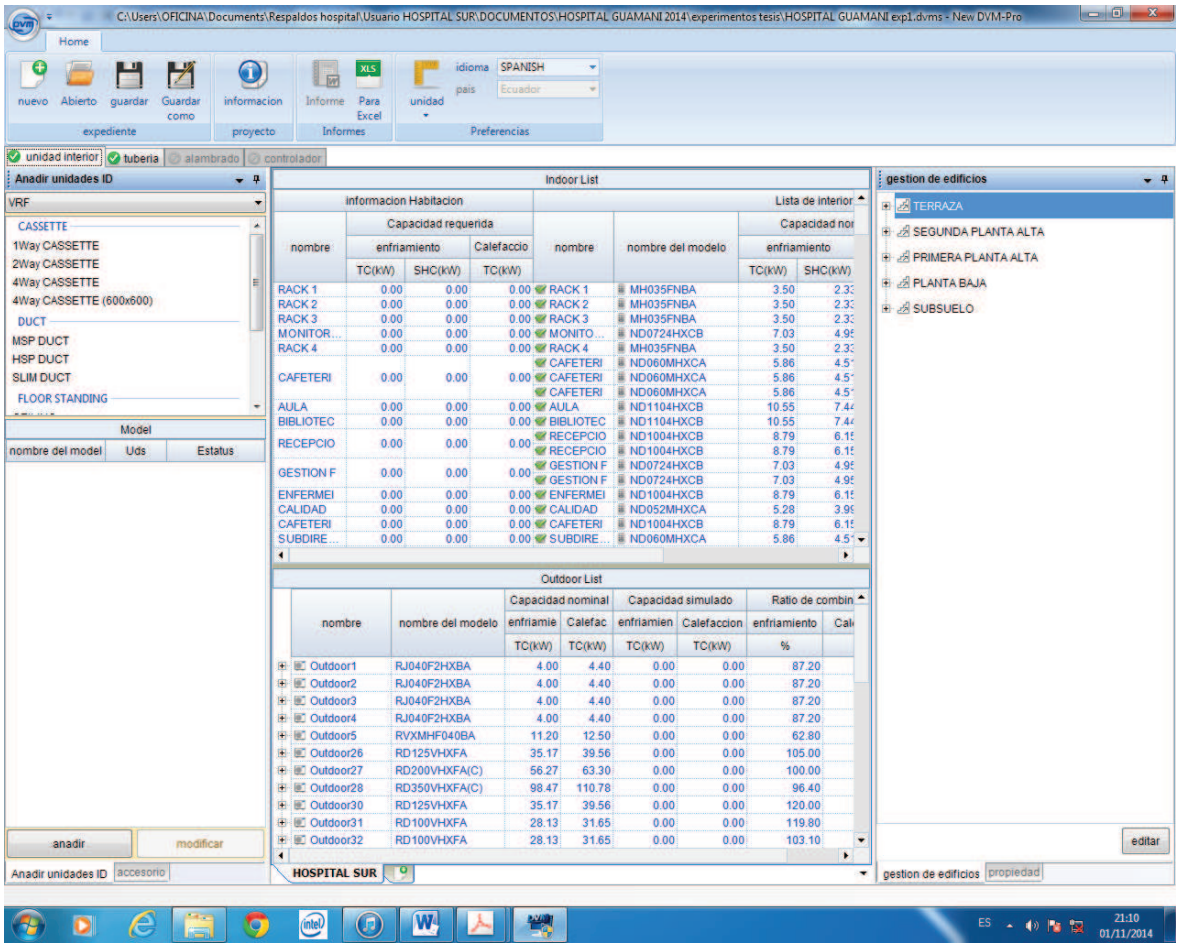


**Figura 3.28**Captura de pantalla de los equipos a controlar ingresados en el programa DVM-pro SALES mode.

**Fuente:** Propia.

Una vez que se ha ingresado los equipos en un orden lógico, es decir emparejando las unidades de frío con las condensadoras, se procede a revisar las direcciones de control que se muestran automáticamente en la pestaña alambrado, que en un principio se muestra inactiva, para poder activarla se debe pasar antes por la pestaña tubería que si esta activada, el resultado de esta operación se muestra en la figura 3.29.

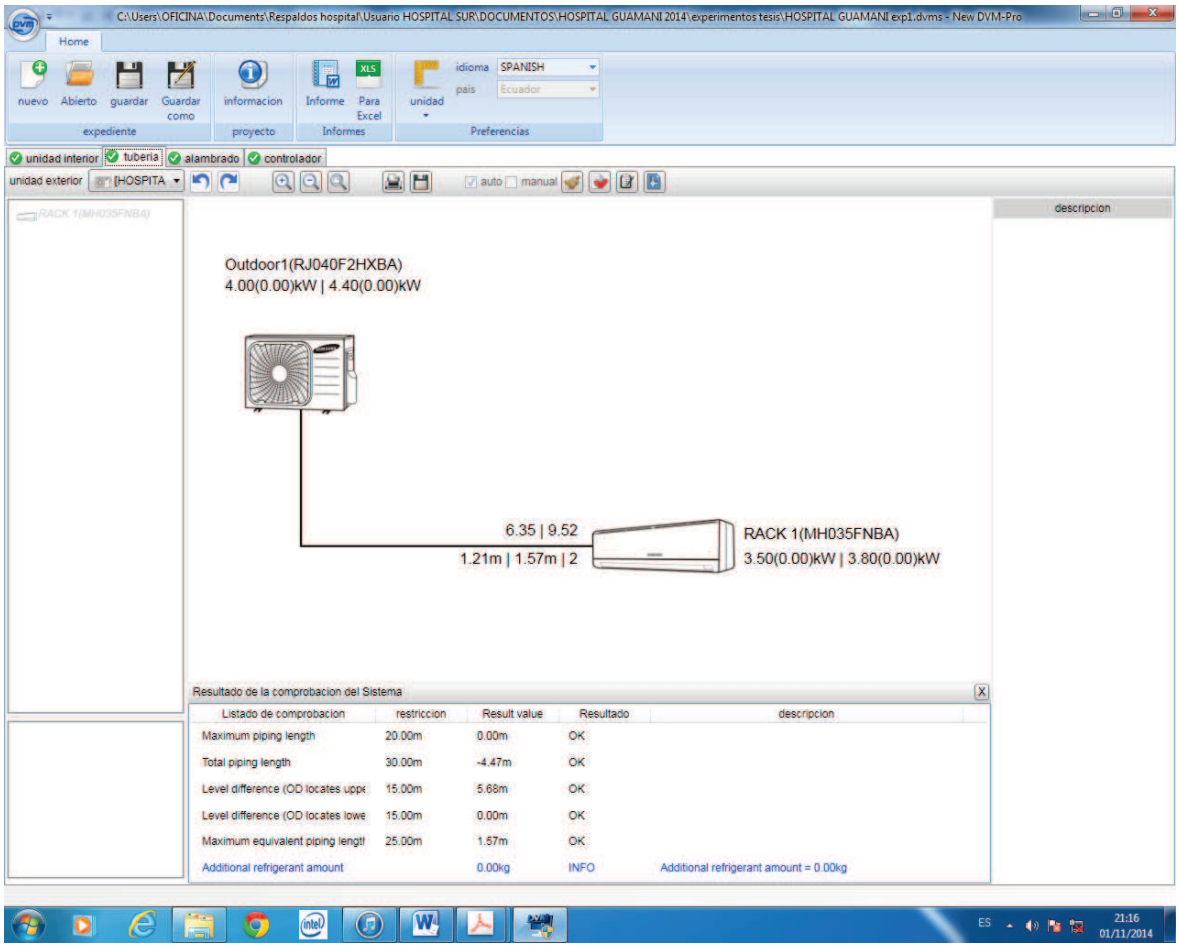


**Figura 3.29**Captura de pantalla de la pestaña tubería en el DVM-pro SALES mode.

**Fuente:** Propia.

Aquí se puede revisar que cada una de las unidades interiores o rooftop se encuentren conectadas debidamente a su propia condensadora. Para esto se puede desplegar el menú unidad exterior, en el que se enlistan todas las unidades exteriores, al ejecutar el comando alambrado se observa el diagrama de conexionado de cada uno de los equipos a ser controlados, en este se muestran los terminales de fuerza y de control identificados con un juego de letras que se

encuentran tanto en las unidades exteriores como en las interiores como se muestra en la figura 3.30.

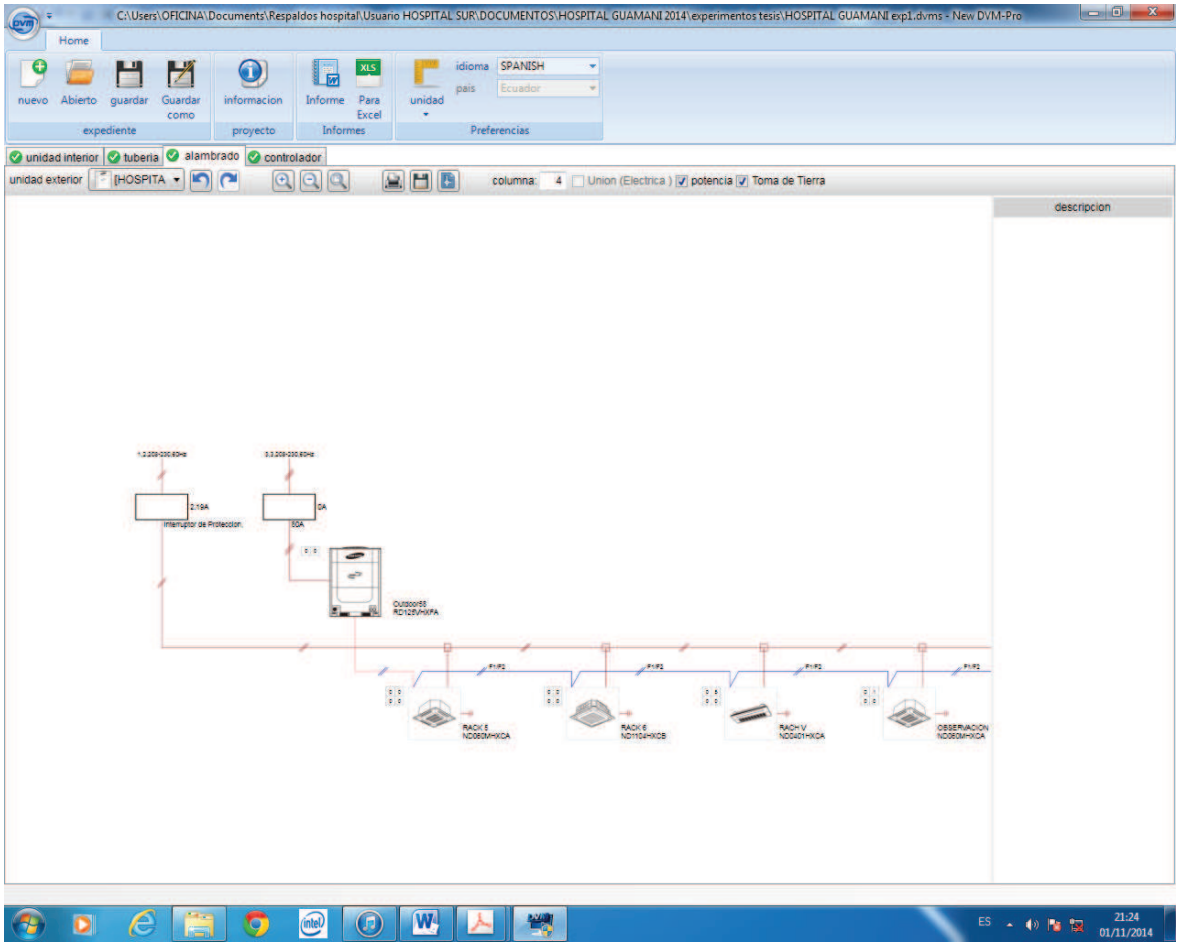


**Figura 3.30**Pantalla de alambrado del programa DVM-pro.

**Fuente:** Propia.

Además de la información de los equipos, la pantalla alambrado presenta todos los requerimientos eléctricos para el adecuado funcionamiento; las líneas rojas son líneas de fuerza y se deben conectar en los terminales R1R2; y las azules son líneas de control y se conectan en F1F2, los cuadros con cuatro números indican las direcciones de control de cada unidad interior, aquí se procede a obtener los planos de conexionado de fuerza y señal, los resultados se presentan para la unidad OUTDOOR 70 en el anexo 7.

En la pestaña controlador, es donde se procede al diagramado del sistema de control, para esto se debe generar una serie de espacios en blanco para poder seleccionar el equipo de control, es importante notar que se requiere del

conocimiento adecuado para seleccionar de manera correcta el dispositivo de control, en la figura 3.31 se muestra la captura de pantalla del modo controlador.

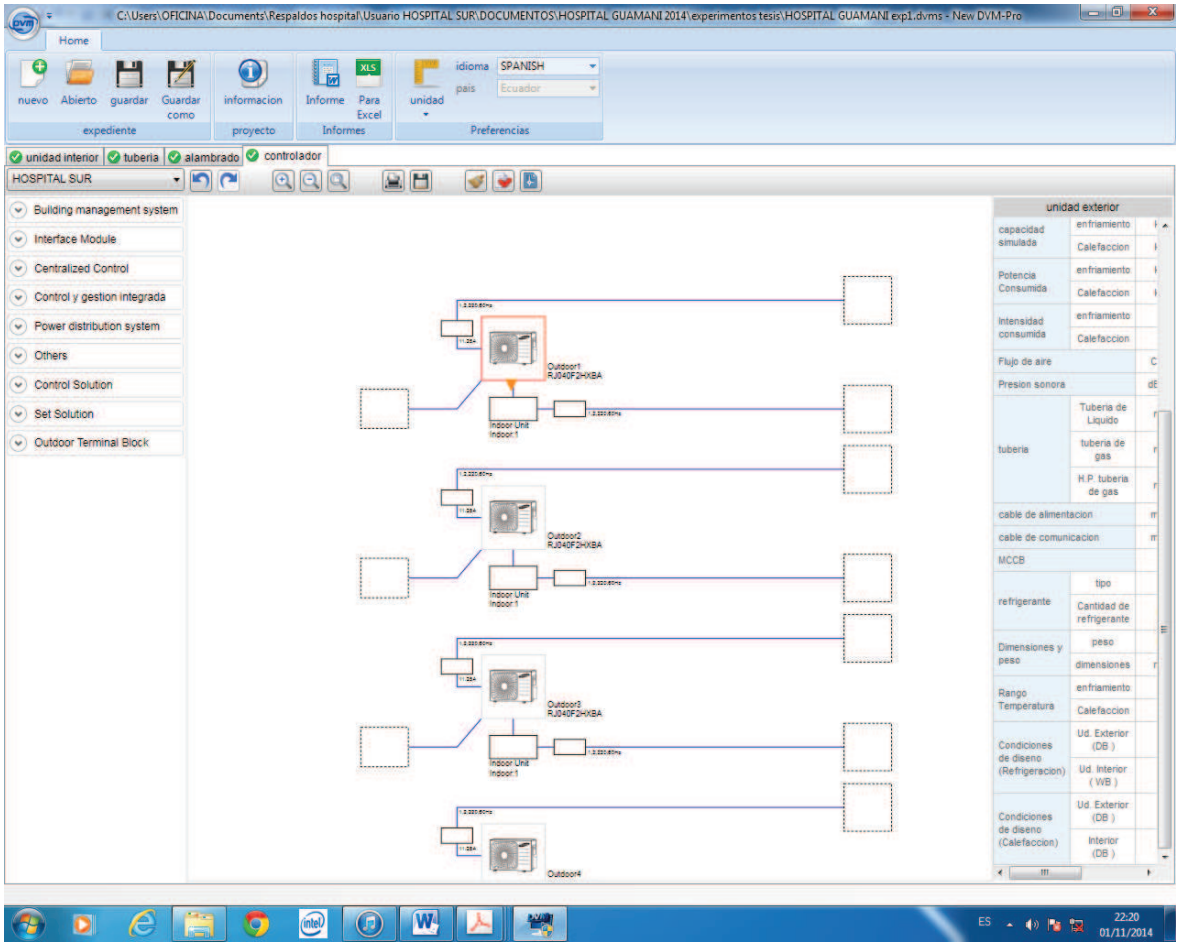


**Figura 3.31**Pantalla controlador del DVM-pro.

**Fuente:** Propia.

El diagramado final se presenta en el anexo 8.

## 3.9 SIMULACIÓN

Para la simulación del sistema, solo se considerara la carga mayor, es decir el sistema de aire acondicionado, puesto que la carga eléctrica de esta parte del sistema es diez veces mayor a la carga producida por la ventilación mecánica, la simulación se realizó en el software DVM E-Solution.

### 3.9.1 DVM-E SOLUTION

El software que se utiliza para la simulación, al igual que el software de diseño, es bastante simple de usar, pero es capaz de determinar de manera bastante real el

consumo eléctrico para cualquier sistema de aire acondicionado, basta con conocer de qué manera están conectadas las unidades interiores y las unidades exteriores y ciertos parámetros que se ingresan al programa como la ciudad y el costo del kilowatio-hora, en el sector donde se planea realizar el proyecto, con esta información se pueden presentar los parámetros de control que se utilizaran e incluso permite simular la carga mensual de calentamiento y enfriamiento. La pantalla de trabajo se presenta en la figura 3.32.

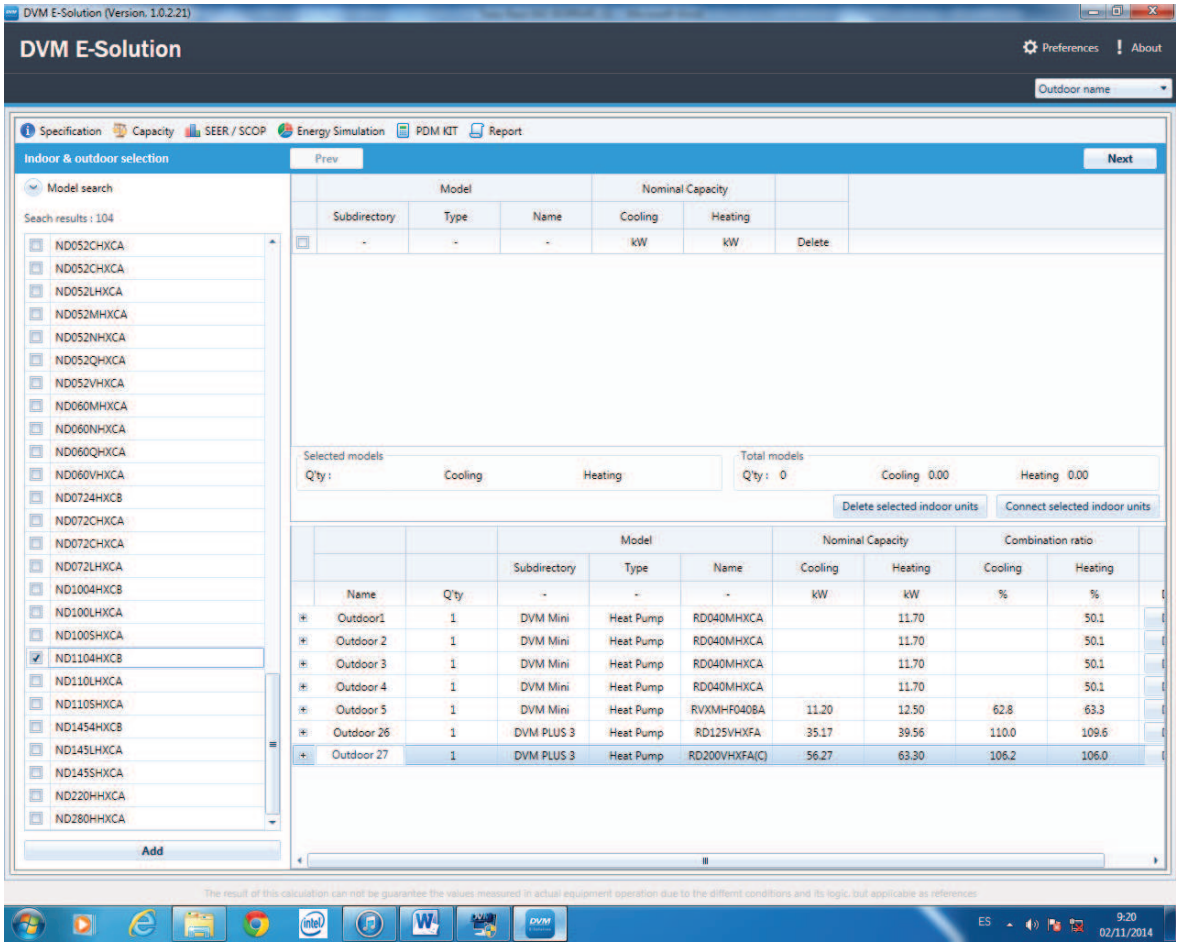


**Figura 3.32**DVM- E Solution

**Fuente:** Propia.

El software DVM-E solution, permite simular todo el sistema con control individual estándar y con un control especial Samsung, como es el caso del que se está planteando, para esto se realizaran dos simulaciones, una con control individual estándar y la otra con el control inteligente DMS2.

### 3.9.2 SIMULACIÓN CON CONTROL INDIVIDUAL ESTANDAR

Para el análisis se realizara un análisis de todo el sistema controlado individualmente, además se realizarán las siguientes suposiciones:

- Costo del kilowatio-hora= 0.09$[16]
- El funcionamiento de todo el sistema de climatización será de veinticuatro horas al día, siete días a la semana.
- La simulación se realizará para un año completo, detallando datos de calentamiento, enfriamiento y consumo eléctrico.
- Las condiciones de un control individual estándar se ingresan en TAC al 5%.

Los resultados de la simulación se presentan en la tabla 3.20.

**Tabla 3.21**Resultados de la simulación de consumo energético para el sistema de control individual estándar.

| Mes | Carga de Frío | Consumo energético por frío | Carga de calefacción | Consumo energético por calefacción | Costo de la energía estimado (mensual) |
|---|---|---|---|---|---|
| | kW | kW | kW | kW | $ |
| **Enero** | 400,761.88 | 60,622.02 | 438,629.78 | 110,758.58 | 15,424.25 |
| **Febrero** | 296,835.33 | 44,648.79 | 485,785.07 | 120,188.79 | 14,835.38 |
| **Marzo** | 359,946.00 | 53,901.79 | 492,701.90 | 123,423.79 | 15,959.30 |
| **Abril** | 350,980.76 | 53,580.96 | 476,957.11 | 120,979.16 | 15,710.41 |
| **Mayo** | 330,994.32 | 49,146.45 | 528,686.58 | 131,272.53 | 16,237.71 |
| **Junio** | 302,056.69 | 46,534.95 | 530,742.75 | 133,798.17 | 16,229.98 |
| **Julio** | 270,903.06 | 42,200.33 | 592,950.97 | 149,528.94 | 17,255.63 |
| **Agosto** | 295,487.15 | 46,007.19 | 563,685.78 | 143,211.08 | 17,029.64 |
| **Septiembre** | 310,568.01 | 48,462.44 | 522,288.77 | 133,482.44 | 16,375.04 |
| **Octubre** | 350,201.45 | 53,721.33 | 516,590.19 | 129,898.59 | 16,525.79 |
| **Noviembre** | 366,045.83 | 56,926.67 | 466,505.55 | 119,232.43 | 15,854.32 |
| **Diciembre** | 363,431.96 | 56,320.97 | 505,086.19 | 127,999.42 | 16,588.84 |
| **Total** | 3,998,212.44 | 612,073.89 | 6,120,610.64 | 1,543,773.92 | 194,026.29 |

**Fuente:** Propia.

[16] http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10093_PLIEGO%20TARIFARIO%202012.pdf

Para facilitar la interpretación de los resultados, el programa DVM E solution también entrega un gráfico de barras donde se incluyen la carga de calefacción, de enfriamiento y el consumo energético mensual.

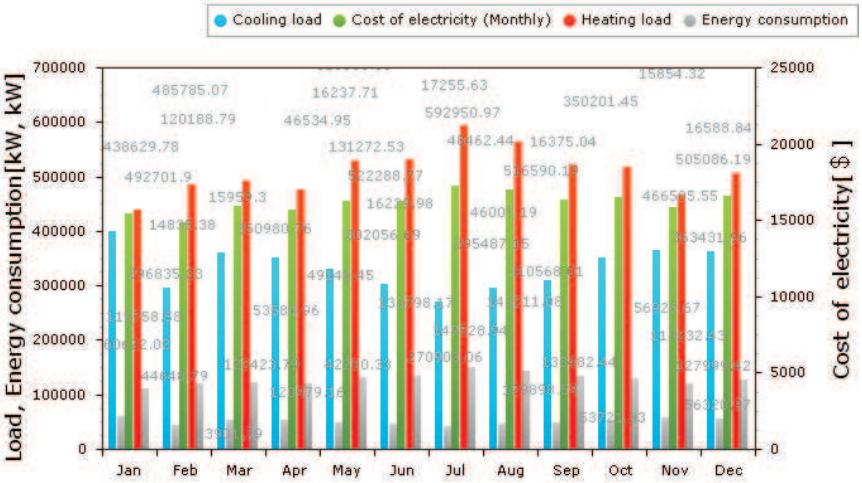


**Gráfico 3.1** Gráfico de barras de cargas y consumo eléctrico para el sistema de control estándar.

**Fuente:** Propia.

Como se puede observar en la tabla 3.20 y en el grafico 3.1 el programa entrega un reporte con los resultados globales de la simulación. Adicionalmente en el mismo reporte el programa entrega resultados de la simulación del funcionamiento de cada grupo de unidades exteriores con sus respectivas unidades interiores o unidades rooftop. La tabla 3.21 muestra los resultados del trabajo de enfriamiento de la unidad exterior OUTDOOR 71.

**Tabla 3.22**Resultado de la simulación de la unidad OUTDOOR 71.

| Factor de carga parcial | Ocurrencia | Enfriamiento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Carga | Consumo energético | EER |
| % | hrs | Kw | kW | |
| 10 ~ 20 | 3310 | 16,956.99 | 293.80 | 57.72 |
| 20 ~ 30 | 1106 | 7,803.14 | 381.72 | 20.44 |
| 30 ~ 40 | 739 | 6,451.52 | 415.90 | 15.51 |
| 40 ~ 50 | 648 | 6,872.85 | 555.37 | 12.38 |
| 50 ~ 60 | 600 | 7,672.36 | 740.12 | 10.37 |
| 60 ~ 70 | 571 | 8,522.73 | 946.88 | 9.00 |
| 70 ~ 80 | 535 | 9,143.68 | 1,141.07 | 8.01 |
| 80 ~ 90 | 482 | 9,293.14 | 1,224.20 | 7.59 |
| 90 ~ 100 | 345 | 7,079.28 | 1,002.09 | 7.06 |
| 100 ~ 110 | 190 | 4,287.52 | 643.81 | 6.66 |
| 110 ~ 120 | 234 | 5,967.00 | 877.98 | 6.80 |

**Fuente:** Propia.

El grafico 3.2 es la interpretación gráfica de la tabla de resultados anterior.

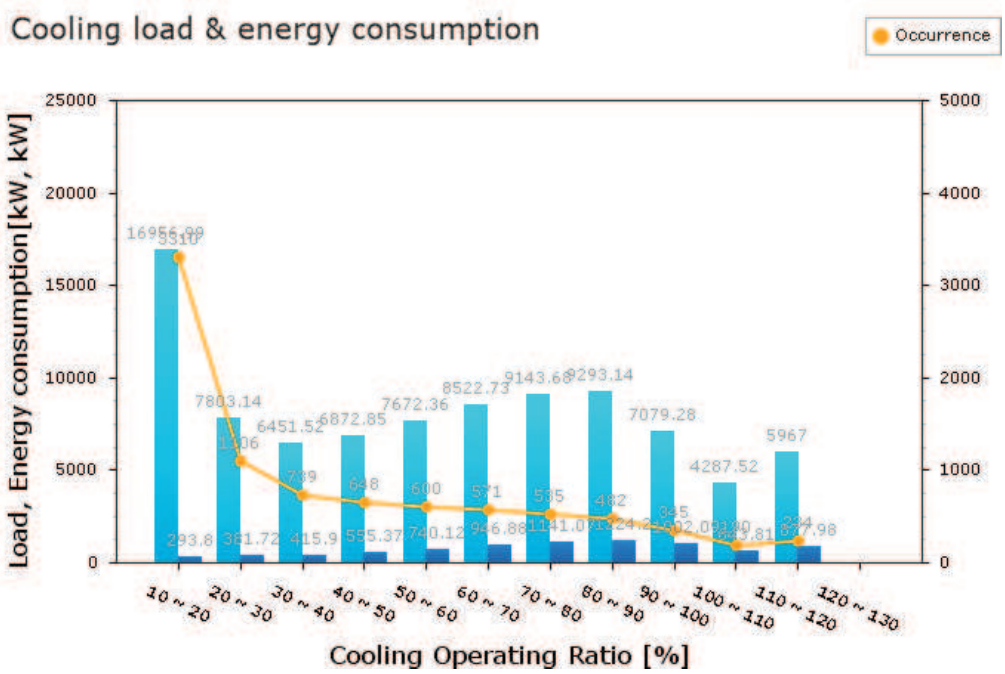


**Gráfico 3.2**Carga de enfriamiento de la unidad OUTDOOR 71.

**Fuente:** Propia.

Los equipos que se han seleccionado en su gran mayoría son equipamientos del tipo bomba de calor, es decir que estos equipos no solo son capaces de enfriar el amiente, sino también pueden calentarlo. En la tabla 3.22 se entregan los

resultados de la carga de calefacción producida en la misma unidad exterior OUTDOOR 71.

**Tabla 3.23**Simulación de la parte de calentamiento unidad OUTDOOR 71

| Factor de carga parcial | Ocurrencia | Enfriamiento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Carga | Consumo energético | EER |
| % | hrs | Kw | kW | |
| 10 ~ 20 | 2333 | 9,282.17 | 3,755.41 | 2.47 |
| 20 ~ 30 | 60 | 366.30 | 94.20 | 3.89 |
| 30 ~ 40 | 535 | 4,019.91 | 875.27 | 4.59 |
| 40 ~ 50 | 58 | 597.02 | 123.26 | 4.84 |
| 50 ~ 60 | 560 | 6,684.09 | 1,432.32 | 4.67 |
| 60 ~ 70 | 64 | 950.63 | 213.11 | 4.46 |
| 70 ~ 80 | 693 | 11,551.88 | 2,725.55 | 4.24 |
| 80 ~ 90 | 41 | 796.44 | 189.29 | 4.21 |
| 90 ~ 100 | 1043 | 22,293.95 | 5,176.66 | 4.31 |
| 100 ~ 110 | 58 | 1,397.32 | 320.84 | 4.36 |
| 110 ~ 120 | 3315 | 85,228.87 | 20,233.91 | 4.21 |

**Fuente:** Propia.

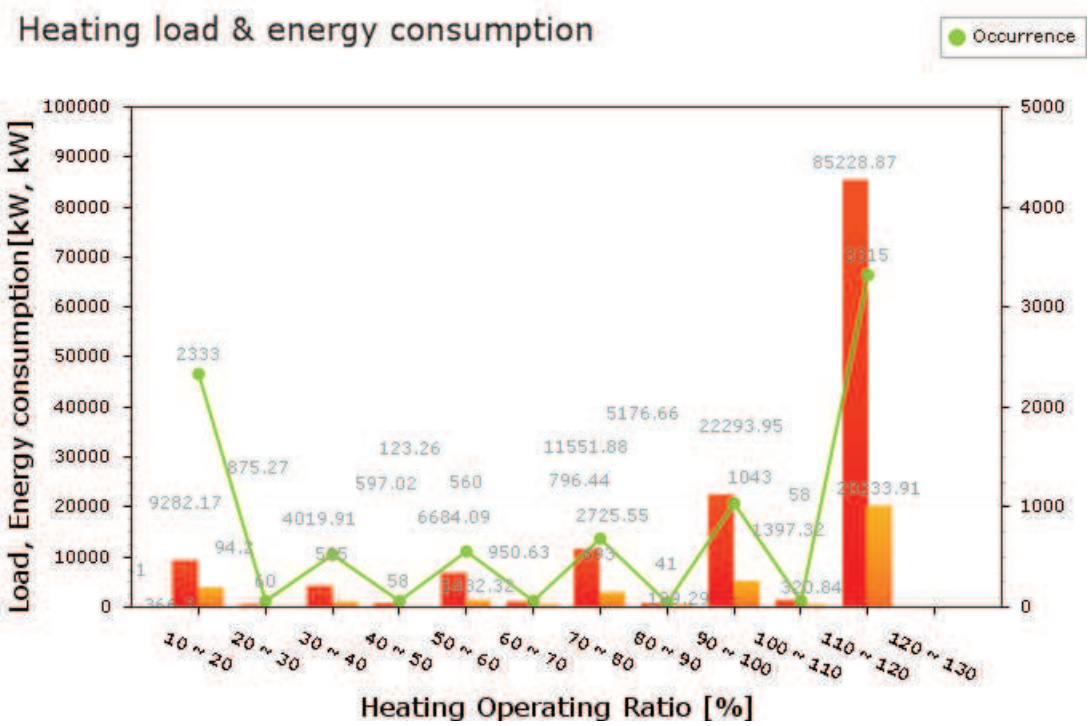


**Gráfico 3.3**Carga de calentamiento unidad OUTDOOR 71.

**Fuente:** Propia.

El resultado de los demás grupos se anexa en el CD en el archivo reporte 5%.xls

### 3.9.3 SIMULACIÓN CON SISTEMA DE CONTROL DMS2 CON PANEL TÁCTIL S-NET MINI.

Las suposiciones que se adoptan para este caso son las mismas que para la simulación anterior, las condiciones del controlador se ingresan al programa en TAC al 1%.

Los resultados de la nueva simulación se presentan en la tabla 3.24

**Tabla 3.24**Resultados de la simulación de consumo energético para el sistema de control DMS2 con panel táctil SNET mini.

| Mes | Carga de Frío | Consumo energético por frío | Carga de calefacción | Consumo energético por calefacción | Costo de la energía estimado (mensual) |
|---|---|---|---|---|---|
| | kW | kW | kW | kW | $ |
| Enero | 343,426.07 | 51,508.40 | 303,580.13 | 78,626.67 | 11,712.16 |
| Febrero | 251,102.75 | 37,826.60 | 326,348.87 | 82,175.56 | 10,800.19 |
| Marzo | 304,665.03 | 45,359.18 | 339,165.57 | 86,793.48 | 11,893.74 |
| Abril | 299,187.82 | 45,506.75 | 339,336.46 | 88,169.89 | 12,030.90 |
| Mayo | 277,816.89 | 41,202.38 | 359,230.93 | 90,897.27 | 11,888.97 |
| Junio | 259,001.62 | 39,911.61 | 382,591.44 | 98,530.01 | 12,459.75 |
| Julio | 234,834.50 | 36,866.61 | 439,149.25 | 113,101.56 | 13,497.14 |
| Agosto | 254,202.32 | 39,668.38 | 420,356.92 | 109,149.75 | 13,393.63 |
| Septiembre | 266,616.40 | 41,573.47 | 387,561.68 | 101,396.61 | 12,867.31 |
| Octubre | 296,659.15 | 45,406.06 | 364,089.60 | 93,485.54 | 12,500.24 |
| Noviembre | 314,445.41 | 48,682.85 | 337,817.08 | 88,518.95 | 12,348.16 |
| Diciembre | 307,995.22 | 47,684.56 | 358,642.50 | 92,973.66 | 12,659.24 |
| Total | 3,409,953.18 | 521,196.85 | 4,357,870.43 | 1,123,818.95 | 148,051.43 |

**Fuente:** Propia.

De manera análoga al apartado anterior se presenta la gráfica 3.4 con los resultados.

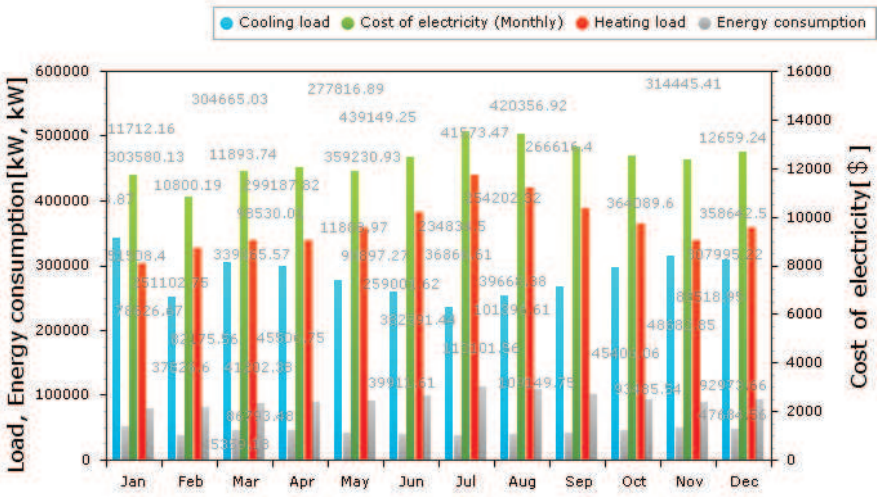


**Gráfico 3.4**Grafico de resultados de la simulación del sistema de control DMS2 con panel táctil S-NET mini.

**Fuente:** Propia.

Al igual que en el apartado anterior se muestran los resultados para la unidad OUTDOOR 71 en las tablas 3.25, 3.26; además en las gráficas 3.5 y 3.6.

**Tabla 3.25**Simulación de enfriamiento unidad OUTDOOR 71 con DMS2+S-NETMINI

| Factor de carga parcial | Ocurrencia | Enfriamiento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Carga | Consumo energético | EER |
| % | hrs | kW | kW | |
| 10 ~ 20 | 3328 | 17,044.11 | 294.70 | 57.84 |
| 20 ~ 30 | 1121 | 7,901.49 | 385.21 | 20.51 |
| 30 ~ 40 | 787 | 6,274.46 | 356.81 | 17.58 |
| 40 ~ 50 | 1131 | 11,668.65 | 911.75 | 12.80 |
| 50 ~ 60 | 603 | 7,683.18 | 739.25 | 10.39 |
| 60 ~ 70 | 544 | 8,113.68 | 920.60 | 8.81 |
| 70 ~ 80 | 500 | 8,124.80 | 1,005.42 | 8.08 |
| 80 ~ 90 | 493 | 9,204.89 | 1,229.89 | 7.48 |
| 90 ~ 100 | 141 | 3,004.42 | 448.46 | 6.70 |
| 100 ~ 110 | 62 | 1,477.82 | 230.71 | 6.41 |
| 110 ~ 120 | 50 | 1,275.00 | 194.50 | 6.56 |

**Fuente:** Propia.

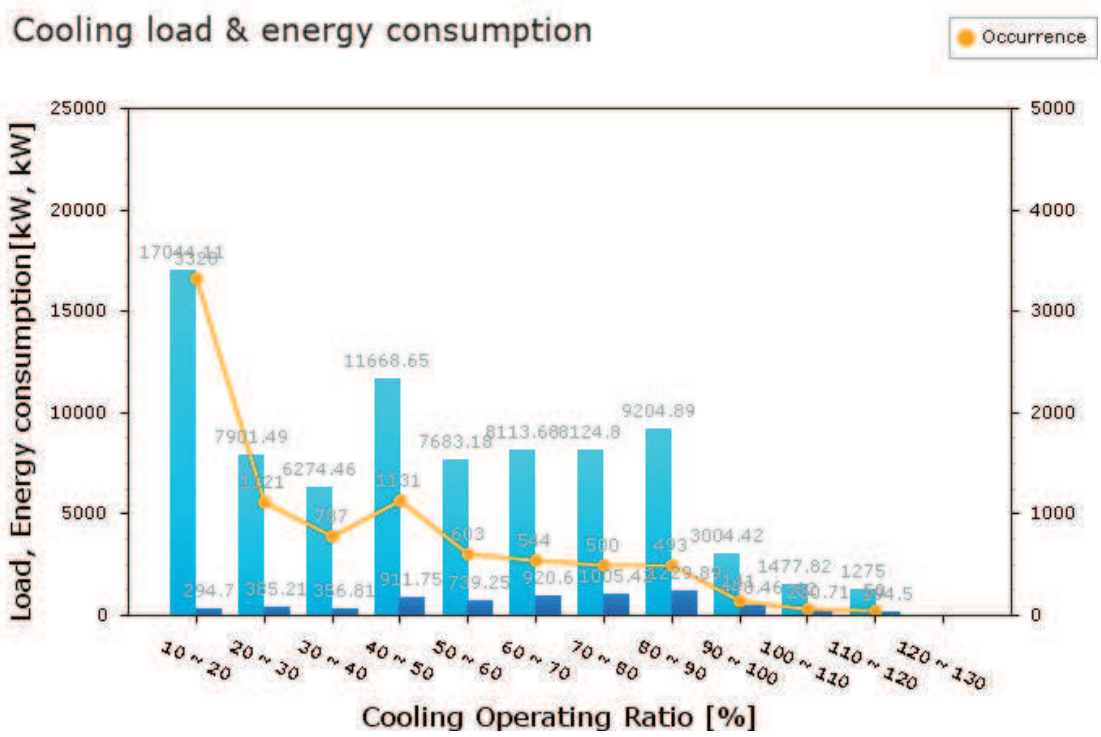


**Gráfico 3.5**Carga de enfriamiento de unidad OUTDOOR 71 con DMS2+SNET mini.

**Fuente:** Propia.

**Tabla 3.26**Simulación de calentamiento unidad OUTDOOR 71 con DMS2+S-NETMINI

| Factor de carga parcial | Ocurrencia | Calentamiento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Carga | Consumo energético | COP |
| % | hrs | kW | kW | |
| 10 ~ 20 | 2381 | 9,492.89 | 3,831.97 | 2.48 |
| 20 ~ 30 | 576 | 3,296.26 | 894.64 | 3.68 |
| 30 ~ 40 | 620 | 4,694.64 | 1,019.28 | 4.61 |
| 40 ~ 50 | 734 | 7,023.74 | 1,479.22 | 4.75 |
| 50 ~ 60 | 1076 | 14,007.34 | 3,193.94 | 4.39 |
| 60 ~ 70 | 1322 | 20,437.47 | 4,943.07 | 4.13 |
| 70 ~ 80 | 996 | 17,674.52 | 4,357.26 | 4.06 |
| 80 ~ 90 | 46 | 899.72 | 221.06 | 4.07 |
| 90 ~ 100 | 474 | 10,131.78 | 2,499.78 | 4.05 |
| 100 ~ 110 | 235 | 5,584.85 | 1,378.00 | 4.05 |
| 110 ~ 120 | 300 | 7,472.02 | 2,049.28 | 3.65 |

**Fuente:** Propia.

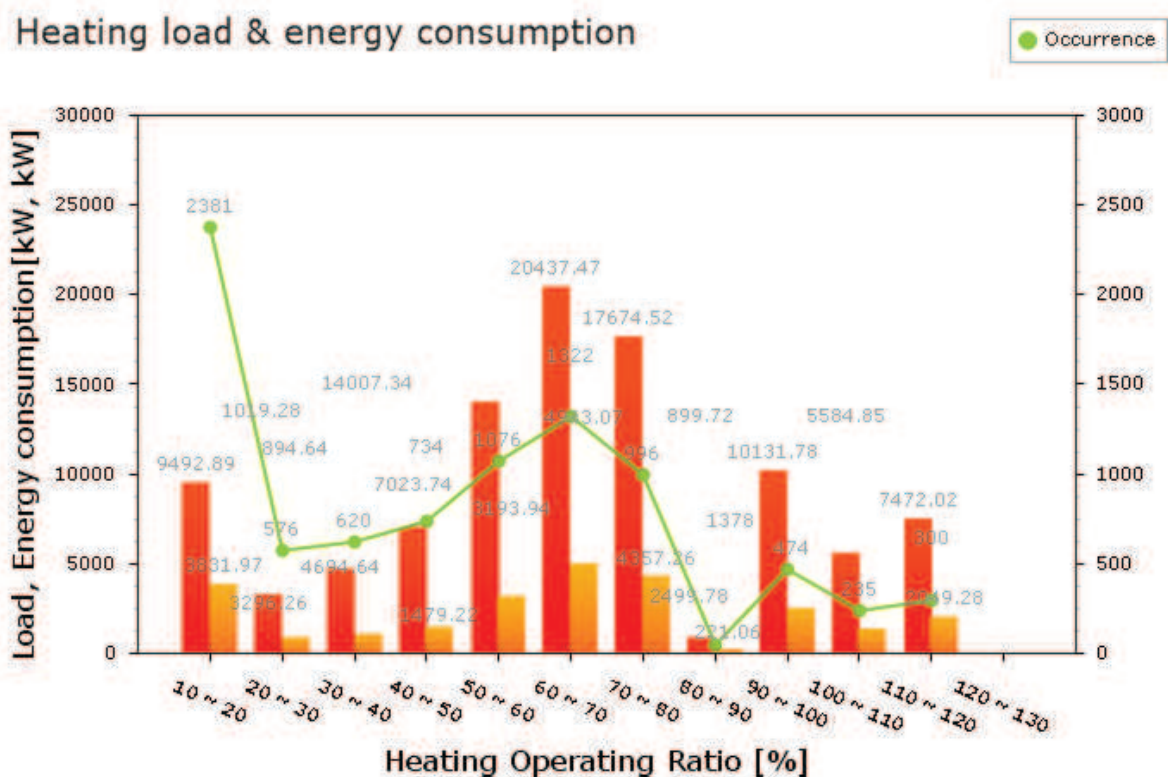


**Gráfico 3.6**Carga de calentamiento de unidad OUTDOOR 71 con DMS2+SNET mini.

**Fuente:** Propia.

### 3.9.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se observa que al mejorar el sistema de control, es decir al pasar de un sistema de control individual estándar al sistema de control DMS2, mes a mes las cargas de calentamiento y de enfriamiento se reducen sustancialmente.

Al comparar y evaluar el comportamiento de la unidad exterior OUTDOOR 71, en trabajo de enfriamiento, se observa las siguientes diferencias.

- Los índices de funcionamiento forzado de la condensadora disminuyen de 190 a 62 horas de trabajo en el año, es decir que los equipos trabajan a menor carga máxima, que es cuando se produce el mayor consumo de energía.
- Los equipos trabajan más tiempo en la zona de baja intensidad, lo cual en principio produce menor pérdida de energía por vibración o ruido, con el sistema de control DMS2 con interfaz táctil S-NET mini.

Si se analiza con suficiente profundidad la carga de calefacción, se observan los siguientes aspectos.

- El forzado de los equipos al igual que en el caso anterior es menor, por lo tanto la incidencia de la carga de calefacción por bomba de calor disminuye de 3315 a 300 horas lo que implica que se reduce en consumo en este punto en un noventa por ciento.
- La ocurrencia en la parte de baja intensidad aumentan ligeramente lo cual no representa mayor costo en el funcionamiento de los equipos con el sistema de control seleccionado.

La carga de funcionamiento se concentra alrededor del setenta por ciento, lo cual maximiza la vida útil de los equipos interiores VRF, rooftop y exteriores.

Igualmente se observa una disminución en costo del consumo energético de 45974.86 dólares de los estados unidos y si se considera que según ASHRAE el sistema de climatización es el que copa aproximadamente el cuarenta y cinco por ciento del consumo eléctrico mensual de una edificación, se observa la importancia de que un sistema de climatización de medianas o grandes proporciones deba ser controlado eficazmente para así optimizar el tiempo de vida útil de los equipos y abaratar los costos de funcionamiento.

La causa del abaratamiento de los costos que se obtiene en las simulaciones, se debe a que el sistema de control automatiza los encendidos y apagados del sistema de climatización, motivo por el cual los moto compresores eléctricos, aumentan la velocidad de funcionamiento cuando requieren mayor carga y disminuyen la misma cuando la carga térmica disminuye, este hecho produce un decrecimiento en el consumo eléctrico cuando el sistema funciona veinticuatro horas siete días como recomienda ASHRAE.

## 3.10 ANÁLISIS FINANCIERO

Para realizar el análisis financiero del sistema se utilizará una herramienta de común utilización en proyectos de la vida real como es el análisis de precios unitarios o APU, esta herramienta de trabajo permite conocer de manera real el costo de inversión para un proyecto y se basa en el hecho de que cada diseñador conoce qué equipos y en qué cantidades son requeridos para su diseño, es decir

que si se obtiene el costo de cada elemento individualmente , es posible presentar un presupuesto general por medio del modelo APU. Posteriormente se procederá a realizar un análisis

### 3.10.1 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITÁRIOS

El APU es un modelo matemático que como ya se mencionó, adelanta el resultado de un proyecto en moneda, es decir que permite hacer un presupuesto del mismo, para realizar de manera adecuada un APU, se debe en primer lugar obtener el precio unitario PU de cada rubro, para obtener cada uno de los PU de cada rubro, es necesario tomar en cuenta que equipamiento es necesario para la instalación adecuada del rubro, de la misma manera se debe analizar el número de personas que intervienen en esta, además de analizar los costos indirectos y las utilidades que se desean obtener. En el anexo 9 se presentan los APU realizados.

### 3.10.2 COSTO FINAL DEL SISTEMA

Una vez analizado cada uno de los rubros, se procede a multiplicar el precio unitario del rubro por la cantidad de elementos requeridos para el proyecto, el resultado total se presenta en la tabla 3.27.

**Tabla 3.27** Costo final del proyecto.

| ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| RESUMEN APUS | | | | | |
| DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN EN HOSPITALES. | | | | | |
| Fecha: | NOVIEMBRE 2 DE 2014 | | | | |
| Ítem | DESCRIPCIÓN | Unidad | Cantidad | P. Unitario | P. Total |
| AC | | | | | |
| | | | | | |
| 10.01 | SNET MINI MST-3W | U | 1 | 1485.9 | 1485.9 |
| 10.02 | DMS2 MIM-D00A | U | 1 | 1580.12 | 1580.12 |
| 10.03 | MODULO DE INTERFAZ MIM-B13D | U | 21 | 245.87 | 5163.23 |
| 10.04 | BLOQUE TERMINAL UNIDAD ESTERIOR | U | 5 | 221.51 | 1107.54 |
| 10.05 | MODULO DE INTERFAZ MIM-N00 | U | 8 | 352.06 | 2816.45 |
| 10.06 | BOTONERA CONTROL DE GRUPO MCM-A202DN | U | 4 | 228.66 | 914.64 |
| 10.07 | BOTONERA INDIVIDUAL MWR-SH00 | U | 94 | 133.74 | 12571.56 |
| 10.08 | CABLE SUCRE AWG 2X16 | M | 2000 | 39.17 | 78348 |
| 10.09 | TUBERIA EMT 1/2" | M | 2000 | 5.89 | 11772 |
| **SUBTOTAL** | | | | | **115759.44** |
| | | | | **IVA 12%** | **13891.13** |
| | | | | **TOTAL** | **129,650.57** |

**Fuente:** Propia.

### 3.10.3 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Para el análisis costo beneficio del proyecto se determinara el valor presente neto para el periodo de cinco años con una tasa de 16% que es la tasa de interés al préstamo de los bancos.

Este análisis se realizó con el programa Microsoft Excel. Los resultados se presentan en la tabla 3.28

**Tabla 3.28**Análisis costo beneficio en base al VAN y TIR.

| Año | Inversión | Ahorro | Tasa |
|---|---|---|---|
| 0 | 129650.57 | | 16% |
| 1 | | 45974.86 | |
| 2 | | 45974.86 | |
| 3 | | 45974.86 | |
| 4 | | 45974.86 | |
| 5 | | 45974.86 | |
| | | VAN | $ 18,003.98 |
| | | TIR | 23% |

**Fuente:** Propia.

# CAPÍTULO IV

# 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 4.1 CONCLUSIONES

- La utilización de la herramienta de evaluación y selección de alternativas, permite determinar la alternativa más apropiada para el sistema de control, pese a eso tiene la limitante de que es el mismo diseñador quien pondera las matrices, por esto es importante ponderar los criterios de manera adecuada.
- El método de cálculo CLTD-CLF de ASHRAE permite determinar con un alto grado eficacia los requerimientos para el acondicionamiento de espacios cerrados, esto se observa al analizar las cargas térmicas de los recintos evaluados es cercana a los entregados por el software DVM-pro.
- La utilización de software especializado, permite diseñar de manera más didáctica el sistema de control, de igual manera para que el diseño sea óptimo, se debe recurrir a las herramientas del programa para que los chequeos del sistema diseñado no presenten errores de comunicación.
- Es importante tener claro cuáles son los fundamentos teóricos del sistema que se va a controlar y se debe contar con información suficiente de cada uno de los equipos a controlar como su clase y sus funciones.
- Es importante la utilización de herramientas para la determinación de presupuesto, puesto que es una de las principales causas de que los contratos, especialmente aquellos que se realizan con el estado, sean terminados unilateralmente.
- Ya en diseño final del sistema, es importante que observar los resultados de las simulaciones realizadas, puesto que con un costo de inversión cercano a los ciento treinta mil dólares, el beneficio debe tener un espectro igualmente amplio, en este caso se observa que el consumo de energía eléctrica se reduce anualmente en cerca de cuarenta y cinco mil dólares, es decir que es conveniente aplicar un sistema de control tan complejo

para reducir en un monto bastante considerable la cuenta anual de energía eléctrica.

- Tanto para el diseño y la simulación del sistema se requiere de un cierto conocimiento, además es necesario tener la facilidad de acceso a los programas que no están a disposición de todas las personas.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Si bien es cierto que el sistema de control permite controlar todos los aspectos relacionados al confort humano, es imprescindible una preparación al personal que ha de manipular los equipos, esto se justifica en el hecho de que existen un equipos que se conectan a una misma unidad exterior y una mala programación puede resultar en errores de comunicación o peor aún en el daño permanente de los equipos VRF.
- Se recomienda tener la asesoría de personal debidamente capacitado en el tema de aire acondicionado, cuando se desea controlar un sistema de este tipo, hay que considerar todas las variables físicas, mecánicas, electrónicas y tecnológicas que intervienen en un sistema de este tipo.
- Se recomienda en el momento de conectar los equipos ya in situ, utilizar cables de diferentes colores para poder identificar cuáles son parte del cableado de fuerza, cuales son parte del cableado de señal y cuales son parte del control, puesto que un inadecuado conexionado puede derivar en el daño perpetuo de los equipos.
- Así mismo se recomienda observar la polaridad del cableado antes de proceder a conectar los elementos del sistema de control, puesto que invertir la polaridad de los controladores ocasiona errores de comunicación, que pueden derivar en incongruencias del sistema.
- Se recomienda seguir y respetar la codificación de colores para identificar los voltajes, este trabajo se debe realizar en conjunto con los ingenieros eléctricos del proyecto que se esté realizando.
- Se recomienda dar una charla informativa el personal que va operar el sistema, puesto que ellos serán los encargados de mantener en funcionamiento el sistema.
- Se recomienda que una vez instalado el sistema, sea objeto de un mantenimiento preventivo, que asegure el correcto funcionamiento del sistema.

# 5 BIBLIOGRAFÍA


1) Althause. (2013). Modern refrigeration and air conditioning. En A. Althause, *Modern refrigeration and air conditioning.* Caglary, Alberta, Canadá: The Goodheart-Willcox Company.
2) ASHRAE. (2006). Cooling and Heating Manual. En ASHRAE, *Cooling and Heating Manual* (págs. 4.1-4.12). Atlanta, Georgia, Estados Uidos: ASHRAE.
3) ASHRAE. (2009). Fundamentals. En ASHRAE, *Fundamentals* (págs. 1.1-14.18). Atlanta, Georgia, Estados Uidos: ASHRAE.
4) ASHRAE. (2011). Handbook HVAC applications. En ASHRAE, *Handbook HVAC applications* (págs. 18.1-18.21). Atlanta , Estados Unidos, Georgia: ASHRAE.
5) ASHRAE. (2013). HVAC design Manual for Hospitals and Clinics. En ASHRAE, *HVAC design Manual for Hospitals and Clinics* (págs. 1-290). Atlanta, Georgia, Estados Unidos: ASHRAE.
6) Bracciano. (2013). Modern refrigeration and air conditioning. En A. Bracciano, *Modern refrigeration and air conditioning.* Chicago, Illinois, Estados Unidos: The Goodheart-Willcox Company.
7) Caicedo P., V. A. (2011). Diseño de un sistema de ventilación y aire acondicionado para el quirófano y sala de terapia intensiva de la clínica Colonial. En P. V. Caicedo Flores, & A. R. Vega Martínez, *Diseño de un sistema de ventilación y aire acondicionado para el quirófano y sala de terapia intensiva de la clínica Colonial.* Quito: EPN.
8) Camacho, R. (09 de 10 de 2012). *Blog Automatización*. Obtenido de http://rene-automatizacion.blogspot.com/2012/10/clase-reporte-2-diagramas-de-bloques.html
9) Cengel, Y. (2002). Termodinámica. En Y. C. Michael Boles, *Termodinámica* (págs. 1-20, 163-190, 241-270). México: Mc Graw Hill.
10) Climaproyectos, S. (2013). *Climaproyectos*. Obtenido de Sitio web de Climaproyectos SA de cv: paquetesdeaireacondicionado.com/aire-acondicionado-tipo-paquete.html
11) COMEXI. (09 de marzo de 2009). Resolucion 450 del COMEXI. *RESOLUCIÓN 450 DEL CONSEJO DE COMERCIO EXTERIOR E INVERSIONES*. Quito, Pichincha, Ecuador.

12) CPS. (2010). *UNIZAR*. Obtenido de http://www.automata.cps.unizar.es/historia/webs/control_clasico.htm
13) Frank P. Incropera, D. P. (1996). Fundamentos de transferencia de calor. En D. P. Frank P. Incropera, *Fundamentos de transferencia de calor.* (págs. 1-12). México.: Pretience Hall.
14) Fundación Wikimedia.Inc. (09 de 10 de 2013). *Wikipedia Psicrometría*. Obtenido de sitio web de Wikipedia.org: http://es.wikipedia.org/wiki/Psicrometr%C#%ADa
15) Fundación Wikimedia.inc. (16 de Julio de 2014). *Wikipedia sistemas de control*. Obtenido de sitio web de wikipedia.com: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control
16) Fundacion Wikipedia.inc. (12 de 03 de 2014). *Wikipedia Climatizador*. Obtenido de Sitio web de Wikipedia.org: http://es.wikipedia.org/wiki/climatizador
17) Fundación Wikipedia.Inc. (25 de 02 de 2014). *Wikipedia Ventiloconvector*. Obtenido de Sitio web de wikipedia.org: http://es.wikipedia.org/wiki/Ventiloconvector
18) Hundy. (2012). Refrigeration and air conditioning. En G. Hundy, *Refrigeration and air conditioning* (págs. 50-89,78-90). Cornwall: Cambridge.
19) Karlekar. (1986). Transferencia de calor. En Desmond, & Karlekar, *Transferencia de calor* (págs. 461-558).
20) Kothandaraman. (2007). Fluid mechanics and machinery. En Kothandaraman, *Fluid mechanics and machinery* (págs. 11-50). New Delhi: New age international.
21) Kreith, F. (1999). "Air conditioning and refrigeration" mechanical engeeniering Handbook. En F. Kreith, *"Air conditioning and refrigeration" mechanical engeeniering Handbook.* Boca Raton, Pittsburgh, Estados Unidos: Mc Graw Hill.
22) Langley. (2002). Fine tuning air conditioning and refrigeration. En B. Langley, *Fine tuning air conditioning and refrigeration* (págs. 25-87). New York: The Fairmont press.

23) Latin Press ACR, i. (13 de 03 de 2013). *ACR Latinoamérica*. Obtenido de ACR Latinoamérica: http://www.acrlatinoamerica.com/8393-sistema-de-volumen-variable-de-refrigerante.html
24) Malestorm. (2001). Cool thermodynamics. En Malestorm, *Cool thermodynamics* (págs. 92-146). Cornwall, Inglaterra: Cambrige.
25) MARKS. (2005). Manual del Ingeniero Mecánico. En Varios, *Manual del Ingeniero Mecánico* (págs. 17.1-17.8). Mexico DF.: McGraw Hill.
26) Miller, R. (2010). Mc Graw Hill´s HVAC Lisensing study guide. En R. Miller, *Mc Graw Hill´s HVAC Lisensing study guide.* Chicago, Illinois, Estados Unidos: Mc Graw Hill.
27) Ogata, K. (2003). Ingeniería de Control Moderna. En K. Ogata, *Ingeniería de control Moderna* (págs. 1-20). Madrid: Pearson Education SA.
28) Price, i. (2011). Engineer´s HVAC handbook. En VARIOS, *Engineer´s HVAC handbook* (págs. 26-74). Winninpeg: PRICE Industries.
29) Samsung Electronics. (16 de 05 de 2014). Curso DVM. *Curso para ingenieros de climatización*. Shushufindi, Sucumbios, Ecuador.
30) Samsung, E. (Julio de 2013). New DVM-pro Manual CAD mode.
31) Samsung, E. (Julio de 2013). New DVM-pro manual SALES mode.
32) Sapiensman. (s.f.). Obtenido de http://www.sapiensman.com/control_automatico/#el_controlador_automatico
33) Shank. (2001). Handbook of air conditioning and refrigeration. En S. K. Wang, *Handbook of air conditioning and refrigeration* (págs. 6.1-6.49). Atlanta GA: Mc Graw Hill.
34) SMACNA. (1995). HVAC duct construction standards metal and flexible. En SMACNA, *HVAC duct construction standards metal and flexible.* Chantilly, West Virginia, Estados Unidos: SMACNA.
35) SMACNA. (1998). Residential comfort system instalation standards manual. En SMACNA, *Residential comfort system instalation standards manual.* Chantilly, West Virginia, Estados Unidos.
36) Torres, F. (2008). Control automático de sistemas de aire acondicionado con PLC´s. En F. Torres, *Control automático de sistemas de aire acondicionado con PLC´s* (págs. 1-46). Quito: EPN.

37) Vizi. (2011). Forced hot air furnaces. En R. Vizi, *Forced hot air furnaces.* Auckland, Australia: Mc Graw hill.

# Anexo 1 Plantas arquitectónicas

# Anexo 2Tablas necesarias para el uso del método CLTD-CLF

# Anexo 3Tablas SMACNA para diseño de ductos

# Anexo 4Diseño del sistema HVAC

# Anexo 5 Fichas técnicas equipos (ejemplos)

# Anexo 6Fichas técnicas equipos de control

# Anexo 7 Diagrama de fuerza y control

# Anexo 8Diagrama de conexionado final del sistema de control

# Anexo 9Análisis de precios unitarios sistema de control