

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE PARA  
UN BANCO DE PRUEBAS Y DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA  
DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA SALA GIEMA**

**JOSÉ RAFAEL MENDOZA ALBA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2007**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE PARA  
UN BANCO DE PRUEBAS Y DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA  
DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA SALA GIEMA**

**JOSÉ RAFAEL MENDOZA ALBA**

**Trabajo de grado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director**

**JORGE LUIS CHACÓN VELÁSCO  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2007**

## DEDICATORIA

*A mi maravillosa hermana ROSA HELENA, con incommensurable amor.*

*José Rafael Mendoza Alba*

## **AGRADECIMIENTOS**

De manera especial y sincera agradezco la colaboración y apoyo a todos aquellos que contribuyeron para que este proyecto se realizara:

**Ing. JORGE LUIS CHACON VELASCO.**  
**Ing. OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA.**  
**ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**  
**Director ROMULO NIÑO**  
**Ing. JORGE VIDAL.**  
**Empresa SERVIPARAMO**  
**Ing. FREDY RIBERO P.**  
**Ing. EDITH PINEDA.**  
**Empresa REFRIGERACION DEL ORIENTE**  
**Técnico NELSON VARGAS.**  
**MI FAMILIA**

*José Rafael Mendoza Alba*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	10
1. FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO	17
1.1 DISEÑO CONCEPTUAL	18
1.2 EL VALOR INGENIERIL	19
1.3 CÓDIGOS Y REGULACIONES	21
1.4 MECÁNICA DE FLUIDOS	23
1.6 TRANSFERENCIA DE CALOR	26
1.6.1 La conducción térmica.	26
1.6.2 La convección térmica	26
1.6.3 La radiación térmica.	27
1.6.4 Emisividad, absorptancia, reflectancia, transmisión.	27
1.7 CICLOS DE ACONDICIONAMIENTO	29
1.8 PSICROMETRÍA	30
1.9 SONIDO Y VIBRACIÓN	33
1.10 CALIDAD DEL AIRE	36
1.11 CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA	39
1.12 EL CONFORT	41
1.14 ESTRATEGIAS DE CONTROL	42
1.15 CONSIDERACIONES ARQUITECTÓNICAS, ESTRUCTURALES Y ELÉCTRICAS	43
1.16 CRITERIOS AMBIENTALES PARA EDIFICACIONES	46
1.17 DISEÑO PARA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	48
2. PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO	50
2.1 USO DE PROGRAMAS SISTEMATIZADOS	50
2.2 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS	53
2.3 CARGAS EXTERIORES	54
2.4 CARGA INTERIORES	56
2.4.1 El confort higrométrico	56
2.4.2 Índices de confort.	57

2.5 GANANCIA DE CALOR DEL ESPACIO	58
2.5.1 Las Infiltraciones.	62
2.6 CARGA DE ENFRIAMIENTO	63
2.7 CONVERSIÓN DE GANANCIAS DE CALOR INSTANTÁNEAS A CARGAS DE ENFRIAMIENTO	63
3. PROCESO PSICROMETRICO	67
3.1 TEMPERATURA EQUIVALENTE DE SUPERFICIE	68
3.2 FACTOR DE BYPASS	68
3.3 VOLUMEN DE AIRE IMPULSADO	69
3.4 RECALENTAMIENTO	70
4. SALA GIEMA	73
4.1 RATA DE EXTRACCIÓN DE CALOR	87
4.2 CARGA DEL SERPENTÍN	89
4.3 SELECCIÓN DE EQUIPO SALA GIEMA	90
4.3.1 Justificación de la selección.	90
4.4 DESCRIPCION DEL EQUIPO	92
4.4.1 Unidad de aire acondicionado tipo ventana	92
4.5 PROCESO DE EVALUACION Y ADECUACION PRE – INSTALACION	93
4.6 PROCESO DE INSTALACIÓN	93
4.7 EVALUACIÓN DE OPERACIÓN	94
4.7.1 Rendimiento.	94
5. EL LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS ALTERNATIVAS	98
5.1 DESCRIPCION DEL LABORATORIO	99
5.2 EL BANCO DE PRUEBA DE POTENCIA	103
5.2.1 Datos técnicos del motor de combustión interna del Banco de Pruebas (MECH)	104
5.3 OBSERVACIONES GENERALES	109
5.4 PSICROMETRIA LMTA	112
5.5 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE DUCTOS:	115

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Escala de presión y nivel de sonido	35
Figura 2. Base inercial	36
Figura 3. Programa ACONDICIONAR 1.0	51
Figura 4. Pantalla de presentación	52
Figura 5. Flujo de calor trasciente	53
Figura 6. Cartas climatológicas - Medias mensuales	55
Figura 7. Transferencia de calor a través de paredes	59
Figura 8. Balance de radiación en un vidrio	60
Figura 9. Diagrama de flujo de cargas térmicas	65
Figura 10. Diagrama de flujo pisos	66
Figura 11. Diagrama de flujo Techo y Pared	66
Figura 12. Diagrama psicrometrico	71
Figura 13. Diagrama de flujo del proceso Psicrometrico	72
Figura 14. Logotipo	74
Figura 15. Vista plano sala GIEMA	75
Figura 16. Ubicación SALA GIEMA	75
Figura 17. Procedimiento calculo de cargas sala Giema programa ACONDICIONAR 1.0:	76
Figura 18. Calculo de Cargas	78
Figura 19. Cálculo de cargas sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0:	78
Figura 20. Mes de mayor ganancia solar	79
Figura 21. Evolución de las cargas en la sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0	79
Figura 22. Evolución Temperatura del Cuarto	80
Figura 23. Evolución Temperatura del Cuarto. Equipo funcionando en rango.	80

Figura 24. Reporte calculo de cargas sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0	81
Figura 25. Reporte de resultados HORA/HORA	83
Figura 26. Diagrama psicrometrico sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0	86
Figura 27. Diagrama de flujo del calculo de la Rata de Extracción de calor	88
Figura 28. Rata de extracción de calor sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0	88
Figura 29. Resultados Sala Giema	89
Figura 30. Carga Total sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0	89
Figura 31. Equipo Sala GIEMA.	92
Figura 32. Montaje equipo sala GIEMA	94
Figura 33. Toma de datos Sala GIEMA.	96
Figura 34. Laboratorio Maquinas Térmicas Alternativas (actual)	98
Figura 35. Banco de Prueba de potencia LMTA	103
Figura 36. Prueba comparativa de potencia a 2000rpm	105
Figura 37. Prueba comparativa de potencia a 3000rpm	105
Figura 39. Nuevo proyecto Programa LMTA. ACONDICIONAR 1.0	111
Figura 40. Diagrama Psicrometrico LMTA Acondicionar 1.0	112
Figura 41. Reporte calculo de cargas LMTA programa ACONDICIONAR 1.0	113
Figura 42. Selección de equipo:	114
Figura 43. Diagrama de flujo Diseño de ductos	116
Figura 44. Diseño de ductos LMTA. Acondicionar 1.0	116

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Conjugación de factores en el confort.....	57
Tabla 2. Escala de sensación térmica .....	58
Tabla 3. Coeficientes de lámparas.....	61
Tabla 4. Equipos de oficina.....	61
Tabla 5. Equipos miscelaneos .....	62
Tabla 6. Evaluación del equipo Sala GIEMA. ....	95
Tabla 7. REE.....	97

## LISTA DE ANEXOS

	Pag
ANEXO A. CRITERIOS DE DISEÑO.....	123
ANEXO B. SELECCION DE EQUIPOS.....	124
ANEXO C. DISEÑO DE DUCTOS.....	125
ANEXO D. SISTEMAS DE CONTROL.....	126
ANEXO E. ASHRAE HANDBOOK.....	127
ANEXO F. NORMA SAE J1349.....	128
ANEXO G. NORMA ASHRAE 62.....	129
ANEXO H. NORMA REE.....	130
ANEXO I. NORMAS ICONTEC.....	131
ANEXO J. DECRETOS GUBERNAMENTALES.....	132
ANEXO K.MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN.....	133
ANEXO L. ESPECIFICACIONES TECNICAS, CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO.....	134
ANEXO M. EVALUACION DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO	135
ANEXO N. PLANOS Y GUIA DE MONTAJE.....	136
ANEXO O. ORGANIGRAMA.....	137

## RESUMEN

### TÍTULO:

***DISEÑO DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE PARA UN BANCO DE PRUEBAS Y DISEÑO E INSTALACION DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA SALA GIEMA\****

### AUTOR:

José Rafael Mendoza Alba\*\*

### PALABRAS CLAVES:

Diseño, Aire Acondicionado, Motores de Combustión Interna, Banco de Pruebas, GIEMA, MECH.

### DESCRIPCIÓN:

Este proyecto de grado implementa dos diseños de sistemas de acondicionamiento del ambiente de locales, relacionado uno con el confort y otro con una aplicación a un proceso específico. Estableciendo los fundamentos de ingeniería necesarios para este propósito, se entra en el proceso de diseño utilizando el programa sistematizado ACONDICIONAR 1.0 para el cálculo de cargas térmicas, la psicrometría, la selección de equipos y el modelamiento de los ductos. Todo el procedimiento esta basado en la normatividad técnica que rige el ejercicio de la profesión y la cual se anexa detalladamente.

Se realiza la descripción del montaje de la unidad de expansión directa tipo ventana en la sala del grupo GIEMA, se relacionan todas las pruebas realizadas para determinar el rendimiento, consumo energético y costos de operación de la unidad ya funcionando y se incluye el manual de operación y de mantenimiento preventivo para obtener el funcionamiento óptimo.

Para el banco de pruebas del Laboratorio de Maquinas Térmicas se definen además los criterios de selección del equipo de acondicionamiento, sus controles, ductos, accesorios, etc. Se desarrollan los planos y la guía del montaje, las cantidades de obra a realizar, la viabilidad económica y el presupuesto del proyecto.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, PhD. Jorge Luis Chacón Velasco.

## SUMMARY

### TITLE:

***DESIGN OF AIR CONDITIONING SYSTEM FOR A TEST BENCH AND DESIGN AND INSTALLATION OF AIR CONDITIONING SYSTEM FOR THE GIEMA ROOM.\****

**AUTHORS:** José Rafael Mendoza Alba\*\*

### KEY WORDS:

Design, Air Conditioning, Internal Combustion Engine, Test Bench, GIEMA, MECH.

This grade project implements two designs of Air Conditioning systems for locals, related one with the comfort and other with an application to a specific process. Establishing the fundamentals of engineering required for this purpose, it goes into the design process using the systematized program ACONDICIONAR 1.0 for calculating thermal loads, psicrometria, selection of equipment and modeling of pipelines. The whole procedure is based on the technical regulations governing the exercise of the profession and which is attached detail.

There will be a description of the assembly of the direct expansion unit window type in the GIEMA room, relate all tests performed to determine performance, energy consumption and operating costs of the unit is already in operation and includes the operation manual and the preventive maintenance program to obtain the optimal functioning.

For the Test Bench of Thermal Alternative Machines Laboratory also defines the criteria for selection of equipment, its controls, pipelines, accessories and others. Develops plans and the assembly guide, the quantities of work to do, the economic viability and the project budget.

---

\* Degree Work

\*\* Physical – Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, PhD.. Jorge Luis Chacón Velasco

## INTRODUCCIÓN

Un sistema de aire acondicionado involucra el control simultáneo de la temperatura, cantidad de humedad, energía radiante, calidad del aire y su movimiento dentro de un espacio con el propósito de satisfacer los requerimientos de confort o los de un proceso particular. En algunos casos puede ser necesario además el control ambiental: humos, gases, olores, etc., en el recinto acondicionado con respecto a las áreas adyacentes, así como la eficiencia energética y el nivel de ruido asociado con los equipos del sistema.

Estrictamente el diseño de un sistema de aire acondicionado es un proceso *intelectual* que implica comúnmente un trabajo en equipo y un desarrollo iterativo para construir un aparato, sistema y/o un proceso *físico* que satisface una necesidad. Este diseño está basado en principios matemáticos, físicos y químicos que se desarrollan dentro de las leyes de la termodinámica, la mecánica de fluidos, la transferencia de calor y la psicometría; Pero dentro del marco de la ciencia este campo se apoya en gran manera de modos empíricos y de factores de experiencia, entonces, el combinar de estos aspectos es fundamental, aunado al desarrollo de capacidades tan diversas como la formación ingenieril integral, la recursividad, el emprendimiento empresarial y la actitud comercial, todo con un espíritu ético profesional.

Este trabajo de grado tiene el propósito de estructurar toda la información teórica y práctica, recopilada durante la formación académica como ingeniero mecánico, orientada hacia el diseño, montaje y puesta en funcionamiento de un sistema de aire acondicionado. Se ha desarrollado para ser utilizado como guía de consulta en un desempeño profesional como diseñador, contratante, consultor o interventor y con menor énfasis

en la operación, administración y mercadeo de sistemas de aire acondicionado.

Se abarcan de manera general y ordenada los tópicos que involucran los fundamentos de ingeniería en el diseño de estos sistemas, manteniendo el principio de que la teoría básica nunca debe ser ignorada pero ha de presentarse tan simple y aplicable como sea posible; así en primera instancia se crea un marco teórico con todos los elementos, desde conceptos intangibles como el Valor Ingenieril y una Metodología Para Resolver Problemas De Diseño, y la importancia de la estandarización de los procesos; luego una exposición de la ciencias aplicadas en que se basan los diseños y haciendo referencia a algunos aspectos adicionales como la Calidad del Aire Interior, El ahorro energético (eficiencia), los mecanismos de control automático y el Control del Nivel de Ruido.

A partir de la descripción detallada de los locales a acondicionar y de las normas a las que se deben ajustar, se incursiona en el procedimiento de diseño con el objetivo de cubrir dos campos esenciales en el campo de proyectos, uno es el confort de un recinto y otro es la adecuación de los requerimientos de un proceso industrial.

El confort es un estado subjetivo y con muchas implicaciones que expresan la sensación de comodidad, que varía con cada individuo y el nivel de actividad que se realiza, además de conceptos fundamentales como la calidad del aire interior, el control de ruido relacionado con los equipos y otros más que enmarcan este ítem. La sala del Grupo de Investigación en Energía y Medio Ambiente **GIEMA**, ubicada en el edificio principal de la Escuela de Ingeniería Mecánica exige estas condiciones. Posterior al diseño se lleva a cabo la instalación y puesta en funcionamiento del sistema en este recinto.

Para el área de aplicación a procesos específicos se seleccionó el diseño del acondicionamiento del aire de entrada para el Banco de Pruebas de

Potencia para Motores, localizado en el Laboratorio de Motores de la escuela.

Como herramienta para el diseño se decidió utilizar el programa **ACONDICIONAR 1.0** desarrollado en la Universidad Industrial de Santander como tesis de grado: “Sistematización del diseño de proyectos de Aire Acondicionado”, elaborado por los ingenieros mecánicos Diego Hernando Rey Rodríguez y Rafael Hernán Rivera Caballero y dirigido por el ingeniero Omar Armando Gélvez Arocha en 2001, el cual aplica ventajosamente el **MÉTODO FUNCIÓN TRANSFERENCIA MFT**, lo que permite una mayor aproximación al comportamiento real de los procesos físicos al describirlos hora a hora; adicionalmente, calcula las cargas térmicas para un ilimitado número de fuentes de calor internas y externas de un edificio o un local, complementado con posibilidades de selección de equipos y el diseño de ductos; Todo contextualizado al medio Colombiano. Este programa maneja cuatro módulos en secuencia: **CARGAS TERMICAS, PSICOMETRÍA, EXTRACCIÓN DE CALOR Y SELECCIÓN DE EQUIPOS**, con extensas bases de datos, lo que permite desarrollar el proceso de diseño estructuradamente.

Luego se pasó al diseño de los sistemas de control, eléctricos, una guía de montaje del sistema, la creación de planos y manuales de operación y mantenimiento, y se determinaron los aspectos económicos, de eficiencia y operativos. Finalmente se logró un propósito inherente al ejercicio de la ingeniería: disminuir el tiempo y energía dedicado a los cálculos iterativos y repetitivos; y se complementó el programa computarizado con muchos otros aspectos implicados en el desarrollo del diseño integral de un sistema de Aire Acondicionado.

## **1. FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO**

El éxito en el diseño en ingeniería consiste en entenderlo como un arte, saber identificar los elementos claves o los factores fundamentales involucrados y acertar en la selección de la solución real más beneficiosa. Incluir elementos tan limitantes como el tiempo, la disponibilidad de los equipos y el contexto geográfico del proyecto.

Ingeniería es la profesión en la que el conocimiento de las ciencias matemáticas y naturales adquiridas mediante el estudio, la experiencia y la práctica, se emplea con buen juicio a fin de desarrollar modos en que se puedan utilizar, de manera óptima los materiales y las fuerzas de la naturaleza en beneficio de la humanidad, en el contexto de restricciones éticas, físicas, económicas, ambientales, humanas, políticas, legales y culturales.

La práctica de la Ingeniería comprende el estudio de factibilidad técnico económica, investigación, desarrollo e innovación, diseño, proyecto, modelación, construcción, prueba, optimización, evaluación, gerenciamiento, dirección y operación de todo tipo de componentes, equipos, máquinas, instalaciones, edificios, obras civiles, sistemas y procesos. Las cuestiones relativas a la seguridad y la preservación del medio ambiente, constituyen aspectos fundamentales que la práctica de la ingeniería debe observar.

La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo da la siguiente definición sobre desarrollo sostenible: “El desarrollo que cubre las necesidades actuales sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. Por parte

del diseño se produce una reacción importante y la búsqueda de un desempeño del ejercicio profesional mucho más comprometido con el medio ambiente. Así se llega a la definición: “El diseño sostenible integra consideraciones de eficiencia en el uso de recursos y de la energía, ha de producir efectos sanos, ha de utilizar materiales ecológicos y debe considerara la sensibilidad estética que inspire, afirme y emocione”.

Sin descuidar los detalles mínimos en la verificación minuciosa de resultados, la mejor manera de obtener buenos diseños es la existencia de una excelente formación teórica, el constante adiestramiento y la acumulación continua de experiencia. Cada diseño involucra necesariamente el darle solución a un problema, usualmente el objetivo será determinar el tipo y la capacidad más apropiada del sistema de aire acondicionado para una aplicación específica.

## **1.1 DISEÑO CONCEPTUAL**

Los procedimientos de solución de problemas descritos a continuación son una manera de establecer un concepto de diseño en Aire Acondicionado. En muchos casos aunque un estudio formal no se sigue en sí, el procedimiento general es llevado de manera informal. Muchas veces predomina el concepto de la experiencia adquirida por el diseñador o el constructor y en otras el interés específico por lograr la reducción de costos. Se deben realizar dos aspectos muy importantes: La intención constante de la **innovación** y el concepto primordial del diseño de “**Conservar lo simple**”, estos son argumentos muy valiosos para trabajar en el mundo real.

Es muy útil considerar el proceso de solución como una serie de pasos lógicos, cada uno de los cuales debe ser desarrollado en orden y estar soportado en el anterior; aunque existen variados métodos para

establecer un proceso de solución una manera particular que se ha aplicado es la siguiente:

1. **Definir el objetivo:** tener claro cual es el resultado final deseado. Para el diseño, es usualmente proveer un sistema de aire acondicionado que puede controlar el ambiente interior bajo parámetros definidos, con un costo y ciclo de vida compatible con la necesidad.
2. **Definir el Problema:** en este caso, es seleccionar el sistema apropiado con todos sus componentes para cumplir con los objetivos. Esta situación debe ser clara y completamente definida para que la solución efectivamente resuelva el problema planteando.
3. **Definir Soluciones Alternativas:** utilizar lluvia de ideas para desarrollar este paso. Es necesario asumir que existen diferentes maneras de resolver el problema.
4. **Evaluar las alternativas:** cada opción debe ser analizada por efectividad, aplicabilidad y costos.
5. **Seleccionar una Alternativa:** muchos factores afectan y participan en el proceso de selección ya sea por rendimiento, economía, disponibilidad y otras, algunas tan intangibles como son los deseos particulares del contratante.
6. **Chequeo:** hacer el cuestionamiento ¿la alternativa seleccionada realmente soluciona el problema?
7. **Implementar la Alternativa Seleccionada:** iniciar el proceso de ejecución del diseño, luego construir y operar el sistema.
8. **Evaluar:** ¿han sido los problemas solucionados? ¿los objetivos alcanzados? Y ¿qué mejoramiento podría implementarse para diseños posteriores?

## 1.2 EL VALOR INGENIERIL

Este concepto describe un detallado y completo proceso analítico que establece un método organizado de identificación de la función principal

o servicio que será cubierto por un equipo o sistema. Consiste en observar meticulosamente una solución con la idea de evaluar si es la manera más apropiada de alcanzar el objetivo y si es factible postular otras formas más simples y económicas, más perdurables y eficientes. Para aplicar el valor ingenieril a un proceso se contemplan cuatro fases:

**1. Recopilar información:** Clara y completamente se determina el propósito del sistema observado, su desempeño, sus componentes, la expectativa de durabilidad, como se utilizan los recursos, el costo de su construcción, las características que lo determinan. Realizar gráficas, tablas, cartas, diagramas de flujo, etc. para mostrar esta información. Identificar las áreas de alto costo en la fabricación y la operación, así, como los componentes más vulnerables; entender el objeto tanto de manera general como en detalle.

**2. Desarrollo de Alternativas:** en esta fase se debe tener la mente abierta a todas las posibilidades, ser creativo y con espíritu crítico determinar los aspectos innecesarios de un proceso; lo que a veces se hace de acuerdo a un método establecido o costumbre no es siempre lo más óptimo. Hacer registro de todas las ideas generadas.

**3. Evaluar las Alternativas:** desarrollar ideas sobre diferentes maneras de hacer las mismas cosas, evaluar objetiva y subjetivamente ventajas y desventajas de cada alternativa. Estudiar rendimiento contra costo para construir y operar cada opción.

**4. Vender la Solución:** este es el punto álgido en la actividad de un diseñador; si se tienen grandes ideas pero no llegan a implementarse de nada valen. Una excelente documentación, la descripción de los procesos y todas las justificaciones de las decisiones tomadas serán el soporte para una correcta selección y entonces el convencimiento de que es la mejor solución se dará solo.

### 1.3 CÓDIGOS Y REGULACIONES

La normalización es hoy reconocida como una disciplina esencial para todas las partes de la ingeniería, que debe hacer todo lo posible para dominar sus motivaciones e implicaciones. Hace 20 años, era un campo reservado a pocos especialistas. Hoy las empresas han integrado la normalización como un elemento técnico y comercial fundamental. Saben que deben representar un rol activo en este campo, o estar preparados para aceptar la normalización que se establezca sin su participación, o sin que se tenga en cuenta sus intereses.

Ninguna actividad profesional esta exenta de ceñirse a las normas y regulaciones establecidas. Los códigos generalmente tienen una función de ser bases legales en la protección de la seguridad pública y del desempeño ético profesional. Así las penalidades pueden ser aplicadas tanto a los diseños como a los diseñadores que no cumplan estas normas y una obra puede ser, dado el caso, desestimada y sancionada por las autoridades competentes.

Una norma técnica (NT) es un documento que contiene definiciones, requisitos, especificaciones de calidad, terminología, métodos de ensayo e información del proceso. La elaboración de una NT está basada en resultados de la experiencia, la ciencia y del desarrollo tecnológico, de tal manera que se puedan estandarizar procesos, servicios y productos. La norma es de carácter totalmente voluntario.

La norma técnica es elaborada exclusivamente bajo el consenso de las partes interesadas (productores, consumidores y técnicos), de donde se destaca la participación de:

- Los fabricantes, a través de sus organizaciones sectoriales y en su condición de empresa.
- Los usuarios y consumidores, a través de sus organizaciones y a título personal.

- La administración pública, velando el bien público y los intereses de los ciudadanos.
- Los centros de investigación y laboratorios, aportando su experiencia y dictamen técnico.
- Los profesionales, a través de asociaciones y colegios profesionales o empresas.
- Expertos en el tema que se normalice, nombrados o a título personal.

Estos agentes acuerdan sobre las características técnicas que deberá reunir un producto, servicio o proceso.

El Instituto Nacional de Normas Técnicas INCONTEC en Colombia y organizaciones como la ASHRAE, SAE, ISO, AMCA a nivel internacional, son los estamentos que crean, modifican y vigilan la estandarización de los procesos y actividades de diseño, construcción y operación de sistemas y aparatos. A lo largo del ejercicio de la profesión se hará familiar el uso de estos preceptos, pero desde el principio debe ser una costumbre innata del nuevo ingeniero. Los objetivos que se esperan alcanzar por estas entidades son los siguientes:

- Asumir el compromiso de la aplicación de las normas técnicas, en el quehacer de los proyectos de ingeniería y construcción.
- Validar las actividades desarrolladas como resultado del ejercicio de su carrera, mediante el uso y aplicación de normas técnicas en sus diversos procesos.
- Difundir el conocimiento sobre las normas técnicas, en el quehacer de la Ingeniería, como forma de elevar su prestigio y reconocimiento profesional.
- Elevar el nivel de calidad de los resultados de los proyectos de ingeniería.
- Construcción, mediante la aplicación gradual de las normas técnicas.
- Propender al mayor uso de las normas técnicas en todas las organizaciones en las cuales participen los egresados de la universidad.

## 1.4 MECÁNICA DE FLUIDOS

Es un área fundamental de la física que tiene que ver con el comportamiento de los fluidos tanto en reposo como en movimiento. Se encarga de definir las propiedades de los fluidos como la densidad y la viscosidad y se relaciona directamente con otros aspectos de la física como la termodinámica y la transferencia de calor, los cuales amplían el concepto de **energía** presente en un fluido. Los aspectos esenciales de esta ciencia aplicada se resumen así:

- La presión estática de un punto en un fluido es directamente proporcional a la densidad del fluido y a la altura o profundidad de la columna del fluido. La presión estática es equivalente en todas las direcciones.
- La presión dinámica del flujo de un fluido es proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido.
- Las pérdidas por fricción de un fluido fluyendo por un conducto es proporcional al cuadrado de la velocidad, por tanto, la potencia de una bomba o ventilador para un sistema definido será proporcional al cubo del caudal impulsado.
- La potencia de bombeo requerida para mover un fluido es proporcional a la densidad y viscosidad del fluido, al volumen del fluido desplazado y a la presión contra la que el fluido es impulsado.
- Para los propósitos de los sistemas de Aire Acondicionado se considera el aire como fluido incompresible. La cantidad de fluido incompresible en un sistema cerrado es constante de acuerdo con la ley de conservación de la masa.
- La ley de la conservación de la energía o ecuación de Bernoulli enmarca el estudio de la mecánica de los fluidos y relaciona todos los cambios de la energía en el flujo de un fluido, (energía cinética, potencial, energía perdida por fricción y la energía que entra y sale del sistema), en

términos de calor y trabajo; así como la potencia cuando se los relaciona con el tiempo.

- El caudal y su incidencia en el diseño de un sistema esta basado en leyes de la mecánica de los fluidos; aspectos como la estimación teórica de la potencia de un ventilador, la rata de aire, la caída de presión en los ductos y otras consideraciones también se relacionan con ella.

## **1.5 TERMODINÁMICA**

Es un aspecto de la física que se relaciona con las características energéticas de los materiales y con el comportamiento de los sistemas y sus transformaciones en los niveles de energía. El campo de la termodinámica es aquel que une el calor con el trabajo siendo por ello muy amplio y profundo y puede variar en su presentación y aplicación desde lo relativamente simple hasta lo muy complejo. Para los propósitos del diseño de sistemas de Aire Acondicionado una buena referencia de lo fundamental es necesaria y el manejo de las relaciones matemáticas de la termodinámica lleva al diseñador a realizar rápidos y confiables cálculos en los procesos de flujo de energía.

Un inconveniente relacionado con la termodinámica es que muchos de sus conceptos están definidos en relación con otros. Los términos energía y entropía son relativos; la energía puede manifestarse como calor y trabajo y varia en sus presentaciones como interna, térmica, química, etc. El calor es observado como energía en movimiento de una región a otra como resultado de una diferencia de temperatura. La entalpía es un término usado con unidades de energía que combinan la energía interna con la presión y el volumen o el trabajo de flujo.

Una propiedad es una característica medible de un sistema o de una sustancia; la temperatura, la presión y la densidad (inverso del volumen específico) son propiedades; las diferentes clases de energía, la entalpía y la entropía también lo son. La temperatura es un término usado para

cuantificar la diferencia entre lo frío y lo caliente o, estrictamente, el nivel de energía interna de una sustancia.

El coeficiente de conducción térmica **U** de un material es una medida de su capacidad para conducir el calor.

Capacidad calorífica e inercia térmica: si a un cuerpo le aportamos calor, este eleva su temperatura. Si lo hace lentamente se dice que tiene gran capacidad calorífica, puesto que es capaz de almacenar mucho calor por cada grado centígrado de temperatura. Las diferencias de capacidad calorífica entre el agua y el aceite, por ejemplo, (mayor la del primero que el segundo) es lo que hace que, al colocar al fuego, el agua tarde más en calentarse que el aceite, pero también que el agua "almacene" más el calor.

Se llama calor específico de un material (en Kcal/Kg°C) a la cantidad de calor que hay que suministrarle a 1 Kg de la sustancia para que eleve su temperatura en 1°C.

La eficiencia se define para un proceso de conversión de energía como la relación comparativa de lo obtenido con lo invertido y por naturaleza en un proceso siempre se obtendrá mucho menos de lo que se le proporciona; así se establece en refrigeración el **COP**, coeficiente de rendimiento, como la relación entre el calor útil removido u obtenido sobre la energía requerida para realizar el proceso. Para un proceso de enfriamiento se tendría un  $COP_{enf}$  como la relación entre el Q retirado en el evaporador sobre el trabajo aportado en el compresor. Una variación de la ecuación de Bernoulli y aplicada en la termodinámica sería:

$$Q = CFM(1.08)(T_1 - T_2) \quad \left[ \frac{Btu}{h} \right]$$

Y es útil para calcular el flujo de aire requerido para retirar una cantidad estipulada de calor en el recinto.

## 1.6 TRANSFERENCIA DE CALOR

Los modos de transferencia de calor entre dos cuerpos se dan por uno o más de los tres fenómenos siguientes: Conducción, convección y radiación.

**1.6.1 La conducción térmica.** Se refiere a la transferencia directa de energía entre partículas a nivel atómico, se aplica la ecuación de Fourier modificada:

$$q = UA(T_1 - T_2)$$

Donde U es un coeficiente global de transferencia de calor por grado de diferencia de temperatura entre dos cuerpos, este coeficiente se establece por medios experimentales y ya están tabulados y presentados en muchos textos y manuales. En la práctica del diseño de Aire Acondicionado el estado estacionario casi nunca se da, debido a que la temperatura del aire exterior y las condiciones de carga interna están continuamente cambiando. El efecto de flujo de calor trasciente es el resultado de muchas variables, incluyendo la masa y su capacidad de almacenamiento de la pared, como se verá más adelante el MFT maneja este concepto.

**1.6.2 La convección térmica.** Puede incluir alguna conducción pero se refiere primordialmente al fenómeno de mezcla, adición y difusión por fluidos en movimiento. En un típico proceso de acondicionamiento de aire, la transferencia de calor toma lugar como una mezcla y difusión de aire en el espacio tratado, la transferencia de calor se da al final por conducción entre las partículas de aire, tales como la corriente de aire retorno y la corriente de aire exterior. Si la mezcla se da completamente,

entonces el fluido resultante tiene la temperatura y humedad ponderada de las propiedades y masas de las dos corrientes originales.

Aunque no es una forma clásica de transferencia, el calor puede ser transportado por un fluido, por ejemplo, el aire a través de un ducto desde un punto a otro, esta acción se define mejor como la combinación de fenómenos de la mecánica de fluidos y la termodinámica: mezcla de fluidos de diferentes condiciones termodinámicas. La mayoría de las aplicaciones en sistemas de aire acondicionado involucran estas condiciones y se dan típicamente en los intercambiadores de calor entre dos fluidos tales como un refrigerante, agua, aire y entre muchas otras sustancias.

**1.6.3 La radiación térmica.** Describe un fenómeno complejo el cual incluye cambios en la forma de la energía: de energía interna en la fuente, a energía electromagnética en su transmisión, luego vuelve a ser energía interna en el cuerpo receptor. La radiación no requiere la intervención de un material y aunque se comporta mejor en el perfecto vacío, en la aplicación en aire acondicionado es importante entender que el calor que realmente debe retirar un equipo no corresponde a las ganancias instantáneas producidas en las fuentes de calor; esto es debido a que el aire seco es transparente a la radiación y solo se calienta por convección al ponerse en contacto con una superficie de mayor temperatura en conformidad con la ley termodinámica de que la transferencia neta de calor solo ocurre en la dirección del decrecimiento de la temperatura

**1.6.4 Emisividad, absortancia, reflectancia, transmisión.** son términos que describen las propiedades de las superficies de los materiales y están relacionados con la transferencia de calor por radiación. Un cuerpo que absorbe toda la energía recibida se denomina cuerpo negro (ideal) y tendrá una absortancia de 1.0 (La denominación de cuerpo negro no describe su color), igualmente tendrá una emisividad de 1.0 total. Una

superficie perfectamente reflectante tendrá una reflectancia de 1.0 y no absorbe nada de la energía recibida. En otros casos no toda la energía es reflejada, alguna parte de ella puede ser almacenada en el material y transmitida posteriormente por conducción o disipada por convección. La transmisión describe la propiedad de un cuerpo de dejar pasar una parte o toda la energía radiante incidente en él sin ser absorbida o reflejada, a esta propiedad se la llama transparencia o translucencia; un cuerpo opaco tiene cero transmitancia y un cuerpo transparente (vacío) es el transmisor ideal. Para condiciones de diseño es útil determinar que las superficies pintadas en general tienen alta emisividad dependiendo del color o de su tipo de recubrimiento (las metálicas difieren en este concepto). Muchas superficies con aspecto reflectivo tienen alta emisividad. Los vidrios de ventanas comunes que se presentan transparentes pueden tener alta absorción y emisividad. Para todas las superficies la emisividad varía con el ángulo de incidencia siendo la mayor para  $90^\circ$ .

La radiación solar es un aspecto preponderante en el diseño de aire acondicionado para el cálculo de cargas, como se analizará más adelante.

**- Calor Sensible, latente, humedad.**

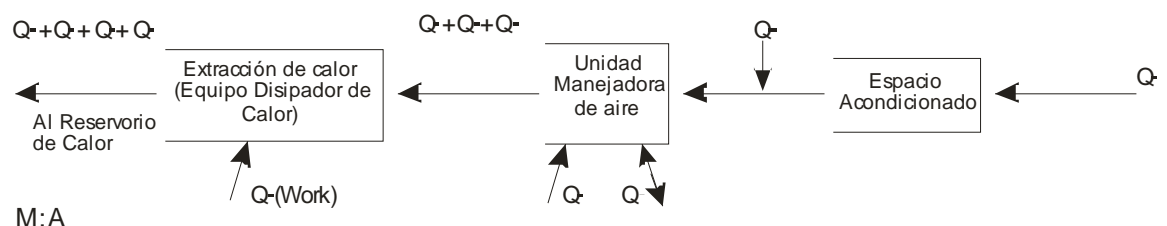
La transferencia de calor debida a la condensación y evaporación puede ser considerada una forma especial de convección y es de especial distinción; la transferencia de calor por conducción, convección y radiación requiere una diferencia de temperatura y es denominada transferencia de calor sensible. Los procesos de condensación y evaporación involucran un cambio de estado del fluido a temperatura constante, con adición de calor para la evaporación o remoción para la condensación, este es llamado calor latente.

La migración de humedad (vapor de agua) ocurre a través de las paredes de un local de la misma manera que ocurre la transferencia de calor sensible y dependerá entre otros factores de la permeabilidad de los

materiales, la diferencia de la presión de vapor a través de la pared, la velocidad del viento, el efecto chimenea y otros. Así entonces, las fuentes de humedad de importancia en un sistema de aire acondicionado serán estas migraciones, la humedad contenida en el aire de ventilación y la humedad generada por la actividad de las personas y los procesos dentro del local, creando consideraciones adicionales en el cálculo y diseño del sistema.

**El aislamiento** para reducir la transferencia de calor sigue un comportamiento definido por el principio de “Radio crítico de aislamiento” y técnicamente el primer aislamiento es el más significativo y va disminuyendo en los subsiguientes, como se vio anteriormente esto involucra los fenómenos de almacenamiento y conducción térmica. En la práctica es un proceso iterativo y de mucha importancia económica encontrar el punto medio más efectivo.

### 1.7 CICLOS DE ACONDICIONAMIENTO



La figura es una representación esquemática de un ciclo elemental de enfriamiento mecánico, (cuando la deshumidificación no es una parte esencial del ciclo de enfriamiento y esta usualmente ocurre donde el medio enfriado está por debajo de la temperatura del punto de rocío del aire). La carga de enfriamiento  $Q_E$  en el espacio acondicionado es una combinación de cargas internas y externas y usualmente es removida a

través del espacio por medio de adición de aire de menor temperatura y humedad que el de las condiciones del local; para retirar la carga de enfriamiento, el aire suministrado eleva su temperatura y humedad hasta igualar las condiciones del local; luego el aire es retornado a la unidad manejadora, en donde es reenfriado y deshumidificado. Muchos espacios requieren alguna ventilación externa, la cual es mezclada con el aire de retorno en la manejadora, imponiendo una carga de enfriamiento adicional  $Q_V$ . Si la entalpía del aire exterior es menor que la entalpía del espacio entonces se ganará un enfriamiento adicional. Como es necesario suministrar energía en forma de trabajo para hacer circular el aire, usualmente un ventilador con motor eléctrico, este trabajo  $Q_W$  se convierte en una parte más de la carga de enfriamiento.

La carga total representada por  $Q_E + Q_V + Q_W$  debe ser removida por el equipo y se la denomina **rata de extracción de calor**; algún trabajo adicional se produce por otros equipos como compresores, condensadores, perdidas en ductos, etc. y son importantes porque reducen la eficiencia del sistema; en aparatos grandes sus rangos de transferencia de calor por convección y radiación se hacen muy significativos.

Por ultimo el calor retirado es rechazado hacia un reservorio que puede ser agua circulante o más comúnmente el medio ambiente.

## 1.8 PSICROMETRÍA

Es la ciencia de las propiedades del aire húmedo o la mezcla del aire con vapor de agua. Por ser el aire el ambiente natural en el que el acondicionamiento trabaja, la Psicrometría como parte de la termodinámica, es fundamental para la industria del aire acondicionado. El control de la cantidad de humedad en el aire es el primer objetivo del acondicionamiento del aire en términos de la temperatura de confort humano, por la comodidad de los ocupantes y la calidad de un ambiente saludable, para la estructura del recinto y por la preservación de los

materiales y equipos en el local. Algunas consideraciones psicrométricas de importancia son:

- El aire es considerado como saturado por la humedad cuando la evaporación de agua en el aire a una temperatura y presión atmosférica dada esta limitada por la inminente condensación de agua (goteo).
- El aire caliente puede contener más humedad que a una menor temperatura; al disminuir esta, enfriando el aire saturado se obtendrá rocío, goteo, niebla, condensación o combinación de estas. Este valor corresponde a la temperatura de rocío.
- El porcentaje de humedad relativa mide que tanto vapor de agua esta contenido en el aire comparado con el que habría en el aire saturado a la misma temperatura y presión. Cambios en la presión barométrica debido a la altitud o a condiciones climáticas afectan la capacidad del aire de contener humedad.
- Una de las herramientas más útiles para cuantificar y analizar un proceso de aire acondicionado es la carta psicrométrica la cual presenta en un gráfico muy práctico las propiedades de las mezclas de aire – vapor de agua. La familiaridad y practicidad en el manejo de esta carta es de gran utilidad para el proceso de diseño debido a que el aire húmedo es el medio de transporte final de energía en los procesos de aire acondicionado.

Las propiedades del aire húmedo pueden ser evaluadas por las leyes de gas ideal como un mínimo grado de error, que en muchos casos no es significativo en los procesos de aire acondicionado. Las propiedades y conceptos que más interesan en este aspecto son:

- **Temperatura de bulbo seco:** es la temperatura medida normalmente por un termómetro.

- **Temperatura de bulbo húmedo:** también se denomina temperatura psicrométrica y es la temperatura indicada por un termómetro que tiene su bulbo humedecido e inmerso en una corriente de aire.
  
- **Temperatura de punto de rocío:** es aquella en la cual el aire húmedo se satura como consecuencia de un enfriamiento isobárico. Aquí empieza la condensación del vapor por la disminución de la temperatura a presión constante.
  
- **Porcentaje de humedad:** es la humedad absoluta y se define como la razón entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco presente en un volumen de mezcla dado.
  
- **La entalpía (h):** es el calor total de una muestra de una sustancia, incluyendo la energía interna. En algunas tablas el valor de la entalpía del aire seco está establecida arbitrariamente en cero, a cero grados, esto es conveniente en términos de diferencia de entalpía, pero como medida de la entalpía total no. La entalpía de una muestra de aire húmedo será igual a la entalpía del aire seco más la entalpía del agua como vapor multiplicado por la cantidad de humedad presente, todo a la misma temperatura de referencia.
  
- **El volumen** de una muestra de aire está expresada incluyendo términos de unidades de masa, por ejemplo  $\text{cm}^3/\text{g}$ ; o de tiempo: CFM. La densidad es el recíproco del volumen.
  
- **Tablas de Propiedades:** todos los aspectos ya expuestos se encuentran tabulados en cartas denominadas “propiedades termodinámicas del aire húmedo” y están calculados a presión atmosférica estándar.

- **La carta psicrométrica:** cualquier proceso de acondicionamiento de aire puede ser representado en un gráfico psicrometrico, la gran ventaja es que conociendo los puntos del estado final y el estado iniciales se pueden determinar muchos de los aspectos y propiedades del proceso y su evolución.

Un proceso común en acondicionamiento de aire es la mezcla adiabática de dos corrientes de aire, por ejemplo aire de retorno y aire externo y que gráficamente se representa como una línea recta entre los dos puntos de estado y ubicando el punto de mezcla en un lugar intermedio con distancias proporcionales a las masas iniciales de la mezcla.

Otro proceso puede ser enfriamiento sensible, donde en la grafica simplemente una línea recta horizontal puede ilustrarlo. La combinación de enfriamiento y deshumidificación o la saturación adiabática, o la humidificación, todos estos son procesos factibles de ser representados en una carta. La gran ventaja es su capacidad de reflejar por anticipado el comportamiento de un sistema antes de ser diseñado.

Las coordenadas principales y todos los aspectos relacionados con un estado psicrometrico se muestran a continuación en la gráfica.

## **1.9 SONIDO Y VIBRACIÓN**

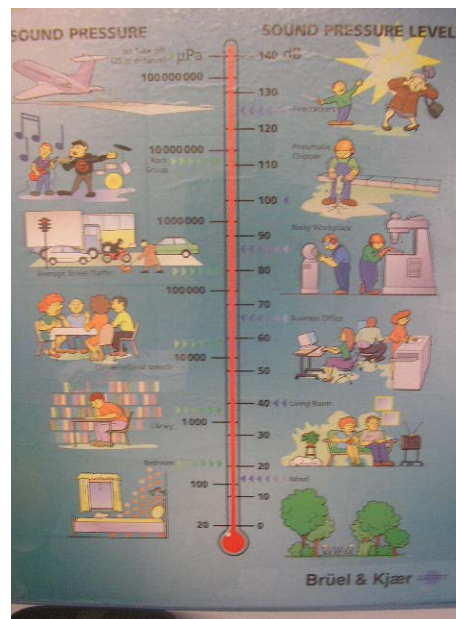
Estos dos aspectos se han transformado en tópicos de gran interés y de estudio para los diseños de aire acondicionado. No es que se consideren funciones fundamentales del acondicionamiento en un local, pero son elementos secundarios que con un manejo inadecuado pueden ir en detrimento de un buen sistema.

Todos los sonidos y las vibraciones son formas de energía cinética y en el ambiente del aire acondicionado se derivan de equipos en movimiento,

del flujo de aire a través de ellos o de los ductos, o de equipos variados como compresores, ventiladores, válvulas y de otros dispositivos de flujo o de elementos de sostenimiento. Los problemas se presentan cuando estos elementos componentes del sistema generan ruido o vibración dentro de un espacio o en sus alrededores, o la transmisión a un proceso interno sensible a este efecto. Si se genera un ruido o vibración con niveles excesivos a la tolerancia del ambiente, el sistema diseñado puede ser rechazado.

Para que un diseño sea óptimo en términos de ruido y vibración, sus ocupantes o un proceso en un local no debe ser influenciado o al menos afectado por la actividad del sistema. El flujo de aire en una oficina no debe desviar la atención en virtud de su movimiento; el espacio debe mantenerse quieto cuando todo está quieto y la conversación o la música no deben ser afectadas en absoluto; lo mismo se aplica para la vibración, la operación de un equipo de acondicionamiento no debe crear la sensación de movimiento en pisos, escritorios, objetos o movimiento aparente de elementos estructurales. En algunos espacios, altos niveles de ruido o de vibración pueden ser aceptados, como en un laboratorio y un taller, o en una sala con equipos robustos; pero en otros rotundamente no son permitidos. Esto crea escalas estandarizadas para cada aplicación y correspondientemente un compromiso en el diseño y para el diseñador. El entendimiento de los orígenes del ruido y de la vibración y los niveles tolerables de funcionamiento aceptable, junto con los mecanismos de control de ruido y vibración establecen los marcos en el desarrollo óptimo de un diseño particular.

Figura 1. Escala de presión y nivel de sonido

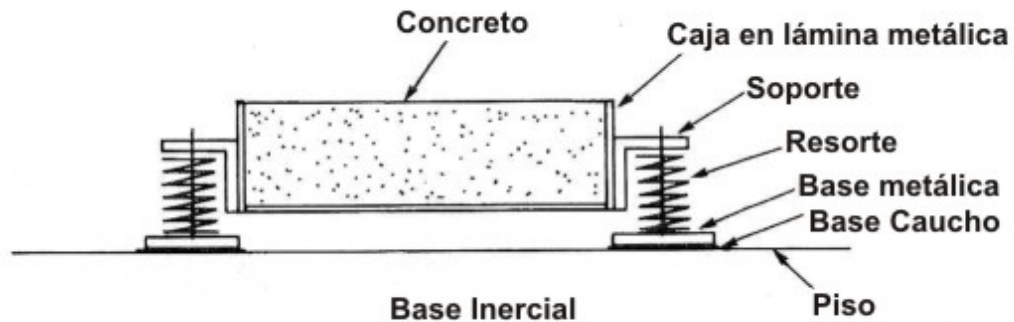


Fuente: Manual de aplicación Brüel & kjaer

En la práctica, el diseño estará afectado por fuentes detectables de ruido y vibración como lo son los elementos del sistema: ventiladores, bombas, compresores, aire fluyendo en ductos y equipos, las vías de transmisión y sus soportes, también los elementos de soporte de la estructura y ella misma. El ruido transmitido a través de los ductos puede provenir de tres fuentes definidas: equipos de ventilación, el flujo del aire por ductos y los creados fuera de los ductos y transmitidos al local a través de ellos.

Las bases inerciales como la mostrada en la grafica son una muestra de un sistema para el control del ruido y de la vibración, elementos similares se emplean para estos propósitos.

Figura 2. Base inercial



Para el manejo de la vibración, su aislamiento logran disminuir la transmisión; el colocar soportes flexibles combinado con bases firmes o inerciales, que son elementos estructurales rígidos sobre resortes, cauchos, etc.; o por el contrario la fijación extrema de soportes y fijadores.

### 1.10 CALIDAD DEL AIRE

Hay un gran compromiso del diseño de aire acondicionado por la calidad del aire dentro de un local o un edificio completo; en un principio la mezcla con aire exterior se consideraba aceptable, pero el aire por estar en el ambiente no necesariamente es mejor que el aire interno y la simple ventilación no es suficiente; se debe controlar simultáneamente la humedad, temperatura, gases nocivos, partículas extrañas, bacterias y contaminantes alergénicos de una manera tan óptima que el aire circulando dentro del espacio ocupado provea un ambiente confortable y saludable. El manejo de la humedad en un edificio en unos aspectos estructurales es primeramente responsabilidad del arquitecto, pero el diseñador del sistema de acondicionamiento debe adecuar las condiciones para reforzar estos factores estructurales.

Los efectos negativos de la baja calidad del aire han repercutido en la salud estableciéndose dos conceptos: las **ERE** o Enfermedades Relacionadas con el Edificio que son alergias individuales y con

manifestaciones particulares para cada individuo y el **SEE** o Síndrome del Edificio Enfermo que establece que las personas tienden a enfermarse con mayor facilidad debido al ambiente interno y a ciertos elementos para los cuales algunos ocupantes son más sensibles: Ataques de Estornudos, Bronquitis, Rinitis, Ardor de ojos, Ojos rojos, Resecamiento de garganta, fatiga permanente en el trabajo, Problemas de la voz, etc. en adición existen problemas con olores, algunos por el comportamiento de los ocupantes como el humo de cigarrillo y otros como consecuencia de la acumulación de humedad, la cual además produce deterioro continuo de elementos estructurales. La calidad también implica el control del movimiento del aire y otros aspectos relacionados con el confort. Estos aspectos traen como consecuencia importante la disminución de la capacidad de trabajo de los individuos y afecta el rendimiento productivo.

Los efectos positivos de la calidad del aire y de la optimización de los factores ambientales, y que se muestra en muchos estudios, son el incremento significativo en el rendimiento y la productividad, menos tiempo de trabajo cesante por enfermedad o por incapacidades, los mantenimientos de equipos y las labores de limpieza se tornan más fáciles y menos costosos, etc. Así, un buen control de calidad del aire es económicamente ventajoso y repercute en un mejor ambiente de trabajo, mejor ánimo del trabajador, el usuario o de las personas o equipos que ocupen un lugar acondicionado.

Las fuentes de contaminación del aire que afectan la calidad del aire en lugares comerciales incluyen partículas, vapores químicos, sustancias volátiles como humos o los emitidos por materiales estructurales, elementos nocivos provenientes de agentes limpiadores, emisiones de las personas (metano, perfumes, transpiración), elementos de actividades cotidianas (cocinas, chimeneas, cafeteras, ambientadores, repelentes) y otros muchos contaminantes provenientes del aire exterior (polución, olores, micro partículas, etc.). Los sistemas instalados en climas con alto

índice de humedad necesitan un tratamiento especial en el manejo del aire exterior.

La obtención de una alta calidad del aire es una responsabilidad del diseñador. Es obvio que el sistema de aire acondicionado debe ser diseñado para proveer buena calidad del aire cuando se lo mantenga y opere adecuadamente. Afortunadamente muchos equipos ya han incorporado tecnologías con este propósito. Para remoción de muchas sustancias volátiles y micro partículas los filtros absorbentes son apropiados. Cuando el aire externo tiene una calidad muy pobre es preferible usar filtros convencionales seguidos de filtros de alta eficiencia. Los lavadores de aire pueden también emplearse con este fin requiriéndose un posterior control de la humedad; cuando el aire exterior es muy húmedo, se hace conveniente pre-tratarlo con el fin de reducir esa humedad adicional antes de hacerlo ingresar al sistema principal de ventilación. Los sistemas de control requieren a menudo de sensores para detectar concentraciones perjudiciales de sustancias gaseosas, particularmente de monóxido y dióxido de carbono y de formaldehídos; estos sensores ayudan a regular las cantidades de aire exterior o para detectar fallas en los filtros y otros elementos.

Todos los esfuerzos de diseño no tendrán un valor efectivo si no se crea una comunicación directa con los usuarios que operarán los equipos y aquellos que les harán mantenimiento, dándole al criterio de calidad del aire un tratamiento de necesidad prioritaria, a la que no debe referirse como algo inusual o exótico. Igualmente establecer claramente que aunque genera más inversión económica en términos de adquisición y operación, todo esto redundará en beneficios pues como se explicó anteriormente, esta siempre será menor que el costo asociado con la disminución en la productividad debida a un mal ambiente de trabajo.

## 1.11 CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

En este momento existe una conciencia sobre las limitaciones energéticas a nivel global, las conclusiones para el diseñador de un sistema de aire acondicionado, y las cuales constituyen un rubro muy significativo en el consumo de energía, son las de crear en función del ahorro y la eficiencia. La regulación ya está establecida en códigos y normas orientando así los diseños. Estos códigos establecen la construcción de edificios con menores requerimientos energéticos, sistemas de iluminación que produzcan más iluminación con menos gasto y sistemas de aire acondicionado que manejen más flujo de aire con equipos más eficientes. La Agencia Internacional del Medio Ambiente ha establecido el factor **TEI** (Total Environmental Impact, o impacto ambiental total) que cataloga un aparato por parámetros de medición en función energética según su:

- **ODP:** Potencial de Destrucción de la capa de Ozono.
- **GWP:** Potencial de Calentamiento Global – Efecto Invernadero.
- **COP:** consumo y rendimiento del equipo.
- **VA:** Vida Atmosférica.
- **C:** Carga de los equipos. Refrigerante.
- **E:** Emisiones de los equipos.

Esta agencia ha determinado que el 98% de la emisión de gases de efecto invernadero que se asocian a un equipo se generan en la producción de la energía para su funcionamiento y solamente el 2% corresponden a las emisiones de la propia máquina.

Los conceptos importantes a considerar al iniciar un diseño con el ánimo de lograr un uso racional de la energía en los sistemas de aire acondicionado son:

- Seleccionando o diseñando la unidad apropiada con el cálculo adecuado de cargas térmicas.
- Minimizando las infiltraciones de aire externo.
- Reduciendo los coeficiente U de las paredes.
- Mejorando la eficiencia de la iluminación.
- Alta eficiencia de los equipos empleados en A.A.: alto COP o REE.
- Alta eficiencia de ventiladores, compresores y motores eléctricos.
- Usar velocidad variable en ventiladores de manejadoras o condensadora (cuando se controla la velocidad de los ventiladores de la condensadora con la presión de descarga).
- Optimización del diseño de ductos y distribución del aire.
- Aplicar programas de mantenimiento apropiados (preventivo, predictivo, proactivo).
- Emplear sistemas de control automático. Con programación de eventos.
- Adoptar sistemas de manejo de energía.
- Emplear sistemas de recuperación de calor.

Y de manera más informal se pueden considerar estas cinco reglas elementales al diseñar, seleccionar y operar los equipos:

1. **Apagado Automático:** Proveer mecanismos que apaguen los equipos cuando estos no se estén usando.
2. **Reducción de consumo:** Si están funcionando, diseñar para que funcionen al nivel más adecuado posible. Proveer mecanismos de regulación para el consumo de energía.
3. **Sintonizar su funcionamiento:** Crear métodos de mantenimiento y operación para que los equipos funcionen en excelentes condiciones. Diseñar en función de fiabilidad y facilidad para el mantenimiento.
4. **mejoramiento continuo:** si se tiene un sistema con posibilidades de mejoramiento, se debe mejorar.
5. **Desechar lo obsoleto:** si un equipo no es eficiente ni tiene posibilidades de aplicar mejoras debe descartarse y reemplazarse.

Un aspecto importante sobre la conservación de la energía es que ella se paga sola, toda mejoría se refleja en menos costos aunque desde el punto de vista del diseño de un sistema de aire acondicionado la conservación de la energía es importante, pero no es el propósito o la función de un sistema. El diseño tiene la prioridad de proveer confort o controlar un ambiente. Si en función de la conservación de la energía hay un detrimento en la efectividad de los equipos del sistema de aire acondicionado, entonces el diseño habrá fallado. El equilibrio vuelve a ser la premisa a la que se debe llegar y para cada caso es necesario diseñar un procedimiento de cálculo de los ahorros y estimar el tiempo de recuperación de capital adicional invertido.

## 1.12 EL CONFORT

El confort es una palabra que define la sensación subjetiva de bienestar la cual varía enormemente de un individuo a otro. Puede ser definido solo en un concepto general o de manera estadística. Investigaciones a través de los años han identificado los factores que más contribuyen al confort: temperatura, humedad relativa, circulación de aire y efectos de energía radiante; la combinación adecuada de valores de estos factores han establecido una escala numérica de niveles de confort llamada **temperatura efectiva** o **índice de confort**. El tipo y la cantidad de vestimenta, el nivel y la clase de actividad realizada y hasta la condición física personal afectan en gran manera el confort.

El orden para obtener un control y un confort se establece:

- Temperatura
- Humedad
- Cambios bruscos de temperatura
- Corrientes de aire molestas
- Irradiación excesiva (solar)

Y considerando las variables de nivel adecuado de bienestar:

Variación de Temperatura { Rapidez → 2° /h  
 Amplitud → 1° c

Variación Humedad { Rapidez → 4 g/kg.hora  
 Amplitud → 2g/kg

En el Cálculo de Índices de Confort se incluye además en las personas la:

- Producción de energía metabólica.
- Vestimenta.
- Temperatura media de radiación.
- Velocidad relativa del aire.
- Presión parcial de vapor de agua.

Aunque inicialmente un control de la temperatura y de la humedad, dan buenas condiciones, un control de la velocidad con que el aire circula es necesaria, tanto por los máximos como en una oficina, como por los valores mínimos en una fabrica donde existan estaciones de trabajo en ambientes industriales de alta temperatura.

#### 1.14 ESTRATEGIAS DE CONTROL

Ningún sistema de aire acondicionado puede ser diseñado sin un completo conocimiento de cómo éste será controlado. La psicometría es una ayuda muy útil en el diseño del sistema de control, ya que la carta describe los ciclos de acondicionamiento y provee los datos para la selección de equipos, además de indicar los puntos de control y las condiciones que se pueden presentar en la operación.

Mas adelante, ya dentro del procedimiento de diseño, se implementarán de manera completa los conceptos generales, los equipos y mecanismos de control en aire acondicionado.

## 1.15 CONSIDERACIONES ARQUITECTÓNICAS, ESTRUCTURALES Y ELÉCTRICAS

Un sistema de aire acondicionado es diseñado para satisfacer los requerimientos ambientales de confort o los de un proceso específico, para un edificio definido o para una parte del edificio y dentro de una ubicación geográfica particular. El diseñador debe asumir el gran compromiso que existe con muchos factores que van más allá del diseño y sus consideraciones y las condiciones del clima exterior. Se debe entender desde un principio como está construido o cómo será edificado un local y el uso para el cual este espacio será destinado: un uso residencial, una oficina comercial, una habitación o la recepción de un hotel, un aula de clase o un laboratorio, la sala de un hospital o un consultorio; una fábrica, un taller o un área donde se realiza un proceso industrial, un almacén o una bodega.

El diseño arquitectónico del edificio provee las bases para el cálculo de las cargas de enfriamiento relacionadas con los revestimientos, paredes, pisos, entresijos, techos y otras áreas. En particular la orientación, cantidad y tipo de ventanales y vidrios, sombreados externos y otros elementos son esenciales para el cálculo de cargas debidas a la luz solar y sus efectos. También para determinar el espacio y la capacidad de soporte disponible para instalar todos los equipos y ductos.

Los factores estructurales y arquitectónicos definen un componente técnico denominado **Arquitectura Bioclimática**, un elemento del diseño sostenible que busca producir edificios y ciudades energéticamente eficientes y conservadoras de los recursos naturales generando la **Arquitectura sostenible**. Esta arquitectura reflexiona sobre el impacto ambiental de todos los procesos implicados en una vivienda, desde los materiales de fabricación (obtención que no produzca desechos tóxicos y no consuma mucha energía), las técnicas de construcción (que supongan

un mínimo deterioro ambiental), la ubicación de la vivienda y su impacto en el entorno, el consumo energético de la misma y su impacto, y el reciclado de los materiales cuando la casa haya cumplido su función y sea derribada. Es por tanto, un término muy genérico dentro del cual se puede encuadrar la arquitectura bioclimática como medio para reducir el impacto del consumo energético de la vivienda.

El uso eficiente de la energía se logra mediante la aplicación de ciertas estrategias con el objetivo primordial de proporcionar ambientes tanto interiores como exteriores confortables bajo cualquier condición climática, por medio de disposiciones puramente arquitectónicas, haciendo uso de tecnologías apropiadas y, en consecuencia, consumiendo el mínimo de energía. Se busca ahorrar energía, mejorar las condiciones de confort lumínico-visual y producir una arquitectura que conmueva y que influya dentro del dominio de lo sensible.

La **inercia térmica** representa la capacidad estructural del material para conducir y almacenar calor, entonces, la inercia térmica en una vivienda lleva aparejado dos fenómenos: el de retardo (de la temperatura interior respecto a la temperatura exterior), y el de amortiguación (la variación interior de temperatura no es tan grande como la variación exterior).

Todos los materiales de construcción tienen la capacidad de almacenar calor cuando se ven sometidos a un aporte energético, bien sea solar o de cualquier otra índole. Una vez cesa el aporte o se oculta el sol, el material restituye el calor al medio ambiente y al interior del edificio. En las regiones calidas, la arquitectura es ligera y de muy buena techumbre, la inercia de los muros es mínima y la construcción se enfría rápidamente una vez que cesa el aporte externo; las cubiertas elaboradas con materiales de un bajo coeficiente de transmisión térmica producen sombra generosa y de buena calidad, generalmente acompañada de eficientes sistemas de ventilación natural.

Una síntesis de nuestras construcciones actuales indica que el concreto armado, la tierra cocida y el vidrio se convierten en los materiales más utilizados y representativos de la arquitectura local. El uso de estos elementos como cerramiento de las envolventes produce construcciones de mediana inercia térmica. Por otro lado, columnas y placas de entresijos se elaboran en concreto reforzado. La construcción es relativamente ligera, pero tiene una inercia térmica muy similar a la de las casas coloniales de 0,90 m de espesor. Esta inercia sumada a las grandes superficies de vidrio de las fachadas, origina problemas de tipo térmico, incluso bajo condiciones climáticas como las de ciudades con más de 2000 m snm como Bogotá.

Esta mezcla funciona bien en los edificios de vivienda de nuestros climas fríos. No obstante en los edificios institucionales o de oficinas donde se ha incrementado la población y el calor producido por equipos electromecánicos, computadores y otros, las condiciones no son fáciles y es común numerosos ejemplos donde solo es posible lograr condiciones de habitabilidad mediante el uso de equipos de aire acondicionado. Las cargas de acondicionamiento alcanzan valores importantes: en algunos casos para climatizar un área de oficinas de 500 m<sup>2</sup> se utiliza un equipo de refrigeración de 30 toneladas. Esto puede equivaler a una inversión de equipos de 75 millones, con un consumo equivalente a 300 KW/h. El problema adquiere hoy grandes dimensiones desde todos los aspectos, incluyendo el económico y el ambiental. Sin embargo puede solucionarse mediante sistemas pasivos utilizando la inercia térmica, no para calentar sino para enfriar. Los edificios de oficinas se construyen con estructura y cerramientos de alta inercia térmica. Las placas de entresijo se constituyen en los elementos más inertes, comparables a gruesos muros horizontales de adobe.

**Microclima y ubicación:** El comportamiento climático de una casa no solo depende de su diseño, sino que también está influenciado por su

ubicación: la existencia de accidentes naturales como montes, ríos, pantanos, vegetación, o artificiales como edificios próximos, etc., crean un microclima que afecta al viento, la humedad, y la radiación solar que recibe la casa.

Un proyecto tratado de manera tradicional no permite que estos elementos restituyan al medio ambiente el calor acumulado durante el día. La temperatura de estos elementos se estabiliza con la temperatura ambiente interior. Cuando los ocupantes llegan en la mañana, encuentran un edificio tibio que se calienta rápidamente un vez que penetra el sol y se ponen en funcionamiento todos sistemas electromecánicos, computadores, luminarias, etc.

Los requerimientos eléctricos para los equipos del sistema completo de aire acondicionado deben ser cuidadosamente y de manera completa relacionados al diseñador del sistema eléctrico antes de la construcción, o correspondientemente, en un local ya construido documentarse de la misma forma sobre las características del servicio eléctrico disponible, voltaje, frecuencia, amperaje, disposición, fases, etc., ya que afectan directamente las especificaciones y el diseño del sistema.

## **1.16 CRITERIOS AMBIENTALES PARA EDIFICACIONES**

Un edificio o espacio interior puede ser usado para diferentes fines. Para cada una de estas aplicaciones el diseño debe determinar el criterio general a partir de la experiencia personal o la documentación técnica disponible sobre cada aplicación. (ver norma ASHRAE 62)

Para uso residencial los dos criterios más importantes serán un adecuado confort y la necesidad por parte de los ocupantes de tener un control directo sobre el ajuste preciso de las condiciones de operación de los equipos; por otra parte el costo inicial del sistema y los costos de

operación y el nivel de ruido. Estas consideraciones también se aplican a espacios similares como apartamentos y habitaciones de hoteles.

Para oficinas comerciales las necesidades básicas serán el confort y una adecuada rata de ventilación, flujo de CFM por persona; para áreas con alto tráfico de personas también se considera un incremento en el aire de ventilación y la cantidad de aire exterior. Por lo general no se instalan equipos de control manual pero si debe existir la posibilidad de ajustar en un amplio rango según las condiciones de uso, densidad de ocupación e infiltraciones por puertas de acceso. Los auditorios, Las salas de conferencias y similares y los locales esquineros deben manejarse de modo particular. Esta flexibilidad en los sistemas debe ser suficiente para acomodarse a cada condición. El nivel de ruido también debe controlarse de acuerdo a los estándares.

En salas de clase y laboratorios las especificaciones varían de acuerdo a las actividades que se desarrollan. Filtros especiales y ductos de ventilación se requieren en laboratorios donde se emitan sustancias químicas o gran concentración de personas. La prioridad reside en la calidad del aire, el confort relacionado con la densidad de ocupación, el nivel de ruido, circulación de aire y controles a la mano para su ajuste. Por lo general cada actividad esta relacionada y regulada ya bajo estándares y se aplican en el diseño a partir de variadas indicaciones.

Para procesos industriales, muchas actividades exigen un control más exacto del ambiente por parte del sistema de aire acondicionado; estos requerimientos incluyen un control preciso de la temperatura y la humedad, con un muy mínimo rango de variación; estos criterios se pueden lograr solo con diseños muy cuidadosos y con elementos de control de alta precisión. En otros ambientes la limpieza de las áreas requiere altas ratas de flujo pero con bajas cargas de enfriamiento y podrían necesitarse equipos separados para cumplir estos dos aspectos.

En espacios con equipos electromecánicos son necesarias altas tasas de extracción y tratamiento del aire con énfasis en la remoción de contaminantes y olores, vapores inflamables o productos de la combustión; de igual manera la operación de estos equipos genera un rezago de vapor aceitoso el cual es transportado en el aire y depositado en los equipos y ductos, y en filtros si los hay. El sistema debe ser diseñado para controlar en algún grado estos efectos. Los criterios de higiene industrial complementan estos requerimientos.

### **1.17 DISEÑO PARA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

A lo largo de la vida de un sistema de aire acondicionado los costos de operación y de mantenimiento excederán en gran medida los costos iniciales. El diseño óptimo del sistema puede tener un efecto sustancial en estos costos. Un sistema sobredimensionado o que es difícil de mantener causará un incremento en los costos energéticos o en detrimento del funcionamiento. Para el diseño es necesario observar los siguientes criterios básicos:

1. **Conservar lo simple:** entre más sencillo sea un sistema será más fácil de comprender su funcionamiento, mantenimiento, operación y reparación.
2. **Proveer espacios adecuados:** la accesibilidad a los componentes permitirá facilidad para evaluación, diagnóstico, mantenimiento, detección de fallas, reparación, remoción y reemplazo de partes.
3. **Creación de procedimientos:** tanto de operación como de mantenimiento; los catálogos de los equipos no son en su mayoría guías de mantenimiento, aunque son útiles para el conocimiento del sistema. Un manual propio para la operación y el mantenimiento es lo recomendable, debe ser corto, preciso, muy directo y claro con el fin

de ser entendible y hasta memorizable. Algo muy complejo y extenso no es práctico y simplemente tenderá a no ser usado.

4. **Proveer capacitación:** logrando un adiestramiento básico para el operador; el diseñador es la persona que más conocerá el sistema y su configuración pero el operador es quien directamente lo hará funcionar. Una interrelación entre estos dos elementos garantizará el éxito en el desempeño y consecuentemente la disminución en costos reales; detallada y cuidadosa comunicación y coordinación con las otras entidades involucradas en los diseños y en el montaje y la operación es requerida. Nada se puede asumir como de entendimiento obvio y entre más conocimiento en estos aspectos sea divulgado más acertado y óptimo resultará el diseño.

## **2. PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO**

A partir del conocimiento de los fundamentos ingenieriles y de los variados aspectos de la filosofía del diseño se tiene la base para iniciar su proceso.

Todas las soluciones a los problemas en ingeniería empiezan con el cálculo o estimación del tamaño del proyecto, en aire acondicionado será cuantificar las cargas de enfriamiento en el espacio seleccionado; un redondeo preliminar de las cantidades o la referencia directa con proyectos similares y la experiencia personal son útiles para contextualizar el nuevo trabajo, también ayudan en las etapas de diseño conceptual, en el desarrollo mismo y en la verificación final de resultados. Un orden estructurado y documentación detallada respaldarán las decisiones tomadas, ayudarán en la selección, comprobarán el ajuste del diseño a normas y códigos y serán efectivos cuando cambios o cuestiones relacionados con el diseño sean solicitados algunos meses o años después de ser entregado, pero no debe exagerarse en los detalles ni en los componentes.

### **2.1 USO DE PROGRAMAS SISTEMATIZADOS**

En la práctica actual es imperativo el uso del computador para el cálculo de cargas. Existen muchos programas para este fin con diferentes grados de complejidad y exactitud. Las consideraciones más importantes al utilizar un programa son:

- El programa debe ser de proveniencia reconocida y ajustado a las normas y estándares vigentes.
- Las entradas del programa deben ser chequeadas por el mismo programa con exactitud, los resultados dependen totalmente de ello; pero

no deben ser numerosas o dispendiosas de obtener y de ingresar al programa.

- Poseer pasos intermedios para hacer seguimiento del desarrollo del programa y de los resultados parciales.
- Contextualizarse a las condiciones propias del local que se acondicionará.

El programa creado por los ingenieros Diego Hernando Rey Rodríguez y Rafael Hernán Rivera Caballero **ACONDICIONAR 1.0** se ajusta totalmente a las observaciones anteriores con la adición de las siguientes:

- Utiliza el método función transferencia MFT
- Completamente el cálculo de cargas con la posibilidad de selección de equipos.
- Interfase sencilla y didáctica. Es una herramienta que brinda la posibilidad de explorar y realizar modificaciones entre las múltiples variables y observar el efecto particular de cada una de ellas.

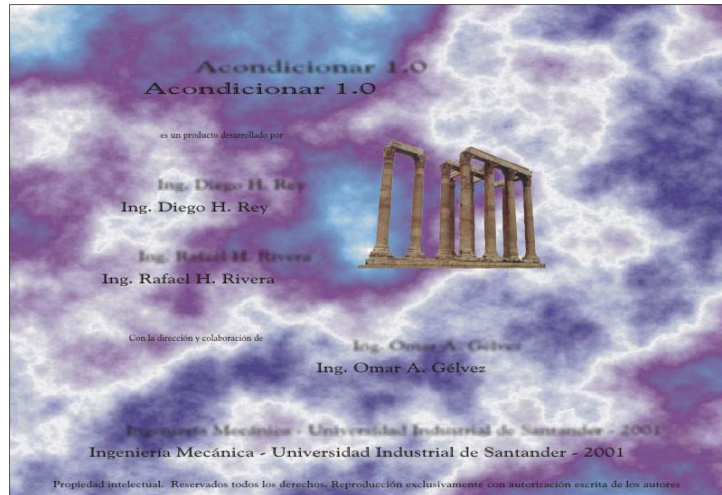
Figura 3. Programa ACONDICIONAR 1.0



Fuente: El Autor.

Se muestra la pantalla de presentación del programa y la tabla de contenido.

Figura 4. Pantalla de presentación



## TABLA DE CONTENIDO ACONDICIONAR 1.0

[Pantalla Central](#)

[Pantalla de Presentación](#)

[Hacer un nuevo proyecto](#)

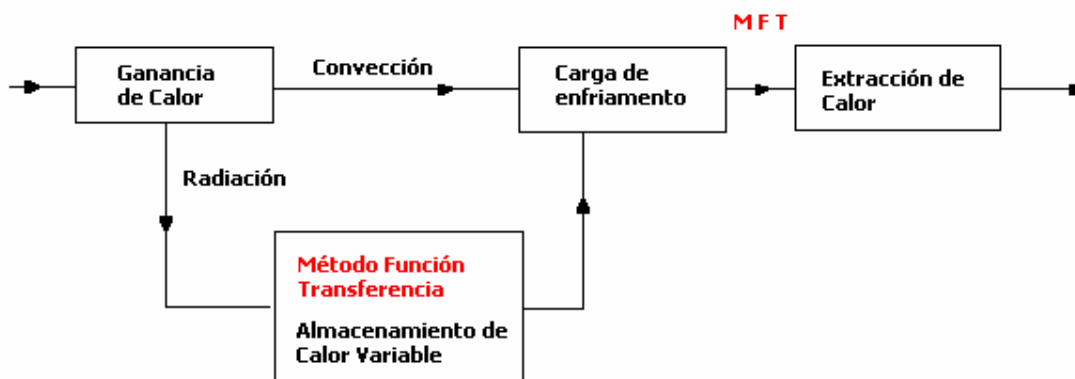
1. Entrar el nombre del nuevo proyecto
  2. Escoger ciudad y condiciones de confort
  3. Escoger zona para local
  4. Hacer un nuevo cuarto
  5. Colocar el piso.
  6. Colocar una Pared Externa
  7. Colocar un Techo
  8. Colocar una Ventana
  9. Colocar una Partición.
  10. Colocar un Entrepiso
  11. Colocar una Puerta
  12. Colocar Personas.
  13. Colocar Luces.
  14. Colocar Aparatos.
  15. Graficar
  16. Infiltración
  17. Resultados
  18. Sumatoria de calores y cargas.
  19. Carta psicrométrica.
  20. Rata de Extracción de calor y temperatura del cuarto.
  21. Reporte
  22. Selección de Equipos.
  23. Paquetes
  24. Split
  25. Todo Agua
  26. Diseño de ductos
  27. Ayudas
  28. Guardar el proyecto
- \* Abrir un proyecto existente  
\* Cerrar el Programa

## 2.2 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

Determinar las cargas térmicas es el inicio del proceso cuantitativo en el diseño del sistema de aire acondicionado y serán el soporte para la selección de los equipos de acondicionamiento.

Los cálculos de la carga de enfriamiento involucran un gran número de variables en donde las ganancias de calor del recinto corresponden a un flujo trasciente (que varía con el tiempo), principalmente causado por la variación horaria de la radiación solar y el retardo en la ganancia efectiva de calor por el efecto de almacenamiento en los elementos del local. En la ilustración se observa este efecto.

Figura 5. Flujo de calor trasciente



Fuente: Tesis de grado REY, Diego; RIVERA, Rafael.

La ganancia del calor del espacio es la rata a la cual este es transferido al recinto o generado dentro de él y se puede dar por mecanismos de conducción, convección y radiación. Cuando esta ganancia se presenta por una adición directa de calor es sensible y tiene una influencia definitiva en el equipo. Cuando adicionalmente hay una ganancia de humedad en el espacio se denomina **latente** y el cálculo puede incluir el valor de la rata de condensación multiplicada por el valor del calor latente

de condensación. Todas las ganancias según su proveniencia se clasifican en externas o en internas y su manejo es diferente.

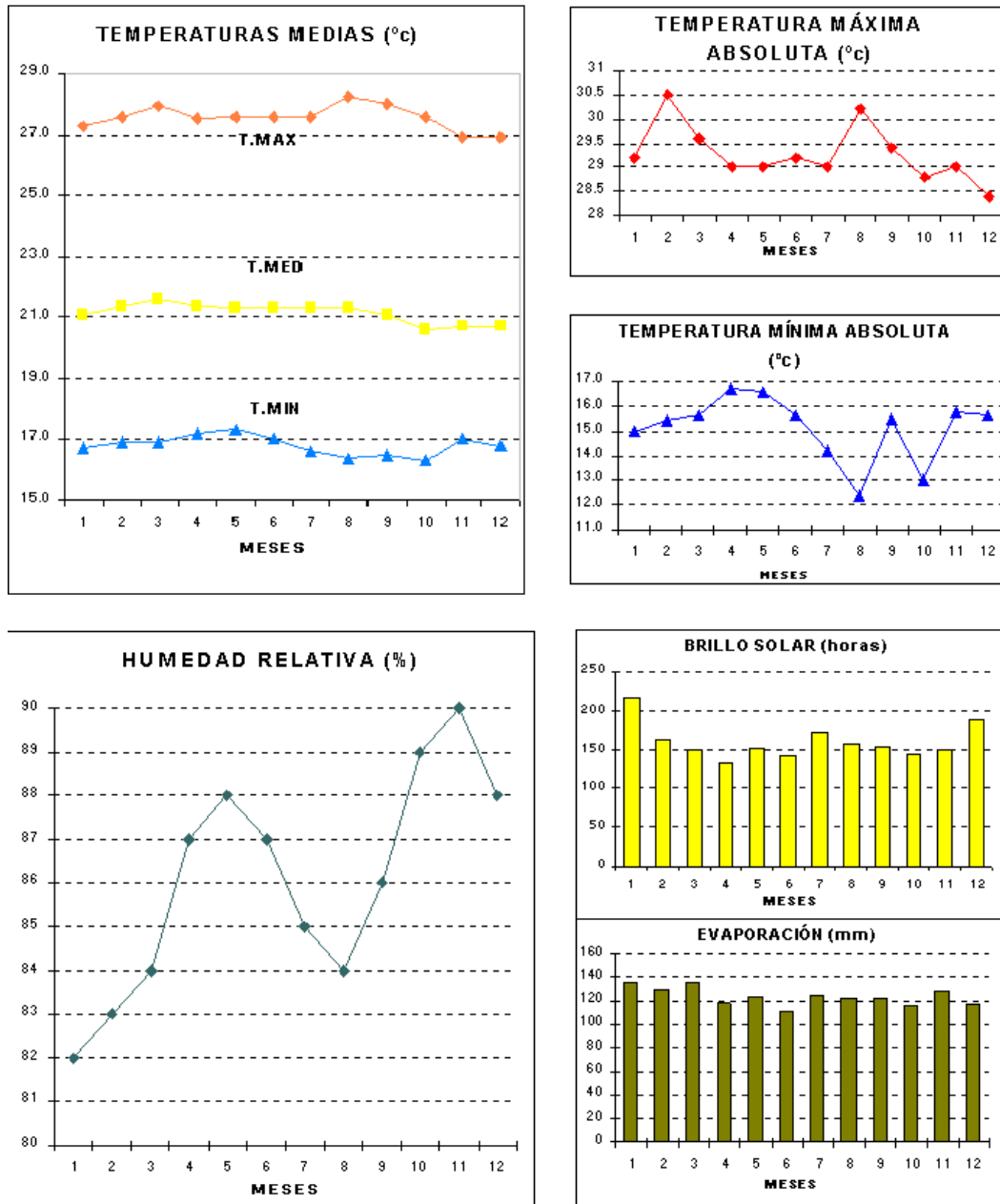
### 2.3 CARGAS EXTERIORES

Se deben principalmente a la radiación solar y la ubicación geográfica. Para el manejo de la radiación solar se aplican conceptos estándar como la **Te= Temperatura aire-sol** que es un término adaptado y muy funcional para el MFT y que depende de la temperatura externa  $T_o$ , la absorptancia  $\alpha$  y el coeficiente de transferencia  $h$ . Permite obtener la  $T_b$  para el proceso psicrométrico y el cálculo de aportes de ganancia hora-hora de ventanas, puertas, entrepisos y particiones. La ubicación geográfica determina las ganancias externas debido a múltiples elementos: Latitud, altitud, longitud, condiciones climáticas, temperatura media, humedad relativa, velocidad y orientación del viento, presión barométrica, etc.

El IDEAM es el organismo encargado en Colombia de recopilar y brindar toda esta información, en el caso del diseño de aire acondicionado son necesarias, entre otras, las cartas de temperatura media, humedad relativa, climatología media mensuales por ciudades, distribución de Temperatura seca por ciudades, posición geográfica, condiciones ambientales por ciudades.

Esta información y la manera como esta disponible se muestra en las siguientes graficas:

Figura 6. Cartas climatológicas - Medias mensuales



**Aeropuerto Palonegro (Bucaramanga)**

Fuente: www.IDEAM.gov.co

## 2.4 CARGAS INTERIORES

Las condiciones de diseño interior para el aire acondicionado dependen del tipo de aplicación. A grandes rasgos las aplicaciones dentro del acondicionamiento de aire se clasifican en el confort humano, aplicaciones industriales y refrigeración de alimentos.

**2.4.1 El confort higrométrico.** Este concepto subjetivo lo determinan aquellas condiciones en las que se alcanza el equilibrio entre el calor generado por el cuerpo, debido al propio metabolismo y la actividad realizada, y el disipado al medio ambiente de tal forma que la temperatura corporal permanezca constante evitando la sensación de incomodidad.

Los parámetros con los que se puede medir se dan a continuación:

- Temperatura del aire en el tiempo y en el espacio de la zona ocupada.
- Temperatura media radiante de las superficies que cierran el local
- Humedad relativa del aire en la locación
- Movimiento de circulación del aire en el recinto
- Olores
- Impurezas del aire por polvo, vapores, sustancias volátiles
- Dificultad para realizar una actividad
- El vestido
- Perturbaciones acústicas y vibratorias
- Condiciones estáticas.

Pero la combinación de estos factores genera una sensación termofisiológica en respuesta y que determina igualmente el confort como se ilustra en la tabla:

**Tabla 1. Conjugación de factores en el confort.**

<b>NOMBRE</b>	<b>FACTORES CONJUGADOS</b>
Impresión sensorial	Temperatura del aire Temperatura radiante media
Corriente de aire	Temperatura del aire Velocidad del aire
Sofocación	Temperatura del aire Humedad relativa

La influencia de la actividad en el confort está directamente relacionada con el diseño y efectividad del sistema, para cuantificar un índice de la actividad metabólica se ha establecido la unidad “**MET**” que relaciona la transferencia de energía al ambiente por la realización de un trabajo. Un MET corresponde a una dispersión de  $50\text{kcal/h} = 58.2 \text{ W/m}^2$ .

De igual manera para cuantificar el efecto de la vestimenta se estableció el índice “**CLO**” y que mide desde la ropa ligera hasta una vestimenta para tiempo muy frío en una escala graduada.

En unidades se expresa un “**CLO**”= $0.15\text{m}^2/\text{°C/W}$  en unidades de resistencia térmica y de  $6.66\text{W/m}^2\text{°C}$  en transmisión de calor.

**2.4.2 Índices de confort.** Para poder involucrar toda la variedad de elementos que participan en el confort se han creado términos estándar para determinar una escala de confort, dos de ellos son la temperatura efectiva, que combina los efectos de la temperatura y la humedad junto con la velocidad del aire; el otro índice es la escala de sensación térmica que correlaciona nivel de confort, temperatura humedad, sexo y tiempo de exposición; dando origen a una escala de sensación térmica como se ve en la tabla.

**Tabla 2. Escala de sensación térmica**

	+3	Sofocante
	+2	Caluroso
	+1	Ligeramente caluroso
	0	Neutral
	-1	Ligeramente fresco
	-2	Fresco
	-3	Frío

Fuente: ASHRAE Handbook.

## 2.5 GANANCIA DE CALOR DEL ESPACIO

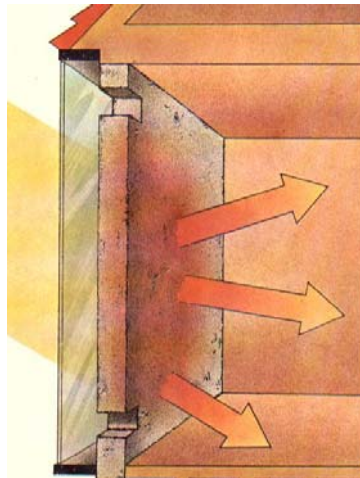
La ganancia de calor del espacio se obtiene por transferencia de las cargas externas y por mecanismos dentro del recinto y se pueden clasificar así:

- A través de techos y paredes, particiones, cielos rasos, pisos, puertas, ventanas y entrepisos.
- Calor generado en el interior por ocupantes, luces y equipos.
- Infiltraciones de aire exterior
- Ganancias misceláneas

Todas ellas se calculan como cargas instantáneas de ganancia de calor, y se tratan con el MÉTODO FUNCIÓN TRANSFERENCIA **MFT**.

Para el caso de **techos, paredes exteriores** se establece la temperatura aire-sol  $T_e$  y la consideración de  $T_i$ , Temperatura interna constante. Se aplican coeficientes de transferencia de calor  $U$  precalculados para diversos tipos de construcción de acuerdo a los mampuestos más utilizados en el medio, existen tablas tabuladas muy completas y que ya están incluidas en las bases de datos del programa ACONDICIONAR 1.0.

Figura 7. Transferencia de calor a través de paredes



Fuente: El Autor.

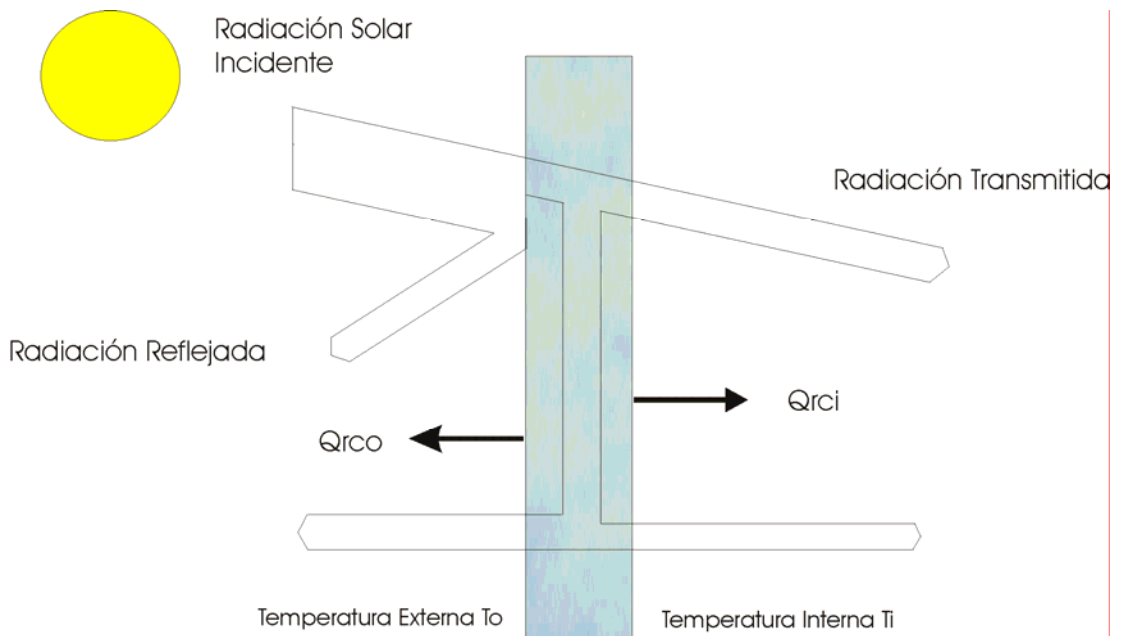
Para las **puertas** se consideran de comportamiento conductivo simple y de almacenamiento de calor despreciable, teniendo en cuenta el material del que está hecho.

Para los **pisos** se maneja como de flujo de calor estable dependiente de la temperatura del suelo. En las **particiones** es muy similar al de paredes exteriores con la inclusión de la Temperatura  $T_b$  del espacio adyacente y que puede ser constante o variable hora-hora; similar manejo se da a los **entrepisos** indicando el tipo de construcción utilizado.

Para **ventanales** las consideraciones son más detalladas debido a la incidencia de factores como:

- Intensidad de la radiación y el ángulo incidente
- La diferencia de temperatura externa e interna
- La velocidad y el flujo del aire en las superficies externas e internas
- Las propiedades ópticas del vidriaje y sus capacidades de transmitancia y absortancia que afectan los porcentajes de calor reflejados, almacenados y transmitidos como se ve en la ilustración del balance de radiaciones en un vidrio.

Figura 8. Balance de radiación en un vidrio



Fuente: Tesis de grado REY, Diego; RIVERA, Rafael.

Como el manejo de las ventanas asume comportamiento de conducción y radiación, se tiene en cuenta el tipo de **sombreado externo** por sus dimensiones y ángulo, observando que se obtiene hasta un 80% de reducción de ganancia de calor dependiendo de la **Pv** proyección vertical, el **Sh** ancho del sombreado y la **Sv** altura del área sombreada; para el **sombreado interno** se utilizan **CS** coeficientes de sombreado que dependerán del tipo: persianas o cortinas y sus propiedades como venecianas o arrollables para las primeras y color de tela, abertura del tejido y tipo de vidrio para las segundas.

El marco de las ventanas tiene incidencia en las infiltraciones como se anotará más adelante.

Para cuantificar ganancias por **luces y equipos** se recurre a valores estandarizados tabulados por la industria que los provee, las bases de

datos que maneja el programa incluyen todos los comunes utilizados y disponibles en nuestro medio.

Se dan las tablas para crear una referencia con este ítem.

**Tabla 3. Coeficientes de lámparas**

<b>Coef. a</b>	<b>Lámpara y tipo de ventilación</b>
	Lámparas incrustadas que no son ventiladas. Baja tasa de suministro de aire.
0.45	Difusores de suministro y retorno por debajo del cielo raso.
	Lámparas incrustadas que no son ventiladas. Suministro de aire entre medio
0.55	y alto. Difusores de suministro y retorno por debajo o a través del cielo raso.
	Lámparas ventiladas. Suministro de aire entre medio y alto. Suministro de
0.65	aire a través del cielo raso o pared pero el retorno alrededor de las lámparas y a través del cielo raso.
	Lámparas ventiladas o colgantes.
0.75	El retorno del aire alrededor de las lámparas y a través de un ducto de retorno.

Fuente: Tesis de grado REY, Diego; RIVERA, Rafael.

**Tabla 4. Equipos de oficina**

<b>Equipo</b>	<b>Servicio Continuo</b>	<b>Serv Intermitente</b>	<b>% radiante</b>	<b>% Convectivo</b>
CPU Pentium	187.60	68.20	0.15	0.85
CPU serie X86	221.80	85.30	0.15	0.85
Fax	102.30	51.10	0.35	0.65
Fotocopiadora Grande	3,753.00	1,023.60	0.25	0.75
Fotocopiadora Pequeña	1,364.80	68.24	0.25	0.75
Impresora laser	1,091.80	238.80	0.20	0.80
Impresora laser grande	1,876.60	426.50	0.20	0.80
Impresora laser pequeña	733.60	119.40	0.20	0.80
Impresora matriz de punto	170.60	85.30	0.20	0.80
Microimpresora laser	443.50	34.12	0.20	0.80
Monitor 14"	187.60	0.00	0.40	0.60
Monitor 16"	238.80	0.00	0.40	0.60
Monitor 20"	273.00	0.00	0.40	0.60
Scanner	85.30	51.10	0.25	0.75

Fuente: Tesis de grado REY, Diego; RIVERA, Rafael.

**Tabla 5. Equipos miscelaneos**

<b>Equipo</b>	<b>C Sensible SC</b>	<b>C Latente SC</b>	<b>C Sensible CC</b>
Congelador Grande	1,840.00	0.00	0.00
Congelador paqueño	1,090.00	0.00	0.00
Cortadora	1,260.00	0.00	0.00
Cortadora y Mezcladora	12,730.00	0.00	0.00
Estufa de 2 a 6 fogones	2,100.00	0.00	0.00
Greca ( 12 tazas )	3,750.00	1,910.00	1,810.00
Horno Microondas comercial	8,970.00	0.00	0.00
Horno Microondas residencial	4,780.00	0.00	0.00
Horno de Estufa (1 pie cubico)	160.00	0.00	0.00
Nevera de 10 pies cubicos	665.00	0.00	0.00
Plancha o Parrilla Grande	615.00	343.00	343.00
Plancha o Parrilla Pequeña	545.00	308.00	298.00
Tostadora	4,470.00	3,960.00	2,700.00
Vitrina o dispensador Grande	610.00	340.00	290.00
Vitrina o dispensador Pequeño	270.00	140.00	130.00
Autoclave ( 0.8 pies cubicos )	480.00	0.00	
Baños calientes (hasta 150°C)	610.00	1,190.00	
Baños calientes (hasta 70°C)	340.00	610.00	
Baños de aceite(105°C)	1,130.00	0.00	
Baños de parafina	680.00	0.00	
Congelador	190.00	0.00	
Cromatógrafo	6,820.00	0.00	

Fuente: Tesis de grado REY, Diego; RIVERA, Rafael.

**2.5.1 Las Infiltraciones.** Las infiltraciones representan el tipo de ganancias internas más difíciles de cuantificar por lo complejo de su mecanismo. Se puede dar de manera natural debido a intersticios en marcos de puertas y ventanas y por el uso de las puertas; de manera mecánica en el aire impulsado por un ventilador y en ambos casos sus ganancias de calor latente y sensible tanto para ventilación como para infiltración son iguales. En general se estima que estas ganancias de calor dependen del caudal infiltrado, el área de infiltración, la diferencia de presión entre el exterior y el interior y la densidad del aire. Otras consideraciones más específicas relacionan el efecto chimenea y la presión del viento.

Muchos de estos factores deben su complicación en el momento de ser cuantificados debido a la falta de información suficiente sobre la cantidad

y permanencia de personas, los horarios de empleo de luces y la operación de los equipos, el diseño debe superar estos inconvenientes.

## 2.6 CARGA DE ENFRIAMIENTO

De manera conceptual se puede definir como la rata a la cual debe ser removido el calor para mantener la temperatura del aire del local en un valor constante. Es diferente de la ganancia de calor instantánea debido a factores de almacenamiento de muchos elementos del local, como son el efecto del tipo y la masa de la construcción, el número de personas presentes o luces y equipos como se vio anteriormente al igual que el efecto de la variación en el grado de radiación solar, el mes de mayor ganancia y los tipos de radiación.

El concepto de **mes de mayor ganancia** se relaciona con la época del año en que el local recibe la mayor carga térmica por efectos ambientales y dependerá de la forma, orientación y tipo de construcción. La manera como recibe la radiación se discrimina en radiación directa  $I_D$ , difusa  $I_d$  y reflejada  $I_r$  que sumadas darán la radiación total  $I_T$ , un dato aportado por la ASHRAE mide la constante solar como  $1353 \frac{W}{m^2}$  o  $429.2 Btu / h.ft^2$  para algunas zonas geográficas representativas. El programa Acondicionar 1.0 tiene la capacidad de determinar este ítem y mostrar resultados sobre el particular.

## 2.7 CONVERSIÓN DE GANANCIAS DE CALOR INSTANTÁNEAS A CARGAS DE ENFRIAMIENTO

Diferentes Funciones Transferencia son utilizadas para convertir cada ganancia de calor instantánea en carga de enfriamiento, los coeficientes de estas funciones dependen del tamaño del intervalo de tiempo entre valores sucesivos de la ganancia de calor y carga de enfriamiento, de la

misma naturaleza de la ganancia de calor y de la capacidad de almacenamiento del espacio.

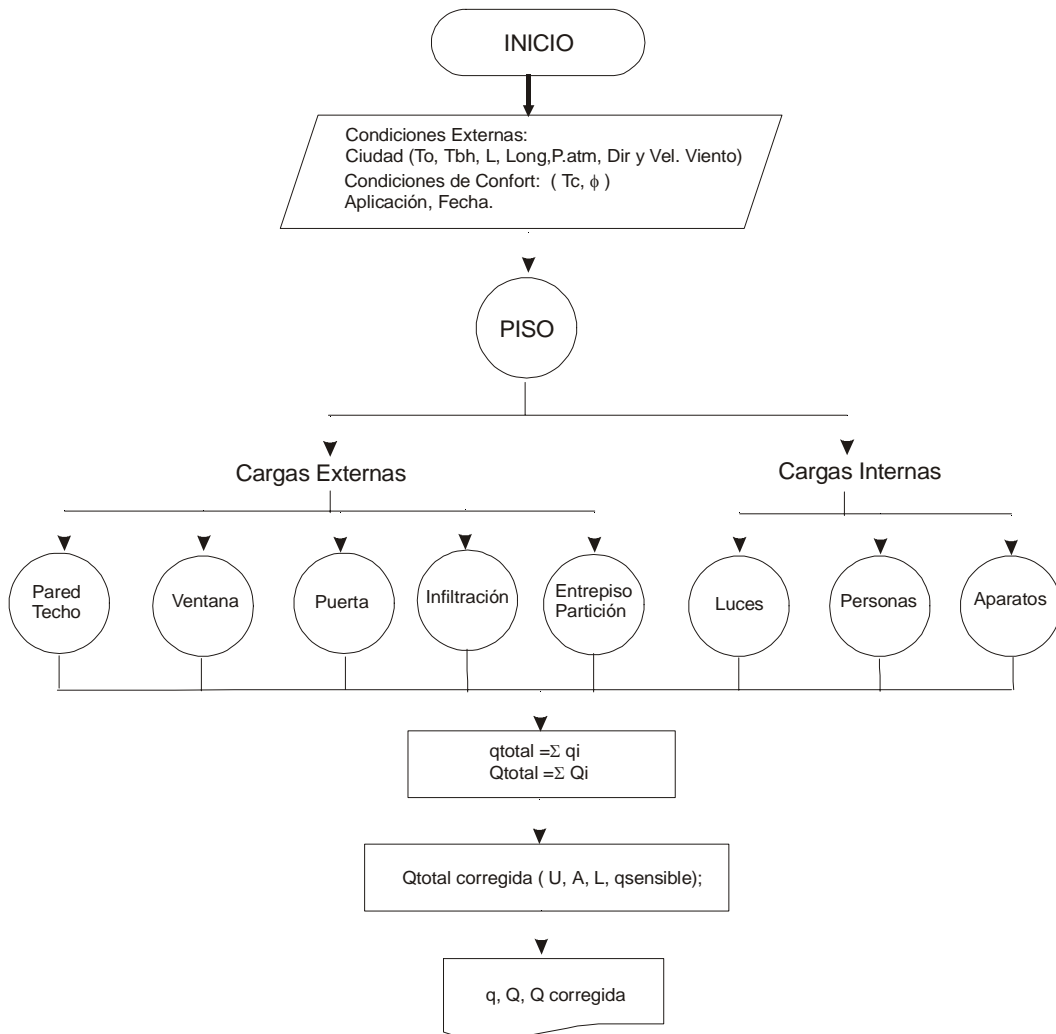
La corrección de las cargas de enfriamiento del espacio por el calor transferido hacia los alrededores, es necesaria en algunos casos donde una fracción  $F_c$  de la energía de entrada se pierde a los alrededores. Esta fracción dependerá de la conductancia térmica entre el espacio y los alrededores. Las componentes que se deben ajustar con el factor de corrección son todas las cargas de enfriamiento sensible tanto de componentes externas como internas.

Para el uso del programa ACONDICIONAR 1.0 se tienen en cuenta los datos de entrada dados para cada nuevo proyecto y los que maneja el programa internamente en las bases de datos, como se muestra en el diagrama de flujo de cargas térmicas.

Simultáneamente se presenta el procedimiento de cálculo de cargas para la Sala GIEMA, con una descripción detallada de la manera como corre el programa y las diferentes presentaciones en pantalla, tanto para el ingreso de datos, como en la entrega de resultados.

Al denominar un nuevo proyecto, se inicia el proceso sistematizado de cálculo. Para ello el programa únicamente solicita el nombre de la ciudad y las especificaciones particulares para las condiciones de confort:

Figura 9. Diagrama de flujo de cargas térmicas



Fuente: Tesis de grado REY, Diego; RIVERA, Rafael.

Figura 10. Diagrama de flujo pisos

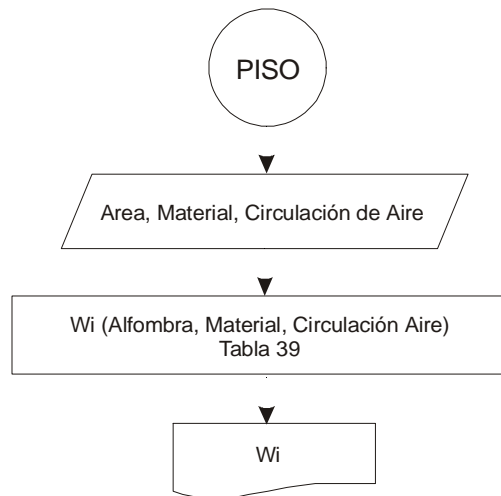
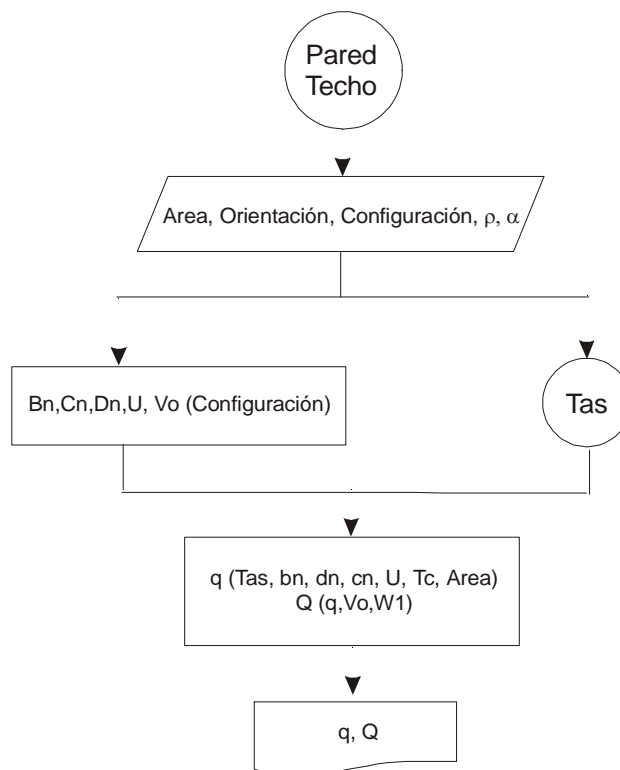


Figura 11. Diagrama de flujo Techo y Pared



Fuente: Tesis de grado REY, Diego; RIVERA, Rafael.

### 3. PROCESO PSICROMETRICO

Con los datos cuantificados de las cargas totales se aborda el proceso psicrometrico. Ya determinadas las ratas de calor sensible RSH y de calor latente RLH y con el objetivo de ilustrar el proceso real se obtienen los factores que afectan el estado higrométrico y que determinan la selección de los equipos: el RSHF factor de calor sensible del local y el GSHF factor global de calor sensible y el factor de bypass BF su obtención se determina como:

$$RSHF = \frac{RSH}{RSH + RLH}$$

$$GSHF = \frac{TSH}{TSH + TLH}$$

Donde TSH es el calor sensible del local más el calor sensible aportado por el aire externo y TLH será el equivalente para el calor latente.

El estado del aire impulsado debe tener las condiciones necesarias para compensar tanto las ganancias sensibles como las latentes, así si el caudal de aire impulsado es el requerido para equilibrar estas cargas; se conservarán las condiciones de temperatura y humedad establecidas para el local, mientras las temperaturas seca y húmeda del aire impulsado corresponda a un punto sobre la recta que une el estado del aire impulsado con el de el estado del local; esta línea tiene una pendiente dada por la relación RSHF y se denomina recta de impulsión. El RSHF se mantendrá constante, cuando la carga sea plena, para unas condiciones; pero el GSHF variará con la variación del caudal de aire exterior o su mezcla.

### **3.1 TEMPERATURA EQUIVALENTE DE SUPERFICIE**

La temperatura de la superficie exterior del aparato de acondicionamiento es variable de un punto a otro. No obstante, se puede imaginar una temperatura media de superficie, de tal manera que si fuera constante en toda la superficie del equipo daría lugar a las mismas condiciones en la salida, que la temperatura real variable. Esta temperatura se llama temperatura equivalente de superficie.

Para instalaciones en las que se realice simultáneamente enfriamiento y deshumectación, la temperatura equivalente de superficie está representada por la intersección de la recta GSHF con la curva de saturación. Esta temperatura puede considerarse como el punto de rocío de la batería. Por este motivo se ha hecho corriente en los EE.UU el término ADP.

### **3.2 FACTOR DE BYPASS**

El factor de bypass representa el porcentaje de aire que pasa a través del equipo acondicionador sin sufrir ningún cambio y depende de las características físicas de la batería y de sus condiciones de funcionamiento. A una disminución de la superficie externa de intercambio de calor corresponde un aumento del BF; de la misma forma cuando se tiene un aumento en la velocidad del aire.

El asumir un factor de bypass más bajo repercute en una temperatura de evaporación más alta en el caso de equipos de expansión directa; en enfriadores de agua la selección de la temperatura del agua no se ve afectada. Se requiere un menor caudal de aire y por lo tanto un ventilador y motor de menor potencia.

Por el contrario, si asumimos un factor de bypass más grande se tiene un ADP más alto, disminuyendo la temperatura de evaporación y en general el caso contrario al anterior.

### 3.3 VOLUMEN DE AIRE IMPULSADO

Un método simplificado para calcular los caudales de aire necesarios consistirá en aplicar las relaciones existentes entre el ADP, el BF y el ESHF.

El SHF efectivo (ESHF) se define como la relación entre las ganancias sensibles efectivas y la suma de las ganancias sensibles y latentes en el local. Estas ganancias efectivas son iguales a la suma de las ganancias del local propiamente dicho, aumentadas en las cantidades de calor sensible y latente correspondientes al caudal de aire que pasa por el equipo acondicionador sin que su estado se modifique, y cuyo porcentaje viene dado por el factor de bypass.

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERSH + ERLH}$$

De acuerdo a lo anterior el flujo de aire se puede calcular como:

$$Ai = \frac{RSH + BF * OASH}{RSH + BF * OASH + RLH + BF * OALH} \quad [m^3/h]$$

El calor sensible y latente correspondiente al caudal de aire que pasa por la batería proveniente del aire externo se calcula como:

$$OASH = 0.29 * Ai * (To - Tc) \quad [kcal/h]$$

$$OALH = 0.71 * Ai * (wo - wc) \quad [kcal/h]$$

En cuanto se haya calculado el volumen de aire tratado se procede a la selección del equipo climatizador. El factor de bypass que se elija será muy próximo al real, si no es así, los cálculos deberán repetirse para tener en cuenta el BF real.

### 3.4 RECALENTAMIENTO

La mayor diferencia admisible entre la temperatura seca del local y la temperatura seca del aire impulsado depende del tipo de instalación considerado. Si esta diferencia fuera mayor de la admisible ó si el ADP fuese menor a  $-5^{\circ}\text{C}$ , se aumenta el caudal de aire haciendo que parte de él no pase por el acondicionador.

En este caso se admite una variación en el diferencial de temperatura que sea permitido por la aplicación y a partir de éste se calcula el aire impulsado así:

$$Ai = \frac{RSH}{0.29(Tc - Ti)} \text{ [m}^3\text{/h]}$$

El aire que sale de la batería deberá recalentarse de forma que se obtenga la temperatura elegida a la entrada al cuarto.

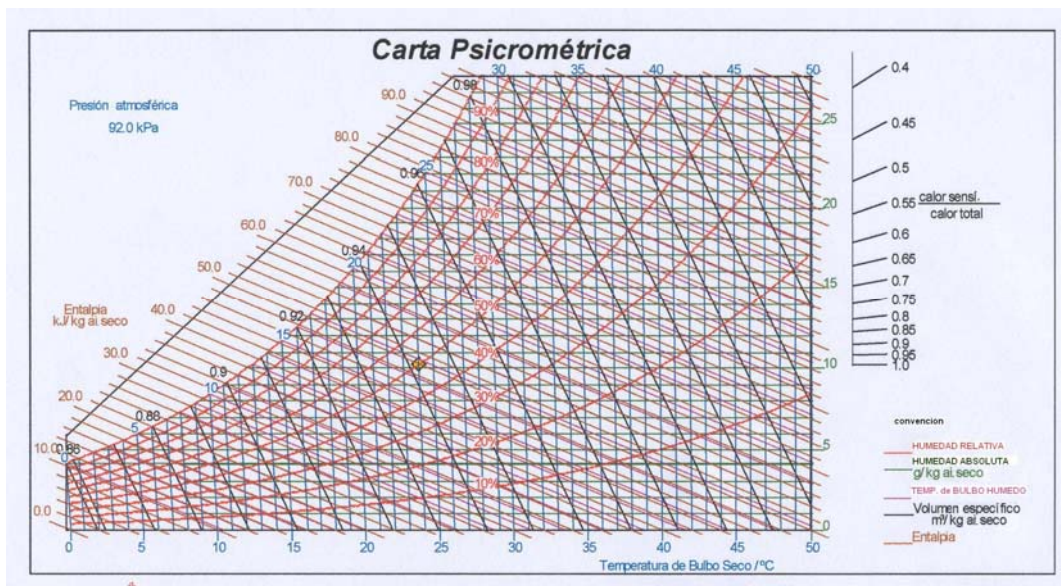
$$\text{Recalentamiento} = 0.29 \cdot Ai \cdot (Ti - Tsa) \text{ [Kcal/h]}$$

En el módulo de psicrometría de ACONDICIONAR 1.0 se calculan los flujos de aire externo e impulsado, se establece un posible factor de bypass y en caso de ser necesario calcula el recalentamiento.

Con los valores de RSH y RLH obtenidos en el modulo anterior y un factor de bypass asumido, de acuerdo a la aplicación, se calculan los estados de las condiciones externas y de confort o de los requerimientos

particulares y se representan en el diagrama psicrometrico. La opción de recalentamiento está sujeta a el valor de ADP del equipo, si es menor de -5°C y/o la diferencia de temperatura entre la salida del aparato  $T_{s_a}$  y el cuarto  $T_c$  es mayor a 13°C

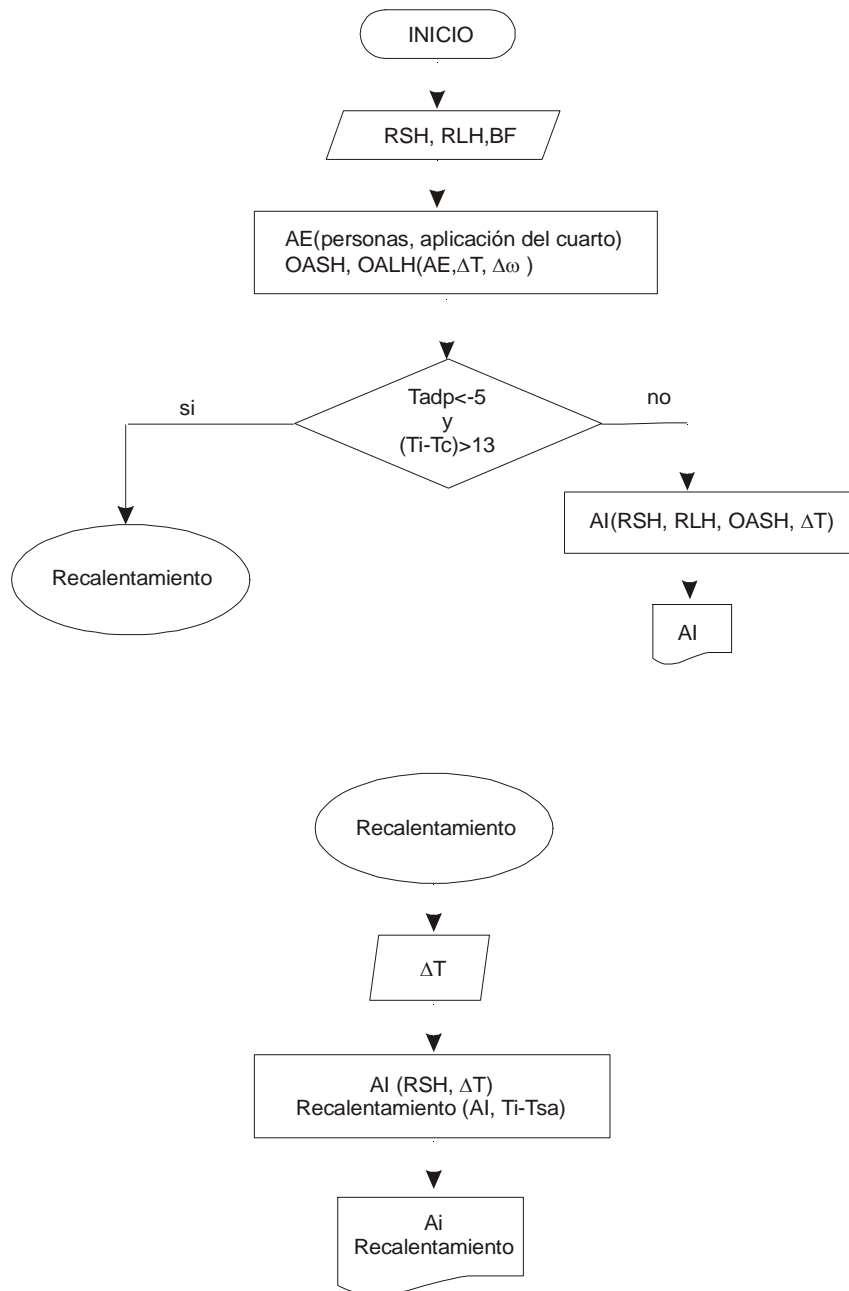
Figura 12. Diagrama psicrometrico



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com).

El diagrama de flujo del proceso psicrometrico ilustra la manera como se completa el proceso y se muestra a continuación:

Figura 13. Diagrama de flujo del proceso Psicrometrico



Fuente: Tesis de grado REY, Diego; RIVERA, Rafael.

#### **4. SALA GIEMA**

La sala de cálculos numéricos del Grupo de Investigación en Energía y Medio Ambiente (GIEMA) Se ubica en el costado norte y el segundo nivel del edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica (ver anexo ubicación geográfica). Estructuralmente esta conformado por paredes de ladrillo N° 4 (H10) en tabique con yeso; techos y pisos en losa de concreto hueco y viga de concreto CC con yeso; posee una partición de ladrillo hueco N° 4 en tabique con yeso; las dimensiones son de 4m de largo x 4m de ancho x 2.6 de alto (ver figura). En la pared del costado oriental se encuentra la entrada principal tipo puerta en Lamina Metálica de dimensiones 1m ancho x 1,90 m de alto. En las paredes oriental y occidental se ubica respectivamente una ventana de dimensiones de 1m de ancho x 1,5 m de alto, de vidrio común con persianas venecianas opacas. Tanto la puerta como las ventanas tienen marcos en mampostería (para efectos de cálculo de infiltración).

Los espacios adyacentes son prados y parqueaderos en pavimento regular. El local tiene capacidad para 6 personas realizando labores de oficina, sentados, de tipo Liviano, en horarios posibles de 7 a.m. a 7 p.m.

El inventario de equipos de incluye: 4 computadores tipo Pentium con monitores de 17" y 20", con una impresora tipo láser, un escáner convencional. Para la iluminación se tiene una lámpara tipo fluorescente de 40 w ubicada en el techo.

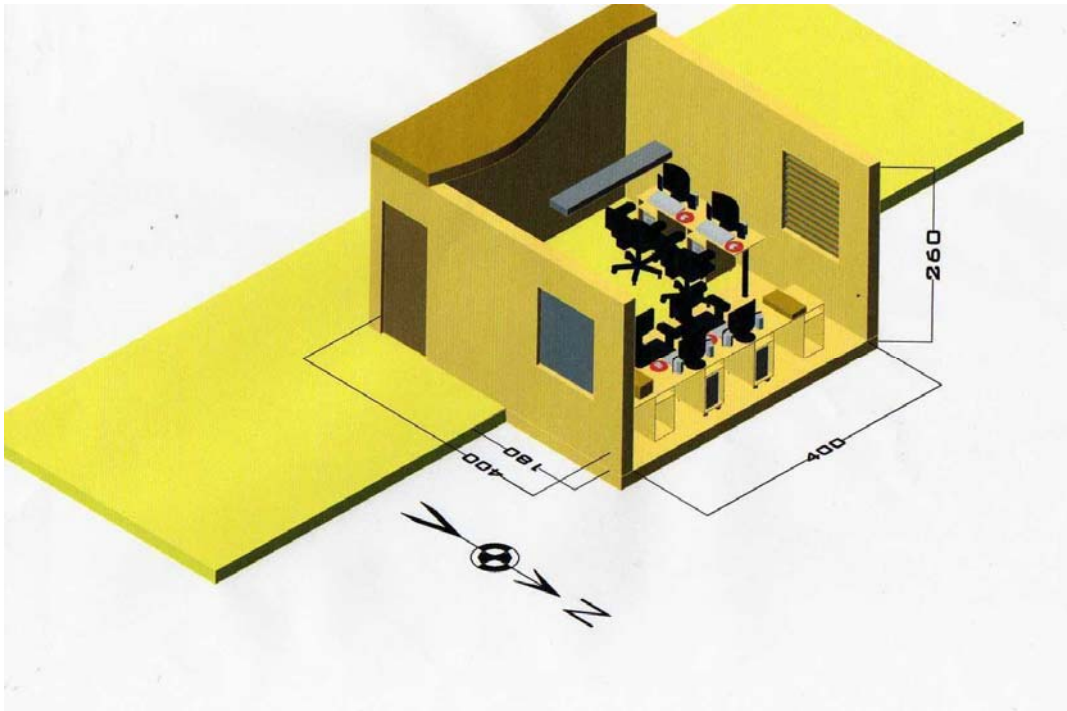
Figura 14. Logotipo



**GIEMA**

GRUPO DE INVESTIGACION EN  
ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE

Figura 15. Vista plano sala GIEMA



Fuente: El Autor.

Figura 16. Ubicación SALA GIEMA

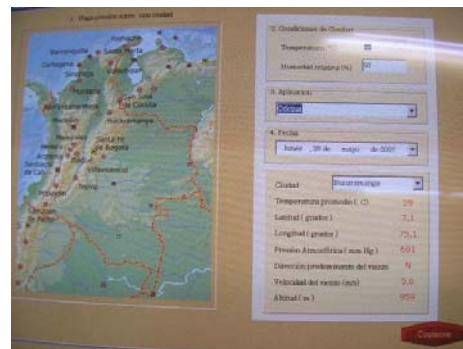


Fuente: El Autor.

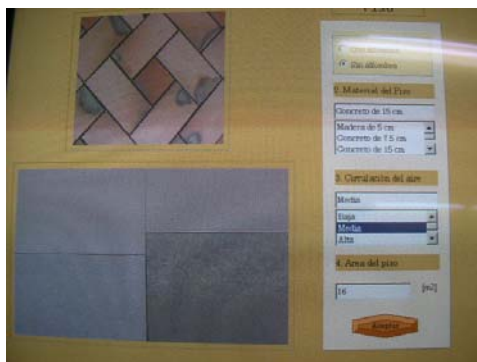
Figura 17. Procedimiento calculo de cargas sala Giema programa ACONDICIONAR 1.0:



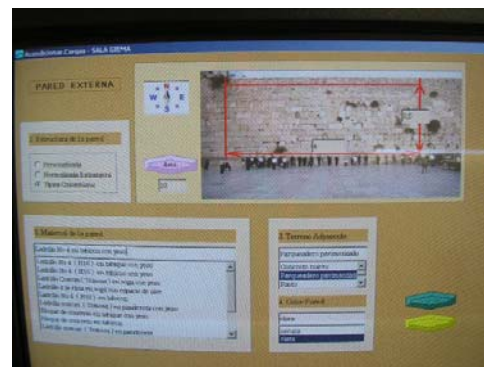
Denominación Nuevo proyecto



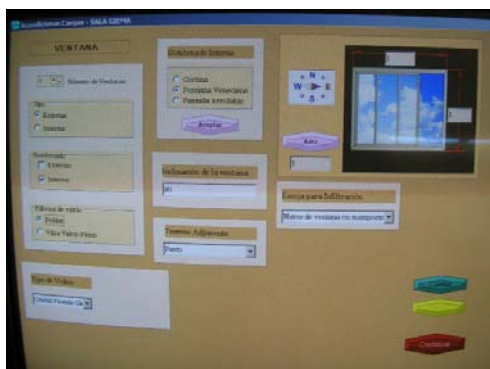
Definición Geográfica



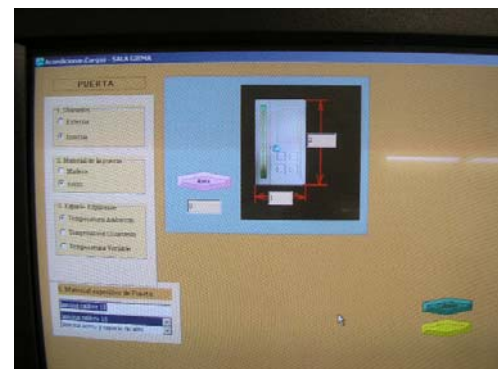
Selección pisos



Selección paredes



Selección ventanas



Selección puertas

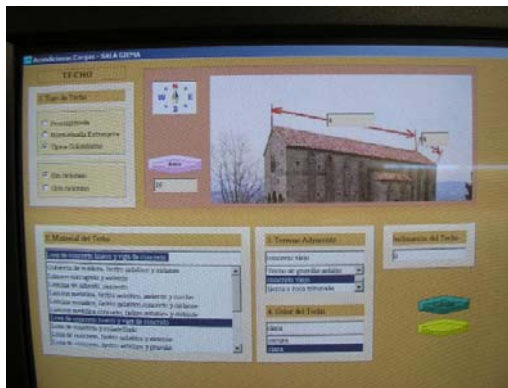
Fuente: El Autor.



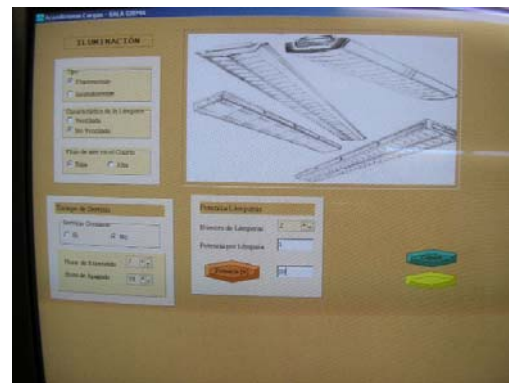
Selección partición



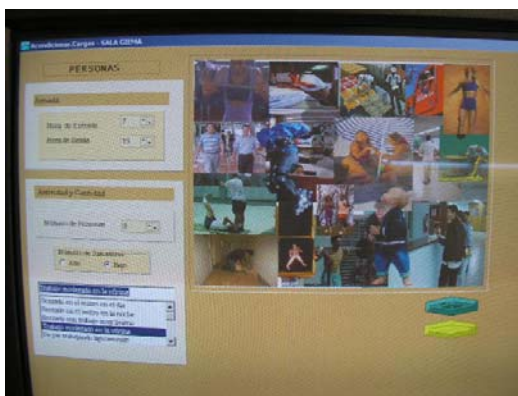
Selección entrepiso



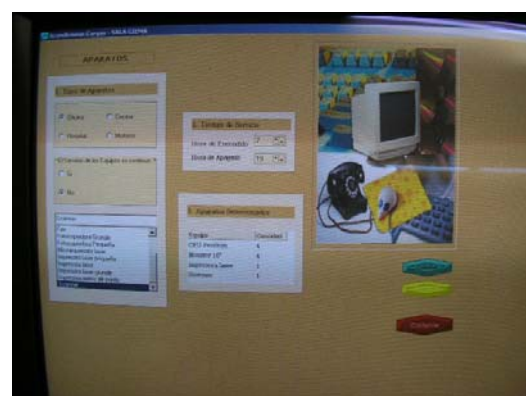
Selección techos



Selección iluminación



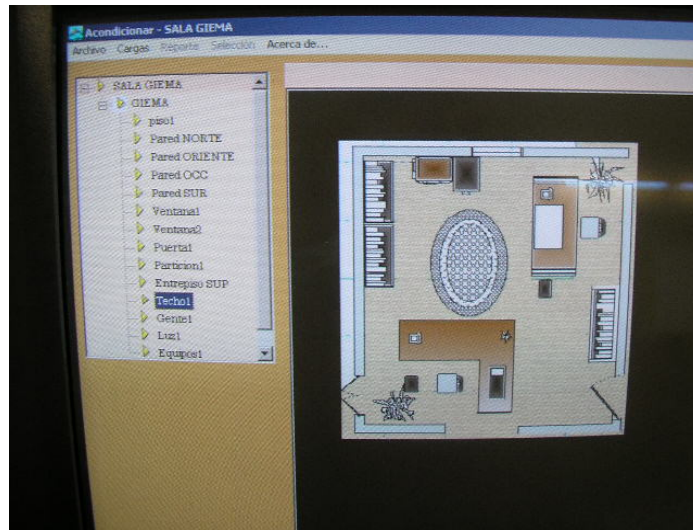
Selección personas



Selección equipos

Fuente: El Autor..

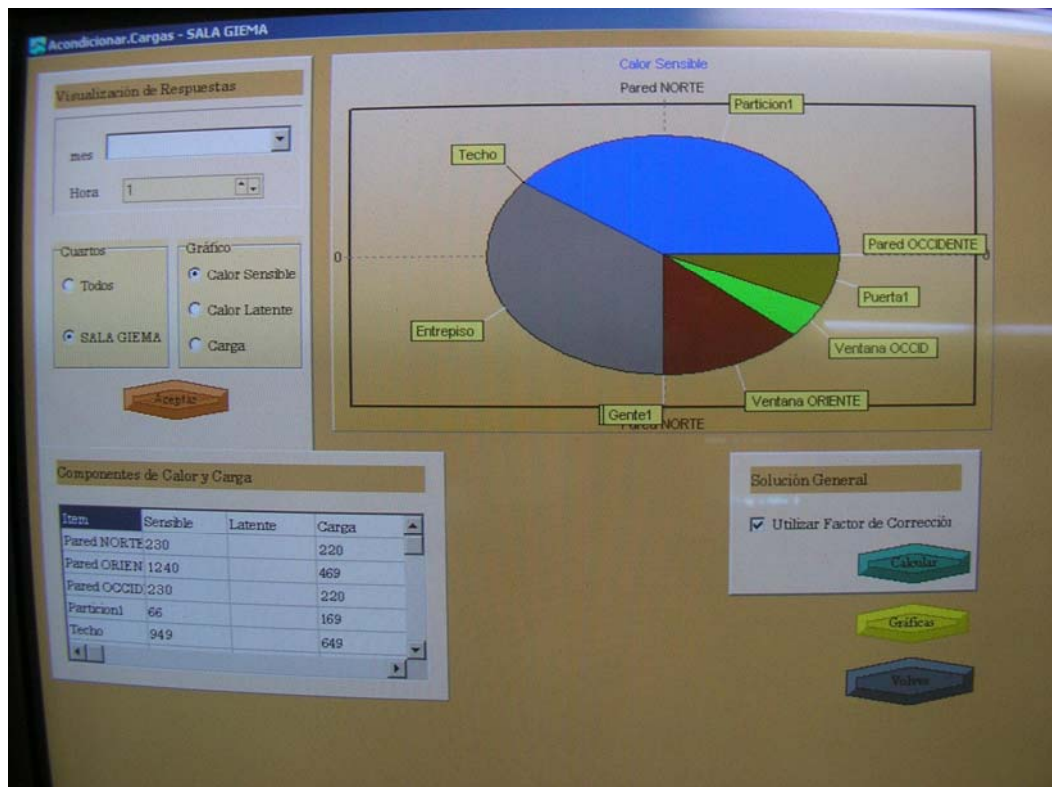
Figura 18. Cálculo de Cargas



Fuente: El Autor.

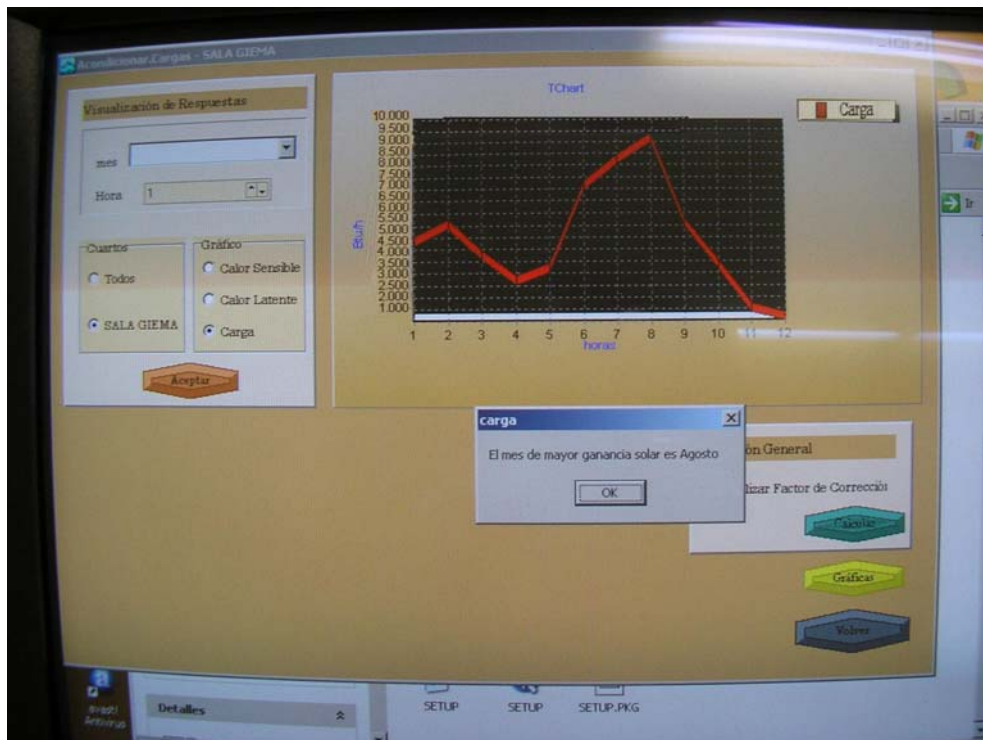
Resultados cálculo de cargas sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0:

Figura 19. Cálculo de cargas sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0:



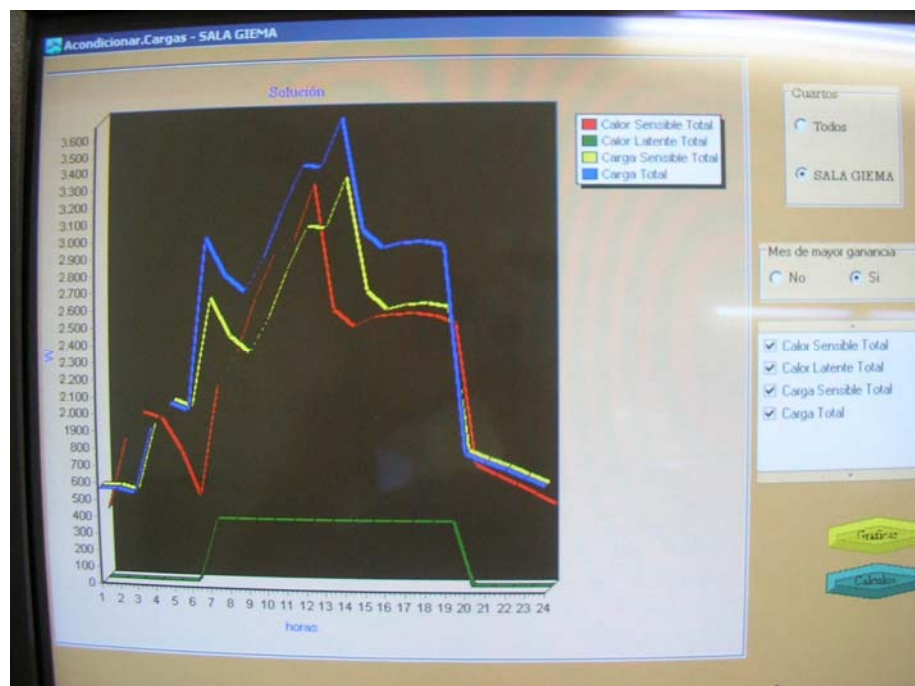
Fuente: El Autor.

Figura 20. Mes de mayor ganancia solar



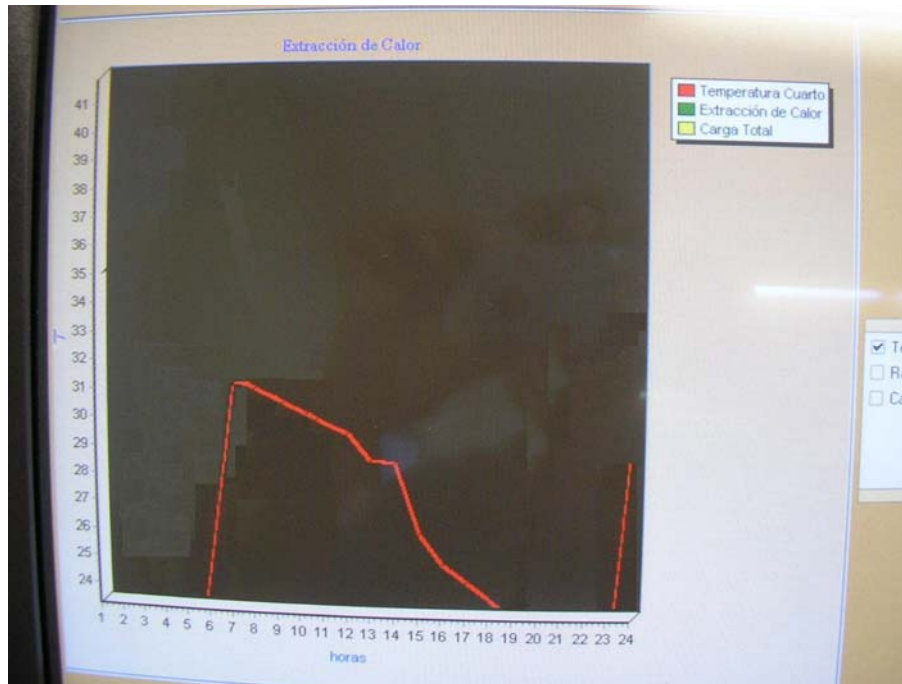
Fuente: El Autor.

Figura 21. Evolución de las cargas en la sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0



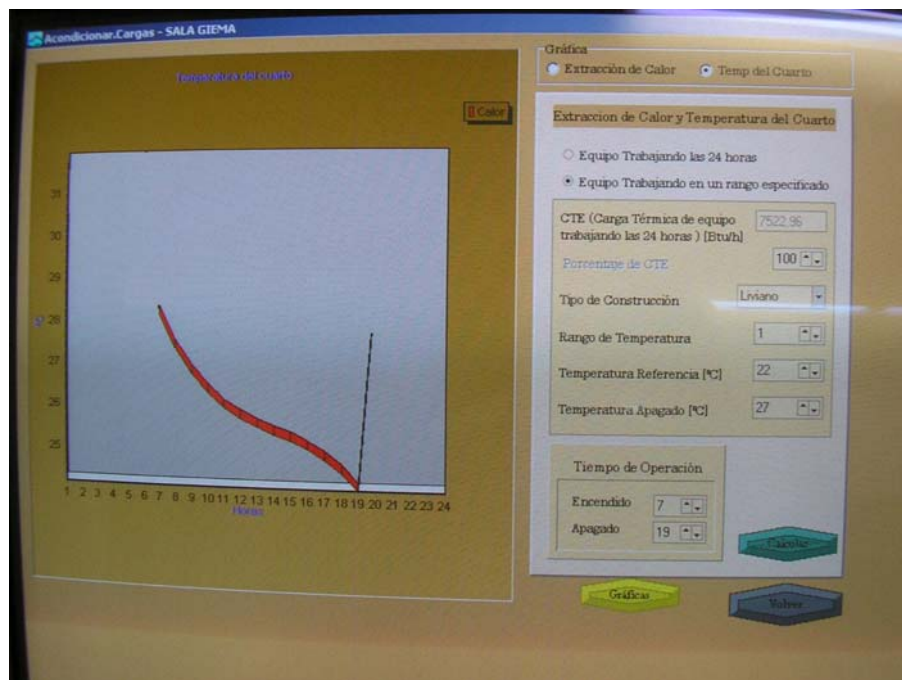
Fuente: El Autor.

Figura 22. Evolución Temperatura del Cuarto



Fuente:El Autor.

Figura 23. Evolución Temperatura del Cuarto. Equipo funcionando en rango.



Fuente: El Autor.

Figura 24. Reporte calculo de cargas sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0

1

## Acondicionar 1.0

### Reporte de Resultados

---

Proyecto: SALA GIEMA	Ciudad:	Fecha: 28/05/2007
Mes de Cálculo: Agosto	Tdb: 29 °C	Twb: 21°C
Hora de Diseño: 14	Latitud: 7,1 °	Altitud: 959 m
Temperatura del Cuarto: 22 °C	Humedad Relativa: 50	

---

#### Ganancia de Calor Sensible [Btu/h]

Nombre	Valor
Infiltracion R	164
Equipos0	2644
Luz1	68
Gente1	2960
Entrepiso1	96
Particion1	65
Puerta1	105
Ventana ORIENTE	644
Ventana OCCID	636
Techo1	949
Pared NORTE	230
Pared ORIENTE	1400
Pared OCCIDENTE	1240

#### Ganancia de Calor Latente [Btu/h]

Nombre	Valor
Infiltracion R	84
Equipos0	0
Gente1	1240

#### Carga de Enfriamiento [Btu/h]

Nombre	Valor
Infiltracion R	230

**Carga de Enfriamiento [Btu/h]**

---

Nombre	Valor
Equipos0	1571
Luz1	34
Gente1	4642
Entrepiso1	78
Particion1	157
Puerta1	87
Ventana ORIENTE	449
Ventana OCCID	363
Techo1	647
Pared NORTE	220
Pared ORIENTE	459
Pared OCCIDENTE	220

RSH: 11201 Btu/h  
RLH: 1324 Btu/h

OASH: 224 Btu/h  
OALH: 352 Btu/h

BF: 0,100000001490116

ADP: 9,35971069335938 °C

TI - Tc: 11,28420

AE: 38 cfm

Ai: 247 cfm

Recalentamiento: 0 Btu/h

---

Fuente: Programa ACONDICIONAR 1.0..

Figura 25. Reporte de resultados HORA/HORA

1

## Acondicionar 1.0

### Reporte de Resultados

Proyecto: SALA GIEMA	Ciudad:	Fecha: 28/05/2007
Mes de Cálculo: Agosto	Tdb: 29 °C	Twb: 21°C
Hora de Diseño: 14	Latitud: 7,1 °	Altitud: 959 m
Temperatura del Cuarto: 22 °C	Humedad Relativa: 50	

### Descripción horaria del proyecto

#### Ganancia de Calor Sensible [Btu/h]

Nombre	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200
Infiltracion R	0	0	0	0	0	0	131	139	164	164	164	164
Equipos0	0	0	0	0	0	0	2644	2644	2644	2644	2644	2644
Luz1	0	0	0	0	0	0	68	68	68	68	68	68
Gente1	0	0	0	0	0	0	2960	2960	2960	2960	2960	2960
Entrepiso1	-2	-31	-61	-91	-109	-110	-95	-62	-15	81	81	97
Particion1	-9	-36	-63	-63	-63	-36	62	65	65	65	65	65
Puerta1	-17	-17	-35	-35	-52	-52	-35	0	35	52	70	97
Ventana ORIENTE	-14	-14	-14	-14	81	139	409	492	592	644	644	644
Ventana OCCID	189	180	107	131	131	139	187	167	174	267	289	321
Techo1	420	381	348	335	354	409	492	594	703	806	890	947
Pared NORTE	213	194	175	159	148	144	146	150	158	167	180	195
Pared ORIENTE	346	314	284	265	267	289	335	420	592	947	1240	1240
Pared OCCIDE	194	194	175	159	148	144	146	150	158	592	890	1240

#### Ganancia de Calor Latente [Btu/h]

Nombre	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200
Infiltracion R	0	0	0	0	0	0	68	68	68	68	68	70
Equipos0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gente1	0	0	0	0	0	0	1240	1240	1240	1240	1240	1240

### Ganancia de Calor Sensible [Btu/h]

Nombre	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
Infiltracion R	164	164	164	164	164	164	164	164	131	139	131	139
Equipos0	2644	2644	2644	2644	2644	2644	2644	0	0	0	0	0
Luz1	68	68	68	68	68	68	68	0	0	0	0	0
Gente1	2960	2960	2960	2960	2960	2960	2960	0	0	0	0	0
Entrepiso1	97	97	97	31	31	-15	-39	-55	-59	-51	-31	1
Particion1	65	65	61	42	22	1	-20	-36	-43	-41	-28	-5
Puerta1	97	105	105	105	97	51	37	24	0	0	0	0
Ventana ORIE	644	644	626	610	610	323	307	306	81	92	51	37
Ventana OCC	636	636	626	693	693	579	568	564	566	574	213	194
Techo1	947	949	626	606	593	359	307	306	319	319	177	165
Pared NORTI	217	230	189	177	168	165	164	166	92	81	81	81
Pared ORIEN	1370	1400	1400	1307	1306	403	386	359	371	378	319	319
Pared OCCID	1203	1240	1189	770	680	650	461	185	195	166	170	177

### Ganancia de Calor Latente [Btu/h]

Infiltracion R	70	84	84	70	70	70	70	51	37	24	0	0
Equipos0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gente1	1240	1240	1240	1240	1240	1240	1240	0	0	0	0	0

### Carga de Enfriamiento [Btu/h]

Nombre	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200
Infiltracion R	0	0	0	0	0	0	0	0	65	84	98	213
Equipos0	0	0	0	0	0	0	1571	1571	1571	1571	1571	1571
Luz1	0	0	0	0	0	0	34	34	34	34	34	34
Gente1	0	0	0	0	0	0	4642	4642	4642	4642	4642	4642
Entrepiso1	0	0	0	0	0	0	70	70	70	70	70	87
Particion1	18	65	116	168	213	242	254	248	224	192	157	270
Puerta1	0	0	0	0	0	0	35	56	56	70	70	70
Ventana ORIEN	0	35	35	36	39	428	428	428	564	564	650	650
Ventana OCCID	0	0	0	0	0	0	14	35	35	35	35	70
Techo1	0	0	0	0	0	0	70	70	265	462	506	553
Pared NORTE	0	0	0	0	0	0	42	274	270	261	248	231
Pared ORIENTE	0	0	0	0	0	35	511	492	468	441	411	378
Pared OCCID	0	0	0	0	0	30	24	37	51	56	56	157
Temp. Cuarto	18	18	18	18	16	23	26	29	31	30	30	29
Extracción calor	0	0	0	0	0	0	9139	9139	9139	9139	9139	9139

Nombre	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

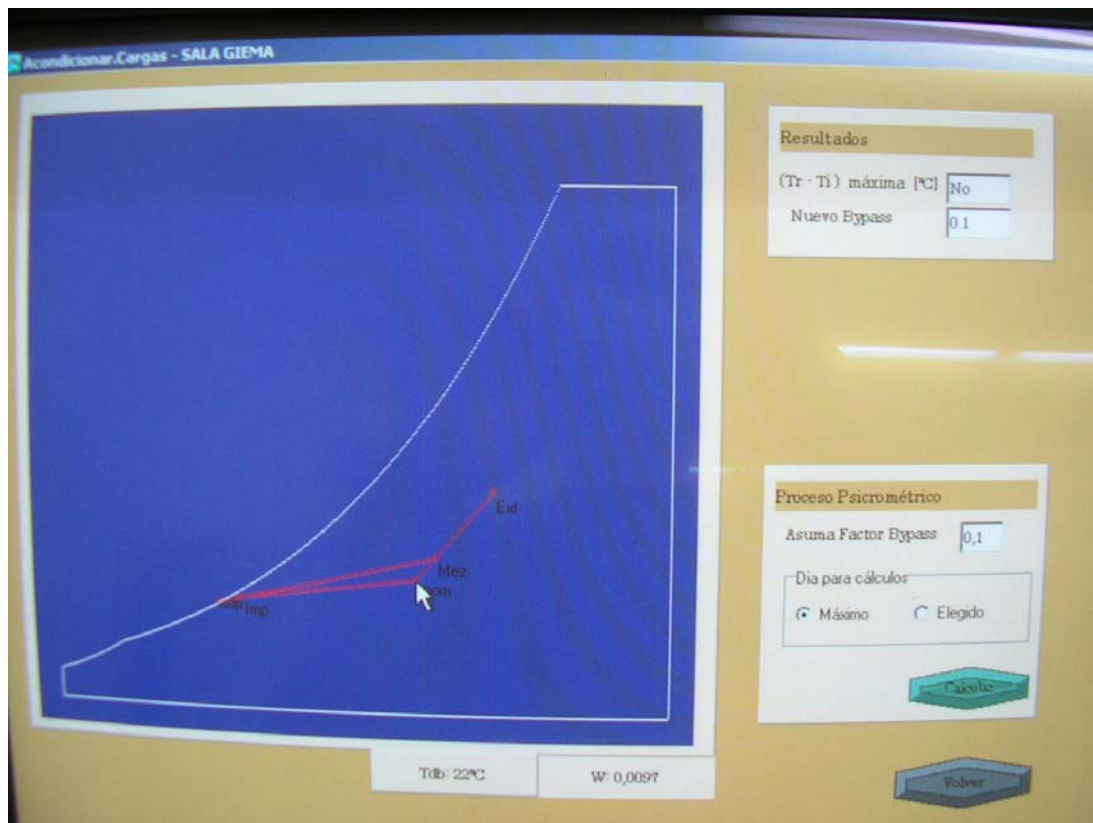
**Carga de Enfriamiento [Btu/h]**

Infiltración R	213	230	234	247	234	165	91	56	23	0	0	0
Equipos0	1571	1571	1571	1571	1571	1571	1571	56	52	49	46	43
Luz1	34	34	34	34	34	34	34	0	0	0	0	0
Gente1	4642	4642	4642	4642	4642	4642	4642	0	0	0	0	0
Entrepiso1	87	78	121	166	204	226	234	225	204	175	146	121
Particion1	270	449	492	430	465	188	400	198	185	164	141	121
Puerta1	64	78	91	81	70	59	35	23	10	10	9	-4
Ventana ORIE	650	449	429	84	98	84	70	56	28	14	0	0
Ventana OCCID	274	363	363	384	398	384	370	0	0	0	0	0
Techo1	627	647	665	679	690	696	699	553	69	0	0	0
Pared NORTE	207	220	231	240	247	252	56	0	0	0	0	0
Pared ORIENTE	429	280	245	201	157	121	36	0	0	0	0	0
Pared OCCID	157	220	231	240	247	252	256	157	25	0	0	0
Temp. Cuarto	29	29	29	29	28	28	29	29	28	28	26	23
Extracción calor	9139	9139	9139	9139	9139	9139	9139	0	0	0	0	0

Fuente: PROGRAMA acondicionar 1.0.

Se muestra a continuación la visualización en pantalla del Diagrama psicrometrico sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0

Figura 26. Diagrama psicrometrico sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0



Fuente:El Autor.

Los resultados obtenidos con el programa indican:

Room:		Mezcla:	
Tdb = 22 °C	w = 0.097	Tdb = 22,8 °C	w = 0.0116
Aire Exterior:		Aire Impulsado:	
Tdb = 27,4 °C	w = 0.0162	Tdb = 10,6 °C	w = 0.009
Adp:		Factor BYPASS:	
Tdb = 9.3597 °C	w = 0.0089	0,10	

## 4.1 RATA DE EXTRACCIÓN DE CALOR

La rata de extracción de calor es la rata a la cual el calor es removido del espacio acondicionado.

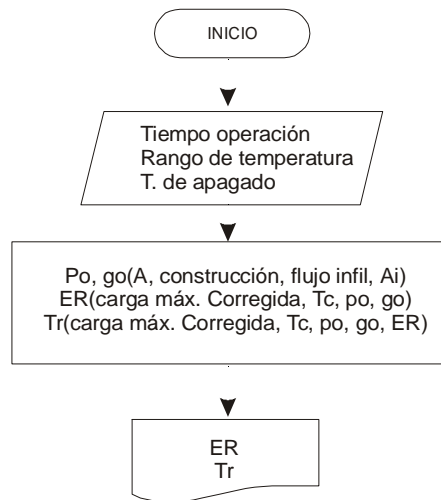
Para calcular la rata de extracción de calor es necesario haber corregido las cargas de enfriamiento debido al calor transferido a los alrededores. Una vez se tiene la carga total corregida se combinan las variables: hora de encendido y hora de apagado del equipo junto con el rango de temperatura máximo aceptado por los ocupantes del local. Además se ajusta el termostato para una temperatura de encendido y otra de apagado.

La capacidad del equipo acondicionador se escoge para la hora donde se presenta la máxima rata de extracción de calor.

La función transferencia del aire del cuarto SATF relaciona la rata de extracción de calor y la temperatura del aire del cuarto, la cual tiene los coeficientes  $g_i$ ,  $p_i$  que correlacionan las características del tipo de construcción: Liviana, media, pesada; además de involucrar aspectos de conductancia, el efecto del aire externo y las infiltraciones de aire.

El modulo de extracción de calor de ACONDICIONAR 1.0 calcula la rata de extracción de calor y la temperatura real del cuarto a partir de los valores de carga de enfriamiento corregida, los flujos de aire infiltrados e impulsado, el tiempo de operación del equipo y el margen de temperatura permisible en el cuarto (para esto se tienen los coeficientes normalizados de función transferencia del cuarto SATF) según el diagrama de flujo siguiente.

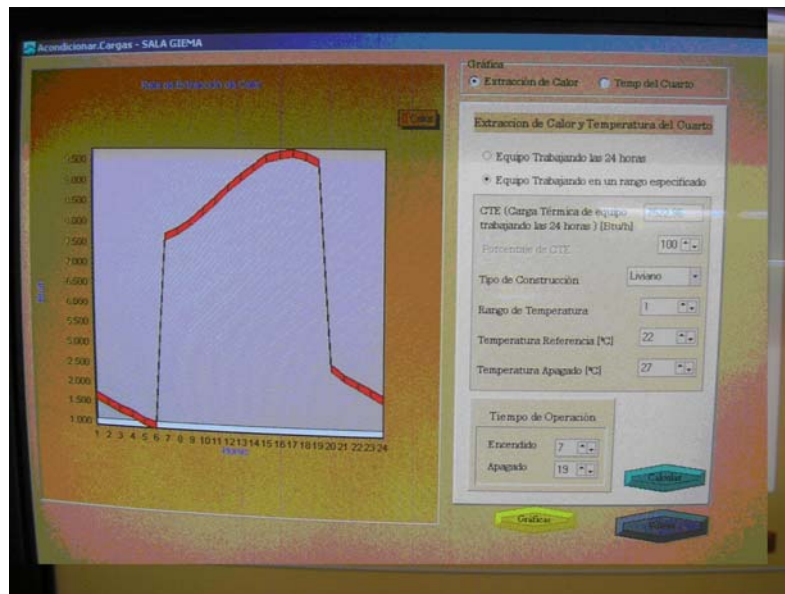
Figura 27. Diagrama de flujo del calculo de la Rata de Extracción de calor



Fuente: Tesis de grado REY, Diego; RIVERA, Rafael.

Se muestra a continuación la visualización en pantalla de la Rata de extracción de calor sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0

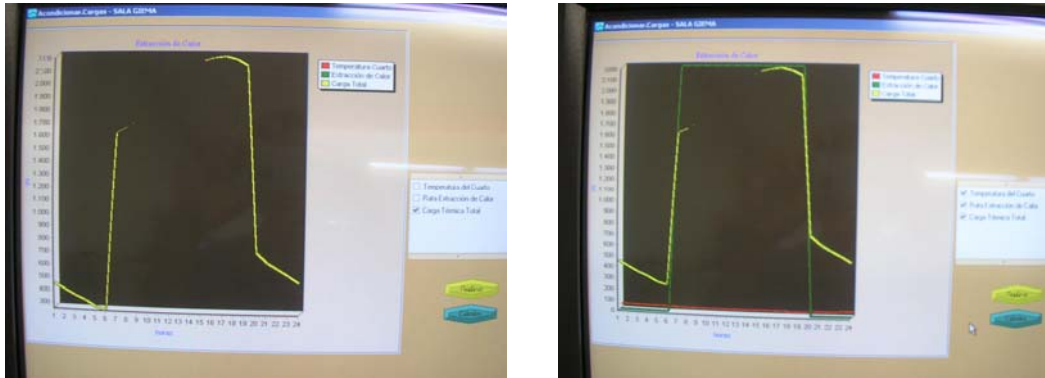
Figura 28. Rata de extracción de calor sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0



Fuente: El Autor.

Resultados programa Acondicionar 1.0 sala GIEMA:

Figura 29. Resultados Sala Giema



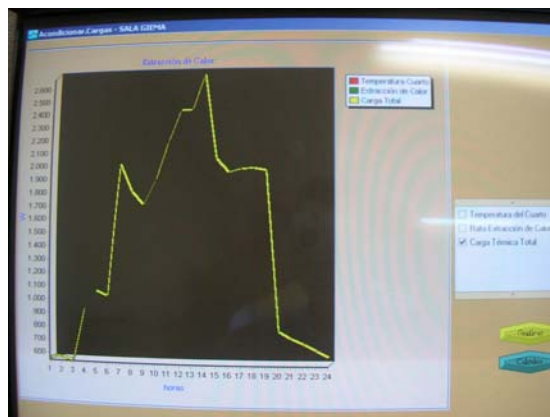
Fuente: El Autor.

## 4.2 CARGA DEL SERPENTÍN

Es la rata a la cual la energía es removida del serpentín de enfriamiento del espacio más cualquier carga adicional impuesta por los sistemas externos, tales como ganancias y fugas en los ductos, ventiladores, bombas, etc.

Se muestra la visualización en pantalla de la Carga Total sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0

Figura 30. Carga Total sala GIEMA programa ACONDICIONAR 1.0



Fuente: El Autor.

### 4.3 SELECCIÓN DE EQUIPO SALA GIEMA

**4.3.1 Justificación de la selección.** Posterior al proceso de calculo de cargas, la psicrometria del local y la utilización del programa sistematizado ACONDICIONAR 1.0 y siguiendo las posibilidades de selección dadas como resultado, se procedió a la selección del equipo a instalar en el recinto.

Datos del programa (ver Reporte de Resultados ACONDICIONAR 1.0 )

Carga sensible=	<b>RSH</b>	<b>11201</b>	Btu / h
Carga latente=	<b>RLH</b>	<b>1324</b>	Btu / h
Carga Total =		<b>12525</b>	Btu / h
Carga Corregida=		<b>9139</b>	Btu / h
Aire impulsado=		<b>285</b>	Cfm

A partir de estos valores lo conveniente es instalar una unidad con capacidad:

– 12.000 btu/h – 1 Tonelada de refrigeración – 3024 kcal/h –  
3.53 KW

– > 300 cfm

En las bases de datos del programa la recomendación es un equipo CARRIER unidad tipo paquete de referencia **CAH09**.

Y del tipo SPLIT:

EVAPORADOR=	<b>42_3 FS</b>
CONDENSADOR=	<b>036H1</b>
VALVULA=	<b>DANFOSS TX2 / TEX2 – 1.503</b>

Con estos valores se procede a comparar con equipos alternativos, manteniendo los criterios expuestos en el capítulo de selección de equipos.

Con las cotizaciones obtenidas de la empresa SERVIPARAMO, se analizó lo conveniente económicamente que resulta el equipo tipo paquete por sobre el tipo SPLIT, costos (significativo menor costo), procedimiento de instalación y de mantenimiento.

Evaluando otras posibilidades de equipos nuevos, se tuvieron en cuenta dos consideraciones muy valederas:

1. El adquirir un equipo nuevo restringía las posibilidades de realizar las evaluaciones de los componentes en una etapa de pre-instalación, para definir el estado real del equipo, su respectivo rendimiento térmico y mecánico, y el correspondiente consumo energético para el cálculo del valor en operación.
2. En la elaboración de un plan de mantenimiento, resulta más conveniente realizarlo a partir del conocimiento del estado real de cada uno de los componentes del equipo, lo que resulta innecesario en un equipo nuevo por obvias razones.

Todas estas observaciones dieron como resultado la adquisición del equipo TOSHIBA SHIMASU RAC 30E28-1. de uso muy convencional en nuestro medio, reconocido como un equipo robusto y de buenas prestaciones operativas.

## 4.4 DESCRIPCION DEL EQUIPO

### 4.4.1 Unidad de aire acondicionado tipo ventana

Capacidad del equipo= 12000 Btu/h

Rata de extracción= 1,00 ton (12000 Btu/h)

Caudal de aire= 300 Cfm

Figura 31. Equipo Sala GIEMA.



Fuente: El Autor.

#### Componentes:

- compresor
- ventilador
- válvula
- intercambiador de calor
- filtro
- condensador
- ductos
- Refrigerante
- controles (panel)
- Sistema eléctrico
- estructura metálica (carcasa)
- termostato
- capilares

#### **4.5 PROCESO DE EVALUACION Y ADECUACION PRE – INSTALACION**

Para la ubicación del equipo se tuvo en cuenta las ventajas locativas del recinto, además la ubicación del espacio disponible y la comodidad para fijar el soporte metálico que aloja la unidad tipo paquete.

Con el propósito de realizar una instalación poco invasiva y que no demandara trabajos demasiado dispendiosos de adecuación en la parte estructural, se Eligió el punto sobre la ventana del costado oriental, ya que posee un marco metálico con facilidades de adaptación y bastante firme. Exteriormente esta ubicado sobre jardín empedrado, lo que facilita la evacuación de la humedad que estos equipos producen. Esta ventana por su configuración permite adaptar la unidad sin alterar sus condiciones, y brindando buenas características de aislamiento y sellamiento. La altura de ubicación del aparato se pudo establecer de acuerdo a los criterios definidos en el diseño.

La adecuación de los requerimientos eléctricos fueron más elaborados: por tratarse de un recinto destinado a oficina no posee fuentes de energía de 220 voltios, lo que hizo necesario ubicar una fuente adecuada y traer el punto de conexión hasta el interior del local. Como factor positivo se le dio un circuito independiente a la unidad de acondicionamiento, con la tranquilidad de que el voltaje es el requerido y en una conexión nueva y segura.

#### **4.6 PROCESO DE INSTALACIÓN**

Con las dimensiones físicas de la unidad, se elaboró la estructura metálica de soporte. En la ventana de instalación fue necesario retirar parte de las barras de seguridad y posteriormente a esta realizar el procedimiento de soldadura de la jaula para el equipo. Se instalaron

aditamentos de aislamiento y se ajusto el cableado eléctrico de alimentación.

Figura 32. Montaje equipo sala GIEMA



Fuente: El Autor.

## 4.7 EVALUACIÓN DE OPERACIÓN

Para evaluar el equipo se dividió en tres parámetros básicos:

- Rendimiento
- Consumo energético
- Costos de operación

La manera como se llevo a cabo la evaluación y los resultados obtenidos:

**4.7.1 Rendimiento.** Se elaboró una tabla con los datos recogidos en los tres primeros días de funcionamiento (temperatura, humedad, consumo energético), aprovechando la época del año (agosto), que coincide con el

mes de mayor ganancia obtenido con el programa ACONDICIONAR 1.0; así como la hora del día (14 horas, 2 pm)

**Tabla 6. Evaluación del equipo Sala GIEMA.**

<b>Magnitud</b>	<b>DIA 1</b>	<b>DIA 2</b>	<b>DIA 3</b>
Temperatura	22	22	22
Humedad	50	50	50
Amperaje	4.3625	4.3469	4.4099
Tiempo (horas)	12	12	12
Tiempo (minutos)	720	720	720
Carga (Btu/h)	9139	9139	9139
Carga ( $W_{refrig}$ )	2677.72	2677.72	2677.72
Carga ( $Kw_{refrig}$ )	2.68	2.68	2.68
Potencia eléctrica consumida(kw)(220 V)	0.95975	0.95632	0.97018
Potencia eléctrica consumida(w)(220 V)	959.75	956.32	970.18
Consumo de energía (Kw/h) (220V)	20.15	20.08	20.37
REE= $Q_o / W_e$ ( $W_{refrig} / W_{eléctric}$ )	2.79	2.80	2.76
Rango REE	2.75- 2.90	2.75- 2.90	2.75- 2.90
Clasificación REE	C	C	C
EER (REE x 3.412)	9.5192	9.5536	9.4171
Valor Kw/h (\$)	425	425	425
Tiempo operativo (horas/mes)	200	200	200
Costo operativo	8563.75	8534	8657.25

Notas:

- NTC 4366: Eficiencias máximas consideradas para equipos de 1758 A 10548  $W_{refrig}$

- Los fabricantes expresan el COP como el EER (BTU/W-H). Basta multiplicar el REE por 3.412 para obtener el EER.

- El consumo promedio de Kw/h se calcula como el resultado base para una hora por día por mes.
- El valor del Kw/h se estableció con base en la factura de energía de la empresa proveedora para la época de la evaluación (varia cada meses).
- El costo de operación tiene en cuenta el horario de operación de la unidad. Equipo funcionando en un rango determinado y en días hábiles (20 días, 10 horas).
- se adiciona al Costo Operativo el costo mensual de mantenimiento, según oferta de SERVIPARAMO (\$ 46.350 mensual).
- Toma de datos:

Figura 33. Toma de datos Sala GIEMA.



Fuente: El Autor.

- la clasificación del equipo según el EER se establece de acuerdo a la tabla:

**Tabla 7. REE**

	<b>Split &amp; Multi</b>	<b>Compactos</b>	<b>Portátiles</b>
<b>A</b>	EER>3,20	EER>3,00	EER>2,60
<b>B</b>	3,20≥EER>3,00	3,00≥EER>2,80	2,60≥EER>2,40
<b>C</b>	3,00≥EER>2,80	2,80≥EER>2,60	2,40≥EER>2,20
<b>D</b>	2,80≥EER>2,60	2,60≥EER>2,40	2,20≥EER>2,00
<b>E</b>	2,60≥EER>2,40	2,40≥EER>2,20	2,00≥EER>1,80
<b>F</b>	2,40≥EER>2,20	2,20≥EER>2,00	1,80≥EER>1,60
<b>G</b>	2,20≥EER	2,00≥EER	1,60≥EER

Fuente: Decreto REE. Ministerio de Minas y Energía.

## 5. EL LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS ALTERNATIVAS

Dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS, existe el laboratorio de maquinas térmicas alternativas, constituido por varios bancos de pruebas: Ensayos para motores, dinamómetro hidráulico, grupo electrógeno, motores diesel, de gasolina y sistemas de conversión para GNV. Con capacidad para 6 estudiantes por grupo en un área de 72 m<sup>2</sup>; se llevan a cabo diferentes evaluaciones relacionadas con el funcionamiento y mejoramiento de los motores.

Estas pruebas han sido mejoradas continuamente, manteniendo el propósito de adoptar normas estandarizadas y así obtener datos validos y certificados por regulaciones internacionales.

Figura 34. Laboratorio Maquinas Térmicas Alternativas (actual)



Fuente: El Autor.

## 5.1 DESCRIPCION DEL LABORATORIO

- Criterios estructurales. Descripción física del laboratorio y del banco de pruebas de potencia en Motores Encendidos por Chispa (MECH).

El Laboratorio de Maquinas Térmicas Alternativas se ubica en el interior y hacia el costado sur de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Muros, puertas y ventanas:

Según lo establecido por el estándar NFPA 37 los cuartos donde se dispone motores de combustión interna estacionarios, estos deben tener muros contra fuegos, categorizados de al menos una hora de resistente al fuego; y de acuerdo a la norma ICONTEC 2000 (Código colombiano de estructuras de hormigón reforzado) el espesor de los muros contrafuegos no podrá ser menor de 200 mm conformados de hormigón armado, cubiertas de un material aislante térmico y acústico. Finalmente deben ser pintadas de color blanco mate para no reflejar la luz de la sala con una pintura adecuada para facilitar la limpieza de esta.

La ventana de control es de doble cristal de 1500 x 1000 x 80 mm con una cámara entre cristales de 250 mm. La altura a partir del suelo del cristal se establece teniendo en cuenta que el 95 por ciento de las personas que se ubiquen en la sala de control puedan observar el interior de la sala de ensayos, desde la posición de trabajo (observador sentado); por lo cual se basa en la posición de la línea visual normal para una mujer sentada 5<sup>o</sup> percentil más la altura poplítea, esto corresponde a una altura de 1100 mm.

El marco del cristal debe ser de plancha de acero galvanizado de 1mm de espesor, los dos cristales no deben estar colocadas paralelamente sino

ligeramente convergentes para evitar el acoplamiento entre ellas y fenómenos de refracción luminosa.

Una puerta que reúna los requerimientos de atenuación del ruido y contención del fuego son inevitablemente pesadas y requieren mas que un esfuerzo normal para ser movidas, estas deben ser de plancha de acero galvanizado, y que en su interior se le haya añadido material ignífugo y de insonorización; de dimensiones 2200 x 1000 mm, estas puertas deben ser de apertura por riel deslizante o hacia fuera de la sala. Además de la puerta para la entrada de personas debe tener una puerta de dimensiones adecuada para el ingreso de motores para las respectivas pruebas.

Suelo, cimientos y techo:

La conformación del suelo de la sala de ensayos debe estar compuesto por una malla de 6 mm de diámetro de varilla de acero sobre la cual descansa una plancha de hormigón armado, cubierta con pintura especial con forma de pasta y una superficie brillante y pulida, resistente a golpes, ignífuga y antideslizante.

Michael Plint en su libro *Engine Testing* recomienda construir un cimiento en la parte central de la sala de ensayos, conformado por un bloque sísmico de hormigón con malla cuyas dimensiones horizontales se establecen de acuerdo al espacio necesario por el motor y el dinamómetro y de profundidad de 500 mm, desde la altura del suelo hacia el interior de este; y que sirve para fijar los puntos de apoyo de la bancada que contiene el sistema motor – freno. El techo es de hormigón armado y esta igualmente aislado por fibra y chapa al igual que los muros.

Los espacios adyacentes son áreas de bancos de pruebas similares. El local tiene capacidad para 6 personas realizando las pruebas propias del banco, sin embargo durante la evaluación y operación del motor de prueba el recinto permanece vacío.

El inventario de equipos incluye: el motor de evaluación, descrito anteriormente, las tuberías de suministro de combustible (líquido y gas) y los ductos para la evacuación de gases de escape del motor y sistema de evacuación del calor generado en el freno; así como elementos necesarios para las pruebas.

Se ha definido la necesidad de iluminación de este tipo de área de trabajo con un valor aproximado de 750 luxes, esta debe ser distribuida uniformemente sobre la sala de ensayos y sobre el techo para evitar la presencia de deslumbramiento directo (fuente de luz dentro del campo visual), y para evitar el deslumbramiento reflejo producido por superficies brillantes o vidriosas las paredes de la instalación deben ser pintadas de blanco mate y el vidrio a la sala de control tiene un inclinación respecto a la vertical. Para alcanzar este propósito en la iluminación se tienen lámparas tipo fluorescente de 40 w ubicadas en el techo.

En lo que respecta al ruido este debe mantenerse en máximo de 70 decibelios en las salas de ensayos asegurando que se mantenga una conversación normal a un metro de distancia; en la sala de control debe estar alrededor de 50 decibelios.

Para detalles completos sobre especificaciones consultar la tesis de grado: Banco De Pruebas De Motores Para El Laboratorio De Máquinas Térmicas Alternativas, Diseño Del Puesto De Trabajo Y Propuesta De Modernización Del Laboratorio, realizado por el Ingeniero Luís Alfredo Niño, en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS, en 2006.

-Criterios de diseño de Aire Acondicionado:

La norma SAE J1349 define las condiciones estándar que debe cumplir el banco de pruebas para que las pruebas sean homologadas y validas. (Ver anexo).

Especificaciones técnicas para el diseño:

Presión del aire de entrada (absoluta)	100KPA
Temperatura del aire de entrada;	25 C
Presión del aire seco de entrada (absoluta)	99 kPa
Humedad relativa	50 %

-Criterios de Actividades: Programación de eventos en el laboratorio y en el banco de pruebas.

Las pruebas se realizan de acuerdo a la norma SAE J1349 y con las condiciones propias definidas por el laboratorio, para ver detalles del procedimiento y características se recomienda consultar la tesis “Conversión de un motor estacionario de gasolina a gas natural, prueba y evaluación” elaborada por el ingeniero Juan Carlos Villadiego Torres, en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS, en 2001.

## 5.2 EL BANCO DE PRUEBA DE POTENCIA

Figura 35. Banco de Prueba de potencia LMTA



Fuente: El Autor.

El motor utilizado se encuentra ubicado en el banco de pruebas del laboratorio de maquinas térmicas alternativas de la escuela de ingeniería mecánica. Utiliza como combustible liquido gasolina corriente y gas natural, los cuales se suministran desde un tanque depósito a través de ductos metálicos.

El eje de salida del motor esta comunicado con el freno hidráulico mediante la caja de velocidades, la cual permite obtener diferentes velocidades mientras se mantiene la misma velocidad del cigüeñal del motor, haciendo posible la medición de potencia.

### 5.2.1 Datos técnicos del motor de combustión interna del Banco de Pruebas (MECH)

Característica	Detalle
Tipo e índice del motor.	J6R-712
Diámetro de Pistón.	88 mm
Carrera del Pistón.	82 mm
Cilindrada total.	1995 c.c. = 2 litros
Potencia máxima. Kw	99 CV 97.6 HP 72.81
Régimen de potencia máxima.	550 RPM
Torque máximo.	12.6 Kg-m
Régimen de torque máximo.	3250 RPM
Número y disposición de cilindros	4 en línea
Disposición de válvulas	En V
Inclinación de motor	15°
Relación de compresión	9.2 a 1
Árbol de Levas	1 en la culata
Mando del árbol de levas	por correa dentada
Tipo de camisas.	Húmedas
Tipo de cámara de combustión	Hemisférica
Numero de cojinetes en la bancada.	5
Material del bloque y de la culata.	Aluminio
Batería.	12 V 48 A/h
Alternador	70 A
Carburador 32-Z7	Doble cuerpo solex 32-840C(A)
Ralentí.	800±20 RPM
Encendido.	A.E.I.
Orden.	1-3-4-2

Los resultados de las pruebas de potencia se utilizan para desarrollar el proceso de balance térmico, de acuerdo a recomendaciones de SAE, a continuación se muestran los resultados obtenidos en estas pruebas y realizadas en el banco:

Figura 36. Prueba comparativa de potencia a 2000rpm

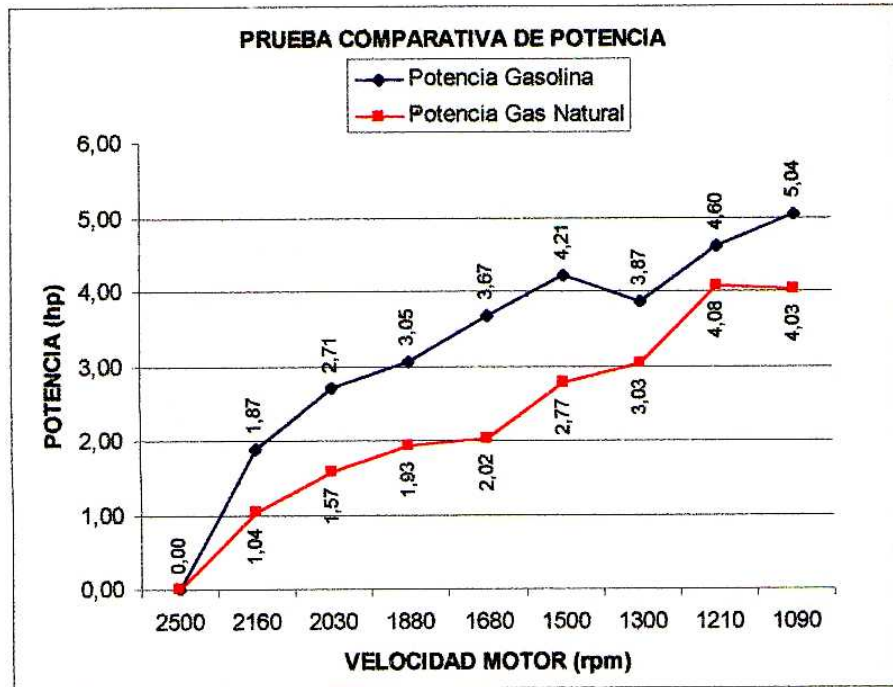
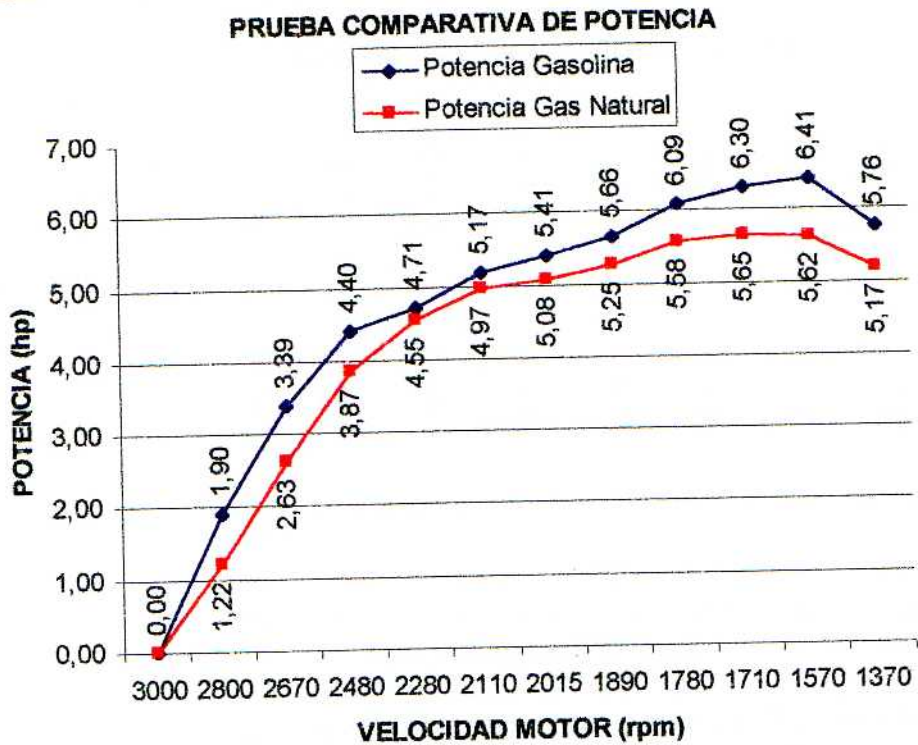


Figura 37. Prueba comparativa de potencia a 3000rpm



Fuente: Tesis de grado VILLADIEGO, Juan.

Otras consideraciones para establecer las condiciones del local implican el desarrollo temporal de las mediciones de potencia en el Laboratorio y las pausas entre cada evento.

Preparación del laboratorio.

Tiempo de acondicionamiento del recinto.

Duración de la prueba.

Número de eventos jornada.

Tiempo entre eventos.

### **Balance térmico**

Este análisis es necesario para efectuar adecuadamente el cálculo de cargas térmicas durante el procedimiento de diseño que se hará más adelante.

Cálculo aproximativo para motores Diesel y Otto:

Lo determinante es la energía disponible en el carburante. Ésta se establece como potencia de combustible en **100 %** y se reparte de la forma siguiente:

**P1 29 %** = Potencia del motor (mecánica) Rendimiento en toda la gama de revoluciones.

**P2 23 %** = Flujo térmico en la superficie del bloque de motor y componentes del motor.

**P3 20 %** = Flujo térmico del refrigerante (se transmite a través del radiador del vehículo).

**P4 14 %** = Flujo térmico en la superficie del sistema de escape del vehículo.

**P5 14 %** = Flujo térmico del gas de escape.

Se obtiene la producción de calor en la sala de Pruebas de potencia:

$$\mathbf{P1 + P2 + P3 + P4}$$

P1: Transformación de la potencia en calor por el freno del banco (Dinamómetro). En sistemas ventilados por aire es transferida de forma convencional a la sala de pruebas.

P5: Esta energía es evacuada por la instalación de aspiración del gas de escape y no contribuye a la producción de calor en la sala de ensayos.

Como Normalmente se conoce la potencia del motor a medir. Si ésta se establece en 1 se obtienen los factores ponderados siguientes:

**P1** Potencia de motor **1**

**P2** Flujo térmico superficie bloque de motor **0,8**

**P3** Flujo térmico del refrigerante **0,7**

**P4** Flujo térmico sistema de escape vehículo **0,5**

Por consiguiente, la producción de calor en la sala de ensayos es:

$$1 + 0,8 + 0,7 + 0,5 = \mathbf{3}$$

Esto significa que en la sala de ensayos se produce una energía térmica tres veces superior a la potencia del motor.

$$\mathbf{P1 \text{ Potencia de motor} = 6.41 \text{ Hp} = 4775.45 \text{ W} = 4.77 \text{ Kw}}$$

Aplicando el análisis anterior:

$$P1 \text{ Potencia de motor} = 4775.45 = 4.77 \text{ Kw}$$

$$P2 \text{ Flujo térmico superficie bloque de motor } 0,8 \times 4.77 \text{ Kw} = 3.816 \text{ kW}$$

$$P3 \text{ Flujo térmico del refrigerante } 0,7 \times 4.77 = 3.339 \text{ kW}$$

$$P4 \text{ Flujo térmico sistema de escape vehículo } 0,5 \times 4.77 = 2.385 \text{ kW}$$

$$\mathbf{Carga térmica de la sala = 14.327 \text{ kW} = 48928.13 \text{ Btu/h}}$$

Es de notar que con un sistema que realice la aspiración separada de la energía térmica P1 transformada por el freno del banco puede reducirse significativamente la carga de la sala.

En este caso la producción de calor en la sala de ensayos sería:

$$0,8 + 0,7 + 0,5 = 2$$

Esto significa que en la sala de pruebas se produciría una energía térmica dos veces superior a la potencia del motor, con una reducción muy significativa para el diseño del sistema de acondicionamiento.

Cuantificándola se tendría:

P2 Flujo térmico superficie bloque de motor  $0,8 \times 4.77 \text{ Kw} = 3.816 \text{ kW}$

P3 Flujo térmico del refrigerante  $0,7 \times 4.77 = 3.339 \text{ kW}$

P4 Flujo térmico sistema de escape vehículo  $0,5 \times 4.77 = 2.385 \text{ kW}$

**Carga térmica de la sala = 9.54 kW = 32580 Btu/h**

### 5.3 OBSERVACIONES GENERALES

Requisitos del lugar de instalación:

La sala en que se ubica el banco de pruebas deberá cumplir con las disposiciones legales y normativas para la realización de acuerdo a la norma SAE J1349. Deberán preverse un aflujo suficiente de aire fresco y un ducto de escape de aire de acuerdo con ASHRAE 62.1.

Precauciones de seguridad

Las indicaciones relativas a la seguridad deberán preverse y/u observarse en el diseño. La no observación de éstas podrá perjudicar la salud de las personas que permanecen en la sala de pruebas.

Criterios para el diseño del sistema de ventilación

Además de las correspondientes establecidas por ASHRAE e ICONTEC deben tenerse en cuenta los siguientes criterios para el diseño del sistema de ventilación:

- Potencia del motor.
- Frecuencia de las mediciones.
- Aumento de la temperatura de la sala permitido por el usuario.
- Dimensiones de la sala.

- Capacidad de acumulación de energía de las paredes.

Instalación de aspiración del gas de escape:

El volumen del gas de escape depende del rango de potencia y la duración de la prueba. Los factores de influencia más importantes son la clase de combustible y el número de rpm del motor, así como el procedimiento de combustión.

Por razones de seguridad se recomienda montar un aparato avisador de CO en la sala de pruebas de potencia.

Fórmula para dimensionar las instalaciones de aspiración del gas de escape:

$$V = V_h \times n \times 0,0363 \times 1,2$$

V = Volumen de aspiración requerido (m<sup>3</sup>/h)

V<sub>h</sub> = Cilindrada del motor de prueba (l)           **(2)**

n = Núm. de r.p.m. de la prueba (v/min)           **(3000)**

0,0363 = valor aproximativo de conversión

1,2 = Porcentaje de aire fresco de 20 %

$$\text{Requerimientos para local} = 2631.36 \text{ m}^3 = 153.81 \text{ cfm}$$

-Se recomienda no combinar la instalación de aspiración del gas de escape con aspiraciones de gases de escape inflamables y conectarlas a un ventilador, ya que puede formarse una mezcla inflamable o explosiva.

-Admisión de aire fresco para la sala de ensayos de conformidad con las disposiciones de SAE J1349 vigentes:

Debe renovarse el aire entre 10 y 15 veces por hora para los ensayos en locales cerrados de hasta 100 m<sup>2</sup>.

En locales de más de 100 m<sup>2</sup>, entre 5 y 8 veces por hora.

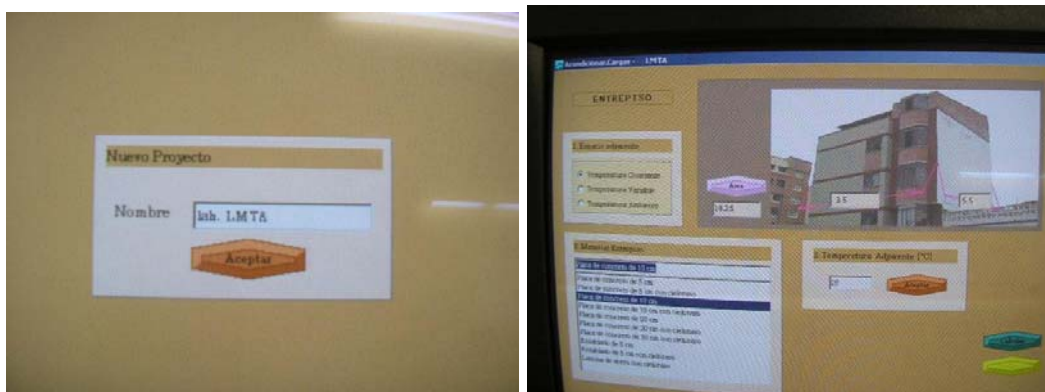
Requerimientos para local:  $(5.5 \times 3.5 \times 3)(15) = 862.5 \text{ m}^3 = 509.78 \text{ cfm}$

El flujo insuficiente de aire fresco somete al personal operador a esfuerzos excesivos y, además, altera los resultados de la medición de potencia.

De acuerdo con esto se define una secuencia estándar para la realización de los cálculos de la siguiente manera:

Se entra al programa ACONDICIONAR 1.0 para realizar todo el procedimiento de diseño. El desarrollo se muestra en las graficas siguientes:

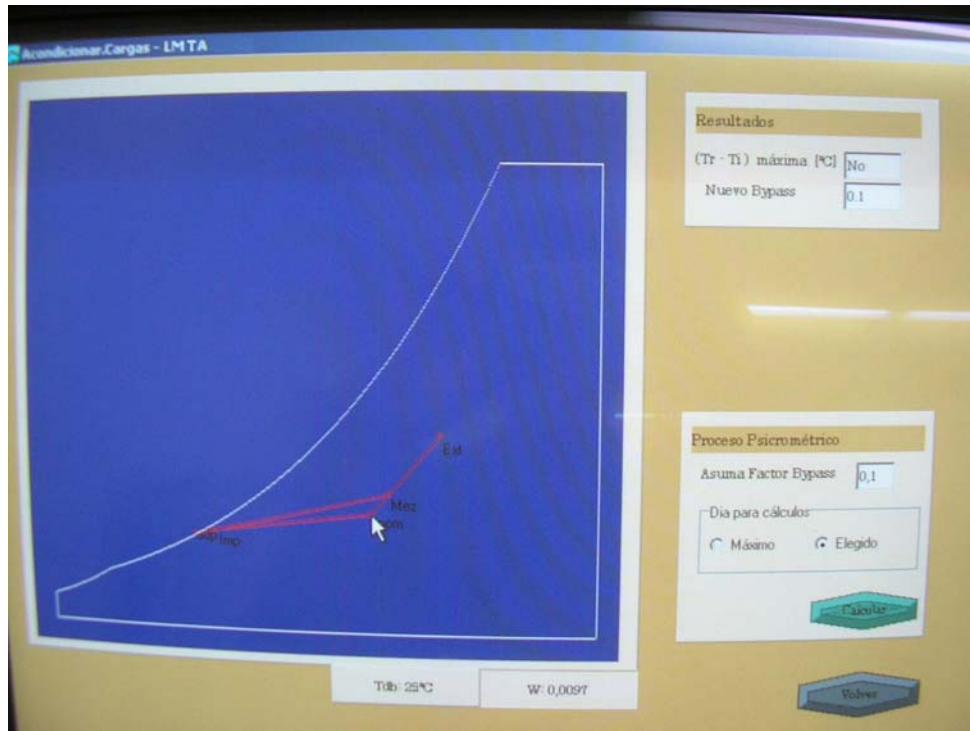
Figura 39. Nuevo proyecto Programa LMTA. ACONDICIONAR 1.0



Fuente: El Autor.

## 5.4 PSICROMETRIA LMTA

Figura 40. Diagrama Psicrometrico LMTA Acondicionar 1.0



Fuente: El Autor.

Figura 41. Reporte calculo de cargas LMTA programa ACONDICIONAR 1.0

<b>Condicionar 1.0</b>		
<b>Reporte de Resultados</b>		
Proyecto: LMTA	Ciudad:	Fecha: 28/08/2007
Mes de Cálculo: AGOSTO	Tdb: 29 °C	Twb: 21°C
Hora de Diseño: 17	Latitud: 7,1 °	Altitud: 959 m
Temperatura del Cuarto: 25 °C	Humedad Relativa: 50	
<b>Ganancia de Calor Sensible [Btu/h]</b>		
Nombre	Valor	
Infiltracion R	2187	
Equipos0	49878	
Luz1	1020	
Gente1	1060	
Entrepiso1	480	
Particion1	295	
Puerta1	276	
Ventana1	321	
Ventana2	0	
Techo1	349	
Pared NORTE	0	
Pared ORIENTE	321	
Pared OCC	332	
Pared SUR	295	
<b>Ganancia de Calor Latente [Btu/h]</b>		
Nombre	Valor	
Infiltracion R	2218	
Equipos0	0	
Gente1	2250	

### Carga de Enfriamiento [Btu/h]

Nombre	Valor
Infiltracion R	1787
Equipos0	48928.13
Luz1	820
Gente1	530
Entrepiso1	320
Particion1	175
Puerta1	158
Ventana1	217
Pared ORIENTE	208
Pared OCC	188
Pared SUR	216

RSH: 53547 Btu/h	OASH: 1624 Btu/h
RLH: 4465 Btu/h	OALH: 2452 Btu/h

BF: 0,10000001611600	ADP: 8,78368478344727 °C	Ti - Tc: 2,78258
----------------------	--------------------------	------------------

AE: 2758 cfm	Ai: 684 cfm
--------------	-------------

Recalentamiento: 0 Btu/h

Fuente: programa ACONDICIONAR 1.0..

Figura 42. Selección de equipo:

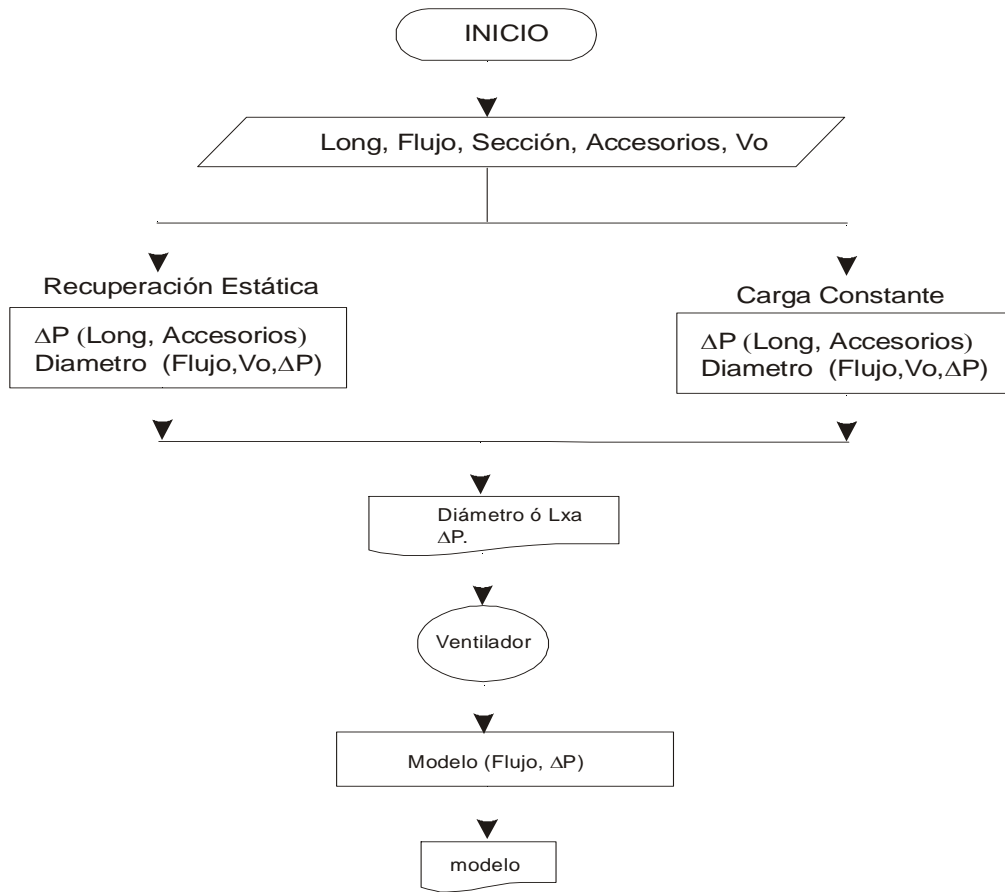


## 5.5 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE DUCTOS:

- Obtenga los planos del edificio incluyendo la localización de las rejillas, ajuste la cantidad de aire debido a fugas y el aire necesario para presurizar el cuarto.
  
- Seleccione el tamaño de rejillas y difusores de datos del fabricante; para esto tenga en cuenta lo siguiente:
  - Flujo de aire con base en la carga y el tamaño del cuarto.
  - Seleccione el tipo y lugar de ubicación del difusor.
  - Determine la longitud característica del cuarto.
  - Seleccione el tiro por unidad de longitud característica.
  - Calcule el tiro, multiplicando los dos anteriores.
  - Localice el tamaño de salida apropiado de un catálogo del fabricante.
  - Asegure que el tamaño de salida cumple con los requerimientos de ruido y presión estática.
  
- Realice un boceto del sistema de ductos conectando salidas y retornos con sus manejadoras, etc. Considere el espacio reservado para los ductos y use ductos redondos donde sea posible.
  
- Divida el sistema en secciones. Enumere cada una. Si cambia la forma, el tamaño o el flujo éste será un nuevo punto. Asigne los accesorios en las líneas de suministro.

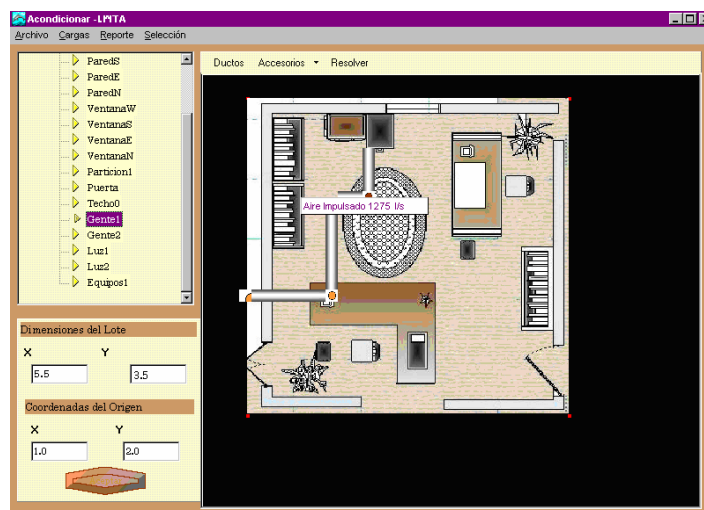
El diagrama del proceso de selección para los ductos, ventiladores y accesorios se muestra a continuación:

Figura 43. Diagrama de flujo Diseño de ductos



Fuente: Tesis de grado REY, Diego; RIVERA, Rafael.

Figura 44. Diseño de ductos LMTA. Acondicionar 1.0



Fuente: Tesis de grado REY, Diego; RIVERA, Rafael.

## CONCLUSIONES

Se diseñó integralmente un sistema para el acondicionamiento del aire del banco de pruebas de potencia de encendido por chispa MECH, en el Laboratorio de Maquinas Térmicas Alternativas de la Escuela de Ingeniería Mecánica, y se logró cubrir a satisfacción los requerimientos ambientales que establece la norma SAE J1349 para la realización estándar de la evaluación de potencia en este tipo de motores. En el desarrollo se incluyó el cálculo de cargas térmicas, la psicrometría, la selección de equipos y el tendido de ductos de manera sistematizada utilizando el programa ACONDICIONAR 1.0 y se determinó la unidad de enfriamiento, sus controles, conductos y accesorios, elementos eléctricos y de adecuación de manera estándar ajustada a Normas técnicas.

Se creó la guía de montaje de todo el sistema, los planos correspondientes, las especificaciones técnicas, cantidades de obra y presupuestos y la viabilidad económica del proyecto.

Se logró diseñar, instalar y poner en funcionamiento satisfactoriamente la unidad de expansión directa tipo ventana, en la sala del grupo GIEMA de la Escuela de Ingeniería Mecánica. Se aplicaron todas las normas exigidas para el diseño y se utilizó ventajosamente el programa sistematizado ACONDICIONAR 1.0.

Se hizo el seguimiento del equipo instalado y se pudo establecer su REE, el consumo energético real y su costo operativo, cumpliendo con los requerimientos para confort del recinto.

Se creó un manual de operación y se estableció un programa de mantenimiento preventivo con duración de un año aplicado específicamente a la unidad montada.

Se abarcó de manera muy completa todo el proceso de diseño combinando efectivamente la fundamentación técnica con los modos prácticos en el ejercicio profesional de este campo. Se vinculó al proceso de diseño la orientación teórica recibida académicamente y la aportada por los ingenieros de una empresa líder en el sector logrando reflejar en este trabajo muchas experiencias y conocimientos.

Todo esto constituye las herramientas fundamentales para el cumplimiento de las expectativas personales hacia el desempeño en el futuro y el engrandecimiento de la profesión, teniendo la capacidad de identificar las necesidades industriales y sociales, manejando y aplicando la información y el conocimiento tecnológico, formulando, desarrollando y ejecutando proyectos ingenieriles con valores éticos, morales y dignos.

## RECOMENDACIONES

Para darle continuidad al proyecto se debe convocar a estudiantes de último nivel de diferentes carreras a proponer y desarrollar trabajos de grado enfocados en Aire Acondicionado para los diferentes espacios del Laboratorio de Maquinas Térmicas Alternativas LMTA, como son: El banco para motores DIESEL, Banco de motores de dos tiempos; la oficina para el profesor titular y para el auxiliar del laboratorio, la biblioteca y el centro de computo, y por último el auditorio de conferencias.

Propugnar para que todos los proyectos que se han desarrollado en la universidad y que mejoran o modernizan el Laboratorio de Maquinas Térmicas Alternativas LMTA se hagan realidad.

Fomentar los grupos de trabajo interdisciplinario en la realización de proyectos de grado conjuntos. El presente trabajo de grado es el fruto de una convocatoria realizada por el director del LMTA y que permitió compartir expectativas, conocimientos, ingeniosas ideas y trabajos con muchos compañeros durante su realización.

Realizar una invitación a la comunidad universitaria para el diseño del laboratorio de pruebas y ensayos de equipos de acondicionamiento de aire, en lo relacionado al diseño de la cámara calorimétrica e instrumentación necesaria para la estimación de la capacidad de enfriamiento, flujo de masa y eficiencia energética de acondicionadores de aire para recinto (equipos de ventana, mini-split, unidades terminales y equipos de piso y techo) que permitan su clasificación acorde con NTC-4366.

## BIBLIOGRAFÍA

ASHRAE. CD Handbook 2005 FUNDAMENTALS.

ASHRAE. CD Handbook 2003 HVAC APPLICATIONS.

ASHRAE. CD Handbook 2004 HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENT.

All contents copyright ©2007, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

ARTEAGA, Juan y NEGRETE, José. Instalación de una unidad de absorción robur como herramienta pedagógica en la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander. Tesis de grado. Ingeniería Mecánica, UIS. 2004.

INCROPERA, Frank P. y DE WITT, David P. Fundamentos de Transferencia de Calor. México: Prentice Hall. 1.999. 912 p.

MARADEY, Juan F. Termodinámica aplicada. Bucaramanga. Ediciones Universidad Industrial de Santander. 2002. 665 p.

MCQUISTON. PARKER. SPITLER. Calefacción, ventilación y aire acondicionado; análisis y diseño. MEXICO. Ed. LIMUSA, 2003. 622 p

NIÑO, Luís. Banco de pruebas de motores para el laboratorio de máquinas térmicas alternativas, diseño del puesto de trabajo y propuesta de modernización del laboratorio. Tesis de grado. Ingeniería Mecánica, UIS. 2006.

PITA. Edward G. Principios y sistemas de refrigeración. México D.F. Limusa. 1998. 496 p.

REY, Diego y RIVERA, Rafael. Sistematización del calculo de carga de la carga térmica en refrigeración y aire acondicionada. Tesis de grado. Ingeniería Mecánica, UIS. 2001.

ROSALER, robert y RICE, James. Manual de Mantenimiento Industrial. México D.F. Editorial Mc Graw Hill. 1998. 496 p.

SAE. Código de prueba de potencia de un motor encendido por chispa y diesel. Norma SAE J1349. Agosto 2004. Society Of Automotive Engineers. USA.

VILLADIEGO. Juan C. Conversión de un motor estacionario de gasolina a gas natural, prueba y evaluación. Tesis de grado. Ingeniería Mecánica, UIS. 2001.

#### PAGINAS WEB

- URL:<http://www.ashrae.com>
- URL:<http://www.sae.com>
- URL:<http://www.maha.com.de>
- URL:<http://www.carrier.com>
- URL:<http://www.york-johnsoncontrols.com>
- URL:<http://www.acaire.com>
- URL:<http://www.ideam.com.co>
- URL:<http://www.google.com.co>
- URL:<http://www.icontec.com.co>
- URL:<http://www.minambiente.com.co>
- URL:<http://www.aulafacil.com/> curso matemáticas financiera

#### Software:

CD-ROM: Diseño de Proyectos de Aire Acondicionado ACONDICIONAR 1.0. Base de datos, Biblioteca, UIS.

# **ANEXOS**

## **ANEXO A. CRITERIOS DE DISEÑO**

## **ANEXO B. SELECCION DE EQUIPOS**

## **ANEXO C. DISEÑO DE DUCTOS**

## **ANEXO D. SISTEMAS DE CONTROL**

## **ANEXO E. ASHRAE HANDBOOK**

**ANEXO F. NORMA SAE J1349**

**ANEXO G. NORMA ASHRAE 62.**

## **ANEXO H. NORMA REE**

## **ANEXO I. NORMAS ICONTEC**

## **ANEXO J. DECRETOS GUBERNAMENTALES**

## **ANEXO K. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN**

**ANEXO L. ESPECIFICACIONES TECNICAS, CANTIDADES DE OBRA  
Y PRESUPUESTO**

## **ANEXO M. EVALUACION DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO**

## **ANEXO N. PLANOS Y GUIA DE MONTAJE**

## **ANEXO O. ORGANIGRAMA**