



15
20.
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS — ARAGON

SISTEMA EXPERTO PARA LA SELECCION
DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO.
(SESEAA)

Incluye diskette de 3.5

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICO

P R E S E N T A:

EDGAR ALFREDO CARDENAS PEREZ

ASESOR: M. EN I. NICOLAS KEMPER V.

EDO. DE MEXICO

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

261343
192



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A MIS PADRES :

El siguiente trabajo de tesis se lo dedico a mis Padres, ya que gracias al apoyo incondicional que me brindaron desde el momento en que decidí alejarme de ellos, me permitieron superar las etapas difíciles durante el tiempo que me encontré realizando mis estudios. Por los consejos que mi dieron, la confianza que depositaron en mí, y por todo el cariño que me profesan.

A MI FAMILIA :

Por su apoyo y confianza que siempre me brindaron, en especial a mis hermanas Meche, Elena, Alicia, Esther, Carmen, Geni y Emi; a mi hermano Johnny, y a todos mis sobrinos en especial a Charles.

DEDICATORIA

A MIS PADRES :

El siguiente trabajo de tesis se lo dedico a mis Padres, ya que gracias al apoyo incondicional que me brindaron desde el momento en que decidí alejarme de ellos, me permitieron superar las etapas difíciles durante el tiempo que me encontré realizando mis estudios. Por los consejos que mi dieron, la confianza que depositaron en mí, y por todo el cariño que me profesan.

A MI FAMILIA :

Por su apoyo y confianza que siempre me brindaron, en especial a mis hermanas Meche, Elena, Alicia, Esther, Carmen, Geni y Emi; a mi hermano Johnny, y a todos mis sobrinos en especial a Charles.

AGRADECIMIENTOS

** A mi asesor de Tesis : M en Y Nicolas Kemper Valverde por el apoyo brindado en el desarrollo del proyecto de tesis.*

** Al Ingeniero Rodrigo Bengoechea, por el apoyo brindado incondicionalmente como experto del proyecto de tesis.*

** Al Centro de Instrumentos, por permitirme trabajar en sus instalaciones.*

** A la ENEP-ARAGON, por permitirme realizar los estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica.*

** A todos los profesores, por su colaboración y dedicación.*

** A todos mis compañeros del laboratorio de Inteligencia Artificial, por el apoyo que me brindaron siempre.*

** A toda mi familia en especial a mis hermanas, mi hermano y mis sobrinos.*

** A todos mis amigos y a mi novia por confiar en mí y motivarme.*

EDGAR ALFREDO

INDICE TEMÁTICO

INTRODUCCIÓN

1. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

1.1 Inteligencia artificial vs inteligencia natural	06
1.2 Ventajas y desventajas de la IA	08
1.3 Sistemas inteligentes	10

2. SISTEMAS EXPERTOS

2.1 Aspectos fundamentales de Sistemas Expertos	15
2.1.1 ¿ Que es un Sistema Expertos ?	15
2.1.2 Estructura de un Sistema Experto	16
2.1.3 Funcionalidad de un Sistema Experto	19
2.1.4 Categorías de Sistemas Expertos	20
2.1.5 Características generales de los Sistemas Expertos	20
2.1.6 El elemento humano en los Sistemas Expertos	21
2.1.7 Beneficios de los Sistemas Expertos	22
2.1.8 Problemas y limitaciones de los Sistemas Expertos	23
2.2 Proceso de desarrollo de los Sistemas Expertos	23
2.2.1 Etapa 1 : Análisis del problema	26
2.2.2 Etapa 2 : Análisis y diseño del sistema	27
2.2.3 Etapa 3 : Desarrollo del prototipo rápido	30
2.2.4 Etapa 4 : Desarrollo del sistema	30
2.2.5 Etapa 5 : Implementación	31
2.2.6 Etapa 6 : Post-Implementación	31
2.3 Evaluación económica de un Sistema Experto	32

3. FUNDAMENTOS TEORICOS DEL AIRE ACONDICIONADO

3.1 Psicometría	33
3.2 Procesos Psicométricos	36
3.2.1 Mezcla de dos flujos de aire	36
3.2.2 Flujo de aire sobre una superficie seca y más caliente	37
3.2.3 Flujo de aire sobre una superficie más fría y seca	38
3.2.4 Enfriamiento y deshumidificación	38
3.2.5 Enfriamiento y humidificación	39
3.2.6 Calentamiento y humidificación	39

3.2.7 Calentamiento y deshumidificación	40
3.3 Humidificación y deshumidificación	41
3.3.1 Humidificación	41
3.3.2 Deshumidificación	43
3.4 Cantidad de aire necesaria	45
3.4.1 Calor sensible	45
3.4.2 Calor latente	46
3.4.3 Factor de calor sensible	47
3.4.4 Ciclo completo del aire suministrado	48
3.5 Condiciones de comodidad	50
3.5.1 Factores que influyen en la comodidad	50
3.5.2 Carta de comodidad	52
3.5.3 Factores que determinan la temperatura efectiva	53
3.5.4 Condiciones generales de diseño	54
3.5.5 Condiciones de ventilación	56
3.6 Cálculo de cargas térmicas en invierno (calefacción)	59
3.6.1 Transmisión de calor a través de muros, techos y pisos	59
3.6.2 Cargas debido a las personas	65
3.6.3 Cargas debido a la iluminación	65
3.6.4 Cargas debido a equipos y cargas misceláneas	68
3.7 Cálculo de cargas variables en verano	68
3.7.1 Ganancia solar a través de ventanas	70
3.7.2 Ganancia de calor a través de muros y azoteas	74
3.8 Memoria de cálculo	75
3.9 Equipo terminal	80
4. DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO	
Etapa 1 : Análisis del problema	
4.1 Análisis de necesidades	83
Etapa 2: Análisis y diseño del sistema	
4.2 Objetivo y conceptualización del SESEAA	84
Etapa 3 : Desarrollo del prototipo rápido	
4.3 Selección de las herramientas de desarrollo	86
4.3.1 Lenguajes de programación	86
4.3.2 Shell	88
4.3.3 Selección del software para el sistema experto	89
4.3.4 ¿ Que es LEVEL 5 OBJECT ?	90
Etapa 4 : Desarrollo del sistema	
4.4 Adquisición del conocimiento	91
4.5 Representación del conocimiento	95
4.5.1 Reglas de producción	96

4.6 Estrategias de inferencia	98
4.6.1 Razonamiento hacia adelante	98
4.6.2 Razonamiento hacia atrás	99
4.6.3 Razonamiento oportunístico	100
4.7 Diseño de menús del sistema experto	101
4.7.1 Menú principal	102
4.7.2 Interfaz para solicitar información	104
4.7.3 Interfaz para mostrar información	105
4.7.4 Interfaz de ayuda	107
5. RESULTADOS	
Etapa 5 : Implementación	
5.1 Validación y ajuste del SESEAA	109
Etapa 6 : Post-Implementación	
5.2 Resultados finales	110
6. CONCLUSIONES	
6.1 Análisis de la aplicación	111
7. BIBLIOGRAFIA	113

INTRODUCCIÓN

El tema del aire acondicionado y la refrigeración es bastante amplio, ya que abarca desde los principios fundamentales de física y termodinámica hasta los problemas clásicos de diseño de ingeniería; estos a la vez pueden ser innumerables, ya que varían de un lugar a otro, dependiendo de múltiples factores, tales como las condiciones climatológicas y económicas entre otras.

Hoy en día el empleo del aire acondicionado y la refrigeración a tomado gran importancia en los diversos aspectos de la vida cotidiana, desde el confort humano hasta la necesidad que tienen algunos productos durante su procesamiento para mantenerlos en perfectas condiciones de proceso.

El proceso de diseño de instalaciones de aire acondicionado es laborioso y complejo, ya que requiere un amplio conocimiento del tema y de la habilidad y experiencia que pueda poseer el diseñador. Dicho proceso consta de las siguientes partes o etapas :

- Información del proyecto, desde aspectos geográficos, climatológicos, etc.
- Procesos psicométricos.
- Cálculo de cargas térmicas, cantidad de aire y capacidad del equipo.
- Selección de equipos.
- Diseño de ductos y tuberías.

Este análisis es diferente para cada proyecto, ya que no existen dos casos con las mismas condiciones. Por otra parte todas las construcciones cuentan con diversos elementos como son ventanas, muros (existen ocho orientaciones), techos, pisos, particiones, etc.; por lo que se debe realizar el análisis teniendo en cuenta cada uno de ellos. Todo esto influye en la complejidad que puede presentar el desarrollo del proceso de diseño.

Por otra parte la computación brinda herramientas poderosas en la solución de problemas, debido a la gran versatilidad que tiene y por su campo de acción, la cual se encuentra extendida en diversos aspectos de la vida cotidiana. La computación nos permite desarrollar métodos y sistemas (software) que brindan una gran rapidez y confiabilidad en la solución de problemas. Esto nos produce que podamos trabajar con comodidad y con una gran eficiencia, ya que es posible manejar grandes cantidades de información, interactuar con otros sistemas y desarrollar gran cantidad de cálculos.

Ante esta situación surge la necesidad de contar con una herramienta que nos permita facilitar la labor del diseñador. Es por ello que apoyándonos en esta área decidimos desarrollar un sistema que nos permita realizar este trabajo en forma fácil y con un alto grado de confiabilidad. Es así que se concibe la idea del desarrollo del "*Sistema experto para la selección de equipos de aire acondicionado*" (SESEAA).

Los sistemas expertos son sistemas que están basados en el conocimiento y en la experiencia, y realizan un razonamiento similar al que desarrollaría un humano para resolver un problema.

El SESEAA en el caso particular esta formado por cinco módulos, los cuales son :

- Ubicación geográfica.
- Carta psicométrica.
- Cálculo de la carga térmica.
- Cálculo de la cantidad de aire y capacidad del equipo.
- Selección del equipo.

La parte de la ubicación geográfica nos brinda información específica de acuerdo a la localización del proyecto, en este caso dentro de la República Mexicana. Esta información puede ser altitud sobre el nivel del mar, latitud, presión atmosférica, temperaturas máxima y mínima respectivamente, humedad relativa, etc..

La parte de carta psicométrica nos muestra gráficamente como se comporta el proceso en particular, así mismo permite encontrar ciertas características psicométricas, como pueden ser entalpías, humedades; específicas y relativas, temperaturas de bulbo seco y húmedo entre otras.

En cuanto al cálculo de carga térmica, cantidad de aire y capacidad del equipo, se llevan a cabo todas las operaciones, aplicando las fórmulas y métodos necesarios, apoyados con la ayuda de tablas y cartas de especificaciones.

Finalmente en lo que se refiere a la parte de selección del equipo, con la información obtenida en los pasos anteriores y con otras que el sistema solicita en su momento, se realiza la selección del equipo más recomendado a la aplicación específica, de tal modo que se cuente con la mejor o mejores soluciones.

Con este trabajo se busca tener un medio eficiente que nos facilite el proceso de diseño de instalaciones de aire acondicionado, nos brinde un gran factor de confiabilidad y permita hacer más productivo dicho proceso, ya que el tiempo y esfuerzo que demandaba el proceso puede ser aprovechado y empleado en otras actividades donde si es indispensable la presencia y mano del diseñador.

A continuación presentamos información básica de cada uno de los temas que se estudiaron para el desarrollo del SESEAA, como son : Inteligencia Artificial, Sistemas Expertos y los fundamentos del aire acondicionado. Así mismo se presenta todo el proceso de como se fue desarrollando el sistema experto, desde la selección de las herramientas de programación, la adquisición del conocimiento, programación del mismo, hasta el diseño de los menús.

1. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

1.1 INTELIGENCIA NATURAL VS INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Iniciemos esta discusión preguntando ¿Que es inteligencia?. Existen muchas definiciones sobre inteligencia, sin embargo la definición más aceptada es: "La capacidad para percibir, comprender y aprender de nuevas situaciones". El cerebro humano tiene esta capacidad.

La Inteligencia Artificial (IA) como disciplina de las ciencias computacionales, por ser relativamente nueva, presenta varias definiciones formales, estas definiciones las podemos agrupar en cuatro categorías:

a) Sistemas que piensen como humanos :

"La interesante tarea de lograr que las computadoras piensen... máquinas con mente, en su amplio sentido literal" (Haugeland, 1985)

"La automatización de actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades tales como toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizajes..." (Bellman, 1978)

b) Sistemas que actúan como humanos :

"El arte de crear máquinas con capacidad de realizar funciones que realizadas por personas requieren de inteligencia" (Kurzweil, 1990)

"El estudio de cómo lograr que las computadoras realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor" (Rich y Knight, 1991)

c) Sistemas que piensan racionalmente :

"El estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales" (Charniak y McDermott, 1985)

"El estudio de los cálculos que permiten percibir, razonar y actuar" (Winston, 1992)

d) Sistemas que actúan racionalmente :

"Un campo de estudio que se enfoca a la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de procesos computacionales" (Schalkoff, 1990)

"La rama de la ciencia de la computación que se ocupa de la automatización de la conducta inteligente" (Luger y Stubblefield, 1993)

Se puede observar en estas definiciones enfoques centrados en los humanos (eficiencia humana) y los centrados en la racionalidad (inteligencia ideal). El enfoque humano constituye una ciencia empírica, que emplea hipótesis y la confirmación mediante experimentos. El enfoque racional combina matemáticas e ingeniería.

El valor potencial de IA puede entenderse mejor por el contraste que tiene con la Inteligencia Natural o humana. Según Kaplan la IA tiene grandes e importantes ventajas comerciales como son :

* La IA es "más permanente" en tanto los sistemas y los programas de la computadora no cambian; la inteligencia natural es perecedera, como cuando los trabajadores son cambiados de posición de trabajo pierden alguna información.

* La IA ofrece "descanso de duplicación y diseminación". La transferencia de conocimientos de una persona a otra, normalmente requiere un proceso largo de aprendizaje, aún así el experto nunca puede ser sustituido completamente. En tanto que en la IA el conocimiento incorporado puede ser copiado y fácilmente llevado a otra computadora.

* La IA puede ser menos extensa que la inteligencia natural. Existen muchos casos en los cuales comprar servicios de computadoras resulta menos costoso que adquirir servicio humano realizando la misma tarea.

* La IA hace posible una tecnología de computadoras que es "permanente y consistente". La inteligencia natural es errática porque las personas son erráticas y no ejecutan su tarea con consistencia.

* La IA puede ser "documentada". Las decisiones hechas por una computadora pueden ser documentadas fácilmente trazando las actividades del sistema.

Por otra parte la inteligencia natural tiene también algunas ventajas sobre la IA como pueden ser : la IA es creativa, mientras la IA no se puede inspirar. La IN capacita a la gente para beneficio de la experiencia directamente palpable y quizá la más importante es que el razonamiento humano es capaz de hacer uso de un amplio "contexto de experiencia".

Actuar como humanos : el enfoque de la prueba de Turing

Mediante la *prueba de Turing*, propuesta por Alan Turing (1950), se trata de dar una definición operativa de lo que es inteligencia. Turing definió una conducta inteligente como la capacidad de lograr eficiencia en todas las actividades de tipo cognoscitivo, suficiente para engañar a un experimentador. La prueba consistía en que se preguntase a una computadora por medio de un teletipo; la prueba se consideraba aprobada si el experimentador era incapaz de determinar si un humano o una computadora era quien respondió las preguntas.

Actualmente para pasar esta prueba, la computadora debería de ser capaz de lo siguiente:

* *Procesar un lenguaje natural*, para establecer una comunicación satisfactoria, en cualquier idioma.

* *Representar el conocimiento*, para guardar toda la información que se dio antes o durante el interrogatorio.

* *Razonar automáticamente*, para utilizar la información guardada al responder preguntas y obtener nuevas conclusiones.

* *Autoaprendizaje de la máquina*, para que se adapte a nuevas circunstancias y para detectar y extrapolar esquemas determinados.

En el campo de la IA no se han hecho muchos esfuerzos para pasar la prueba de Turing. La necesidad de actuar como humanos se presenta cuando los programas de IA deben interactuar con gente. Programas como estos deberán comportarse de acuerdo a las interacciones humanas con el fin de poder entenderlos. Por otra parte, la manera de elaborar representaciones y razonamiento en que se basan estos sistemas podrá o no conformarse de acuerdo con un modelo humano.

Pensar como humano : el enfoque del modelo cognoscitivo

Para poder afirmar que un programa determinado utiliza algún tipo de razonamiento humano, previamente habrá que definir como piensan los seres humanos, es decir como funciona la mente humana. Una vez que se cuente con esta información, puede procederse a expresar tal teoría en un programa de computadora. Si los datos de entrada y salida del programa y el tiempo de duración de su comportamiento corresponden a los de la conducta humana, existe evidencia de que alguno de los mecanismos del programa también funcionan en los seres humanos. En el campo interdisciplinario de la ciencia cognoscitiva concurren modelos computacionales de IA y técnicas experimentales de psicología para intentar elaborar teorías precisas y verificables del funcionamiento de la mente humana. El intercambio de aportaciones entre la IA y la ciencia cognoscitiva se dan especialmente en áreas de la vista, lenguaje natural y aprendizaje.

Actuar en forma racional : el enfoque del agente racional

Actuar racionalmente implica actuar de manera tal que se logren los objetivos deseados, con base en ciertos supuestos. Un agente es algo capaz de percibir y actuar. De acuerdo con este enfoque se considera a la IA como el estudio y construcción de agentes racionales.

Los que ven a la IA como un intento de reproducir el comportamiento inteligente, o simplemente la "inteligencia" que se aprecia en la naturaleza. Este enfoque recibe fuertes influencias de las ciencias naturales, como la sicología, la neurología, etc. Los que utilizan técnicas desarrolladas en el ámbito de la IA para resolver problemas prácticos. Esta corriente deriva directamente del enfoque ingeneril de solución de problemas.

1.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA I . A

La IA seguro será ampliamente reconocida por los usuarios de computadoras una vez que sea ampliamente conocida y firmemente establecida. Pero de igual manera existen también inconveniencias que la afectan. A continuación estudiaremos algunas ventajas y desventajas de la IA :

Ventajas

El software de IA puede desarrollarse en cualquier computadora, ya sea en una computadora casera, en una poderosa mini-computadora o en una computadora costosísima. Los usuarios podrán comunicarse con las computadoras en un lenguaje natural sencillo (español, inglés o cualquier otro idioma), en lugar de emplear comandos crípticos o sintaxis escritas del sistema operativo, lenguajes o programas de aplicación. Con la IA un usuario no entrenado deberá ser capaz de interactuar con una computadora y obtener la solución de un problema dado. Usar una computadora no debe ser más difícil que usar un teléfono.

Las interfaces de lenguaje natural tendrán que ser desarrolladas para obtener estos ambiciosos resultados; actualmente muchas de estas interfaces en lenguaje natural están disponibles en paquetes de software para computadoras populares. Los sistemas manejadores de base de datos son los primeros tipos de software que sacan provecho de las interfaces de lenguaje natural. Estas interfaces permiten un rápido y fácil acceso a los datos, sin trucos de programación. Se espera que hojas de cálculo, procesadores de palabras, sistemas operativos y otros programas de aplicación, incorporen eventualmente métodos de IA para mejorar la interacción con los usuarios y por lo tanto incrementar la productividad.

Otro beneficio mayor es que las computadoras serán más útiles. Se ha dicho que las computadoras son la solución a todos los problemas, sin embargo no todos los problemas vienen de una solución algorítmica o de procesamiento de datos, el cual es implementado por los sistemas de cómputo convencional. No todos los problemas requieren cálculo, almacenamiento o lectura de datos, existen muchos problemas cuya solución no se ajusta a las capacidades comúnmente asociadas con el cómputo convencional.

La IA puede cambiar todo esto. Con las técnicas de IA todo un horizonte de oportunidades para resolver problemas se vislumbra. Las mismas computadoras que hacen procesamiento de datos, pueden ahora dirigirse a problemas asociados con adquirir y acceder conocimiento, tomar decisiones o de alguna manera realizar algunas funciones hasta ahora reservada sólo a los humanos. La IA es magnífica para resolver problemas confusos en los cuales los datos son inconclusos o desconocidos, o en los cuales los algoritmos no son conocidos. Tales capacidades combinada con la experiencia de los usuarios puede mejorar el rendimiento y la productividad. Las técnicas de IA que se emplean en sistemas expertos por ejemplo, tiene el potencial de resolver problemas y tomar decisiones en dominios específicos en forma más rápida y fácil.

Desventajas

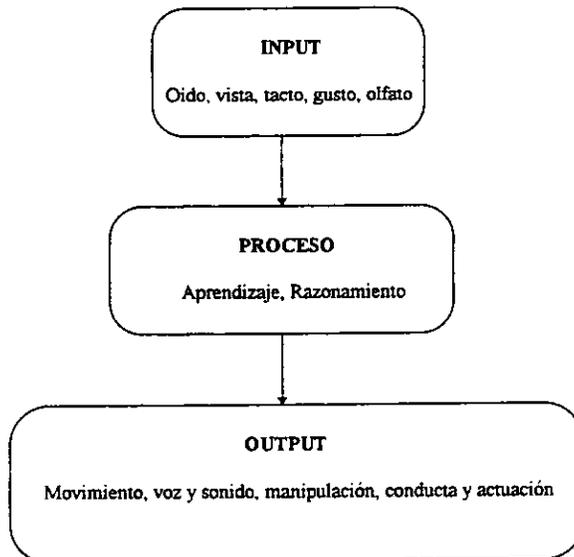
Seguramente, como cualquier sistema, existen muchas desventajas para la IA. Una de las desventajas es que para aplicaciones de mediano y gran tamaño se requieren equipos dotados de unos CPU's poderosos y grandes cantidades de memoria. La mayoría de las aplicaciones de IA hasta 1990 han sido implementados en mainframes y computadoras grandes de Digital Equipment Corporation y computadoras de la serie VAX.

Otra de las desventajas es la dificultad para desarrollar software para IA. Estos programas son increíblemente complejos. Como resultado de esto su desarrollo es más prolongado y por la tanto su precio en el mercado es más alto. Además el uso de este tipo de software requiere una información informática adecuada y algún talento por parte del desarrollador.

Así mismo muy pocos programadores son capaces de tratar con IA. Las universidades de Estados Unidos producen científicos estudiosos de la IA, la cual proporcionará más programadores a este campo, aunque actualmente este número es muy pequeño. En México el desarrollo de la IA es casi nulo a pesar de los esfuerzos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, del Centro Nacional de Cálculo del IPN y de algunos centros privados como el ITES y el ITAM. Sin embargo se esperan grandes avances en un futuro muy corto.

1.3 SISTEMAS INTELIGENTES

En la siguiente figura se presenta de manera general la forma en que se dan las entradas y salidas de información en un ser inteligente.



Se observa que son los sentidos de la vista, oído, tacto, gusto y olfato, los que recaban información del mundo real, la cual es procesada en el cerebro a través de procesos de aprendizaje y razonamiento, para finalmente transmitir información de salida a través de movimientos, voz, sonidos naturales, manipulación, y diferentes formas conductivas y de actuación.

Es objetivo de la IA tratar de emular o de simular este comportamiento. En otras palabras lo que se trata es de emular o simular el ciclo entrada-procesamiento-salida de información para cada uno de los sistemas naturales, aunque separadamente se trata de emular o simular los diferentes procesamientos de información que se dan en el cerebro (aprendizaje y razonamiento).

Definiremos como sistema inteligente a todo programa de computadora que emplee una o más técnicas de inteligencia artificial para solucionar un problema determinado.

Es decir:

**Sistema Inteligente = Técnica de IA + Dominio de aplicación + Tipo de problema
+ Problema Particular**

a) Técnicas de la Inteligencia Artificial

De acuerdo con los objetivos que se han tratado de lograr en los laboratorios y centros de investigación de IA, se han desarrollado diferentes técnicas considerando el sistema o proceso natural que se ha querido imitar o simular. Para emular o simular a los sentidos naturales de manera individual se tienen técnicas para el reconocimiento de patrones (vista), reconocimiento de lenguaje natural (oído) y el reconocimiento de texturas o fragilidad de materiales (tacto).

Para emular el proceso de razonamiento y aprendizaje se han desarrollado las técnicas de sistemas expertos, redes neuronales, lógica difusa, razonamiento basado en casos, y los algoritmos genéticos. Así mismo actualmente se han desarrollado técnicas que integren diversos aspectos que se cubren en las técnicas individuales; como son la robótica, los multimedia y la realidad virtual.

b) Dominio de aplicación

En esta parte presentamos algunos dominios o áreas científico-tecnológicas donde se vienen desarrollando y aplicando sistemas inteligentes; como son: industria, medicina, ingeniería en general, administración pública, servicios, etc.

c) Tipos de problemas

Los tipos de problemas pueden ser: de diagnóstico, diseño, control, configuración, síntesis, secuenciación, optimización, interpretación, pronóstico, instrucción, simulación, planificación, programación, entrenamiento, etc.

d) Problema Particular

Implica la identificación y limitación de una situación problemática que puede ser resuelta a través de un sistema inteligente. Se establece variables y sus relaciones, tipo de datos, información y conocimiento que se debe manejar. Además se debe conocer las posibles soluciones para diferentes situaciones o prever otras no conocidas, dando al sistema la posibilidad de aprender cosas nuevas. El problema puede requerir que la solución sea en tiempo real.

Características generales de un sistema inteligente

- * Es un programa para computadora y puede estar integrado a elementos de transferencia y conversión de información (PID, PLC, PI, etc)
- * Dispone de gran cantidad de conocimiento sobre el problema, fruto de experiencia.
- * Realiza un razonamiento similar al que haría un experto frente al problema.
- * Puede operar con datos cualitativos además de cuantitativos.
- * Puede razonar y sacar conclusiones a partir de datos incompletos, inciertos o vagos.
- * En algunos casos debe reaccionar de manera inmediata o como se presentan los problemas (en tiempo real), brindando respuestas en un tiempo prefijado.
- * Interrumpir una línea de razonamiento para ocuparse de otra y quizá ser capaz de volver a su anterior línea si fuera necesario.
- * Razonar sobre la variación temporal de los datos del problema.
- * Revisa sus conclusiones ante la llegada de nuevos datos contradictorios a los anteriores.
- * Ante la llegada de un nuevo dato, modifica el proceso de inferencia al que dio lugar el valor antiguo del dato.
- * Debe tener la capacidad de "aprender" sobre nuevas situaciones.
- * Comprobar que los datos provenientes de diferentes fuentes son coherentes, y en caso contrario, escoger el más probable o el más verosímil.
- * Acceder a módulos escritos en otros lenguajes.
- * La posibilidad de comunicarse con otros problemas.
- * Trabajar con estados distintos del problema, estudiando la evolución del mismo.
- * Posibilidad de operar en ambientes distribuidos.
- * Restringir su razonamiento a un área determinada del problema, para acelerarlo (estructura modular y secuencial).

Tipos de sistemas inteligentes

La clasificación que se presenta obedece fundamentalmente a la primacía de la técnica de IA que se emplee.

* **Sistemas Simbólicos:** son aquellos que tratan de emular o simular el razonamiento humano. Dentro de estos prácticamente se incluye el paradigma clásico de los sistemas expertos, es decir los sistemas expertos.

* **Sistemas Conecionistas:** se basan en las redes neuronales y tratan de modelar los procesos subconscientes y no conscientes (visuales y auditivos). Trabajan a nivel subsimbólico y tratan de tomar modelos cognitivos para tratar de simularlos.

* **Sistemas Cognitivos:** Tratan de emular los procesos tal y como se desarrollan. Aquí encajan las labores de aprendizaje, instrucción, tutorío, y entrenamiento (sistemas de enseñanza-aprendizaje).

* **Sistemas Evolutivos:** Cuando tratan de emular la evolución natural de las especies y problemas. A este grupo pertenecen los algoritmos genéticos.

Agentes Inteligentes

Agente es cualquier cosa que se puede ver como algo que percibe su medio ambiente a través de sensores y que actúa dentro de ese medio ambiente a través de efectores. Si tienen agentes humanos, agentes robóticos, agentes de software y agentes genéricos con características que involucran a simular sus sensores o efectores. La figura 1.3 muestra el esquema general del agente.

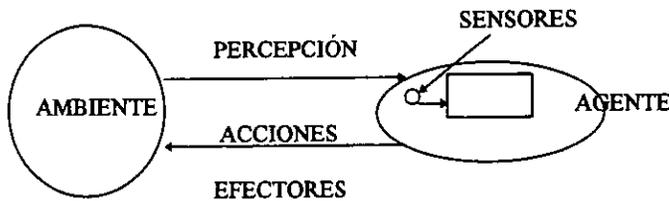


Fig. 1.3 : Esquema de un agente

¿ Como debe actuar un agente ?

Un agente racional es aquel que hace lo correcto. La acción correcta es aquella que hará que el agente sea el más exitoso. Eso nos deja con el problema de decidir como y cuando evaluar el éxito del agente.

Usamos el término medida de desempeño para el como : el criterio que determina que tan exitoso es el agente. No existe una medida constante que se aplique para todos los agentes. Esta medida debe ser propuesta por alguna autoridad. En otras palabras, nosotros como observadores externos establecemos una norma de lo que se considera un desempeño

satisfactorio en un ambiente y lo usamos para medir el desempeño de los agentes. El cuando evaluar el desempeño es también importante.

Hay que ser cuidadosos en distinguir entre racionalidad omnisciencia. Un agente omnisciente conoce la verdadera consecuencia de sus acciones, y puede actuar de acuerdo a las circunstancias; pero la omnisciencia es en realidad imposible.

La racionalidad se enfoca al éxito esperado de acuerdo a lo que ha sido percibido. No podemos culpar a un agente por dejar de tomar en cuenta algo que no pudo percibir, o por dejar de tomar una acción y hacer a un lado el requisito de perfección no es sólo una cuestión de ser justo con los agentes. Un agente inteligente debe hacer siempre lo que en realidad es lo correcto

2. SISTEMAS EXPERTOS

2.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS EXPERTOS

2.1.1 ¿Que es un Sistema Experto?

Recientemente el área Pericia Artificial o Sistemas Expertos a resultado ser una de las más exitosas y útiles de la IA. Una de las razones de este éxito, es que no es un área restringida de la IA, como muchos han pensado. Lejos de esto, los Sistemas Expertos extienden y elaboran los principios y procedimientos básicos que caracterizan la gran mayoría de las restantes áreas de la IA.

Los Sistemas Expertos fueron desarrollados por primera vez durante la década de los sesenta y setenta, logrando en pocos años pasar la frontera de los laboratorios y la experimentación para demostrar su efectividad en un gran número de dominios de problemas.

Cualquier dominio de aplicación que requiera de la pericia humana para la solución de problemas se convierte, de hecho, en un escenario probable para la aplicación de los Sistemas Expertos. Entre estos dominios de aplicación se incluyen al medicina, la biología, química, geología, geofísica, la meteorología, la ingeniería, las operaciones bancarias y financieras, la aeronáutica, las operaciones militares y muchos más.

Diferentes definiciones de Sistemas Expertos han sido propuestas hasta la fecha en la literatura de la IA. Sin embargo, a pesar de los diferentes enfoques y caracterizaciones utilizados en estas, podemos dar la siguiente definición: un Sistema Experto es un sistema con pericia en la solución de problemas; esto es, un sistema que posee conocimientos acerca de un dominio particular, comprensión de problemas del dominio y métodos de inferencia o razonamiento para manipular estos conocimientos y resolver los problemas en la misma forma en que lo haría un experto humano.

De otra forma diremos que es un programa de computadora que emula/simula el proceso de razonamiento de un experto para resolver problemas complicados en un dominio específico mediante el uso de su conocimiento. El conocimiento puede ser heurístico o técnico y es adquirido de un experto humano. En realidad un sistema experto es un tipo de Sistema Basado en Conocimiento, con la particularidad de que todo o parte de este conocimiento es adquirido de la experiencia particular de un experto humano.

Entendemos como experto humano a la persona que tiene conocimientos profundos de un cierto tema, generalmente muy específico, además de tener experiencia en resolver problemas relacionados con el tema de especialización. Por ejemplo un médico experto en

diagnosticar enfermedades, un químico especialista en diseñar catalizadores, un ingeniero civil es especialista en diseñar puentes, etc.

¿Que es un sistema basado en conocimientos?

Es un programa de computadora que usa el conocimiento de un dominio de aplicación y método de inferencia, como elemento principal de la solución de problemas. El conocimiento puede ser heurístico o técnico. El conocimiento técnico es el que esta basado en principios científicos y técnicos, conocimientos de ingeniería, etc. El conocimiento heurístico esta basado en la experiencia.

2.1.2 Estructura de un Sistema Experto

En la figura 2.1.2 se muestran los componentes generales de un sistema experto. La base de conocimientos, el mecanismo de inferencia y la interfaz de usuario (entrada/salida) se encuentran en todo sistema experto, mientras que el modulo de explicaciones y de interfaces especiales (base de datos y programas externos) pudieran no estar presentes en algunos de ellos.

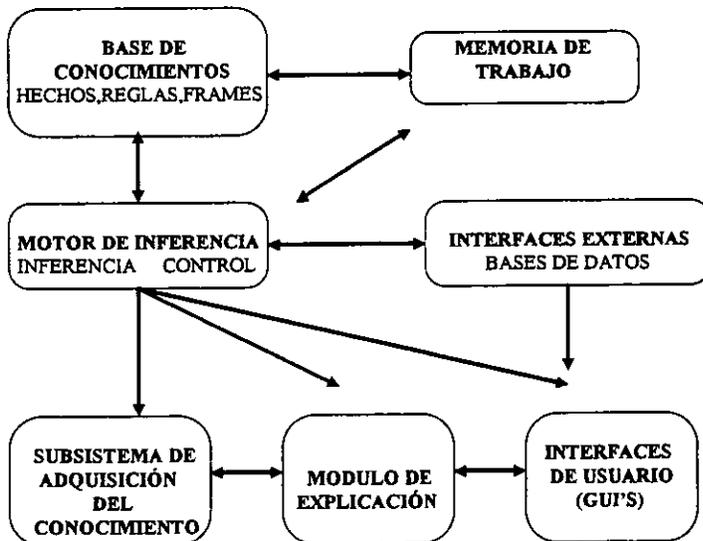


Fig. 2.1.2 : Estructura de un sistema experto

La base de conocimientos

La base de conocimientos contiene reglas, hechos e información acerca de un dominio especializado de conocimientos. Este conocimiento es usado por el mecanismo de inferencia para formular hipótesis y poder obtener conclusiones. Muchos autores identifican a la base de conocimientos como la base estática, debido a que el conocimiento contenido no se modifica ni se actualiza durante los procesos de solución de problemas, a menos que el sistema posea un módulo de aprendizaje incorporado.

La cantidad y la calidad de los conocimientos contenidos en la base de conocimientos determinan en primer lugar la bondad del Sistema Experto en la solución de problemas. Una buena base de conocimientos debe ser exhaustiva y consistente. La "exhaustividad" significa "completiud". Es decir que todas las reglas y hechos necesarios para solucionar cualquier problema del dominio se encuentran incorporados en la base de conocimientos. La consistencia se refiere a que dicha base, este libre de reglas contradictorias, redundantes o innecesarias.

El mecanismo de inferencia

los procesos de inferencia en los sistemas expertos se llevan a cabo a través de encadenamientos de reglas, hacia adelante (*forward*) o hacia atrás (*backward*), o como resultado de una combinación de éstos (*razonamiento híbrido*).

Para realizar las inferencias, el mecanismo correspondiente utiliza información dinámica y conocimiento estático. La información dinámica corresponde a los datos de entrada que fueron inicialmente aportados por el usuario (hechos conocidos) y a las respuestas que éste proporciona a las preguntas formuladas por el sistema experto. El conocimiento estático es la información contenida en la base de conocimientos, y es utilizado por el mecanismo de inferencia para formular hipótesis o arribar a conclusiones acerca del caso o la situación actual.

Toda la información aportada por el usuario es almacenada como hechos en una *memoria de trabajo*. Durante el proceso de inferencia las reglas contenidas en la base de conocimientos son comparadas con el contenido de la memoria de trabajo.

Cuando más de una regla satisface las condiciones, se realiza un proceso de selección (generalmente utilizando criterios heurísticos) mediante el cual se determina la regla que será ejecutada.

Una vez terminado esto, su acción pasa a formar parte de los hechos almacenados en la memoria de trabajo. Esto origina la formación de nuevas configuraciones de hechos, cuyas condiciones pudieran ser satisfechas por otras reglas de la base de conocimientos. De esta forma el proceso continúa hasta que ya no sea posible encontrar nuevas reglas que se disparen, o hasta que se haya obtenido la solución del problema.

La memoria de trabajo

La memoria de trabajo también conocida como base dinámica, es un almacén temporal de información dinámica. Aquí se almacena, en forma de hechos, toda la información proporcionada por el usuario al sistema (datos iniciales y respuestas a preguntas formuladas por el sistema), así como las conclusiones de todas las reglas "disparadas" durante el proceso.

Cuando el proceso de solución de un problema ha concluido, el contenido de la memoria de trabajo es removido o eliminado, de forma tal que está memoria "limpia" antes de iniciar la solución de otro problema.

La interfaz de usuario : Interfaces de entrada/salida

La interfaces de entrada/salida permite la comunicación entre el usuario y el sistema. A través de ésta el usuario ofrece datos iniciales al sistema o responde a preguntas formuladas por este. La gran mayoría de las interfaces de comunicación establecen la comunicación usuario-sistema mediante simples menús de selección o utilizando lenguajes restringidos.

El módulo de explicaciones

El modulo de explicaciones proporciona al usuario explicaciones acerca del proceso de inferencia. Las explicaciones ofrecidas al usuario responden a la formulación de las siguientes preguntas:

- * ¿Cómo se alcanzo una hipótesis o conclusión?
- * ¿Por que se requiere cierta información?

Para responder a la primera pregunta, el modulo de explicaciones exhibe al usuario, en una forma de fácil comprensión, la cadena de reglas disparada durante el proceso de inferencias. De esta manera el usuario puede apreciar la línea de razonamiento seguida por el sistema para arribar a la conclusión.

La segunda pregunta, es para explicar al usuario el papel que juega la información solicitada en la consecución de algún paso necesario dentro del proceso de razonamiento.

De esta forma el usuario puede seguir muy de cerca el proceso de inferencias llevado a cabo durante la solución de un problema.

El modulo de aprendizaje

La función del modulo de aprendizaje es contribuir en la construcción y refinamiento de la base de conocimientos. Es decir, si un sistema experto posee un modulo de aprendizaje, este faculta al sistema para adquirir nuevos conocimientos (nuevas reglas) y para refinar el conocimiento existente en su base. El modulo de aprendizaje no es elemento común en los

sistema expertos, de hecho son pocos los sistemas expertos conocidos que poseen esta habilidad.

2.1.3 Funcionalidad de un Sistema Experto

Un SE es un programa complejo y multiforme, que presenta diferentes funcionalidades:

- * La solución de un problema planteado, asegurada por uno o varios motores de inferencia que manipulan una o varias bases de conocimientos.
- * La adquisición, la modificación y la actualización del conocimiento, funciones que utiliza el ingeniero del conocimiento para la codificación de la habilidad humana en la formalización adecuada en las fases de ajuste inicial y de mantenimiento ulterior.
- * La explicación del camino que utiliza el SE para resolver el problema planteado. Esto es importante en el momento de la puesta a punto del sistema, o durante su utilización, en el caso de un SE destinado a la capacitación.
- * La conexión con sistemas exteriores: programas encargados de efectuar ciertas tareas por pedido del SE, bases de datos que proporcionan algunos hechos necesarios para el razonamiento, etc.
- * La interfaz con el usuario final y, si ha lugar, con el proceso físico controlado por el SE. Esta funcionalidad es importante para la buena explotación del sistema y reviste formas muy diferentes: conexión con receptores que obtienen datos sobre los parámetros de un proceso (presión, temperatura, niveles, etc), visualización gráfica, utilización del lenguaje natural, etc.

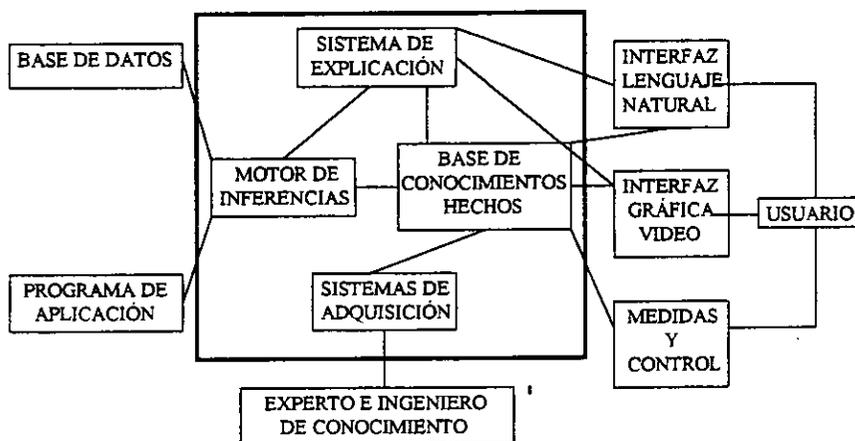


Fig. 2.1.3 : Funcionalidades de un sistema experto

2.1.4 Categorías de Sistemas Expertos

Actualmente los distintos sistemas expertos los podemos agrupar en diferentes categorías, lo cual nos permite orientar más claramente la aplicación. Estas categorías o niveles pueden ser:

- Sistemas expertos basados en reglas
- Sistemas expertos basados en objetos o frames
- Sistemas expertos híbridos, que son una combinación de reglas y objetos
- Sistemas expertos basados en modelos
- Sistemas expertos ya hechos
- Sistemas expertos en tiempo real
- Sistemas expertos difusos
- Sistemas expertos basados en casos

Los tres primeros son las categorías básicas que pueden ser aplicadas a los restantes niveles, considerando cómo se representa y maneja el conocimiento, y como se dan las conclusiones.

2.1.5 Características Generales de los Sistemas Expertos

- Para llevar a cabo los procesos de solución de problemas, los sistemas expertos utilizan conocimientos específicos del dominio y métodos heurísticos (plausibles), más que tablas y algoritmos.
- Los sistemas expertos utilizan representaciones simbólicas del conocimiento (reglas de inferencia, redes semánticas, marcos o frames, guiones, objetos) y ejecutan los procesos de inferencia a través computaciones simbólicas (excepto los sistemas expertos conexionistas o basados en redes neuronales).
- Los sistemas expertos poseen métodos para explicar cómo se alcanza una solución a un problema particular y por qué determinada información ha sido requerida durante el proceso de solución.
- Durante los procesos de razonamiento los sistemas expertos pueden utilizar conocimientos acerca de ellos mismos (metaconocimiento). Esto es utilizar las capacidades y limitaciones que poseen para enfrentar la solución de un problema particular.
- Un sistema experto es una colección de reglas y ciertos aspectos de conocimiento humano, y tiene la capacidad para resolver problemas muy difíciles, tan bien o mejor que un experto humano.
- En esencia un sistema experto se compone de Sistema de Control, Motor de Inferencia y Base de Conocimientos.

- El conocimiento puede ser cierto totalmente, probabilístico, vago, incierto o difuso e incompleto. Además tiene la capacidad para funcionar con datos incompletos.
- Según su acción temporal a los problemas, pueden existir sistemas expertos estáticos o dinámicos. Un sistema experto dinámico tiene un módulo de aprendizaje.
- Para cubrir los aspectos de representación de conocimiento en un proceso industrial, un sistema experto debe incluir: razonamiento temporal, modelos dinámicos, representación de conocimiento orientada a objetos, conectividad de objetos, conocimiento genérico, conocimiento procedural, objetos transitorios, relaciones dinámicas, etc.
- Interactúan eficazmente y en lenguaje natural con las personas usuarias.
- Pueden manipular expresiones simbólicas y razonar sobre ellas.
- Pueden abarcar en un análisis múltiples hipótesis alternativas.

2.1.6 El Elemento Humano en los Sistemas Expertos

Al menos dos humanos, y posiblemente más, participan en el desarrollo y uso de un SE. Como mínimo existen un experto y un usuario. Frecuentemente, existe un ingeniero del conocimiento y un programador. Cada uno tiene una función específica.

El Experto

El experto, es una persona que tiene el conocimiento especial, juicio, experiencia, y métodos que dan la habilidad para dar un consejo y resolver problemas. Es el dominio del trabajo del experto el que proporciona el conocimiento sobre el cual el SE será construido. El experto conoce cuales son los hechos importantes y entiende el significado de las relaciones entre estos hechos.

Usualmente, el cuerpo inicial del conocimiento incluyendo términos y conceptos básicos, está documentado en libros y textos, manuales de referencia o catálogos de productos. Sin embargo, esto no es suficiente para darle poderío al SE. No toda la experiencia puede ser documentada por que muchos expertos están indecisos acerca del proceso mental por el cual ellos dieron un diagnóstico o como ellos resolvieron un problema. Por lo tanto se requiere de un proceso interactivo para adquirir información adicional del experto para expandir la base de conocimientos.

Este proceso es casi siempre complejo y usualmente requiere de la intervención del ingeniero del conocimiento.

El Ingeniero del Conocimiento

El ingeniero del conocimiento ayuda al experto a estructurar el área del problema, interpretando e integrando respuestas de humanos en preguntas, estableciendo analogías, planteando contraejemplos y remarcando dificultades conceptuales. El ingeniero del conocimiento es, por lo general el desarrollador del sistema. La falta de experiencia del ingeniero del conocimiento en la forma de representar el conocimiento, constituye el problema principal a superar en la construcción de un SE.

El Usuario

Los SE tienen muchos tipos de usuarios:

- * Un cliente inexperto que busca un consejo directo. En tal caso el SE actúa como un consejero o consultor.
- * Un estudiante que quiere aprender. En tal caso el SE actúa como instructor.
- * Un constructor de SE que quiere mejorar o incrementar la base de conocimientos. En esta situación el SE actúa como socio.
- * Un experto. En cuyo caso el SE actúa como colega.

Por ejemplo, un SE puede proporcionar una "segunda opción", así el experto puede validar su juicio. Un experto puede usar el sistema como un asistente para llevar a cabo análisis rutinario o cálculos o para buscar una información clasificada. Las capacidades de los SE fueron desarrolladas para ahorrar tiempo y esfuerzo. A diferencia de los sistemas de cómputo tradicionales, los SE proporcionan respuestas directas a preguntas y no únicamente información y soporte.

2.1.7 Beneficios de los Sistemas Expertos

- * Incrementar el rendimiento y productividad.
- * Incrementar la calidad.
- * Reducción de tiempos.
- * Captura de experiencia escasa.
- * Flexibilidad.
- * Eliminación de necesidad de adquirir equipos escasos.
- * Operación en ambientes peligrosos.
- * Accesibilidad al conocimiento y ayuda a nivel de escritorio.
- * Incrementar la capacidad de otros equipos computarizados.
- * Integración de la opinión de varios expertos.

- * Habilidad para trabajar con información incompleta o desconocida.
- * Proporcionar entrenamiento.
- * Mejoramiento de la solución de problemas.
- * Habilidad para resolver problemas complejos

2.1.8 Problemas y Limitaciones de los Sistemas Expertos

Las metodologías disponibles de los SE no son del todo consistentes ni efectivas, ni siquiera para aquellos problemas de categorías genéricas. Para aplicaciones de modesta complejidad, algunos códigos de SE, especialmente aquellos construidos, con lenguaje procedural, son generalmente difícil de entender, depurar, extender y mantener.

Algunos de los factores y problemas que han frenado la propagación de los SE comerciales son :

- * El conocimiento no está siempre fácilmente disponible.
- * La expertés es difícil de extraer de los expertos humanos.
- * El método de solución de cada experto a un problema, podría ser diferente aunque no por eso deja de ser correcta.
- * Es difícil, aún para los más adiestrados expertos, abstraer la solución de los problemas cuando ellos se encuentran bajo la presión del tiempo.
- * Los SE trabajan bien solamente en un dominio restringido.
- * Muchos expertos no tienen medios independientes de verificar si sus conclusiones son razonables.
- * El vocabulario que los expertos usan para expresar hechos y sus relaciones, es frecuentemente limitada y no es entendible para otros.
- * Se necesita ayuda de ingenieros del conocimiento quienes son escasos y sus servicios son bastante caros.
- * La falta de confianza de los usuarios finales en los SE, es una barrera significativa.
- * Los SE podrían no llegar a conclusiones, especialmente en la etapa del prototipo.

2.2 PROCESO DE DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS

El desarrollo de aplicaciones de Inteligencia Artificial pueden ser procesos muy complejos, especialmente cuando la robótica, procesamiento de lenguaje natural, tecnologías de voz, son integrados dentro del sistema inteligente. De igual modo pequeños sistemas expertos ser desarrollados de una manera muy fácil. En cualquier caso se deben contestar tres preguntas básicas:

1. ¿Cuál es la aplicación que será desarrollada? (Selección del problema)
2. ¿Quiénes van a desarrollar la aplicación? (Estrategia de desarrollo)
3. ¿Cómo es y será desarrollada la aplicación? (Proceso de desarrollo)

Las respuestas a estas preguntas están mutuamente relacionadas. Además otras preguntas deben ser planteadas, tales como cuando y donde desarrollar una aplicación.

Presentar información referida con las dos primeras preguntas no es objetivo de este trabajo, por lo que a continuación presentaremos los aspectos fundamentales de la tercera pregunta : *proceso de desarrollo de un sistema experto.*

Un sistema experto es básicamente un programa de computadora y como tal se desarrolla siguiendo el proceso de desarrollo de un software. La función principal de este modelo de desarrollo es determinar el orden de las etapas o actividades involucradas y establecer criterios para pasar de una etapa a otra. Todas las actividades pueden ser llevadas a cabo, en diferente orden y profundidad, dependiendo de la naturaleza de la aplicación.

La figura 2.2 incluye todas estas actividades agrupadas en seis etapas. Hay que indicar que este proceso no es lineal, ya que algunas actividades son realizadas al mismo tiempo.

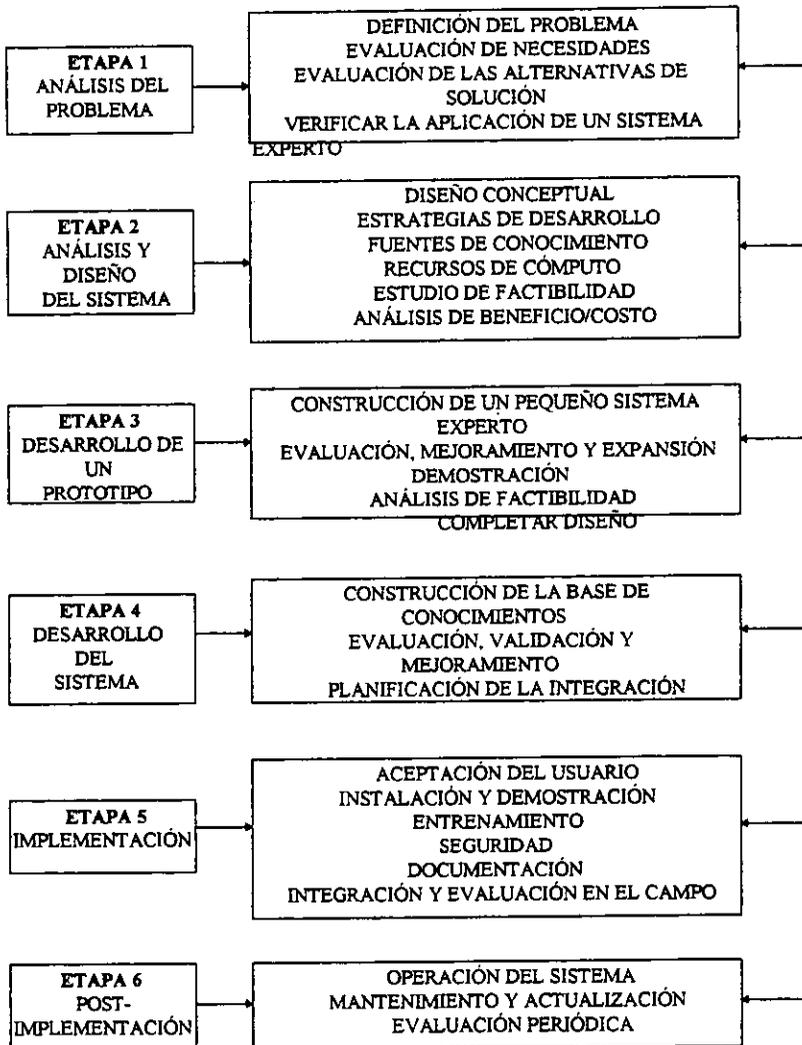


Fig. 2.2 : Proceso de desarrollo de sistemas expertos

2.2.1 Etapa 1 : Análisis del Problema

Encontrar un proyecto apropiado para desarrollar un sistema experto no es tarea fácil. Docenas de factores deben tomarse en cuenta y muchos proyectos fracasan debido precisamente a un análisis *front-end*.

a) *Definición del problema y evaluación de necesidades*

Una definición clara del problema simplifica tareas adicionales y ayuda a generar un programa productivo. Definir el problema es materia de responder algunas preguntas básicas:

- ¿Cual es el problema específico?
- ¿Cuáles son las necesidades reales?

Por ejemplo, un problema típico de negocios, puede ser la baja de la productividad, falta de conocimiento experto, información excesiva, problema de tiempo o problema de personal. Para ello se debe escribir un informe o descripción (estado actual de cosas) claro y detallado y proporcionar apoyo con información adicional, ya que este informe debe servir como guía para establecer las especificaciones del sistema.

Para comprender mejor el problema se debe llevar a cabo el estudio del “*Análisis de Necesidades*”, que es una de las partes del proceso del diseño.

b) *Evaluación de las alternativas de solución*

Antes de iniciar el desarrollo del sistema experto, se deben considerar alternativas de solución al problema. La falta de conocimiento es un problema que puede ser resuelto de diferentes formas y no sólo con los sistemas expertos. Hay que considerar que los sistemas expertos es una técnica más de un gran conjunto de posibilidades como programación lineal, optimización matemática, técnicas clásicas de ingeniería industrial, integración de sistemas, etc.

Se recomienda que los siguientes aspectos se analicen en esta fase del proceso de desarrollo:

- * Disponibilidad de expertos
- * Educación y entrenamiento
- * Paquetes de conocimiento
- * Software convencional

c) *Verificación de la aplicación de un sistema experto*

El hecho de que otras alternativas no sean apropiadas para resolver un problema, no significa que un sistema experto sea necesario. Para confirmar, se deben realizar tres estudios:

- * Requerimientos para el desarrollo del sistema experto
- * Justificación para desarrollar el sistema experto
- * Características del problema

d) Aspectos administrativos

Un proyecto de sistema experto no se inicia por sí mismo. Algunas veces se inicia debido a que hay una necesidad aguda, pero por lo general, se inician debido a que alguien en la organización cree en la tecnología de IA. Los aspectos administrativos que se deben considerar son los siguientes:

- * Disponibilidad de financiamiento
- * Disponibilidad de otros recursos
- * Limitaciones legales y otras restricciones
- * Venta del proyecto
- * Identificación del equipo y líder del proyecto

2.2.2 Etapa 2 : Análisis y Diseño del Sistema

Una vez que el proyecto de sistema experto ha pasado la primera etapa (aún no aprobado), se debe realizar un análisis detallado a fin de obtener la aprobación definitiva del proyecto.

a) Diseño conceptual

El diseño conceptual de un sistema experto es similar a realizar un croquis de la arquitectura de una casa. Este diseño nos da la idea de como estará conformado el sistema y de como solucionará el sistema. Generalmente es un diagrama modular, donde cada módulo o bloque representa a una o a un conjunto de funciones similares, acompañado de la descripción general y específica de las características del sistema experto a desarrollar. Por lo tanto el diseño conceptual debe incluir:

- * Las capacidades que tendrá el SE
- * Las interfaces con otras aplicaciones
- * Las áreas de riesgo
- * Los recursos requeridos
- * Flujo de caja anticipado
- * La comprensión del equipo de trabajo
- * Otra información necesaria.

b) Estrategia de desarrollo

Hay varias estrategias a seguir para el desarrollo de un SE, estas son:

- * Hágalo usted mismo
- * Contratar a un diseñador externo
- * Entrar a un equipo de aventura
- * Fusionarse, adquirir o ser accionista de una compañía de IA.

Algunas organizaciones usan una simple estrategia, mientras que otras usan varias de ellas.

c) Fuentes de conocimiento

Las diversas fuentes de conocimiento pueden ser categorizados en dos grupos:

* *Conocimiento documentado (conocimiento público)* : pueden ser libros, bases de datos, manuales, memos, reportes, films, pinturas, videos, audio, etc.

* *Conocimiento no documentado (conocimiento privado)* : se encuentran en la mente de los expertos humanos quienes poseen conocimiento que es mucho más complejo que el encontrado en fuentes documentadas. Este conocimiento se basa en la experiencia del experto y en muchos casos puede ser expresado en términos heurísticos.

d) Selección de equipos de cómputo

Involucra decisiones acerca de hardware y software. Las alternativas son muchas y la selección de software depende del hardware, por lo cual tres aspectos deben ser analizados:

* *Shells versus lenguajes*: Elegir una herramienta, es una de las decisiones más importantes y depende de varios factores, como las necesidades de programación disponible (programadores, lenguajes), tipo de computadora (para desarrollo y a nivel usuario), tiempo y fondos disponibles; y elegir entre usar un shell, un lenguaje de IA o un lenguaje convencional.

* *Máquinas LISP versus computadoras estándares*: actualmente hay una tendencia a utilizar computadoras estándar.

* *Ambientes mainframe y no-mainframe*: Un SE puede proyectarse para una PC, estación de trabajo o una mainframe.

e) Análisis de factibilidad

Para realizar un análisis de factibilidad, se pueden considerar los siguientes elementos:

- * *Factibilidad económica (financiera)*:
 - Costos de desarrollo del sistema
 - Costos de mantenimiento
 - Pagos anticipados
 - Análisis de flujo de caja

- Análisis de beneficio/costo
- Análisis de riesgo

** Factibilidad técnica:*

- Requerimientos de interfaces
- Conectividad en redes
- Disponibilidad de conocimientos y datos
- Seguridad del conocimiento confidencial
- Esquema de representación del conocimiento
- Disponibilidad y compatibilidad de software y hardware

** Factibilidad operativa e impactos:*

- Disponibilidad de recursos humanos y otros
- Prioridad en comparación con otros proyectos
- Evaluación de necesidades
- Resultados organizacionales y de implementación
- Administración y apoyo al usuario
- Disponibilidad de expertos e ingenieros del conocimiento
- Limitaciones legales y otras restricciones
- Cultura corporativa
- Ambiente del usuario

f) Análisis beneficio/costo

El desarrollo de un SE puede ser visto como una alternativa de inversión, por lo cual se debe mostrar las ventajas sobre otras inversiones incluyendo la alternativa de "no hacerlo". La implementación efectiva puede depender de la capacidad de demostrar tales ventajas.

Este análisis es una comparación entre los costos con los beneficios anticipados. Puede considerarse otros criterios para demostrar factibilidad financiera, como: periodo de recuperación, VPN y el criterio de la TIR.

** Evaluación de costos:* Incluye; tiempo de los ingenieros del conocimiento, tiempo de los expertos, consultorias externas al proyecto o equipos de desarrollo, licencia de las herramientas y Runtimes, equipo de cómputo para desarrollo y utilización, costos indirectos, costos estimados de mantenimiento, etc.

** Evaluación de beneficios:* La evaluación de los beneficios es complicada debido a: (1) algunos beneficios son intangibles, (2) frecuentemente un beneficio no puede ser relacionado con una causa simple o única, (3) los resultados de una acción pueden ocurrir después de un largo periodo de tiempo, (4) una valoración de los beneficios incluye la evaluación de la calidad y cantidad, (5) la multiplicidad de consecuencias plantean mayores problemas para la cuantificación.

2.2.3 Etapa 3 : Desarrollo del Prototipo Rápido

Un prototipo se refiere a un pequeño sistema experto, el cual incluye la representación del conocimiento capturado de una manera tal que permite dar inferencias rápidas y la creación de los componentes principales del sistema experto. Un prototipo con un número pequeño de reglas puede ser suficiente para realizar consultas de manera limitada.

El prototipo ayuda al desarrollador a decidir sobre la estructura de la base de conocimientos antes de consumir una gran cantidad de tiempo en la construcción de más reglas. La siguiente figura muestra el proceso para desarrollar el prototipo rápido.

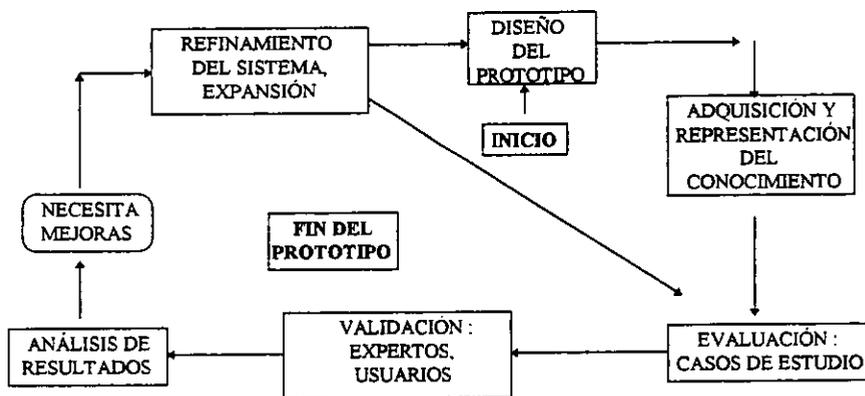


Fig. 2.2.3 : Proceso de desarrollo del prototipo rápido.

2.2.4 Etapa 4 : Desarrollo del Sistema

Una vez que terminado el prototipo y si su manejo es satisfactorio, se inicia el desarrollo del sistema experto completo. Obviamente el plan debe ser hecho acerca de como continuar y completar con el prototipo, por ello en esta etapa la estrategia de desarrollo puede cambiar, así como el diseño detallado.

Para iniciar el desarrollo del sistema experto se debe tener claramente definido y revaluado los siguientes aspectos (los cuales dependen de la naturaleza del sistema):

- * Tamaño del sistema (número de módulos y reglas),
- * cantidad de interfaces con otros sistemas e interfaces,
- * las dinámicas del conocimiento (conocimiento estático y dinámico)
- * y la estrategia de desarrollo.

a) Construcción de la base de conocimientos

La parte fundamental de esta etapa es la construcción de la Base de Conocimientos, que consiste en adquirir el conocimiento de los expertos y/o otras fuentes documentadas y representarlo de una forma apropiada en la computadora. Así mismo incluiremos varios aspectos adicionales, como son:

- * Definir la solución potencial
- * Definir los hechos de entrada
- * Desarrollar un sistema de bloques del sistema (conceptualización)
- * Dibujar un mapa de conocimiento (árbol de decisión y matriz o tabla de decisión)
- * Desarrollar el sistema (programar en un shell o lenguaje)

b) Evaluación, validación y verificación, y mejoramiento

El prototipo y las versiones más completas o finales del SE, son evaluadas y validadas tanto en el laboratorio, como en casos reales. La validación se refiere a determinar si el sistema experto brinda resultados con un nivel de exactitud aceptable y reconocida por los usuarios y expertos, mientras que la verificación confirma que el sistema experto ha sido construido correctamente, de acuerdo a las especificaciones del diseño.

2.2.5 Etapa 5 : Implementación

Esta etapa puede ser larga y compleja, similar a la implementación de cualquier software. Los siguientes aspectos son los que se refieren a la implementación de un sistema experto y son los que se deben tomar en cuenta:

- * Lograr la aceptación del usuario final.
- * Alcanzar una buena instalación
- * Realizar demostraciones
- * Integración y despliegue
- * Orientación y entrenamiento
- * Seguridad del sistema experto
- * Documentación del sistema experto
- * Integración y evaluación en el campo : hardware, personal, redes, evaluación de casos y tiempo de respuesta.

2.2.6 Etapa 6 : Post-Implementación

Varias actividades son realizadas después que el sistema experto se entrego a los usuarios. Las más importantes son:

- * Operación del sistema experto
- * Mantenimiento del sistema experto
- * Actualización o expansión del sistema experto
- * Evaluación del sistema experto

En el caso de la evaluación se pueden contemplar las siguientes interrogantes:

- * ¿Cual es el costo actual de mantenimiento del sistema comparado con los beneficios actuales?
- * ¿El mantenimiento proporcionado es suficiente para mantener el conocimiento actualizado a fin que el sistema proporcione resultados con alta exactitud?
- * ¿Es el sistema experto accesible a todos los usuarios?
- * ¿Es el sistema experto aceptado por nuevos usuarios?

2.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN SISTEMA EXPERTO

¿ Cuando es apropiado un sistema experto ?

Determinar cuando es necesario aplicar un sistema experto, es relativamente difícil, sin embargo podemos considerar los siguientes criterios para ello :

- La solución del problema requiere de soluciones heurísticas.
- La solución del problema requiere manipulación de símbolos.
- La solución del problema tiene un grado de complejidad apropiado.
- El dominio del problema es específico, no muy general y la solución es útil.
- La solución del problema es administrable.
- Hay una estrategia corporativa y deseos de aceptar cambios.
- Se cuenta con la experiencia en ingeniería del conocimiento y de programación.

A pesar de que el problema pueda resolverse a través de un sistema experto, no siempre conviene hacerlo, ya sea por tiempo, costo o por tecnología. Fundamentalmente cuando el conocimiento es temporal, se emplea sentido común, se maneja conocimiento inconsistente, un sistema experto no es apropiado.

¿ Cuanto cuesta desarrollar un sistema experto ?

Los principales costos que involucra el desarrollo de un sistema experto son:

- * Tiempo de los expertos.
- * Tiempo de los ingenieros del conocimiento.
- * Capacitación de ingenieros del conocimiento, expertos, usuarios, gerentes, etc.

- * Herramientas de desarrollo y equipo de cómputo.
- * Implantación, seguimiento y mantenimiento.

Para desarrollar un sistema experto se necesita de la ayuda del ingeniero del conocimiento, quienes son escasos y sus servicios son costosos. Un hecho que podría significar que el precio de la construcción de un SE incremente de manera importante.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL AIRE ACONDICIONADO

3.1 PSICOMETRIA

La relación entre el contenido de humedad del aire, su cantidad de calor y la presión atmosférica; son los campos de acción de la psicometría.

Humedad

La cantidad de humedad que puede contener el aire, es finita y esta relacionada con la temperatura ambiente, la presión de vapor de agua a esta temperatura y la presión atmosférica del lugar considerado. La cantidad máxima de vapor de agua que puede contener el aire a una temperatura dada (SATURACIÓN), esta definida por la siguiente ecuación:

$$H = \frac{P_v}{P_{atm} - P_v} \cdot \frac{18 \text{ Kg de agua}}{29 \text{ Kg de aire seco}}$$

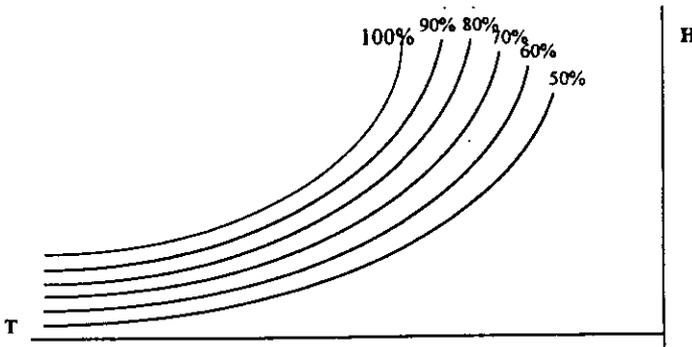
P_v : Presión de vapor de agua a la temperatura considerada

P_{atm} : Presión atmosférica del lugar

18/29 : Relación de pesos moleculares del agua y aire

Si esta ecuación se grafica para una presión atmosférica determinada y diferentes temperaturas, se obtendrá una gráfica correspondiente a la HUMEDAD DE SATURACIÓN vs temperatura.

El caso más general es tener aire con una humedad menor al valor correspondiente de saturación, para poder ubicar el valor de humedad en la mayoría de los casos, se hace necesario obtener fracciones decimales del valor de saturación a las diferentes temperaturas con objeto de poder ubicar el aire que se tiene dentro de la gráfica; al graficar estos números se obtiene una familia de curvas que son fracción decimal de la línea de saturación y así es fácil ubicar cualquier punto dentro de la gráfica.



Temperatura de Bulbo Seco

Es aquella temperatura que es posible registrar por medio de un termómetro normal, y es la temperatura del ambiente.

Temperatura de Bulbo Húmedo

Cuando una persona va a nadar en un día soleado, sentirá una sensación agradable, tanto en el aire como en el agua, pero normalmente al salir del agua sentirá FRÍO, pese a que la temperatura del aire no ha variado. Esta sensación se debe que al estar rodeado por el aire no saturado, existirá una evaporación del agua que moja su cuerpo hacia el aire. Este proceso requiere gran cantidad de calor que se absorberá del agua que humedece al sujeto, enfriándose el agua restante y tomando calor de su cuerpo.

Si a un termómetro normal se le coloca una franela húmeda sobre el bulbo y se hace circular aire ambiente, éste evaporará parte del agua que humedece al paño para tratar de saturarse: el calor requerido para esta evaporación; el calor requerido para esta evaporación será tomado del agua restante de la franela y al permanecer húmeda, disminuirá su temperatura hasta un cierto límite. A este límite se le llama temperatura de "bulbo húmedo".

Entalpia

Para un proceso a presión constante, volumen constante y sin trabajo, el término ENTALPIA define la cantidad de calor contenido por unidad de masa de aire; se puede definir a la entalpia del aire como la suma de la entalpia del aire seco a partir de un punto de referencia, más la entalpia del vapor de agua (Humedad) que contiene el punto en cuestión.

Para el aire seco la ecuación que define su entalpia es:

$$h_a = C_p (T_i - T_r)$$

Para la humedad del aire:

$$h_w = H(C_{pw}(T_w - T_r) + h_{fgw} + C_{pv}(T_i - T_r))$$

La entalpia total será la suma de éstas dos ecuaciones:

$$h = C_p(T_i - T_r) + H(C_{pw}(T_w - T_r) + h_{fgw} + C_{pv}(T_i - T_r))$$

Donde:

H = Humedad específica o absoluta

h_a = Entalpia del aire seco

h_w = Entalpia de la humedad contenida por Kg de aire

C_p = Calor específico a presión constante del aire

C_{pw} = Calor específico del agua

C_{pv} = Calor específico del vapor de agua
 h_{fgw} = Calor de vaporización del agua a T_w
 T_r = Temperatura de referencia del sistema ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$)
 T_i = Temperatura de bulbo seco del punto considerado
 T_w = Temperatura de rocío del punto considerado.

Se considera que el agua añadida al aire se calentará como agua desde un punto de referencia (T_r) hasta la temperatura de rocío del aire final (T_w), a esta temperatura se convertirá en vapor y de ahí se recalentará hasta la temperatura considerada del punto (T_i).

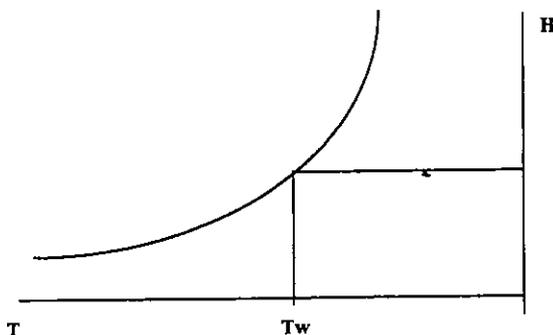
Evidentemente la temperatura de referencia lógica es $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, con lo que se simplifica un poco la ecuación.

En la ecuación que define la entalpia, hay únicamente dos variables independientes: la temperatura T_i y la humedad absoluta H , ya que T_w es una función de H . Al tenerse una ecuación de primer grado con dos variables independientes al definir una de ellas, para un cierto valor de "h" se tendrán una serie de puntos que formarán una línea recta cuyo valor de entalpia será constante. Es interesante hacer notar que la línea de entalpia constante coincide al llegar a saturación con la temperatura de "bulbo húmedo", esta circunstancia que actualmente es obvia, se descubrió casualmente.

Temperatura de Rocío

Al enfriar aire no saturado, se conservará su humedad absoluta hasta que el aire toque con la línea de saturación, a partir de este punto cualquier enfriamiento posterior ocasionará una disminución de la humedad del aire. A esta temperatura a la cual se llega a la saturación sin disminuir humedad, se le llama temperatura de rocío (T_r o T_w)

Una forma simple de percibir éste concepto es la siguiente: Al servirse una bebida fría en un vaso, se empezará a enfriar el recipiente y el aire circundante también, pasados unos minutos el vaso estará empañado exteriormente y tendrá unas gotas de rocío que se han condensado sobre su superficie. Esto demuestra que la superficie del vaso está a una temperatura inferior a la temperatura de rocío del aire.



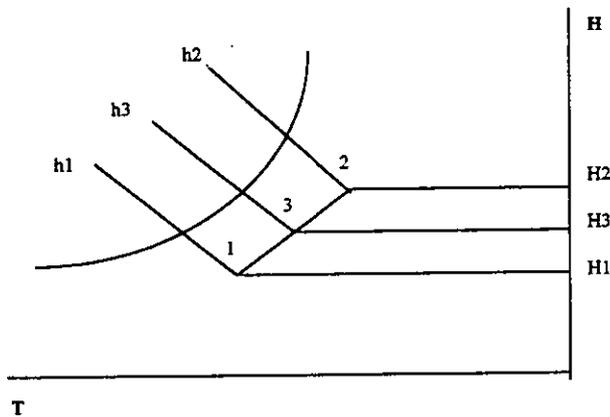
3.2 PROCESOS PSICOMÉTRICOS

Las maneras por las cuales es posible modificar las condiciones del aire son las siguientes:

3.2.1 Mezcla de Dos Flujos de Aire

Al mezclarse dos corrientes de aire con diferentes con diferentes características, el aire de mezcla se encontrará sobre una línea recta que los une, las ecuaciones que definen este comportamiento son las siguientes:

$$\begin{aligned} M_1 + M_2 &= M_3 & (1) \\ M_1h_1 + M_2h_2 &= M_3h_3 & (2) \\ M_1H_1 + M_2H_2 &= M_3H_3 & (3) \end{aligned}$$

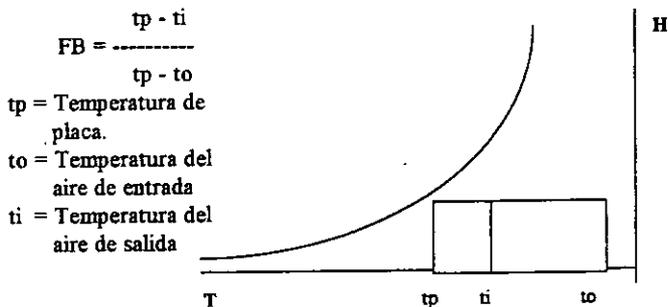


3.2.2 Flujo de Aire Sobre una Superficie Seca y más Caliente

Al fluir sobre una superficie seca y más caliente que él, el aire se calentará por supuesto, pero normalmente no alcanzará la temperatura de ésta superficie, ya que para que esto sucediera, sería necesario tener o un tiempo de contacto infinito o una superficie de contacto infinita. Aquí se emplea el concepto del FACTOR DE BY PASS (FB); Este factor mide la ineficiencia de un serpentín y es el complemento a 100 % de la eficiencia. Se calculará de la siguiente forma:

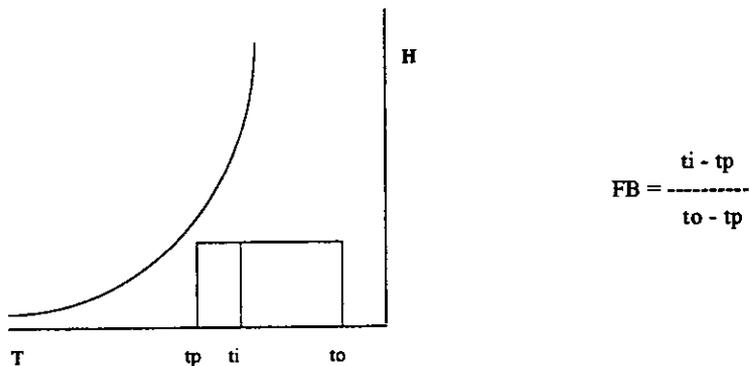
$$FB = \frac{\text{lo que no se hizo}}{\text{todo lo que se podía haber hecho}}$$

El Factor de By Pass es un número adimensional que relaciona las temperaturas del aire y la placa del serpentín y es función únicamente del diseño del serpentín y la velocidad del aire a través de éste. Permite fácilmente calcular la temperatura de un medio de calefacción ó predecir la temperatura de salida del aire a calentar.



3.2.3 Flujo de Aire sobre una Superficie más Fría y Seca

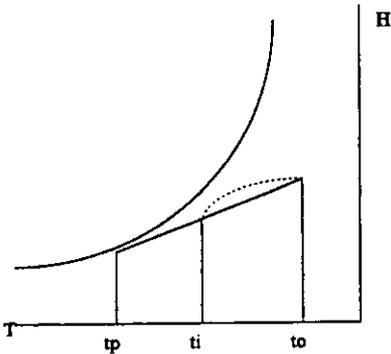
El aire se enfría al paso por el serpentín, conservándose su humedad absoluta constante (no llegará a la saturación) y el proceso se lleva a cabo de forma similar al anterior:



3.2.4 Enfriamiento y Deshumidificación

En este caso la temperatura de placa estará a un valor menor que la temperatura de rocío del aire y por lo tanto se presentará una condensación de humedad que reducirá la humedad total del aire de salida. El comportamiento real del aire se presenta aproximadamente por

medio de la línea punteada, pero el "Factor de By Pass Equivalente" nos define con bastante precisión el punto de salida del aire. En procesos donde se lleva a cabo condensación, se acostumbra llamar a la temperatura de placa "Punto de rocío del aparato" (PRA).

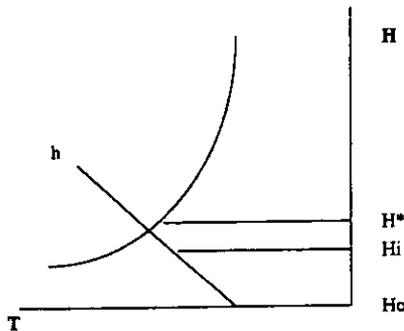


$$FB = \frac{t_i - t_p}{t_o - t_p}$$

3.2.5 Enfriamiento y Humidificación

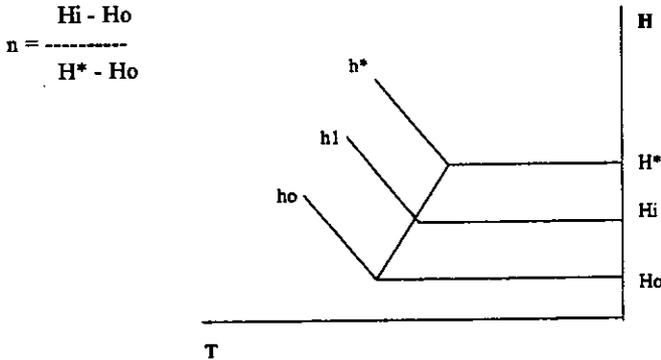
Al pasar aire no saturado a través de una cortina de agua, el aire tratará de saturarse, pero al no existir una fuente externa de calor que le permita conservar su temperatura, simultáneamente a la ganancia de humedad existirá una pérdida de temperatura ya que el calor necesario para la evaporación del agua, será tomado del medio a su alrededor y por lo tanto el proceso se llevará a cabo a entalpía constante (humidificación adiabática). Este proceso se emplea en acondicionamiento de aire para los "Enfriadores evaporativos" (lavadoras de aire) que son la manera más económica de proporcionar aire fresco y húmedo a un local.

Aquí se emplea el concepto clásico de eficiencia para evaluar la bondad del sistema; se puede establecer la eficiencia en función de las temperaturas o de los valores de humedad absoluta.



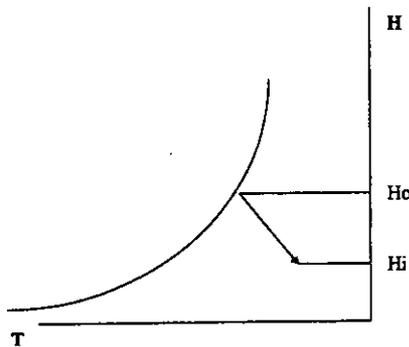
3.2.6 Calentamiento y Humidificación

Si durante el proceso de humidificación se introduce calor al sistema, generalmente calentando el agua, se logrará calentar y humidificar simultáneamente; este proceso presenta una variación de entalpía entre la entrada y salida del aire que es la cantidad de calor requerida para poder llevar a efecto el proceso.



3.2.7 Calentamiento y Deshumidificación

Al pasar aire ambiente por un medio absorbente de humedad, como alúmina, gel de sílice, bromuro de litio, etc, una parte de la humedad del aire pasa a formar parte del material absorbente, ya sea como agua de cristalización ó agua en solución; pero al pasar de la fase vapor que tenía en el aire a fase líquida que tendrá en el absorbente, necesariamente cede su calor de vaporización, incrementándose consecuentemente la temperatura del aire y del medio absorbente. Esta es una operación inversa a la humidificación adiabática, y presenta grandes posibilidades a un futuro muy cercano.



3.3 HUMIDIFICACIÓN Y DESHUMIDIFICACIÓN

3.3.1 Humidificación

La Humidificación es el proceso por medio del cual se aumentan la humedad específica y la cantidad de calor de aire.

En algunos procesos, la humedad específica se aumenta agregando agua , que se absorbe en forma de calor.

El agua vaporizada en el aire absorbe calor del propio aire, lo cual hace descender la temperatura. Por lo tanto para conservar o aumentar la temperatura es necesario agregar calor de otra fuente.

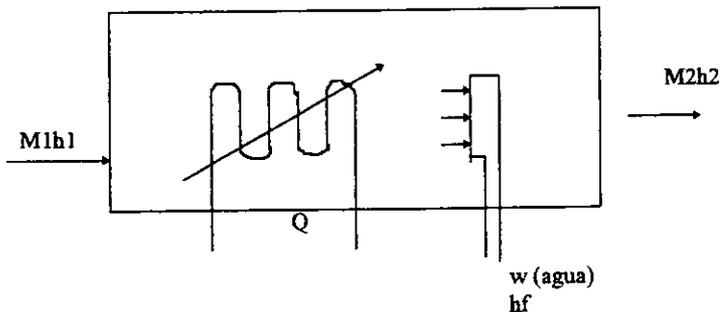


Fig 3.3.1 : Humidificación del aire

Usando la ecuación de la *Primera Ley de la Termodinámica* se tiene la siguiente expresión :

$$M1h1 + Q + Whf = M2h2 \dots$$

Con lo cual se obtiene la distribución de la energía durante el proceso. Donde :

- $M1$ = masa del aire a la entrada
- $h1$ = entalpia total del aire a la entrada
- Q = calor agregado en el calentador
- Whf = energía del agua agregada en el proceso
- $M2$ = masa del aire a la salida
- $h2$ = entalpia total del aire a la salida

En la carta psicométrica, el proceso se muestra como sigue :

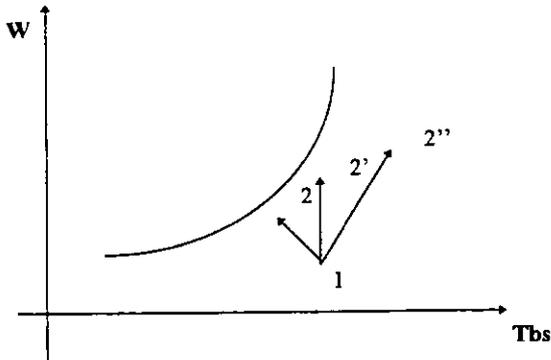


Fig. 3.3.2 : Proceso de humidificación

Como se ve, se pueden obtener tres formas de proceso, según la temperatura final del aire que se desee, o sea :

- Proceso 1 2 (la tbs final disminuye)
- Proceso 1 2' (la tbs final permanece constante)
- Proceso 1 2'' (la tbs final aumenta)

Existen dos métodos para efectuar este proceso :

- 1.- Primero se calienta y luego se humidifica, como se ve en la figura 3.3.1 y 3.3.3

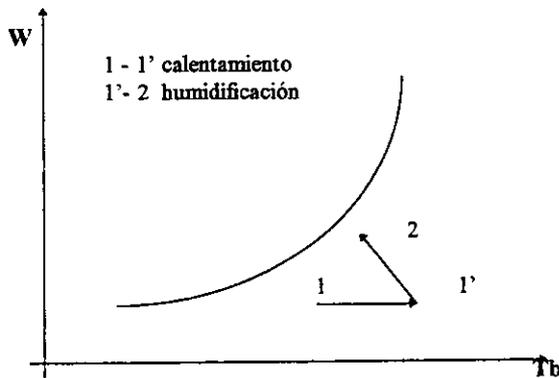


Fig. 3.3.3 : Carta psicométrica. Calentamiento y humidificación

2.- Primero se calienta en un atemperador, después se humidifica con agua caliente hasta saturar; luego se vuelve a calentar hasta llegar a la condición final 2. El punto 2' debe ser el punto de saturación del punto 2 (ver la figura 3.3.4)

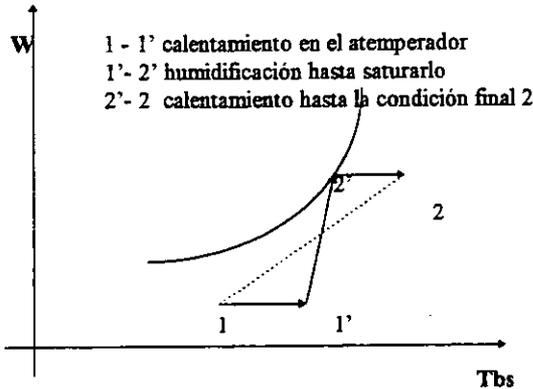


Fig 3.3.4 : Carta psicométrica. Calentamiento, humidificación y recalentamiento.

3.3.2 Deshumidificación

La deshumidificación es necesario generalmente en procesos de aire acondicionado o en procesos industriales.

La humedad puede reducirse por absorción en líquidos o en sólidos (procesos de "absorción química") o enfriando por debajo del punto de rocío.

La figura 3.3.5, muestra el proceso del vapor de agua. Este proceso se lleva a cabo en dos etapas : Primero, enfriando hasta el punto del rocío; después hasta condensar y eliminar el agua necesaria, para alcanzar el punto de rocío del estado final. Aquí se puede recalentar sin necesidad de añadir o absorber agua (ver figuras 3.3.6 y 3.3.7).

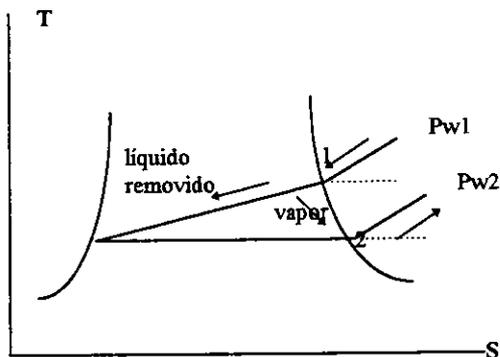


Fig. 3.3.5 : Diagrama TS. Deshumidificación

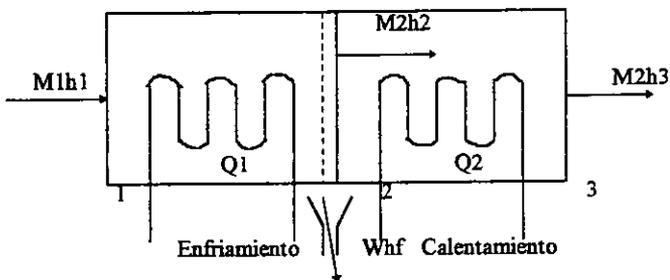


Fig 3.3.6 : Deshumidificación del aire

Primer paso : de 1 a 2

$$M1h1 - Q1 = M2h2 + Whf \dots$$

$$M1 - W = M2 \dots$$

Donde :

M1 = cantidad de aire en la condición 1

Q1 = calor absorbido

h1 = entalpia del aire a la entrada

M2 = cantidad de aire en la condición 2

h2 = entalpia del aire en la condición 2

W = humedad retirada.

Whf = energía de la humedad retirada.

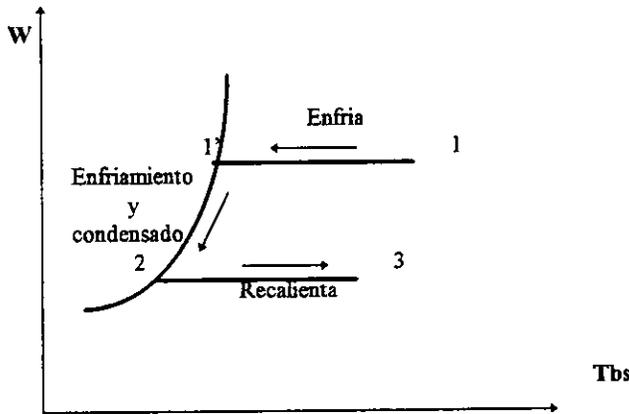


Fig. 3.3.7 : Carta psicrométrica. Deshumidificación del aire

Segundo paso : de 2 a 3

$$M_2 h_2 + Q_2 = M_2 h_3 \dots$$

Donde :

Q_2 = calor de recalentamiento

h_3 = entalpia del aire recalentado a la salida

Se puede observar que Q_1 es negativo y que Q_2 es positivo. En un momento dado, $Q_1 = Q_2$ por lo que el calor total cedido o absorbido es cero.

3.4 CANTIDAD DE AIRE NECESARIO

3.4.1 Calor Sensible

El aire que se inyecta a un área acondicionada, tiene como función principal "*absorber*" o "*suministrar*" calor al espacio que se pretende acondicionar. Si se trata de *Calefacción*, el aire que se suministra debe tener una temperatura mayor, con objeto de que al mezclarse con el aire interior se enfrie hasta dicha temperatura, proporcionando el calor suficiente para compensar las fugas de calor al exterior, que se originan por conducción a través de pisos, muros y techos, por infiltración, etc.

Si se trata del enfriamiento requerido en verano, el aire de suministro debe tener una temperatura menor que la del espacio por acondicionar, de tal modo que la ganancia de calor del aire sea igual a la ganancia de calor del espacio. El calor del espacio se debe a la conducción a través de techos, pisos o paredes, calor debido a personas, a infiltraciones, etc.

La cantidad de calor que puede tomar o ceder el aire de suministro se definirá por medio de la siguiente ecuación :

$$q_s = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Donde :

q_s = cantidad de calor absorbido o cedido por el aire desde su entrada al local hasta la temperatura interior.

m = peso del aire suministrado

C_p = calor específico del aire.

Este calor se llevará a cabo siempre a humedad constante. Mientras mayor sea la diferencia de las temperaturas de entrada y del interior, menor cantidad de aire se requerirá.

Existen casos en los cuales la cantidad de aire está fijada por las necesidades de ventilación, y la incógnita es la temperatura del aire de suministro.

3.4.2 Calor Latente

La humedad en el interior de un local es una de las variables que debe ser controlada para conservar las condiciones propuestas de diseño. normalmente existe una generación de humedad que se debe principalmente al metabolismo de los seres vivos y también a algunos equipos que generan humedad hacia el ambiente. Es así que el aire de suministro a un local debe tener una humedad absoluta menor a la requerida en el interior, con objeto de absorber la que se genere ahí.

Cuando el aire suministrado empieza a absorber humedad, aumenta su temperatura de rocío, por lo que la temperatura de rocío del aire suministrado debe ser menor que la temperatura de rocío que debe mantenerse en el espacio por acondicionar.

La humedad en el aire, representa una forma de calor, ya que está como vapor de agua y a temperatura constante la variación de humedad implicará una variación de entalpía; por lo que se define de la siguiente forma :

$$q_l = mDHh$$

Donde :

q_l = cantidad de calor latente

m = cantidad de aire suministrado

DH = variación de entalpia

h = calor latente (585 Kcal / Kg de agua)

El calor latente o calor de vaporización del agua, varia con la temperatura, presentando un problema adicional. Sin embargo para el rango normal de aire acondicionado (0 a 40 °C) su valor no varía substancialmente, y se puede tomar un valor intermedio como "constante".

3.4.3 Factor de Calor Sensible

La carga total de refrigeración está representada por la suma de la carga de refrigeración sensible y la carga de refrigeración latente.

Evidentemente no es posible introducir una cantidad de aire que recoja el calor sensible (q_s) y otra que recoja el calor latente (q_l); por lo que será necesario considerar una cantidad de aire que sea capaz de realizar las dos funciones simultáneamente. con este objeto se define el FACTOR DE CALOR SENSIBLE (FCS) de la siguiente forma :

$$FCS = \frac{q_s}{q_s + q_l}$$

El factor de calor sensible, en realidad indica la pendiente de la línea de operación del aire desde que este ingresa al local hasta que llega a las condiciones interiores; y para cada problema SOLAMENTE existirá un sólo FCS, ya que indica cuanto calor latente debe ser recogido por unidad de calor sensible.

En la práctica, cuando se trata de acondicionar lugares pequeños, se asume que la ganancia de calor latente es la tercera parte del calor sensible, entonces el FCS será 0.75. Sin embargo existen ocasiones en que el FCS varía desde 0.60 hasta 0.95, dependiendo de las condiciones de humedad. La cual depende de la cantidad de las personas en un momento dado, la humedad del ambiente.

Cuando se trata de instalaciones industriales o bien instalaciones de mayor importancia y capacidad, como comercios, hoteles, hospitales, etc., la ganancia de calor latente se debe calcular por separado y así obtener el factor de calor sensible.

Los valores de FCS son de gran importancia para la selección del equipo acondicionador, y como se verá posteriormente, son también de gran ayuda para determinar las características del aire de suministro.

Para el caso de verano la línea de FCS tendrá como origen la curva de saturación de la carta psicométrica y como final el punto que define las condiciones interiores del local.

En el caso de calefacción en invierno se presenta un problema de indefinición de las variables; si el suministro de aire es "muy grande", la diferencia de temperatura requerida será "muy pequeña" y viceversa. El problema estriba en definir que se considera "muy pequeño" o "muy grande"; a este respecto se hace necesario criterios auxiliares para poder definir una de las dos variables involucradas :

a) Volumen de inyección

Si el volumen de aire que se inyecta a un lugar es muy pequeño no será posible lograr una temperatura uniforme en el local y se encontrarán "puntos" fríos o calientes en él. Si es muy grande se tendrá una temperatura homogénea pero habrá corrientes de aire molestas.

Algunos autores y la experiencia de los diseñadores han establecido un criterio al respecto; *"El aire que se suministra a un local debe ser de 10 a 20 VECES su volumen en una hora"*. A este criterio se le llama "cambios por hora". No es un criterio absoluto pero es una buena guía.

b) Temperatura máxima de inyección

Mientras mayor sea la temperatura de inyección, se requerirá menos aire y por lo tanto el equipo será más pequeño; sin embargo una temperatura elevada causará grandes pérdidas en los ductos y sobre todo problemas serios de RADIACIÓN en los difusores; como regla general deberá tratarse de que la temperatura de los difusores no sea mayor de 45 °C.

3.4.4 Ciclo Completo del Aire Suministrado

Una vez que el aire ha realizado su labor en el interior del local por acondicionar, debe salir de él para ser substituido por aire proveniente del acondicionador; sin embargo este aire es más fácil de acondicionar que el aire exterior, obteniéndose una economía importante. No es posible recircular todo el aire, ya que es necesario una cantidad de "aire nuevo" para mantener la pureza necesaria; sin embargo se recirculará todo el que sea necesario y se completará al 100 % con aire exterior. La cantidad de aire exterior depende del número de personas y la actividad que estas realicen.

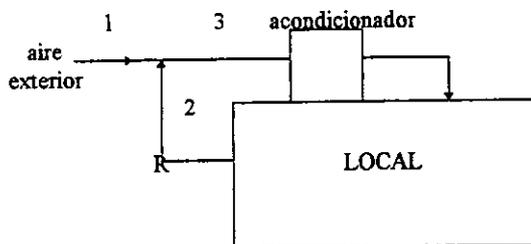
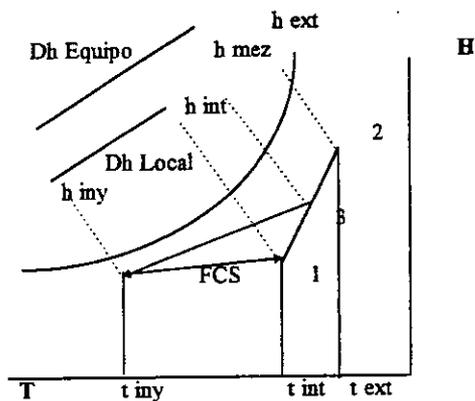


Fig. 3.4.1 : Ciclo de aire completo

La mezcla de aire exterior y aire recirculado será la que se suministre al equipo acondicionador.



La cantidad de calor que deberá suministrar o retirar el equipo acondicionador será la diferencia de entalpías entre el "aire de mezcla" y el "aire de inyección". Normalmente la carga térmica del equipo es DIFERENTE a la carga térmica del local.

En el caso de usar deshumidificador químico, se lleva a cabo el ciclo mostrado en la figura 3.4.3.

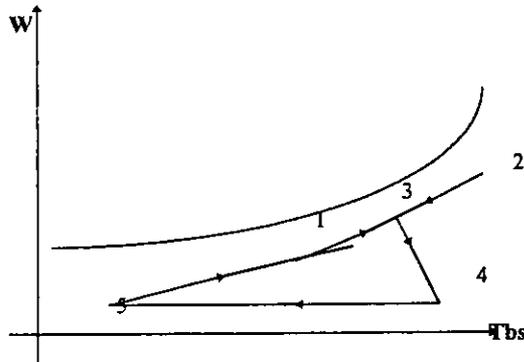


Fig. 3.4.3 : Ciclo completo del aire usando deshumidificador químico.

El aire de retorno en la condición 1 se mezcla con el aire exterior de condición 2 y la mezcla tiene la condición mostrada en el punto 3. Este aire entra al deshumidificador y sale con la condición 4.

Una vez obtenida la condición 4, el aire se enfría en un serpentín donde se le absorbe calor sensible hasta la condición 5, que debe ser la intersección de la línea de FCS. hasta la condición interior 1.

3.5 CONDICIONES DE COMODIDAD

3.5.1 Factores que Influyen en la Comodidad

El aire acondicionado tiene la como objeto fundamental el provocar zonas con temperatura y humedad adecuadas para que las personas se sientan cómodas. Esto quiere decir que, en zonas donde hace mucho frío, el aire acondicionado se diseña y calcula para producir temperaturas más altas que la exterior, así mismo en lugares donde se tienen temperaturas muy altas, el objetivo del aire acondicionado es lograr que en los locales habitados se mantengan temperaturas más bajas que el exterior.

El comportamiento fisiológico del cuerpo humano demanda que la cantidad de calor interno producido por el cuerpo, sea igual a la cantidad de calor externo producido.

El cuerpo humano tiene un sistema de control de temperatura para regular sus pérdidas que ocurren por convección, radiación y evaporación. Estas dependen del calor producido por el cuerpo, que a su vez dependen de la actividad, de la ropa y la temperatura y condiciones del aire.

El exceso de ropa, por ejemplo, reduce la pérdida de radiación y convección, pero la aumenta por evaporación. Del mismo modo, entre paredes muy frías una persona puede estar muy incómoda aunque el aire ambiente este relativamente caliente, debido a radiación de calor del cuerpo a las paredes que produce una desagradable sensación de frío.

Para lograr las condiciones de comodidad se deben tener en cuenta cuatro factores principales, que son :

a) Temperatura del aire

El primer intento de crear zonas cómodas para el hombre fue tratando de controlar la temperatura, ya que trabajar o descansar en un lugar donde la temperatura sea extremadamente baja o alta, resulta incómodo y poco eficiente.

b) Humedad del aire

El cuerpo humano pierde bastante calor debido a la evaporación a través de la piel. La evaporación aumenta cuando la humedad relativa del aire baja; de aquí la importancia de controlar la humedad.

Debe recordarse que humedades altas producen reacciones fisiológicas molestas y además afectan las propiedades de algunos materiales.

c) Movimiento del aire

El simple movimiento del aire sobre el cuerpo humano incrementa la pérdida de calor y humedad y modifica la sensación de calor o frío. Además produce una sensación de "chiflón" agradable o desagradable.

d) Pureza del aire

Los efectos sobre el aire debido a la combustión fisiológica, se pueden resolver poca ventilación, sin embargo la nulificación de olores requiere mucha ventilación.

Cuando se está en un local acondicionado, se procura recircular el aire constantemente para ahorrar energía, pero debe tenerse cuidado en purificar el aire debido a que de no hacerlo, los olores se irán concentrando hasta ser muy molestos.

Nulificar partículas sólidas en el aire es de vital importancia no sólo para la salud, sino porque disminuye los gastos de mantenimiento y limpieza. El humo del cigarro provoca molestias en los ojos y la nariz.

En ciertos casos es necesario excluir el polen, porque causa asma y molestias a los que padecen cierto tipo de alergias.

En casos especiales deberá considerarse una purificación especial, como puede ser el caso de aire inyectado a un quirófano. En general la contaminación del aire es un problema muy complejo que la humanidad tiene que resolver.

3.5.2 Carta de Comodidad

Para establecer "estándares" de los cuatro factores analizados anteriormente, es necesario encontrar los valores óptimos para que el cuerpo humano tenga la sensación de comodidad.

Para poder establecer las condiciones adecuadas se ha establecido la llamada "*Carta de Comodidad*", la cual se obtuvo después de una serie de experimentos realizados por ASHRAE y que permiten determinar diferentes conjuntos de valores en cuanto a temperaturas de bulbo seco y húmedo, humedad relativa y velocidad del aire, en función de la "*Temperatura Efectiva*" que se escoge.

De la carta de comodidad se concluye que una temperatura determinada con cierta humedad y movimiento de aire produce la misma sensación de frío o calor que otra temperatura, con otra humedad y otro movimiento de aire.

Temperatura Efectiva

La "*Temperatura Efectiva*" es un índice empírico del grado de calor que percibe un individuo cuando se expone a varias combinaciones de temperatura, humedad y movimiento del aire.

Una temperatura efectiva puede tener humedades relativas desde 0% hasta 100% y velocidades de aire desde muy lentas hasta muy altas y aunque la sensación de calor en cualquier caso es la misma, la comodidad producida en los diferentes casos no es igual.

Por ejemplo se puede decir que muy bajas humedades producen sensación de "tostamiento" en la piel, boca y nariz. La humedad alta producen mayor transpiración del cuerpo y que está se acumule en la ropa y provoque malos olores del cuerpo. Altas velocidades en el aire crean chiflones incómodos y molestos.

Cuando la humedad y movimiento del aire se controlan adecuadamente, el índice de temperatura efectiva realmente mide la comodidad.

3.5.3 Factores que determinan la Temperatura Efectiva

Cómo se puede observar, en la carta de comodidad se indica el porcentaje de personas que se encontrarán cómodas con cada una de las temperaturas efectivas, es decir, siempre existirán personas que no se encuentren totalmente cómodas. Sin embargo, las normas de comodidad son para la mayoría.

Lo anterior se debe a los diferentes factores que influyen en la temperatura efectiva y que son :

a) Aclimatación diferente

Esto se refiere a que personas que viven en zonas cálidas estarán cómodas a temperaturas más altas que aquellas acostumbradas a vivir en lugares fríos. Lo mismo sucede con las diferentes estaciones, ya que en invierno se siente uno cómodo a menores temperaturas que en verano. La temperatura efectiva deseable y la humedad varían por lo general, según el individuo, país o región.

b) Duración de la ocupación

Es de suma importancia este factor en lugares públicos como tiendas, bancos, oficinas, etc.

Se ha comprobado que en lugares donde el tiempo de ocupación es corto, resulta más conveniente tener diferencias de temperatura bajas con respecto a la exterior y viceversa, en lugares donde la estancia es prolongada, la diferencia de temperatura deberá ser mayor.

c) Ropa

Dependiendo de la época del año, las personas se visten con diferente tipo de ropa, de modo que esto tiene una determinación directa sobre la temperatura efectiva. Existe lugares en que debido al tipo de ropa usado, la temperatura efectiva tendrá que ser mayor o menor independientemente de otros factores.

Debemos mencionar que las mujeres usan ropa más ligera que los hombres, lo cual crea problemas para acondicionar lugares que serán utilizados por hombres y mujeres.

d) Edad y sexo

Las personas mayores de 40 años, en general requieren de una temperatura efectiva mayor, así como las mujeres; esta temperatura es mayor en 0.5 - 1 °C aproximadamente. La carta de comodidad está estructurada para hombres maduros menores de 40 años.

e) Efectos de choque

Se le llama así al efecto producido al entrar del exterior a un lugar acondicionado y con una diferente temperatura. Este efecto se puede controlar provocando zonas de temperatura efectiva intermedia entre la exterior y la más cómoda o interior; por ejemplo : en los vestíbulos o corredores de un hotel u oficina.

Este problema es más grave en verano. Se ha demostrado que el choque no perjudica a la salud de los que viven en lugares donde el aire acondicionado es indispensable (regiones muy frías y/o muy cálidas) y están acostumbrados a este tipo de cambios bruscos de temperatura.

f) Actividad

La temperatura efectiva cómoda varía dependiendo de la actividad que desarrolle la persona dentro del local, ya que, obviamente, no se estará cómodo a la misma temperatura en una fábrica o taller donde los operarios tienen una actividad más o menos constante, que en una oficina o en un teatro, donde las personas se encontrarán intactas o casi inactivas.

g) Calor radiado

Cuando se hable de aglomeraciones grandes de personas, como en un teatro o cine, el efecto del calor radiado entre las personas obliga a disminuir la temperatura efectiva cómoda.

De igual manera, cuando se está en un local con muchas ventanas, el cuerpo humano radia más calor al medio ambiente y esto produce una sensación de frío por lo que la temperatura efectiva debe ser más alta.

Máxima Temperatura Efectiva

En general, los diferentes manuales y diseñadores de aire acondicionado señalan que la temperatura efectiva no debe exceder de 30 °C (85 °F).

3.5.4 Condiciones Generales de Diseño

Para diseñar el aire acondicionado de un local se debe partir de ciertas bases que son :

a) Condiciones de diseño exterior

Las condiciones de diseño exterior están dadas por las temperaturas mínimas promedios exteriores del lugar en donde se ubicará el local acondicionado, así como por las temperaturas máximas promedio. Más adelante aparece una tabla que proporciona las temperaturas de diseño exterior para las principales ciudades de la República Mexicana.

b) Condiciones de diseño interior

b.1) Las condiciones de diseño interior se establecen precisamente con la carta de comodidad, pero además existen tablas que señalan la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa recomendadas dependiendo de las temperaturas exteriores.

La tabla siguiente la propone la Jefatura de Proyectos y Construcciones del I.M.S.S., que en México es una de las instituciones que más normas han desarrollado en este campo.

CONDICIONES GENERALES DE DISEÑO

Temperaturas exteriores de diseño	Temperaturas interiores de diseño	Humedad relativa interior
35 °C de bulbo seco o mayores	25 °C de bulbo seco	50 %
32 °C de bulbo seco	23 °C de bulbo seco	50 %
30 °C de bulbo seco	22 °C de bulbo seco	50 %

La misma dependencia señala que para invierno la temperatura de diseño interior será en general de 21 °C (70 °F) y una humedad relativa no menor del 30 - 35 %.

b.2) Cuando se diseña calefacción se debe tener especial cuidado con la humedad relativa permisible ya que, si la humedad es muy alta en el local acondicionado, se pueden producir condensación del vapor de agua en las ventanas. La tabla siguiente señala los máximos valores permisibles de humedad relativa dependiendo de la temperatura exterior y del tipo de ventana que se utilice.

De cualquier forma, se puede calcular la temperatura de rocío permisible para evitar condensaciones, según la siguiente fórmula :

$$t_w = t_i - (t_i - t_e) U / f$$

Donde :

t_w = temperatura de rocío

t_i = temperatura de bulbo seco interior

t_e = temperatura de bulbo seco exterior

U = coeficiente de transmisión del vidrio ó muro

f = coeficiente de película interior.

b.3) El movimiento del aire es otra condición interior que debe considerarse en el diseño.

La ASHRAE ha establecido que la velocidad del aire dentro de los locales deberá oscilar entre los 4.5 m / min (15 pie / min) y los 12 m / min (40 pie / min).

CONDICIONES INTERIORES ESPECIALES

Espacios acondicionados	Temperatura interior Bulbo seco	Humedad relativa interior
QUIRÓFANOS :		
Salas de operaciones, salas de expulsión y emergencias.	21 - 24 °C	50 - 60 %
Salas de recuperación.	21 - 24 °C	50 - 60 %
PEDIATRÍA :		
Cuneros.	24 °C	50 %
Observación y aislamiento.	24 °C	50 %
Encamados.	24 °C	40 - 50 %
Prematuros.	25 - 27 °C	55 - 65 %

3.5.5 Condiciones de Ventilación

Como ya se menciono anteriormente, cuando se diseña aire acondicionado para un local, siempre se procurará reutilizar el mismo aire, provocando su recirculación, para evitar grandes consumos de energía.

Lo anterior debe ser estudiado con calma ya que, si se recircula el 100 % del aire, éste se encontrará cada vez más contaminado de olores y humo así como con mayor contenido de CO₂. El aire contaminado con humo sólo se puede recircular si se limpia electrostáticamente o si se pasa a través de un medio absorbente como carbón activado para remover los gases. Los olores son más objetables a humedades mayores de 58 % y a altas temperaturas, debido a que el ser humano los percibe mejor.

Para evitar esta contaminación, se debe suministrar siempre una cierta cantidad de "aire nuevo de ventilación", expulsándose así la misma cantidad de aire contaminado, con esto se

Ventilación recomendada para diferentes lugares

APLICACION	Humo de cigarros	ft ³ /min. por persona		ft ³ /min. minimos de obra por ft ² de techo
		recomendado	Minimo	
Departam normales de flujo	Poco	20	15	—
	Poco	30	25	0.33
Bancos	Ocasional	10	7.5	—
Peluquerías	Considerabl	15	10	—
Salones de belleza	Ocasional	10	7.5	—
Bares	Mucho	30	25	—
Corredores	—	—	—	0.25
Sala de juntas	Excesivo	50	30	—
Departamentos de tiendas	Nada	7.5	5	0.05
Garajes	—	—	—	1.00
Fábricas	Nada	10	7.5	0.10
Funerarias (salones)	Nada	10	7.5	—
Cafetería	Considerabl	10	7.5	—
quirófanos	Nada	—	—	2.00
Hospitales cuartos privado	Nada	30	25	0.33
	salas de esper	Nada	20	15
Habitaciones de hotel	Mucho	30	25	0.33
Cocina restaurantes	—	—	—	4.00
residencias	—	—	—	2.00
Laboratorios	Poco	20	15	—
Salones de reunión generales	Mucho	50	30	1.25
	Poco	15	10	—
privadas	Nada	25	15	0.25
privadas	Considerabl	30	25	0.25
restaurant cafeteria	Considerabl	12	10	—
comedor	Considerabl	15	12	—
Salones de clase	—	—	—	—
Teatros	Nada	7.5	5	—
Teatros	Poco	15	10	—
Tocadores	—	—	—	2.00

ESPACIOS POR VENTILARS Cambios por hora: Minutos por cambio:

	Cambios por hora:	Minutos por cambio:
Almacenes	4 - 6	15 - 12
Casetas de Proyección	6	10
Clubes	60	1
Cocinas	12	5
Garages	30	2
Laboratorios	10	5
Lavanderías	10 - 20	6 - 3
Oficinas	20 - 30	3 - 2
Panaderías y Reposterías	10	6
Restaurantes	20	3
Salas de Máquinas	12	5
Salas de Recreación	7 1/2	8
Sanitarios interiores	10	6
Talleres	15 - 20	4 - 3
Vestidores	10	6
	10	6

logra que, a través del tiempo, todo el aire se haya recirculado y la contaminación no alcance altas y molestas concentraciones.

La relación entre el volumen del espacio, el número de personas y la contaminación, da la pauta para determinar la ventilación necesaria. Los fumadores de puro por ejemplo requieren alrededor de 100 pies³ / min.

Para este fin se proporcionan dos tablas que recomiendan la ventilación necesaria para diferentes tipos de locales, en función del uso del local y del número de personas y en función del volumen del mismo local.

3.6 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS EN INVIERNO (CALEFACCIÓN)

En invierno, por lo general el problema consiste en calentar y humidificar un espacio. Por lo tanto se trata de determinar la cantidad de calor o volumen de aire requerido. Para valorar esta información es necesario calcular todas las pérdidas o ganancias de calor que puedan intervenir.

En la evaluación de un problema de calefacción, el análisis de cargas térmicas que intervienen en el es de vital importancia; estas aportaciones o pérdidas se pueden clasificar en dos grandes grupos :

- a) *Cargas Fijas*
- b) *Cargas variables*

Las cargas fijas se pueden a la vez clasificar de la siguiente forma :

- * *Transmisión de calor a través de muros, techos y pisos.*
- * *Personas.*
- * *Iluminación.*
- * *Equipos y misceláneos.*

3.6.1 Transmisión de Calor a Través de Muros, Techos y Pisos

La carga de calor más importante para calcular la calefacción se debe, por lo general a la transmisión de calor a través de muros, techos y pisos. Esta transmisión de calor está definida por la ecuación general de la transmisión de calor :

$$q = UADT$$

Donde :

q = Pérdida de calor

U = Coeficiente total de transmisión de calor

A = Área a través de la cual fluye el calor

DT = Diferencial de temperatura entre el interior y exterior de la barrera

Al elegir la temperatura interior se debe tomar en cuenta la humedad relativa, pues si es muy baja tal vez se necesite mayor temperatura para dar la sensación de comodidad que marca la curva.

En áreas que tengan mucho cristal, el cuerpo humano radia más calor y la sensación de frío es más intensa, por lo cual, se requiere una mayor temperatura interior.

Coeficiente de transmisión de calor (U)

El coeficiente de transmisión de calor U , se puede definir como el flujo de calor por hora a través del área de una barrera, para variar la temperatura interior y exterior en un grado.

Así mismo se puede decir que el recíproco del coeficiente de transmisión de calor es la resistencia al flujo de calor que presentan los componentes de la estructura y la resistencia de las películas de aire interior y exterior.

El flujo de calor que se transmite por los materiales que forman la estructura se lleva a cabo por conducción, y la transmisión en las películas de aire es por convección entre la superficie y el aire.

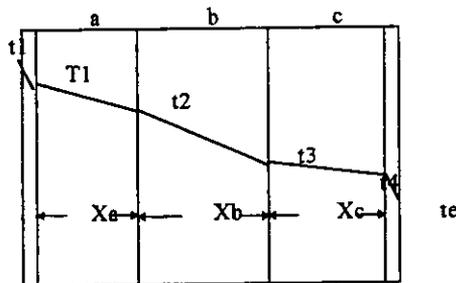


Fig. 3.6.1 : Transmisión de calor a través de una barrera

En los manuales de aire acondicionado se tabular los valores de U para la combinación de los materiales más usados en la construcción. Cuando los materiales son poco comunes, o bien la combinación de ellos no se encuentra tabulada, es indispensable calcular el factor U .

Como en el caso general de la transferencia de calor, el cálculo de "U" es la parte medular y en ocasiones la más engorrosa; U está definida de la siguiente forma :

$$U = \frac{1}{1/h_i + 1/h_o + x_1/k_1 + x_2/k_2 + \dots x_n/k_n}$$

Donde :

- h_i = Coeficiente de película interior para "aire quieto"
- h_o = Coeficiente de película exterior para aire en movimiento 24 km / h (15 millas / h)
- x = Espesor del material que forma parte de la barrera
- k = Conductividad térmica del material de la barrera.

Los valores de "h_i" y "h_o" se consideran constantes dentro de cierto rango de rugosidad de la pared y velocidad del aire, y sus valores en sistema métrico son los siguientes :

- h_i = 8.03 Kcal / h °C m² ó 1.65 BTU / h °F ft²
- h_o = 29.3 Kcal / h °C m² ó 6.0 BTU / h °F ft²

La conductividad térmica "k" está definida en unidades de :

Kcal - m / h m² °C

Y la distancia o espesor "x" en metros.

COEFICIENTES DE CONVECCIÓN

f (Kcal / m² h °C)

SUPERFICIE AL AIRE EXTERIOR	
Velocidad del viento (3.33 m / seg, 12 km / h ó menos)	20
Velocidad del viento (5 m / seg, 18 Km / h ó menos)	25
Velocidad del viento 6.67 m / seg, 24 Km / h ó más)	30
SUPERFICIE VERTICAL INTERIOR	5
SUPERFICIE HORIZONTAL INTERIOR	
Flujo hacia abajo	6
SUPERFICIE HORIZONTAL INTERIOR	
Flujo hacia arriba	9

COEFICIENTES DE CONDUCTIVIDAD TERMICA DE DIVERSOS MATERIALES

<u>Materiales de construcción</u>	<u>Kg/m3</u>	<u>K</u>
Muro de ladrillo al exterior		0.75
Muro de ladrillo al exterior con recubrimiento impermeable por fuera		0.66
Muro de ladrillo interiores		0.60
Muro de ladrillo comprimido vidriado para acabada aparente, exterior		1.10
Muro de tabique ligero con recubrimiento impermeable por fuera	1,600	0.60
	1,400	0.50
	1,200	0.45
	1,500	0.35
Muro de tabique ligero al exterior	1,600	0.70
Placas de asbesto cemento	1,800	0.50
Siporex al exterior con recubrimiento impermeable por fuera	660	0.18
	510	0.14
	410	0.12
Siporex al interior en espacio seco	660	0.16
	510	0.13
	410	0.11
Concreto armado	2,300	1.50
Concreto pobre al exterior	2,200	1.10
Concreto ligero al exterior	1,250	0.60
Concreto ligero al interior	1,250	0.50
Concreto ligero al exterior	800	0.40
Concreto ligero al interior	800	0.30
Muro de tepetate o arenisca calcarea al exterior		0.90
Muro de tepetate o arenisca calcarea al interior		0.80
Muro de adobes al exterior		0.80
Muro de adobes al interior		0.50
Muro de embarro (con paja y carrizo)		0.40
Granito, basalto	2,700	3.00
Piedra de cal, marmol	2,600	2.10
Piedras porosas como arenisca y la caliza blanda o arenosa	2,400	2.00

<u>Rellenos y aislamientos</u>	Kg/m ³	Kcal/m, °C, hr
Tezontle como relleno o terrado seco		0.16
Relleno de tierra, arena o grava expuestos a la lluvia		2
Rellenos de terrado, secos, en azoteas		0.5
Arena, seca, limpia	1,700	0.35
Senica de carbón, seco	700	0.2
Siporex despedazado, seco	400	0.13
Escoria, seco	150	0.08
Aserín relleno suelto, seco	120	0.1
Aserín relleno empacado, seco	200	0.07
Bolas de plástico celular, empacada, seco	Oct-20	0.05
Virutas como relleno, seco		0.07
Masa de magnesita, seco	190	0.05
Fibra de vidrio diam. de la fibra 6 micras	15-100	0.04
Fibra de vidrio diam. de la fibra 20 micras	40-200	0.04
Lana de escoria	35-200	0.04
Lana mineral	35-200	0.04
Plástico celular de poliestireno	15-30	0.035
Cartón ruberoide con brea	1,200	0.2
Cartón ruberoide como aislamiento		0.14
Cartón corrugado, seco, poros horizontales	40	0.04
Piso de corcho comprimido	500	0.07
Placa de corcho expandido, seco	140	0.035
Placa de corcho expandido, seco	210	0.04
Placa de paja comprimido, seco	300	0.08
Ceiotex	350	0.07
Fibracel, duro, seco	350	0.07
Fibracel, medio duro, seco	1,000	0.11
Fibracel, poroso, seco	600	0.07
	300	0.045
<u>Varios materiales</u>		
Vidrio	2,600	0.7
Madera de encino, seco, 90° de la fibra	700	0.14
Madera de pino blanco, seco, 90° de la fibra	500	0.12
Madera de pino blanco, expuesto a la lluvia	2,100	0.18
Asfalto para fundir	1,050	0.7
Asfalto bituminoso		0.15
Linoleo, seco		0.16
Algodón, seco		0.04
Lana pura, seco		0.04

Cascara de semilla de algodón, suelta, seca		0.05
Aire	1.2	0.022
Agua	1,000	0.5
Acero y fierro	7,800	45
Cobre	8,900	320

Acabados

Azulejos y mosaicos		0.9
Aplanado con mortero de cal al exterior		0.75
Aplanado con mortero de cal al interior		0.6
Terrazos y pisos de mortero de cemento		1.5
Yeso		0.138

NOTA :

Los coeficientes de conductividad K están expresados en unidades del sistema métrico. Dividiéndolo entre 0.124 se obtienen BTUs por pie cuadrado, hora, grado Fahrenheit, para una pulgada de espesor.

Los coeficientes de transmisión "U" y los de convección "F" están dados en kilocalorías por metro cuadrado, hora y grado centígrado de diferencia de temperatura. Para convertirlos a BTUs por pie cuadrado, hora y grado Fahrenheit habrá que dividirlos entre 4.88.

3.6.2 Cargas Debido a las Personas

Las personas que ocupan un lugar acondicionado producen una gran cantidad de calor debido al metabolismo del cuerpo humano. Este metabolismo depende de la temperatura interior, del individuo y el grado de actividad que estén realizando, como pueden ser en teatros o salones de espectáculos la carga térmica producida por personas es la mayor carga a disipar en las instalaciones. Los seres vivos y algunas aplicaciones producen tanto calor sensible, como calor latente debido a la transpiración.

Este calor es disipado por :

- * Radiación de la superficie del cuerpo al aire circundante
- * Convección entre la superficie del cuerpo y el proceso de respiración, y el ambiente.
- * Evaporación de humedad de la superficie del cuerpo y del proceso de respiración.

La cantidad de calor disipado por radiación y convección es determinada por la diferencia de temperaturas entre la superficie del cuerpo y el medio circundante. La temperatura de la superficie del cuerpo es regulada por la cantidad de sangre bombeada sobre está. El calor disipado por evaporación es determinada por la diferencia de la presión del vapor entre el cuerpo y el aire.

La siguiente tabla da los valores que se emplean para el cálculo de la aportación térmica por personas :

Esta tabla esta basada para personas que realicen diferentes actividades y generalmente para ocupaciones mayores de 3 horas.

3.6.3 Cargas Debido a la Iluminación

La iluminación genera calor sensible por la conversión de la energía eléctrica en luz y calor. La iluminación que normalmente es eléctrica emplea una pequeña parte de la energía consumida en producir luz y la mayor parte se transforma en calor; en el caso de la

Calor producido por las personas

Grado de Actividad	Aplicación típica	Relación metabólica de un hombre adulto %	Grupo de personas de composición del grupo			Promedio de la relación metabólica Btu/h	Temperaturas del cuarto (°F, BS)																								
			Hombre	Mujer	Niño		82°F					80°F					78°F					75°F					70°F				
							Se		Lat		Se		Lat		Se		Lat		Se		Lat		Se		Lat		Se		Lat		
							Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h		
Sentado	Teatro	390	45	45	10	350	175	175	195	155	210	140	230	120	260	90															
Sentado; trabajo ligero	Escuela	450	50	50	0	400	180	220	195	205	215	185	240	160	275	125															
Trabajo de oficina moderada	Oficinas, hoteles departamentos	475	50	50	0	450	200	270	200	250	215	235	245	205	285	165															
Parados; caminando despacio	Tienda de ropa almacenes	550	10	70	20	450	200	270	200	250	215	280	245	205	285	165															
Caminando; sentado de pie;	Cafeterías	550	20	70	10	500	180	320	200	300	220	280	255	245	290	210															
Caminando despacio	Bancos	550	40	60	0	500	180	320	200	300	220	280	255	245	290	210															
Trabajo sedentario	Restaurantes	500	50	50	0	550	190	360	220	330	240	310	280	270	320	230															
Trabajo ligero	Fabrica, trabajo ligero	800	60	40	0	750	190	560	220	530	245	505	295	455	365	255															
Baile moderado	Salas de baile	900	50	50	0	850	220	630	245	605	275	575	325	325	400	450															
caminando 3mph	Fabricas, trabajo algo pesado	1,000	100	0	0	1,000	270	730	300	700	330	670	380	620	460	540															
jugando	Boliche	1,500	75	25	0	1,450	450	1,000	465	985	485	165	525	725	605	345															

iluminación incandescente este fenómeno resulta evidente por la alta temperatura que alcanza el foco al estar prendido, en el caso de la iluminación fluorescente, el tubo es frío pero la balastro que intensifica el potencial para permitir el efecto fluorescente disipa gran cantidad de calor al espacio acondicionado.

Las lámparas incandescente convierten aproximadamente 10 % de la energía en luz y el resto en calor. Alrededor del 80 % de la energía es disipada por radiación y sólo el 10 % por convección y conducción. Por otro lado las lámparas fluorescente convierten el 25 % de la energía en luz, el cual es disipado por radiación al medio. El otro 50 % es disipado por conducción y convección. Así mismo la balastro genera el otro 25 % más de calor.

El calor es disipado por radiación al medio circundante, por conducción a los materiales adyacentes y por convección al aire circundante.

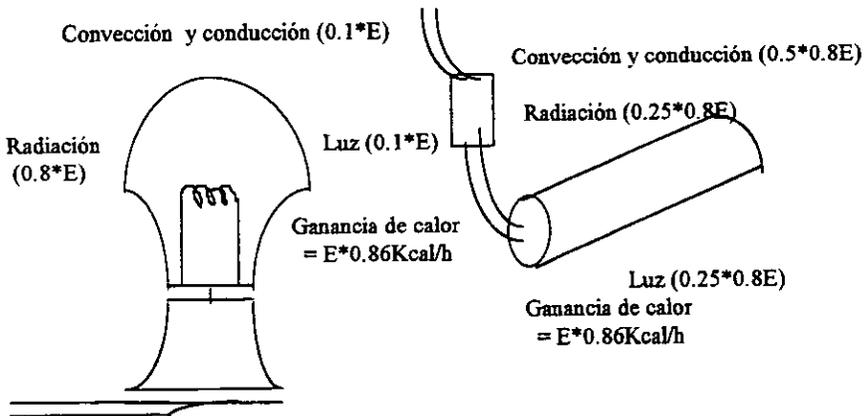


Fig. 3.6.3 : Conversión de la energía eléctrica en calor y luz en lámparas incandescentes y fluorescentes.

El calor producido por los diferentes tipos de iluminación será el siguiente :

Incandescente	$q = W \times 0.86$	Kcal / h
Fluorescente	$q = W \times 0.86 \times 1.25$	Kcal / h

El valor de corrección para la iluminación fluorescente se debe al factor de eficiencia del sistema.

3.6.4 Cargas Debido a Equipos y Misceláneas

En general cualquier instalación donde hay acondicionamiento ambiental posee algún tipo de equipo como pueden ser bombas, motores, equipo de oficina o equipos y accesorios más sofisticados como pueden ser equipos de computación o equipos de restaurante.

Para el caso específico de motores el calor disipado por HP ó KW nominal variará con el tamaño del motor ya que los motores grandes son sumamente eficientes en comparación con los pequeños; de la energía absorbida una parte se disipará como calor y la restante se transformará en trabajo, sin embargo al realizar trabajo en un lugar acondicionado toda la energía se transformará en calor. El caso típico es un ventilador, que al remover el aire únicamente lo calienta. Este trabajo incrementa la presión y velocidad del fluido así como su temperatura.

Existen otras cargas llamadas misceláneas que en ciertas ocasiones deben tomarse en cuenta, de las cuales se nombrarán las siguientes :

- 1) Si en una región existen cambios demasiados bruscos de temperatura o si el edificio se calienta intermitentemente, la carga de calor debe incrementarse.
- 2) Las chimeneas abiertas son difíciles de calcular; como costumbre arbitraria, la pérdida se evalúa en 630 Kcal / h ó 2500 BTU / h.
- 3) La humedad en ocasiones se toma en cuenta, sobre todo debido a la infiltración
- 4) En algunos edificios como escuelas, iglesias, etc., la absorción de calor del propio edificio, que es intermitente, es grande y la carga de calor debe ser a veces una vez y media o dos, la carga calculada.
- 5) Las personas producen calor, pero por lo general el edificio se debe calentar de antemano, por lo que no se toma en cuenta como ganancia. Lo mismo se dice de motores y alumbrado.

3.7 CÁLCULO DE CARGAS VARIABLES EN VERANO

En esta parte emplearemos el término "*Refrigeración*". Refrigeración es la rama de la ciencia que trata del proceso de reducir y mantener más baja que su alrededor, la temperatura de un espacio dado o un producto.

Ya que el calor absorbido se transfiere a otro cuerpo es evidente que el proceso de refrigeración es opuesto al de calefacción.

Carga de Calor es la cantidad de calor que debe retirarse del espacio por refrigerar. Esta es la sumatoria del calor que penetra al espacio a través de paredes, ranuras, etc., más el calor interno producido por equipos, alumbrado, personas, etc.

En cualquier proceso de refrigeración, el cuerpo empleado como absorbente de calor se llama *Agente de Refrigeración* o *Agente Refrigerante*.

En la época de verano, la carga térmica se debe fundamentalmente a la energía que entra del exterior del local, aunque también influye la energía generada dentro del local por personas, equipos, iluminación, etc.

Respecto a las cargas térmicas generadas en el interior, se calculan según se analizó anteriormente en la sección de cargas térmicas en invierno (personas, equipos, iluminación, etc.)

En tanto que las cargas térmicas generadas por las condiciones exteriores para el caso de verano, vale la pena hacer ciertas aclaraciones :

1. Ganancias de calor debido a la transmisión

Parte de la carga térmica exterior se da debido a la transmisión por muros, pisos, techos, ventanas, puertas, etc., y la cual es provocada por la diferencia de temperaturas entre el interior y exterior.

2. Ganancias de calor debido a la radiación

Otra parte de la carga térmica exterior se debe a la "Radiación Solar" que llega a los mismos elementos antes mencionados (muros, ventanas, etc.).

La cantidad de calor que llega a la superficie terrestre se reduce considerablemente por dispersión o reflexión al espacio y por absorción de la atmósfera.

El calor del sol que llega a la Tierra a través de la atmósfera se conoce como *radiación directa*, y el calor que se dispersa se llama radiación del espacio o difusa. Esta dispersión se debe a las partículas, vapor de agua y ozono existentes en la atmósfera.

A continuación se analiza la forma de calcular las cargas térmicas correspondientes a las diferentes barreras exteriores, para lo cual dividiremos el problema en dos secciones :

a) VENTANAS

b) MUROS Y TECHOS

3.7.1 Ganancia Solar a Través de Ventanas

La cantidad de energía que entra a un local por una ventana depende de varias variables :

- a) Latitud del lugar
- b) Orientación de los cristales
- c) Mes y hora de estudio
- d) Nubosidad del cielo
- 5) Tipo de cristal empleado
- 6) Elementos de sombra existentes
- 7) Diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior.

Los componentes de radiación directa actúan, cuando los rayos del sol dan directamente sobre los cristales, mientras que los componentes de radiación difusa actúan con la iluminación generada por los rayos solares. Se supone que la energía radiante transmitida por una ventana no afecta la diferencia de temperatura que hay a los lados de dicha ventana.

Un cristal ordinario absorbe alrededor del 6 % de la energía solar y refleja o transmite el resto. La relación de energía transmitida y reflejada depende del ángulo de incidencia.

Como se muestra en la figura 3.7.1 a medida de que el ángulo de incidencia aumenta, más calor es reflejado y menos es transmitido. El calor que absorbe el cristal es el 6 % del calor total incidente; de este calor absorbido por el cristal se transmite a su vez al espacio el 40 % más.

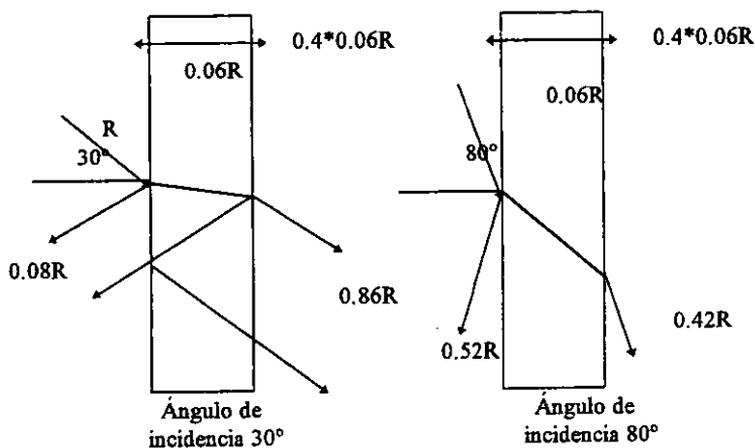


Fig. 3.7.1 : Comportamiento de los rayos solares al chocar con el cristal

Cuando el ángulo de incidencia es de 30° , el calor ganado en el espacio vale $0.4 \times 0.06R + 0.86R = 0.88R$ y cuando el ángulo de incidencia es de 80° , el calor ganado en el espacio vale $0.4 \times 0.06R + 0.42R = 0.44R$. Donde R es el calor recibido en el cristal.

Cuando los cristales no son ordinarios, éstos absorben más calor si son de mayor espesor y viceversa, aparte de que existen otros cristales tratados especialmente para absorber mayor cantidad de calor.

La distribución de calor en un cristal que absorbe 52 % se representa en la figura 3.7.2. Como puede observarse este cristal absorbe más calor y permite menos paso de calor que uno ordinario.

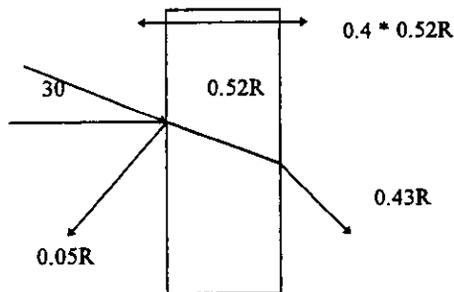


Fig. 3.7.2 : Distribución del calor recibido por un cristal

En las paginas siguientes se dan varios tipos de tablas que nos permitirán calcular numéricamente la cantidad de energía que por radiación entra a un local a través de sus ventanas.

Las primeras seis tablas sirven para calcular la cantidad de energía solar que puede entrar por una ventana, dependiendo de la Latitud del lugar, del mes, de la hora y de la orientación de la ventana.

El cálculo de esta ganancia de energía se logra mediante la aplicación de la siguiente fórmula :

$$Q = A \times (FGS) \times F$$

Donde :

- Q = Energía que entra al local
- A = Área de la ventana en estudio

APORTACIONES SOLARES A TRAVES DE VIDRIO SENCILLO (Cont.)
Kcal h x (m2 de abertura)

20°		HORA SOLAR															20°	
° LATITUD NORT																	° LATITUD SUR	
Epoca	Orientación	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Orientación	Epoca		
21 Jun.	N	76	111	90	68	51	46	40	46	51	67	90	111	75	S	22 Dic.		
	NE	219	417	390	330	225	103	40	38	38	38	32	24	8	SE			
	E	219	401	434	387	260	11	38	38	38	38	32	24	8	E			
	SE	75	168	198	179	119	57	38	38	38	38	32	24	8	NE			
	S	8	24	32	38	38	38	38	38	38	38	32	24	8	N			
	SO	8	24	32	38	38	38	38	57	119	179	198	168	75	NO			
O	8	24	32	38	38	38	38	111	260	387	434	401	220	O				
NO	8	24	32	38	38	38	40	103	225	330	390	417	220	SO				
HORIZ	30	162	328	477	585	629	678	629	585	477	328	162	30	HORIZ				
22 Jul. Y 21 May.	N	54	75	62	46	40	38	38	38	40	46	62	75	54	S	21 Ene. Y 21 Nov.		
	NE	192	358	374	301	198	84	38	38	38	35	32	21	8	SE			
	E	203	401	442	393	268	124	38	38	38	35	32	21	8	E			
	SE	84	189	230	214	154	78	38	38	38	35	32	21	8	NE			
	S	8	21	32	35	38	38	38	38	38	35	32	21	8	N			
	SO	8	21	32	35	38	38	38	78	154	214	230	189	84	NO			
O	8	21	32	35	38	38	38	124	268	393	442	401	203	O				
NO	8	21	32	35	38	38	38	84	198	301	374	358	192	SO				
HORIZ	8	149	320	474	585	650	680	650	585	474	320	149	8	HORIZ				
24 Agust. Y 20 Abril	N	16	27	29	35	38	38	38	38	38	35	29	27	16	S	20 Feb. Y 23 Oct.		
	NE	122	301	320	241	135	48	38	38	38	35	29	19	5	SE			
	E	143	385	447	404	287	138	38	38	38	35	29	19	5	E			
	SE	78	241	306	292	265	149	54	38	38	35	29	19	5	NE			
	S	5	19	29	38	54	65	70	65	54	38	29	19	5	N			
	SO	5	19	29	35	38	38	54	149	265	292	306	241	78	NO			
O	5	19	29	35	38	38	38	138	287	404	447	385	143	O				
NO	5	19	29	35	38	38	38	48	135	241	320	301	122	SO				
HORIZ	13	130	290	452	569	637	669	637	569	452	290	130	13	HORIZ				
22 Sep. Y 22 Marzo	N	0	16	29	35	38	38	38	38	38	35	29	16	0	S	22 Marz Y 22 Sep.		
	NE	0	225	235	160	59	38	38	38	38	35	29	16	0	SE			
	E	0	352	442	404	282	122	38	38	38	35	29	16	0	E			
	SE	0	268	368	379	325	227	111	40	38	35	29	16	0	NE			
	S	0	21	59	103	141	170	176	172	141	103	59	21	0	N			
	SO	0	16	29	35	38	40	111	227	325	379	368	268	0	NO			
O	0	16	29	35	38	38	38	122	282	404	442	352	0	O				
NO	0	16	29	35	38	38	38	38	59	160	235	225	0	SO				
HORIZ	0	81	252	414	537	610	631	610	537	414	252	81	0	HORIZ				
23 Oct. Y 20 Feb.	N	0	10	24	32	35	38	38	38	35	32	24	10	0	S	20 Abril Y 24 Agust.		
	NE	0	119	141	78	35	38	38	38	35	32	24	10	0	SE			
	E	0	168	398	382	271	132	38	38	35	32	24	10	0	E			
	SE	0	246	396	433	404	322	200	73	35	32	24	10	0	NE			
	S	0	57	135	206	252	287	301	287	252	206	135	57	0	N			
	SO	0	10	24	32	35	38	38	322	404	433	396	246	0	NO			
O	0	10	24	32	35	38	38	132	271	382	398	268	0	O				
NO	0	10	24	32	35	38	38	38	35	78	141	119	0	SO				
HORIZ	0	48	184	344	463	531	564	531	463	344	184	48	0	HORIZ				
20 Sep. Y 20 Abril	N	0	8	21	29	35	35	35	35	35	29	21	8	0	S			
	NE	0	65	70	38	35	35	35	35	35	29	21	8	0	SE			
	E	0	192	347	344	246	116	35	35	35	29	21	8	0	E			

21 Nov. Y 21 Ene.	SE	0	198	390	444	428	366	246	124	43	29	21	8	0	NE	21 Mayo Y 23 Jul.
	S	0	75	187	271	333	368	382	368	333	271	187	75	0	N	
	SO	0	8	21	29	43	124	246	366	428	444	390	198	0	NO	
22 Dic.	O	0	8	21	29	32	35	35	116	246	344	347	192	0	O	21 Junio
	NO	0	8	21	29	32	35	35	35	35	38	70	65	0	SO	
	HORIZ	0	13	130	273	396	466	488	466	396	273	130	13	0	HORIZ	
22 Dic.	N	0	5	19	29	32	35	35	35	32	29	19	5	0	S	21 Junio
	NE	0	38	48	32	32	35	35	35	32	29	19	5	0	SE	
	E	0	151	320	328	230	92	35	35	32	29	19	5	0	E	
22 Dic.	SE	0	160	377	452	431	363	263	162	54	29	19	5	0	NE	21 Junio
	S	0	67	200	301	358	396	404	396	358	301	200	67	0	N	
	SO	0	5	19	29	54	162	263	363	431	452	377	160	0	NO	
22 Dic.	O	0	5	19	29	32	35	35	92	230	328	320	151	0	O	21 Junio
	NO	0	5	19	29	32	35	35	35	32	32	48	38	0	SO	
	HORIZ	0	10	97	249	366	436	461	436	366	249	97	10	0	HORIZ	
correccion	Marco metálico o ningún marco x 1/0.85 ó 1.17		Defecto de limpieza 15 % máx.		Altitud +0.7 % por 300 m				Punto de rocío superior a 19.5 °		Punto de rocío superior a 19.5 °		Latitud s Dic. o en + 7 %			
									- 14 % por 10 °C		+14 % por 10 °					

FGS = Factor de Ganancia Solar (Kcal / h m², de tablas)

F = Factor de Forma (tablas)

Las dos últimas tablas en listan varios factores de corrección que modifican la ganancia solar dependiendo del tipo de vidrio que se emplee y de los dispositivos de sombra instalados, como cortinas o persianas.

Además de emplear las tablas anteriores para el cálculo de la energía que entra a un local por radiación a través de sus ventanas, debemos recordar que por el hecho de existir una temperatura mayor en el exterior, existirá una cantidad de energía que entrará por transmisión a través de las ventanas. Es decir en los cristales se transmiten dos tipos de calor los cuales deben sumarse para dar el total.

Esta cantidad de energía generada por transmisión, se calcula en forma idéntica a la estudiada en el capítulo anterior de cargas térmicas en invierno; es decir mediante la aplicación de la siguiente fórmula :

$$Q = U \times A \times DT$$

Haciendo uso de todo lo anterior se habrán calculado todas las ganancias de energía que recibe un local a través de sus ventanas. Resulta conveniente aclarar que cuando en un local existen varias ventanas y/o muros al exterior, con diversas orientaciones, es necesario hacer un análisis detallado para encontrar el mes y la hora críticos, es decir la fecha en que se tendrá la máxima o mínima carga térmica, y con ello poder seleccionar el equipo adecuado que cubra las necesidades del local en cualquier época del año.

(Ver tablas anexadas)

3.7.2 Ganancias de Calor a Través de Muros y Azoteas

Como ya se menciono anteriormente, la ganancia de calor que entra a un local por sus muros y azoteas se presenta en forma similar a como sucede en los cristales; es decir se debe tanto a la transmisión, como a la radiación.

Calcular el calor a través de muros y azoteas es más complejo, ya que cuando el sol calienta la superficie se inicia un flujo de calor hacia el interior del espacio, hasta llegar a un máximo; después el flujo disminuye poco a poco durante la noche y vuelve a aumentar cuando el sol calienta nuevamente la pared.

Este cálculo se simplifica usando el concepto de "temperatura aire-sol" desarrollado por "Mackey y Wrigth". La temperatura aire-sol es una temperatura del aire tal, que en ausencia de efectos de radiación da al espacio interior la misma cantidad de calor que generaría la combinación de radiación directa, difusa y convección del aire exterior.

Es así que fue diseñado el método de "Diferencia de Temperatura Equivalente" para hacer sencilla la solución de este problema; este método consiste en el cálculo experimental de la diferencia de temperaturas que deberá producirse entre el exterior y el interior de una barrera para que por "pura transmisión", se obtenga la ganancia solar que generaría la radiación directa, difusa y la convección del aire.

A continuación anexamos tablas que dan los resultados experimentales obtenidos y que dependen de :

- * Orientación del muro,
- * densidad del muro y hora del día.
- * y para azoteas depende de si esta sombreada o rociada por agua.

Para el cálculo de la energía que se gana en un local a través de sus muros y azoteas, se requiere de la aplicación de la siguiente fórmula :

$$Q = U \times A \times DTe$$

Donde :

Q = Energía recibida dentro del local

U = Coeficiente de transmisión total del muro o techo (Kcal / h m² °C)

A = Área del muro o techo

Dte = Diferencia de temperaturas equivalentes entre el interior y el exterior. (ver tablas).

Las tablas están basadas en 8.3 °C de diferencial de temperatura de diseño; en caso de que la diferencia sea otra de 8.3 °C, debe corregirse agregando o disminuyendo a la temperatura equivalente, la diferencia entre 8.3 °C y la diferencial del lugar.

Asimismo, si la diferencia de temperatura exterior durante el día es distinta de 11 °C, debe añadirse 1.8 °C a la temperatura equivalente por cada 3.6 °C abajo de 11 °C y disminuirse 1.8 °C por cada 3.6 °C arriba de 11 °C.

3.8 MEMORIA DE CÁLCULO

Para poder hacer un análisis sobre un determinado proyecto, se debe contar previamente a el con las informaciones siguientes :

- 1.- Planos del local; plantas y cortes, si es posible fachadas.
- 2.- Materiales de construcción de los muros, techos, ventanas, etc..

TABLA DE TEMPERATURA EQUIVALENTE PARA MUROS EN G. CENTIGRADOS

Lat. Norte	TIEMPO SOLAR														Lat Sur				
	A.M.							P.M.											
	8	10	12	2	4	6	8	10	12	8	10	12	2	4		6	8		
Pared hacia el:	COLOR EXTERIOR DE LA PARED (O = OSCURA, C = CLARA)														Pared hacia el:				
	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	

Partición

NE	12	6	13	7	8	6	7	6	8	8	8	8	6	6	3	2	1	1	SE
E	17	8	20	10	18	9	7	7	8	8	8	8	6	6	3	3	1	1	E
SE	7	3	14	9	16	10	13	9	9	8	8	8	6	6	3	2	1	1	NE
S	-2	-2	2	0	12	7	17	11	14	11	9	8	6	6	3	3	1	1	N
SO	-2	-2	0	-1	3	2	14	12	22	16	23	16	13	11	3	2	1	1	NO
O	-2	-2	0	0	3	3	11	7	22	16	27	19	12	12	4	4	1	1	O
NO	-2	-2	0	-1	3	2	7	6	13	11	22	14	19	13	3	2	1	1	SO
N	-2	-2	-1	-1	2	2	6	6	8	8	7	7	4	4	2	2	0	0	S

Tabique de 4 plg. o piedra.

NE	-1	-2	13	7	11	6	6	3	7	6	8	8	7	7	6	6	3	2	SE
E	1	0	17	8	17	9	8	8	7	7	8	8	7	7	6	4	3	3	E
SE	1	-1	11	6	16	9	14	9	10	8	8	8	7	7	6	4	3	3	NE
S	-2	-2	-1	-1	7	3	13	9	14	10	11	9	7	7	4	4	2	2	N
SO	0	-1	0	-1	1	1	7	4	18	12	20	14	19	13	6	4	3	3	NO
O	0	-1	0	0	2	1	6	4	14	10	22	16	23	16	9	8	3	3	O
NO	-2	-2	-1	-1	1	1	4	3	7	7	17	12	19	13	7	6	3	3	SO
N	-2	-2	-1	-1	0	0	3	3	6	6	7	7	7	7	4	4	2	2	S

Ladrillo hueco de 8 plg.

NE	0	0	0	0	11	6	9	6	6	3	7	6	8	7	7	6	4	4	SE
E	2	1	7	2	13	7	14	8	11	7	7	6	8	7	8	6	6	4	E
SE	1	0	1	0	9	4	11	7	11	8	8	7	8	7	7	6	4	3	NE
S	0	0	0	0	1	0	7	3	13	8	14	9	11	8	7	6	4	3	N
SO	1	0	1	0	1	0	3	2	7	6	14	10	17	11	14	10	4	3	NO
O	2	1	2	1	2	1	3	2	6	4	10	8	17	12	18	12	10	8	O
NO	0	0	0	0	1	0	2	1	4	3	7	6	12	10	17	12	6	4	SO
N	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	3	3	6	6	6	6	6	6	3	3	S

Tabique de 8 plg. - Ladrillo hueco de 12 plg.

NE	1	1	1	1	6	1	9	4	8	4	6	3	6	4	6	6	6	4	SE
E	4	3	4	3	8	4	10	6	10	6	8	4	8	6	8	6	7	6	E
SE	4	2	3	2	3	2	8	6	10	7	9	7	7	6	7	6	7	6	NE
S	2	1	2	1	2	1	2	1	6	3	9	8	9	7	7	6	6	4	N
SO	4	2	3	2	3	2	4	2	6	3	7	4	11	7	13	9	11	8	NO
O	4	2	3	2	3	3	4	3	6	3	8	4	11	6	13	9	13	9	O
NO	1	1	1	1	1	1	2	1	3	2	4	3	6	4	9	8	10	8	SO
N	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	4	4	4	4	3	3	S

TABLA DE TEMPERATURA EQUIVALENTE PARA TECHOS

DESCRIPCION DE LOS MATERIALES DEL TECHO	Tiempo solar											
	A.M.						P.M.					
	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6

Techos expuestos al sol. Construcción ligera.

Madera de 1 plg.	7	21	30	34	28	14	6	2	0
Madera de 1 plg. y aislante									

Techos expuestos al sol. Construcción media

Concreto de 2 plg.	3	17	27	32	28	18	8	3	1
Concreto de 2 plg. y aislante									
Madera de 2 plg.									

Concreto de 4 plg.	0	11	21	28	29	22	12	7	3
Concreto de 4 plg. y aislante									

Techos expuestos al sol. Construcción pesada.

Concreto de 6 plg.	2	3	13	21	26	24	18	10	7
Concreto de 6 plg. y aislante	3	3	11	19	23	24	19	11	8

Techos en la sombra

Construcción ligera	-2	0	3	7	8	7	4	1	0
Construcción media	-2	-1	1	4	7	7	6	3	1
Construcción pesada	-1	-1	0	2	4	6	6	4	2

NOTAS: 1 TECHO CLARO = TECHO A LA SOMBRA + 55% DE LA DIFERENCIA DE TECHO A LA SOMBRA Y TECHO AL SOL
 2 COLOR MEDIO = TECHO A LA SOMBRA + 80% DE LA DIFERENCIA DE TECHO A LA SOMBRA Y TECHO AL SOL

3.- Datos climatológicos del lugar; altura sobre el nivel del mar, temperaturas máximas y mínimas, temperatura de diseño.

4.- Condiciones de operación del lugar :

- * USO; oficina, hospital, casa hotel, etc..
- * Cantidad de personas probables en el local.
- * Equipos dentro del local.
- * Iluminación, cantidad y tipo.
- * Miscelaneos.

5.- Recursos energéticos :

- * Electricidad; voltaje, fases, ciclos; capacidad.
- * Gas; natural o LP.
- * Vapor.

Una vez que se tiene la información necesaria para el desarrollo del proyecto, es conveniente realizar un pequeño anteproyecto, que permita hacer un análisis completo del problema. Aquí se analizarán los siguientes puntos :

1.- ¿ Que tipo de barreras térmicas se tienen ?

- * Muros al exterior (U1)
- * Muros en partición (U2)
- * Techos (U3)
- * Vidrios (U4)
- * Pisos o áreas no acondicionadas (U5)

2.- ¿ Hay materiales especiales ?

- * Piedras del lugar para fachadas.
- * Ventanas dobles para evitar congelación.
- * Superficies exteriores homogéneas, que requieren análisis especial de "h" (Edificios cubiertos de vidrio, concreto martelinado, etc.).

3.- Tipo de sistema a proponer :

- * Manejadoras; proponer trayectoria de ductos y ubicación de manejadoras.
- * Fan & Coil; proponer ubicación del equipo y trayectoria de tuberías.
- * Convección natural; ubicación y trayectoria de tuberías.
- * Ubicación de casa de máquinas y áreas disponibles.

Este análisis permitirá que se aclaren algunas dudas y este pequeño anteproyecto, que representa poco tiempo y esfuerzo, permitirá la realización de una memoria de cálculo ordenada y lo más lógica posible de acuerdo a la necesidad del problema.

Para realizar la memoria de cálculo que debe respaldar cualquier proyecto se deben seguir los siguientes pasos generales :

1.- Condiciones del proyecto.

- * Nombre de la obra
- * Ubicación geográfica; lugar, altura snm.
- * Condiciones de diseño : Interior y exterior (Tbs, Tbh, 0).

2.- Cálculo de los coeficientes totales de transmisión de calor "U"

3.- Cálculo de las áreas de transmisión de calor; exteriores, colindancias, particiones, vidrios, techos, etc..

4.- Cálculo de pérdidas de calor por transmisión

$$q = UADT$$

Y suma de todas las pérdidas de calor por diferentes zonas.

5.- Cálculo de ganancias interiores :

- Iluminación
- Personal
- Equipo
- Miscelaneos

6.- Carga térmica neta del sistema :

Calefacción; (4) - (5)
Refrigeración; (4) + (5)

7.- Cálculo del aire necesario :

$$q = m (h_{iny} - h_{int})$$

8.- Cálculo de la capacidad del equipo :

$$q_e = m (h_{mez} - h_{int})$$

9.- Selección del equipo. Con la información obtenida ya se puede seleccionar el equipo de aire acondicionado.

10.- Cálculo de redes de ductos y tuberías.

De esta manera se ha logrado resolver el problema y se tiene la información necesaria para la elaboración de planos, especificaciones y lista de materiales (cuantificación).

3.9 EQUIPO TERMINAL

Se da el nombre de equipo terminal, a aquel que "produce" el aire que se va a emplear para el acondicionamiento de un local. Los equipos más comunes son los siguientes :

- a) Unidad paquete
- b) Manejadora de aire
- c) Fan & coil

Existen además otros equipos como son los equipos de inducción y otros que por no ser muy comunes en nuestro medio no son muy importantes.

A continuación definiremos cada uno de ellos :

a) Unidad Paquete

Es un sistema de refrigeración completo que está integrado en una sola unidad; esta unidad contiene condensador, compresor, sistemas de control, una cámara que contiene un serpentín evaporador y ventiladores centrífugos para el manejo del aire.

Esta unidad es ideal para instalaciones pequeñas, ya que requiere una inversión moderada y su costo de instalación es relativamente bajo.

Dentro de este grupo tenemos a los equipos de ventana y actualmente se utilizan los sistemas split, los cuales son unidades que cuentan con todos los componentes a excepción del condensador que generalmente va fuera del espacio acondicionado y son de expansión directa.

b) Manejadora de Aire

Es un equipo constituido por uno o más ventiladores centrífugos, serpentines que operan con agua helada, caliente o sistemas de expansión directa, caja de filtros y compuertas para regulación de aire.

Se emplea para el acondicionamiento de zonas relativamente extensa y puede ser para el abastecimiento de una "zona" que deberá tener una temperatura homogénea o varias zonas (multizona) en cuyo caso se regulará la temperatura que será enviada a las diversas zonas del local por medio de compuertas de regulación que permitirán que el aire enviado sea más frío o más caliente; esta regulación se realiza a través de sistemas de control de temperatura.

c) Fan & coil

El Fan & coil es en si una pequeña manejadora de aire cuya capacidad es inferior a las 3 TR (toneladas de refrigeración). Este equipo opera normalmente por medio de la circulación de agua helada, aunque existen los que operan a través de expansión directa. Su aplicación se limita a locales pequeños, tales como cuartos de hotel, oficinas, casa habitación, etc.; sin embargo agrupándolos pueden cubrir áreas importantes. Se instalan generalmente en el claro, entre el plafond de un local y el techo; el aire acondicionado producido se introduce al local a través de un ducto y un difusor, el retorno se hace normalmente colocando una rejilla de retorno bajo el equipo. La ventaja que se logra es la gran versatilidad que se logra en el control de la temperatura, ya que se puede controlar al gusto del usuario, además cuenta con un motor de tres velocidades que permite el flujo de aire al gusto del que lo va a operar.

Como regla general, siempre que esto sea posible, será más cómodo y barato enviar, por medio de tuberías, agua helada a través de las instalaciones de un edificio que ductos de aire acondicionado. Esto se debe principalmente a los elevados costos de los materiales hoy en día así como por las pérdidas térmicas que se producen.

Otros equipos que tienen mucha aplicación, sobre todo en proyectos grandes, son los enfriadores. Dichos enfriadores pueden ser refrigerados por agua o por aire y reciben un cierto nombre de acuerdo al tipo de compresor con que cuentan. A continuación describimos cada uno de ellos :

* Reciprocantes. Los cuales trabajan con compresores de desplazamiento positivo y aquí tenemos los siguientes :

- Abiertos; son los más conocidos y se reconocen por traer el motor fuera del compresor. La ventaja con que tienen es que al descomponerse el motor no afecta el ciclo. La desventaja que presentan es que tienen demasiadas piezas tales como cigüeñal, bielas, válvulas, etc..
- Herméticos; El motor se encuentra dentro del bote del compresor. Anteriormente se usaba en los refrigeradores. La ventaja que tienen es que son compactos y el paso del refrigerante permite enfriar el motor del compresor. La desventaja que presenta es que al fallar por lo general ya no tiene reparación.
- Semiherméticos; El motor es enfriado por el refrigerante, si no se subenfria pierde eficiencia. Cuentan con bomba de aceite reversible. Cuando se quema el motor se afecta el sistema de refrigeración teniendo que lavar todo el sistema.

* Centrifugo. El control de la capacidad es lineal desde 100 % al 30 %. El arranque se produce con todas las compuertas cerradas para que la demanda del gasto no sea muy alta.

* Rotatorios. Son del tipo de compresor cuyo alabe gira en forma circular para producir el efecto de compresión. Aquí tenemos así mismo los siguientes tipos :

- Scroll; El que se caracteriza principalmente por poder trabajar con cierta cantidad de refrigerante líquido sin ningún problema, lo que no se logra con los reciprocantes, en los que se pueden volar válvulas o forzar el cigueñal.

- Tornillo; Actualmente junto al Scroll son los más utilizados. Los tornillos giran en forma espiral en una separación de 3 a 4 mm, sin llegar nunca a juntarse. Este tipo de enfriadores dan altos volúmenes, por ejemplo uno que proporcione 250 TR (toneladas de refrigeración) tiene un compresor de 50x30x20 cm de tamaño. Trabajan generalmente con freon 12.

* Absorción; Utilizan como refrigerante el agua. Este tipo de enfriadores se aplican en lugares donde existen vapor de baja presión, combustoleo o gas natural. Es seguro, no hace demasiado ruido, puede incluso colocarse debajo de las escaleras. Cuentan con seguros de protección, si se pasa la concentración del LIBr se cristaliza y se debe cortar. Se controla midiendo la cantidad de vapor que va desde el 10% al 100 %.

Enfriadores, sprays y deshumidificadores sorbentes son los tres tipos básicos de equipos de transferencia de calor requeridos para aplicaciones de aire acondicionado. Estos componentes pueden ser usados solos o en combinación para controlar las propiedades psicométricas del aire.

La selección de estos equipos es normalmente determinada por los requerimientos de la aplicación específica. Los componentes pueden ser seleccionados e integrados para proporcionar un sistema práctico; esto es, tener los menores costos de inversión y operación.

Un sistema económico requiere la óptima combinación de los componentes de aire acondicionado. Así mismo se necesita un sistema de distribución que proporcione una buena distribución de aire hacia el espacio acondicionado, usando una práctica aumento de temperatura entre el aire de suministro y el aire del local.

La selección de los componentes de aire acondicionado depende de la carga térmica interior y las condiciones que se deben mantener en el mismo. Normalmente, los requerimientos de funcionamiento son establecidos y los equipos se seleccionan de acuerdo a estos requerimientos.

4. DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

De acuerdo a los módulos analizados durante el capítulo, "Proceso de desarrollo de sistemas expertos", a continuación dividiremos el desarrollo del SESEAA en las siguientes etapas :

ETAPA 1 : Análisis del problema

4.1 ANÁLISIS DE NECESIDADES

El área de diseño para instalaciones de equipos de aire acondicionado, es bastante amplio y a la vez requiere de un análisis largo, reiterativo y de mucha concentración.

Generalmente en el diseño de instalaciones para equipos de aire acondicionado, se suele cometer muchas omisiones, debido entre otros factores a :

- * La falta de tiempo, que en ocasiones provoca que se realice un análisis sencillo y poco certero para las necesidades reales del problema.
- * La carga excesiva de trabajo, que va desplazando y retarda la solución del problema.
- * La similitud entre un proyecto y otro, que provoca que se tome como solución, una que aparentemente es igual, sin embargo no se pueden tener dos problemas iguales ya que siempre existirán algunas características propias del problema; como pueden ser orientaciones, ubicación geográfica, tipo de aplicación, etc..
- * La falta de conocimientos del tema, que en muchas ocasiones hace que personas que no se encuentran capacitadas sobre el área, realicen cálculos y diseños que distan mucho de la realidad.
- * La carencia de equipos adecuados, algo que no generalmente se presenta. sin embargo no esta de más mencionar, esto se refiere a que al no contar con el equipo requerido se suele recomendar uno que se aproxime a las necesidades.
- * La idea errónea de la facilidad para diseñar e instalar aire acondicionado en un local, lo que provoca un mal funcionamiento y eficiencia del sistema.

¿ Cual es el problema específico ?

La parte más laboriosa y extensa del diseño de sistemas de aire acondicionado radica en el *cálculo de la carga térmica, capacidad del equipo y selección del más apropiado*, que es la parte medular y una de las más importantes en el diseño, de la cual depende el buen funcionamiento y eficiencia de los sistemas.

En este punto se deben tomar en cuenta muchos aspectos básicos tales como la ubicación geográfica del proyecto, características climáticas, altura sobre el nivel del mar, características psicométricas, que son importantes para llegar al desarrollo óptimo.

Siguiendo la secuencia correcta del cálculo de la carga térmica se puede realizar una selección del equipo más apropiado a las necesidades. Contar con un sistema de aire acondicionado eficiente es recomendable tanto en las aplicaciones de confort (aumenta la productividad de los trabajadores) como en las aplicaciones industriales (importante en muchos procesos alimenticios o farmacéuticos).

ETAPA 2 : Análisis y diseño del sistema

4.2 OBJETIVO Y CONCEPTUALIZACIÓN DEL SESEAA

Ante esta situación, se decidió por el desarrollo un sistema experto que nos permitiera resolver esta problemática; en forma práctica, sencilla y confiable. Es así que aparece el Sistema Experto para la Selección de Equipos de Aire Acondicionado (SESEAA), el cual busca facilitar y hacer más confiable el proceso de diseño, partiendo desde información específica del proyecto, hasta llegar a la toma de decisión para recomendar el equipo más apropiado a los requerimientos.

El SESEAA es un programa de computadora que realiza el proceso de diseño en forma similar a como lo haría un experto, ya que dicho sistema está basado en la experiencia técnica y científica tanto de los especialistas como de información documentada.

De esta manera se logro desarrollar el SESEAA, el cual esta conformado de la siguiente manera :

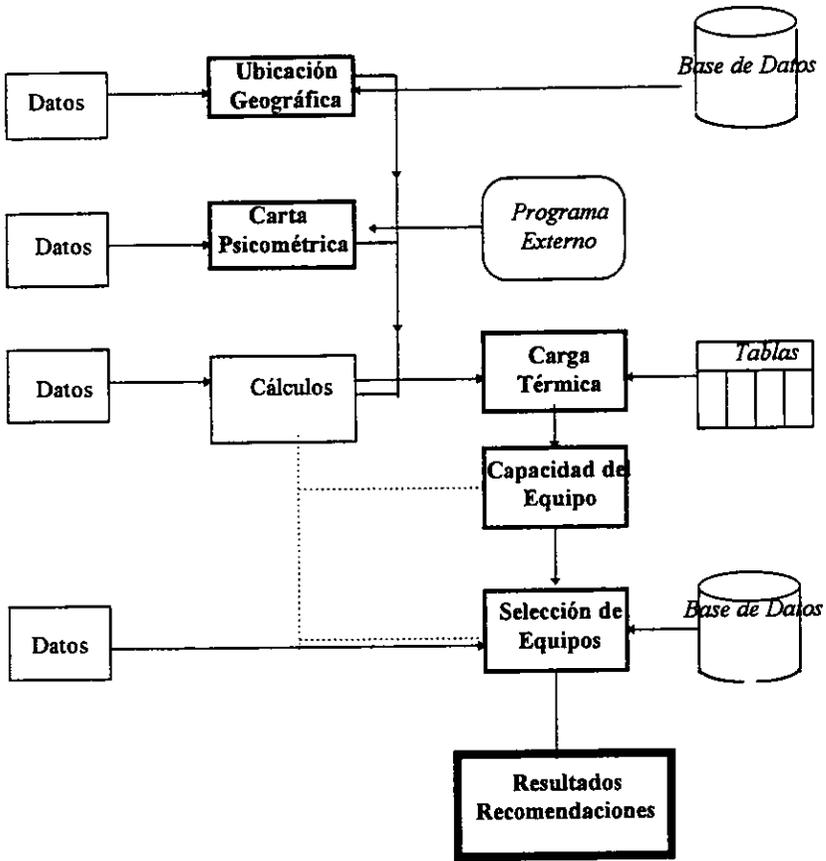


Fig. 4.2.1 : Conceptualización del SESEAA

ETAPA 3 : Desarrollo del prototipo

4.3 SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

Las posibilidades que existen al elegir una herramienta para desarrollar un sistema experto son múltiples, dejando que la elección este determinada fundamentalmente por las características del problema. Sin embargo para facilitar esta tarea, podemos reunir tales alternativas en tres grupos :

- lenguajes de programación
- shells basados en reglas
- shells híbridos, basados en reglas y objetos.

4.3.1 Lenguajes de Programación

Numerosos lenguajes de programación están orientados hacia la Inteligencia Artificial. Versiones comerciales de estos lenguajes y sus variantes están disponibles para todo tipo de computadoras. Los lenguajes de programación pueden ser clasificados dentro de cinco categorías :

Lenguajes de programación procedural

algunos shells para sistemas expertos están escritos en lenguajes tradicionales como turbopascal (Level 5), o C (Exsys). Algunos sistemas expertos específicos también han sido programados completamente en tales lenguajes. La razón para ello es que los lenguajes para IA requieren más memoria y son demasiado restrictivos. Otra razón importante es el hecho de que los lenguajes procedurales corren mucho más rápido en microcomputadoras. Por ello muchos programadores diseñan primero su SE con lenguajes para IA tales como PROLOG o LISP y una vez que ellos están satisfechos, lo trasladan a Pascal, Fortran o C, para lo cual existen traducciones automáticas disponibles para muchos códigos.

Lenguajes de programación ajenos a la IA

Utilizados ya que los lenguajes para IA requieren más memoria y son demasiado restrictivos. Además por que corren más rápido en microcomputadoras. Otra razón por la cual se usan estos lenguajes es que la interfaces de un SE con una base de datos puede ser mucho más fácil si el SE está escrito en un lenguaje convencional.

Para evitar los problemas mencionados anteriormente, muchos programadores diseñan primero su SE con lenguajes para IA tales como PROLOG o LISP y una vez que cubren las expectativas los trasladan a PASCAL, FORTRAN o C.

Lenguajes para IA

Los lenguajes de manipulación simbólica o para IA proporcionan una manera efectiva para representar objetos. Los dos lenguajes principales son LISP y PROLOG. Con estos lenguajes, los procedimientos de programación y depuración pueden ser frecuentemente hechos más rápido.

LISP, las aplicaciones de LISP incluyen SE, procesamiento de lenguaje natural, robótica y programaciones educacionales y psicológicas. Específicamente LISP está orientado hacia el cálculo simbólico, aunque los valores no tienen significado directo en LISP. Los programas en LISP tienen también la capacidad de modificarse a si mismo, esto significa que una computadora puede ser programada para "aprender" de sus propias experiencias. LISP permite a los programadores representar objetos, tales como reglas o redes, en forma de listas secuenciales, cadenas de caracteres, secuencias de números, etc.

PROLOG, Su idea es expresar sentencias lógicas en sentencias de lenguaje de programación. Tiene la ventaja de tener un poderoso motor de inferencia. Por lo tanto, el algoritmo usado en PROLOG es una serie de sentencias lógicas que pueden ser entendidas declarativamente; esto significa que puede ser entendido casi separadamente de las consideraciones de como será ejecutado. Lenguajes tradicionales pueden ser entendidos únicamente proceduralmente, es decir, considerando que pasa cuando el programa es ejecutado por la computadora.

Lenguajes orientados a objetos

Lenguajes orientados a objetos tales como C++ y SMALLTALK-80 están popularizandose en IA. Usualmente son usados con otro lenguaje de programación.

Lenguajes para IA de alto nivel

Las facilidades para crear nuevas funciones en LISP es muy importante para el diseño de SE. Esto hace a LISP una excelente base para los lenguajes de alto nivel que se dirigen a problemas específicos del dominio que está siendo modelado. Un ejemplo de este lenguaje es XLMS construido como una extensión de LISP.

Lenguajes de Ingeniería del conocimiento de propósito general

Muchos lenguajes de propósito general han sido desarrollados específicamente para la ingeniería del conocimiento. Generalmente, son más flexibles y menos restringidos que los Shells. Por el contrario carecen de facilidades sofisticadas para los procesos de entrada

salida en la construcción de la base de conocimientos y para la explicación. Por lo tanto, su ambiente de programación no es tan comprensible como aquellos usados en los Shells. A diferencia de los Shells que están restringidos a aplicaciones genéricas (ejemplo diagnosis) estos programas son irrestringidos.

4.3.2 Shell

Inicialmente se propuso que de un sistema experto ya construido y bien probado recoger el mayor número de elementos compatibles con otros sistemas expertos para formar de esta manera un shell (sistema esqueleto o caparazón). Actualmente se ha generalizado esta estrategia para crear shells comerciales programados en lenguajes convencionales, lográndose incorporar muchas facilidades sobre inferencia, control, interfaces front-end e integración, lo cual agiliza enormemente el desarrollo del sistema.

Por lo tanto, un shell para SE es una estructura de diálogo (interfaz de usuario), de representación de conocimiento, de control de reglas, de inferencia, etc., con una base de datos vacía (sin conocimiento experto). Utilizar un shell permite al ingeniero de conocimiento concentrarse en el desarrollo de la base de conocimientos, ya que los demás elementos vienen programados dentro del shell.

Existen diversidad de shells comerciales que van desde los basados en reglas, hasta los shells híbridos, con diferentes capacidades para generar interfaces gráficas de usuario (GUIS), para conectarse a diversos manejadores de bases de datos y hojas de cálculo, correr programas hechos en diversos lenguajes de programación convencional, etc.

Shells híbridos

Llamados también ambientes de desarrollo (Development Environments). Son shells o sistemas de desarrollo que soportan diferentes formas de representación del conocimiento y manejo de la inferencia. Ellos usan frames, redes semánticas, objetos, reglas, metareglas, diferentes tipos de inferencia, razonamiento no-monotónico, gráficas dinámicas interactivas, menús de iconos, personalización de corridas, interfaces con diversos manejadores de bases de datos, capacidades para desarrollos en tiempo real, etc. Estas herramientas permiten construir complejos sistemas expertos y de gran tamaño.

Limitaciones de un shell

Las herramientas actuales tienen limitaciones muy importantes como: no son buenas para adquirir conocimiento directamente del experto en forma automática, no permite corregir y refinar las bases de conocimiento en forma automática, no manejan esquemas, y no permiten adquirir información sensorial, principalmente.

4.3.3 Selección del Software para el Sistema Experto

Los objetivos básicos de un Shell para SE son :

- * Permitir un rápido y fácil desarrollo de una amplia variedad de SE específicos.
- * Facilitar el proceso de desarrollo iterativo por el cual un SE específico puede responder rápidamente a cambios. De una manera amplia y para satisfacer todos sus objetivos, un shell para sistemas expertos debe satisfacer un número de criterios generales. Estos criterios pueden ser categorizados de acuerdo a los componentes de un SE, tales como interfaz con el usuario, motor de inferencia y base de conocimientos.

Existen tres etapas en la evaluación de la metodología de selección propuesta :

1. Escrutinio de los candidatos y desarrollo de una lista corta de paquetes de software para SE. Durante esta parte hay que considerar tres asuntos claves :

¿ Existe un Shell para SE que pueda ser usado o debería desarrollarse un SE específico a partir de una herramienta para SE ?

¿ Que Shells para SE están disponibles ?

¿ Que paquetes de software para SE debería ser seriamente considerados y evaluados en detalle ?

2. Identificar candidatos de software para SE. El equipo de proyecto debe primero identificar los Shells para SE que opera en la plataforma de hardware de la empresa y que sea compatible con un sistema operativo.

Para identificar inicialmente los Shells para SE para una aplicación en particular, existen muchos publicistas que proporcionan perfiles de software para SE.

3. Criterios de escrutinio. La lista de criterio de escrutinio contendrá pocos renglones y deberá concentrarse en las necesidades funcionales que no son comúnmente proporcionadas por los Shells. Los paquetes de software con mayores capacidades deberán ser retenidas para etapas posteriores.

El criterio de escrutinio puede ser categorizado dentro de cuatro tipos principales :

* **Requerimientos técnicos.** Se refiere a una evaluación de la plataforma de hardware en donde el Shell será implantado y ver que sean compatibles.

* **Requerimientos funcionales.** Los requerimientos funcionales de un Shell para SE puede ser clasificado de acuerdo a los siguientes componentes :

- Interfaz de usuario.

- Motor de inferencia.
- Base de conocimientos.

* **Documentación y entrenamiento.** Los paquetes de software para SE normalmente incluyen la documentación requerida para instalar y operar el Shell para SE. Deberá ser detallado, completo y fácil de entender. La capacidad del vendedor a dar capacitación sobre el software es muy importante.

* **Información del vendedor.** La capacidad del vendedor para dar soporte a su software a través de entrenamiento, consulta, instalación y asistencia de mantenimiento es también una importante consideración.

La comparación del criterio de escrutinio contra la lista del software para SE y sus capacidades podría causar la eliminación de muchos Shells. Aquí el equipo de proyecto decide si usar un Shell o el SE específico debe ser construido a partir de herramientas para SE.

En base a la información analizada en estos puntos se procedió a la selección del lenguaje y las herramientas de programación, siendo la elegida LEVEL 5 OBJECT R.3.5.

4.3.4 ¿ Qué es LEVEL 5 OBJECT R 3.6 ?

Es un ambiente. Ya que contiene todas las herramientas necesarias para resolver una amplia variedad de problemas. Es una herramienta de desarrollo y un vehículo de entrega, una vez que una aplicación ha sido creada esta puede ser entregada a los usuarios finales con el sistema *Run-Only*.

LEVEL 5 OBJECT R3.5 usa un lenguaje de alto nivel llamado PRL (Production Rule Language). El prl está diseñado para ser simple de aprender y leer, y tiene una sintaxis muy parecida a la utilizada por el idioma inglés natural.

LEVEL 5 OBJECT R3.5 está bien conectado. Contiene acceso ya-construido (built-in) para más de 60 bases de datos y servidores locales y remotos, acceso a la base de datos locales más comunes y SQL (Structured Query Language), interfaces a programas externos, paradigmas de comunicación, archivos de texto, contadores de tiempo y opciones de interfaz personalizada.

LEVEL 5 OBJECT R3.5 es un sistema experto. Se puede usar para crear aplicaciones "inteligentes". Puede resolver problemas de la vida real que no sea factible por otro medio. Usando reglas simples que pueden razonar o reconocer patrones, y que puedan reaccionar a situaciones dadas, LEVEL 5 OBJECT R3.5 puede proporcionar respuestas educadas y consistentes a gente que las necesite.

LEVEL 5 OBJECT R3.5 contiene las siguientes herramientas, razón principal para ser tomada en cuenta como herramienta de programación :

- * Objetos verdaderos que proporcionan la eficiencia de la Programación Orientada a Objetos
- * Interfaz gráfica de usuario en los editores de desarrollo, ventanas y constructores de desplegados, además de un control general de los aspectos de interfaz de usuario.
- * Capacidades de lógica compleja, reglas, lanzadores (triggers), agendas y módulos procedurales y no procedurales.
- * Acceso robusto y fácil a base de datos, SQL, base de datos orientada a objetos y arquitectura de cliente-servidor.
- * Un conjunto completo integrado de herramientas de depuración, incluyendo ejecuciones por paso, puntos de interrupción y rastreo del razonamiento empleado.
- * Completamente portable a otras plataformas de hardware y sistema operativo.
- * Ejecución compilada para generar aplicaciones eficientes en cuanto a velocidad y tamaño.

ETAPA 4 : Desarrollo del sistema

4.4 ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO

La adquisición del conocimiento es el proceso de extracción o captura, selección, estructuración, organización y validación del conocimiento a partir de una o más fuentes.

A este proceso se le considera el cuello de botella en el desarrollo de un sistema inteligente ya que por lo general involucra al 60-70 % del tiempo total del desarrollo.

La adquisición del conocimiento es el arte de la inteligencia artificial, ya que involucra innumerables factores humanos. Se debe contar con un experto voluntarioso y un experimentado ingeniero del conocimiento.

Características que debe tener el experto

- Tiempo y esfuerzo considerables es necesario para la elección del experto.
- Elegir un experto que haya realizado actividades propias al dominio del SE por un periodo de tiempo considerable. El experto debe ser capaz de establecer un dominio del problema y establecer reglas heurísticas que son la meta del proceso de adquisición del conocimiento.
- Seleccionar un experto que sea capaz de "comunicar" se conocimiento, juicio y experiencia personal y los métodos usados en la solución de un problema particular.
- El experto debe ser cooperativo con el equipo de proyecto o en el peor de los casos no crear antagonismos dentro del mismo. Es tarea difícil, sobre todo en el desarrollo de SE

grandes, tener que examinar en detalle la manera en la cual un experto toma decisiones. Por tal motivo si el experto no se encuentra interesados en participar en el proyecto, será mejor no tomarlo en cuenta.

El trabajo con el experto es intensivo y analítico y requiere de habilidades en las relaciones interpersonales, así como una buena capacidad analítica. Se debe preparar al experto para que conozca que se está haciendo con la información que se adquiere y sobre los aspectos fundamentales de sistemas inteligentes. En la figura 4.4.1 se muestra la interacción entre el ingeniero del conocimiento y el experto durante el proceso de adquisición del conocimiento :

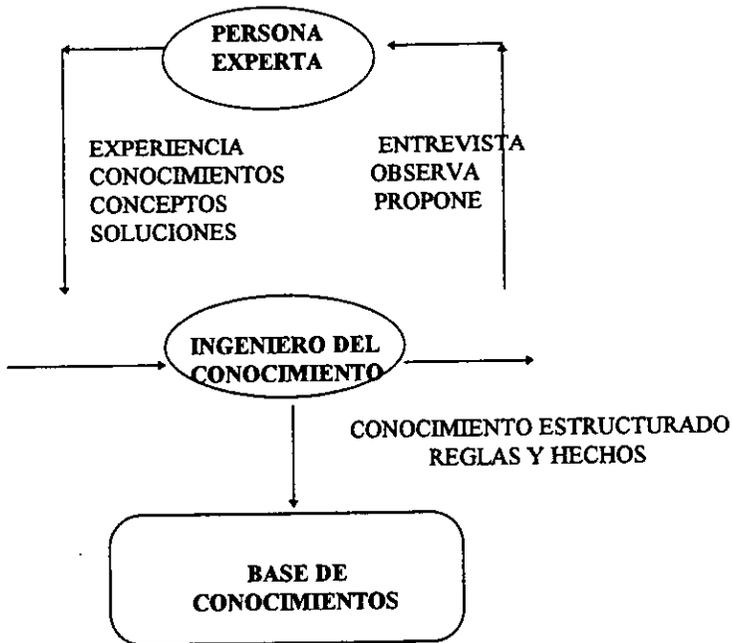


Fig. 4.4.1 : Adquisición del conocimiento

Métodos manuales

La figura 4.4.2 nos muestra la relación directa entre el ingeniero del conocimiento, con el experto y demás fuentes de donde se extrae el conocimiento necesario para desarrollar un sistema inteligente.

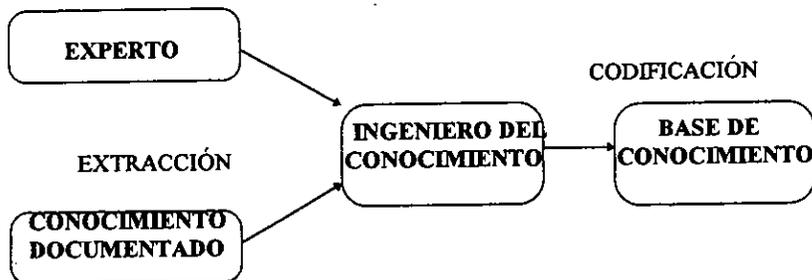


Fig. 4.4.2 : Características de un método para la adquisición del conocimiento

Los métodos manuales pueden ser : la observación, entrevista, protocolo de análisis, examen y los informes.

La observación

En esta parte se observa la forma de “trabajar” del experto y se anotan todos los detalles del proceso seguido. Este documento puede ser la base del protocolo de análisis.

La observación es adecuada para familiarizarse con el programa, cuando el experto no es capaz de explicar el proceso que sigue, o cuando no está disponible el experto.

La entrevista

En la que se obtiene el conocimiento mediante el planteamiento de preguntas y problemas. Aquí consultamos con el experto para obtener toda la información posible, esta parte fue la que se dedico más tiempo, ya que se visito al experto hasta en dos o tres veces por semana.

Es adecuada en los primeros pasos de la obtención del conocimiento, cuando el ingeniero del conocimiento desconoce completamente el problema o cuando el problema es sencillo.

El protocolo de análisis

Es una entrevista estructurada. El control de este método lo tiene el ingeniero del conocimiento quien sabe de antemano que conocimientos necesita y de que forma. En este punto se va consultando sobre las dudas que van apareciendo durante el desarrollo del sistema.

Este método es adecuado para los últimos pasos de la obtención del conocimiento o cuando el ingeniero conoce el problema, y permite una presentación del conocimiento uniforme.

El examen

En esta parte se preparó una serie de pruebas y problemas para que el experto los resuelva y explique como lo ha hecho y con ello obtener los conocimientos necesarios. Es un método adecuado para completar la base de conocimientos.

Los informes

El experto explica los distintos tipos de problemas y como los resuelve. Es un método adecuado para los primeros pasos del desarrollo de la base de conocimientos. El inconveniente es el esfuerzo y dedicación que debe realizar el experto.

Por otra parte se acudió a pedir información documentada, referente a especificaciones y características técnicas y de funcionamiento, de equipos para aire acondicionado (manuales, tablas, CD) a las oficinas de las empresas CARRIER, TRANE y YORK (principales empresas del ramo).

Así mismo se consultaron libros, revistas folletos y tablas de especificaciones, tanto en la Biblioteca Central como la de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México; así mismo se visitó la biblioteca de la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción.

Las tablas de especificaciones consultadas están normadas por el IMSS y AMERIC (filial de ASHRAE en México).

Documentación del conocimiento

El principal trabajo en el proceso de adquirir conocimiento es la cantidad de tiempo ocupado en obtener, modificar y almacenar el dominio del conocimiento. Es por esta razón que se siguieron las recomendaciones básicas para adquirir conocimiento :

- Extraer conocimiento del experto.
- Documentar y si es posible implementar el conocimiento .
- Probar el conocimiento, comparando el análisis del experto contra simulaciones o contra la implementación.
- Usar casos estudiados para conocer nuevas técnicas expertas. De esta manera se puede expandir y modificar el conocimiento inicial. Siempre se debe emplear reglas para cada caso publicado, y ver su comportamiento. Es recomendable que el experto se encuentre presente para examinar el razonamiento del sistema paso a paso y ver todos los puntos discordantes hasta que dichas reglas estén acordes con la opinión del experto.

4.5 REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

Lo que proporciona a los sistemas inteligentes una alta capacidad y elevada ejecución en la solución de problemas del mundo real es la cantidad y calidad del conocimiento contenido en sus bases de conocimiento, más que los métodos de razonamiento que utilizan para llevar a cabo los procesos de inferencia.

A pesar que no existe una definición única del conocimiento universal, en términos generales podríamos decir que este consiste en hechos, conceptos, procedimientos, ideas abstracciones, reglas y asociaciones que, unidos a una gran habilidad, permiten utilizar estas nociones en la modelación de diferentes aspectos del mundo real. El conocimiento puede expresarse mediante escenas o imágenes mentales, palabras escritas en algún lenguaje, imágenes gráficas o pictóricas y otras formas encontradas por el hombre.

Desde el punto de vista de la IA, podemos interpretar el conocimiento como una combinación de esquemas o estructura de datos y procedimientos interpretativos, los cuales al ser usados correctamente por un programa, le brinda a éste un comportamiento inteligente, su representación es una de las investigaciones prioritarias dentro de la IA. Esta representación propone diferentes tipos de esquemas y estructuras para la organización y almacenamiento del conocimiento en un sistema inteligente artificial. La elección del esquema particular dependerá del tipo de problema a ser resuelto y de los métodos de inferencia a utilizar.

Los principales esquemas de representación del conocimiento incluyen principalmente : reglas de producción, marcos (frames), guiones (scripts), redes asociativas (también conocidas como redes semánticas), lógica de predicados, objetos y procedimientos.

De todos estos esquemas, las reglas de producción han sido las más comúnmente utilizadas por muchos sistemas expertos y por otros sistemas basados en conocimiento. Los que utilizan este esquema para representar su conocimiento son conocidos como sistemas basados en reglas.

De acuerdo al tipo de problema con el que contamos (cálculos y selección) y basados en el método de razonamiento que se acopla mejor a nuestras necesidades, elegimos para la representación de nuestro sistema el esquema de las reglas de producción, es decir la forma de representar el conocimiento será mediante dichas reglas. Para comprender un poco más este punto definiremos las reglas de producción.

4.5.1 Reglas de Producción

Las reglas de producción pueden ser consideradas como un conjunto de cláusulas de la lógica de predicados. Esta es probablemente la forma más popular de representación del conocimiento utilizada en los Sistemas Expertos. Esto se debe a la cómoda estructura que las mismas poseen y a la forma tan natural en que pueden ser expresados los conocimientos.

Una regla de producción tiene la siguiente estructura :

SI : antecedente
ENTONCES : consecuente

donde la parte izquierda es conocida como antecedente y se refiere a las condiciones o premisas correspondiente a una situación dada, mientras que la parte derecha, conocida como consecuente, contiene la conclusión, acción o consecuencia a realizar dado el caso de que las premisas o condiciones hayan sido satisfechas.

a) El antecedente

En una regla de producción el antecedente está compuesto por una o varias proposiciones, las cuales se combinan por medio de conectores para formar una condición o premisa más compleja. Los conectores lógicos utilizados son los clásicos de la lógica del cálculo proposicional :

- * Conjunción (AND)
- * Disyunción inclusiva (OR)
- * Negación (NOT)

La conjunción (AND) representa la condición del cumplimiento conjunto de dos proposiciones. Es decir una conjunción se cumple sólo cuando las dos proposiciones componentes son verdaderas.

La disyunción inclusiva (OR) representa el caso de una alternativa entre dos proposiciones. Para que una disyunción inclusiva se cumpla basta que al menos una de las dos proposiciones componentes sea verdadera.

La negación (NOT) significa la satisfacción o el cumplimiento de lo contrario que ha sido expresado en la proposición primaria. Esto es, si está es verdadera, la negación es falsa, y viceversa. La negación puede ser aplicada tanto a las proposiciones simples como a las compuestas.

b) El consecuente

De forma general, el consecuente en una regla de producción está compuesto por una proposición simple. Si se quiere representar la incertidumbre en la regla de inferencia, a la

proposición conclusión se le puede asociar un factor, el cual, expresa una medida de la confianza o seguridad del Sistema Experto acerca de la conclusión alcanzada cuando el antecedente ha sido satisfecho.

Se empleo este método por que tiene la estructura de causa y efecto (IF-THEN) y nuestro problema se basa en lo mismo. Para ejemplificar este análisis a continuación desglosamos algunas de las reglas que se emplearán para representar el conocimiento :

RULE 02: De 1 a 3 Ton Split o Ventana Residencial
IF Existe OF GARANTÍA Y MANTENIMIENTO
AND Tipo de Proceso OF EQUIPO IS Aire Acondicionado
AND Q OF CAPACIDAD EQUIPO >= 1
AND Q OF CAPACIDAD EQUIPO <= 3
AND Ubicación OF LOCALIZACIÓN EQUIPO IS Superior
OR Ubicación OF LOCALIZACIÓN EQUIPO IS Inferior
OR Ubicación OF LOCALIZACIÓN EQUIPO IS Intermedio
AND Energéticos OF ENERGÍA CONSUMIDA IS Eléctrico
AND Aplicación OF TIPO DE OBRA IS Casa Habitación
AND Tipo de Clima OF CLIMA IS Seco
OR Tipo de Clima OF CLIMA IS Medio
OR Tipo de Clima OF CLIMA IS Tropical
THEN Split o Ventana OF EQUIPO SELECCIONADO
ELSE NOT Split o Ventana OF EQUIPO SELECCIONADO
AND ASK message SE

RULE 04: De 4 a 15 Ton Paquete Condominio
IF Existe OF GARANTIA Y MANTENIMIENTO
AND Tipo de Proceso OF EQUIPO IS Aire Acondicionado
AND Q OF CAPACIDAD EQUIPO >= 4
AND Q OF CAPACIDAD EQUIPO <= 15
AND Ubicación OF LOCALIZACIÓN EQUIPO IS Superior
OR Ubicación OF LOCALIZACIÓN EQUIPO IS Intermedio
OR Ubicación OF LOCALIZACIÓN EQUIPO IS Inferior
AND Energéticos OF ENERGÍA CONSUMIDA IS Eléctrico
AND Aplicación OF TIPO DE OBRA IS Condominio
AND Tipo de Clima OF CLIMA IS Seco
OR Tipo de Clima OF CLIMA IS Medio
OR Tipo de Clima OF CLIMA IS Tropical
THEN Paquete 1 OF EQUIPO SELECCIONADO
ELSE NOT Paquete 1 OF EQUIPO SELECCIONADO

En estas reglas, el antecedente esta formado por todas las condiciones que se deben cumplir para que se pueda hacer la selección correcta del equipo que se necesita. Cuando esto se cumpla la regla se funda y deriva en su conclusión ó consecuente. De otra forma si no se cumplieran todas las condiciones, entonces se dispara la conclusión alterna ELSE.

Por otra parte esta forma causal de representar el conocimiento es fácil de implementar en un programa de computadora (desde el inicio o conforme se vaya trabajando durante el proceso de desarrollo del sistema). Así mismo es muy práctica y sencilla de entender tanto para el ingeniero del conocimiento como para el experto humano, en este caso el especialista en el diseño del aire acondicionado, facilitando de esta manera el proceso del desarrollo del sistema experto.

4.6 ESTRATEGIAS DE INFERENCIA

Como ya es conocido, toda aplicación en IA requiere de conocimientos y métodos de inferencia para manipular dicho conocimiento en la solución de problemas del dominio. Los esquemas de representación del conocimiento permiten dotar a los sistemas expertos de conocimientos, mientras los métodos de inferencia permiten manipular en forma apropiada y eficiente dicho conocimiento para alcanzar las metas propuestas.

En los sistemas expertos asentados en reglas resulta muy común el uso de métodos o paradigmas de inferencia basados en el encadenamiento de reglas. Entre estos métodos, han resultado ser los más usados el razonamiento por encadenamiento hacia adelante (*forward chaining*), el encadenamiento hacia atrás (*backward chaining*) y el razonamiento oportunístico o combinado.

4.6.1 Razonamiento Hacia Adelante

El razonamiento hacia adelante es un proceso de búsqueda orientado por los datos de entrada y requiere que todos los datos relevantes estén disponibles en el momento de iniciar las inferencias. En este tipo de razonamiento se parte de las evidencias primarias y posteriormente se usa el conocimiento contenido en las reglas para conocer hacia que conclusión de forma más plausible dichas evidencias.

Un sistema con encadenamiento hacia adelante trabaja de la siguiente forma : partiendo de un conjunto inicial de hechos (datos de entrada), el sistema intenta hallar todas las reglas cuyos antecedentes aparezcan con configuraciones formadas a partir de estos hechos; las conclusiones de estas reglas apareadas son utilizadas para generar nuevos hechos en la colección. Para esta nueva colección el proceso se repite : se halla todas las reglas cuyas condiciones aparezcan con configuraciones de hechos formados y se utilizan sus conclusiones para generar nuevos hechos.

El proceso continua hasta que una primera meta plausible es alcanzada o hasta que ya no se puedan generar nuevas metas. La figura 4.6.1 representa este procedimiento.

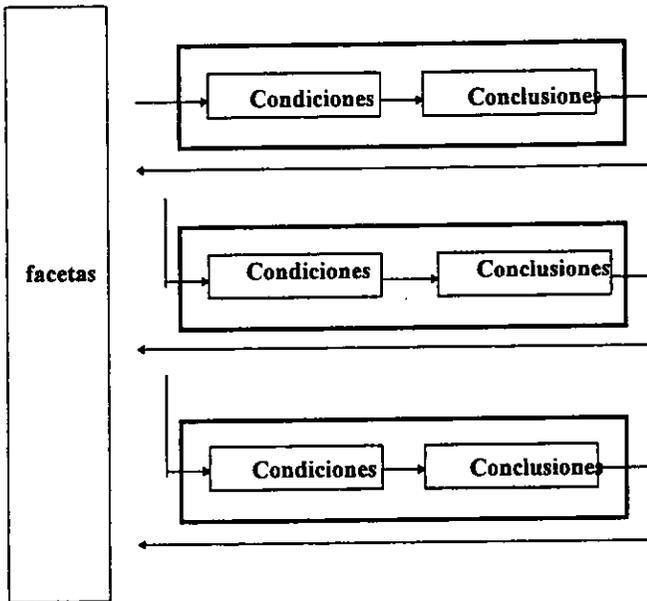


Fig. 4.6.1 : Razonamiento con encadenamiento hacia adelante

4.6.2 Razonamiento Hacia Atrás

El razonamiento hacia atrás es un proceso orientado por las metas y no requiere que toda la información relevante esté disponible en el momento de iniciar las inferencias, ya que los datos que no hayan sido introducidos inicialmente (o inferidos por el sistema experto) serán preguntados al usuario en el momento que estos resulten necesarios.

En este tipo de razonamiento son las metas o hipótesis las que dirigen el proceso de razonamiento. Una vez que se fijan las metas, es el conocimiento que contienen las reglas el que indica qué hechos o evidencias deben buscarse. La búsqueda no cesa hasta que se haya investigado completamente la meta de la cual se partió.

Un sistema con encadenamiento hacia atrás trabaja de la siguiente forma: partiendo de la meta que se desea alcanzar, el sistema intenta hallar todas las reglas cuyas conclusiones aparezcan con esta meta. Algunos de los hechos que forman los antecedentes de las reglas apareadas pudieran ser conocidos debido a que fueron introducidos como datos iniciales, mientras que otros hechos pudieran ser conocidos una vez que sean preguntados al usuario.

Sin embargo algunos hechos pudieran no ser estados iniciales y aparear con la conclusión de alguna otra regla, constituyendo una nueva submeta y, por lo tanto, obligando que continúe el proceso de encadenamiento hacia atrás. El proceso termina cuando una primera meta es alcanzada como verdadera o después de que todas las metas relevantes han sido exploradas. La figura 4.6.2 muestra este tipo de razonamiento :

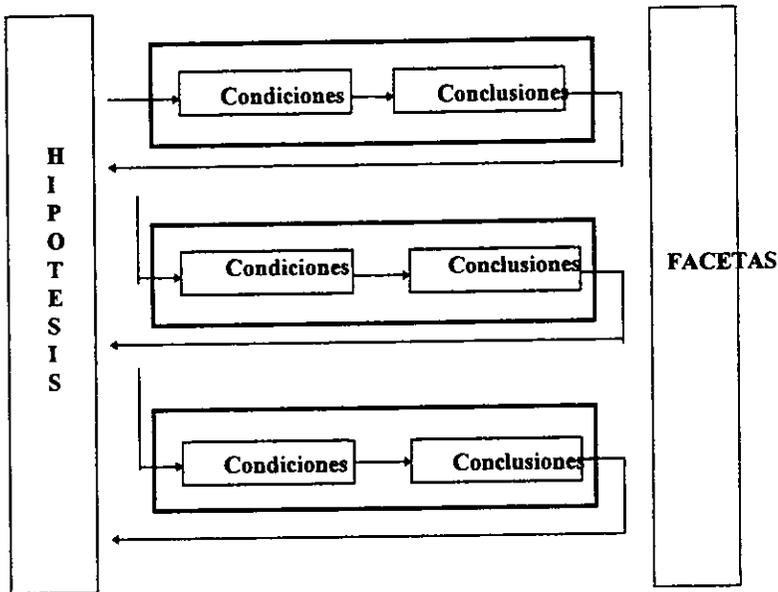


Fig. 4.6.2 : Razonamiento con encadenamiento hacia atrás

4.6.3 Razonamiento Oportunístico

Ciertos aspectos de un problema tienen una mejor solución por vía de un encadenamiento hacia atrás. Cuando este es el caso, el razonamiento oportunístico resulta muy útil.

El razonamiento oportunístico es una combinación del razonamiento hacia adelante (orientado por los objetos) y el razonamiento hacia atrás (orientado por las metas). Su procesamiento general es hacia atrás, pero una vez obtenidas las evidencias, éstas son utilizadas en un procesamiento hacia adelante. Esta combinación permite unir las ventajas de ambos tipos de razonamiento.

Un tipo de razonamiento oportunístico resulta muy beneficioso cuando son muchas las inferencias posibles que el sistema puede realizar y cuando es muy probable que pueda establecerse más de una vía de razonamiento. Éste habilita al sistema para realizar nuevas

inferencias cuando se han proporcionado nuevos datos de entrada y para que plantee preguntas acerca de datos relevantes cuando nuevas metas han sido "direccionadas".

En el caso particular de nuestro sistema recurrimos a este último tipo de razonamiento, debido principalmente al tipo de problema que se tiene. Es decir el SESEAA emplea los dos tipos de razonamiento en el desarrollo de su método de inferencia

El SESEAA es un sistema experto en el que en primera instancia se realizan cálculos y con la información obtenida y otra información proporcionada por el usuario finalmente se lleva a cabo la selección del equipo más recomendado (diagnosis). Para poder realizar este razonamiento se emplea un encadenamiento hacia adelante, el cual se representa mediante el uso de reglas procedurales y métodos WHEN NEEDED.

Por otra parte para poder navegar en el sistema, interactuar entre interfaces y poder llamar bases de datos, se emplea un encadenamiento hacia adelante, el cual se representa mediante la utilización de DEMONS y métodos WHEN CHANGED.

Así mismo el SESEAA es muy versátil ya que, durante el proceso de inferencia, las conclusiones de algunas reglas, disparan o ejecutan determinados demons los cuales a su vez generan que se activen métodos WHEN CHANGED.

Este tipo de razonamiento aplicado en el desarrollo del sistema nos permitió tener un proceso de desarrollo más práctico y a la vez de mayor potencial y mejor presentación, ya que todo o casi todo el sistema esta desarrollado en el ambiente de LEVEL 5 OBJECT, sin necesidad de tener que recurrir a otro paquete o shell, como generalmente realizan muchos ingenieros del conocimiento.

4.7 DISEÑO DE MENUS DEL SISTEMA EXPERTO

Una de las características importantes de todo sistema experto es la presentación y la forma en la que esta se pueda comunicar e interactuar con el usuario. Este punto es importante para determinar que tan práctico y útil puede resultar ser el sistema desarrollado.

Para lograr una buena comunicación con el usuario y a la vez poder navegar correctamente a fin de llegar a una conclusión correcta, se necesitaron realizar los siguientes tipos de interfaces:

- a) Menu principal
- b) Interfaz para solicitar información
- c) Interfaz para mostrar información
- d) Interfaz de ayuda

4.7.1 Menú Principal

El menú principal, como su mismo nombre lo indica, es la pantalla que aparece al iniciar el sistema la que se diseñó para permitir la navegación correcta dentro del sistema. Como se puede ver en la figura 4.7.1, el menú principal está formado por cinco partes representadas por sus iconos con sus respectivas leyendas, las cuales permiten ingresar a cada una de las secciones en las que se desee trabajar. Cada una de ellas es independiente, ya que igual se puede avanzar en el orden en el que se presentan o pueden seleccionarse en forma alterna. De igual forma puede existir los casos en los que solamente se necesitan alguna de estas secciones por lo que se dejara a criterio del usuario, dependiendo específicamente de la necesidad que se tiene.

Sin embargo se recomienda seguir la siguiente secuencia :

- Ubicación Geográfica
- Carta Psicométrica
- Carga Térmica
- Capacidad del Equipo
- Selección del Equipo

El display está formado por los siguientes artículos :

- Botones
- Cuadros de Texto
- Cuadro de Figuras

En la siguiente pantalla mostramos este tipo de display.

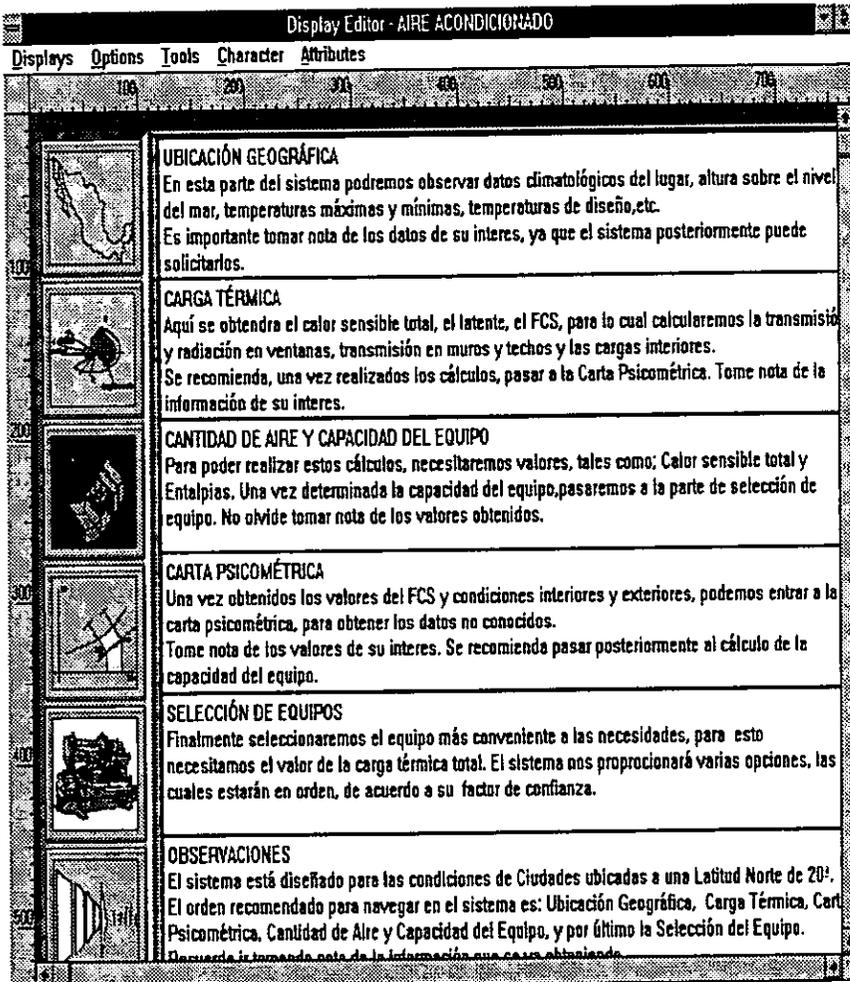


Fig. 4.7.1 : Menú Principal

4.7.2 Interfaz para Solicitar Información

Como se vio anteriormente, en el encadenamiento hacia adelante, durante el proceso de inferencia existirán cierta información o datos que el sistema solicitará al usuario para que dicho sistema pueda conducirse hacia la meta correcta. Ante esta situación desarrollamos interfaces para solicitar datos, los cuales están compuestos de ciertos artículos (llamados herramientas) entre los que destacan principalmente :

- * El cuadro de consulta (*Promptbox*), en el cual escribiremos la información, que puede ser del tipo numérico, simbólico, string, de referencia, etc., necesaria para activar el proceso de razonamiento. Para saber el tipo de información que aceptará nuestro cuadro de valor, es necesario ligar dicho cuadro con el atributo correspondiente; es decir el tipo de atributo seleccionado determinará la clase de información que aceptará el cuadro de valores.
- * Botones para ejecutar acciones. Estas acciones pueden ser continuar, regresar, llamar ayuda, ir al inicio, etc., las cuales nos permiten una navegación cómoda y práctica.
- * Cuadro de texto (*Textbox*), que nos permite informar, explicar, avisar o indicar, acerca de los datos solicitados.
- * Cuadro de opciones para valores únicos (*Radiobutton group*) y/o para varias opciones (*Checkbox group*), los cuales deben estar ligados a sus respectivos atributos.
- * Cuadro de figuras (*Picturebox*) las cuales están en formato de bmp's y que son llamadas desde el disco duro o desde algún disco flexible.
- * Tablas (*Table*), las cuales pueden ser llamadas desde LEVEL 5 OBJECT, por medio de instancias o desde un programa externo a través de bases de datos.
- * Hiperregiones (*hyperregion*), empleados para llamar a un determinado display, para lograr esto se debe ligar primero dicho artículo con el display deseado, de tal manera que al seleccionar dicho artículo nos presente el display deseado.
- * Otra herramientas que también se puede necesitar es el cuadro de verdadero/falso (*True false box*), el cual debe estar ligado previamente a un atributo simple.

En la figura 4.7.1 se muestra un display de este tipo, en el que se solicita información numérica necesaria para continuar la sesión. Como se puede ver este display cuenta con cuadro de consulta, botones y cuadro de textos.

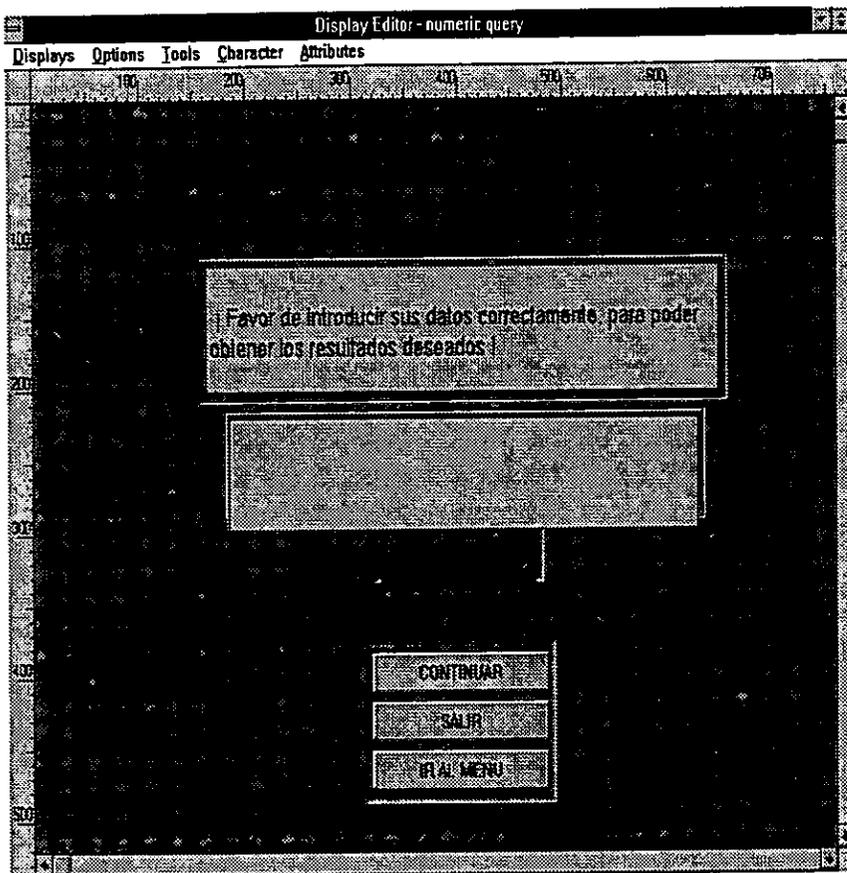


Fig. 4.7.1 : Interfaz de consulta "query numeric"

4.7.3 Interfaz Para Mostrar Información

Este tipo de display es utilizado a menudo durante la sesión de trabajo del SESEAA, esto se debe a que constantemente el sistema va mostrando la información que se obtiene, la que permite al usuario ver como se desarrolla el proceso de inferencia, si éste es correcto, así como facilita observar información que se requiera en un determinado momento.

En estos displays, además de contar con las herramientas empleadas en el caso anterior, se cuentan con cuadros de valores (*Valuebox*). Los cuadros de valores nos permiten mostrar la información que se obtiene, la cual puede ser tipo numérico o string, dependiendo del tipo de atributo al que esté ligado.

En la figura 4.7.2 se muestra un display de este tipo. Como se puede observar, dicho display está formado por cuadro de valores (*Valuebox*), botones (*pushbutton*), cuadro de texto (*textbox*), hiperregiones (*hyperregion*).

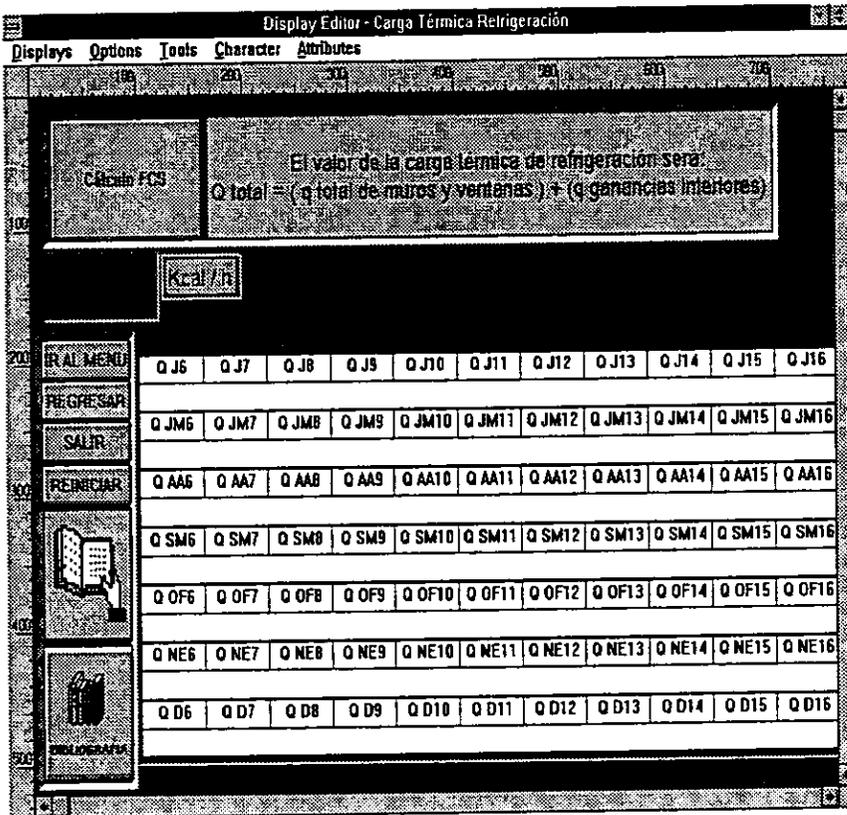


Fig. 4.7.2 : Display para mostrar información; “Carga térmica refrigeración”

En la figura 4.7.3 se muestra otro display del tipo de interfaz de consulta, el cual cuenta con una tabla para mostrar información textual, la que se llama desde una base de conocimientos.

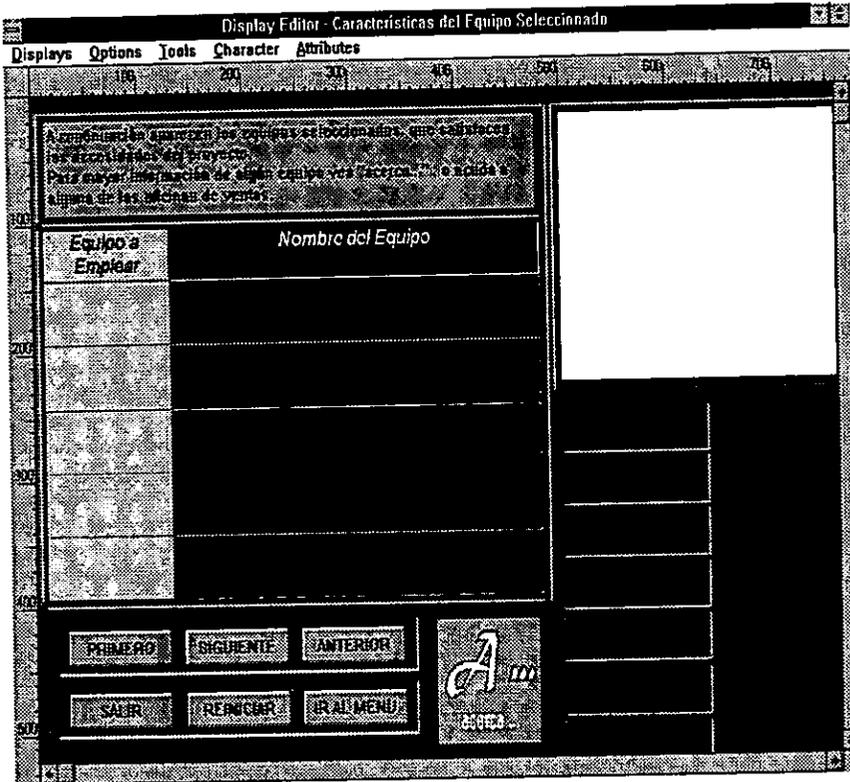


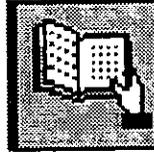
Fig. 4.7.2 : Display “Características del equipo seleccionado”.

4.7.4 Interfaz de ayuda

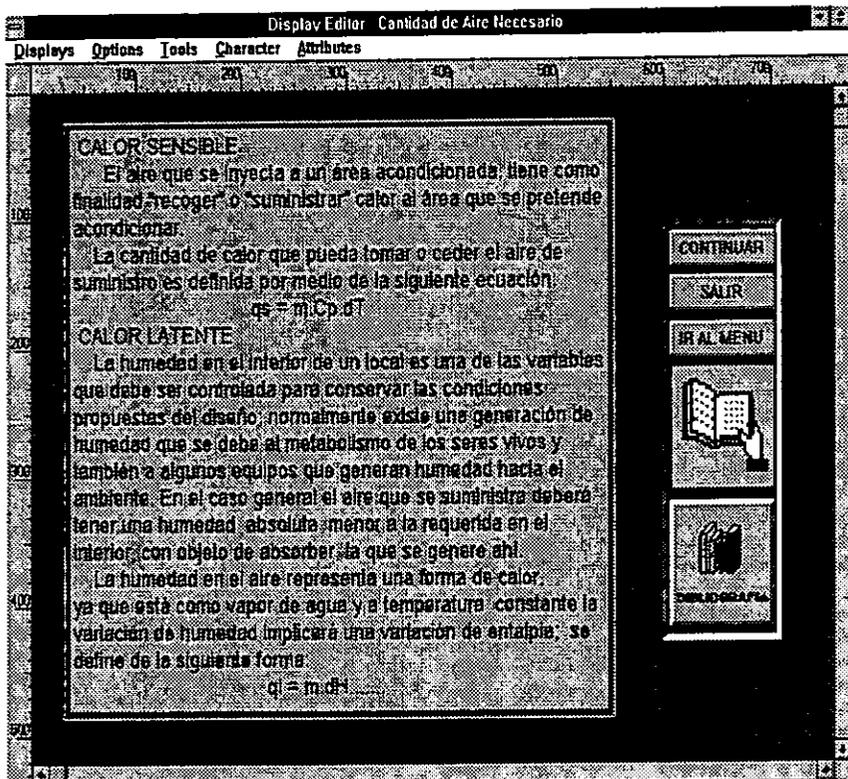
Dentro del desarrollo de la interfaz de ayuda, tenemos los displays de consulta y los displays de bibliografía. Dichos displays, como su nombre lo indica, nos permiten llamar información específica del punto en el que nos encontremos, durante el desarrollo de la sesión de trabajo del SESEAA.

En la figura 4.7.3 se muestra un display de este tipo. Por ejemplo durante el cálculo de la cantidad de aire necesaria, puede presentarse el caso en el que el usuario necesite recordar o

conocer ciertos temas, para lo que seleccionaremos el botón de ayuda, mediante este mecanismo podremos solicitar la información que se requiera en un determinado momento. De igual manera este método nos permite realizar un auto aprendizaje, lo cual le da la capacidad al sistema de actuar como si se tratará de un tutorial para diseño de instalaciones de aire acondicionado :



este nos abrirá el display de ayuda para realizar la consulta necesaria.



The screenshot shows a window titled "Display Editor Cantidad de Aire Necesario". The window has a menu bar with "Displays", "Options", "Tools", "Character", and "Attributes". The main content area is divided into two sections: "CALOR SENSIBLE" and "CALOR LATENTE".

CALOR SENSIBLE
El aire que se inyecta a un área acondicionada tiene como finalidad "recoger" o "suministrar" calor al área que se pretende acondicionar.
La cantidad de calor que pueda tomar o ceder el aire de suministro es definida por medio de la siguiente ecuación:
$$q_s = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

CALOR LATENTE
La humedad en el interior de un local es una de las variables que debe ser controlada para conservar las condiciones propuestas del diseño; normalmente existe una generación de humedad que se debe al metabolismo de los seres vivos y también a algunos equipos que generan humedad hacia el ambiente. En el caso general el aire que se suministra deberá tener una humedad absoluta menor a la requerida en el interior con objeto de absorber la que se genere ahí.
La humedad en el aire representa una forma de calor, ya que está como vapor de agua y a temperatura constante la variación de humedad implicará una variación de entalpía; se define de la siguiente forma:
$$q_l = m \cdot d \cdot h$$

On the right side of the window, there is a vertical stack of buttons: "CONTINUAR", "SALIR", "IR AL MENU", and "VER LA AYUDA". Below the "IR AL MENU" button is a small icon of a hand pointing to a document, and below the "VER LA AYUDA" button is a small icon of a hand pointing to a document.

Fig. 4.7.3 : Display de ayuda; "Ganancia de calor"

5. RESULTADOS

5.1 VALIDACIÓN Y AJUSTE DEL SESEAA

Para tener una idea más clara sobre este punto recordaremos la siguiente expresión, vista durante el proceso de desarrollo de sistemas expertos, : *“el prototipo y las versiones más completas o finales del SE, son evaluadas y validadas tanto en el laboratorio, como en casos reales. La validación se refiere a determinar si el sistema experto brinda resultados con un nivel de exactitud aceptable y reconocida por los usuarios y expertos, mientras que la verificación confirma que el sistema experto ha sido construido correctamente, de acuerdo a las especificaciones del diseño.”*

Una vez terminado el proceso de desarrollo del SESEAA se debe realizar la validación y el ajuste del mismo para confirmar si el sistema ofrece resultados confiables. Este capítulo es importante ya que aquí se realizan las pruebas correspondientes, para poder observar el comportamiento que sigue el sistema y de ser necesario se harán las modificaciones o correcciones que se consideren necesarias.

Para realizar la validación y el ajuste del sistema se hizo el cálculo de la carga térmica y selección del equipo más apropiado de los siguientes proyectos :

Nombre del Proyecto	SESEAA	Método Tradicional	Variación
Zapateria ALBANO Puebla	26.85 Ton	26.50 Ton	1.32 %
GOLD GYM México	28.10 Ton	27.69 Ton	1.48 %
Oficinas en Santa Fe	47.20 Ton	47.00 Ton	0.42 %
Restaurante HOOTERS	35.42 Ton	35.30 Ton	0.34 %
Federal Expres en México	20.63 Ton	20.00 Ton	1.03 %
Oficinas en Periférico 14 México	45.82 Ton	45.00 Ton	1.82 %
Casa Habitación en Lomas México	10.95 Ton	10.20 Ton	1.07 %
Monte de Piedad	28.50 Ton	30.00 Ton	5.00 %

Todas estas pruebas se realizaron con obras desarrolladas por la empresa SISTEMAS DE CONFORT, ubicada en Av. Universidad # 771 Despacho 303. Coyoacan.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos confirmar que el sistema tiene una exactitud con los casos reales entre el 0.32 % y el 5 %, por lo que podemos estar convencidos de la

confiabilidad que nos proporcionan el SESEAA. La variación que se presenta se debe entre otros factores a la forma en que se tomó la lectura de los datos de entrada, como pueden ser áreas, longitudes, conductividad de materiales, etc.

5.2 RESULTADOS FINALES

Finalmente observando los resultados obtenidos durante la aplicación del sistema, podemos deducir la eficacia que brinda el SESEAA en el cálculo de la carga térmica y selección de equipos de aire acondicionado. Esta aproximación se ve en la exactitud que presentan los resultados obtenidos empleando tanto el sistema experto como la que proporciona el método tradicional desarrollado por el especialista.

Una de las ventajas que brinda el SESEAA es la gama de soluciones u opciones que nos ofrece, de esta manera el usuario podrá elegir de entre las posibles soluciones la que se acomode más a sus necesidades y a su presupuesto, que viene a ser uno de los factores importantes en la selección del equipo de aire acondicionado. El sistema experto además nos proporciona una información detallada de las principales características de los equipos desde sus dimensiones, peso, hasta las especificaciones del funcionamiento

La aplicación del SESEAA busca ser como una herramienta de apoyo, consulta y solución del problema tanto para un especialista en el campo como para un cliente que no este familiarizado con el área. Mediante este concepto se puede ir implementando el sistema de acuerdo a como se vaya utilizando, esto nos permite actualizar el sistema conforma vaya pasando el tiempo y empiecen a salir nuevas especificaciones, tipo de materiales o de acuerdo al tipo de aplicación.

Es así que los resultados obtenidos mediante el empleo del SESEAA nos brindan la confianza necesaria para poder trabajar con el sistema experto libremente y con la seguridad de que la solución proporcionada por el sistema es la más acertada.

6. CONCLUSIÓN

6.1 ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN

Los Sistemas Expertos son programas de computadora que cuentan con un dominio específico, es decir se aplican a problemas determinados de la vida real. En nuestro caso particular el dominio del Sistema Experto desarrollado es la mecánica, específicamente el área del aire acondicionado. De esta manera se realiza la interacción entre áreas de la ingeniería como son la mecánica y la computación.

Una de las principales características del proceso de diseño en ingeniería es la cantidad de esfuerzo y tiempo que esta requiere, la cual se traduce en dinero y en la productividad que puede ofrecer la misma. Existen muchos casos, en los que ciertas etapas del proceso de diseño se realizan en forma similar, es en estas circunstancias que se requiere de un método que se proporcione una ayuda eficaz. Precisamente este es uno de los principales objetivos que se busca satisfacer con el desarrollo del SESEAA, es decir poder reducir considerablemente el tiempo que nos llevaría, el realizar la misma actividad a través del método tradicional. Así mismo el realizar esta actividad implica dedicarle un gran esfuerzo, el cual sería más rentable si se dedicará a otras actividades donde es indispensable la mano del diseñador.

Por otra parte un problema de diseño requiere principalmente de los siguientes aspectos :

- * Del conocimiento, el cual se puede adquirir a través del estudio y la investigación por medio de bibliografía y experiencias tanto personales como de otras personas.
- * De la inventiva y del ingenio, esta es una cualidad inherente y propia de cada individuo y en ella radica el estilo que pueda tener un ingeniero.

Justamente en estos dos últimos puntos es en el que se basa el SESEAA. Como se vio anteriormente un sistema experto cuenta con una base de conocimiento amplia la que se adquiere a través de información documentada y por la experiencia de los especialistas. El SESEAA realiza un razonamiento similar al que haría un experto en diseño de instalaciones de aire acondicionado. Esto es, una vez obtenido todos los cálculos necesarios, el sistema solicita información específica para el proyecto, tales como especificaciones, condiciones climatológicas, tipo de aplicación, tipo de energéticos, etc., tal como si lo preguntará un especialista antes de dar un diagnóstico. Esta característica con que cuenta el sistema es la más importante debido a que realiza el trabajo del experto sin ser necesaria su presencia, sólo para confirmar.

El SESEAA puede implementarse conforme se trabaje con él, ya que muchas veces el mismo experto podrá ver en que puntos necesita actualizarse o modificar su percepción, esto es

importante ya que permite estar actualizando constantemente la base de conocimiento de tal manera que se tenga una herramienta eficaz.

Después de realizar las pruebas para validar el sistema y de acuerdo a los resultados obtenidos, podemos afirmar que el SESEAA cubre las expectativas requeridas por el usuario.

Es decir el grado de confiabilidad del sistema es bastante alto, lo cual nos permite trabajar con libertad y seguridad.

Otro aspecto resaltante del SESEAA es la capacidad que tiene para su manejo, ya que igual lo puede utilizar un experto en el área, como alguien ajeno al mismo o alguien que desea aprender. Esto es por la capacidad de autoaprendizaje con que cuenta el sistema a través de las ayudas técnicas proporcionadas en cada paso de la sesión de trabajo. Esto quiere decir que además de ser un sistema experto en todo el sentido de la palabra, se puede utilizar como si se tratase de un tutorial.

Finalmente podemos afirmar que actualmente existen muchos paquetes de software, sobre todo en las empresas especializadas en el área de aire acondicionado que realizan esta misma función, inclusive desde la adquisición de información, cálculo de la carga térmica, diseño de ductos hasta el control de los equipos. Sin embargo todas estas herramientas fueron desarrolladas para un mercado diferente al nuestro, esta referencia las limita y las considera como mecanismos de comparación o verificación. Esto se debe a que no es lo mismo diseñar, y sobre todo en el diseño de instalaciones para aire acondicionado, una misma aplicación (hotel, hospital, casa habitación, etc.) en México que en los Estados Unidos o Canadá, ya que hay muchas diferencias desde la ubicación geográfica, la altitud, el clima, hasta aspectos más singulares como pueden ser la raza de las personas, el color de la piel, la forma de vestir, las costumbres, el nivel de confort, las especificaciones, la forma en que los rayos del sol inciden, etc.. Todo esto nos permite asegurar que el SESEAA fue diseñado para las condiciones y en función de las necesidades de los usuarios dentro del territorio nacional.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Dieter Nebendahl. "Sistemas Expertos: Tomos 1 y 2". Editorial Marcombo, España, 1991
- (2) Jackson, P. "Introduction to Expert Systems", Second Edition, Addison Wesley
- (3) Parsaye K. y M. Chignell. "Expert Systems For Expert". John Wiley & Sons Inc. New York, 1988.
- (4) Turban Efraim, "Expert Systems and Applied Artificial Intelligence". Macmillan Publishing Company, New York, 1992
- (5) Turban Efraim, "Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems", Macmillan Publishing Company, New York, 1993.
- (6) Eduardo Hernandez Goribar, "Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración", Editorial Limusa, México 1978.
- (7) Carrier, "Manual para Cálculo de Carga Térmica para Selección de Equipos de Aire Acondicionado", EE.UU 1987.
- (8) ASHRAE, "Fundamentals Handbook", EE.UU 1985.
- (9) Ing Rodrigo Bengoechea, "Manual de Aire Acondicionado", Palacio de Minería 1997.
- (10) Instituto Tecnológico de la Construcción, "Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado", ARI tomo 2, 1994.