ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Climatización del Almacén Pica"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Titulo de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

Oscar Miguel Arias Arévalo

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2006

DEDICATORIA

A mis padres: Manuel Ángel Arias Montoya y Elsa Arévalo de Arias, a mi querida hija: Anny Lissett Arias Tutiven, a mi hermano Ángel Javier Arias Arévalo, familiares y seres queridos que de alguna forma se sacrificaron y colaboraron por mi bienestar.

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que han hecho posible la terminación de esta tesis y a todas las personas que con su apoyo moral hicieron que pueda graduarme.

DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

_____

Oscar Arias Arévalo.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

_____	_____
Ing. Jorge Duque R.	Ing. Francisco Andrade S.
DELEGADO POR EL DECANO DE LA FIMCP	DIRECTOR DE TESIS
PRESIDENTE	

_____

Ing. Ignacio Wiesner F.

VOCAL

RESUMEN

La presente tesis describe un trabajo profesional, realizado para el grupo PICA, en el año 2003, en el mismo que se pone en manifiesto la experiencia acumulada a lo largo de diez años en el diseño e instalación de sistemas de climatización.

El proyecto consiste en el mejoramiento del sistema de climatización de los pisos utilizados como almacén del edificio de Pica ubicado en la ave. 9 de octubre y Boyacá, los mismos que son: sótano (849 mts^2) , planta baja (570 mts^2) , mezanine (635 mts^2); y la climatización del primer piso (643 mts^2) , nueva área destinada para uso del almacén.

Para la ejecución de este proyecto, se realizo un estudio térmico de las instalaciones del almacén y las áreas nuevas, según la época del año y la afluencia de personas al almacén, utilizando para ello el programa de calculo de carga de CARRIER "Block Load 3.05" .

Una vez realizado el cálculo de carga térmica y el estudio del sistema de climatización, se determino que la época de mayor requerimiento de capacidad de enfriamiento, es en el mes de diciembre, para lo cual necesitamos una capacidad de enfriamiento de 206.88 toneladas de

refrigeración, por tal motivo debíamos ampliar la capacidad de enfriamiento del sistema anterior instalado que era de 100 toneladas de refrigeración.

Al valorar mediante una matriz de decisión el sistema de climatización a utilizar, se determino que el método mas adecuado y optimo para climatizar el almacén era la utilización de un sistema de agua helada.

Para tal efecto realizamos la instalación de dos nuevas unidades enfriadoras de agua (chiller) de 93 TR y una de 50 TR ya existente en el edificio, estas unidades fueron instaladas en la terraza del edificio en un lugar que se acondiciono mediante la fabricación de plataformas metálicas. La climatización del almacén se lo realizo de tal modo que las unidades manejadoras de aire (umas) fueron distribuidas por pisos , de manera similar al sistema antiguo de climatización reemplazando las unidades existentes, por nuevas unidades de mayor capacidad de enfriamiento instaladas en los mismo cuartos de equipos ya existentes es así como tenemos en el sótano instalado 26.5 TR , en la planta baja 65 TR , en el mezanine 65 TR y en el primer piso 60 TR.

Para el sistema de bombeo del agua helada se utilizo dos circuitos de bombeo ; el circuito de bombeo primario que es el que impulsa el flujo de agua a través de las unidades enfriadoras de agua y esta constituido por

tres bombas de 5 hp y 199 gpm cada una , de la cuales una esta en stand by. El circuito secundario es el que impulsa el flujo desde los unidades enfriadoras de agua a cada una de las manejadoras de aire y esta constituido por dos bombas de 15 hp y 598 gpm. cada una , de las cuales una esta stand by . Todas las bombas se encuentran instaladas en la terraza del edificio.

En la tubería de agua helada se utilizaron tubos de hierro negro de cedula 40, la tubería principal de 4 pulgadas fue instalada en un conducto de ventilación del edificio, lugar por donde baja la tubería principal desde la terraza hasta el sótano, derivándose un ramal secundario en cada uno de los pisos de acuerdo a la ubicación de cada una de las manejadoras de aire instaladas.

El sistema de distribución de aire de todo el almacén se lo realizó mediante ductos construidos de plancha galvanizada montados de acuerdo a las normas de Smacna de ductos de baja presión y además rejillas frontales de suministro de aire, para el retorno del aire se diseñaron las paredes y puertas de los cuartos de equipos de baraja de modo que permita el paso de aire y no se vean los equipos.

El montaje de todo el sistema de climatización tuvo un periodo de duración de 45 días de trabajo considerados de lunes a viernes desde las 9:00 horas hasta las 20:00 horas .

Una ve que se instalo el sistema de climatización, se realizaron las pruebas y calibración correspondientes de cada uno de los componentes del mismo como son : la corrección del templado de las bandas en las manejadoras de aire, la temperatura de confort del ambiente del almacén en cada uno de sus pisos

El sistema actual instalado (236 TR) tienen un costo de consumo eléctrico anual de 131,948.03 dólares versus 81,213.84 dólares del sistema antiguo (100 TR); pero resulta mas económico el costo del suministro de energía eléctrica por tonelada de refrigeración producido, tanto así que el costo actual de dólares por tonelada de refrigeración es de 588.53 dólares por año , lo que nos da un ahorro de 78,467.64 dólares por año. Con lo cual estaríamos recuperando la inversión realizada en el nuevo sistema de climatización en un periodo de cuatro años.

INDICE GENERAL

RESUMEN……...II

INDICE GENERAL……III

ABREVIATURAS……..IV

SIMBOLOGIA……V

INDICE DE FIGURAS……..VI

INDICE DE TABLAS……VII

INDICE DE PLANOS……..VIII

INTRODUCCION……1

CAPITULO 1

1.- REQUERIMIENTOS DE CLIMATIZACION……..4

1.1.-Descripción de nuevas áreas de climatización……..6

1.2.- Sistema de climatización existente y sus limitaciones……..13

1.3.- Parámetros de operación……...16

CAPITULO 2

2.- SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACION……..18

2.1.- Determinación de carga térmica en función de afluencias de personas y épocas del año..……18

2.2.- Selección entre equipo de expansión directa y agua helada…...20

2.3.- Selección de equipos……..22

2.4.- Montaje de equipo……...28

2.5.- Pruebas de funcionamiento, calibración y puesta en marcha…..35

CAPITULO 3

3.- EVALUACION DEL SISTEMA IMPLANTADO……..37

3.1.-Evaluación Técnica……..37

3.2.- Evaluación Económica……40

CAPITULO 4

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…….44

APENDICES

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

%HR:	Humedad Relativa.
ASHRAE	(Asociación Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire)
Amps	Amperios
Btu	Unidad térmica británica
Btuh	Btu por hora
Calc.	Calculado
Cant.	Cantidad
CAP.	Capacidad
C.a	Columna de agua
CFM	Pie cuadrado por minuto
CHILLER:	Unidad enfriadora de agua
EER	Relación de eficiencia de enfriamiento
FC:	Unidad fan coil.
°F:	Grados Farenheit
HP	Caballos de fuerza
Hz	Hertz
Kg.	Kilogramos
Kw.	Kilowatts
ML	Metros lineales
PH	Fase
R-134a	Refrigerante R-134a
RPM	Revoluciones por minuto
SMACNA	Sheet Metal and Air Conditioning Contractors Association (Asociación Nacional de Contratistas en Acondicionamiento de Aire y Metalistería)
SP	Caída de presión
TR	Tonelada de refrigeración
UMA	Unidad manejadora de aire
UNID.	Unidad
V	Voltaje

SIMBOLOGÍA

A	Amperios
μseg	Micro segundos
V	Voltios
°C	Grados centígrados
Cm	Centimetros
CO2	Dióxido de carbono
°F	Grado Farenheit
ft^2	Pie cuadrado
Kw	Kilo watio
Kwh	Kilo watio hora
USD	United States Dollars
m	Metros
m2	Metros cuadrados
mA	Mili amperios
MHz	Mega Hertz
mm	Milímetros
mmHg	milímetros de Mercurio
seg	Segundos
ΔT	Cambio de temperatura

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura 1.1 Edificio de Almacén PICA en la ciudad de Guayaquil……5
Figura 1.2 Pantalla 1 del programa de calculo de carga térmica.……11
Figura 1.3 Pantalla 2 del programa de calculo de carga térmica…….....12
Figura 1.4 Pantalla 3 del programa de calculo de carga térmica……...13
Figura 2.1 Unidades Enfriadoras de agua (Chillers) …… ……..29
Figura 2.2 Cuarto de equipo de UMA …… …….30
Figura 2.3 Cuarto de equipo de UMA (detalle de retorno)……..30
Figura 2.4 Instalación de rejillas de suministro de aire…..…… ……..31
Figura 2.5 Instalación de de unidades tipo fan-coil…..…….32
Figura 2.6 Circuito Primario de bombas ……..……..33
Figura 2.7 Circuito Secundario de bombas ……33
Figura 2.8 Cronograma de trabajos ……34

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Dimensiones de áreas de atención al Publico……7
Tabla 2 Afluencias mensual de personas al almacén…….....9
Tabla 3 Distribución de equipos existentes…….....……..15
Tabla 4 Determinación de cargas térmicas……19
Tabla 5 Matriz de decisión…….22
Tabla 6 Distribución de UMAS nuevas por plantas……...23
Tabla 7 Perdida por rozamientos en los sistemas cerrados de tuberías (tubo de acero)……..26
Tabla 8 Espesor de plancha en función de dimensiones de ductos…….28
Tabla 9 Datos técnicos de unidades CHILLER…….39
Tabla 10 Datos del consumo de energía de antiguo y nuevo sistema…….40
Tabla 11 Datos comparativos de costo eléctrico del nuevo y antiguo sistema…….41
Tabla 12 Datos comparativos de costo eléctrico de las nuevas y antiguas bombas instaladas……..……. ……..42
Tabla 13 Datos comparativos de costo entre el nuevo y el antiguo sistema……43

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Esquemático de los equipos del nuevo sistema de climatización
Plano 2 Planta de sótano.
Plano 3 Planta Baja
Plano 4 Planta de Mezanine
Plano 5 Planta de Primer Piso Alto

APÉNDICES

Apéndice A	Pantallas de ingreso de datos del programa de cálculo de Carga térmica Block Load V 3.05
Apéndice B	Condiciones de diseño
Apéndice C	Resultados del programa de cálculo de carga térmica “Block Load V 3.05”

BIBLIOGRAFIA

1. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Handbook o fair conditioning system design, 4ta reimpresión 1978 (impression en español), MARCOMBO S.A., de Boixareu Editores-1978, Barcelona.

2. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Light and Heavy Commercial Products and Systems Catalog (30 tons & above), 1998.

3. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Residential and light Commercial Products and Systems Catalog (27 tons & under), 1998.

4. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Block Load (programa para el cálculo de la ganancia térmica, versión 3.5

5. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Ahu Builder (programa para seleccionar manejadoras de aire, versión 5.9

6. CRANE, Flujo de fluidos (en válvulas, accesorios y tuberías), traducido de la primera edición en ingles de FLOW OF FLUIDS TECHNICAL PAPER 410, Febrero 1998, México.

7 MCNAUGHTON KENNETH J., Bombas (selección, uso y mantenimiento), traducido de la primera edición en ingles de CHEMICAL ENGINEERING GUIDE TO PUMPS, Febrero 1998, México.

INTRODUCCION

El proyecto se inicia cuando el grupo de accionistas de Pica, realiza un estudio de la rentabilidad que prestaba la venta de juguetes en épocas navideñas en su antiguo almacén ubicado en la Ave. 9 de Octubre y Boyacá y determinó que podían lograr mayor utilidades si ampliaban sus áreas de almacenes, los cuales resultaban ser pequeños para atender la afluencia de clientes en épocas navideñas y así también poder ofrecer una mejor gama de artículos para el hogar y oficina, el resto del año.

Anteriormente el edificio donde funcionaba el almacén estaba dispuesto de manera que las áreas destinadas para uso de almacén eran las plantas de sótano, planta baja y mezanine, mientras que el resto de pisos eran bodegas y oficinas. Es así como consideraron destinar el primer piso del edifico que eran utilizados como área de bodega para uso del almacén.

En el edificio se encontraba instalado un sistema de climatización enfriado por agua helada para uso exclusivo del almacén, el mismo que no abastecía la necesidades de enfriamiento, debido a que en el almacén se habían realzados varias remodelaciones desde su inauguración que no fueron consideradas en el diseño y a la vetustez del sistema de climatización.

En el presente trabajo se describe del sistema anterior y del actual su constitución y funcionamiento.

El proyecto consiste en la climatización de la ampliación del primer piso y mejorar la climatización del resto de las plantas del de acuerdo a las condiciones actuales de diseño.

Para la ejecución de este proyecto, se realiza un estudio térmico de las antiguas instalaciones del almacén y las áreas nuevas, utilizando para ello el programa de cálculo de carga de CARRIER "Block Load 3.05" . Para el uso de este programa se debieron determinar los diversos datos que se deben ingresar al programa, tales como son: los coeficientes de transferencia de calor de los diversos materiales, el consumo de energía eléctrica de los diversos elementos eléctricos , etc.. Una vez ingresado los datos en el programa determinamos la carga térmica total del proyecto.

Una vez que se realizo el calculo de carga térmica y el estudio de la climatización del sistema completo, se determino que el sistema existente en el edificio era deficiente y no tenia la capacidad de enfriamiento que se requería, por lo cual se opto por instalar dos unidades enfriadoras de agua (chillers) de 93 TR cada uno para climatizar la nueva planta y mejorar la climatización del sistema existente.

Finalmente se realizan las respectivas pruebas y calibración de los equipos y otros componentes y el análisis técnico - económico del sistema instalado.

CAPITULO 1

1. REQUERIMIENTOS DE CLIMATIZACION.

El proyecto consiste en realizar la climatización del nuevo piso destinado para uso del almacén y un mejoramiento general de todas las áreas del mismo, el cual presentaba ciertas deficiencias. Producto de la vetustez y la falta de mantenimiento del sistema.

El Edificio del almacén Pica se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil, en la esquina suroeste de la Ave. 9 de Octubre y la calle Boyacá. En este edificio de cinco pisos (ver figura 1.1), ha venido funcionando el almacén en las plantas del sótano, planta baja y mezanine con un sistema de climatización insuficiente , que consistía un sistema de agua helada constituido por dos unidades enfriadoras de agua (chillers) y varias manejadora de aire (UMAS) distribuidas por cada una de las plantas destinas para uso del almacén.

FIGURA 1.1 EDIFICIO DE ALMACÉN PICA EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

La función principal de los sistemas de climatización es la de ofrecer un confort a los clientes que se encuentran en el ambiente acondicionado. Para ello se debe controlar y modificar cuatro condiciones del aire.

TEMPERATURA (T) : es la que describe la sensación de frió o calor, se la determina con el uso de un termómetro convencional.

HUMEDAD : el calor humano se pierde por evaporación a través de la piel. La evaporación se debe a la baja humedad relativa del aire , las

altas humedades la retardan, esto da una idea de la importancia del control de la humedad.

MOVIMIENTO DEL AIRE: da la velocidad con que el cuerpo humano incrementa o disminuye la perdidas de calor, humedad y modifica la sensación de frió o calor.

LIMPIEZA DEL AIRE: el aire esta compuesto de impurezas, tales como polvo, vapores, químicos . Todo esto debe ser filtrado , sea un aire interior o exterior al espacio a climatizar.

1.1 Descripción de nuevas áreas de climatización.

El edificio es una construcción desde hace unos 30 años de antigüedad aproximadamente y no se tiene registro de su construcción, por lo cual se debe realizar un levantamiento planimetrico y arquitectónico de cada una de las plantas para así tener la información requerida y realizar los cálculos de carga térmica total del almacén. La nueva área a climatizar es el primer piso del edificio, el cual es utilizado como bodega y por lo tanto no esta climatizado, esta planta mantiene la misma arquitectura del las demás plantas utilizadas como almacén.

Las áreas a mejorar el sistema de climatización son: sótano, planta baja, mezanine los cuales están climatizados con el sistema ya existente en el edificio.

Las áreas de cada una de las plantas empleadas como almacén las podemos observar en la tabla 1.

TABLA 1

DIMENSIONES DE AREAS DE ATENCION AL PÚBLICO

DIMENSIONES DE AREAS		
PLANTAS	**AREAS (mts^2)**	**AREAS ($feet^2$)**
Sótano	849	9134
Baja	570	6132
Mezanine	635	6832
Primer Piso	643	6925

El piso de las plantas de almacén esta formado por una losa de hormigón armado, mortero y piso terminado por baldosas de 50 cm. x50 cm.

Las paredes del almacén están construido por bloque de hormigón con enlucido interior y exterior, las paredes adyacentes a la avenida 9 de octubre y las calles Boyacá son de vidrio, las paredes del área de sótano no posee vidrio en sus paredes.

La iluminación se la realiza con lámparas de 2x40 vatios e iluminarías tipo ojo de buey para los lugares de exhibición.

La iluminación en el sótano es de 18,268 vatios, la planta baja es 12,264 vatios, la de mezanine es 13,664 vatios y en el primer piso es de 13,850 vatios.

El tumbado falso es de tipo yeso (gypsum) , entre la loza y el tumbado falso hay un espacio muy reducido para poder colocar la red de ductos par climatizar el almacén , en el área de tumbados no hay una concentración elevada de temperatura por cuanto el almacén esta entre pisos del edificio y el único factor que hay que considerar es el calor producido por las luces al interior del tumbado.

La planta del sótano no tiene tumbado Las áreas de planta baja , mezanine y primer piso están comunicadas por escaleras eléctricas y el área de sótano y planta baja por escaleras normales de estructura

metálica. Además el edificio posee escaleras construidas de hormigón para salidas de emergencia.

Las plantas están distribuidas de la siguiente manera:

1. Sótano para artículos plásticos para el hogar y juguetería
2. Planta baja para sección de juguetes y zapatería.
3. Mezanine sección de vajillas y artículos de cristal para el hogar
4. Primer piso artículos para el hogar como son mesas, adornos, electrodomésticos.

Los componentes de carga térmica mas considerables del edificio son las personas y según los datos proporcionados por Pica , mostramos en la siguiente tabla la afluencia mensual de personas en los tres meses considerados como críticos.

TABLA 2

AFLUENCIA MENSUAL DE PERSONAS AL ALMACEN

	AFLUENCIAS DE PERSONAS		
PLANTAS	**MARZO**	**AGOSTO**	**DICIEMBRE**
Sótano	185	120	250
Baja	225	195	260
Mezanine	200	192	250
Primer Piso	285	200	350

Otro factor importante son las paredes de vidrio perimetrales a las calle Boyacá y la Ave. 9 de Octubre las mismas que son utilizadas como vitrinas de exhibición. Para determinar la carga térmica del edificio se utilizara el programa de calculo de carga de la empresa Carrier “Block Load 3.05 “.

En este programa se tienen que ingresar algunos datos de entrada los cuales detallamos en las siguientes pantallas del programa de ingreso de datos:

Area de proyecto (Edit City).- en esta pantalla se ingresa los datos de la región, país , ciudad del proyecto. El programa posee una base de datos de la latitud, elevación, temperatura de bulbo seco, bulbo húmedo en invierno y en verano de las ciudades del mundo. Si el programa no tiene registrada la ciudad del proyecto este permite ingresar dicho valores y procede a grabarlos en su base de datos.

Información del sistema (HVAC System Information) .- en esta parte se ingresa los datos de las condiciones generales del proyecto como son: nombre del área a climatizar, seleccionar si el sistema es

de enfriamiento solamente o de calefacción o los dos a la vez. Las horas de encendido del equipo y el tiempo de funcionando el mismo, la ventilación del ambiente, la cantidad de aire extraído forzadamente, la temperatura de enfriamiento y de calentamiento, factores de seguridad en el calculo de la carga térmica.

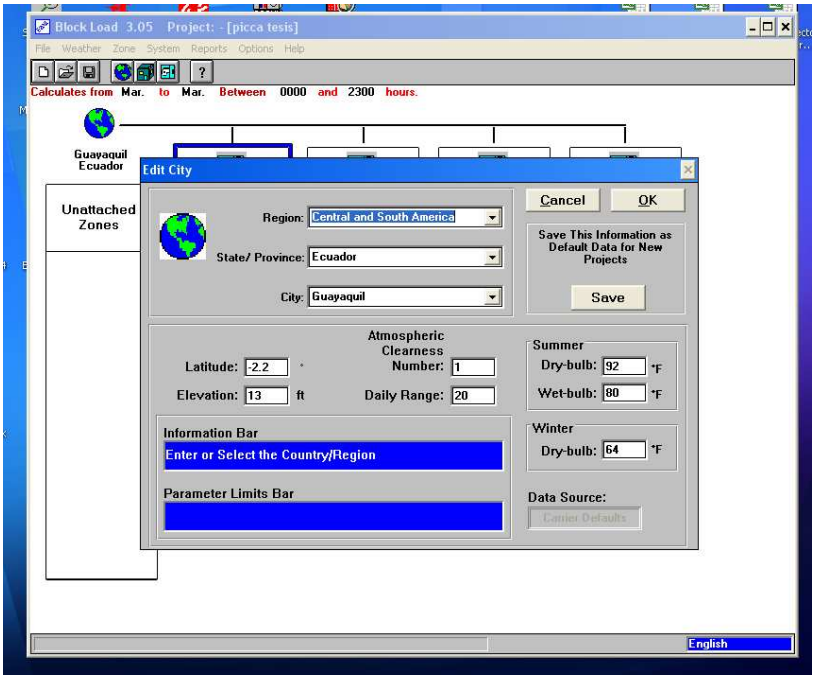


FIGURA 1. 2 PANTALLA 1 DEL PROGRAMA DE CÁLCULOS DE CARGA TÉRMICA

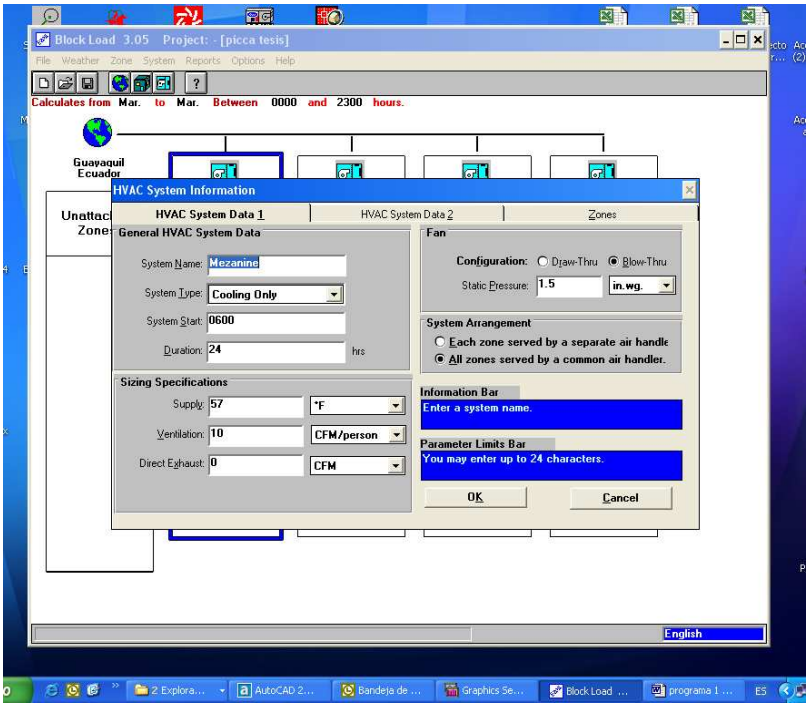


FIGURA 1.3 PANTALLA 2 DEL PROGRAMA DE CÁLCULOS DE CARGA TÉRMICA

Zonas climatizadas (Zone Information) .- en esta parte se ingresa el nombre de la zona , el área de la zona, la potencia de iluminación , la cantidad de personas en el área y sus respectivos valores de calor sensible y latente según sus actividades (bese de datos del programa) , la infiltración en la zona, los coeficientes de trasferencias de los diversos tipos de paredes ,cubiertas y vidrios existentes en la zona, de igual forma el área de los mismos y particiones existentes con sus respectivas orientaciones según los puntos cardinales.

El programa permite ingresar hasta quince sistema de climatización (HVAC System) por proyecto y cada sistema (HVAC System) puede contener hasta 20 zonas (Zone).

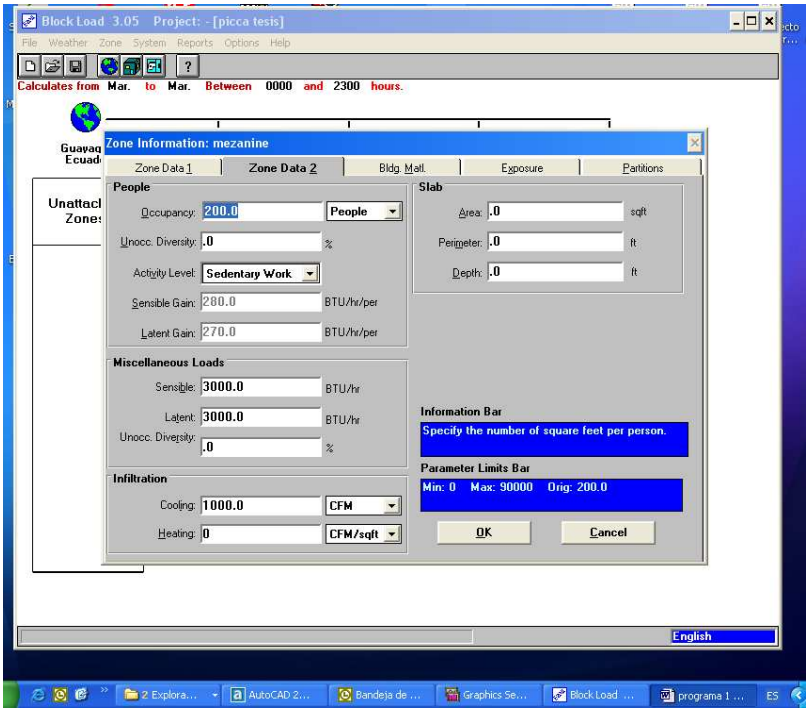


FIGURA 1.4 PANTALLA 3 DEL PROGRAMA DE CÁLCULOS DE CARGA TÉRMICA

1.2. Sistema de climatización existente y sus limitaciones

El sistema de climatización existente en el edificio de almacenes PICA esta constituido de la siguiente manera: (Ver tabla 3).

Sistema de agua helada.

En la Terraza:

(2) Unidades enfriadoras de agua (Chillers) de 50 TR c/u enfriados por aire, de tipo de compresores semihermeticos de pistón, marca Carrier , modelo 30GB055. Los mismos que se encuentran en un estado aceptable a pesar de su tiempo de operación.

(2) Bombas de agua

En el sótano:

(8) Unidades tipo Fan-Coil tipo decorativas de piso techo de 1.5 TR .

En planta baja:

(1) Unidad tipo UMA de 30 TR.

(2) Unidades tipo UMA de 7.5 TR.

En Mezanine:

(1) Unidad tipo UMA de 30 TR.

(1) Unidad tipo UMA de 7.5 TR.

TABLA 3

DISTRIBUCION DE EQUIPOS EXISTENTES.

DISTRIBUCION DE EQUIPOS EXISTENTES					
PLANTAS	**CANT.**	**TIPO DE EQUIPOS**	**CAP. (MBTU/HR)**	**CAP. (TR)**	**CAP. TOTAL (TR)**
Sótano	8	FAN-COIL	18	1.5	12
Baja	1	UMA	360	30	30
	2	UMA	90	7.5	15
Mezanine	1	UMA	360	30	30
				TOTAL	94.5

Sistema de distribución de aire.

El sistema de distribución de aire esta formado por ductos instalados de manera perimetral y rejillas de suministro frontales en cada una de las plantas del almacén a excepción del sótano donde esta climatizado por unidades decorativas de piso techo.

Los ductos se encuentran recubiertos del mismo tumbado tipo gypsum de modo que forma un dintel perimetral en cada una de las plantas de las áreas del almacén.

El sistema de climatización existente tiene una deficiencia en su capacidad de enfriamiento debido a el tiempo de operación de los

equipos (30 años) y a las modificaciones y ampliaciones que se han estado dando en el área de almacén , las mismas que no fueron consideradas en el diseño original .

Además de ciertos daños en el sistema como son el deterioro de ciertos serpentines (coil) de las manejadoras de aire debido al uso excesivo de químicos al realizar la limpieza. La corrosión de las tuberías y sus aislamientos, válvulas , etc.

1.3 Parámetros de operación.

Entre los parámetros de operación debemos considerar en este proyectos tenemos los siguientes::

Las condiciones exteriores de diseño las cuales han sido tomadas del Handbook Fundamentals de ASHRAE (2001) y de los datos del programa de Block Load de la empresa Carrier..

- Temperatura de bulbo seco : 92 °F
- Temperatura de bulbo húmedo : 80°F

Además también las condiciones interiores de diseño utilizando para ello el criterio de las normas de climatización para tiendas de artículos varios Temperatura de bulbo seco: 75°F.

Humedad Relativa: 50 – 70 %HR.

Criterio de ruidos: 30 – 45 NC

Velocidad de ductos principales 1200 FPM

Velocidad de ductos secundarios 1000 FPM.

Velocidad del aire en difusores y rejillas: 450 a 500 FPM.

CAPITULO 2

2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACION.

2.1. Determinación de carga térmica en función de afluencias de personas y épocas del año.

Para realizar la determinación de la carga térmica debemos considerar que la misma varia en cada uno de las plantas del edificio del almacén, en las diferentes épocas del año, tanto por sus condiciones ambientales como por la afluencia de personas.

Tanto así que en la ciudad de Guayaquil en el mes de marzo es la época mas calurosa y en el mes de diciembre es cuando se tiene la mayor afluencia de personas en el almacén, por esta razón realizamos una comparación de las cargas térmicas calculadas en función de estas dos variables. Los datos de afluencia de personas fueron proporcionados por el grupo PICA basado en datos recopilados durante los últimos tres años antes de este proyecto. (ver tabla 2) .

Además para calcular la carga térmica de las diversa plantas del almacén debemos determinar mediante calculo o por el uso de tablas los coeficientes de transferencia de calor de las paredes , tumbado y vidrios.

De esta forma podemos mostrar en la tabla 4 los resultados del calculo de la carga térmica para lo cual se utilizo el programa de Block Load 3.05 de la empresa Carrier.

TABLA 4

DETERMINACION DE CARGAS TERMICAS

CALCULO DE CARGA TERMICA						
PLANTAS	**MARZO**		**AGOSTO**		**DICIEMBRE**	
	MBTU/HR	**T.R.**	**MBTU/HR**	**T.R.**	**MBTU/HR**	**T.R.**
Sótano	463	38.57	348	29.03	555	46.21
Baja	663	55.26	532	44.35	732	60.99
Mezanine	447	37.23	392	32.63	521	43.42
Primer Piso	579	48.27	431	35.90	675	56.26
	TOTAL	179.33	**TOTAL**	141.91	**TOTAL**	206.88

.

Como podemos observar la mayor carga térmica se genera en el mes de diciembre cuando se tienen la mayor afluencia de personas

en el almacén, siendo su carga térmica de 2,482 MBTU/HR. (206.88 TR).

2.2. Selección entre equipos de expansión directa y agua helada.

Para la determinación del sistema mas adecuado para realizar la climatización del edificio , se debe considerar lo siguiente:

El espacio físico en la terraza del edificio para la instalación de unidades condensadoras.-

No se tiene mucho espacio físico como para instalar varias unidades condensadoras de expansión directa en la terraza.

La distribución del edificio para realizar las bajantes de las tuberías hasta cada uno de los equipos que climatizan cada piso..-

Existe un solo ducto vertical de cemento en el edificio por donde pueden instalarse una tubería de agua helada , pero no es muy amplio como para instalar todas las tuberías de cobre los equipos de expansión directa que el proyecto requiera.

La existencia de un sistema de agua helada ya instalado en el edificio.-

El cual lo podíamos mejorar para utilizar sus partes y así bajar los costos de inversión en el nuevo sistema de climatización.

El consumo de energía.-

El consumo de energía de un sistema de agua helada es mucho más bajo que el consumo de energía de un sistema de expansión directa, Esto lo podemos determinar, comparando el consumo de energía simulando que el sistema actual este formado por unidades de expansión directa y comparado con el consumo de energía del sistema actual instalado. Además como sabemos de manera teórica que el factor EER de un sistema de expansión directa esta entre 8 – 10 mientras que en un sistema de agua helada es de 13 – 14.5.

Analizando estas consideraciones determinamos los factores bajo el cual elaboramos una matriz de decisión del sistema mas optimo a ser instalado, para lo cual nuestra matriz de decisión estará formada por los siguientes parámetros: inversión , consumo de energía , costo de mantenimiento, espacio físico. Los valores designado para esta matriz de decisiones están entre 1 y 10, siendo el valor de 1 a 3 para el menos adecuado; de 4 a 6 para poco aceptable ; de 7 a 8 para aceptable ; 9 para adecuado y 10 para el más adecuado.

TABLA 5

MATRIZ DE DECISION

MATRIZ DE DECISIONES		
	Sistema de Expansión Directa	**Sistema de Agua Helada**
Inversión inicial	4	8
Consumo de Energía	6	9
Mantenimiento	6	8
Espacio Físico.	2	8
TOTAL	**18**	**33**

Como podemos observar en la matriz de decisión el sistema más adecuado para climatizar las áreas del almacén es el sistema de agua helada.

2.3. Selección de equipos.-

Para la selección del sistema de agua helada necesitamos determinar los diversos componentes del mismo como son:

Unidades Manejadoras de Aire (UMA).

Para la selección de las diversas manejadoras de aire necesarias para climatizar las correspondientes áreas, debemos considerar que

la ubicación de las mismas, deberán ser en los mismos cuartos de equipos existentes.

Las manejadoras de aire seleccionadas son de la marca Carrier, razón por la cual los equipos seleccionados deben ser ajustados capacidades requeridas en el sistema de acuerdo al calculo de carga térmica realizado para cada área. Ver tabla 6.

TABLA 6

DISTRIBUCION DE UMAS NUEVAS POR PLANTA

DISTRIBUCION DE UMAS NUEVAS INSTALADAS					
PLANTAS	**CANT.**	**TIPO DE EQUIPOS**	**CAP. (MBTU/HR)**	**CAP. (TR)**	**CAP. TOTAL (TR)**
Sótano	8	FAN-COIL	36	3	24
	3	UMA	90	7.5	22.5
Baja	2	UMA	240	20	40
	2	UMA	150	12.5	25
Mezanine	2	UMA	240	20	40
	2	UMA	150	12.5	25
Primer Piso	2	UMA	360	30	60
				TOTAL	236.5

Unidades Enfriadora de Agua (CHILLER).

Realizada la selección de las manejadoras de aire (UMAS) , procedemos a determinar el caudal de agua necesario para cada de las mismas , para determinar el caudal total de agua del sistema.

Una vez que determinamos el caudal del sistema (599 gpm) y conociendo la capacidad de enfriamiento del mismo, seleccionamos la unidad enfriadora de agua utilizando para ello el catalogo correspondiente de la Marca Carrier. Es importante considerar que en el sistema instalado existen dos unidades enfriadoras de agua (chillers) de 50 TR cada una. Para este sistema hemos seleccionado dos unidades enfriadoras de agua de 93 TR enfriadas por aire, con compresores de tornillo, dando lugar a las posibles combinaciones en los usos de las unidades enfriadoras de agua (chillers). Empleando las dos unidades de 93 TR y una de 50 TR en el mes de diciembre, época de mayor requerimiento de capacidad de enfriamiento, mientras que en el resto del año la unidad de 50 TR está en espera de arranque.

Selección de Tuberías y Accesorios.

La selección de tubería se la realiza en función del caudal que debe suministrarse a cada una de las UMAS y la velocidad de flujo que

debe ser casi constante , evitando que exista una elevada caída de presión en la misma por efecto de la rugosidad de la tubería.

Para determinar los diversos diámetros de tubería a instalar, debemos considerar la caída de presión que se produce en la misma debido a factores como son : velocidad del agua (entre 6 y 8 ft/min.) rugosidad de superficie interior del tubo ; longitud del tubería y el diámetro interno de la tubería. Es importante mencionar que la caída de presión producida por los accesorios es considerable despreciable comparada con la trayectoria de la tubería, en la determinación de los diámetros de la misma. Los diámetros de tubería lo vamos a obtener con ayuda del uso de la tabla 7.

Selección de Bombas.

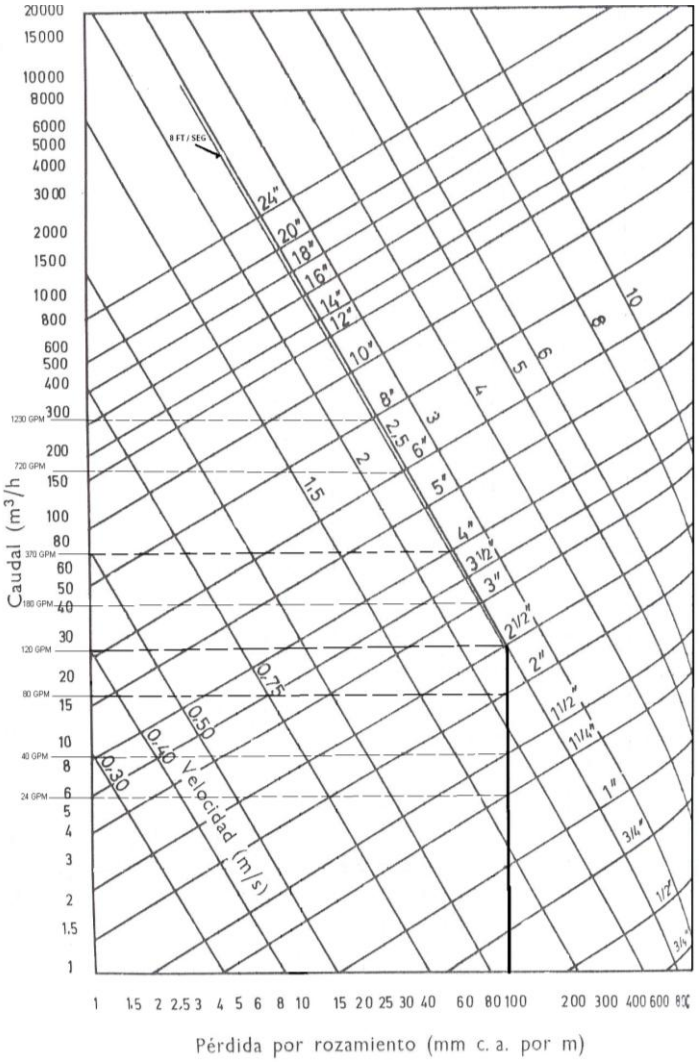
Para este sistema hemos considerado dos sistemas de bombeo , primario y secundario. El sistema primario es el que impulsa el flujo de agua a través de los chillers y esta constituido por tres bombas marcas Amstrong de 5 hp y 199 GPM cada una , conectadas en paralelo de la cuales una de las bombas esta en stand by

El sistema secundario es el que impulsa el flujo de agua desde el header de bombas a cada una de las UMAS y esta constituido por

dos bombas marcas Amstrong de 15 Hp y 598 GPM , cada una , conectadas en paralelo y una de ellas esta en stand y.

TABLA 7

PERDIDAS POR ROZAMIENTOS EN LOS SISTEMAS CERRADOS DE TUBERIAS (TUBO DE ACERO)



Construcción e Instalación de Ductos.

Para la construcción y montaje de ductos se aplica las normas de SMACNA (Shett Metal and Air Conditioning Contractors Nacional Association).

Los ductos están diseñados para una presión estática de hasta 1" de agua de caída de presión, utilizando un factor de fricción constante de 0.1 s. p. por cada 100 pies de longitud

Los ductos son construidos con lamina de acero galvanizado de acuerdo a la norma Smacna de ductos de baja presión, los espesores de planchas de acuerdo a las dimensiones de ductos se los detalla en la tabla # 8, tanto para juntas transversales como para longitudinales.

La fabricación de las uniones transversales son de tipo Pittsburg (doblado de la lamina de acero galvanizado de modo que se pueda traslapar con el otro tramos de la plancha y así formar el ducto de sección rectangular) , las mismas que son construidas con una maquina laminador de rodillo (Lockformer). Todos los ductos se sujetaron de la losa superior de cada una de las plantas utilizando flejes fabricados en plancha galvanizada. Ver figura del apéndice B

Los ductos se aislaron con lana de vidrio con lámina de aluminio. (ver figura del apéndice)

TABLA 8

ESPESOR DE PLANCHA EN FUNCION DE DIMENSIONES DE DUCTOS

DIMENSIONES DE DUCTOS VRS ESPESOR DE PLANCHA		
Dimensión de Ductos	**Gauge**	**Espesor en m. m.**
Hasta 30”	28	0.50
De 31” hasta 42”	26	0.60
De 43” hasta 54”	24	0.70
De 55” hasta 72”	22	0.90

2.4 Montaje de equipos.

La construcción de la plataforma donde se asientan las unidades enfriadoras de agua (chillers) estuvo a cargo del contratista civil, previamente se le dio el peso de cada uno de las unidades. Se comprobó que el perfil instalado por el contratista civil era el adecuado. Las unidades enfriadoras de agua son soportadas en rieles de base fija. (ver figura 2.1) .

Todas las tuberías internas y el cableado eléctrico de fuerza y control es instalado y probado desde la fabrica.

FIGURA 2.1 UNIDADES ENFRIADORAS DE AGUA (CHILLERS)

Las manejadoras de aire (UMAS) requieren tanto de interconexiones del ductos (sistema de distribución de aire) y interconexión eléctrica de parte del contratista eléctrico . En el interior de la unidad se realizaran la conexiones pertinentes para poder dar arranque al sistema . Se tomo precaución de las recomendaciones dadas pro el fabricante, en el sentido de que las UMAS sean instalen en cuartos de equipos , como se aprecia en la figura 2.2 y 2.3.

En cada una de las UMAS se instalo una válvula de tres vías en la tubería de retorno de agua, la misma que fluctúa de acuerdo a la variación de temperatura que el termostato de respectivo de la UMA este censando.

FIGURA 2.2 CUARTO DE EQUIPO DE UMA

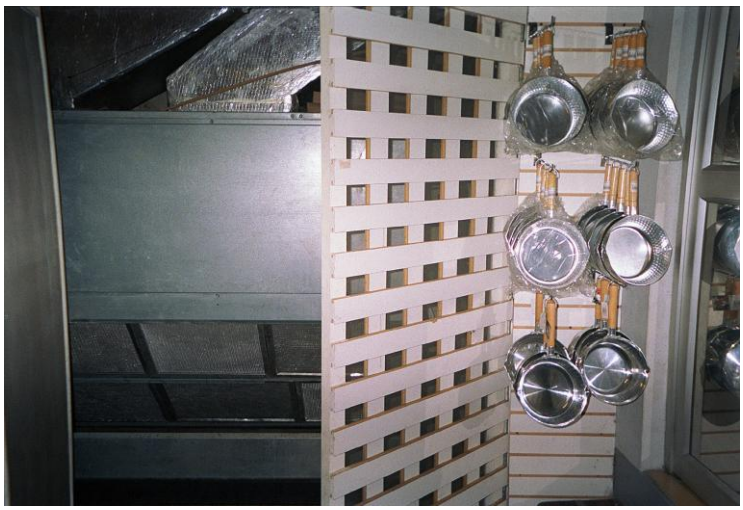


FIGURA 2.3 CUARTO DE EQUIPO DE UMA (DETALLE DEL RETORNO)

La distribución de aire se realizo mediante la instalación de ductos perimetralmente a las áreas a climatizar y rejillas de suministro de aire frontales como podemos apreciar en la figura 2.4, ha excepción del sótano en donde se instalaron las unidades tipo piso-techo (fan-coil) decorativas, ver figura 2.5.

FIGURA 2.4 INSTALACIÓN DE REJILLAS DE SUMINISTRO DE AIRE

FIGURA 2.5 INSTALACIÓN DE UNIDADES TIPO FAN-COIL

Las bombas fueron instaladas en la planta de la terraza, en la parte inferior de la plataforma donde se encuentran ubicadas las unidades enfriadoras de agua, agrupándolas de acuerdo a los circuitos de bombeo correspondiente (primario y secundario).

Todas las tuberías son aisladas con aislamiento del tipo rubatex de 1” de espesor en forma de mangas o cañuelas, las tuberías exteriores poseen un recubrimiento de aluminio adicional en forma de encamisado para evitar el deterioro del aislamiento por agentes externos. Tal como podemos observar en las siguientes figuras.

FIGURA 2.6 CIRCUITO PRIMARIO DE BOMBAS

FIGURA 2.7 CIRCUITO SECUNDARIO DE BOMBAS

Cronograma de trabajo.-

La ejecución de la instalación del sistema de climatización de agua helada tuvo una duración de 45 días laborables, considerando laborable de lunes a viernes desde las 9: 00 hasta las 21: 00 horas.

La instalación del sistema de climatización se la realizo por eventos, a continuación presentamos un cronograma de trabajo tal como lo demuestra la figura 2.8.

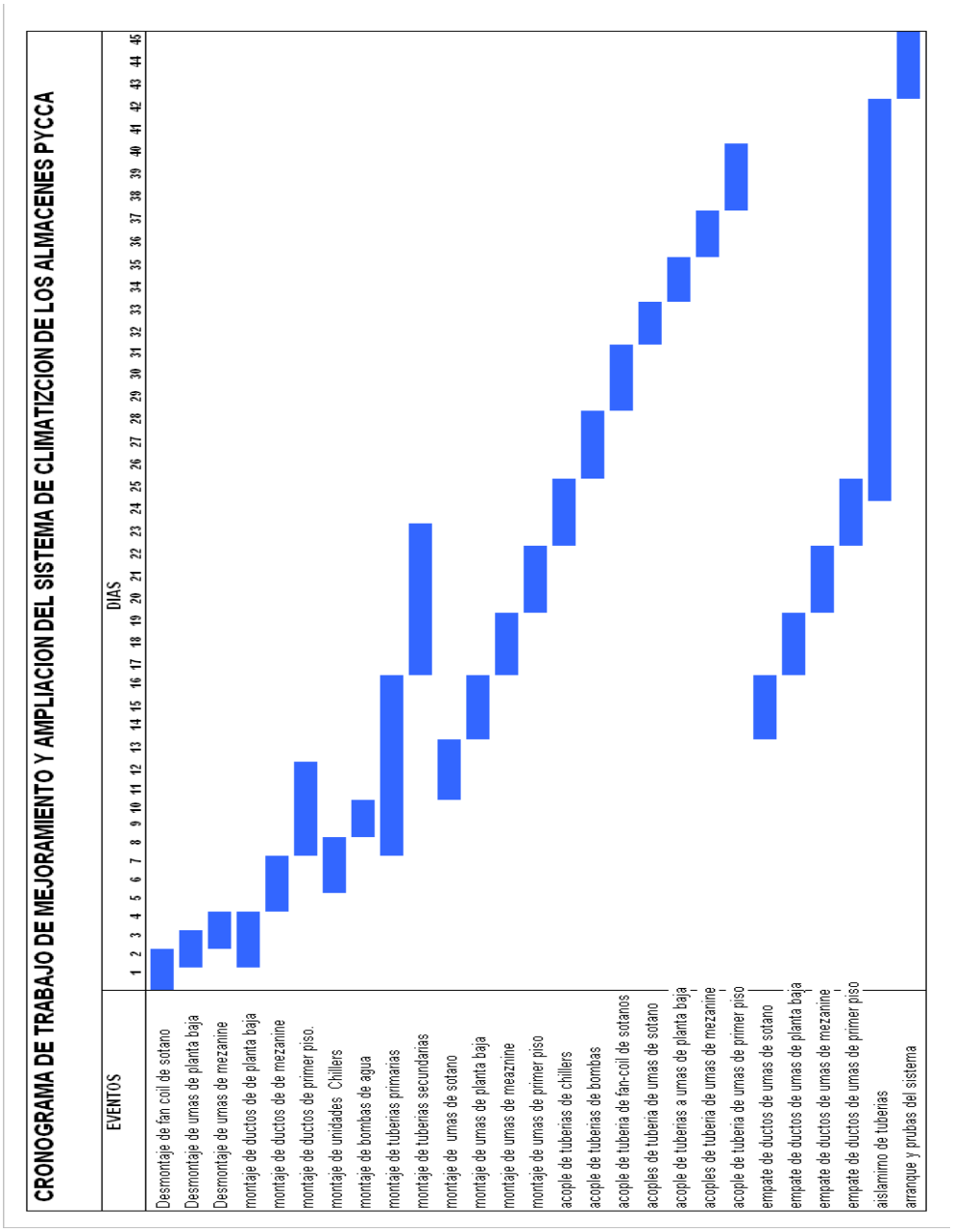


FIGURA 2.8 CRONOGRAMA DE TRABAJOS

2.5. Prueba de funcionamiento, calibración y puesta en marcha.

Se realizaron las conexiones de fuerza y control correspondientes tanto en la unidad enfriadora de aire como en las bombas, chequeando que deben estar energizadas eléctricamente desde un disyuntor (breaker), se las reviso y tenían las protecciones adecuadas. Después de seguido los pasos anteriores , se energizo las resistencias térmicas del compresor por 24 horas como mínimo, antes de probar cada compresor, si esto no se realiza el compresor puede sufrir daños.

Después se procedió a darle arranques momentáneos a cada compresor de las unidades enfriadoras de agua y se comprobó que no hubiera falla alguna. De igual forma se realizo con cada motor ventilador.

También se realiza una prueba de presión estática en la tubería de hierro para chequera que no exista fuga alguna, sobre todo en los cordones de soldadura o roscas de uniones en las tuberías de menor diámetro a 2".

De igual forma que las unidades enfriadoras de agua se realiza las conexiones de fuerza y control de las UMAS. Se procede a dar un

arranque momentáneo para observar el giro de los motores si están correctos , también se chequeo la tensión en las bandas.

Una vez que se realiza el arranque de los equipos, se procede a dejarlos operando por ocho horas, tiempo en el cual se considera que puede haber retirado la humedad del ambiente del almacén, luego se procedió a tomar datos de voltaje, amperaje, presiones y compararlos con los valores indicados por el fabricante, comprobando de esta manera el funcionamiento normal del sistema.

Una vez que el sistema esta puesto en marcha se calibro la temperatura de confort en cada una de las plantas, para ello se procedió a regular los termostatos y las respectivas válvulas de tres vías elementos instalados en cada uno de las unidades manejadoras.

CAPITULO 3

3. EVALUACION DEL SISTEMA IMPLANTADO.

3.1. Evaluación técnica.

El nuevo sistema de climatización, se encuentra instalado de acuerdo a las normas ASHRAE.

El encendido y apagado de las manejadoras de aire (UMAS) y las unidades enfriadoras de agua (Chilles) se lo realiza desde un tablero de control, ha excepción de las bombas, en donde las tres bombas del circuito primario se encuentra enclavadas con el encendido de cada unidad enfriadora de agua y las dos bombas del circuito secundario se encuentran enclavadas con el encendido de una de las bombas del circuito primario.

Las unidades enfriadoras de agua se encuentran operando en el sistema, en circuito paralelo unidos por un hender, tanto de suministro como de retorno de agua.

Las dos unidades enfriadoras de agua (chillers) nuevas poseen dos compresores de tornillo cada uno, el cual tiene la particularidad de encender por etapas, según sea el requerimiento de la capacidad de enfriamiento, el compresor arranca con un 40% de la capacidad del mismo e ira aumentando su capacidad por etapas de 10% hasta completar su máxima eficiencia del 100% .

Cada una de las manejadoras de aire (UMAS) posee una válvula de tres vías tipo modulante , la cual esta, en interacción con un termostato , el mismo que trasmite una señal a la válvula de tres vías para que esta permita el paso de agua helada por la misma según sean los requerimientos de la UMA. En el caso de las unidades Fan-coil estos se encuentran instalados en grupo tres y cinco unidades, a dos válvulas de tres vías respectivamente.

El consumo de energía es mayor en el nuevo sistema instalado por cuanto es de mayor capacidad de enfriamiento, pero en el siguiente cuadro mostraremos los datos técnicos de catalogo de las unidades enfriadoras de agua .

TABLA 9

DATOS TECNICOS DE LAS UNIDADES CHILLER

DATOS DE CATALOGOS DE LOS CHILLERS		
	CHILLER EXISTENTES	CHILLERS NUEVOS
Modelo	30GB055	30GX090
Capacidad Nominal (TR)	50.00	93.00
Servicio Eléctrico (Voltios)	240	240
Frecuencia (hz)	60	60
Fase (ph)	3	3
ICF (Max. Instant. Courrent Flow)	746	433 / 337.1
MCA (Minimum Circuit Amps)	267	268 /216
RLA (Rated Load Amps) Comp # 1	106.40	214.50
RLA (Rated Load Amps) Comp # 2	106.40	148.40
MOCA (Minimum Overcurrent Protect)	400	450 / 350
Unit Power Input (KW) (de placa)	64.02	104.20

Con los datos mostrados en el cuadro de datos (tabla 9) del catálogo de los equipos, podemos comparar los consumos de energía de cada uno de los sistemas.

TABLA 10

DATOS DEL CONSUMO DE ENERGIA DEL ANTIGUO Y NUEVO SISTEMA

DATOS DECONSUMO DE ENRGIA DE LOS SISTEMAS.		
	SISTEMA EXISTENTE	SISTEMA NUEVO
Consumo de energía del sistema (KW)	121.6	269.20
Factor de Coincidencia.	1	1
Capacidad del sistema (TR)	100	236
Factor de eficiencia	0.9	1
Factor de consumo (KW/TR)	1.35	1.14

Como podemos observar en el cuadro le nuevo sistema tienen un menor consumo de energía por cada TR. Por lo tanto este sistema es más eficiente que el sistema antiguo.

3.2. Evaluación económica.

A continuación presentamos un esquema comparativo del costo que involucra el consumo de energía del sistema de climatización antiguo con respecto a el nuevo sistema de climatización del edifico de almacenes PICA.

TABLA 11

DATOS COMPARATIVOS DE COSTO ELECTRICOS DEL NUEVO Y ANTUGUO SISTEMA

COSTOS COMPARATIVOS DE LAS UNIDADES ENFRIADORAS DE AGUA		
	UNIDADES EXISTENTES	UNIDADES NUEVAS
Consumo de Energía (Kw)	121.6	269.20
Factor de Coincidencia	1.00	0.65
Costo de Energía USD/Kwh	0.15	0.15
Costo Total en USD por dia (12 horas)	218.88	314.87
Costo en USD por mes (30 días)	6,566.40	9,446.11
Costo en USD por 9 meses	59,097.60	85,015.01
Costo en USD mes de Mayo	6,566.40	11,253.60
Costo en USD mes de Agosto	6,566.40	8,866.80
Costo en USD mes de Diciembre	6,566.40	14,532.48
Costo Total en USD por año	78,796.80	119,667.89

TABLA 12

DATOS COMPARATIVOS DE COSTO ELECTRICOS DE LAS NUEVAS Y ANTIGUAS BOMBAS INSTALADAS

COSTO COMPARATIVO DE BOMBAS		
	BOMBAS EXISTENTES	BOMBAS NUEVAS
Consumo de Energía (Kw)	3.73	18.64
Factor de Coincidencia	1.00	1.00
Costo de Energía USD/Kwh	0.15	0.15
Costo Total en USD por día (12 horas)	6.71	33.55
Costo en USD por mes (30 días)	201.42	1,006.56
Costo en USD por 9 meses	1,812.78	9,059.04
Costo en USD mes de Mayo	201.42	1,006.56
Costo en USD mes de Agosto	201.42	1,006.56
Costo en USD mes de Diciembre	201.42	1,207.98
Costo Total en USD por año	2,417.04	12,280.14

TABLA 13

DATOS COMPARATIVOS DE COSTO ENTRE EL NUEVO Y EL ANTIGUO SISTEMA

COSTO COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS		
	SISTEMA EXISTENTE	SISTEMA NUEVO
Costo Total en USD por año	81,213.84	131,948.03
Capacidad Total Instalada (TR)	100	236
Deficiencia del Sistema	0.90	0.95
Capacidad Real de Enfriamiento (TR)	90.0	224.20
Costo en USD/TR por año	902.38	588.53

Como podemos observar los costos del nuevo sistema son mayores, debido a que aumentamos la capacidad de enfriamiento del sistema pero resulta muy económico, comparado con el costo por cada Tonelada de Refrigeración generada.

Esto nos permite un ahorro en energía de USD 78,467.64, con lo cual estaríamos recuperando la inversión realizada en el nuevo sistema de climatización en un periodo de cuatro años.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Al realizar la instalación del nuevo sistema de climatización de los Almacenes PICA podemos concluir lo siguiente:

- El sistema nuevo instalado es más eficiente que el anterior.

- La inversión realizada en este nuevo sistema es más económica que las otras alternativas consideradas.

- La factibilidad de la recuperación de la inversión por medio del ahorro en el consumo de energía eléctrica es real.

Recomendaciones

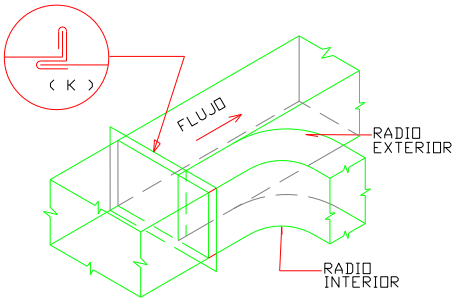
El sistema instalado opera manualmente, es decir que un técnico, lo enciende al empezar el día y luego lo apaga al terminar la jornada de atención del almacén. Nuestro siguiente paso es la automatización del encendido y apagado del sistema, esto lo haremos mediante el uso de un programa de control.

APENDICE B

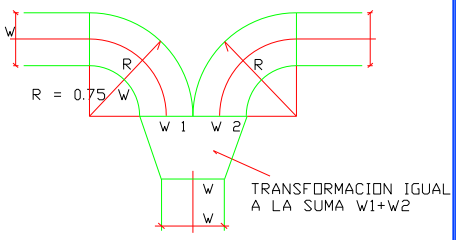
CONDICIONES DE DISEÑO

1. CONSTRUCCION E INSTALACION DE LOS DUCTOS

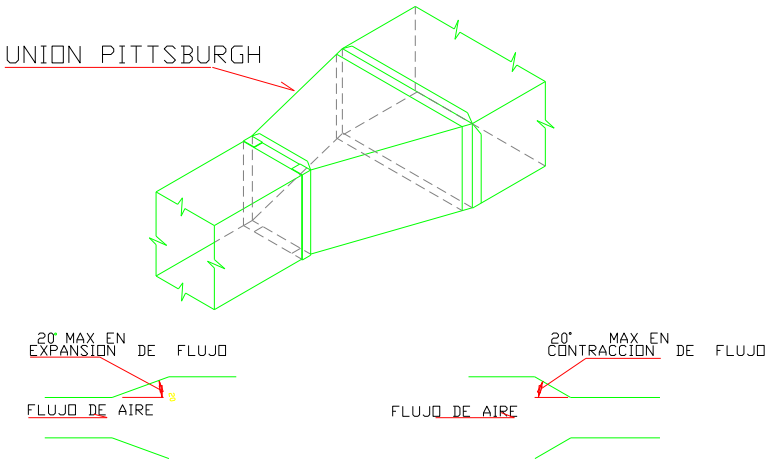
DERIVACION CON CODO REDONDO



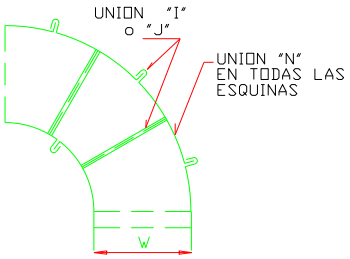
RAMIFICACION

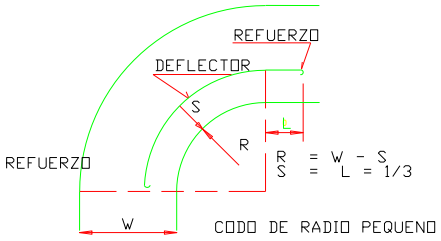


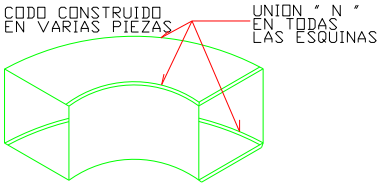
REDUCCIONES

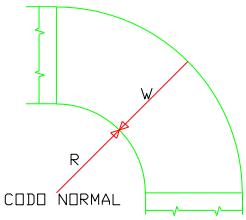


CODOS REDONDOS

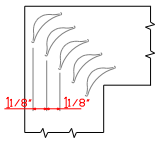




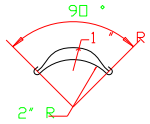




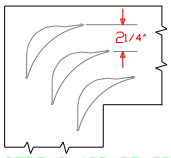
C O D O R E C T O



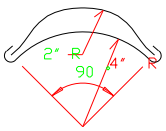
CODO CUADRADO PEQUENO



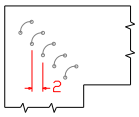
DETALLE DEFLECTOR



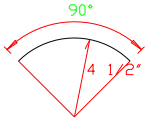
CODO CUADRADO GRANDE



DETALLE DEFLECTOR

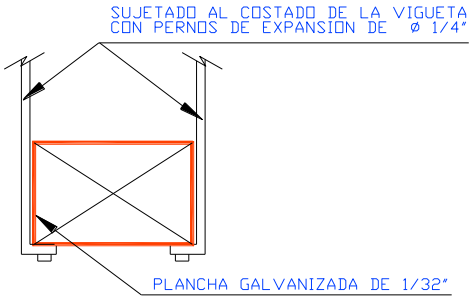


CODO CON DEFLECTOR SENCILLO



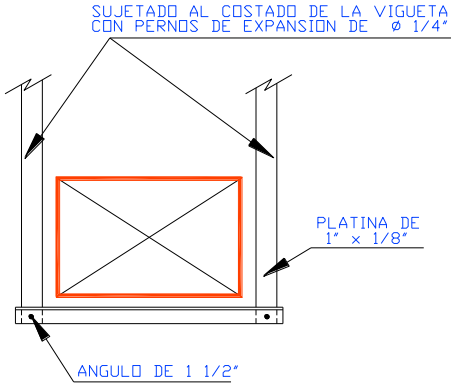
DETALLE DEFLECTOR SENCILLO

DUCTOS HASTA 30" DE LADO MAYOR



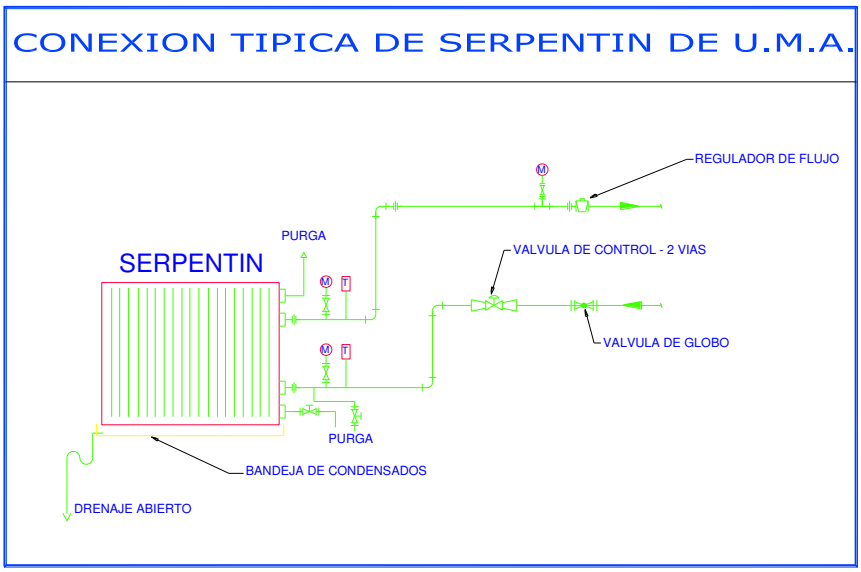
SOPORTES GALVANIZADOS

DUCTOS HASTA 60" DE LADO MAYOR

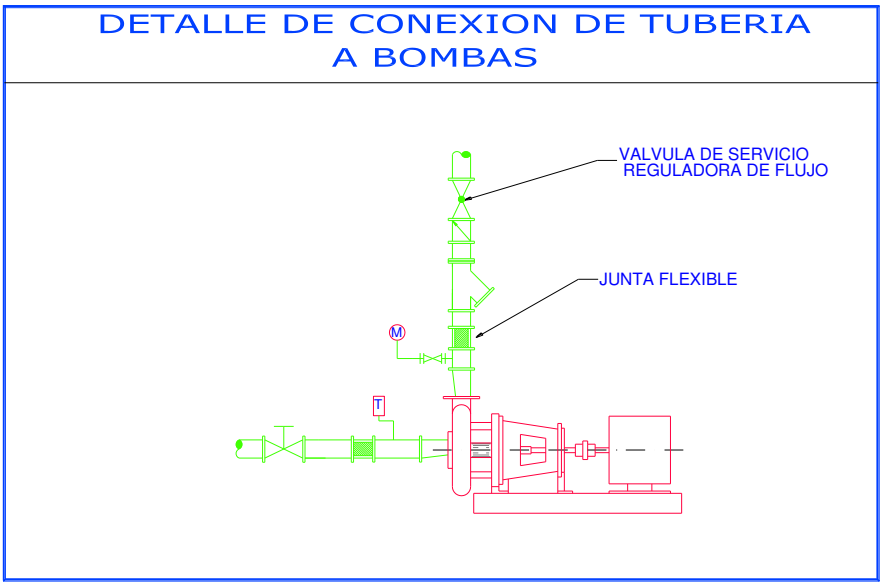


SOPORTES GALVANIZADOS

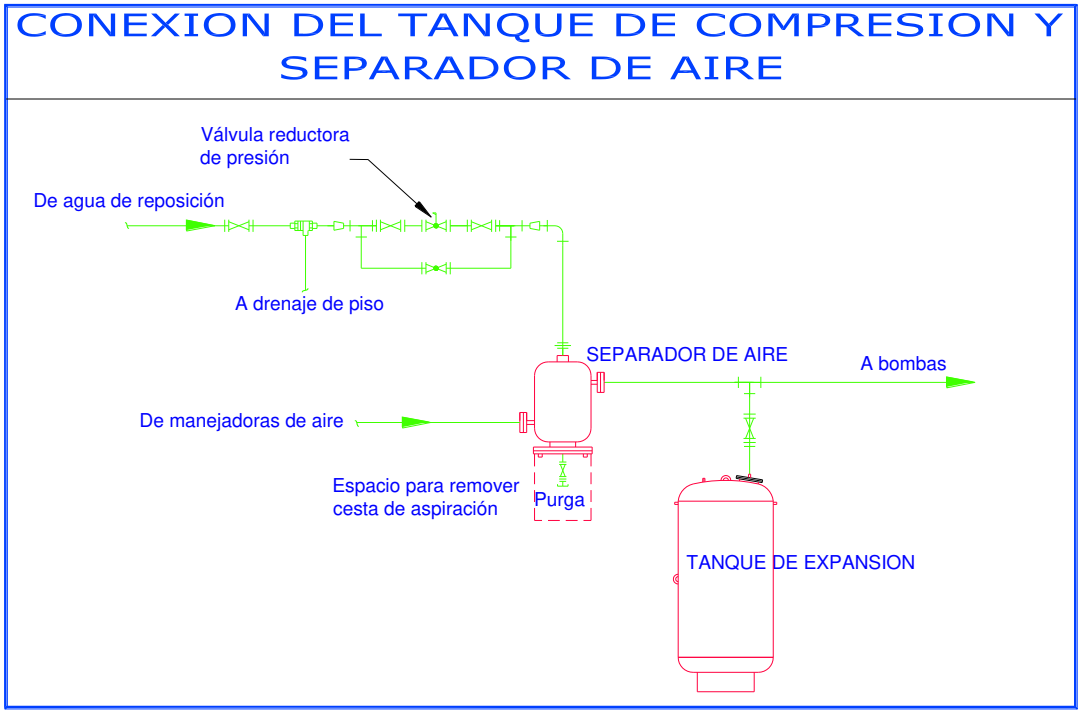
2. INSTALACION DE TUBERIAS DE UMAS



3. INSTALACION DE TUBERIAS DE BOMBAS



4. INSTALACION TIPICA DEL TANQUE DE COMPRESION Y SEPARADOR DE AIRE



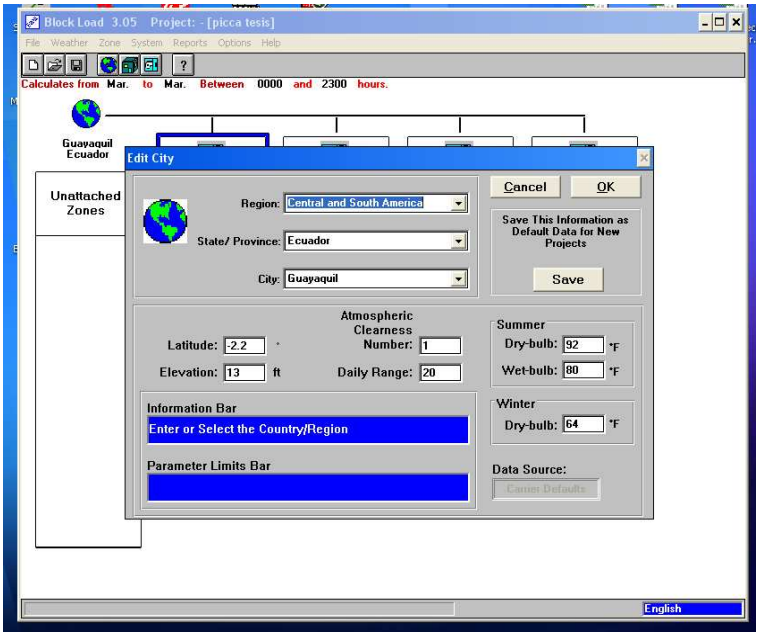
APENDICE C

RESULTADOS DEL PROGRAMA DE CALCULO DE CARGA TERMICA " BLOCK LOAD V 3.05 "

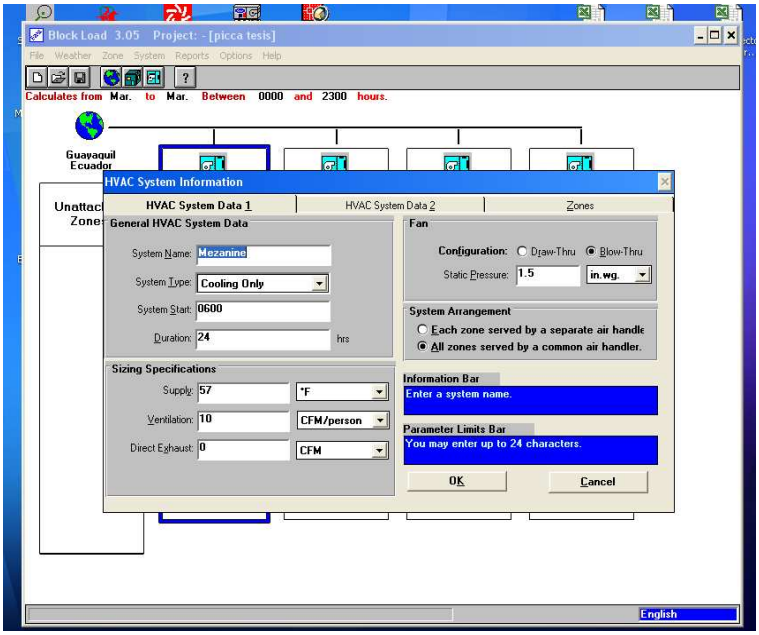
APENDICE A

PANTALLAS DE INGRESO DE DATOS DEL PROGRAMA DE CALCULO DE CARGA TERMICA " BLOCK LOAD V 3.05 "

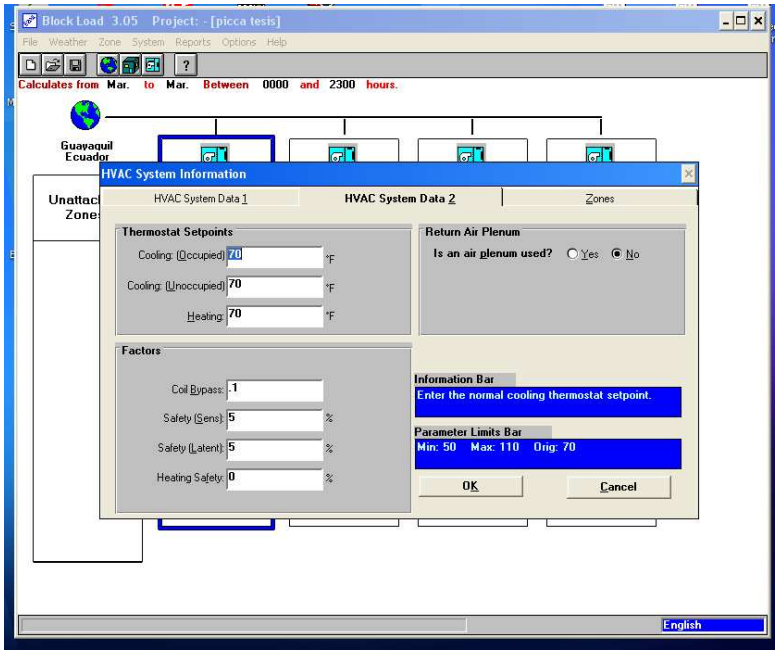
1 . PANTALLA DE INGRESO DE DATOS DE CONDICIONES DE LA CIUDAD DEL PROYECTO



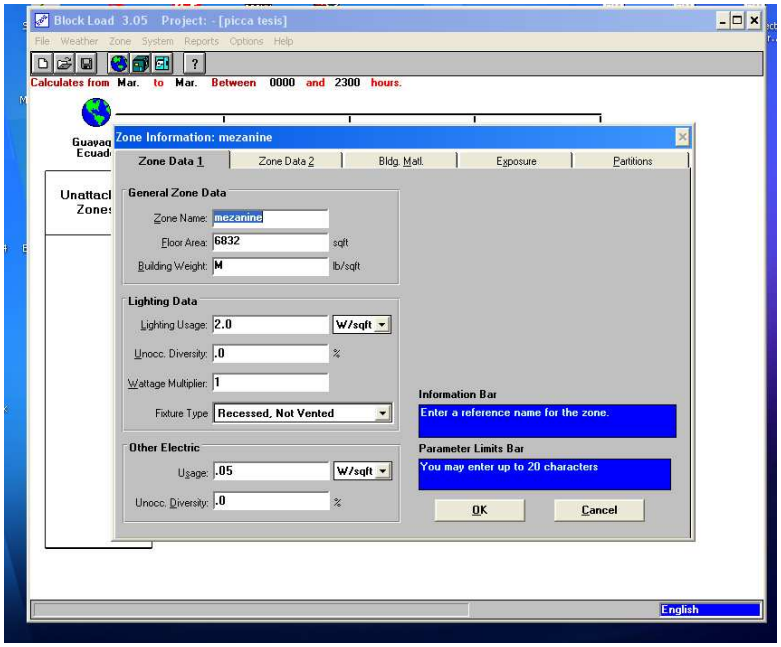
2 . PANTALLA 1 DE INGRESO DE DATOS DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE



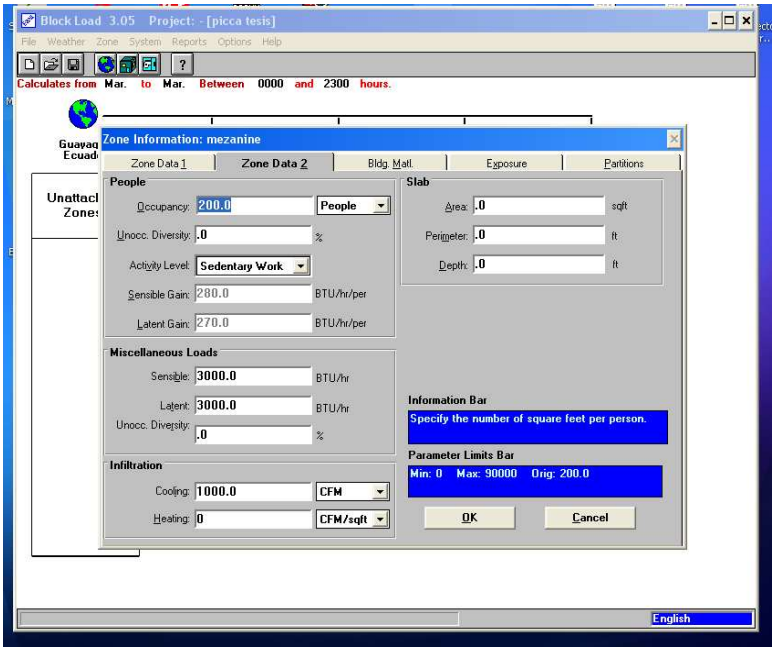
3 . PANTALLA 2 DE INGRESO DE DATOS DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE



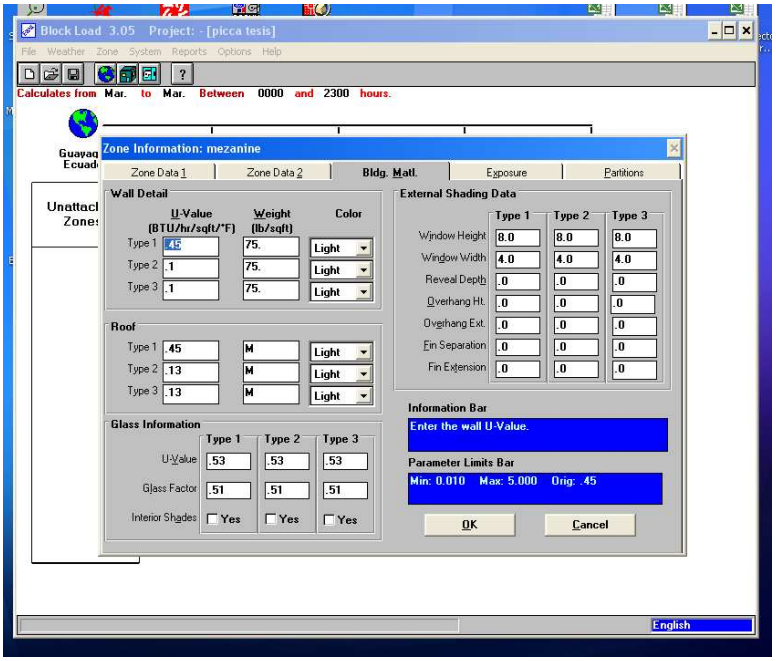
4 . PANTALLA 1 DE INGRESO DE DATOS DE LA ZONA DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE



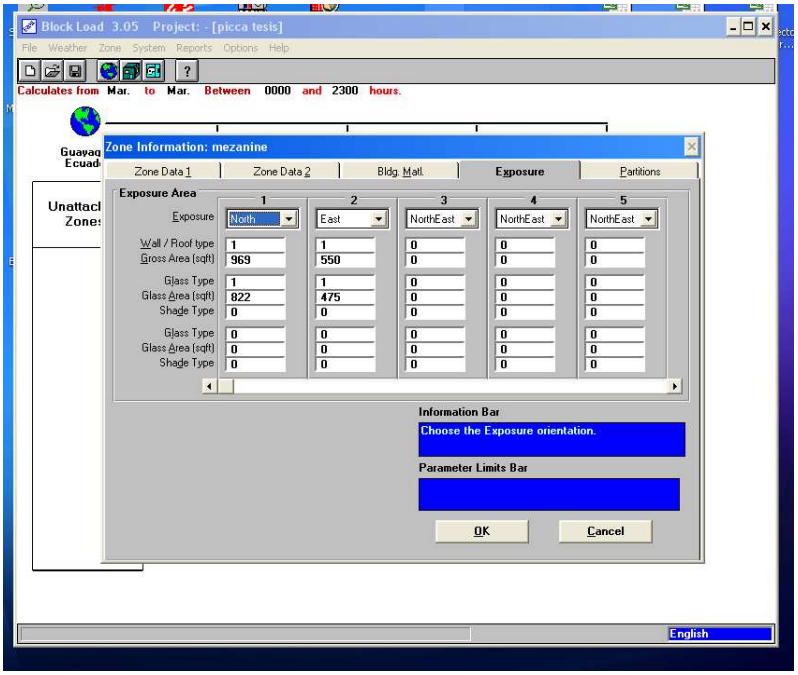
5 . PANTALLA 2 DE INGRESO DE DATOS DE LA ZONA DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE



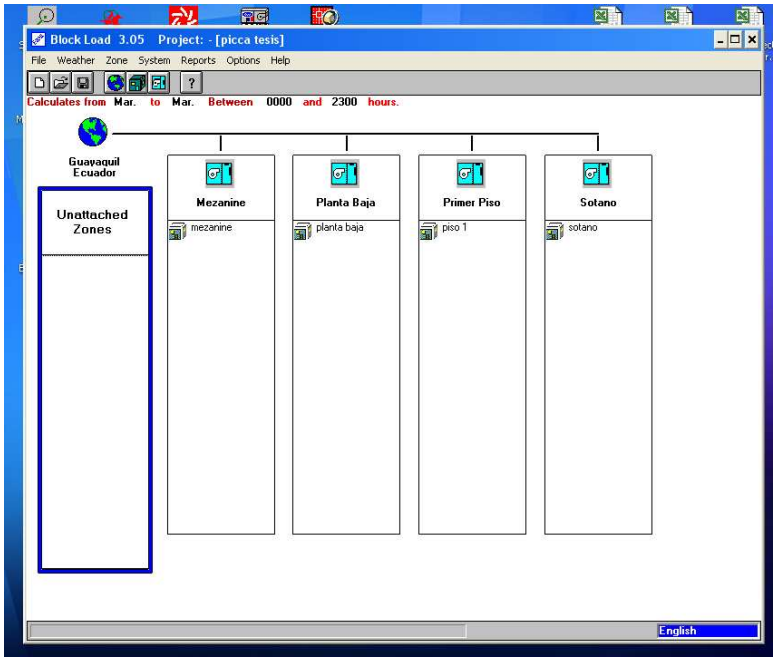
6 . PANTALLA 3 DE INGRESO DE DATOS DE LA ZONA DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE



7 . PANTALLA 4 DE INGRESO DE DATOS DE LA ZONA DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE



8 . PANTALLA 4 DE RESUMEN DE SISTEMAS DEL PROYECTO



PLANOS

BIBLIOGRAFIA

2. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Handbook o fair conditioning system design, 4ta reimpresión 1978 (impression en español), MARCOMBO S.A., de Boixareu Editores-1978, Barcelona.

2. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Light and Heavy Commercial Products and Systems Catalog (30 tons & above), 1998.

3. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Residential and light Commercial Products and Systems Catalog (27 tons & under), 1998.

4. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Block Load (programa para el cálculo de la ganancia térmica, versión 3.5

5. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Ahu Builder (programa para seleccionar manejadoras de aire, versión 5.9

6. CRANE, Flujo de fluidos (en válvulas, accesorios y tuberías), traducido de la primera edición en ingles de FLOW OF FLUIDS TECHNICAL PAPER 410, Febrero 1998, México.

7 MCNAUGHTON KENNETH J., Bombas (selección, uso y mantenimiento), traducido de la primera edición en ingles de CHEMICAL ENGINEERING GUIDE TO PUMPS, Febrero 1998, México.