

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**

Facultad de Ingeniería Eléctrica

**TESIS DE GRADO**

SIMULACION DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

DE UN CENTRO DE COMPUTO

DELIA MARIA FIERRO BRITO

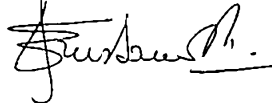
Tesis previa a la obtención del título  
de Ingeniero en Electrónica y Control.

QUITO - OCTUBRE - 1991

Agradezco al Ingeniero Patricio Burbano,  
al Dr. Melio Sáenz y todas las personas  
que hicieron posible la realización de  
este trabajo.

A LA MEMORIA DE MI MADRE Y  
A MIS HERMANOS .

Certifico que el presente tabajo ha  
sido elaborado en su totalidad por  
la Srta. Delia María Fierro Brito.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Patricio Burbano', with a horizontal line underneath.

Ing. Patricio Burbano

Director de Tesis

## INDICE

	Pág.
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES</b>	
1.1	Intrroducción ..... 2
1.2	Objetivo y alcance ..... 3
<b>CAPITULO II: CARACTERISTICAS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES</b>	
2.1	Características de temperatura ..... 7
2.2	Características de humedad ..... 13
2.3	Aire acondicionado..... 28
2.4	Estándar de condiciones ambientales para sistemas de control y mediciones de procesos . 51
2.5	Contaminación ambiental ..... 60
2.6	Tipos de control ..... 69
<b>CAPITULO III: SIMULACION DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES</b>	
3.1	Planteamiento del problema ..... 78
3.2	Modelación para un sistema de regulación de temperatura y humedad relativa ..... 85
3.3	Modelo del sistema de aire acondicionado ..... 93
3.4	Desarrollo de programas de simulación ..... 112
<b>CAPITULO IV: APLICACIONES Y CONCLUSIONES</b>	
4.1	Resultados de la simulación ..... 132
4.2	Simulación de un sistema real ..... 161
4.3	Conclusiones y recomendaciones ..... 165

BIBLIOGRAFIA .....	169
ANEXO 1: LISTADO DE LOS PROGRAMAS .....	172
ANEXO 2: MANUAL DE USO.....	188
ANEXO 3: DRAFT STANDARD ISA-SP71.A3 .....	195
ANEXO 4: ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS INSTALADOS EN LOS CENTROS DE COMPUTO DE PETROECUADOR Y DE LA E.P.N. ....	208

## CAPITULO I: GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCION

### 1.2 OBJETIVO Y ALCANCE

## 1.1 INTRODUCCION

Con el desarrollo de la tecnología computacional y las ventajas que ésta proporciona en el manejo y almacenamiento de información, es necesario que este equipo se encuentre en locales especiales con el fin de garantizar su normal funcionamiento y prevenir pérdidas y daños de la información que se está procesando o que se ha almacenado.

Por este motivo el trabajo que se va a desarrollar en la tesis tiene como propósito el acondicionamiento ambiental del local donde funcione un centro de cómputo, mediante la simulación computacional de las condiciones ambientales de dichos centros bajo condiciones reales.

Esta tesis es parte de un proyecto global que tiene como finalidad el realizar un estudio completo de las distintas condiciones físicas y de seguridad que debe cumplir un centro de cómputo, por lo que el contenido de este trabajo se relaciona y se complementa con los otros temas.

La técnica que se utilizará para la simulación de las condiciones ambientales, es la dinámica de sistemas, la cual consiste en una metodología de estudio de sistemas complejos que evolucionan con el tiempo y permiten la construcción de modelos de simulación de sistemas reales.

El lenguaje que se va a emplear es el PROFESSIONAL DYNAMO



PLUS, el cual es un paquete específico de simulación que presenta varias ventajas respecto de los lenguajes de programación multipropósito.

La elaboración de este trabajo consta de cuatro capítulos, los cuales tratan aspectos específicos e interrelacionados hasta llegar al objetivo final. El Capítulo I proporciona una visión global del tema a desarrollarse, citando las razones, objetivos y alcances del mismo. El Capítulo II describe los conceptos básicos sobre los cuales se sustenta el marco teórico y computacional de este trabajo. El Capítulo III consiste en el desarrollo del modelo y el programa de simulación de las condiciones ambientales. Finalmente, el Capítulo IV muestra los resultados obtenidos de la simulación, para luego determinar conclusiones y, exponer recomendaciones de tipo general y específico sobre el tema.

## **1.2 OBJETIVO Y ALCANCE**

El objetivo principal de este trabajo es conseguir un programa computacional que simule las condiciones ambientales dentro de un centro de cómputo bajo circunstancias reales. No se va a realizar una modelación profunda del sistema, sino que analizando las condiciones ambientales ideales que debería cumplir un centro de cómputo se van a tomar criterios y elementos técnicos ya

estudiados con el fin de conseguir el modelo adecuado, que satisfaga los requerimientos planteados.

La simulación a realizarse tratará los principales factores ambientales que afectan al normal funcionamiento de un centro de cómputo, por lo que se simulará cambios en la temperatura y humedad relativa presentes en dicho local. También se analizará el efecto de la contaminación ambiental presente en el local.

El análisis de las variables que intervienen para mantener las condiciones ambientales adecuadas de un centro de cómputo se basarán en el estudio de un equipo de aire acondicionado, el cual en su funcionamiento involucra el control simultáneo de la temperatura, humedad relativa y contaminación ambiental (pureza del aire).

La idea para el desarrollo de éste trabajo, nació de la necesidad de realizar, el estudio de los requerimientos y la simulación de los sistemas de seguridad del centro de cómputo de PETROECUADOR. Además, de realizar un estudio de aspectos de instrumentación y procesos que no se cubren en el currículum de la especialización de electrónica y control.

CAPITULO II: CARACTERISTICAS DE LAS CONDICIONES  
AMBIENTALES

- 2.1 CARACTERISTICAS DE TEMPERATURA
- 2.2 CARACTERISTICAD DE HUMEDAD
- 2.3 AIRE ACONDICIONADO
- 2.4 ESTANDAR DE CONDICIONES AMBIENTALES PARA SISTEMAS  
DE CONTROL Y MEDICIONES DE PROCESOS
- 2.5 CONTAMINACION AMBIENTAL
- 2.6 TIPOS DE CONTROL

## 2.- CARACTERISTICAS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

Para garantizar el buen funcionamiento de un centro de cómputo, es necesario tener un control de las condiciones ambientales (temperatura, humedad absoluta, humedad relativa, contaminación ambiental) del local donde funciona éste, con el fin de satisfacer las especificaciones dadas por el fabricante.

Para plantear alguna estrategia de control de las condiciones ambientales y su correspondiente simulación, es necesario realizar un análisis de la instrumentación básica, en lo que se refiere a las características de temperatura: tipos de sensores y sus requerimientos; y, en cuanto se refiere a las características de humedad: sus conceptos, métodos de medición y sus requerimientos.

Además es necesario realizar un estudio de la psicrometría para familiarizarse con la termodinámica del aire húmedo, que se va a utilizar para la regulación de las condiciones ambientales. Con estos conceptos, se plantea las características de un proceso de acondicionamiento del aire como mecanismo de manipulación de las condiciones ambientales. Se hace una revisión de sus conceptos, sus procesos, su aplicación a un centro de cómputo; y, además se menciona algunos estándares de interés aplicables.

Se considera también una descripción sobre los métodos

utilizados para la depuración del aire y la prevención contra la contaminación ambiental.

Finalmente, se concluye este capítulo realizando un comentario acerca de los controles que pueden utilizarse para la regulación de las condiciones ambientales.

## 2.1 CARACTERISTICAS DE TEMPERATURA

### 2.1.1 Breve estudio de los sensores de temperatura.

Un transductor (elemento primario) es un dispositivo que recibe una señal de entrada de una o más cantidades físicas y la convierte, modificada o no a una señal de salida (CREUS, 1979, 633). Para este caso, el transductor actúa debido a la acción de la variable física temperatura y entrega una señal correspondiente a una variable eléctrica.

Los transductores puede ser pasivos o activos. En los transductores pasivos o autogenerativos el resultado de la medida es igual a la energía que se capta del proceso, ejemplo, una termocupla. Los transductores activos requieren un aporte de energía externa, la señal de salida es una combinación de la variación de energía externa en concordancia con la energía propia del proceso, ejemplo, puente de resistencias (puente de Wheastone).

A continuación se citan algunos sensores de temperatura (CREUS 1979,214):

- Termómetro de vidrio.- Consta de un depósito de vidrio que puede contener mercurio, pentano, alcohol, tolueno, etc y que al calentarse se expande y sube por el tubo capilar.

- Termómetro bimetalico.- Utiliza dos metales con distinto coeficiente de dilatación, tales como latón, o acero para que físicamente abra o cierre un contacto eléctrico a una temperatura establecida.

- Termómetro de bulbo y capilar.- Consiste en un bulbo conectado por capilar a una espiral. Cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o el líquido en el bulbo se expande y la espiral tiende a desenrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura en el bulbo.

- Termocuplas o termopares.- Basa su funcionamiento en el efecto de la circulación de corriente en un circuito formado por dos diferentes metales cuyas uniones se mantienen a distinta temperatura, (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría). En el circuito se desarrolla una pequeña tensión continua proporcional a la temperatura de la unión de medida, siempre que haya una diferencia de temperaturas en la unión de referencia.

- Termoresistencias ( RTD ).- Consiste en un conductor sólido, usualmente en forma de alambre que se caracteriza por tener un coeficiente de temperatura de resistencia positivo. La relación resistencia-temperatura es lineal y directa, es decir, si hay un incremento de temperatura, la resistencia aumenta proporcionalmente y si disminuye la temperatura el valor de la resistencia disminuye.

- Termistores.- Son semiconductores electrónicos que tienen un coeficiente de temperatura de resistencia negativo. La relación de variación temperatura-resistencia es lineal e inversa, es decir, si se incrementa la temperatura el valor de la resistencia disminuye y si disminuye la temperatura la resistencia aumenta.

No se da mayores detalles en las características de los sensores, ni en el acondicionamiento de su señal debido a que el mecanismo de regulación de temperatura, humedad absoluta y humedad relativa se realizan a través de un equipo de aire acondicionado, el cual posee los respectivos transductores y acondicionadores de las señales. Por lo que, interesa la manipulación del sistema y no de un determinado sensor o transductor.

Se mencionan estos conceptos para una mejor comprensión de los componentes del sistema de aire acondicionado o para cuando sea necesario referirse a uno de ellos para una

aplicación puntual; por ejemplo, detección de la variable si está fuera del rango de operación y activación de alarmas.

### 2.1.2 Requerimientos de temperatura

A medida que han ido evolucionando los sistemas de computación, en base al crecimiento del nivel de integración, velocidad de procesamiento, capacidad de almacenamiento de información y decrecimiento del tamaño de sus componentes, estos circuitos VLSI, son cada vez más sensibles a factores externos e internos produciendo fallas en el funcionamiento o daños en la información cuando sale del rango de operación. De allí que se debe tener un riguroso cuidado en cumplir con las especificaciones dadas por el fabricante. En consecuencia se señalan los requerimientos de temperatura para el buen funcionamiento de un centro de cómputo:

- Aislamiento térmico del local en donde funcione el centro de cómputo, especialmente en la sala de máquinas y la cintoteca, con el fin de que los cambios de temperatura externos no afecten a las condiciones ambientales internas del local.

- El rango de temperatura en el que debe trabajar un equipo de computación es de 16 a 32 grados centígrados (Technical Newsletter, IBM, 1989), además cada fabricante



da una tolerancia a estos dos valores límites. La operación en este rango de temperatura está dado para las especificaciones de los componentes integrados, (tecnología). En el caso de que habría una variación de temperatura, fuera del rango especificado, no se sabría con certeza en que medida los equipos van a ser afectados, lo que se puede asegurar es que los elementos electrónicos están fuera de su rango normal de operación. El daño puede darse en una o varias tarjetas o componentes, ya que son elementos que estan interconectados.

Además, los cambios de temperatura afectan a los componentes metálicos, así, un aumento de temperatura produce su dilatación y en consecuencia varían sus posiciones físicas originales produciendo malos contactos, mala conducción, etc. dejando de trabajar en forma adecuada, y si la temperatura disminuye existe la contracción de las partes metálicas produciendo iguales problemas. Cabe indicar que a los equipos computacionales lo que más les afecta son las pequeñas variaciones de temperatura ( $\Delta T$ ) porque entre las uniones de los equipos existen espacios de aire, que debido a la condensación y evaporación de agua produce la oxidación de las partes metálicas del equipo, además afectan a la conducción y producen el deterioro de los contactos; y además modifica el porcentaje de la humedad relativa del ambiente.

Por lo tanto es necesario realizar una regulación adecuada

de este parámetro para minimizar sus efectos perjudiciales en caso de perturbaciones.

Cabe señalar que posteriormente se analiza el efecto de las variaciones de temperatura sobre la humedad relativa.

- En el caso de una cintoteca, (lugar donde se almacenan los diskettes, cintas magnéticas, discos fijos, papel), también se debe cumplir con especificaciones de temperatura para que la información y los dispositivos que en ella se encuentren no se deterioren o pierdan. De acuerdo con la norma de la NFPA 72B, se producen daños en los diskettes y cintas magnéticas a los 37.8°C, en los discos fijos a los 65.6°C y en el papel a los 170°C. De allí que se puede considerar la misma temperatura de trabajo tanto para la sala de máquinas (equipo electrónico) como para la cintoteca.

- La temperatura que se debe mantener en el área de terminales o digitadores, debe considerar tanto las especificaciones del equipo electrónico como las condiciones de confort del personal que en él opera.

- En el caso del área de UPS (sistema de emergencia eléctrico formado por un banco de baterías), se puede considerar el mismo rango de temperatura que para la sala de máquinas. Por los requerimientos de temperatura descritos para las áreas que constituyen un centro de

cómputo, (sala de máquinas, cintoteca, sala de terminales, área de UPS), se puede decir, que éstas pueden tener la misma temperatura de referencia (19°C, valor típico) la cual debe mantenerse constante. Adicionalmente, la velocidad de variación máxima de temperatura es de 5 °C/Hora.

## 2.2 CARACTERISTICAS DE HUMEDAD

Las variables de humedad y punto de rocío son muy importantes en aplicaciones de la industria y se las utiliza principalmente en el acondicionamiento de aire.

### 2.2.1 Términos utilizados

Es necesario la familiarización con la terminología empleada para el estudio de la humedad, por esto a continuación se citan los más utilizados, (MARKS,1967. SANS,1970).

- Humedad absoluta [H].- Indica el peso o masa efectiva de vapor de agua contenido en la atmósfera en granos de aire húmedo (1lb. de aire húmedo equivale a 7000 granos de aire húmedo) por Kg de aire seco. Por lo general la humedad absoluta, se expresa en granos de aire húmedo (aire seco + vapor de agua) por libras de aire seco.

$$H = \frac{\text{masa de aire húmedo}}{\text{masa de aire seco}}$$

- Humedad relativa.- Es la relación entre la presión de vapor en un espacio dado y la presión de saturación del vapor; a igual temperatura.

$$HR\% = \frac{\text{Presión de vapor} * 100}{\text{Presión de saturación}}$$

- Punto de rocío.- La condensación depositada por el aire saturado puede tomar la forma de rocío. La temperatura a la cual se alcanza la saturación con un determinado contenido de humedad es llamado punto de rocío. Este punto puede ser definido como la temperatura a la cual comienza la condensación si hay posterior enfriamiento.

El punto de rocío solamente depende del peso de vapor de agua presente en el volumen de aire considerado. Este puede designarse por la temperatura de saturación de la mezcla considerada de aire y agua.

- Porcentaje de humedad.- Relación entre la cantidad en kg del vapor de agua contenido en un 1 kg de aire seco y la cantidad en kg del vapor de agua contenido en un 1 kg de aire seco si el aire está en condiciones de saturación.

$$H\% = \frac{\text{Kg de vapor en aire seco} * 100}{\text{Kg de vapor en aire seco saturado}}$$

- Grado de saturación  $[\mu]$ . - Es la razón entre la humedad absoluta (H) y la humedad absoluta del aire saturado ( $H_s$ ), en iguales condiciones de temperatura y presión.

- Temperatura de bulbo seco. - Temperatura del aire medida con un termómetro de bulbo seco, es decir, en contacto directo con la atmósfera.

- Temperatura de bulbo húmedo. - Es la temperatura de equilibrio dinámico alcanzado por una superficie húmeda cuando se lo expone al aire. Puede medirse con un termómetro cuyo bulbo está en ambiente de saturación lo que se consigue envolviéndolo con un tejido húmedo.

- Elemento higroscópico. - Es el elemento que tiene la capacidad de absorber y exhalar la humedad según las circunstancias del medio ambiente.

- Proceso adiabático. - Procesos en los cuales no se produce transmisión de calor o bien no se da intercambio de calor entre el cuerpo o sistema y el medio externo; o si existe este intercambio es mínimo (el caso de las modificaciones de una masa de aire seco en la atmósfera).

- Entalpía. - Es el contenido de calor, que es igual a la energía interna más el trabajo de desplazamiento. Por lo tanto la entalpía es igual a (RECKNAGEL-SPRENGER, 1972, 77):

$$h = U + A \cdot p \cdot V$$

donde: h => entalpía [cal]  
 U => energía interna [cal]  
 A => recíproco del equivalente mecánico, es igual  
 a 1/427 [cal/Kg\*m]  
 p => presión [Kg/m<sup>2</sup>]  
 V => volumen [m<sup>3</sup>]

La entalpía por unidad de peso es (MARKS, 1967, 314):

$$h = C_p \cdot T + h_0$$

donde: C<sub>p</sub> => calor específico a presión constante  
 [Kcal/Kg°C]  
 T => temperatura [°C]  
 h<sub>0</sub> => entalpía inicial [Kcal/kg], a 0°C es igual a  
 cero

- Entropía.- Magnitud termodinámica que evalúa la degradación de la energía. Es una función cuya fórmula matemática es:

$$S = Q/T$$

donde: S => entropía  
 Q => cantidad de calor  
 T => temperatura absoluta

## 2.2.2 Breve estudio de los métodos para la medición de la humedad

Existen algunos métodos para la determinación de la humedad relativa en el aire y en los gases, entre ellos se cita (CREUS, 1979):

- Método de elemento de cabello o nylon.- Se basa en la expansión o contracción lineal que son características de los materiales sensibles a las variaciones de humedad relativa (elemento higroscópico), tales como los cabellos naturales o de fibra de nylon.

- Variación de la capacidad.- Sobre un electrodo metálico se deposita un material dieléctrico que absorbe agua, sobre éste se pone un segundo electrodo en forma de película metálica porosa que permite el paso de vapor de agua. La absorción de agua ocasiona un cambio en la permitividad del material dieléctrico, de esta manera se puede medir la humedad relativa en función de la capacidad.

- Termómetro de bulbo seco y de bulbo húmedo.- Es un instrumento, llamado también psicrómetro. La humedad relativa se mide por observación de la temperatura mediante estos termómetros, y luego leyendo la humedad relativa sobre el diagrama psicrométrico, en función de los valores de las temperaturas mencionadas, referirse a la figura 2.3 en el numeral 2.2.4.

El termómetro de bulbo seco, mide la temperatura del aire. El termómetro de bulbo húmedo lleva su bulbo cubierto con un tejido suave, la cual se moja con agua limpia antes de proceder a las lecturas. La evaporación del agua del tejido mojado absorbe calor del bulbo y consecuentemente la columna de mercurio desciende en función de la evaporación. En una atmósfera seca la lectura de bulbo húmedo será más baja que la temperatura leída en el bulbo seco.

En el aire saturado, no hay evaporación y la temperatura de bulbo seco será la misma que la de bulbo húmedo. La diferencia entre las lecturas de bulbo seco y del bulbo húmedo será más acentuada mientras más seca sea la atmósfera y así se obtiene una indicación de humedad relativa. Esta diferencia se la conoce como **depresión del bulbo húmedo**.

- Célula de cloruro de litio.- Consiste en una célula empapada en cloruro de litio ( $\text{Cl Li}$ ) con una rejilla de láminas de oro. La sal tiene la propiedad de variar considerablemente la resistencia al aumentar o disminuir la humedad ambiente ya que absorbe iones de la película de soporte. Como la humedad relativa está determinada simultáneamente por el contenido de humedad y la temperatura del aire, es necesario una corrección de ésta.

En la figura 2.1 puede verse un gráfico que representa la resistividad en función de la humedad relativa a



temperatura ambiente. A mayor proporción de Cl Li que recubre a célula se disminuye el campo de medida de la humedad.

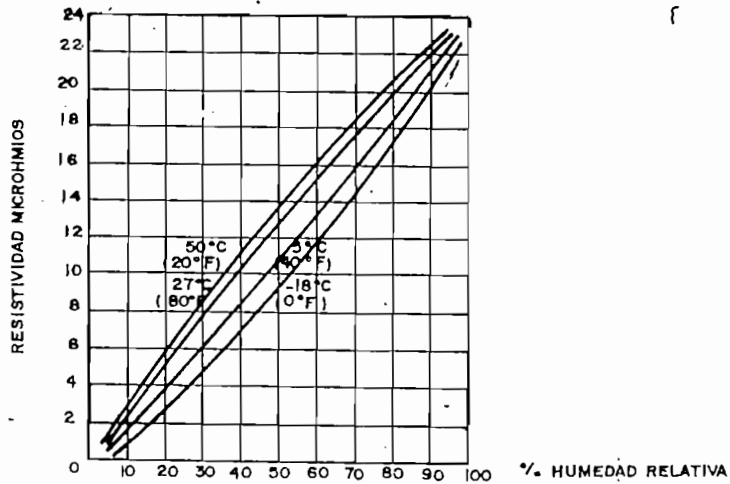


Fig. 2.1.- Resistividad - Humedad Absoluta

Para la medición del punto de rocío se emplean los siguientes métodos:

- Cámara de niebla.- Realiza una medición manual y discontinua del punto de rocío. Consiste en una pequeña cámara con una bomba manual que permite comprimir una muestra de gas. El operador anota la presión y temperatura iniciales del gas y lo comprime a una presión dada. A continuación abre una válvula de escape a la atmósfera con lo que el gas sufre una expansión adiabática y baja de temperatura. El ensayo se repite varias veces comprimiendo cada vez más el gas hasta que la temperatura alcanzada en la expansión produce niebla en la cámara. Esta temperatura es la correspondiente al punto de rocío.

- Célula de cloruro de litio.- Consta de dos alambres

### 2.2.3 Requerimientos de Humedad

Al igual que para la temperatura, los fabricantes especifican un rango de variación de la humedad relativa que debe cumplir el local para que el equipo trabaje en forma correcta.

- El rango de humedad relativa para equipos computacionales es del 20% al 80% (Technical Newsletter, IBM, 1989). Si en la sala existe una humedad relativa alta, se producen condensaciones que facilita la formación de óxidos en los componentes, altera las tensiones internas de los plásticos, altera las dimensiones físicas de las cintas magnéticas y del papel lo cual afecta a las impresoras o lectoras (cabezas lectoras). En el caso que la humedad relativa sea baja facilita la creación de carga estática en el medio ambiente que puede dañar a los equipos eléctricos y electrónicos.

- Para determinar el valor de humedad relativa que va a tener el local donde funcione el centro de cómputo, se debe considerar el tipo de piso que existe en éste, con el fin de producir el mínimo valor de carga estática, la cual es función de la humedad relativa, que resulta perjudicial para el equipo y en algunos casos hasta para el personal. Así: Laminado de alta presión, genera electricidad estática de bajos niveles (2.6-2.8 Kv) para una humedad relativa de 30% a 80%. Alfombras, dependiendo de la humedad relativa

puede producir voltajes de electricidad estática de hasta 10.5 Kv que es altamente peligroso; en caso de utilizar alfombra ésta debe ser de material antiestático y anti-inflamable donde el máximo voltaje sea de 2.5 Kv para una humedad relativa de 50% a 55%. Por lo anterior, lo más recomendable para un centro de cómputo es recubrir el piso con piso falso, ya que para evitar la carga estática los pedestales, la estructura de rejilla y los tableros deben ser conectados a tierra, (camino de descarga). Con el fin de que los valores de electricidad estática sea bajos y su efecto sea mínimo, la humedad relativa debe mantenerse en un rango de 40% a 60% y tener una variación máxima de 5% por hora.

La temperatura y la humedad relativa son variables mutuamente dependientes, al haber cambios de temperatura el valor de la humedad relativa cambia ya que se producen evaporaciones o condensaciones en el medio ambiente; por lo que se debe efectuar un control sensible y preciso de éstas dos variables en forma conjunta.

La temperatura y la humedad son función de la altitud sobre el nivel del mar y de la presión barométrica; se conoce que la temperatura decrece linealmente con el incremento de la altitud. En la tabla 2.1 (PEÑA,1990), se indican valores de temperatura y presión para diferentes altitudes. Es necesario indicar que estos dos últimos parámetros se los considera constantes, ya que al establecer la sala de

cómputo, la altura del lugar y la presión son datos fijos.

ALTITUD [m]	TEMPERATURA [°C]	PRESION [KPa]
-500	18.2	107.478
0	15.0	101.325
500	11.8	95.461
1000	8.5	89.874
2000	2.0	79.495
3000	-4.5	70.108
4000	-11.0	61.640
5000	-17.5	54.020
6000	-24.0	47.181
7000	-30.5	41.061

TABLA 2.1

#### 2.2.4 Psicrometría

La psicrometría estudia las características y propiedades termodinámicas del aire húmedo. Además es usada para ilustrar y resolver los diferentes procesos o ciclos de aire acondicionado.

El aire húmedo se lo define como una mezcla binaria de aire seco y vapor de agua. La cantidad de vapor de agua en el

aire húmedo varía desde cero, (aire seco, existe cuando todo el vapor de agua y contaminantes han sido removidos del aire atmosférico), hasta su máxima saturación, que depende de las condiciones de temperatura y presión.

Para el análisis de las propiedades termodinámicas del aire húmedo, se utiliza el diagrama psicrométrico, el cual se lo conoce también como carta psicrométrica, que es una representación gráfica de las propiedades termodinámicas del aire, que facilita la resolución de problemas de ingeniería.

Los diagramas psicrométricos se trazan considerando, como abscisa a la temperatura de bulbo seco en grados Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) o en grados Centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ) y la humedad absoluta en (granos de aire húmedo/lb de aire seco) como ordenada.

Las líneas curvas dan el valor de humedad relativa, las líneas inclinadas de izquierda a derecha llevan valores fijos de temperatura de bulbo húmedo, la dirección de la entalpía coincide con la dirección de las líneas de temperatura de bulbo húmedo. Además, se puede obtener el valor de la densidad del aire por medio de la lectura del volumen psicrométrico.

La desventaja de los diagramas psicrométricos es que cada carta se aplica para un solo valor de presión barométrica, generalmente 760 mmHg (101.325 KPa). La corrección para

otras presiones barométricas no es sencilla, para estos casos se efectúa mediante las ecuaciones que tienen como parámetro la presión barométrica. Por ello se recomienda trabajar con la carta psicrométrica adecuada.

Para encontrar la humedad relativa utilizando el diagrama psicrométrico, se procede a leer la temperatura del termómetro de bulbo seco sobre la línea horizontal en la base del diagrama; se sigue la vertical desde ese punto hasta que corte la línea de temperatura del termómetro de bulbo húmedo; la humedad relativa se lee en la línea curva que pase más cerca al punto de intersección.

A continuación se indica en forma gráfica la determinación de la humedad relativa, dados los siguientes datos: temperatura de bulbo seco  $40^{\circ}\text{C}$  y temperatura de bulbo húmedo es de  $28^{\circ}\text{C}$ . Siguiendo el procedimiento antes indicado se obtiene que la humedad relativa para este ejemplo es de 40%. Ver figura 2.3.

Por último se presenta una lámina completa del diagrama psicrométrico, para una de presión de 523.5 mmHg (70.108 Kpa) y una elevación de 10000 pies (3000 m), en la figura 2.4.

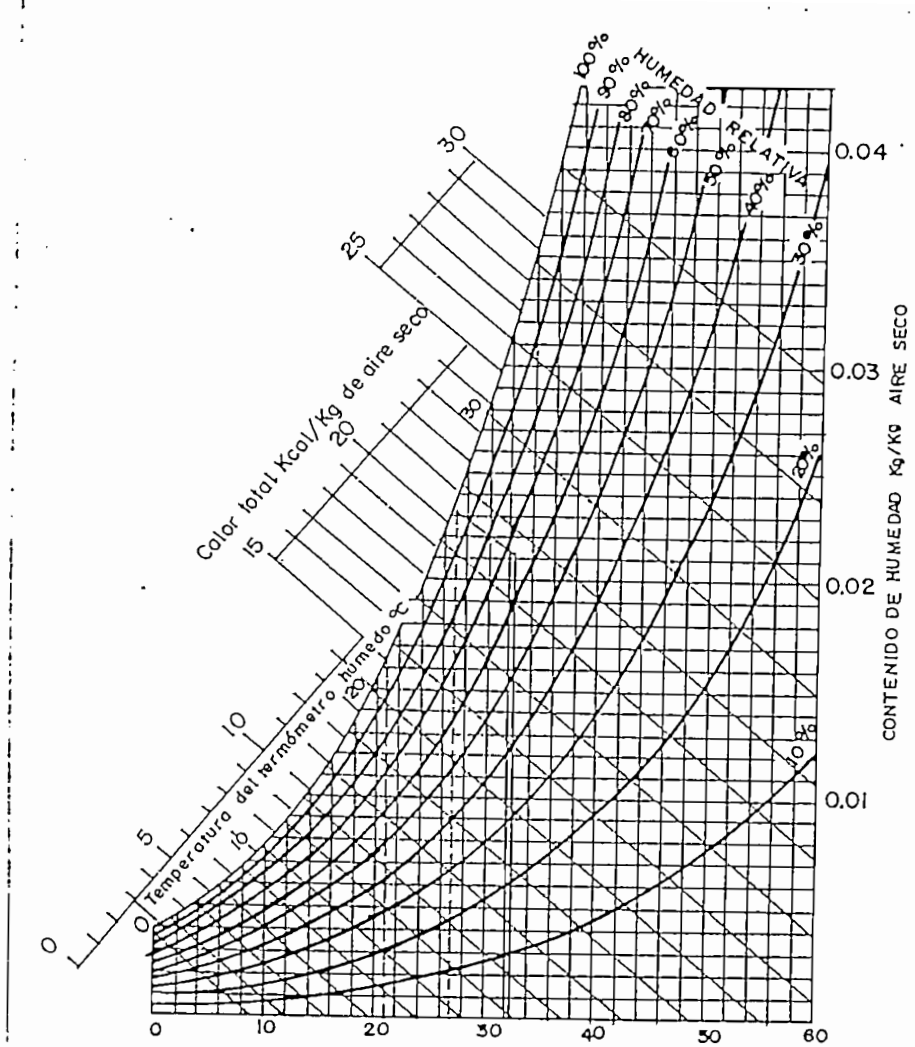


Fig. 2.2.- Esquema de la Carta Psicrométrica

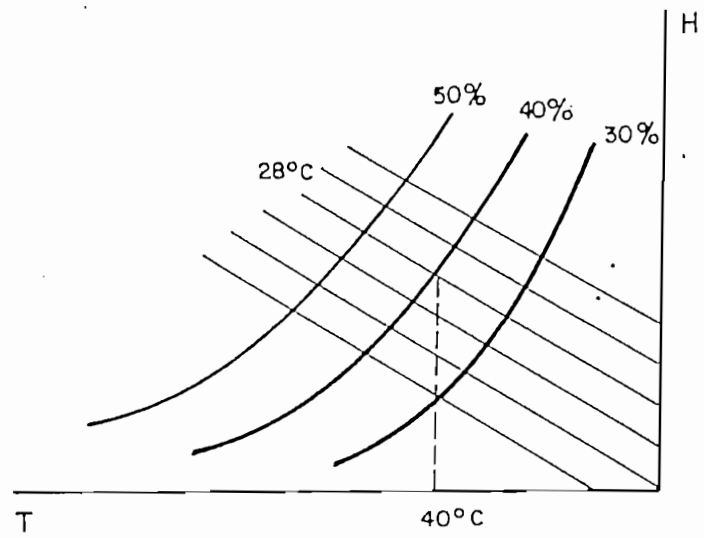


Fig. 2.3.- Aplicación de la Carta Psicrométrica

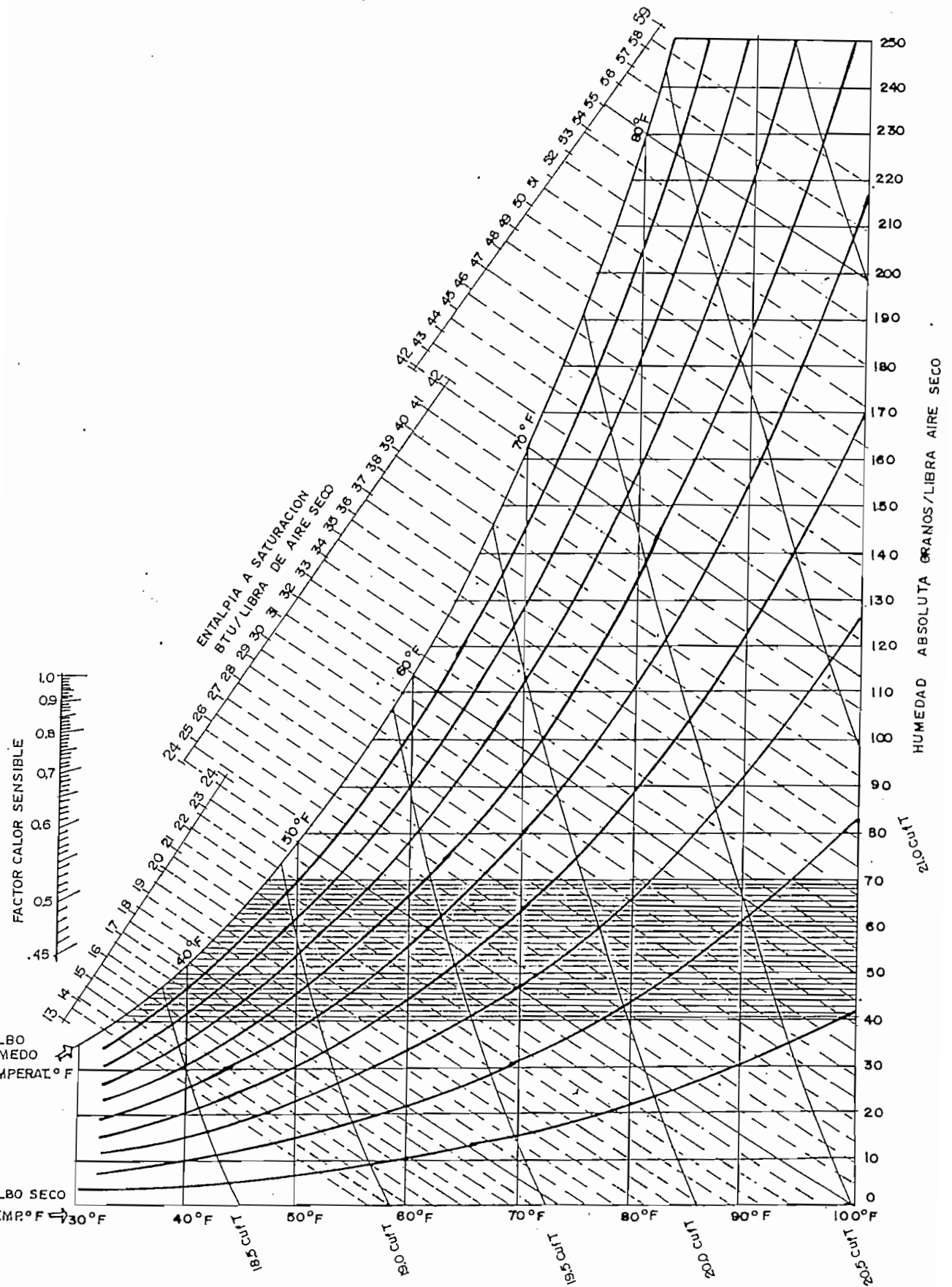


Fig. 2.4.- Diagrama Psicrométrico



### 2.3 AIRE ACONDICIONADO

Los factores que afectan a las condiciones químicas y físicas de la atmósfera comprenden temperatura, humedad, movimiento, distribución, polvo, bacterias, gases tóxicos, etc. El aire acondicionado es un equipo que controla a estos factores, dependiendo de las especificaciones que cada ambiente requiera.

En una sala de cómputo es indispensable la presencia de un acondicionador de aire, ya que es necesario mantener ciertos rangos de temperatura y humedad relativa para que el equipo funcione en óptimas condiciones. Al no tener control de estas variables se disminuye la vida útil del equipo y además su funcionamiento no es confiable (pérdida y/o alteración de la información).

Para determinar la capacidad del aire acondicionado se deben considerar los siguientes factores: disipación de calor del equipo, disipación de calor del personal, cargas latentes, luminarias, introducción de aire fresco, ventilación, posibles recalentamientos, conducción de calor a través de paredes, techos, pisos, puertas abiertas, particiones y ventanas.

Además, para la capacidad del aire acondicionado se debe considerar que la mayoría de los equipos electrónicos modernos tiene ventilación interna propia que forzan

la circulación del aire, mejorando la calidad del enfriamiento del equipo.

Las unidades de aire acondicionado no deben ser conectadas a la red de potencia de los equipos de computación. Los alimentadores eléctricos para el sistema de aire acondicionado y para el centro de cómputo no deben ir por la misma tubería. El equipo de aire acondicionado como parte integrante del centro de cómputo debe tener un funcionamiento ininterrumpido, incluyendo un sistema de eléctrico de emergencia.

### 2.3.1 Términos Utilizados

- Calor sensible [Q].- Se lo define como la transferencia de energía térmica desde o hacia un cuerpo dando como resultado un cambio de temperatura. (BORJA, 1990).

La carga de calor sensible consta de la absorción y transmisión de calor que se produce través de las ventanas, muros, techo, personal, equipo en funcionamiento y filtraciones de aire.

- Calor Latente [Q].- Energía térmica absorbida o emitida por una sustancia en el proceso de cambio de fase, el mismo que se realiza a temperatura constante.

La carga de calor latente comprende la humedad que desprende la gente, la energía cedida por los equipos instalados y por infiltraciones de aire exterior.

- Calor Total [Q].- Es la suma de calor sensible y de calor latente.

- Factor de Calor Sensible.- Se lo define como:

$$FCS = Q_s / Q_T$$

- Factor de Calor Latente.- Se expresa como:

$$FCL = Q_L / Q_T$$

La suma de los dos factores es igual a la unidad.

- Unidad Térmica Británica [BTU].- (British Thermal Unit), indica la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura en un grado Farenheit una libra-masa de agua pura.

- Aire acondicionado.- Es un proceso que consiste en suministrar aire a un volumen de control determinado y adaptar este a las condiciones requeridas como limpieza, refrigeración, calefacción, secado y humidificación. Con estos procedimientos es posible conseguir cualquier tipo de atmósfera.

El equipo de aire acondicionado debe mantener las condiciones ambientales requeridas en el local, independientemente de variaciones externas sean éstas atmosféricas o debidas a locales contiguos; tampoco debe influir variaciones de carga térmica dentro del local.

- Ventilación.- Es un proceso que implica suministro de aire fresco, eliminación de productos de contaminación y de calor, y también a un movimiento de aire para refrigerar o refrescar.

El objetivo de la ventilación es proporcionar la cantidad suficiente de aire fresco para la respiración de las personas que se encuentren en un local. En la tabla 2.2 (BORJA, 1990), se indica el requerimiento de aire fresco para las personas.

TIPO DE LOCAL	pie <sup>3</sup> por minuto de aire fresco necesario por persona
Viviendas	10.0 a 15.0
Auditorios	5.0 a 7.5
Bancos	7.5 a 10.0
Tiendas	5.0 a 7.5
Cuartos de hospital	15.0 a 25.0
Oficinas	15.0 a 25.0
Salas de reunión	20.0 a 30.0
Salas de terminales de un centro de cómputo	10.0 a 15.0

TABLA 2.2.- CANTIDAD MININA DE AIRE FRESCO NECESARIO  
POR PERSONA

- Condensación.- Es el cambio de un sistema de fase gaseosa a fase líquida.

- Evaporación.- Es el cambio de un sistema de fase líquida a fase gaseosa.

### 2.3.2 Procesos de Aire Acondicionado

Los procesos de aire acondicionado modifican la temperatura, la humedad absoluta y por ende la humedad relativa del ambiente.

Los procesos aislados que realiza un equipo en el acondicionamiento del aire incluyen: calentamiento, enfriamiento, humidificación, deshumidificación, saturación adiabática y mezcla de dos atmósferas. Estos procesos hacen posible, en sucesiones diversas, a partir de una atmósfera dada, producir otra de características deseadas.

- Calentamiento.- Es el proceso de añadir calor, quedando inalterada la humedad absoluta (H). En el diagrama psicrométrico corresponde a una línea horizontal, que va de izquierda a derecha.

A continuación se esquematiza el proceso de calentamiento como tal y la representación en el diagrama psicrométrico en las figuras 2.5.A y 2.5.B respectivamente.

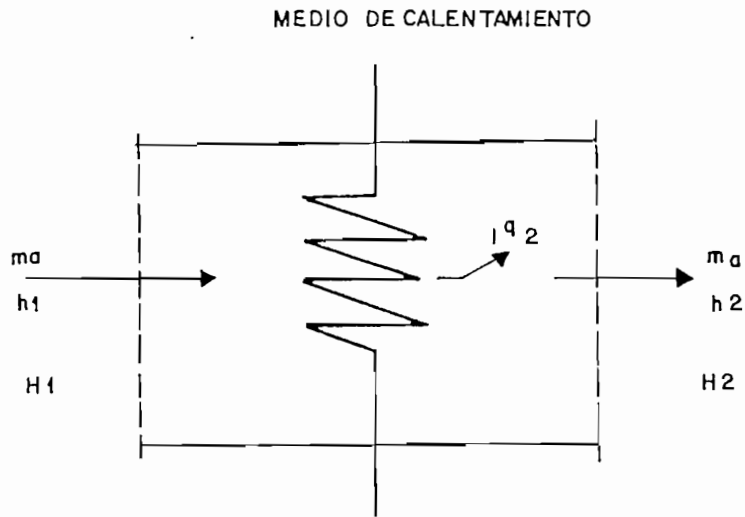


Fig. 2.5.A.- Proceso de Calentamiento

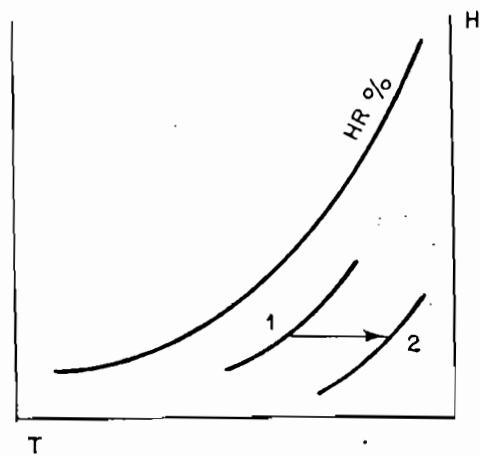


Fig. 2.5.B.- Diagrama Psicrométrico de un Proceso de Calentamiento

- Enfriamiento.- En este proceso se disminuye la temperatura, manteniendo constante la humedad absoluta (H). En el diagrama psicrométrico se representa este proceso, con una línea horizontal hacia la izquierda.

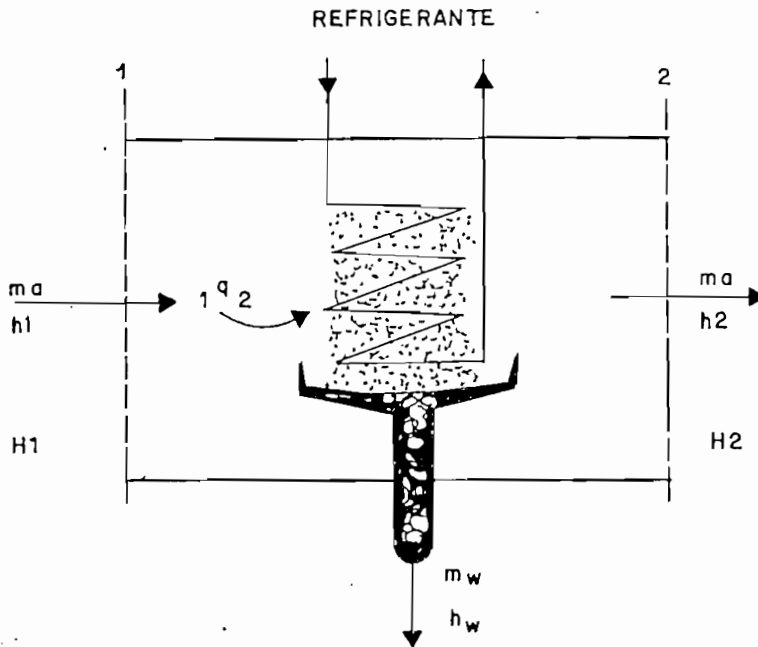


Fig. 2.6.A.- Proceso de Enfriamiento

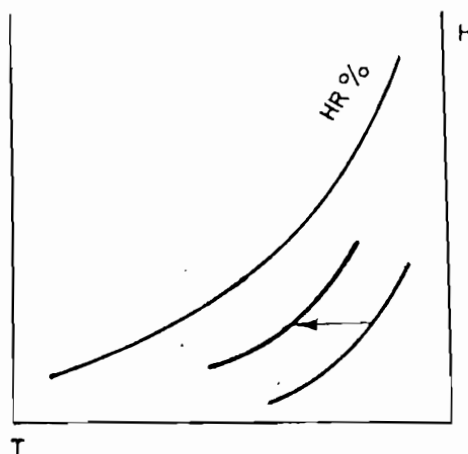


Fig. 2.6.B.- Diagrama Psicrométrico de un Proceso de Enfriamiento

- Enfriamiento y deshumidificación.- Es la combinación de dos procesos en el cual hay disminución de temperatura y de la humedad absoluta. Este proceso puede efectuarse por medio de un enfriador de superficie, en el cual el aire pasa sobre tubos enfriados por salmuera o con una corriente refrigerante que pasa por ellos.

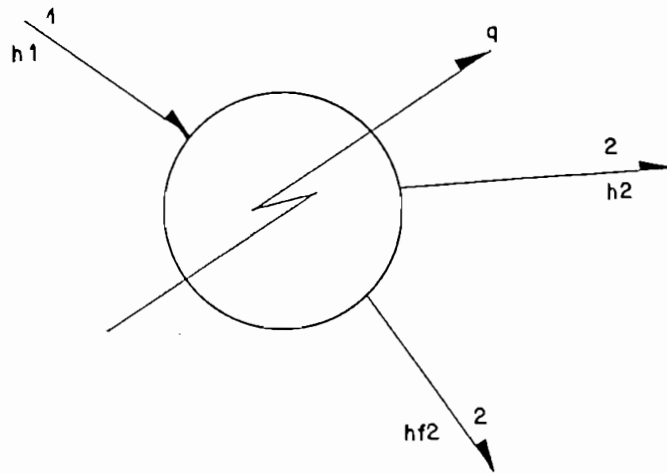


Fig. 2.7.A.- Proceso de Enfriamiento y Deshumidificación

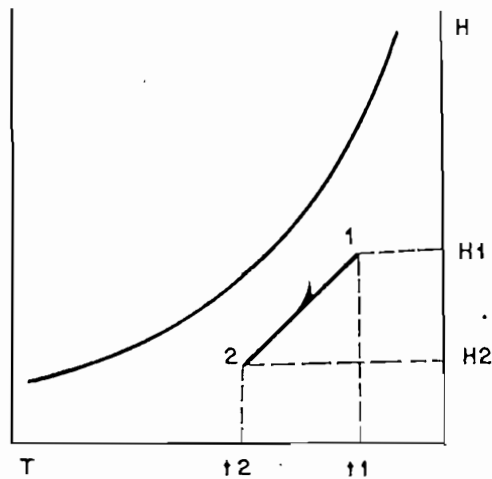


Fig. 2.7.B.- Diagrama Psicrométrico de un Proceso de Enfriamiento y Deshumidificación



- Calentamiento y humidificación.- Hay aporte tanto de calor latente como sensible, y como consecuencia existe aumento un de temperatura y de humedad absoluta.

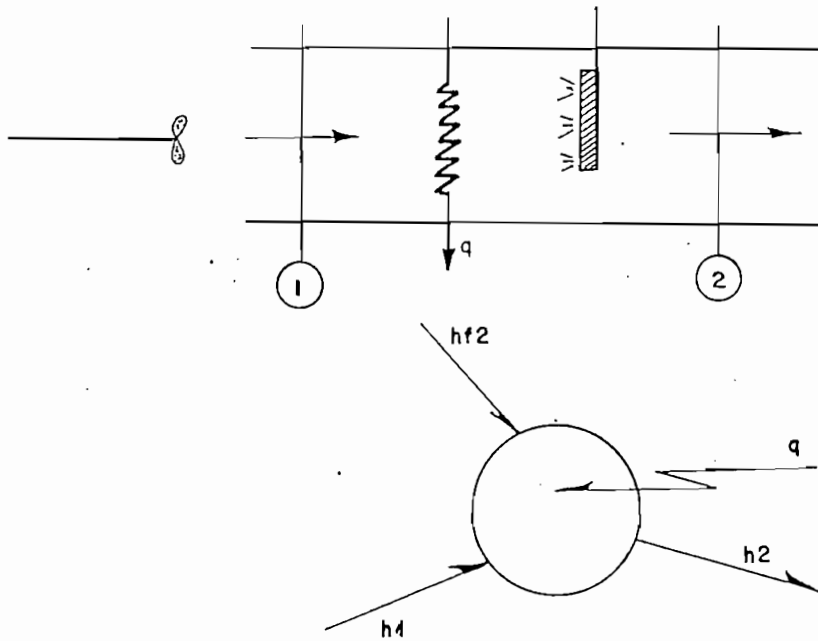


Fig. 2.8.A.- Proceso de Calentamiento y Humidificación

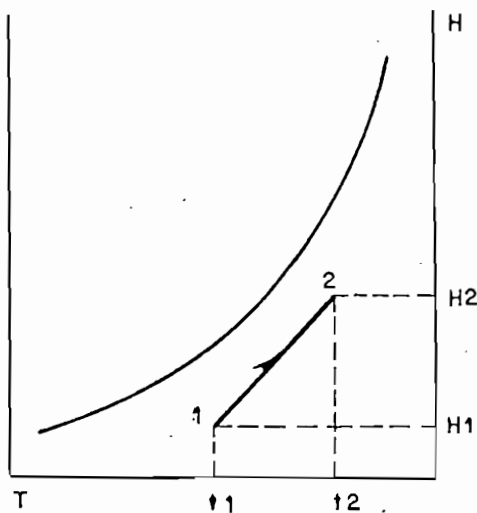


Fig. 2.8.B.- Diagrama Psicrométrico de un Proceso de Calentamiento y Humidificación

- Saturación adiabática.- Este proceso tiene por finalidad la humidificación de la mezcla, es decir, hay un incremento en la humedad absoluta. No se agrega ni se sustrae calor.

La humidificación es producida en una cámara con pulverización de agua a través de la cual circula la mezcla.

La saturación adiabática es un proceso que solo queda definido en la medida que se establezcan las condiciones del agua de humidificación, de tal forma que el proceso puede darse de acuerdo a cualquiera de las siguientes evoluciones gráficas de la figura 2.9.B.

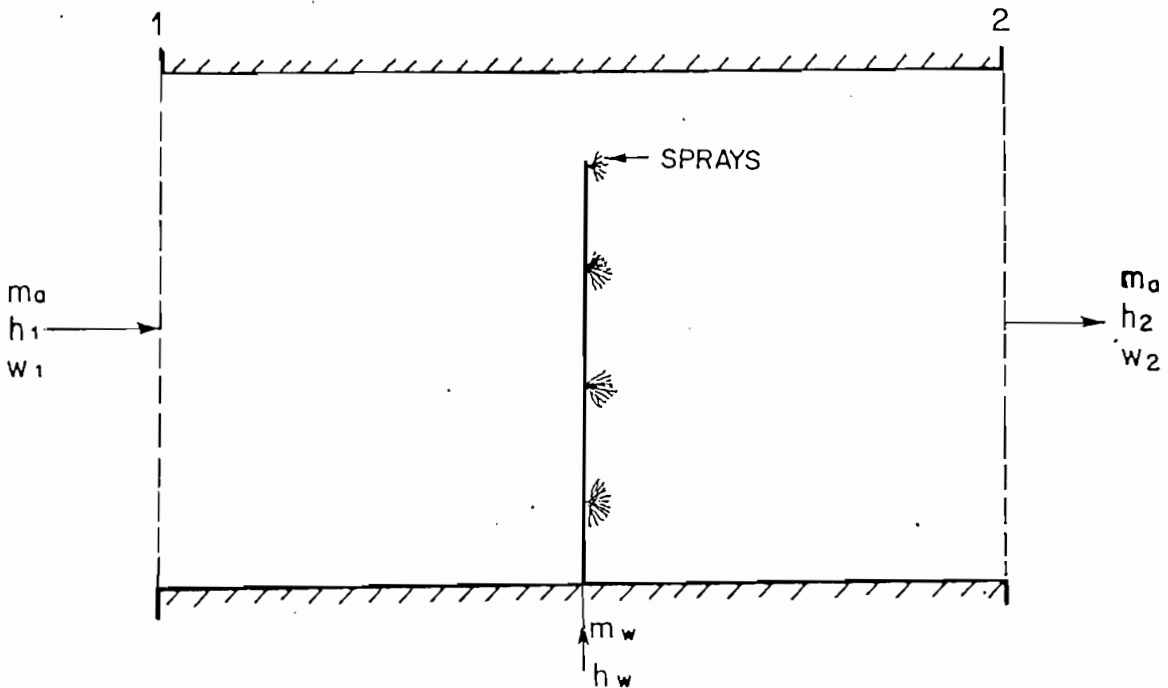


Fig. 2.9.A.- Proceso de Saturación Adiabática

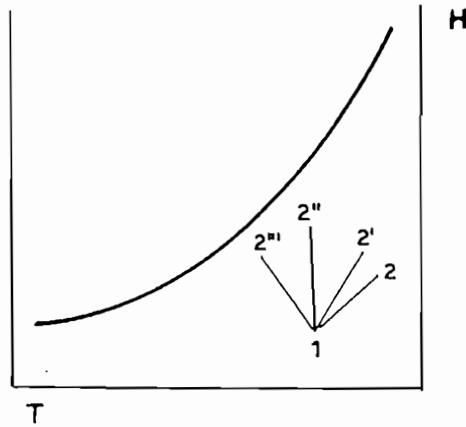


Fig. 2.9.B.- Diagrama Psicrométrico de un Proceso de Saturación Adiabática

- Mezcla de dos atmósferas. - Consiste en mezclar dos atmósferas para obtener una tercera, este es un proceso adiabático. Es uno de los análisis más importantes en aire acondicionado debido a que se da tanto en forma real como teórica.

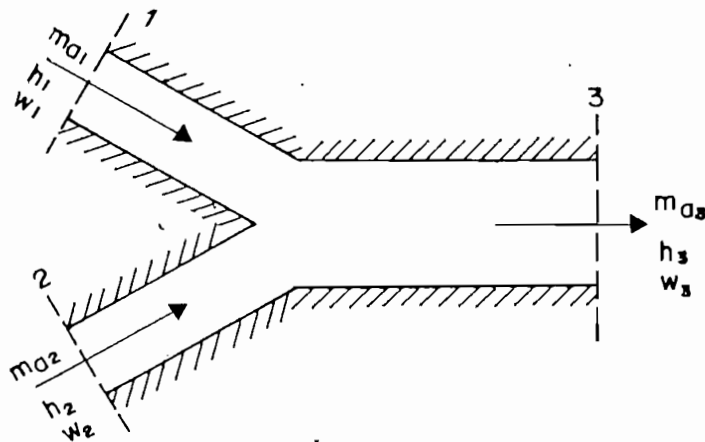


Fig. 2.10.A.- Proceso de Mezcla de Dos Atmósferas

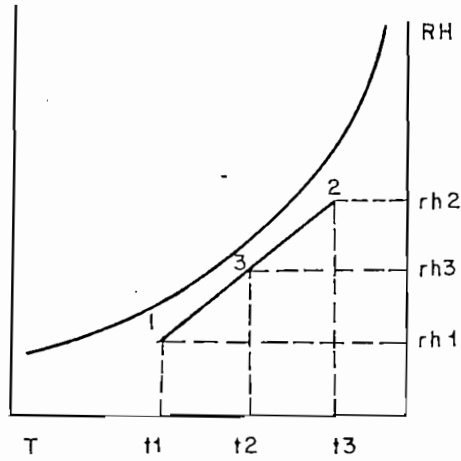


Fig. 2.10.B.- Diagrama Psicrométrico de un Proceso de Mezcla de Dos Atmósferas Sin Saturación

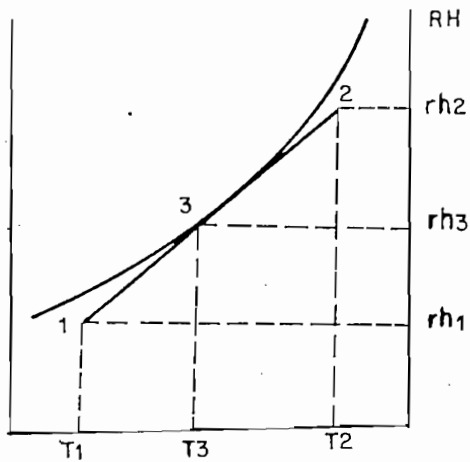


Fig. 2.10.C.- Diagrama Psicrométrico de un Proceso de Mezcla de Dos Atmósferas Con Saturación

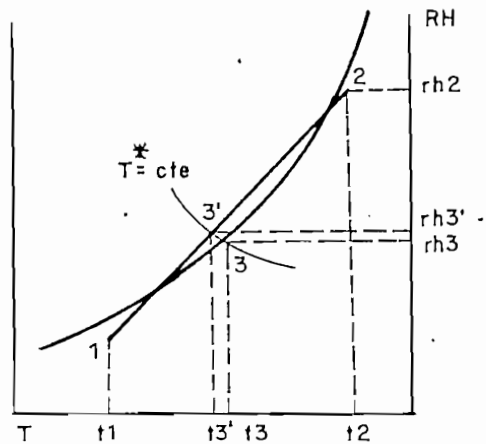


Fig. 2.10.D.- Diagrama Psicrométrico de un Proceso de Mezcla de Dos Atmósferas Con Presencia de Niebla

### 2.3.3 Tipos de acondicionamiento de aire

El acondicionamiento de aire puede ser de los siguientes tipos: de pulverización o atomización, de superficie, de pulverización y superficie combinados, y de adsorción o absorción.

- Acondicionadores de aire del tipo de pulverización.-

Llamados también de rociado o de atomización, se emplean para humidificar o deshumidificar.

- Acondicionadores de aire del tipo de superficie.-

Este consiste en tubos de superficie lisa o con aletas sobre las cuales se hace pasar el aire, los tubos pueden contener agua fría o caliente, un refrigerante químico o vapor de agua. Dependiendo de que se efectúe enfriamiento o calentamiento.

- Sistema de adsorción y absorción.- Los sistemas de adsorción deshidratan el aire por contacto con un material adsorbente. Un material adsorbente es una sustancia sólida capaz de atraer un líquido o vapor por la acción físico-químico de sus poros submicroscópicos.

Los sistemas de absorción acondicionan el aire por contacto con una solución higroscópica contenida en un aparato de contacto.

#### 2.3.4 Distribución del aire acondicionado para centros de cómputo.

Se debe dar una cuidadosa atención al método que se aplica para la distribución de aire, con el fin de eliminar áreas de excesivo movimiento de aire y focos de calor.

Indistintamente al tipo de sistema que se usa, debe existir un mínimo de aire fresco para el personal. Esto ayuda a eliminar el ingreso de polvo, reduce la carga de calor latente, y permite al sistema llevar básicamente un proceso de enfriamiento sensible. Desde éste punto de vista se consideran los siguientes métodos de distribución de aire. (Instalation Manual-Physical Planning, IBM, 1987).

- Distribución de aire por el piso.- En este tipo de distribución, el espacio entre el piso del local y el piso falso es usado como un medio de suministrar aire para el enfriamiento del equipo. Este tipo de distribución de aire se esquematiza en la figura 2.11.

Los pisos de concreto del local podrían requerir un tratamiento especial con el fin de evitar el desprendimiento de polvo. El aire es descargado en el local a través de rejillas en el piso. El aire retorna directamente al equipo acondicionador de aire o por medio del sistema de ductos de retorno de aire en el techo.

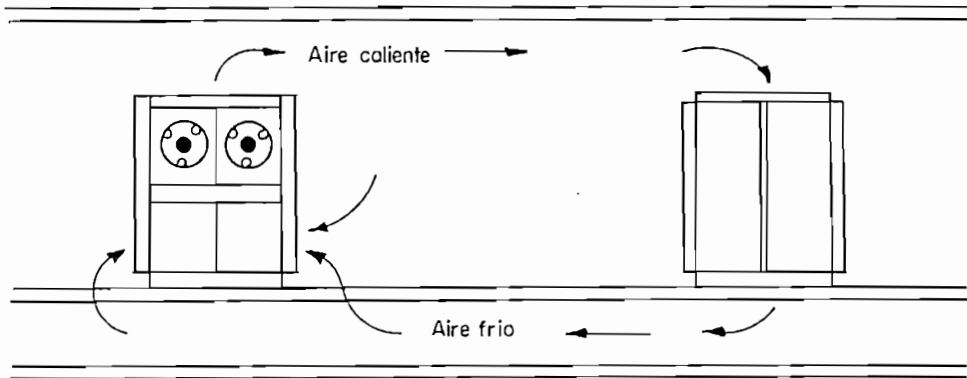


Fig. 2.11.- Distribución de Aire por el Piso

Un retorno de aire caliente es tolerado por éste sistema de distribución de aire sin que las condiciones de diseño de toda la sala de cómputo se vean afectadas. El diseño de éste sistema de distribución considera el factor de transferencia de calor a través del piso falso metálico y además provee una cantidad de aire recalentado para controlar la humedad relativa en el aire antes de que este entre a la sala.

- Distribución de aire por el techo.- En la circulación de aire por el techo, toda la carga calorífica de la habitación o área, incluyendo el calor generado por el equipo de procesamiento de datos, es absorbido por el aire inyectado a la sala de cómputo y al sistema difusor de área o por ductos a presión en el techo. (Esto es necesario para

que el aire caliente baje y circule).

El retorno de aire se lo hace por medio de ductos cuyas aberturas se encuentran sobre los equipos que generan calor o desde rejillas ubicadas tanto en el techo como en las paredes del local. La figura 2.12 presenta éste sistema de distribución de aire.

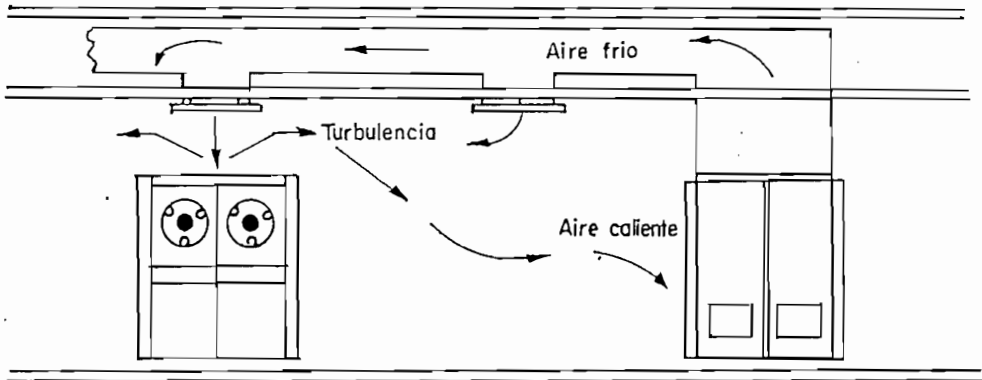


Fig. 2.12.- Distribución de Aire por el Techo

- Sistema de distribución combinados.- En la figura 2.13 se observa el diseño de un sistema combinado de circulación de aire techo-piso falso. La unidad de aire acondicionado principal ésta ubicada dentro de la sala de cómputo y la secundaria fuera de ella.

Un manipulador de aire con controles separados proporciona aire filtrado y acondicionado hacia el área bajo el piso falso. El aire es descargado por paneles o rejillas ubicadas en el piso. Este aire absorbe el calor generado



por las máquinas y es descargado por la parte superior de las mismas a la sala de cómputo. La humedad relativa del aire entregada al equipo de procesamiento de datos debe ser menor al 80% y la temperatura debe ser controlada para prevenir la condensación dentro y/o fuera de las máquinas.

La unidad secundaria de aire acondicionado entrega el flujo directamente hacia la sala, y debe ser lo suficientemente grande para absorber la carga remanente de la sala de cómputo. Esta unidad mantiene la temperatura y humedad relativa en la sala de acuerdo a las especificaciones dadas por el fabricante y además proporciona un continuo flujo de aire acondicionado.

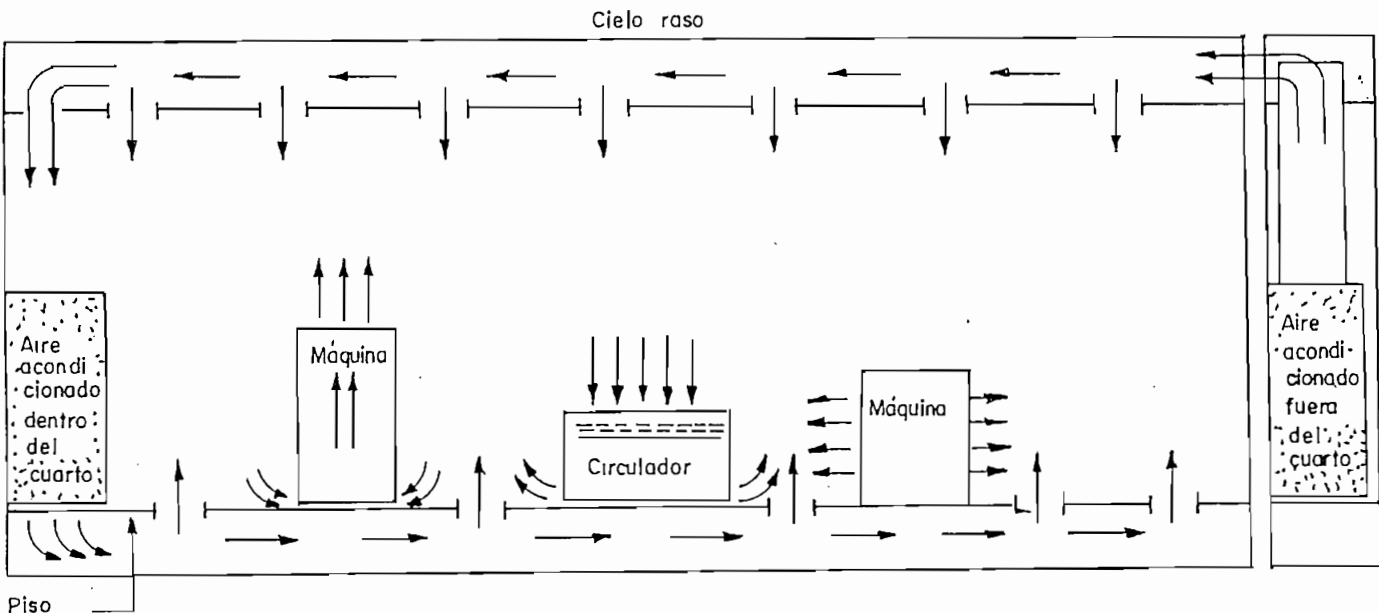


Fig. 2.13.- Distribución Combinada de Aire

### 2.3.5 Cálculo del flujo de salida de aire de un equipo de aire acondicionado, dependiendo de la carga sensible

El flujo de salida del equipo de aire acondicionado solo

depende de las cargas sensibles que se encuentren en el recinto de control (RECKNAGEL-SPRENGER,1974), es decir, de la cantidad de calor que debe retirar. Con el fin de establecer los requerimientos térmicos del equipo acondicionador se necesitan evaluar las cargas máximas que dicho equipo debe absorber. La sumatoria de todas las cargas constituyen el calor ganado por el local.

$$FO = \frac{1.16277 Q_{\text{sensible total}}}{C_p * \delta * T}$$

donde: FO => flujo de salida de aire [m<sup>3</sup>/hora]

Q<sub>sensible total</sub> => calor sensible total [W]

C<sub>p</sub> => calor específico del aire [Kcal/Kg°C]

δ => densidad del aire [Kg/m<sup>3</sup>]

T => temp. del local menos temp. del equipo [°C]

En un centro de cómputo se consideran fuentes de calor a:

- Calor disipado por los equipos computacionales.- En general se puede decir que el calor disipado por los equipos electrónicos viene especificado por el fabricante, en el caso de no tener esta información se puede estimar la disipación mediante la potencia eléctrica consumida. Para expresar en unidades inglesas [BTU/h] se multiplica la potencia dada en watios por el factor de 3.41.

- Calor debido a las luminarias.- Para obtener el calor disipado debido al equipo de iluminación, se aplica

- Calor debido a las personas .- El calor disipado por los ocupantes en un recinto depende fundamentalmente del trabajo que éstos esten efectuando. Con fines prácticos existen estimaciones reconocidas técnicamente, las cuales se presentan en la tabla 2.3 (BORJA,1990,98):

Para el personal de un centro de cómputo se puede

ACTIVIDAD	CAL. SENSIBLE [BTU/h]	CAL. LATENTE [BTU/h]	CALOR TOTAL [BTU/h]
Sentado	195	155	350
Trab. ligero	200	250	450
Trabajo moderado	245	605	850
Trab. fuerte	465	980	1450

TABLA 2.3 CALOR DISIPADO POR EL HOMBRE EN DIVERSOS TRABAJOS

- Calor debido a las tuberías.- La ganancia de calor debido a las tuberías depende de las características de la misma, así: diámetro, longitud en donde hay variación de temperatura; material, para conocer el coeficiente de transmisión de calor  $U$  [W/m°C]. Se aplica la relación matemática:

$$Q_{DUCTOS} = 3.41 * L * U * (T_{EXT.} - T_{INT.}).$$

- Calor disipado a través de techos, paredes, ventanas.- Los techos, paredes, ventanas, puertas, etc., disipan calor por conducción.

Conducción de calor, es la transferencia de calor desde un lugar de mayor temperatura hacia otro de menor temperatura.

En el caso de que el recinto de control tenga menor temperatura que la del medio ambiente externo, habrá conducción de calor a través de paredes, techos, etc.; la cantidad de calor que fluye del exterior hacia el local de

exterior (expuesta), tipo de superficie. Existen cuadros y tablas que indican la temperatura de una superficie en función de las horas del día, de la latitud, de la orientación, etc..

La ecuación para determinar el calor disipado por conducción es, (BORJA, 1990, 99):

U           => coef. de transmisión de calor [W/m<sup>2</sup>°C]

T<sub>EXT.</sub>       => temperatura externa [°C]

T<sub>LOCAL</sub>      => temperatura interna [°C]

A continuación se presenta algunos valores del coeficiente de transmisión de calor (U)

OBJETOS DE DISIPACION DE CALOR	U [W/m <sup>2</sup> °C]
PAREDES EXTERIORES	
de madera rebocada	0.4375
de ladrillo 8" rebocado	0.5250
de bloque hormigón de 10"	0.6820
de bloque de 4" rebocado y enlucida a 12"	0.3500
PAREDES INTERIORES	
de ladrillo de 4" enlucido a los dos lados	0.7525
de bloque de 4" enlucido a los dos lados	0.7000
de madera enlucida con 1/2" de aislamiento	0.3675
PISOS, TECHOS Y TUMBADOS	
techo revocado sin piso	1.0850
techo revocado con piso de 1"	0.4900
piso o techo de concreto de 8"	0.9275
piso típico de madera	0.6125
techo típico de concreto	0.4375
VENTANAS	
de cristal sencillo	5.2320
con doble cristal (1/5")	3.2558
de vidrio sencillo masillado	5.8139
de doble vidrio masillado de 4.7"	2.3255
PUERTAS EXTERIORES	
de madera y material plástico	3.4880
de madera con cristal, simple	4.6510
de madera con cristal, doble	2.3250
de acero y metal	5.8140

TABLA 2.4 COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CALOR

- Calor debido a infiltraciones de aire y ventilación.- Las infiltraciones de aire son ingresos pequeños de aire no deseados ni previstos; estos se presentan en las puertas, ventanas, particiones que representan un cambio en las condiciones ambientales internas del local. Este cambio puede ser cuantificado por medio de las cartas psicrométricas.

El aire fresco que se necesita en un recinto no se satisface con las infiltraciones de aire, por lo que se requiere forzar el ingreso de aire para la ventilación. La ganancia de calor debida a la ventilación debe utilizarse para los cálculos de la capacidad de aire acondicionado, en tanto que la ganancia debida a infiltraciones es despreciable.

Como fuente de calor externa que afecta al local acondicionado, es el ingreso de aire necesario para la ventilación.

La presión del aire en el volumen de control es mayor que la presión exterior, impidiendo así, el ingreso de aire por infiltraciones o particiones, siendo necesario tener un sistema de ventilación para satisfacer la necesidad de renovaciones de aire en el local.

El aire que ingresa para la ventilación debe ser previamente filtrado y se deben considerar las

características del mismo en cuanto a temperatura y humedad relativa; considerándose una carga para el equipo de aire acondicionado el sistema de ventilación.

#### 2.4 ESTANDAR DE CONDICIONES AMBIENTALES PARA SISTEMAS DE CONTROL Y MEDICIONES DE PROCESOS (ISA-SP71.A3 Draft Standard)

El propósito de este estándar es establecer una clasificación uniforme de las condiciones ambientales para mediciones en procesos industriales y sistemas de control.

##### 2.4.1 Alcance

- Esta norma especifica las condiciones ambientales de temperatura y humedad y su medida en procesos industriales y equipo de control. Estándares adicionales incluyen todos los parámetros ambientales (excluyendo las nucleares) los cuales serán considerados en la preparación de las especificaciones para la adquisición de datos, control y equipo de computación en los procesos industriales. Los procesos industriales incluyen químicos, petroleros, generación de energía, metalúrgicos, comidas, textiles, papel y numerosas industrias adicionales.

- Este estándar intenta incluir parámetros ambientales para instalaciones fijas (no móviles) durante operación normal (condiciones no emergentes) o durante la

transportación y almacenamiento.

- Las clases de condiciones ambientales establecidas en el estándar, están disponibles para el uso en todas las actividades relacionadas con la instrumentación del proceso; que incluyen diseño, manufacturación, ventas, instalación, pruebas, uso y mantenimiento.

Estas clases podrían servir de guía cuando se establezcan requerimientos para el control ambiental de edificios u otros lugares que necesiten protección.

- Esta clasificación concierne solamente al medio ambiente externo del equipo. Condiciones en su interior de está fuera del alcance de éste estándar.

- Los efectos de las condiciones del medio ambiente sobre la seguridad, confort y comportamiento del personal de operación y mantenimiento no se consideran en este estándar.

#### 2.4.2 Introducción

La clasificación ambiental ha sido establecida para cada parámetro de acuerdo al tipo de localización. Para algunos parámetros se han establecido algunos niveles de seguridad dentro de cada clase de localización. Valores límites de los parámetros son tabulados para cada clasificación y

nivel de severidad de la localización. La clasificación consiste de la clase identificada seguida por el identificador de severidad.

Ejemplo: Temperatura y humedad clasificación A2 representaría:

Clase A y nivel de seguridad 2. (referirse a 2.4.4)

Para un mismo equipo se deben dar especificaciones tanto de las condiciones ambientales de trabajo como de la operación misma del equipo. Con lo que se logra tener un mejor conocimiento de dicho equipo. Ejemplos:

#### Temperatura y Humedad

Condición normal de operación:	Clase A2
Influencia de operación:	
Influencia de la temperatura ambiental:	+/-0.1%/5 °C
Límites operativos:	Clase B2
Condiciones de transporte y almacenamiento:	Clase C2
Condiciones de mantenimiento:	B3

#### Alimentación

Condición normal de operación:	30V dc Clase E1,F1
Influencia de operación:	
Efecto de la fuente de voltaje:	< 0.01%
Límite de operación:	Clase E3,F3,G4

#### Radiación Electromagnética



Condición normal de operación:	Clase B1
Influencia de operación:	
Influencia EMI/RFI:	< 0.02%
Condiciones de mantenimiento:	Clase C3

### Golpe y Vibración

Condición normal de operación:	Clase B2
Influencia de operación:	
Corrimiento de cero:	< 0.1%
Ancho de banda:	< 0.2%
Límites de operación;	Clase C3
Condiciones de transporte y almacenamiento:	Clase C3

### 2.4.3 Definiciones

- Condiciones de operación normal, Límites de operación y Condiciones de transporte y almacenamiento.-

Estos términos están definidos en la norma ISA-S51 Standard-Process Instrumentation.

- Condiciones de mantenimiento.- Condiciones bajo las cuales se desarrolla el mantenimiento.

- Mantenimiento.- Cualquier actividad destinada a mantener el equipo en una condición satisfactoria de trabajo, incluye pruebas, mediciones, reemplazos, ajustes y reparaciones. (Ref. SAMA Standard PMC 32.1).

#### 2.4.4 Clasificación de localizaciones

- Localizaciones de aire acondicionado (CLASE A).- Son lugares donde existe control, de temperatura y de humedad del aire.

Estas localizaciones usualmente están en procesos controlados por computadoras o donde existan equipos electrónicos que requieren aire controlado del medio ambiente. Los locales con equipos de control para niveles críticos de un proceso también se ubican en ésta categoría.

Consideraciones especiales serán dadas donde exista material higróscopico como en el caso de papeles perforados. En este caso, el rango de humedad relativa sería de 55% a 65% dependiendo de las especificaciones del fabricante.

Valores puntuales típicos para ésta clase son 23 °C y 50% de humedad relativa. Ver tabla 2.5 para parámetros específicos.

- Lugares cerrados a temperatura controlada (CLASE B).- Lugares donde hay control de la temperatura pero no de la humedad del aire.

En estos lugares se requiere la continua vigilancia de un operador. Esta clase también puede corresponder a

condiciones de almacenamiento y ocasionalmente de transporte.

El punto típico de control es de 23 °C.

- Lugares acorazados o protegidos (CLASE C).- Lugares protegidos de la exposición directa a elementos climáticos tales como luz del sol, lluvia y otras precipitaciones, y, presión del viento.

Ni calentamiento o enfriamiento son normalmente provistos. La ventilación puede ser natural o forzada. La mínima temperatura puede ser tan baja como la temperatura exterior del aire, la máxima temperatura puede ser considerablemente mayor que la temperatura del aire exterior, debido a la radiación solar de las paredes acorazadas. Podrían ocurrir condensaciones sobre las superficies dentro del acorazamiento o dentro del equipo que se encuentra en él debido a que en ciertas temporadas la temperatura toma valores bajo el punto de condensación local.

En los locales acorazados se requiere una mínima protección para operadores, personal de mantenimiento o equipo.

- Lugares externos (CLASE D).- Lugares donde no hay protección especificada del medio ambiente local.

Los equipos instalados en estos lugares podrían estar

CLASE	PARAMETROS	SEVERIDAD			
		1	2	3	4
A	Rango de temp. [°C]	18-27	18-27		
	Control toleran.[°C]	+/-2	+2		
	Velocidad max. [°C/h]	+/-5	+/-5		
	Rango de hum. rel.	35-75%	20-80%		
	Control toleran.	+/-5%	+/-10%		
B	Rango de temp.	15-30	5-40	5-40	5-50
	Control toleran.	+/-2	+/-3	+/-10	+/-10
	Velocidad max	+/-5	+/-10	+/-20	+/-20
	Rango de hum. rel.	10-75%	10-75%	5-90%	5-90%
	Contenido hum. [Kg/Kg]		0.020	0.028	0.028
C	Rango de temp.	25-55	-40 a 70		
	Velocidad max.	+/-5	+/-10		
	Rango de hum. rel.	5-100%	5-100%		
	Contenido hum.	0.028	0.028		
D	Rango de temp.	-25-70	-40-85	-55-65	
	Velocidad max	+/-10	+/-20	+/-20	
	Rango de hum. rel.	5-100%	5-100%	5-100%	

TABLA 2.5 ESPECIFICACIONES AMBIENTALES

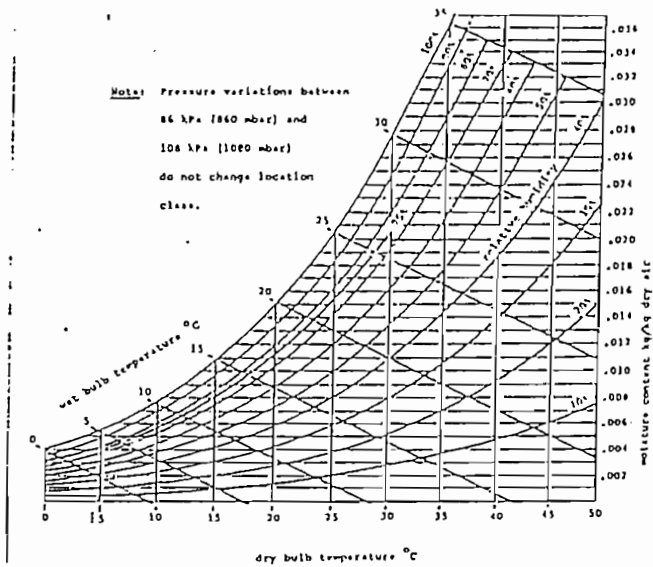


Fig. 2.14.A.- Diagrama Psicrométrico para la Localización CLASE B2

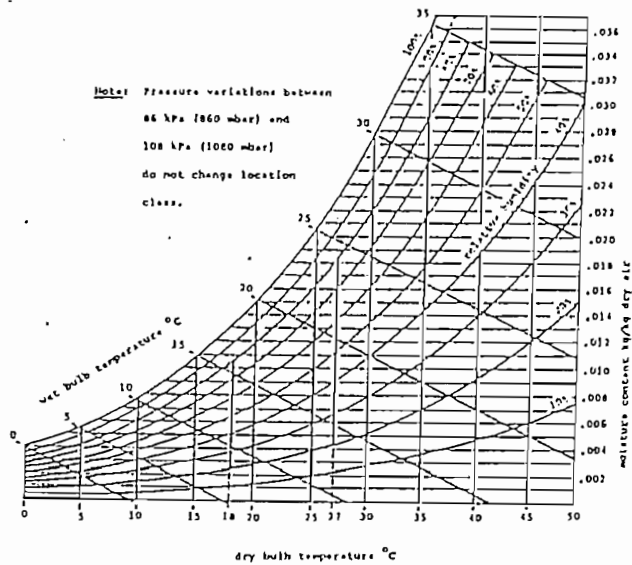


Fig. 2.14.B.- Diagrama Psicrométrico para la Localización CLASE A2

## 2.5 CONTAMINACION AMBIENTAL

Otro parámetro importante que influye en el buen funcionamiento de los equipos de un centro de cómputo es la contaminación ambiental, (polvo, humo, gases, partículas sólidas, etc).

Para poder efectuar buenas mediciones y conseguir que los filtros trabajen eficazmente es importante determinar el tamaño de las partículas suspendidas en el aire. En la figura 2.15 (RECKNAGEL-SPRENGER, 1974, 7), se presenta la distribución promedio de los distintos tamaños granulares.

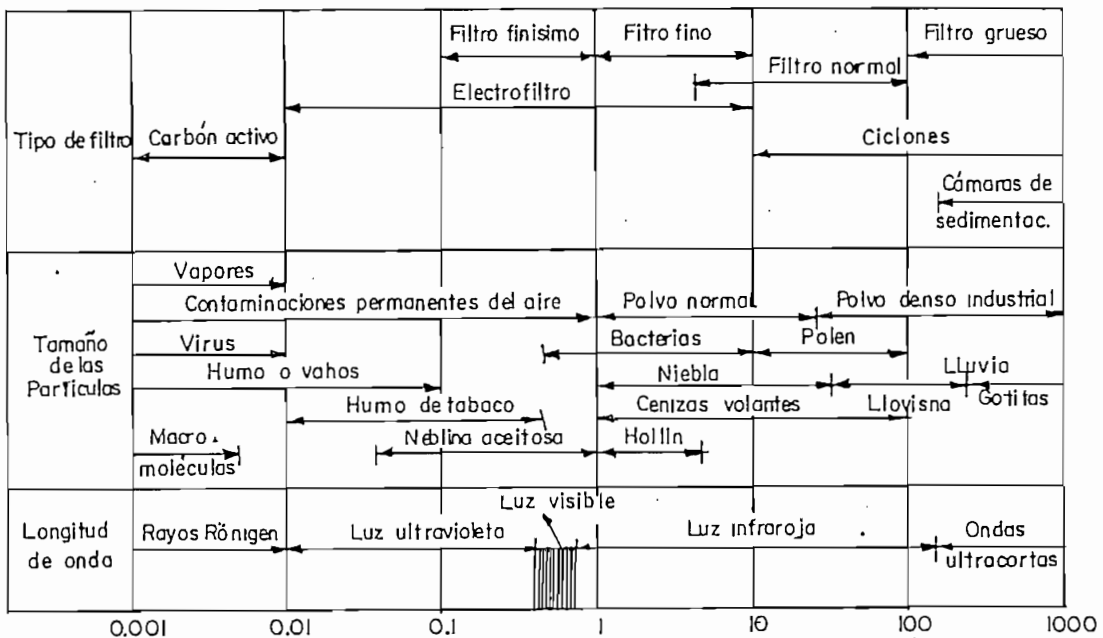


Fig. 2.15.- Tamaño de Partículas Suspendidas en el Aire

### 2.5.1 Métodos de depuración del aire

Los depuradores de aire son dispositivos para la separación de polvo y otras contaminaciones del aire. Un buen depurador de aire debe cumplir con las siguientes exigencias:

- El grado de despolvamiento tiene que ser suficiente y uniforme.
- Suficiente capacidad acumuladora de polvo.
- De fácil montaje y mantenimiento.

Los métodos de depuración del aire dependen exclusivamente del tamaño de las partículas (figura 2.15). Empezando por las partículas de mayor tamaño se tienen los siguientes métodos:

- Cámaras de deposición y pulverizadores de agua.- Se utiliza para la eliminación de polvo industrial más pesado, partículas de gran tamaño.

Son generalmente grandes cámaras donde se expande el aire canalizado cargado de polvo; el aire así pierde su velocidad y consecuentemente su poder de portador. Esto provoca la caída de los polvos al fondo de la cámara.

La cámara tiene tabiques para que no haya salida de flujo de aire a través de la cámara; también actúan de paredes

donde chocan las partículas de polvo perdiendo su energía dinámica.

En algunos casos éstas cámaras requieren de chorros de agua pulverizada, en este caso el vapor de agua se condensa alrededor de la partícula creándole un sobrepeso y arrastrándola hacia el fondo, bajo la influencia del aire.

La resistencia de estas cámaras al paso del aire es pequeña, depende del número de tabiques. (SANS,1970,65).

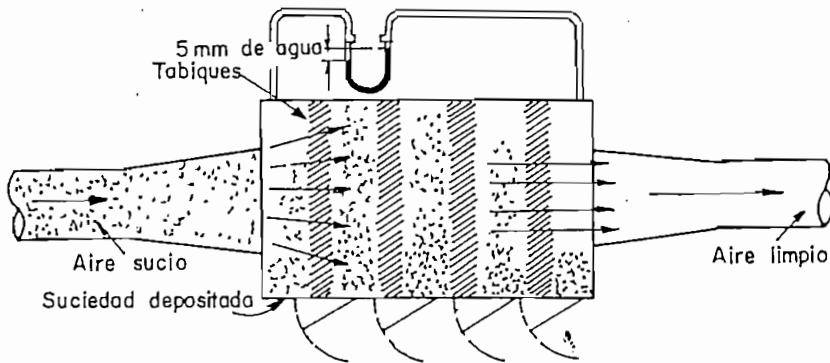


Fig. 2.16.A.- Cámara de Deposición

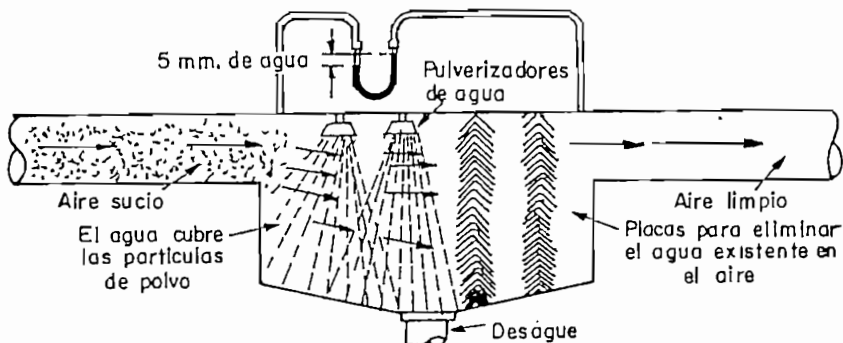


Fig. 2.16.B.- Precipitación por Pulverización de Agua



- Ciclones.- Este método se usa en el caso de polvo industrial pesado y tamaños más pequeños hasta polvos finos como la harina. El ciclón es una cámara dinámica de deposición, en la cual el aire se inyecta tangencialmente dentro del cilindro. La fuerza centrífuga obliga al polvo a precipitarse contra la pared del cilindro, luego cae a una tolva, la cual se vacía periódicamente.

Los ciclones pueden ser diseñados para varios tamaños de partículas y también pueden ser usados en serie para separaciones de diferentes tamaños de polvos.

- Filtros con elementos de material fibroso.- Los filtros se les intercala en el circuito de aire y operan hasta que la pérdida de presión a través de ellos, debido a la acumulación del material en suspensión llega a un punto crítico. Posteriormente, el filtro es sustituido por uno nuevo (desechables), o se lo limpia y se lo vuelve a instalar (no desechables). Los filtros de material fibroso pueden ser de tipo viscoso o de tipo seco.

Filtros viscosos.- Generalmente está fabricado con tela, material fibroso (almohadillas) o en algunos casos con placas recubiertas de un producto viscoso donde se adhieren las partículas de polvo. La elección del producto viscoso es muy importante; debe tener un gran poder humectante, viscosidad estable, inodoro, no debe evaporarse ni ser inflamable. Los productos usados deben ser aceites.

El filtro puede ser tipo recambiable en el cual la tela se usa como soporte del producto humectante; o se puede limpiar empleándose lana de metal o vidrio, cubiertas metálicas o telas reforzadas. En algunos casos los filtros son de autolimpieza y posee una banda filtrante en continuo movimiento, la cual pasa periódicamente a través de un baño limpiador de aceite.

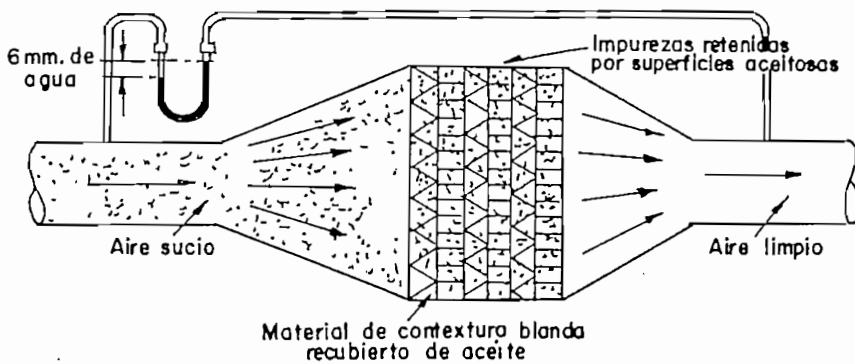


Fig. 2.17.- Filtro Viscoso

Filtros secos.- Estan hechos de tejidos de malla fina, retienen mayor cantidad de partículas que los filtros viscosos. Uno de los modelos de filtros secos son aquellos en los que existe en varios sacos cilíndricos unidos a un marco ofreciendo gran área al paso del flujo de aire, provocando una ligera depresión e incrementando la capacidad de recogida de polvo, por lo general existe un dispositivo para vaciar el polvo filtrado del interior de los sacos a un depósito situado en la base. Este método es usado en la industria textil, donde las fibras de algodón

están siempre en suspensión.

Un segundo tipo, utilizado en pequeños sistemas de inyección de aire, consiste en varios paneles planos o con pliegues, conteniendo un fabricado de papel o tela arrugada. Estos paneles son eliminados y reemplazados cuando están sucios.

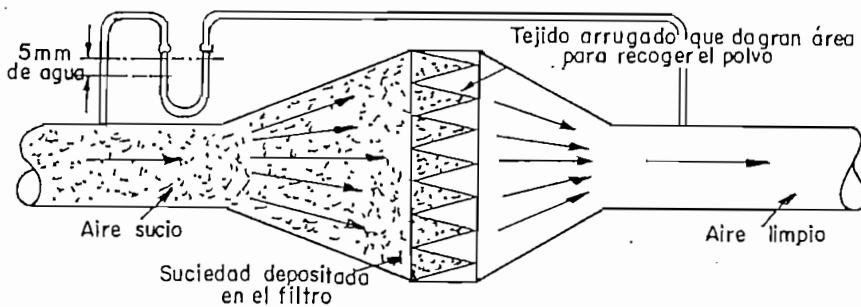


Fig. 2.18.- Filtro Seco

- Precipitadores electrostáticos.- Basa su principio de funcionamiento en un concepto elemental de electricidad que es, "partículas de la igual carga se repelen y de carga contraria se atraen". El aire pulverulento pasa a través de finos hilos que poseen una carga electrostática positiva aproximadamente de 13 Kv. Los hilos están conectados alternativamente con varillas o tubos de potencial cero. Las partículas de polvo al atravesar el campo electrostático, entre hilos y varillas, adquieren carga positiva.

- En lo que se refiere a la ubicación del local del centro de cómputo, se debe evitar que se encuentre en zonas en las que exista contaminación de partículas sólidas y gases tóxicos o inflamables. Debido al riesgo que correría el usuario del equipo; y luego porque el equipo sería seriamente afectado por estas substancias, especialmente las tarjetas electrónicas, produciendo oxidaciones o daños en los recubrimientos del metal de los puntos de interconexión o creando depósitos de partículas sólidas en el interior del equipo provocando el mal funcionamiento o afectando a la carcasa del equipo, etc..

- Se debe evitar la entrada de humo y pelusa en las máquinas, utilizando cubiertas plásticas sobre los equipos que no se encuentren en funcionamiento. Además el local debe estar provisto de extractores de humos con el fin de que éste no se acumule en la sala de cómputo.

No es permitido fumar dentro de la sala de cómputo debido al humo y la ceniza las cuales podrían caer dentro del equipo por las rejillas que existen para la circulación del aire en ellos.

- Las luminarias deben estar selladas para evitar la acumulación de polvo, ya que debido a la ionización del aire el polvo se adhiere a la superficie de las luminarias (aumento de temperatura) y cuando se apagan éstas, el polvo cae sobre el equipo.

- El piso de la sala de cómputo debe mantenerse libre de basuras (polvo, papel). No se recomienda el uso de alfombras debido a que retiene gran cantidad de partículas pequeñas, además para su limpieza se requiere de un aspirador que solo retira las partículas grandes y libera a las pequeñas, en algunos casos puede producir carga estática.

Cuando se cubre el piso con piso falso, entre el piso real y el piso falso queda un espacio el cual debe ser sellado herméticamente con el fin de evitar la fuga de aire y la entrada de polvo, bacterias, insectos, etc. También se recomienda el uso de techo falso, los cuales deben estar contruidos de material no inflamable y que no desprenda polvo o partículas sólidas.

- Las cintas magnéticas, diskettes, unidades de disco y las cabezas de lectura-escritura son los más afectados por el polvo o partículas sólidas. Ya que se puede producir una lectura o grabación de la información errónea o la destrucción de la información dependiendo del tamaño de las partículas.

En un centro de cómputo, el aire acondicionado se encarga de controlar y eliminar la entrada de polvo, gases, etc. utilizando filtros de alto rendimiento (99,95%) en la entrada de aire.

Es necesario establecer una velocidad de entrada de aire adecuada con el fin que tanto el filtro y aire acondicionado funcionen en forma óptima; en el caso de que la velocidad de entrada del aire sea lenta, el filtro es muy efectivo en tanto que el equipo de aire acondicionado no trabaja adecuadamente. Si la velocidad del aire es alta (hay mayor circulación de aire), el filtro no cumple con su función de depuración del aire ya que las partículas pasan tan rápido que no pueden ser retenidas por él, en tanto que el equipo de aire acondicionado opera satisfactoriamente, pero se disminuye su tiempo de vida útil debido ya que trabaja con un aire sucio que afectará su normal funcionamiento.

## 2.6 TIPOS DE CONTROL

Para el control de las variables que se van a considerar en este trabajo, el tipo de control que se utiliza es en lazo cerrado, debido a que se puede obtener un error en base a una comparación entre una señal de referencia ( $R$ ) y la señal de salida ( $Y$ ). Además un control en lazo cerrado confiere mayor estabilidad a la planta en el caso de perturbaciones.

La señal de error ( $e$ ) permite obtener a través de un controlador una señal de control ( $U$ ), la misma que es aplicada a la planta a través de un actuador según se

muestra en la figura 2.20.

En el presente trabajo se desea mantener a en niveles adecuados las variables de humedad absoluta, humedad relativa y temperatura, aún en presencia de perturbaciones; esto es, se desea realizar la regulación de éstas variables.

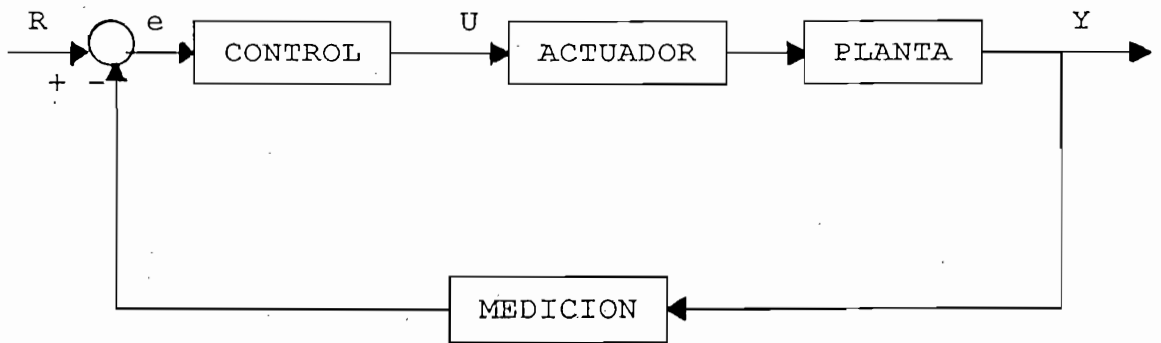


Fig. 2.20.- Sistema de Lazo Cerrado

En lo que se refiere a los esquemas o tipos de control que pueden aplicarse, estos pueden ser convencionales (control clásico) o adaptivos.

Dentro del control clásico se tienen las redes de compensación, controles ON-OFF, control proporcional-integral-derivativo (PID), etc.

Entre los controles adaptivos se tiene; control con ganancia ajustable, MRAS (sistema adaptivo con un modelo de referencia), SOAS (sistema adaptivo auto oscilante), STR (sistema regulador autoajustable), etc.

En este trabajo, se escoge un control adaptivo del tipo ganancia ajustable, ya que, al desarrollar el modelo se obtiene que la ganancia de la planta es función del flujo de salida, al realizar la manipulación del flujo de salida es posible la regulación de la variable temperatura y humedad relativa, mediante un ajuste de ganancia. Por lo que resulta conveniente trabajar con una ganancia que se ajusta a los requerimientos de control de la planta.

Los otros esquemas de control adaptivo son muy sofisticados para esta aplicación, en cambio, que los controles convencionales no serían eficientes ya que no permiten una variación en sus parámetros.

#### 2.6.1 Esquema de control adaptivo tipo ganancia ajustable

No se tiene una definición clara de lo que significa el control adaptivo, sin embargo en algunos textos lo consideran como un tipo de control realimentado no lineal. Un regulador adaptivo se puede considerar como aquel que puede modificar su respuesta de acuerdo a los cambios en la dinámica del proceso o perturbaciones que actúen sobre él.

En algunos sistemas hay variables auxiliares que relacionan el comportamiento dinámico del sistema, si esas variables pueden ser medidas podrán ser usadas para cambiar los parámetros del regulador, este control se conoce como ganancia ajustable o futura, porque el esquema fue



Una desventaja del control de ganancia ajustable consiste en que el control se lo realiza en lazo abierto, de manera que cualquier error en el cálculo de la variable a ajustarse no podrá ser corregida, causando mal funcionamiento en la planta. No existen reglas definidas para el diseño de este tipo de reguladores. La clave es determinar las variables que pueden ser usadas como variables ajustables.

### 2.6.2 Estrategia de control

Según el estudio sobre el equipo de aire acondicionado, este realiza la regulación de la temperatura, humedad relativa, y contaminación ambiental lo que permite tener un control sobre las condiciones ambientales de un local.

En lo que se refiere a la contaminación ambiental, realizar un control de esta variable resulta innecesario lo que se debe hacer es mantener un ambiente limpio utilizando filtros eficientes, los cuales deben ser escogidos de acuerdo con la cantidad de aire circulante, la velocidad del aire, tipo de partículas suspendidas predominantes en el local, etc. Además deben ser periódicamente chequeados para asegurar su confiabilidad de depuración de aire. Por lo tanto el control se efectúa solamente a las variables de temperatura y humedad relativa.

En lo referente a la variable temperatura, dado que la ganancia depende del flujo de salida de aire del equipo acondicionador, la regulación de ésta se lo hace a través del control adaptivo; los detalles del control se plantean y analizan en el capítulo III.

La variable temperatura influye en la humedad relativa, como se pudo ver en el estudio de la carta psicrométrica y en el aire acondicionado. En lo que se refiere a la humedad absoluta, no amerita realizar un control de ésta por las siguientes razones:

- La temperatura es la que realmente incide sensiblemente sobre la humedad relativa, efectuando una regulación de la temperatura, indirectamente se regula la humedad relativa.

- La tolerancia entre un +/-5% (Clase A Severidad 1, referirse a la tabla 2.5) a +/-10% (Clase A Severidad 2) de humedad relativa son aceptables, la relación de humedad relativa con la temperatura y la humedad absoluta esta dada por la siguiente expresión (JIEE, Vol. 8, 1987, 111):

$$HR\% = \frac{H \cdot Pa \cdot f \cdot 100}{0.622 \cdot (0.0027 \cdot T^2 + 0.0363 \cdot T + 0.61)}$$

donde: H => humedad absoluta [kg/kg]

Pa => presión atmosférica [mmHg]

f => factor de corrección que depende de la presión

T => temperatura [°C]

- El equipo de aire acondicionado realiza los procesos de mezcla de dos atmósferas, saturación adiabática y calentamiento sensible cuando la condición de humedad absoluta sale de la zona de trabajo. Cuando hay variación de la temperatura el sistema acondicionador de aire realiza los procesos de calentamiento y enfriamientos sensible, por medio de cerrar o abrir sus compuertas.

En el caso de tener excesivas variaciones de la humedad absoluta o requerimientos en la precisión de control, se plantearía un control para esta variable humedad absoluta que sería del mismo tipo que para la temperatura, pero independiente. Por esto, se considera que se trabaja con una estructura multilazo y no multivariable, por lo explicado anteriormente. La interacción entre la temperatura y humedad absoluta es muy débil, y no justifica realizar un desacoplamiento de variables.

CAPITULO III: SIMULACION DE LAS CONDICIONES  
AMBIENTALES

- 3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 3.2 MODELACION DE UN SISTEMA PARA REGULACION DE  
TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA
- 3.3 MODELO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO
- 3.4 DESARROLLO DE PROGRAMAS DE SIMULACION

esto que se utilizará indistintamente diagramas de bloques, de flujo o de Forrester; de acuerdo a la metodología empleada que es la dinámica de sistemas.

Finalmente en el último numeral de este capítulo (3.4) se presenta la simulación de las condiciones ambientales mediante un programa desarrollado en DYMANO que es un lenguaje propio de simulación.

### 3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el capítulo II se hace un estudio relativo a los requerimientos de temperatura y humedad relativa, que deben cumplirse para el buen funcionamiento de los equipos de computación, con estos datos se determina la zona de trabajo adecuada:

Rango de temperatura de 17 a 21°C (63 a 70°F)

Rango de humedad relativa de 40 a 60%

Rango de humedad absoluta de 0.007 a 0.0138 Kg/Kg (49 a 97 granos/lb).

Las condiciones que deben mantenerse en el local del centro de cómputo es de 19°C y 50% de humedad relativa. La zona de trabajo y la zona donde deben realizarse los procesos de aire acondicionado (mezcla de dos atmósferas, saturación adiabática y calentamiento) se grafican en la carta psicrométrica que se ilustra en la figura 3.1.

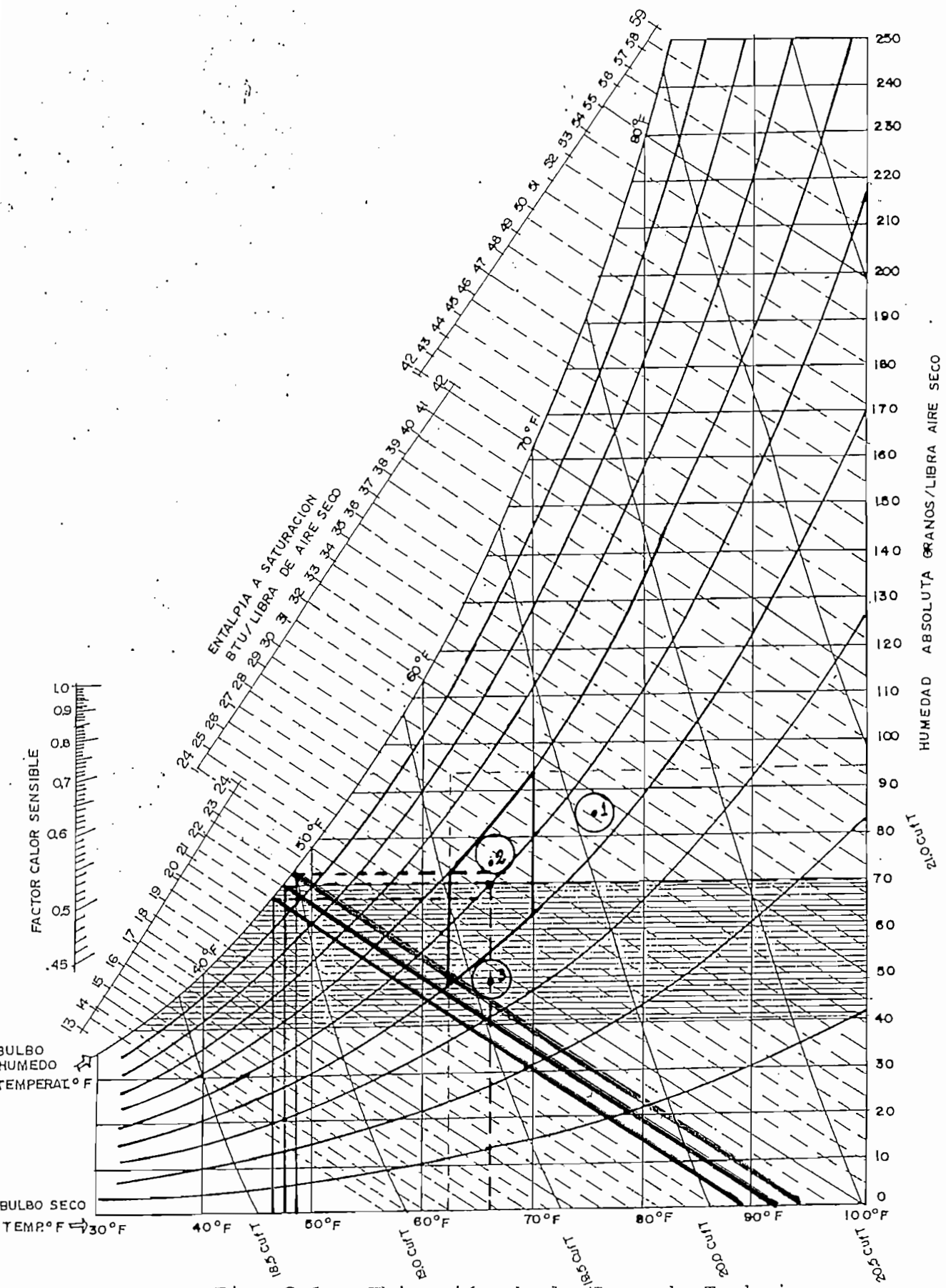


Fig. 3.1.- Ubicación de la Zona de Trabajo

El equipo de aire acondicionado utilizado constará de: una cámara de mezcla, un humidificador, un filtro, un separador de gotas y las compuertas, como se indica en la figura 3.2. Los procesos de calentamiento y enfriamiento se efectúan mediante la variación de flujo de salida, (figura 3.3), el cual es controlado por medio de compuertas, es decir, el local se calienta cuando se disminuye la circulación de aire el recinto aumenta de temperatura debido al calor cedido por los equipos (calor sensible), esto se logra cerrando las compuertas del flujo del aire (el flujo disminuye). En el caso de que se requiera el enfriamiento del recinto, se abren las compuertas, hay mayor circulación de aire por lo tanto disminuye la temperatura.

El flujo de salida de aire del equipo de aire acondicionado depende de las variaciones de la carga sensible existentes en el local, estas variaciones de carga implican cambios en la temperatura del recinto de control. De aquí, que el flujo depende de la temperatura del local.

Las variaciones de calor sensible pueden ocasionarse por, aumento o disminución del equipo, ingreso o salida de personal, cambios de la temperatura exterior, tipo de luminarias, radiación solar, entrada de un flujo de aire frío o caliente, etc..

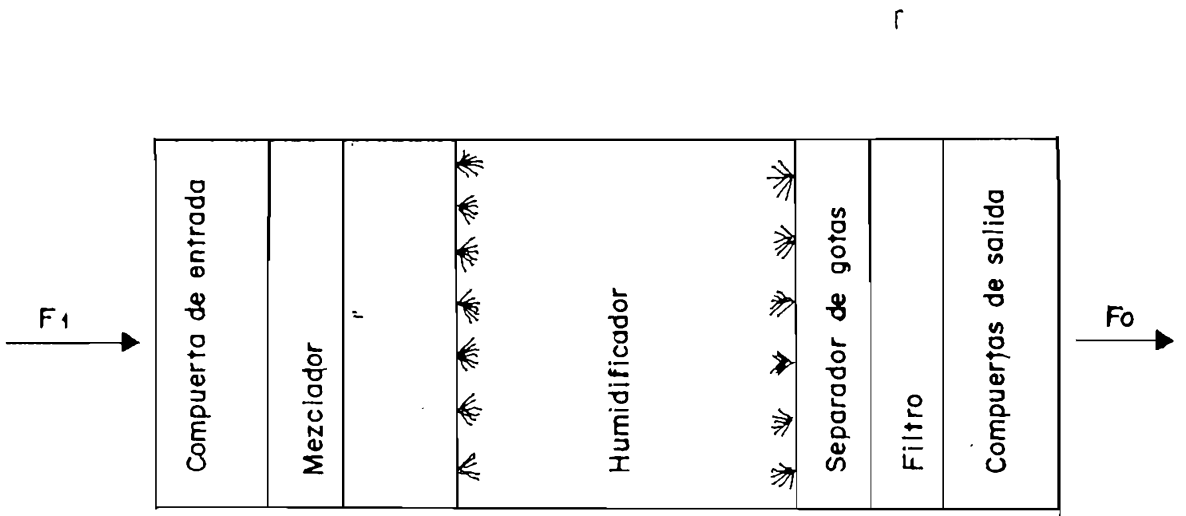


Fig. 3.2.- Esquema del Equipo de Aire Acondicionado

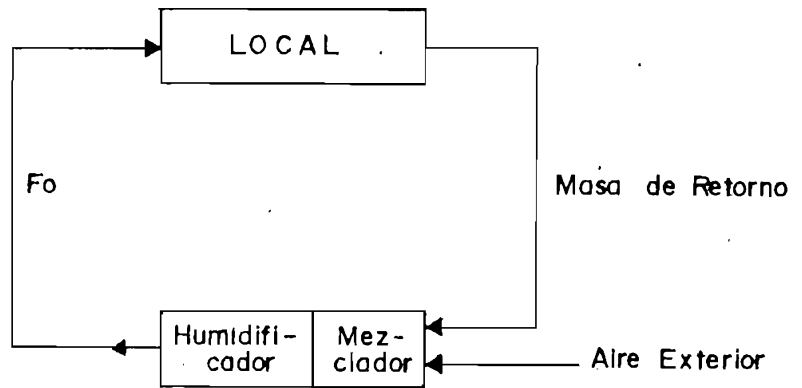


Fig. 3.3.- Procesos para Acondicionar el Aire



Los cambios que se produzcan en la temperatura exterior del local y los efectos debidos a la radiación solar, no se consideran en el presente trabajo, debido a que:

- El local es térmicamente aislado, esto se debe a que los locales en donde se ubican, la sala de máquinas, la cintoteca, sala de terminales, etc.; por lo general tienen pocas ventanas o no las tienen, ya que el coeficiente de transmisión U para ventanas es alto (tabla 2.4), se tiene la precaución de que las puertas de acceso a cualquiera de estos locales estén cerradas (control de acceso, solo ingresa personal autorizado). Es decir, que son locales apropiados para que en ellos funcione el centro de cómputo.

- Las condiciones ambientales en nuestro medio no sufren cambios drásticos, como en otros países en los cuales se tienen las cuatro estaciones y, la temperatura y humedad relativa del ambiente se modifica considerablemente.

- Por lo general los recintos que se utilizan para un centro de cómputo están en la planta baja. Por lo que el efecto de radiación solar y de los cambios de temperatura exterior son mínimos, además, el proceso de cambio de temperatura durante un día es muy lento.

En el caso, de producirse cualquiera de estos dos efectos se puede considerar como una variación de calor sensible

dentro del recinto de control.

Los procesos de calentamiento y enfriamiento sensible se los utiliza para la regulación de la temperatura en el local de control (variación del flujo de salida). El proceso de saturación adiabática consiste en la humidificación del aire por medio de pulverizadores, hasta obtener una humedad relativa del 100% (aire saturado); en esta condición, la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de bulbo seco coinciden. Una vez que el aire está saturado, se realiza el proceso de calentamiento con lo que se logra llegar al punto adecuado de trabajo tanto de temperatura como de humedad relativa dentro del recinto de control.

Para obtener las condiciones de temperatura y humedad relativa en el aire de salida del equipo acondicionador de aire, es necesario realizar la mezcla entre el aire del recinto de control y el aire exterior (proceso de mezcla de dos atmósferas); las condiciones finales de temperatura y humedad absoluta deben ser tales que se pueda realizar la saturación del aire y proceder al calentamiento del mismo, referirse a la figura 3.1.

En los programas que se han desarrollado, se consideran las dimensiones del local, carga sensible producida en el local, zona de trabajo (carta psicrométrica, figura 3.1) y puntos de referencia de las variables. Por medio de la

corrida de los programas se puede observar el comportamiento de las variables de temperatura, humedad relativa y humedad absoluta. Además, si las variables salen del rango de control se activan alarmas de prevención, que indican que las condiciones ambientales dentro del local no son las adecuadas para el funcionamiento del equipo. Cada una de las variables tiene sus respectivas alarmas, tanto para el nivel superior como para el nivel inferior.

Cuando los cambios de humedad absoluta son pequeños, la variación de humedad relativa es despreciable, no sale de la zona de trabajo por lo que no es necesario realizar una regulación. Pero, si los cambios de humedad absoluta en el local son apreciables (fuera de la zona de trabajo) su regulación se la hace mediante los procesos de mezcla de dos atmósferas, el de saturación adiabática y el calentamiento sensible.

Se opta por la saturación del aire, ya que el pulverizador está formado por varias boquillas, el hecho de activar o desactivar una o dos de ellas para humidificar o deshumidificar el aire no altera en forma considerable las condiciones del aire del recinto de control.

La regulación de temperatura, humedad absoluta y humedad relativa puede entenderse mejor utilizando la carta psicrométrica (figura 3.1).

Si se produce una variación de las condiciones ambientales iguales a las del punto 1 ( $24^{\circ}\text{C}$ , 43%, 0,012 lb/lb), para ingresar a la zona de trabajo se procede a enfriar el local (enfriamiento sensible, desplazamiento hacia la izquierda) aumentando el flujo de salida de aire.

En caso que las condiciones varien al punto 2 ( $19^{\circ}\text{C}$ , 51%, 0.01 lb/lb), la humedad absoluta cambia dentro de la zona de trabajo, éste cambio no significa un incremento considerable en el valor de la humedad relativa (Clase A Severidad  $\pm 5\%$ ), por lo que se puede mantener ese valor del 51% de humedad relativa en el local de control.

Para el punto 3 ( $19^{\circ}\text{C}$ , 37%, 0.0071 lb/lb), existe un cambio considerable de humedad absoluta, para ingresar a la zona de trabajo se realizan los procesos de aire acondicionado.

Para el caso de la simulación de la contaminación ambiental, ésta se basa en el comportamiento de los filtros, su eficiencia en función de la velocidad del aire y velocidad de contaminación del filtro.

### 3.2 MODELACION DE UN SISTEMA PARA REGULACION DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Lo que se desea obtener es un modelo matemático que se aproxime al comportamiento dinámico del sistema real, luego

simularlo mediante un lenguaje de programación y con la utilización de un computador digital verificar el comportamiento de dicho modelo, obteniendo con ello mayor versatilidad, ahorro de tiempo, de dinero, realización de pruebas no destructivas y una mejor comprensión del sistema en estudio.

El sistema que se va a considerar se ilustra y describe a continuación (JIEE, Vol 8, 1987, 109):

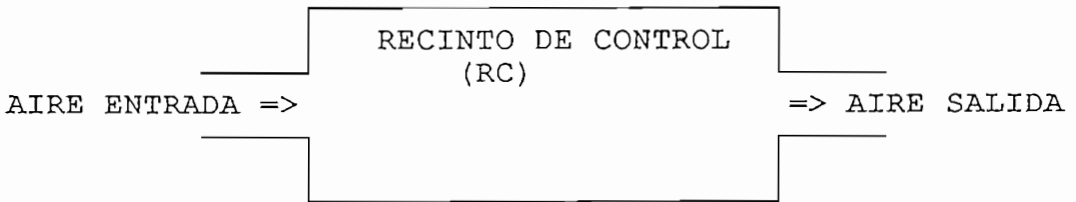


Fig. 3.4.- Sistema de Temperatura y Humedad

El aire de entrada tiene características de temperatura ( $T_1$ ), humedad relativa ( $HR_1$ ), humedad absoluta ( $H_1$ ) y un flujo de entrada ( $F_1$ ); al igual que el aire de salida ( $T_0$ ,  $HR_0$ ,  $H_0$ ,  $F_0$ ).

Para obtener la función de transferencia de temperatura se aplica la ley de la conservación de energía:

$$E_{entra} = E_{sale} + \text{Variación}$$

donde:  $E_{entra}$  => energía de entrada

$E_{\text{sale}}$  => energía de salida

Variación => cambio de energía dentro del sistema se le considera como pérdidas

La energía es igual a la masa de aire por su entalpía, por lo tanto se tiene que:

$$[1] \quad M_1 * h_1 = M_0 * h_0 + P_{RC}$$

donde:  $M_1$  => masa de aire que entra [Kg/h]

$h_1$  => entalpía de entrada [Kcal/kg]

$M_0$  => masa de aire que sale [Kg/h]

$h_0$  => entalpía de salida [Kcal/Kg]

$P_{RC}$  => pérdidas de energía debido al material y a la resistencia térmica del recinto de control

El término que considera las pérdidas y el cambio de energía dentro del local, (características de RC), se lo expresa:

$$[2] \quad P_{RO} = M_R * \frac{dh_R}{dt} + \frac{Tr - Ta}{R_p} + m_r * \frac{dh_{ra}}{dt}$$

donde:  $M_R$  => masa de aire en el recinto de control [Kg]

$dh_R/dt$  => variación de la entalpía en RC

$Tr$  => temperatura en RC [°C]

$Ta$  => temperatura ambiente [°C]

$R_p$  => resistencia térmica de RC

$m_r$  => masa del material de RC [Kg]

$dh_{ra}/dt$  => variación de la entalpía en material de RC

La masa de aire que entra ( $M_e$  masa de aire en movimiento) puede ser reemplazada por la densidad y el flujo de entrada, ( $M_e = \delta_1 * F_1$ ), al igual que la masa de aire que sale ( $M_s = \delta_o * F_o$ ). La masa de aire en el recinto de control es igual a la densidad por el volumen del recinto, ( $M_r = \delta_r * V_r$ ). Y se obtiene la siguiente expresión:

$$[3] \quad \delta_1 * F_1 * h_{1(t)} - \delta_o * F_o * h_o(t) + \delta_r * V_r * \frac{dh_r}{dt} + \frac{Tr - Ta}{R_p} + m_r * \frac{dh_{ra}}{dt}$$

donde:  $\delta_1$  => densidad del aire de entrada [Kg/m<sup>3</sup>]

$\delta_o$  => densidad del aire de salida [Kg/m<sup>3</sup>]

$\delta_r$  => densidad del aire del recinto de control [Kg/m<sup>3</sup>]

$V_r$  => volumen del recinto de control [m<sup>3</sup>]

Se realizan algunas consideraciones:

- La densidad del aire se considera constante, independiente de la variación de temperatura y humedad relativa que tenga éste, ( $\delta_1 = \delta_o = \delta_r = \delta$ ).

- La mezcla dentro del recinto de control (RC) es instantánea frente a las constantes de tiempo del sistema,

por lo que se puede decir que la temperatura del recinto es igual a la temperatura de salida, ( $T_r = T_o$ ).

- Se considera que el aire es un gas ideal, y aplicamos la definición de entalpía.

Por lo tanto la ecuación [3], toma la forma de:

$$[4] \quad \delta F_1^* C_p^* T_1(t) = \delta F_o^* C_p^* T_o(t) + \delta V_r^* C_p^* \frac{dT_o}{dt} + \frac{T_o - T_a}{R_p} + m_r^* C_r^* \frac{d(T_o - T_a)}{dt}$$

donde:  $C_p$  => calor específico del aire [Kcal/Kg°C]

$C_r$  => calor específico del material de RC  
[Kcal/Kg°C]

Se pasa la ecuación [4] al dominio de la frecuencia compleja (s) y se obtiene:

$$[5] \quad \delta F_1^* C_p^* T_1(s) - T_o(s) * \left[ \delta F_o^* C_p^* + \frac{1}{R_p} + \delta V_r^* C_p^* s + m_r^* C_r^* s \right] + T_a(s) * \left[ m_r^* C_r^* s + \frac{1}{R_p} \right] = 0$$

Lo que interesa conocer es la temperatura de salida, (por la consideración que  $T_r = T_o$ ), por lo tanto:



$$\text{MASA}_{\text{entra hum}} = \text{MASA}_{\text{sale hum}} + \text{Variación}$$

Por lo tanto:

$$[8] \quad M_1 * H_1 = M_0 * H_0 + P_{MRO}$$

donde:  $P_{MRO} \Rightarrow$  variación de la humedad interna de RC

Se reemplaza, las masas tanto de entrada como de salida por la densidad y sus respectivos flujos, y la masa dentro del recinto por la densidad y el volumen del recinto, y se tiene:

$$[9] \quad \delta * F_1 * H_1(t) = \delta * F_0 * H_0(t) + V_r * \delta * \frac{dH_r}{dt}$$

Se considera que la humedad del recinto de control es igual a la humedad absoluta de salida ( $H_r = H_0$ ). Por lo tanto:

$$[10] \quad \delta * F_1 * H_1(t) = \delta * F_0 * H_0(t) + V_r * \delta * \frac{dH_0}{dt}$$

La ecuación [10] evaluada en el dominio de la frecuencia compleja (s) es:

$$[11] \quad F_1 * H_1(s) = H_0(s) * [F_0 + V_r * s]$$

Se despeja la humedad de salida de la ecuación anterior, por lo tanto se tiene:

$$[12] \quad H_o(s) = \frac{E_1 \cdot H_1(s)}{E_0 + V_r \cdot s}$$

Por conveniencia, la ecuación [12] se la expresa así:

$$[13] \quad H_o(s) = \frac{K_3 \cdot H_1(s)}{1 + c \cdot s}$$

donde:

$$K_3(s) = \frac{E_1}{E_0}$$

$$c = \frac{V_r}{E_0}$$

La humedad relativa es una función no lineal de la temperatura, en forma aproximada se tiene la siguiente función alrededor del punto de operación (ver numeral 2.6.2):

$$[14] \quad HR_o (\%) = \frac{H_g \cdot Pa \cdot f \cdot 100}{0.622 \cdot (0.0027 \cdot T_o^2 + 0.0363 \cdot T_o + 0.61)}$$

donde: Pa => presión atmosférica [mmHg]

f => factor que depende de la presión, para las condiciones de Quito éste factor tiene un valor aproximado de 0.135

Se debe considerar un factor de corrección dependiendo de la presión barométrica, este factor se lo obtiene en forma experimental.

Además, se consideran tiempos de retardos puros, tanto en la variable de humedad absoluta como en la de temperatura debido a los tiempos de traslado de las masas de aire desde

Se debe considerar un factor de corrección dependiendo de la presión barométrica, este factor se lo obtiene en forma experimental.

Además, se consideran tiempos de retardos puros, tanto en la variable de humedad absoluta como en la de temperatura debido a los tiempos de traslado de las masas de aire desde donde se realizan las acciones de control y el recinto de control. En la figura 3.5 se presenta el diagrama de bloques de la modelación.

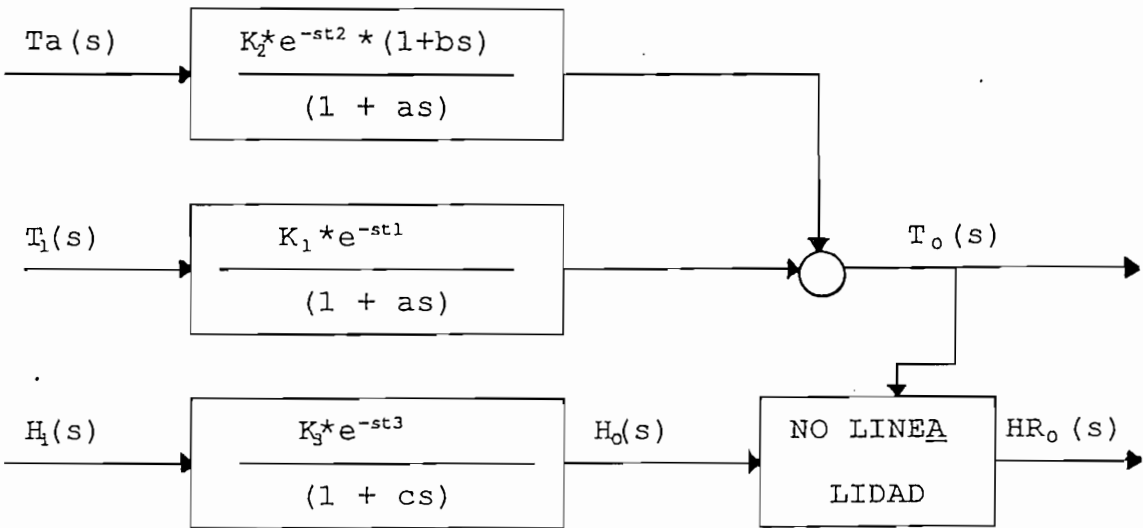


Fig. 3.5.- Diagrama de Bloques de la Modelación

### 3.3 MODELO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

Para el modelo de un equipo de aire acondicionado se

consideran las expresiones finales obtenidas en la modelación anterior de la temperatura, humedad absoluta y humedad relativa. Además, se va a utilizar la dinámica de sistemas, que es una técnica que permite la construcción de modelos de sistemas reales que varían en el tiempo.

Los pasos para conseguir un modelo siguiendo la metodología de la dinámica de sistemas son:

- Construcción del diagrama causal, que es el estudio de las causas principales que influyen en el comportamiento del fenómeno en estudio.

- Realización del diagrama de flujo o Forrester en el que se formaliza el modelo y se escriben las ecuaciones correspondientes.

- Por último, se programa el modelo mediante un lenguaje de programación adecuado, y se procede a simular el modelo.

A continuación se describen los cuatro modelos que se han desarrollado en éste trabajo. Cada uno de los cuales ha seguido la técnica de la dinámica de sistemas para su implementación.

### 3.3.1 Temperatura y humedad relativa

En el numeral 3.2, se realiza la modelación de las variables de interés. De la modelación se obtuvo las funciones de transferencia tanto de temperatura como de humedad absoluta; la humedad relativa se obtiene aplicando la ecuación [14] que es función de la temperatura y de la humedad absoluta.

En este primer modelo, llamado **TEMHUM**, se hacen ciertas consideraciones como: el flujo de salida de aire es constante e igual al flujo de entrada ( $F_s = F_0$ ), aun cuando existan cambios en la carga sensible del recinto, no se considera el efecto de la radiación solar.

Desarrollo del modelo:

Para la temperatura, el diagrama causal se muestra en la figura 3.6 y considera: las causas por las cuales hay variación en la temperatura del local; un sensor para la medición de la variable; un comparador entre el valor de trabajo adecuado y la medición; alarmas para cuando la temperatura del recinto sale de cierto rango. Se deben considerar dos tipos de perturbación, una que incrementa y otra que disminuye el valor de la temperatura dentro del local.

El signo (+) indica aumento, es decir que existe un

incremento en el valor de la temperatura, en el caso de que la perturbación disminuya el valor de la temperatura se le asigna el signo (-).

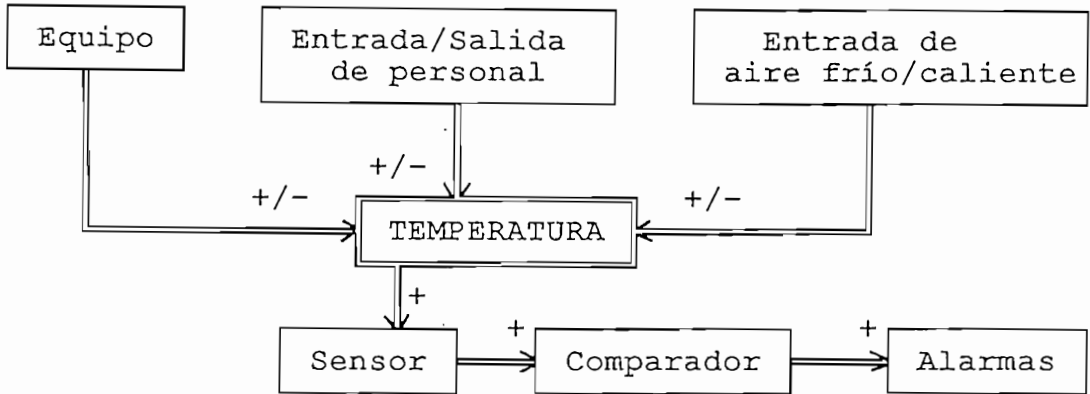


Fig. 3.6.- Diagrama Causal para la Temperatura

La variable se mide mediante un sensor, éste envía el valor al comparador. El comparador realiza una resta entre el punto de trabajo y el valor medido, si el resultado de la resta está fuera de un rango preestablecido se activan las alarmas de prevención respectivas.

Para el caso de la humedad absoluta, el diagrama causal consta de las perturbaciones que aumentan y/o disminuyen el valor de la humedad en el ambiente. Es importante recalcar que la humedad relativa es la que va a ser sensada, por lo tanto el diagrama causal correspondiente a la humedad relativa estará formado por un bloque de perturbaciones que

pueden deberse a cambios en la temperatura y/o en la humedad absoluta, un sensor para medir la variable, un comparador el cual resta el valor medido y el punto de trabajo, si la diferencia está fuera del rango establecido se activan las alarmas respectivas. Los diagramas causales tanto para la humedad absoluta como para la humedad relativa se presentan en las figuras 3.7.A y 3.7.B respectivamente.

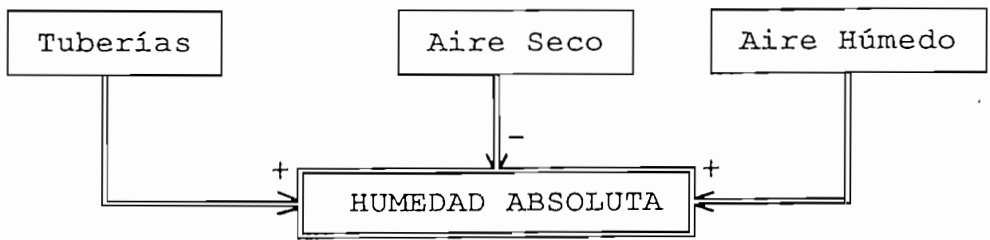


Fig. 3.7.A.- Diagrama Causal de la Humedad Absoluta

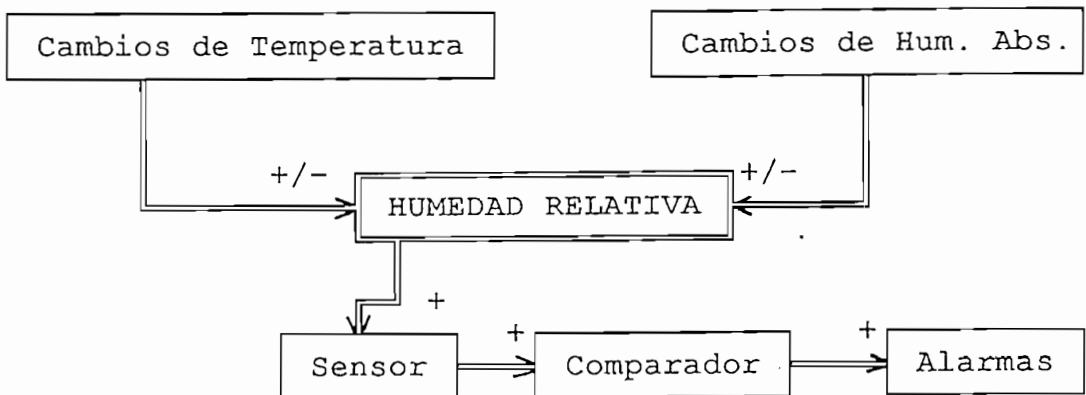


Fig. 3.7.B.- Diagrama Causal de la Humedad Relativa

El diagrama causal para las condiciones ambientales, corresponde a la unión de los diagramas causales anteriores. En la técnica de la dinámica de sistemas, corresponde ahora la realización del diagrama de flujo o de Forrester, para luego escribir las ecuaciones de nivel, de razón y auxiliares que representen el sistema en estudio.

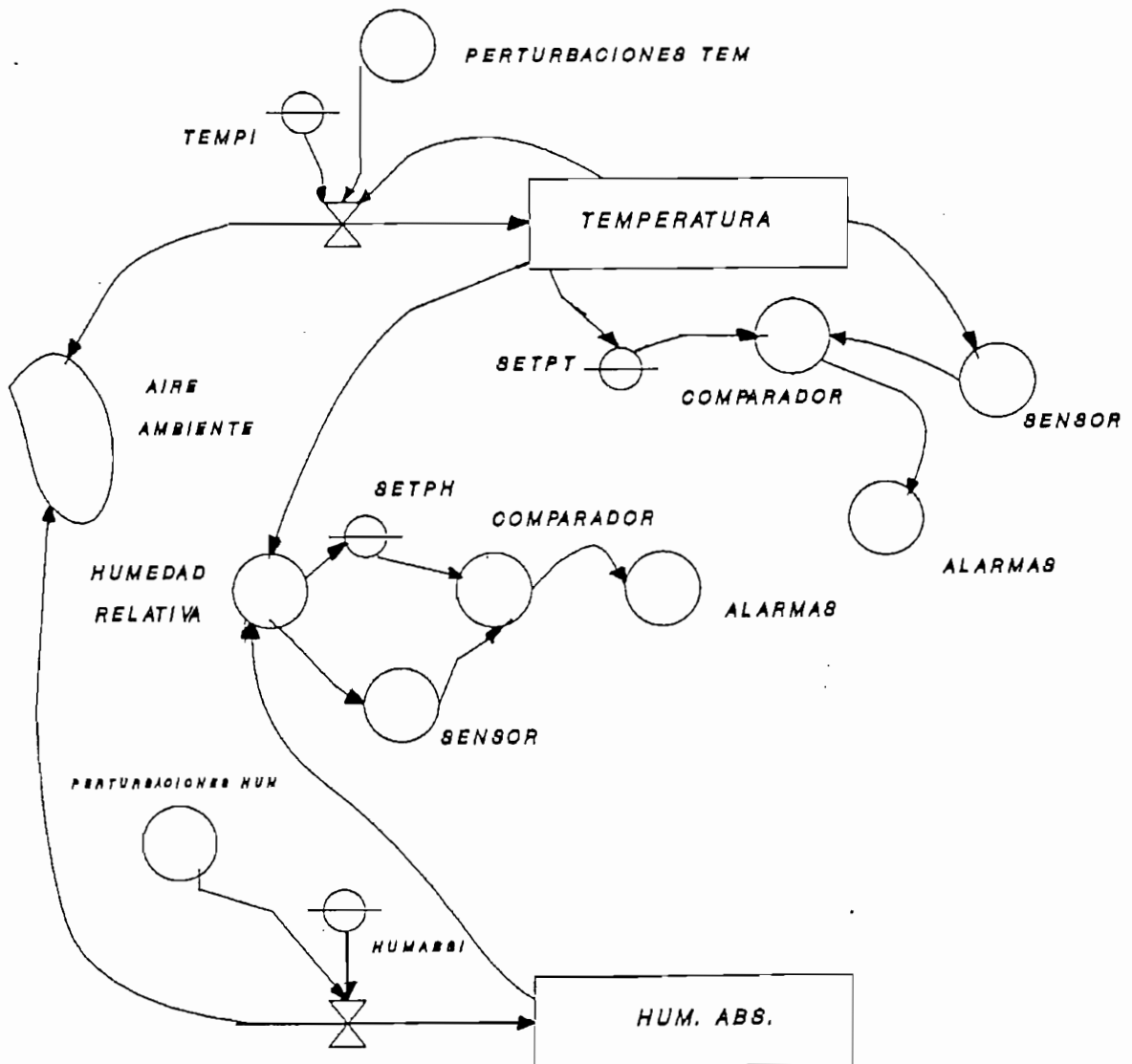


Fig. 3.8.- Diagrama de Forreter del Modelo TEMHUM



A continuación se van a escribir las ecuaciones correspondientes a la variable temperatura. Lo primero que se va a realizar es el cálculo de la constante de tiempo del sistema por medio de entalpías.

Se considera al local de control y al equipo como un solo sistema, ver figura 3.9. Se supone que existe una salida de aire hacia el exterior debido al sistema de ventilación (extracción del aire).

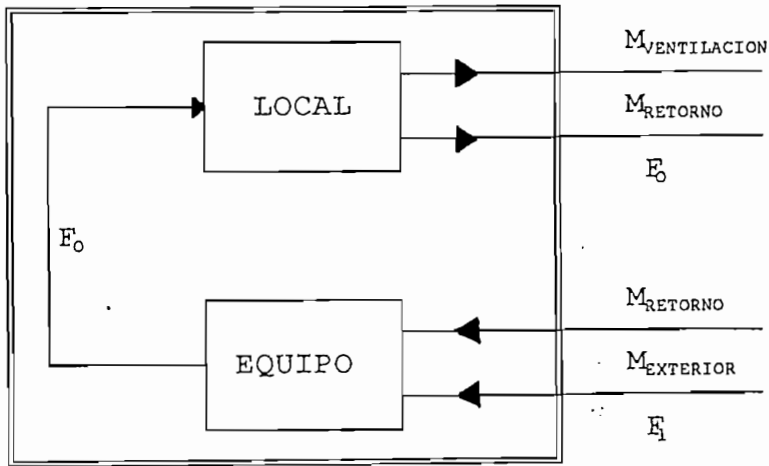


Fig. 3.9

Se aplica la ley de conservación de la energía:

$$[15] \quad E_{MR} + E_{ME} + E_{HU} + Q_{sens} = E_{MV} + E_{MRS} + \text{Variación}$$

donde:  $E_{MR}$  => energía por el aire de retorno que ingresa

$E_{ME}$  => energía del aire exterior

M<sub>g</sub>.

$$[17] \quad h_M(t) \cdot \delta \cdot F_1 + M_{\text{agua}} \cdot h_{\text{agua}} + Q_{\text{sens}} = h_L(t) \cdot \delta \cdot F \\ + \delta \cdot V_r \cdot dh_L/dt$$

La ecuación [17] en función de la frecuencia compleja (s), se tiene:

$$[18] \quad h_M(s) \cdot \delta \cdot F_1 + M_{\text{agua}} \cdot h_{\text{agua}} + Q_{\text{sens}} = h_L(s) \cdot \delta \cdot F \\ + \delta \cdot V_r \cdot s \cdot h_L(s)$$

Lo que interesa es la entalpía del local; por lo tanto:

$$[19] \quad h_L(s) = \frac{h_M(s) \cdot \delta \cdot F_1 + M_{\text{agua}} \cdot h_{\text{agua}} + Q_{\text{sens}}}{\delta \cdot F_0 \cdot (1 + V_r / F_0 \cdot s)}$$

Para este caso la constante de tiempo es función del volumen del local y del flujo de salida. Es de suponer que de un mismo sistema las constantes de tiempo deben ser las mismas independiente de la técnica que se utilice para deducirlas.

Para que la constante de tiempo (a) obtenida en la ecuación [7], numeral 3.2, coincida con la obtenida por entalpías, se debe considerar que el local es térmicamente aislado, es decir, calor específico de material del local es cero (Cr=0) y la resistencia térmica del local tienda a infinito (Rp ). Además, sí se considera el retardo debido al

movimiento de masas de aire la ecuación [7] quedaría expresada así:

$$[20] \quad T_d(s) = \frac{K_{11} * T_1 (s) * e^{-st_1}}{1+A*s}$$

donde:  $K_{11} = F_1 / F_0$

$A = V_r / F_0$

### 3.3.2 Procesos del sistema de aire acondicionado

En el segundo modelo, denominado PROCESOS, se simulan los procesos que realiza el equipo de aire acondicionado para obtener el punto de trabajo adecuado en el local de control.

Para este modelo no es necesario realizar el diagrama causal ni el de Forrester, ya que solo consiste en la aplicación de fórmulas de cada proceso, en el lenguaje de programación utilizado corresponde a ecuaciones auxiliares.

Los procesos que se van a observar son:

- Mezcla de dos atmósferas, entre el flujo que sale del local de control y el flujo de aire exterior. Las ecuaciones que gobiernan este proceso son, (PEÑA, 1989):

$$[21.a] \quad F_0 * h_0 + F_2 * h_2 = F_3 * h_3$$

absoluta), se procede a la humidificación del aire hasta saturarlo. Es necesario saber a que temperatura de bulbo seco va a salir el aire del equipo acondicionador, este es un dato de entrada del modelo. En la figura 3.1 se muestra la zona por cual se puede realizar la saturación, se toma dos puntos de una de las rectas y se calcula la ecuación de la misma.

$$\text{Punto (a)} = (67^{\circ}\text{F}, 40\text{gr/lb}) = (19.5^{\circ}\text{C}, 0.0057\text{lb/lb})$$

$$\text{Punto (b)} = (47^{\circ}\text{F}, 70\text{gr/lb}) = (8.33^{\circ}\text{C}, 0.011\text{lb/lb})$$

$$T [^{\circ}\text{C}] = 34,16 - 2583 * H [\text{lb/lb}]$$

- Por último, se produce el calentamiento y se llega a las condiciones de trabajo requeridas en el recinto de control.

### 3.3.3 Regulación de la temperatura y de la humedad relativa

En el tercer modelo llamado REGULACI, se realiza el control de las variables de interés, que son la temperatura, humedad absoluta y humedad relativa. El control de la humedad relativa se lo hace en forma indirecta ya que ésta es función de la temperatura y de la humedad absoluta.

La regulación de la temperatura se realiza mediante la variación del flujo de salida; de la modelación realizada en el numeral 3.3.1 (ecuación 20) se obtiene que la ganancia  $K_{11}$  es función del flujo de salida, por lo tanto se realizó un control adaptivo de ganancia ajustable, que

se ajusta a las condiciones de operación del sistema de aire acondicionado cuando hay perturbaciones dentro del recinto de control. Además, es necesario indicar que en la función de transferencia de la humedad absoluta, tanto la ganancia como la constante de tiempo son funciones del flujo de salida  $E$ , pero, la regulación de la humedad absoluta no se la hace por medio del flujo de salida debido a que una variación de ésta no incide en el valor del flujo (modelo COMPROBA). Si hay una variación grande de la humedad en el local se realizarán los procesos de mezcla de dos atmósferas, saturación adiabática y calentamiento.

El modelo COMPROBA, se realizó con el fin de observar la influencia de la humedad absoluta sobre el flujo de salida del equipo de aire acondicionado. También para validar la mayor incidencia que tiene la temperatura sobre la humedad relativa. Para el modelo REGULACI los diagramas causal y de Forrester, se presentan en las figuras 3.10 y 3.11.

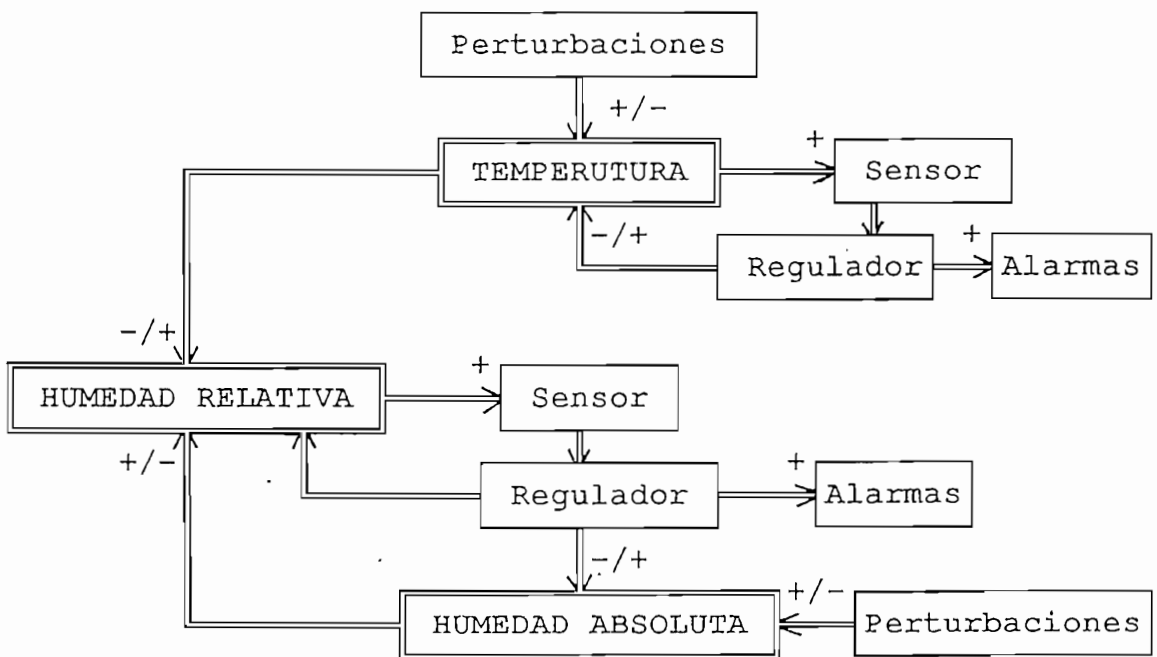


Fig. 3.10.- Diagrama Causal del Modelo REGULACI

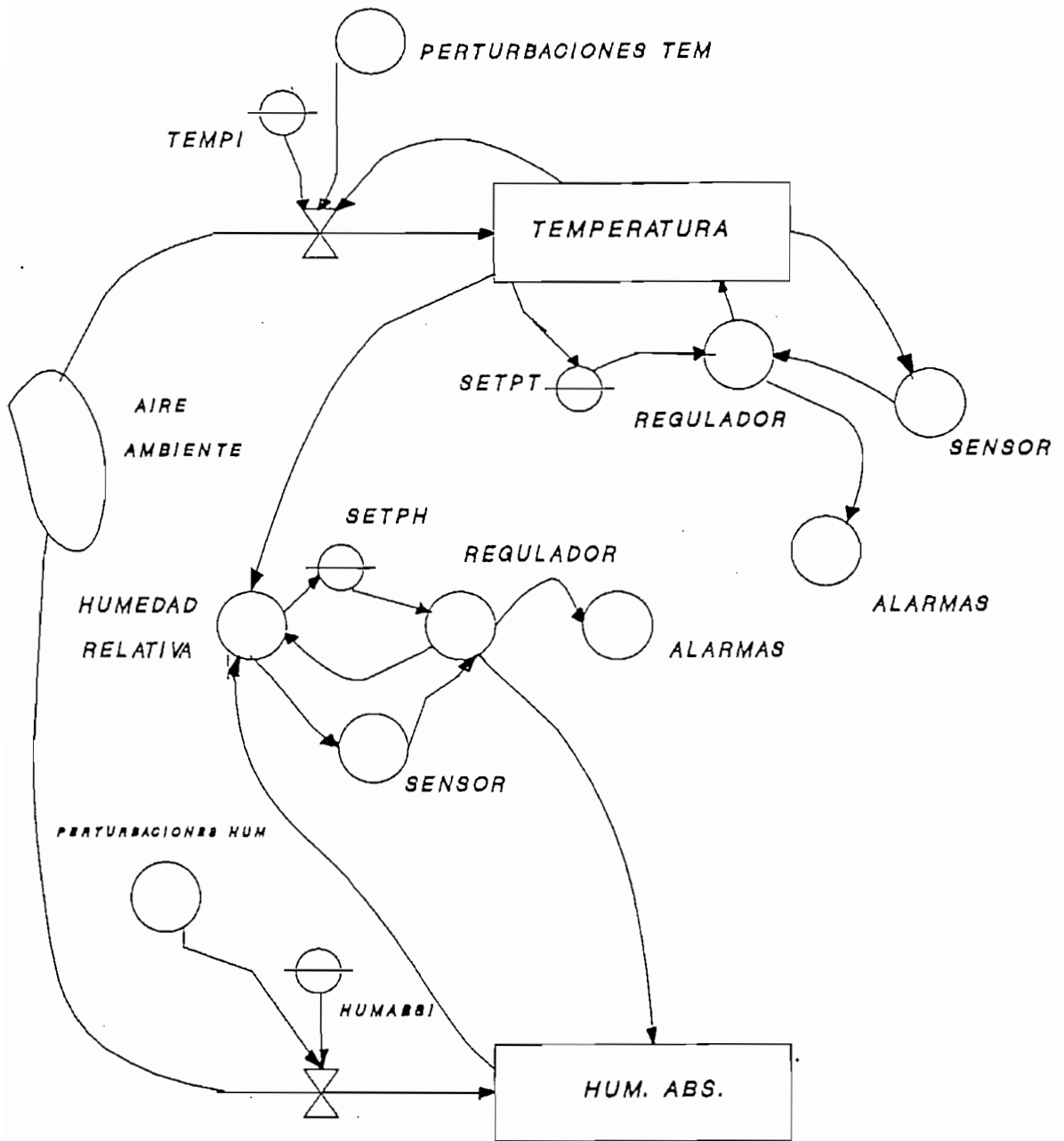
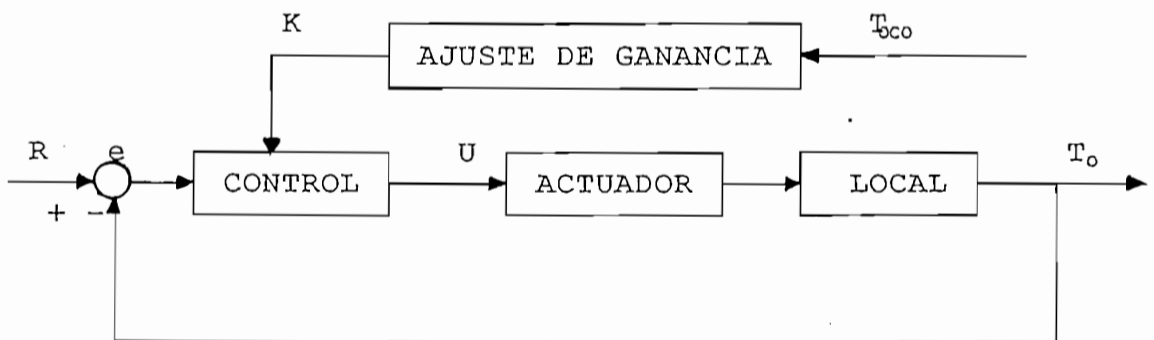


Fig. 3.11.- Diagrama de Forrester del Modelo REGULACI

A continuación se explican las técnicas de control utilizadas para la regulación de las variables del sistema.

- Técnica de control.- Lo que se desea es mantener la temperatura en el punto de trabajo adecuado, aun cuando existan perturbaciones en el recinto de control, (cambio de la carga sensible). Si hay un incremento o decrecimiento de la temperatura, será necesario aumentar o disminuir el flujo de salida, variando así tanto la ganancia como la constante de tiempo del sistema acondicionador de aire. Por lo que se utiliza un control adaptivo de ganancia variable.

Si hay una variación de humedad absoluta, que haga que la humedad relativa salga del rango de trabajo (variación de +/-10% de su punto de trabajo optimo), entonces se produce la mezcla del aire del recinto de control con el aire exterior, luego el aire resultante se lo lleva a la saturación y por último se lo calienta y se llega al punto de trabajo.



Los parámetros que intervienen en el diagrama de bloques de

control de temperatura del local, son:  $T_{oco}$  es la temperatura del local que permite el ajuste de la ganancia para obtener las condiciones adecuadas;  $K$  es la ganancia en la cual se realiza el ajuste; del valor que tome la ganancia la señal de control, abre o cierra las compuertas obteniéndose la variación de flujo adecuado para mantener



control de temperatura del local, son:  $T_{oco}$  es la temperatura del local que permite el ajuste de la ganancia para obtener las condiciones adecuadas;  $K$  es la ganancia en la cual se realiza el ajuste; del valor que tome la ganancia la señal de control, abre o cierra las compuertas obteniéndose la variación de flujo adecuado para mantener el local de control en la temperatura deseada.

$$[26] \quad K = \frac{R}{T_{oco}}$$

Por el modelo desarrollado, la ganancia  $K$  es igual  $K_{11}$  que en la función de transferencia de la temperatura es igual a una relación de flujos.

$$K_{11} = \frac{F_1}{F_0}$$

Si no hay cambios en la carga sensible del local el flujo de entrada es igual al flujo de salida ( $F_1 = F_0$ ), por lo que se considera que el flujo de entrada es igual al flujo de salida inicial.

Una vez que se conoce el valor de la ganancia  $K_{11}$ , lo que interesa conocer es la variación de flujo en el local.

$$K_{11} = \frac{F_{0inicial}}{F_0}$$

[27]

$$E_0 = \frac{E_{\text{inicial}}}{K_1}$$

### 3.3.4 Contaminación ambiental

Como se anotó anteriormente no se realizará un control de la contaminación ambiental, lo que se va a observar en la simulación es la dinámica del elemento depurador en general, considerando: la velocidad del aire y la concentración de partículas en el elemento depurador.

La vida útil se observa en el eje del tiempo; el rendimiento representa la dinámica del elemento depurador y mide la capacidad de separación de polvo del aire. Es necesario recalcar que el rendimiento o eficiencia del elemento depurador utilizado depende mucho de su construcción, del tipo de depuración que utiliza y de la velocidad con que las paredes del depurador se obstruyen.

Así:

- Las cámaras de deposición con mayor número de tabiques poseen mejor rendimiento. Y, si a más de los tabiques hay pulverización de agua, el rendimiento mejora aun más.

- Los filtros electrostáticos tienen un mejor

rendimiento dependiendo del tiempo que el aire se encuentre dentro del campo eléctrico.

Los diagramas causal y de Forrester para este modelo se esquematizan en las figuras 3.12 y 3.13 respectivamente.

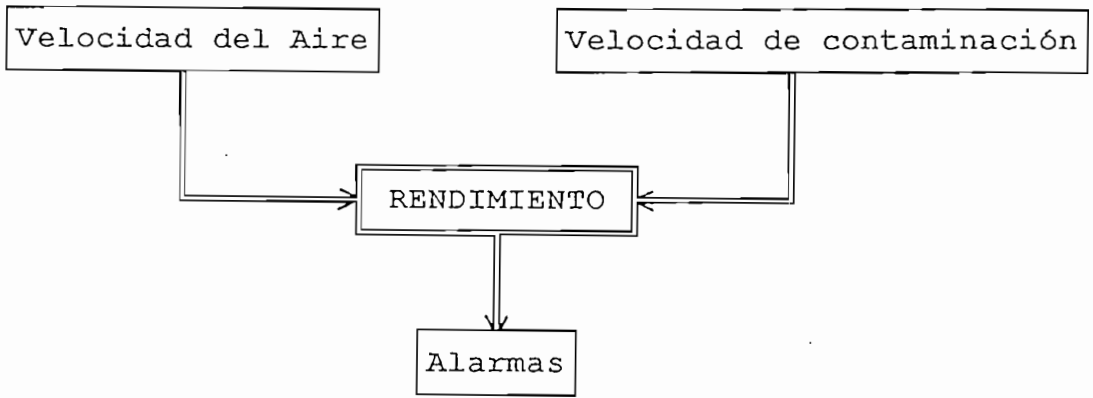


Fig. 3.12.- Diagrama Causal del Modelo CONTAMBI

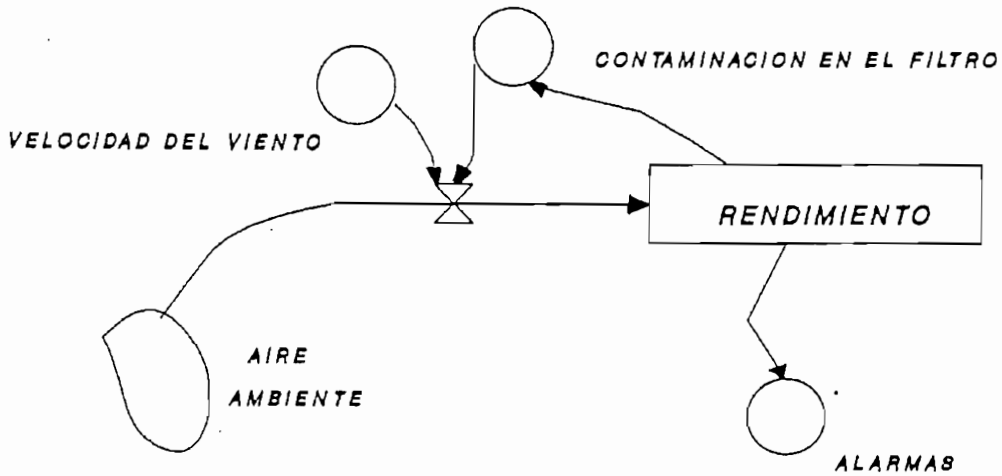


Fig. 3.13.- Diagrama de Forrester del Modelo CONTAMBI

### 3.4 DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE SIMULACION

Una vez obtenidas las expresiones matemáticas que representen cada uno de los modelos realizados, solo resta realizar la programación de estos.

Para la programación de todos los modelos se trabajó en un computador STAR XT, el sistema operativo IBM DOS versión 3.30 y el paquete computacional Professional Dynamo Plus versión 3.1.

Se va a realizar un breve estudio de los módulos del lenguaje de programación utilizado. El ingreso al DYNAMO se lo hace mediante PD, en la parte inferior de la pantalla aparecen varias opciones; para escoger cualquiera de los comandos se selecciona la letra característica o ubicándose con los cursores en el comando deseado.

Comands: Edit Compile Simulate View Document Help Quit

- Edit.- Si se escoge ésta opción aparece, un menú de todos los modelos realizados en orden alfabético con la extensión .DYN, se sitúa en el modelo deseado y con ENTER se entra al listado del programa, para crear un nuevo archivo se presiona ESC y se empieza la programación.

Una vez concluida la programación se presiona ESC y, aparece en la parte inferior de la pantalla opciones las cuales

pueden ser activadas por medio de su letra características o ubicándose con los cursores (teclas de flechas) en el comando deseado. El programa se graba con la opción Save y con el comando Print se imprime el listado del programa.

Edit Comands: Save Print Return Help Esc Quit

- Compile.- Por medio de ésta opción se compila el programa, y se indican los errores en la sintaxis del mismo.

- Simulate.- Por medio de éste comando se realiza la simulación del modelo escogido. La opción Change permite realizar cambios en los valores de las constantes del modelo; con el comando Go se inicia la simulación. Las opciones que presenta son:

Simulate Comands: Change Save Go Preserve Resumen Help Esc Quit

- View.- Es la opción por medio de la cual, se obtienen los resultados de la simulación en forma gráfica (Plot) y en forma tabulada. Con Select\_Tabulate se seleccionan las tablas que se desean observar, en cambio que con Tabulate\_All, se observan todas las variables tabuladas.

View Comands: Plot Select\_Tabulate Tabulate\_All Old Help Quit

- Document.- Presenta información sobre la estructura del programa.

- Help.- Proporciona información (ayudas) sobre la utilización de cada uno de los módulos.

- Quit.- Para salir del paquete computacional DYNAMO.

A continuación se cita los programas elaborados.

#### 3.4.1 Programa del modelo TEMHUM

En este primer modelo se puede observar el comportamiento de la temperatura, humedad absoluta y la humedad relativa a un flujo de salida de aire constante. Los datos de entrada que se requieren son:

- Dimensiones del local en el que se desea observar el comportamiento de las condiciones ambientales. ALT, ANC, LARG.

- Calor sensible debido a: equipo electrónico, luminarias, personas. Considerando los valores máximos. QEQUIPO, QLUMINA, QPERSONA.

- Las condiciones iniciales de temperatura y humedad absoluta a las que se encuentra el local. TEMPI, HUMABSI.

- Límites de operación de temperatura y humedad relativa, fuera de éstos se activan las alarmas respectivas. LIMIST, LIMIIIT, LIMISH, LIMIIH.

Con los datos de entrada se realiza el cálculo del volumen del local VR, el calor sensible total QS, el flujo de salida FO y la constante de tiempo del sistema S.

Es necesario indicar que existen datos calculados tomando como referencia la zona de trabajo establecida (ver Fig. 3.1) estos son: la densidad del aire, calor específico y la diferencia de temperatura.

DENSI es la densidad del aire en [Kg/m<sup>3</sup>] que depende del volumen psicrométrico.

$$\delta_{\text{aire}} = \frac{1}{V_{\text{psicrométrico}}}$$

CP es el calor específico del aire en [Kcal/Kg°C] que depende de la presión.

AT es la diferencia de temperatura en [°C] entre la temperatura ideal del local (punto de trabajo) y la temperatura a la que sale el aire del equipo (temperatura de bulbo seco = temperatura de bulbo húmedo).

Luego, se calculan las variables que dependen del tiempo.

Es decir, se observa la evolución de la temperatura, humedad absoluta y humedad relativa en el tiempo. La activación de las alarmas se realiza si, las variables toman valores que salen del rango establecido.

En la figura 3.14 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al modelo TEMHUM. A continuación se describen las variables representativas de este programa.

ALT	=>	ALTURA DEL LOCAL [m]
ANC	=>	ANCHO DEL LOCAL [m]
LARG	=>	LARGO DEL LOCAL [m]
TEMPI	=>	CONDICION INICIAL DE TEMPERATURA [°C]
LIMIST	=>	LIMITE SUPERIOR DE TEMPERATURA [°C]
LIMIIT	=>	LIMITE INFERIOR DE TEMPERATURA [°C]
HUMABSI	=>	CONDICION INICIAL DE HUMEDAD [Kg/Kg]
LIMISH	=>	LIMITE SUPERIOR DE HUMEDAD RELATIVA [%]
LIMI IH	=>	LIMITE INFERIOR DE HUMEDAD RELATIVA [%]
TEMF	=>	TEMPERATURA AMBIENTE EN EL LOCAL [°C]
VTEMP	=>	VARIACION DE LA TEMPERATURA
ALSUPFT	=>	ALARMA PARA EL LIMITE SUPERIOR
ALINFFT	=>	ALARMA PARA EL LIMITE INFERIOR
HUMABS	=>	HUMEDAD ABSOLUTA EN EL LOCAL [Kg/Kg]
VHUM	=>	VARIACION DE LA HUMEDAD ABSOLUTA
HUMRELF	=>	HUMEDAD RELATIVA EN EL LOCAL [%]
ALSUPFH	=>	ALARMA PARA EL LIMITE SUPERIOR
ALINFFH	=>	ALARMA PARA EL LIMITE INFERIOR



### 3.4.2 Programa del modelo PROCESOS

En el modelo denominado PROCESOS, se observan los procesos que realiza el equipo de aire acondicionado. Los datos de entrada para este modelo son:

- Flujo de aire del local y la temperatura del mismo.  
FLUJOINT, TEMINT.

- Temperatura del aire exterior. TEMEXT.

- Punto de salida del aire resultante de la mezcla.  
TEMSAL, HUMSAL.

- Condiciones de saturación. HSATURA, TSATURA.

- Temperatura de trabajo ideal del local. SP.

Con los datos de entrada, se realiza el proceso de mezcla de dos atmósferas calculando el flujo de aire exterior (FLUJREAL) necesario para llegar al punto salida adecuado. La saturación del aire se lo hace aumentando la humedad absoluta (ver Fig. 3.1), cuando la temperatura de bulbo seco es igual a la temperatura de bulbo húmedo comienza el proceso de calentamiento hasta obtener el punto de trabajo adecuado.

A continuación se listan las variables utilizadas:

FLUJOINT	=> FLUJO DE AIRE DEL LOCAL INICIAL [m <sup>3</sup> /h]
TEMINT	=> TEMPERATURA DEL LOCAL [°C]
TEMEXT	=> TEMPERATURA EXTERIOR [°C]
TEMSAL	=> TEMPERATURA DE LA MEZCLA [°C]
HUMSAL	=> HUMEDAD ABSOLUTA DE MEZCLA [Kg/Kg]
TSATURA	=> TEMPERATURA DE SATURACION [°C]
HSATURA	=> HUMEDAD ABSOLUTA DE SATURACION [Kg/Kg]
SP	=> PUNTO DE TRABAJO DE TEMPERATURA [°C]
FLUJREAL	=> FLUJO DE AIRE EXTERIOR [m <sup>3</sup> /h]
PROCESO	=> TEMPERATURA [°C]
SATURA	=> HUMEDAD ABSOLUTA [Kg/Kg]
HUMREAL	=> HUMEDAD RELATIVA [%]

En la figura 3.15 se esquematiza el diagrama de flujo correspondiente a éste modelo.

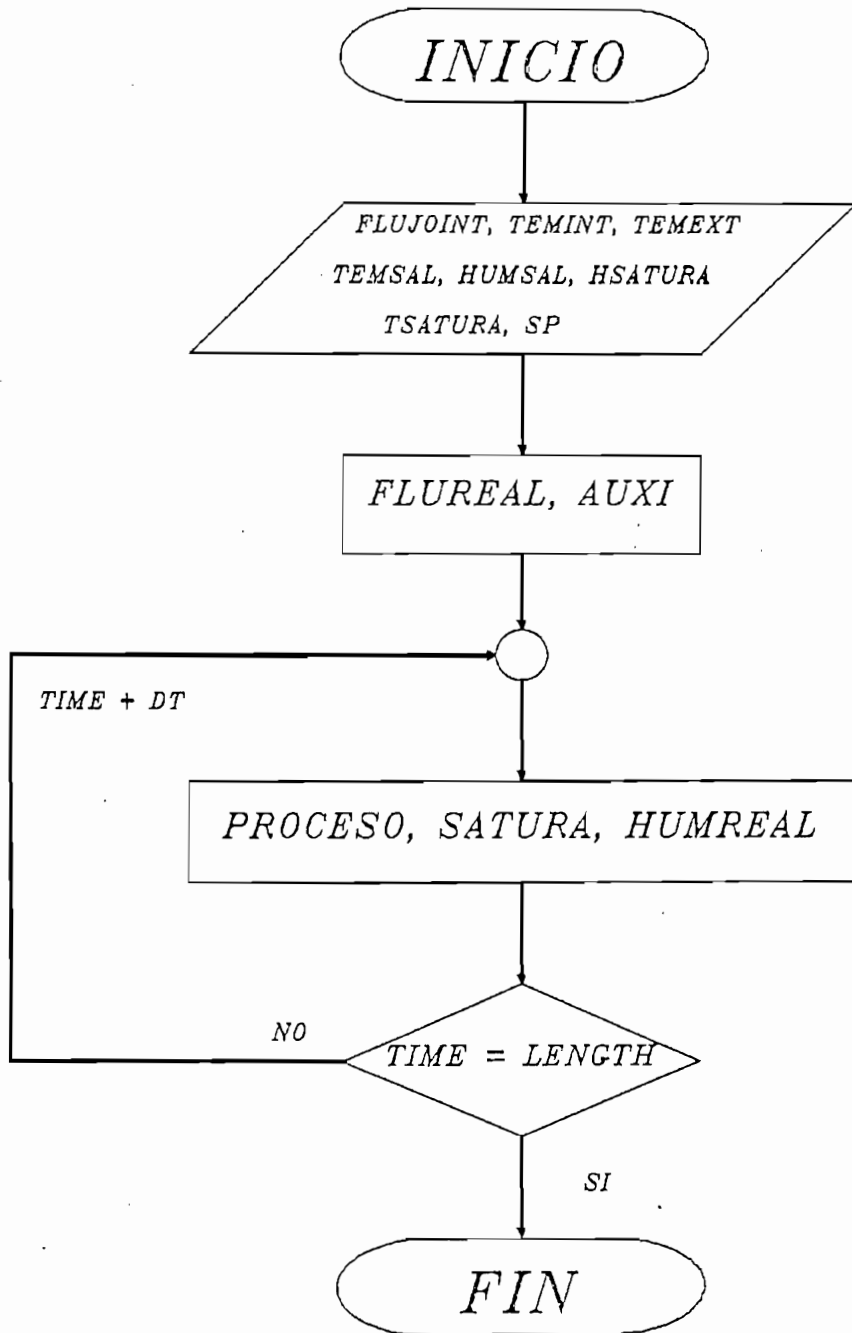


Fig. 3.15 Diagrama de Flujo del Modelo PROCESOS

### 3.4.3 Programa del modelo REGULACI

Este programa corresponde al modelo con el que se realiza el control de temperatura, humedad absoluta y humedad relativa. El flujo varía de acuerdo a la temperatura del local, lo que implica un cambio en la carga sensible del recinto de control. En el caso de que exista una variación considerable de la humedad absoluta del aire se realiza la saturación abiabática.

Los datos de entrada que requiere este programa son los siguientes:

- Carga sensible inicial, dada por los equipos, luminarias y personal. QSI.
- Volumen del local de control. VR.
- Flujo máximo de salida de aire del equipo acondicionador de aire. FLUJOMAX.
- Condiciones ambientales del local de control. SETPT, SETPH.
- Límites de la humedad relativa, para que se produzca la saturación adiabática. LIMIH, LIMSH.
- Límites de operación tanto de temperatura como de

humedad relativa. LIMIST, LIMIIT, LIMISH, LIMIIH.

Lo primero que se calcula es el flujo inicial, y la constante de tiempo. Luego se obtienen resultados de temperatura, humedad absoluta y humedad relativa. En el caso de que salgan las variables de los límites preestablecidos se activan las alarmas correspondientes.

Lista de variables utilizadas:

QSI => CALOR SENSIBLE INICIAL DEL LOCAL [W]  
MAXFLUJO => FLUJO MAXIMO DE AIRE QUE PUEDE DAR EL EQUIPO  
DE AIRE ACONDICIONADO [m<sup>3</sup>/h]  
SETPT => TEMPERATURA DE TRABAJO ADECUADA [°C]  
SETPH => HUMEDAD RELATIVA DE TRABAJO ADECUADA [%]  
S => CONSTANTE DE TIEMPO DEL SISTEMA QUE VARIA CON  
EL FLUJO  
FENTR => FLUJO DE SALIDA INICIAL [m<sup>3</sup>/h]  
W => CONSTANTE DE TIEMPO DEL SISTEMA PARA EL FLUJO  
INICIAL  
FLUJOR => FLUJO DE SALIDA [m<sup>3</sup>/h]  
CAMBIOQS => CAMBIO DE CALOR SENSIBLE DEL LOCAL [W]  
TEMPFIN => TEMPERATURA AMBIENTE EN EL LOCAL [°C]  
TEMP1 => TEMPERATURA DEL LOCAL A FLUJO CONSTANTE  
(FENTR)  
HRELATIVA => HUMEDAD RELATIVA EN EL LOCAL [%]

El diagrama de flujo para este caso se muestra en la figura 3.16.

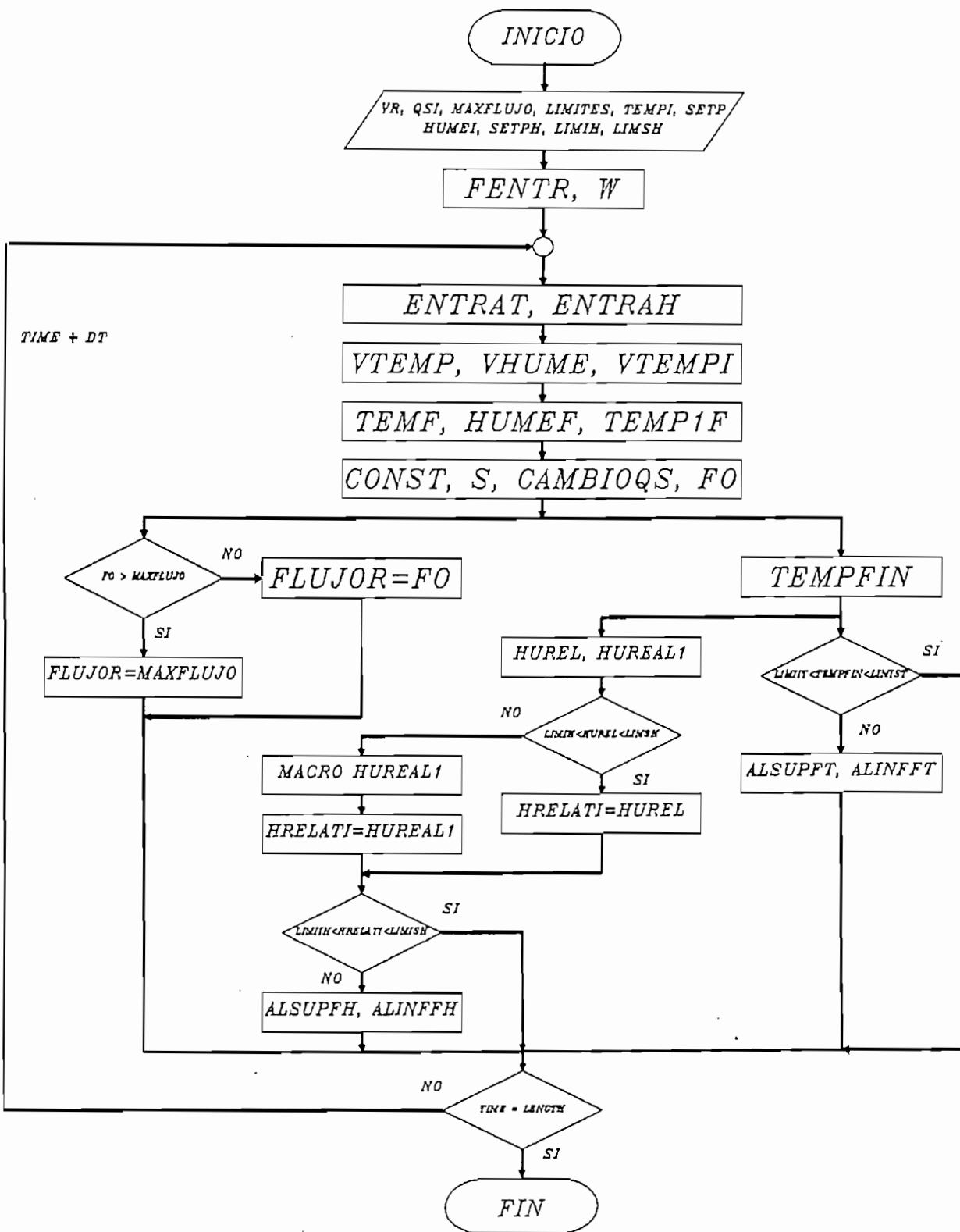


Fig. 3.16.- Diagrama de Flujo del Modelo REGULACI

El modelo COMPROBA, tiene como finalidades:

- Observar la influencia que tiene un cambio de humedad absoluta del aire en el flujo de salida del equipo acondicionador de aire

- La incidencia de las variables temperatura y humedad absoluta sobre la humedad relativa.

Este programa requiere como datos: el flujo inicial, el volumen del local, puntos de trabajo de humedad absoluta y temperatura, condición inicial de humedad, y valores de temperatura y humedad absoluta para observar la influencia de éstas sobre la humedad relativa.

VARIABLES QUE SE UTILIZARON:

TEM	=>	VARIACION DE LA TEMPERATURA [°C]
HUMEDAD	=>	VARIACION DE LA HUMEDAD [Kg/Kg]
HUMREL	=>	HUMEDAD RELATIVA EN EL LOCAL [%]
INFLUTE	=>	INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA
INFLUHU	=>	INFLUENCIA DE LA HUMEDAD ABSOLUTA

La figura 3.17 corresponden al diagrama de flujo del modelo COMPROBA.

NOTA: En cada modelo se han enumerado las variables representativas, existen variables comunes por lo que se han definido sólo una vez.

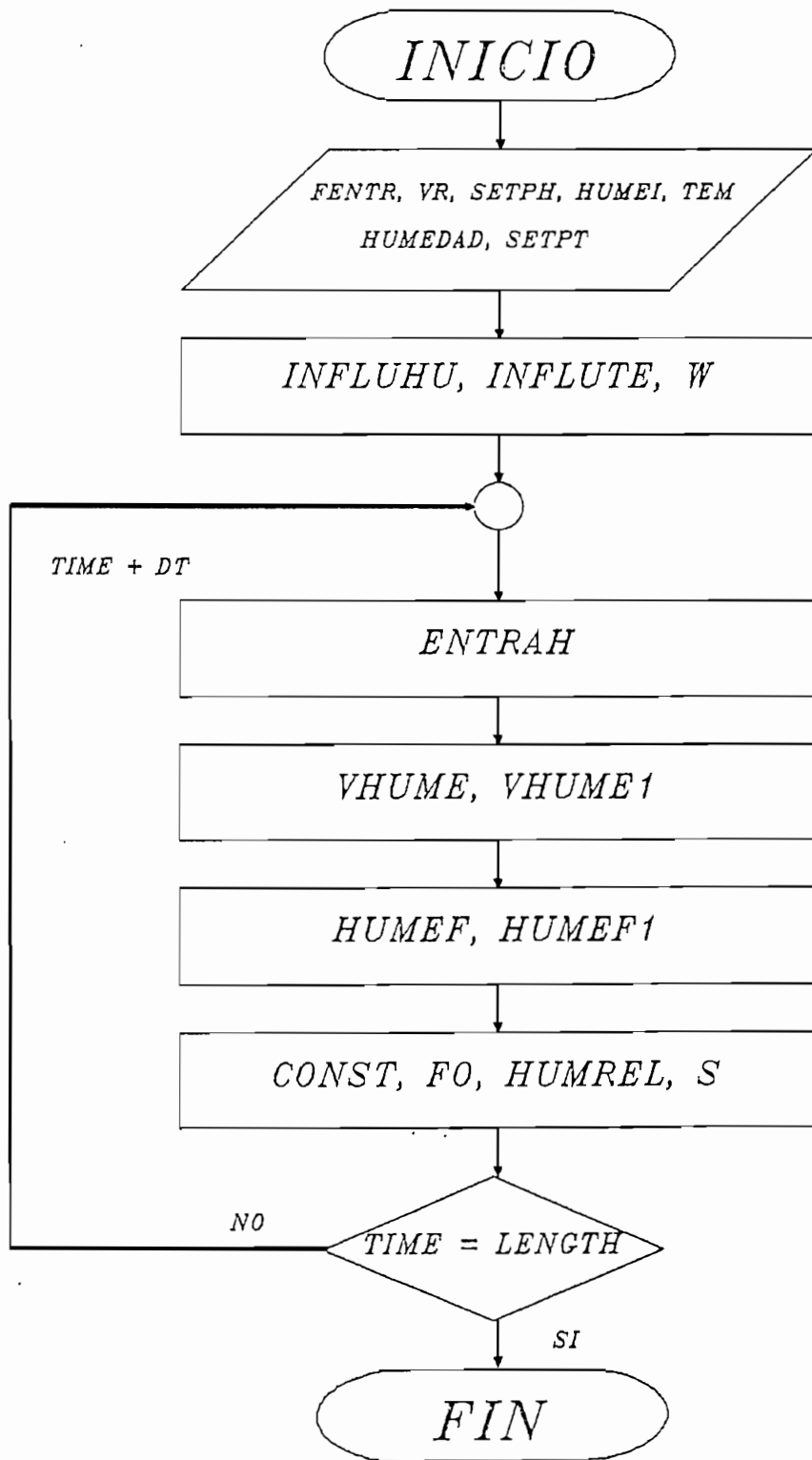


Fig. 3.17.- Diagrama de Flujo del Modelo COMPROBA



#### 3.4.4 Programa del modelo CONTAMBI

En éste modelo se puede observar el rendimiento del depurador de aire en función del tiempo teniendo como perturbaciones del sistema, a la velocidad del aire y a la contaminación del filtro.

La contaminación del filtro tiene que ver con la velocidad con la cual las paredes de filtro se llenan de impurezas y no permiten un buen trabajo de éste elemento. Un filtro tiene un buen rendimiento si la velocidad de contaminación es baja.

Para realizar este programa son necesarios los siguientes datos de entrada:

- Velocidad del aire, se tienen cuatro posibilidades: constante, crecimiento lineal, decrecimiento exponencial y una combinación de las tres anteriores.

- Contaminación en el filtro, igual que para el dato de anterior se tiene las cuatro posibilidades de variación.

Conocidas las perturbaciones del sistema se procede al cálculo del rendimiento para cada una de las entradas. Si el rendimiento del depurador de aire es menor que el 50% se activa una alarma de prevención.

Las variables que intervienen en este modelo son:

REND11, REND12 => RENDIMIENTO CON VELOCIDAD Y CONTAMINACION  
EN EL FITRO CONSTANTE

REND21, REND22 => RENDIMIENTO CON VELOCIDAD Y CONTAMINACION  
CON CRECIMIENTO LINEAL

REND31, REND32 => RENDIMIENTO CON VELOCIDAD Y CONTAMINACION  
CON CRECIMIENTO EXPONENCIAL

REND41 => RENDIMIENTO CON VELOCIDAD Y CONTAMINACION  
CONSTANTE, LINEAL Y EXPONENCIAL

ALARM => ALARMAS PARA CADA UNO DE LOS RENDIMIENTOS

El diagrama de flujo corespondiente a este modelo se  
ilustra en la figura 3.18

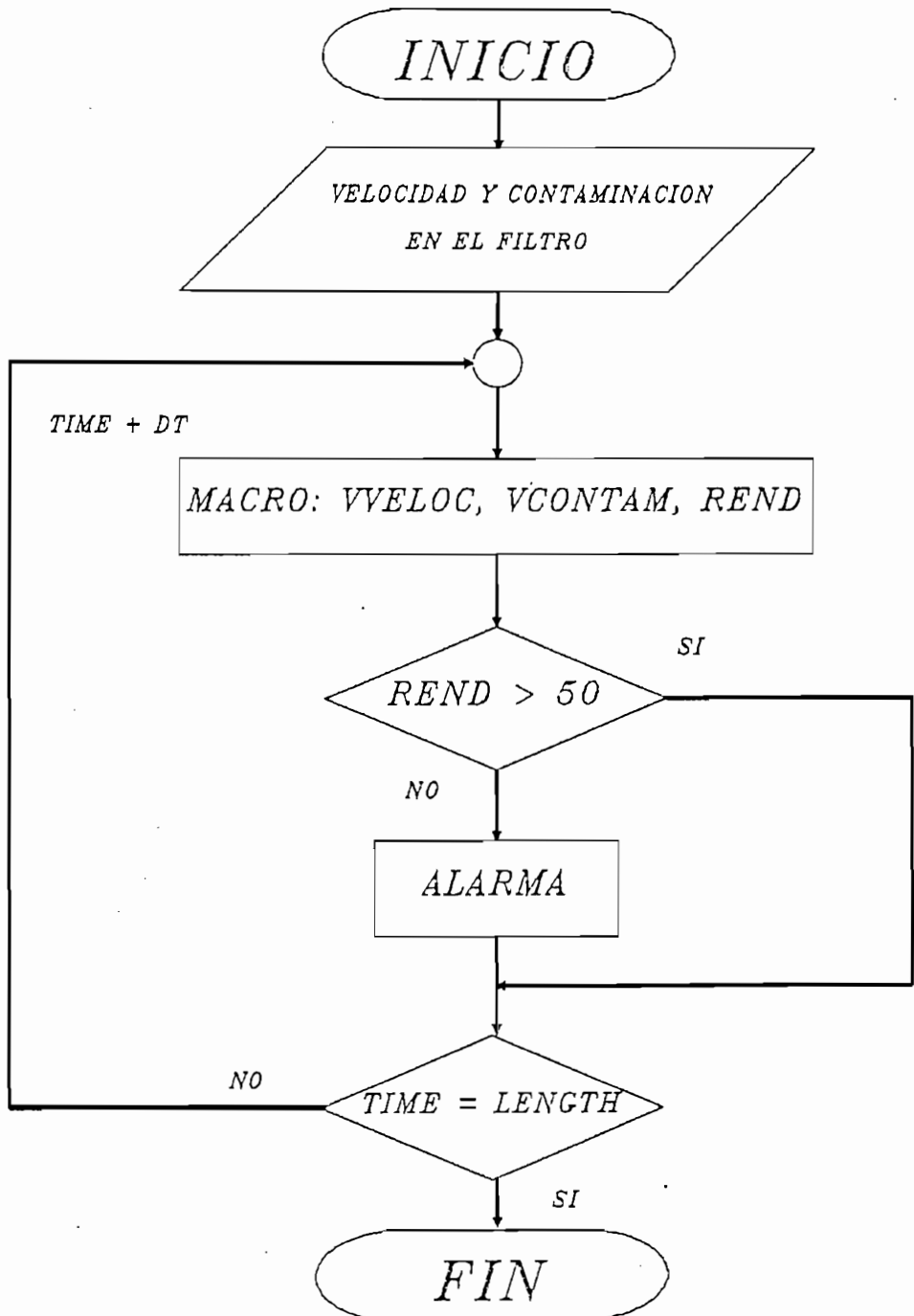


Fig. 3.18.- Diagrama de Flujo del Modelo COMTAMBI

## CAPITULO IV: APLICACIONES Y CONCLUSIONES

4.1 RESULTADOS DE LA SIMULACION

4.2 SIMULACION DE UN SISTEMA REAL

4.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.- APLICACIONES Y CONCLUSIONES

Una vez que se han desarrollado los programas para cada uno de los modelos propuestos en el capítulo anterior, es necesario comprobar su validez y eficiencia. En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos de la simulación. Los datos con los que se trabajó corresponden a los centros de cómputo de PETROECUADOR y de la ESCUELA POLITECNICA NACIONAL (E.P.N.).

En la tabla 4.1, se indican las dimensiones de cada uno de los locales que son utilizados como sala de máquinas para los centros de cómputo mencionados.

ESCENARIO	ANCHO [m]	LARGO [m]	ALTURA [m]
PETROECUADOR	6.0	25.0	2.6
E.P.N.	13.5	10.5	3.0

TABLA 4.1 DIMENSIONES DE LOS LOCALES

Uno de los datos que requieren los programas elaborados es la carga sensible total de cada uno de los centros de cómputo, por lo que es necesario conocer el número y el tipo de luminarias que estos locales disponen, el número promedio de personas que permanecen dentro del recinto, y la potencia disipada de los equipos. En el centro de cómputo de PETROECUADOR se encuentran instaladas 40 luminarias fluorescentes de 40 watts y el número promedio

de personas es 5. En el centro de cómputo de la E.P.N. están instaladas 60 luminarias fluorescentes de 40 watts y el número promedio de personas es 3. Los equipos que tienen el centro de cómputo de la E.P.N. se listan en la tabla 4.2 y los de PETROECUADOR en la tabla 4.3, mayor información sobre las especificaciones de éstos, ver en el ANEXO 4.

EQUIPO	POTENCIA DISIPADA [W]	TEMPERATURA [°]	HUMEDAD RELATIVA [%]
PROCESADOR	2400	10-32	8-80
UNIDAD CINTA	2200	16-32	20-80
IMPRESORA	2000	16-32	8-80

TABLA 4.2 EQUIPO DE E.P.N.

EQUIPO N°	POTENCIA DISIPADA [W]	TEMPERATURA [°C]	HUMEDAD RELATIVA [%]
3380	1892	16-32	20-80
3430	1100	16-32	20-80
3480	800	15-32	20-80
3726	2400	16-32	8-80
3880	2300	16-32	20-80
4245	2000	16-32	8-80
4381	6600	10-32	8-80
8809	425	16-32	8-80

TABLA 4.3 EQUIPO DE PETROECUADOR

A continuación se presenta el análisis de los resultados

obtenidos de la simulación.

#### 4.1 RESULTADOS DE LA SIMULACION

Se han ejecutado múltiples simulaciones con los programas desarrollados, pero se analizarán únicamente las más representativas.

##### 4.1.1 Modelo TEMHUM

Como se anotó en el numeral 3.4, en este modelo se observa el comportamiento de la temperatura, humedad absoluta y humedad relativa dentro del local. La simulación de este primer modelo se la realizó para el centro de cómputo de PETROECUADOR.

- EJEMPLO 1.1.- En este ejemplo (archivo TEMHUM.RSL), se observa que tanto la variable temperatura (TEMF) como la humedad absoluta (HUMABF) se estabilizan en un valor igual a la de las condiciones ambientales requeridas (representadas por funciones paso), esto se debe a que las variables de temperatura y humedad absoluta están representadas por sistemas de primer orden (sistemas tipo uno), los cuales responden a una entrada paso con error igual a cero. Como la humedad relativa (HUMELF) es función de la temperatura y la humedad absoluta también se estabiliza.

En la tabla 4.4 se indican los datos con los que se realizó la simulación; y, la figura 4.1 muestra el comportamiento de las variables temperatura, humedad absoluta y humedad relativa.

ALT= 2.6	AMP1H= 1	AMP1T= 1	AMP2H= 9.57 e <sup>-3</sup>
AMP2T= 19	ANC= 6	ANCHH= 1	ANCHT= 1
AT= 10.667	C1H= 0	C1T= 0	C2H= 1
C2T= 1	C3H= 0	C3T= 0	CP= .24
DENSI= .81214	HUMABSI= 7.5 e <sup>-3</sup>	INTERH=70	INTERT= 70
LARG= 25	LIMIIH= 40	LIMIIT= 17	LIMISH= 60
LIMIST= 21	PENDH= 1	PENDT= 1	QEQUIPO= 15.62 e <sup>3</sup>
OLUMINA= 2000	QPERSON= 700	RETAH= .166	RETASH= 75 e <sup>-3</sup>
RETAST= 50 e <sup>-3</sup>	RETAT= .166	TEMPI= 25	TIEM1H= 0
TIEM1T= 0	TIEM2H= 0	TIEM2T= 0	TIEM3H= 0
TIEM3T= 0	DT= 5 e <sup>-3</sup>	LENGTH= 5	SAVPER= 50 e <sup>-3</sup>

TABLA 4.4

A continuación se da la definición de las variables que aparecen en la tabla de datos:

ALT	altura del local [m]
AMP1H	amplitud del pulso de humedad absoluta Kg/Kg
AMP1T	amplitud del pulso de temperatura
AMP2H	amplitud de la función paso de humedad absoluta
AMP2T	amplitud de la función paso de temperatura
ANC	ancho del local [m]
ANCHH	ancho del pulso de humedad
ANCHT	ancho del pulso de temperatura
AT	diferencia de temperaturas (equipo)
C1H	activación del pulso de humedad
C2H	activación del paso de humedad



C3H	activación de la rampa de humedad
C1T	activación del pulso de temperatura
C2T	activación del paso de temperatura
C3T	activación de la rampa de temperatura
CP	calor específico del aire
DENSI	densidad del aire
HUMABSI	humedad absoluta inicial del local
INTERH	intervalo para que se produzca el pulso de humedad
INTERT	intervalo para que se produzca el pulso de temperatura
LARG	largo del local [m]
LIMI IH	límite inferior de humedad relativa
LIMI SH	límite superior de humedad relativa
LIMI IT	límite inferior de temperatura
LIMI ST	límite superior de temperatura
PENDH	pendiente de la humedad (rampa)
PENDT	pendiente de la temperatura (rampa)
QEQUIPO	calor sensible del equipo
QLUMINA	calor sensible de la luminarias
QPERSON	calor sensible de las personas
RETAH	retardo
RETASH	retardo debido al sensor de humedad relativa
RETAT	retardo
RETAST	retardo debido al sensor de temperatura
TEMPI	temperatura inicial del local
TIEM1H	tiempo inicio del pulso de humedad
TIEM2H	tiempo inicio del paso de humedad

TIEM3H tiempo inicio de la rampa de humedad  
 TIEM1T tiempo inicio del pulso de temperatura  
 TIEM2T tiempo inicio del paso de temperatura  
 TIEM3T tiempo inicio de la rampa de temperatura

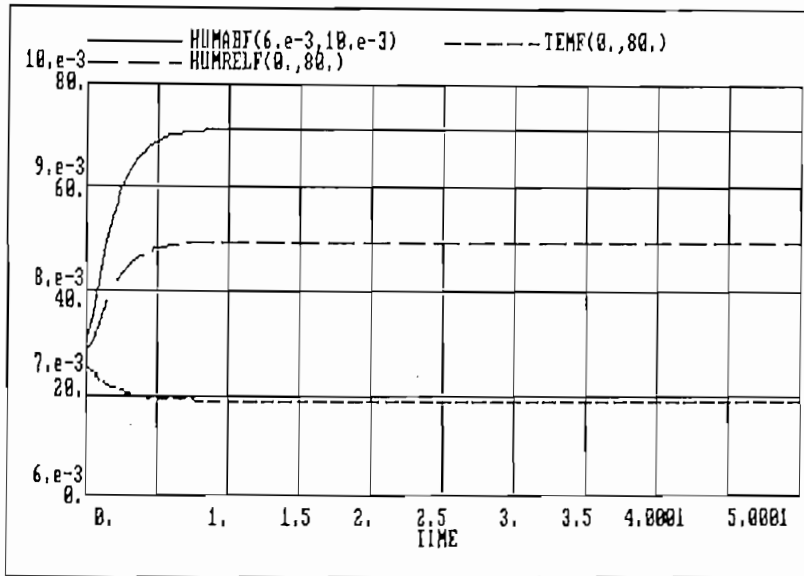


Fig. 4.1.- Comportamiento de la Temperatura, la Humedad Absoluta y la Humedad Relativa en un local.

- EJEMPLO 1.2.- Para este caso (archivo TEMHUPH.RSL), hay un aumento de la carga sensible del local lo que implica un incremento de temperatura. Para la curva de temperatura (TEMP), se puede decir que primero existe un incremento pequeño que puede deberse a la entrada de personal, encendido de un equipo, etc; pero luego comienza un incremento progresivo de esta variable por lo que se

activa la alarma (ALSUPFT).

Por la dependencia entre la humedad relativa y la temperatura, se observa que la humedad relativa (HUMRELF) cambia debido a las perturbaciones de temperatura (ecuación 14, capítulo III), además, se activa la alarma (ALINFFH) de nivel inferior para esta variable.

En este ejemplo es necesario indicar que el flujo de aire (FO) y la humedad absoluta del local (HUMABF) permanecen constante aún cuando hay cambios de carga sensible. Los datos se muestran en la tabla 4.5 y los gráficos en las figuras 4.2.A y 4.2.B.

ALT= 2.6	AMP1H= 1	<u>AMP1T= 1.5</u>	AMP2H= 9.57 e <sup>-3</sup>
AMP2T= 19	ANC= 6	ANCHH= 1	ANCHT= 1
AT= 10.667	C1H= 0	<u>C1T= 1</u>	C2H= 1
C2T= 1	C3H= 0	<u>C3T= 1</u>	CP= .24
DENSI= .81214	HUMABSI= 7.5 e <sup>-3</sup>	INTERH=70	INTERT= 70
LARG= 25	LIMI1H= 40	LIMI1T= 17	LIMISH= 60
LIMIST= 21	PENDH= 1	<u>PENDT= 1</u>	QEQUIPO= 15.62 e <sup>3</sup>
QLUMINA= 2000	QPERSON= 700	RETAH= .166	RETASH= 75 e <sup>-3</sup>
RETAST= 50 e <sup>-3</sup>	RETAT= .166	TEMPI= 25	TIEM1H= 0
<u>TIEM1T= 2</u>	TIEM2H= 0	TIEM2T= 0	TIEM3H= 0
<u>TIEM3T= 4</u>	DT= 5 e <sup>-3</sup>	LENGTH= 10	SAVPER= 50 e <sup>-3</sup>

TABLA 4.5

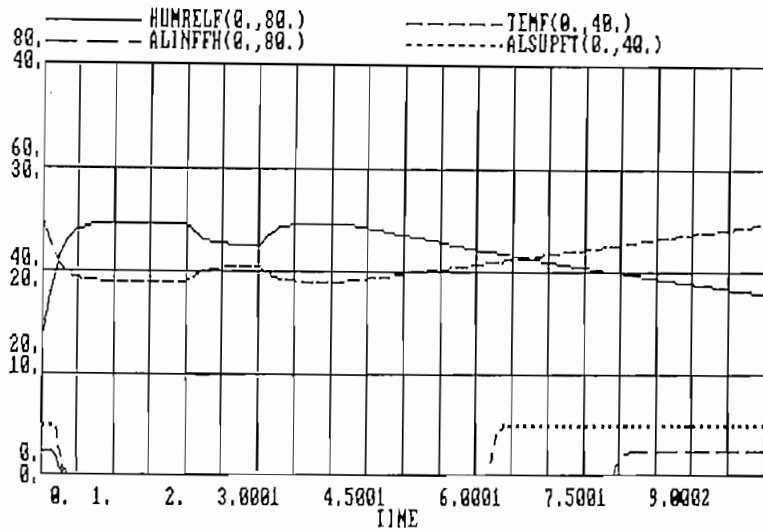


Fig. 4.2.A.- Comportamiento de la Temperatura y la Humedad Relativa en presencia de perturbaciones de temperatura, se activan las Alarmas.

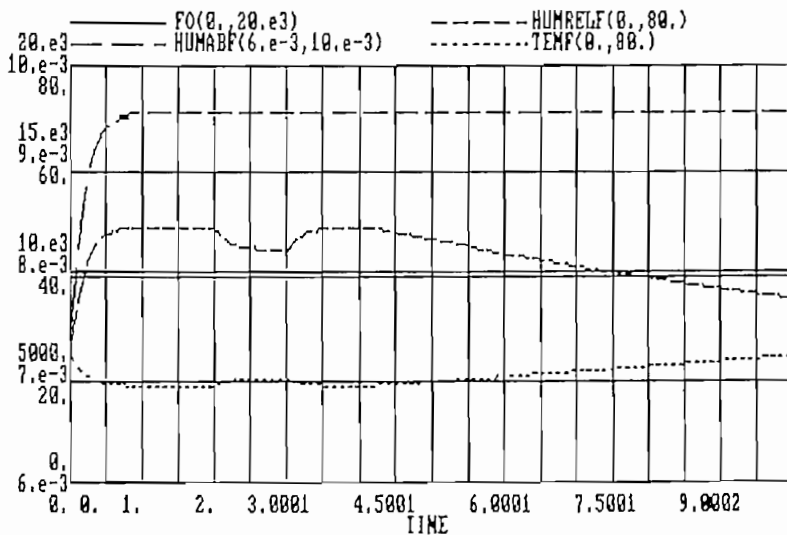


Fig. 4.2.B.- La Humedad Absoluta y el Flujo de salida permanecen constantes

- EJEMPLO 1.3.- La variación que se realizó para este ejemplo (archivo TEMHUMH.RSL) fue sobre la humedad absoluta del local, permaneciendo constante la carga sensible. Por la ecuación 14 en el capítulo III, la humedad relativa es dependiente de la temperatura y la humedad absoluta, por lo que se observan variaciones en la curva de humedad relativa (HUMRELF), debido a ésta variación se activa la alarma (ALSUPFH) para el límite superior de humedad relativa. Es importante recalcar que tanto el flujo de salida de aire (FO) como la temperatura (TEMF) no cambian.

La pantalla de datos en la que se indican los cambios realizados se muestran en la tabla 4.6, y los gráficos correspondientes al ejemplo en las figuras 4.3.A y 4.3.B.

AIT= 2.6	<u>AMP1H= 2 e<sup>-3</sup></u>	AMP1T= 1	AMP2H= 9.57 e <sup>-3</sup>
AMP2T= 19	ANC= 6	ANCHH= 2	ANCHT= 1
AT= 10.667	<u>C1H= 1</u>	C1T= 0	C2H= 1
C2T= 1	<u>C3H= 1</u>	C3T= 0	CP= .24
DENSI= .81214	HUMABSI= 7.5 e <sup>-3</sup>	INTERH= 70	INTERT= 70
LARG= 25	LIMI1H= 40	LIMI1T= 17	LIMISH= 60
LIMIST= 21	<u>PENDH= 9.1 e<sup>-3</sup></u>	PENDT= 1	QEQUIPO= 15.62 e <sup>3</sup>
QLUMINA= 2000	QPERSON= 700	RETAH= .166	RETASH= 75 e <sup>-3</sup>
RETAST= 50 e <sup>-3</sup>	RETAT= .166	TEMPI= 25	<u>TIEM1H= 2</u>
TIEM1T= 0	TIEM2H= 0	TIEM2T= 0	<u>TIEM3H= 5.5</u>
TIEM3T= 0	DT= 5 e <sup>-3</sup>	LENGTH= 10	SAVPER= 50 e <sup>-3</sup>

TABLA 4.6

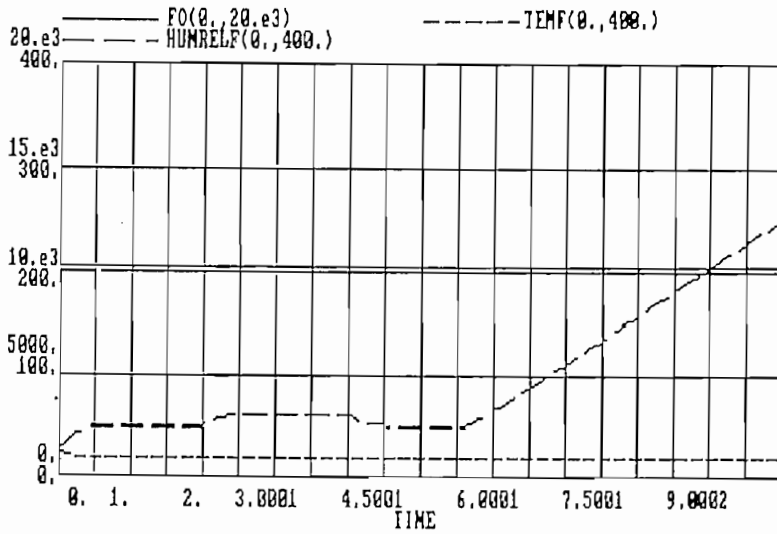


Fig. 4.3.A.- Comportamiento de la Humedad Relativa frente a variaciones de Humedad Absoluta. Temperatura y Flujo de salida constantes.

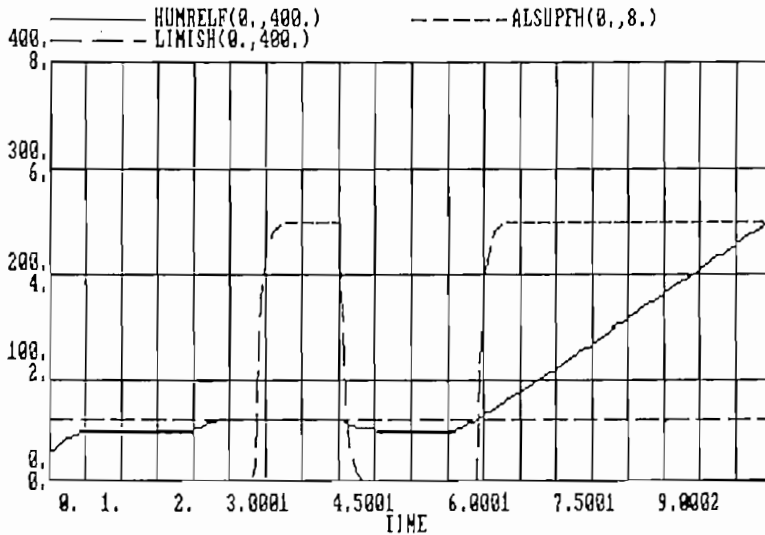


Fig. 4.3.B.- Activación de la Alarma de Humedad relativa.

#### 4.1.2 Modelo PROCESOS

La regulación de la temperatura, humedad absoluta y de la humedad relativa dentro de un local, se lo hace mediante un sistema de aire acondicionado, las formas como realiza la regulación se denominan procesos de aire acondicionado que fueron brevemente estudiados en el capítulo II. En este trabajo, se utilizaron tres procesos para obtener las condiciones ambientales adecuadas, el modelo PROCESOS muestra en una forma breve como se realizan los procesos de mezcla de dos atmósferas; saturación adiabática y calentamiento sensible.

- EJEMPLO 2.1.- En la simulación (archivo PROCESOS.RSL), el proceso de mezcla de dos atmósferas se lo hace mediante el cálculo del flujo de aire exterior (FLUREAL) necesario para llegar a los valores de temperatura y humedad absoluta de salida adecuados y proceder luego a la humidificación del aire resultante de la mezcla. Una vez que se ha saturado el aire se lo calienta hasta obtener las condiciones de temperatura y humedad relativa adecuadas. En las curvas que representan a la humedad relativa (HUMREAL) y a la temperatura (PROCESO) se aprecian claramente los procesos de saturación adiabática y calentamiento. En la curva de la humedad absoluta (SATURA) se observa el incremento de humedad en el aire, para luego estabilizarse en el punto adecuado de trabajo ( $9.57 \text{ e}^3 \text{ lb/lb}$ ).

El valor del flujo de aire exterior depende de las condiciones ambientales tanto del interior del local como del exterior. En la tabla 4.7 constan los datos requeridos para la simulación del modelo.

D= 10	D1= .5	FLUJOIN= 4480	HSATURA= 9.857 e <sup>-3</sup>
HUMSAL= 5.482 e <sup>-3</sup>	SP= 19	TEMEXT= 24	TEMINT= 19
TEMSAL= 20	TSATURA= 8.33	DT= 20 e <sup>-3</sup>	SAVPER= 20 e <sup>-3</sup>
LENGTH= 1			

TABLA 4.7

Definición de las variables que aparecen en la pantalla de datos:

D	constante
D1	constante
FLUJOINT	flujo del local
HSATURA	humedad absoluta de saturación
HUMSAL	humedad absoluta de salida (recta de saturación)
SP	temperatura de trabajo
TEMEXT	temperatura exterior
TEMINT	temperatura del local
TEMSAL	temperatura de salida (recta de saturación)

Las curvas correspondientes a las variables que intervienen se muestran en las figuras 4.4.A y 4.4.B. Los detalles analíticos están en el capítulo III, numeral 3.3.2.



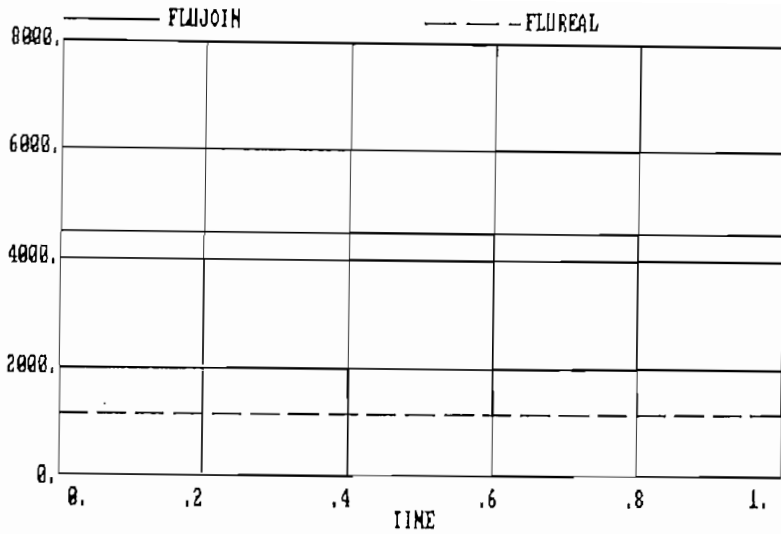


Fig. 4.4.A.- Cálculo del Flujo Exterior necesario

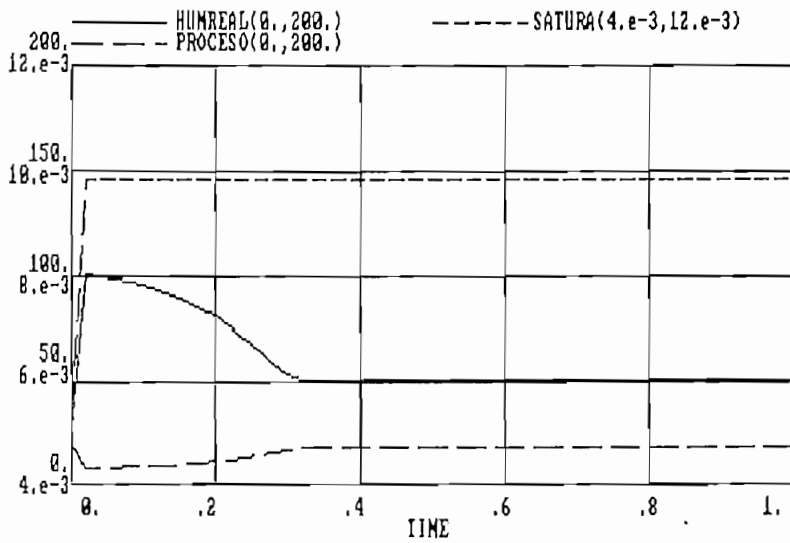


Fig. 4.4.B.- Procesos de Saturación Adiabática y Calentamiento.

- EJEMPLO 2.2.- Este ejemplo (archivo PROCESO1.RSL),

se realizó cambiando las condiciones ambientales internas de 19°C a 18.5 °C y las externas de 24°C a 10°C, con el fin de observar la variación del flujo exterior necesario. En la tabla 4.8 se indican los datos con los que se realizó la simulación y en la figura 4.5 se muestra el resultado de la misma.

D= 10	D1= .5	FLUJOIN= 4480	HSATURA= 9.857 e <sup>-3</sup>
HUMSAL= 5.482 e <sup>-3</sup>	SP= 19	TEMEXT= 10	TEMINT= 18.5
TEMSAL= 20	TSATURA= 8.33	DT= 20 e <sup>-3</sup>	SAVPER= 20 e <sup>-3</sup>
LENGTH= 1			

TABLA 4.8

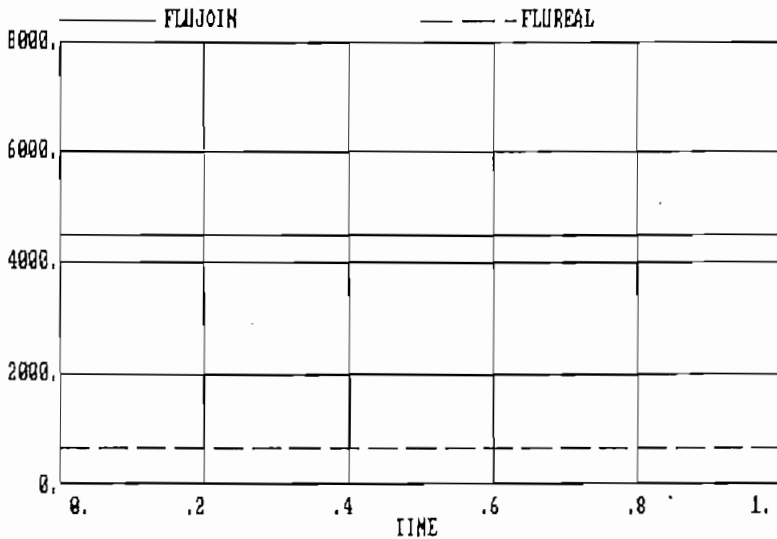


Fig. 4.5.- Flujo Exterior necesario

### 4.1.3 Modelo REGULACI

En este modelo se realiza la regulación de las variables de temperatura, humedad absoluta y humedad relativa, de acuerdo a lo descrito en el capítulo III.

- EJEMPLO 3.1.- Para este ejemplo (archivo REGULAI.RSL) se consideran variaciones de carga sensible cada cierto tiempo; se trabaja con los datos del centro de cómputo de la E.P.N..

Se observa que la temperatura (TEMPFIN), la humedad absoluta (HUMEF) y la humedad relativa (HRELATI) se mantienen constantes, en tanto que la salida del flujo de aire acondicionado (FLUJOR) aumenta para enfriar el local, debido al cambio de carga sensible (CAMBIOQ).

Al igual que en los ejemplos anteriores se presentan los datos en la tabla 4.9 y las curvas correspondientes en las figuras 4.6.A y 4.6.B.

AMP1H= 1	<u>AMP1T= 5</u>	AMP2H= 9.57 e <sup>-3</sup>	AMP2T= 19
ANCHH= 1	<u>ANCHT= 2</u>	AT= 10.667	CLH= 0
<u>CLT= 1</u>	C2H= 1	C2T= 1	C3H= 0
C3T= 0	CP= .24	DENSI= .81214	HUMABSI= 2.5 e <sup>-3</sup>
INTERH=70	<u>INTERT= 3.5</u>	LIMIH= 44	LIMIIH= 30
LIMIIT= 16	LIMISH= 90	LIMIST= 27	LIMSH= 56
MAXFLUJ= 8000	PENDH= 1	PENDT= 1	QSI= 10.03 e <sup>3</sup>
RETARDO= .1	RETAST= 50 e <sup>-3</sup>	SETP= 19	SETPH= 50
TEMPI= 23	TIEM1H= 0	<u>TIEM1T= 2.5</u>	TIEM2H= 0
TIEM2T= 0	TIEM3H= 0	TIEM3T= 0	VR= 425.25
DT= 10 e <sup>-3</sup>	LENGTH= 12	SAVPER= .1	

TABLA 4.9

Lista de variables de datos:

AMP1H	amplitud del pulso de humedad absoluta Kg/Kg
AMP1T	amplitud del pulso de temperatura
AMP2H	amplitud de la función paso de humedad absoluta
AMP2T	amplitud de la función paso de temperatura
ANCHH	ancho del pulso de humedad
ANCHT	ancho del pulso de temperatura
AT	diferencia de temperaturas (equipo)
C1H	activación del pulso de humedad
C2H	activación del paso de humedad
C3H	activación de la rampa de humedad
C1T	activación del pulso de temperatura
C2T	activación del paso de temperatura
C3T	activación de la rampa de temperatura
CP	calor específico del aire
DENSI	densidad del aire
HUMEI	humedad absoluta inicial del local
INTERH	intervalo para que se produzca el pulso de humedad
INTERT	intervalo para que se produzca el pulso de temperatura
LIMIH	límite inferior de humedad relativa con el que se producen los procesos de aire acondicionado
LIMIIH	límite inferior de humedad relativa (alarmas)
LIMSH	límite superior de humedad relativa con el que se producen los procesos de aire acondicionado
LIMISH	límite superior de humedad relativa (alarmas)
LIMIIT	límite inferior de temperatura

---

<del>TEMP1</del>	<del>temperatura inicial del local</del>
TIEM1H	tiempo del pulso de humedad
TIEM2H	tiempo del paso de humedad
TIEM3H	tiempo de la rampa de humedad
TIEM1T	tiempo del pulso de temperatura
TIEM2T	tiempo del paso de temperatura
TIEM3T	tiempo de la rampa de temperatura
VR	volumen del local

LIMIST	límite superior de temperatura
MAXFLUJ	flujo máximo de aire del equipo acondicionador de aire
PENDH	pendiente de la humedad (rampa)
PENDT	pendiente de la temperatura (rampa)
QSI	calor sensible total del local
RETAH	retardo
RETASH	retardo debido al sensor de humedad relativa
RETAT	retardo
RETAST	retardo debido al sensor de temperatura
SETP	punto de trabajo de temperatura
SETPH	punto de trabajo de humedad relativa
TEMPI	temperatura inicial del local
TIEM1H	tiempo del pulso de humedad
TIEM2H	tiempo del paso de humedad
TIEM3H	tiempo de la rampa de humedad
TIEM1T	tiempo del pulso de temperatura
TIEM2T	tiempo del paso de temperatura
TIEM3T	tiempo de la rampa de temperatura
VR	volumen del local

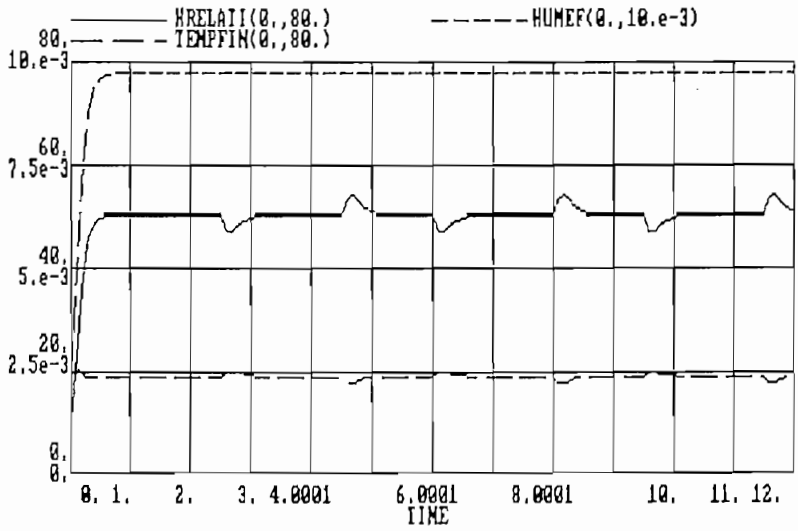


Fig. 4.6.A.- Regulación de la Temperatura y Humedad Relativa.

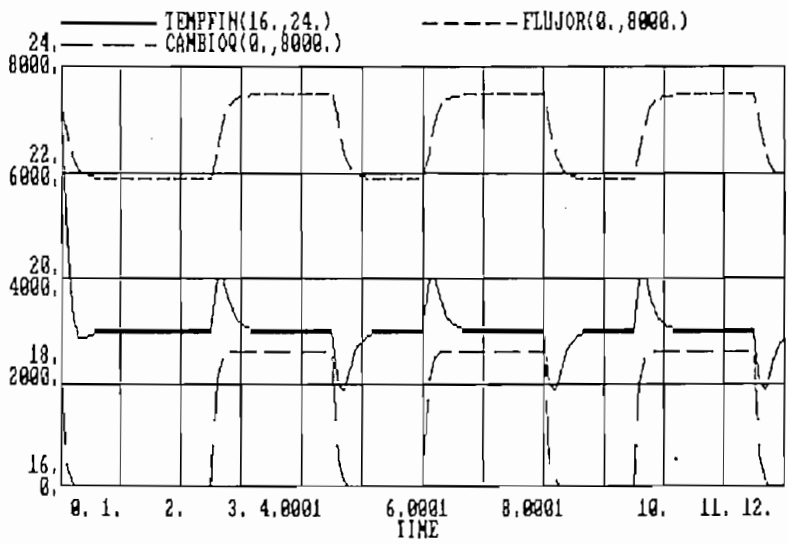


Fig. 4.6.B.- Cambios de la Carga Sensible y del Flujo en el local.

- EJEMPLO 3.2.- En esta aplicación (archivo REGULATH.RSL), se trabaja con datos del centro de cómputo de PETROECUADOR, se consideran perturbaciones de temperatura y humedad absoluta dentro del local.

En presencia del cambio de la humedad absoluta (HUMEF) es la variación de la humedad relativa (HRELATI) es despreciable, la temperatura (TEMPFIN) permanece constante.

Cuando se registra el cambio de carga sensible (CAMBIOQ), el flujo de salida de aire (FLUJOR) cambia de valor gradualmente hasta que se estabiliza en un nuevo valor; la temperatura y la humedad realtiva permanecen constantes.

A continuación se muestran los datos y las curvas correspondientes a este ejemplo, tabla 4.10 y figuras 4.7.A y 4.7.B.

<u>AMP1H</u> = .3 e <sup>-3</sup>	<u>AMP1T</u> = 2.5	AMP2H= 9.57 e <sup>-3</sup>	AMP2T= 19
ANCHH= 70	ANCHT= 70	AT= 10.667	<u>CIH</u> = 1
<u>CI</u> T= 1	C2H= 1	C2T= 1	C3H= 0
C3T= 0	CP= .24	DENSI= .81214	HUMABSI= 2.5 e <sup>-3</sup>
INTERH= 70	INTERT= 70	LIMIH= 44	LIMIIT= 30
LIMIIT= 16	LIMISH= 90	LIMIST= 27	LIMSH= 56
MAXFLUJ= 13 e <sup>3</sup>	PENDH= 1	PENDT= 1	QSI= 18.33 e <sup>3</sup>
RETARDO= .1	RETAST= 50 e <sup>-3</sup>	SETP= 19	SETPH= 50
TEMPI= 23	<u>TIEM1H</u> = 2	<u>TIEM1T</u> = 5.5	TIEM2H= 0
TIEM2T= 0	TIEM3H= 0	TIEM3T= 0	VR= .390
DT= 10 e <sup>-3</sup>	LENGTH= 12	SAVPER= .1	

TABLA 4.10

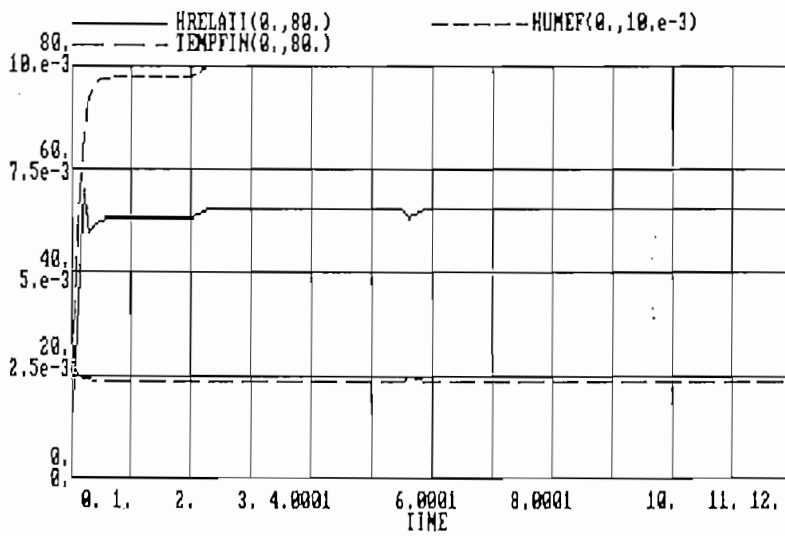


Fig. 4.7.A.- Curvas de Temperatura, Humedad Relativa y Humedad Absoluta, cuando hay cambio de humedad en el aire.

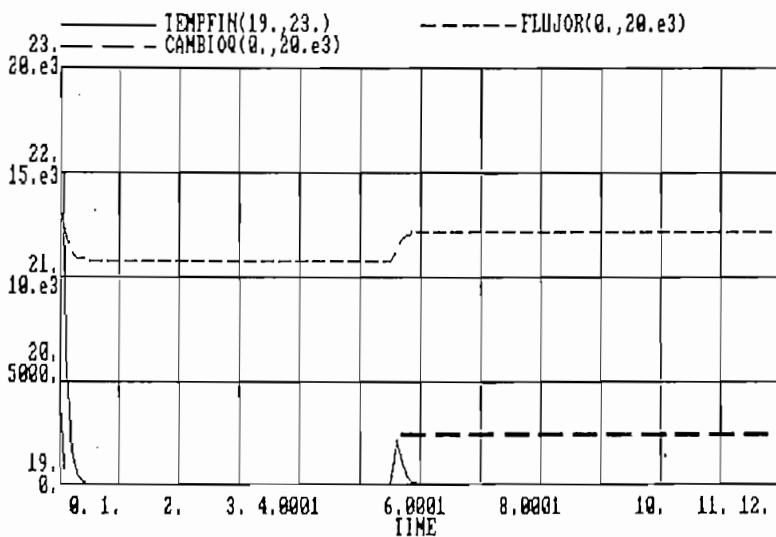


Fig. 4.7.B.- Curvas de Flujo y Cambio de Carga Sensible.

- EJEMPLO 3.3.- Las dimensiones con las que se trabaja son las del centro de cómputo de PETROECUADOR. En este ejercicio (archivo REGULAT.RSL), se presentan perturbaciones de carga sensible en el local, debido a ellas las variables de interés salen del rango de control.

La regulación de la temperatura (TEMPFIN) y de la humedad



- EJEMPLO 3.3.- Las dimensiones con las que se trabaja son las del centro de cómputo de PETROECUADOR. En este ejercicio (archivo REGULAT.RSL), se presentan perturbaciones de carga sensible en el local, debido a ellas las variables de interés salen del rango de control.

La regulación de la temperatura (TEMPFIN) y de la humedad relativa (HRELATI) se realiza que el flujo de salida de aire (FLUJOR) llega a su máximo valor; superado este valor las variables salen de control, se activan las alarmas del nivel superior de temperatura (ALSUPFT) y la del nivel inferior de humedad relativa (ALINFFH).

Se observa el crecimiento de la carga sensible dentro del local (CAMBIOQ).

En la tabla 4.11 están los datos con los que se hizo la corrida de este ejercicio y, en las figuras 4.8.A y 4.8.B los resultados de las variables de interés.

AMP1H= 1	<u>AMP1T= 3</u>	AMP2H= 9.57 e <sup>-3</sup>	AMP2T= 19
ANCHH= 1	<u>ANCHT= 2.5</u>	AT= 10.667	C1H= 0
<u>C1T= 1</u>	C2H= 1	C2T= 1	C3H= 0
<u>C3T= 1</u>	CP= .24	DENSI= .81214	HUMABSI= 2.5 e <sup>-3</sup>
INTERH= 70	INTERT= 70	LIMIH= 44	LIMI IH= 30
LIMIIT= 16	LIMISH= 90	LIMIST= 27	LIMSH= 56
MAXFLUJ= 13 e <sup>3</sup>	PENDH= 1	PENDT= 1	QSI= 18.33 e <sup>3</sup>
RETARDO= .1	RETAST= 50 e <sup>-3</sup>	SETP= 19	SETPH= 50
TEMPI= 23	TIEM1H= 0	<u>TIEM1T= 2</u>	TIEM2H= 0
TIEM2T= 0	TIEM3H= 0	<u>TIEM3T= 5</u>	VR= 390
DT= 10 e <sup>-3</sup>	LENGTH= 15	SAVPER= .1	

TABLA 4.11

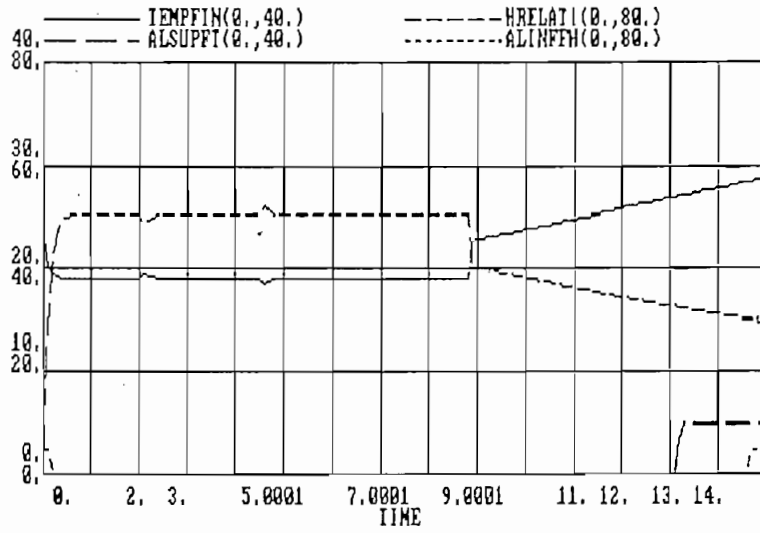


Fig. 4.8.A.- Temperatura y Humedad Relativa con la activación de las Alarmas respectivas.

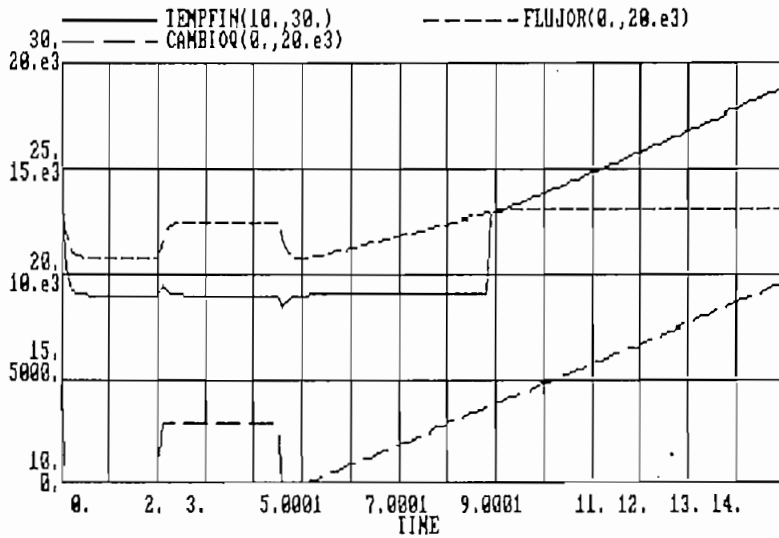


Fig. 4.8.B.- Incremento de la Carga Sensible en el local, el Flujo de salida toma su valor máximo.

- EJEMPLO 3.4.- Se realiza la simulación considerando perturbaciones en la humedad absoluta (ENTRAH) del local (archivo REGULAH.RSL). El cambio en la humedad absoluta provoca que la humedad relativa (HRELATI) salga de la zona de trabajo (referirse a la figura 3.1), de allí que el control se lo hace por medio de los procesos de aire acondicionado; en este caso el flujo de salida (FO) y la temperatura (TEMPFIN) sufren un pequeño cambio cuando empieza el proceso de calentamiento (para una mejor comprensión referirse al modelo PROCESOS). Pero, la humedad absoluta sigue aumentando y no es posible realizar un control, por lo que se activa la alarma de nivel superior de humedad relativa (ALSUPFH).

Se trabaja con datos de PETROECUADOR, la tabla 4.12 muestran los datos y los gráficos correspondiente en las figuras 4.9.A y 4.9.B.

<u>AMP1H= .45 e<sup>-3</sup></u>	AMP1T= 1	AMP2H= 9.57 e <sup>-3</sup>	AMP2T= 19
<u>ANCHH= 3</u>	ANCHT= 1	AT= 10.667	<u>C1H= 1</u>
C1T= 0	C2H= 1	C2T= 1	<u>C3H= 1</u>
C3T= 0	CP= .24	DENSI= .81214	HUMABSI= 2.5 e <sup>-3</sup>
INTERH= 70	INTERT= 70	LIMIH= 44	LIMI IH= 30
LIMIIT= 16	LIMISH= 90	LIMIST= 27	LIMSH= 56
MAXFLUJ= 13 e <sup>3</sup>	<u>PENDH= 6.5 e<sup>-3</sup></u>	PENDT= 1	QSI= 18.33 e <sup>3</sup>
RETARDO= .1	RETAST= 50 e <sup>-3</sup>	SETP= 19	SETPH= 50
TEMPI= 23	<u>TIEM1H= 2</u>	TIEM1T= 0	TIEM2H= 0
TIEM2T= 0	<u>TIEM3H= 8</u>	TIEM3T= 0	VR= 390
DT= 10 e <sup>-3</sup>	LENGTH= 15	SAVPER= .1	

TABLA 4.12

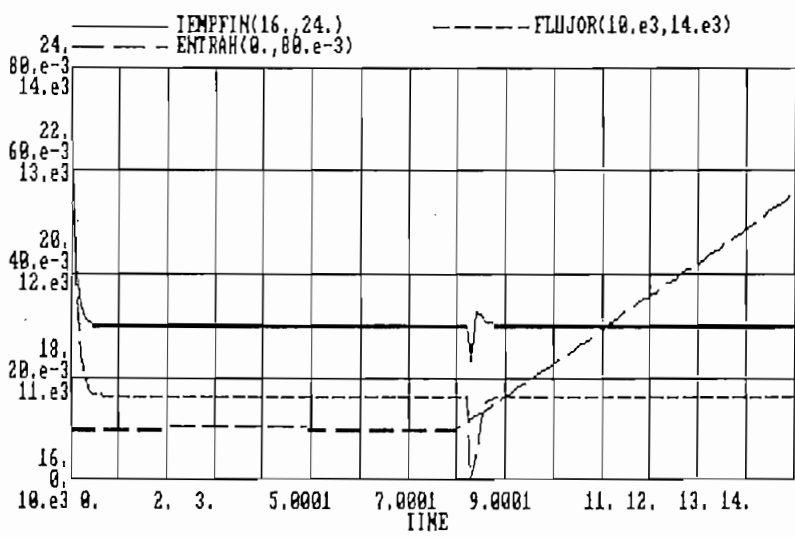


Fig. 4.9.A.- Humedad Relativa fuera de control, cambio de la Temperatura y el flujo debido al proceso de calentamiento.

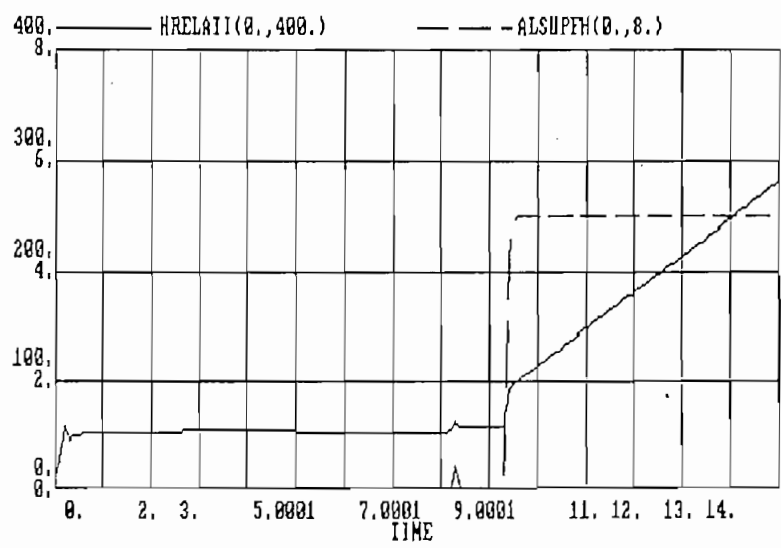


Fig. 4.9.B.- Perturbación de Humedad Absoluta, activación de la Alarma de nivel superior de humedad relativa.

#### 4.1.4 Modelo COMPROBA

Este modelo se diseñó con el fin de ratificar lo descrito en los capítulos anteriores, sobre la influencia de la humedad absoluta en la humedad relativa y la inconveniencia de realizar el control de humedad absoluta por medio de la variación del flujo de salida de aire del equipo acondicionador de aire.

- EJEMPLO 4.1.- En este ejercicio (archivo COMPROBA.RSL) del modelo de COMPROBA, se realiza el cálculo de la humedad relativa cambiando la humedad absoluta de  $9.75 \text{ e}^{-3} \text{ lb/lb}$  a  $9.85 \text{ e}^{-3} \text{ lb/lb}$  y se observa que el cambio no es significativo con respecto al valor referencial de 50% (INFLUHU), y cuando se varía la temperatura de  $19^\circ\text{C}$  a  $20^\circ\text{C}$  provocando como resultado un cambio apreciable en la humedad relativa (INFLUTE). Estos resultados se muestran gráficamente en la figura 4.10.A y tabulados en la tabla 4.13.B.

Además, se da una perturbación de humedad absoluta, y se aprecia que el cambio que tiene el valor del flujo de salida (FO) no es considerable lo cual se verifica en los resultados de la tabla 4.13.C y gráficamente en la figura 4.10.B. La humedad realtiva sin control (HRR) presenta cambios no significativos permaneciendo dentro de la tolerancia establecida. Por lo tanto se concluye que no es conveniente el control de la humedad absoluta por medio de

la variación del flujo.

En la figura 4.10.C se observan las curvas de la humedad relativa (HUMREL) y la humedad absoluta (HUMEF) con control.

AMP1H= .45 e <sup>-3</sup>	AMP2H= 9.57 e <sup>-3</sup>	ANCHH= 1	C1H= 1
C2H= 1	C3H= 0	FENTR= 4800	HUMEDAD= 9.856 e <sup>-3</sup>
HUMEI= 5.9 e <sup>-3</sup>	INTERH= 3	PENDH= 1	PTT= 19
RETARDO= .1	RETASH= 50 e <sup>-3</sup>	SETPH= 9.75 e <sup>-3</sup>	TEM= 20
TIEM1H= 1.5	TIEM2H= 0	TIEM3H= 0	VR= 390
DT= 10 e <sup>-3</sup>	LENGTH= 7	SAVPER= .1	

TABLA 4.13.A

Lista de variables:

AMP1H	amplitud del pulso de humedad absoluta Kg/Kg
AMP2H	amplitud de la función paso de humedad absoluta
ANCHH	ancho del pulso de humedad
C1H	activación del pulso de humedad
C2H	activación del paso de humedad
C3H	activación de la rampa de humedad
FENTR	flujo de salida inicial
HUMEDAD	variación de la humedad absoluta
HUMEI	humedad absoluta inicial del local
INTERH	intervalo para que se produzca el pulso de humedad
PENDH	pendiente de la humedad (rampa)
PTT	punto de trabajo de temperatura
RETARDO	retardo

RETASH      retardo debido al sensor de humedad relativa  
 SETPH      punto de trabajo de humedad absoluta  
 TEM        variación de temperatura  
 TIEM1H    tiempo del pulso de humedad  
 TIEM2H    tiempo del paso de humedad  
 TIEM3H    tiempo de la rampa de humedad  
 VR         volumen del local en metros

A continuación la tabla con los valores de humedad relativa para el cambio de humedad absoluta y el de temperatura.

TIEMPO	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
INFLUHU	51.05	51.05	51.05	51.05	51.05	51.05	51.05
INFLUTE	47.54	47.54	47.54	47.54	47.54	47.54	47.54

TABLA 4.13.B

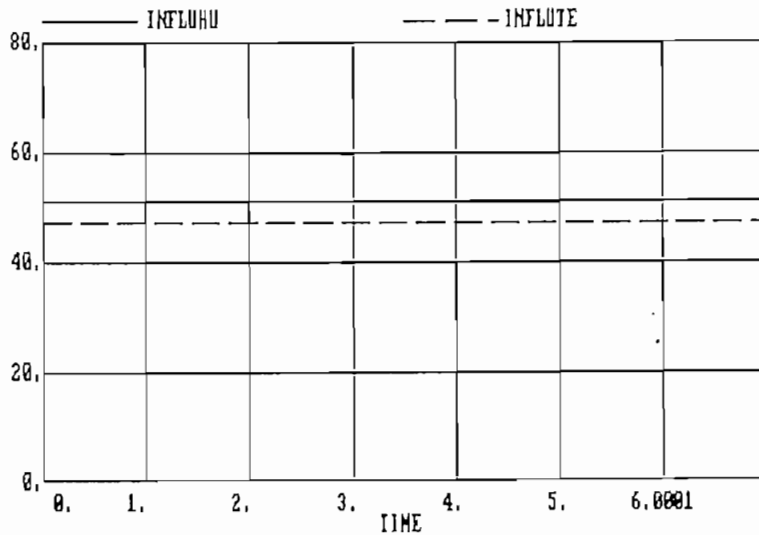


Fig. 4.10.A.- Influencia de la temperatura y la humedad absoluta en la Humedad Relativa.

Tabla de valores del flujo de salida y de la humedad relativapara los cambios en la humedad absoluta.

TIEMPO	FLUJO DE SALIDA (FO)	HUMEDAD RELATIVA SIN CONTROL (HRR)
0.0	2904.6	30.561
1.0	4800	50.501
1.5	4800	50.503
2	5021.2	52.785
2.5	5021.2	52.834
3.0	4800	50.553
3.5	4800	50.504
4.0	4800	50.503
4.5	4800	50.503
5.0	5021.2	52.785
5.5	5021.2	52.834

TABLA 4.13.C



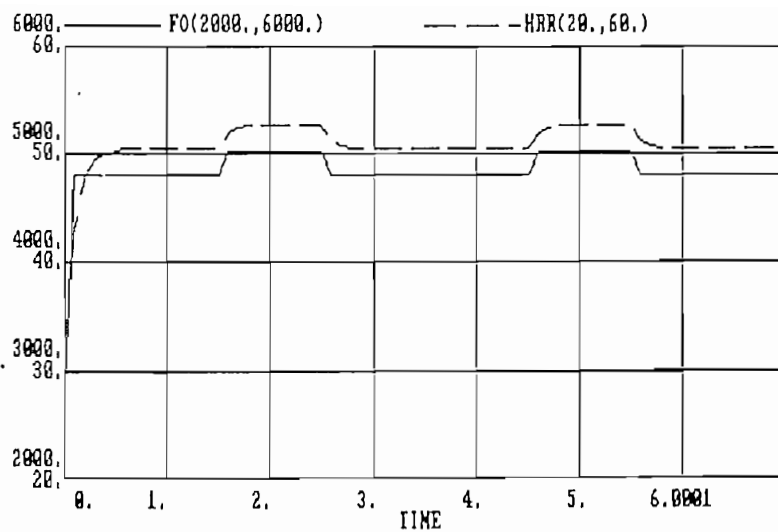


Fig. 4.10.B.- Cambio de valor en el Flujo de salida y Humedad Relativa sin control.

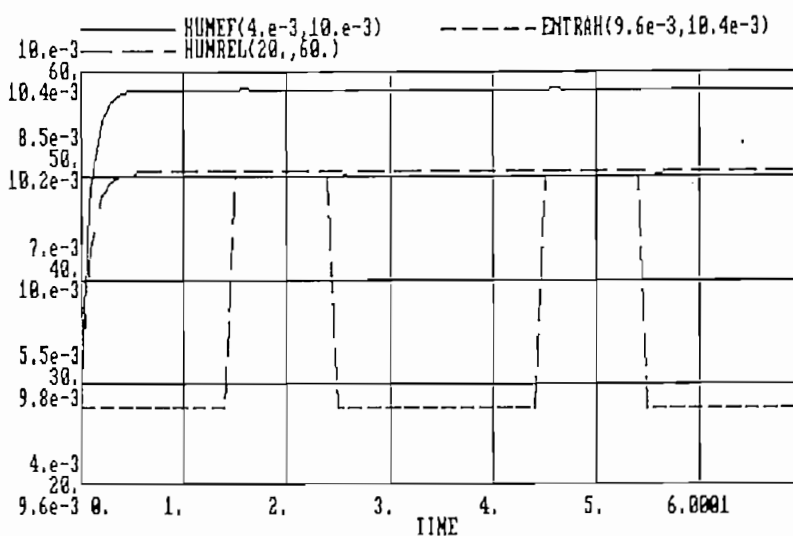


Fig. 10.C.- Humedad Absoluta y Humedad Relativa controladas por medio de la variación del flujo de salida.



contaminación del filtro

CONST      coeficiente de la función exponencial en la ecuación de razón (variación) de la contaminación del filtro

CONST1    coeficiente de la función exponencial en la ecuación de razón (variación) de la velocidad del aire

PENDIEN   pendiente de la función rampa

RENDC     límite inferior del rendimiento, para que se activen las alarmas respectivas

V          coeficientes de las funciones paso (1) y rampa (2) en la ecuación de razón (variación) de la velocidad del aire

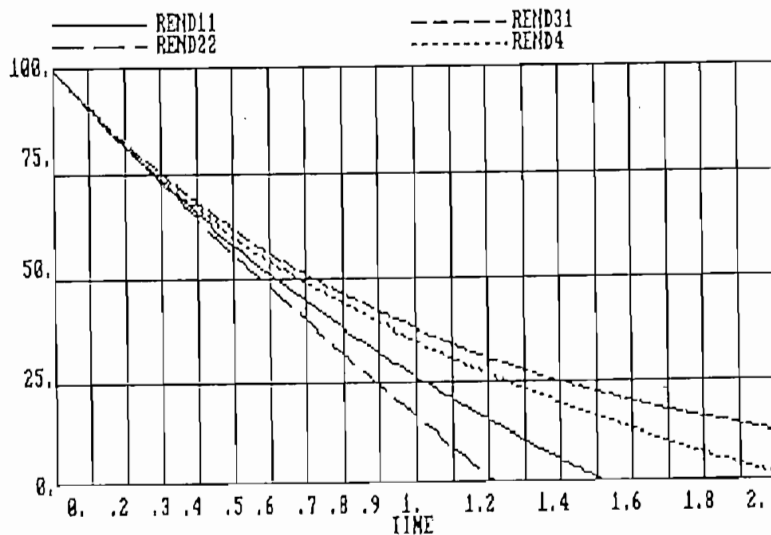


Fig. 4.11.- Rendimientos para diferentes velocidades de aire y de contaminación del filtro

## 4.2 SIMULACION DE SISTEMAS REALES

En el numeral anterior, se realizó la corrida de los programas con datos reales de los escenarios escogidos, en este numeral se van analizar los cambios que se producen en los modelos TEMHUM y REGULACI al existir perturbaciones tanto de temperatura como de humedad absoluta en el recinto de control.

Como en los ejemplos anteriores se presentan la pantalla de datos y los gráficos correspondientes.

- Corrida del programa TEMHUM.- En este ejemplo (archivo TEMHUMT.RSL) se observa que todas las variables de interés varían de acuerdo con la perturbaciones. Se activan las alarmas correspondientes para temperatura y humedad relativa.

Se trabajó con los datos del centro de cómputo de PETROECUADOR; a continuación se muestra la tabla de datos y los gráficos correspondiente a este ejemplo.

ALT= 2.6	<u>AMP1H= 3 e<sup>-3</sup></u>	<u>AMP1T= 2</u>	AMP2H= 9.57 e <sup>-3</sup>
AMP2T= 19	ANC= 6	<u>ANCHH= 2</u>	<u>ANCHT= 3</u>
AT= 10.667	<u>C1H= 1</u>	<u>C1T= 1</u>	C2H= 1
C2T= 1	<u>C3H= 1</u>	<u>C3T= 1</u>	CP= .24
DENSI= .81214	HUMABSI= 7.5 e <sup>-3</sup>	INTERH=70	INTERT= 70
LARG= 25	LIM1H= 40	LIMIT= 17	LIMISH= 60
LIMIST= 21	<u>PENDH= 6.5 e<sup>-3</sup></u>	<u>PENDT= 1.8</u>	QEQUIPO= 15.62 e <sup>3</sup>
QLUMINA= 2000	QPERSON= 700	RETAH= .166	RETASH= 75 e <sup>-3</sup>
RETAST= 50 e <sup>-3</sup>	RETAT= .166	TEMPI= 25	<u>TIEM1H= 1.5</u>
<u>TIEM1T= 1.5</u>	TIEM2H= 0	TIEM2T= 0	<u>TIEM3H= 5.5</u>
<u>TIEM3T= 7</u>	DT= 5 e <sup>-3</sup>	LENGTH= 8	SAVPER= 50 e <sup>-3</sup>

TABLA 4.15

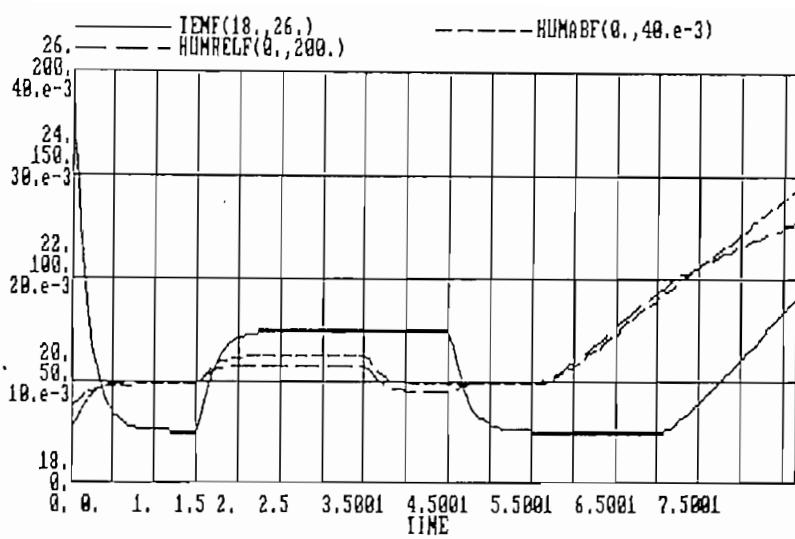


Fig. 4.12.A.- Comportamiento de la Temperatura, Humedad Absoluta y Humedad Relativa.

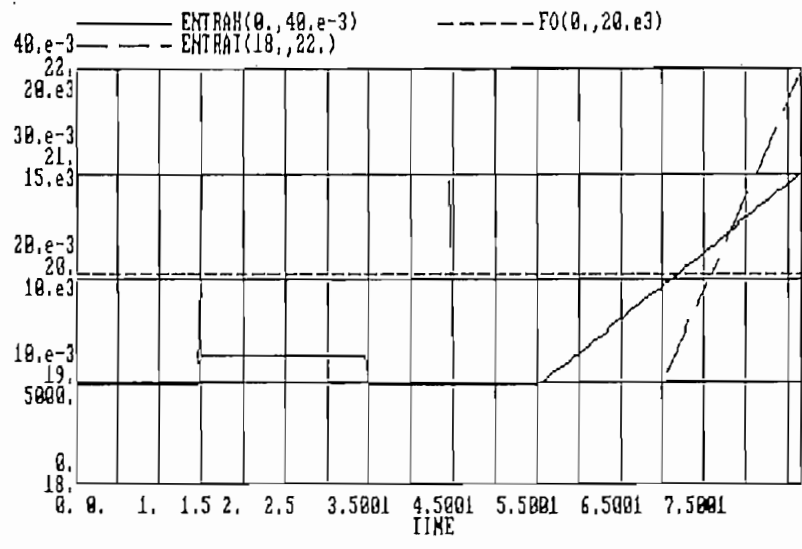


Fig. 4.12.B.- Señales de perturbación de Humedad Absoluta y Temperatura. El Flujo de salida. es constante.

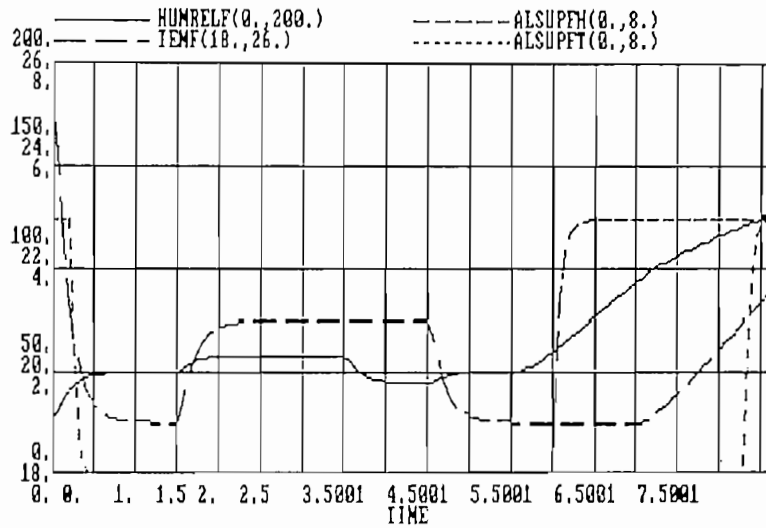


Fig. 4.12.C.- Activación de las Alarmas de las variables de interés.

- Corrida del programa REGULACI.- Para este ejemplo (archivo REGULANC.RSL), se dan perturbaciones de humedad absoluta y de carga sensible.

La perturbación de la humedad absoluta provoca (ENTRAH) que las condiciones ambientales salgan de la zona de trabajo, lo cual se observa en las curvas de humedad relativa y de temperatura. El control se efectúa por medio de los procesos de aire acondicionado.

Se observan los cambio del flujo de salida y de la carga sensible en local. En virtud de las perturbaciones grandes las variables salen fuera de control y como consecuencia se activan las alarmas correspondientes.

En la tabla 4.16 constan los datos de este archivo y en las figuras 4.13.A y 4.13.B los gráficos correspondientes.

<u>AMP1H</u> = .45 e <sup>-3</sup>	<u>AMP1T</u> = 4	<u>AMP2H</u> = 9.57 e <sup>-3</sup>	<u>AMP2T</u> = 19
<u>ANCHH</u> = 2	<u>ANCHT</u> = 5	<u>AT</u> = 10.667	<u>C1H</u> = 1
<u>C1T</u> = 1	<u>C2H</u> = 1	<u>C2T</u> = 1	<u>C3H</u> = 1
<u>C3T</u> = 1	<u>CP</u> = .24	<u>DENSI</u> = .81214	<u>HUMABSI</u> = 2.5 e <sup>-3</sup>
<u>INTERH</u> = 70	<u>INTERT</u> = 70	<u>LIMIH</u> = 44	<u>LIMI2H</u> = 30
<u>LIMIIT</u> = 16	<u>LIMISH</u> = 90	<u>LIMIST</u> = 27	<u>LIMSH</u> = 56
<u>MAXFLUJ</u> = 13 e <sup>3</sup>	<u>PENDH</u> = 0.6 e <sup>-3</sup>	<u>PENDT</u> = .85	<u>QSI</u> = 18.33 e <sup>3</sup>
<u>RETARDO</u> = .1	<u>RETAST</u> = 50 e <sup>-3</sup>	<u>SETP</u> = 19	<u>SETPH</u> = 50
<u>TEMPI</u> = 23	<u>TIEM1H</u> = 4	<u>TIEM1T</u> = 2	<u>TIEM2H</u> = 0
<u>TIEM2T</u> = 0	<u>TIEM3H</u> = 15	<u>TIEM3T</u> = 15	<u>VR</u> = 390
<u>DT</u> = 10 e <sup>-3</sup>	<u>LENGTH</u> = 30	<u>SAVPER</u> = .1	

TABLA 4.16

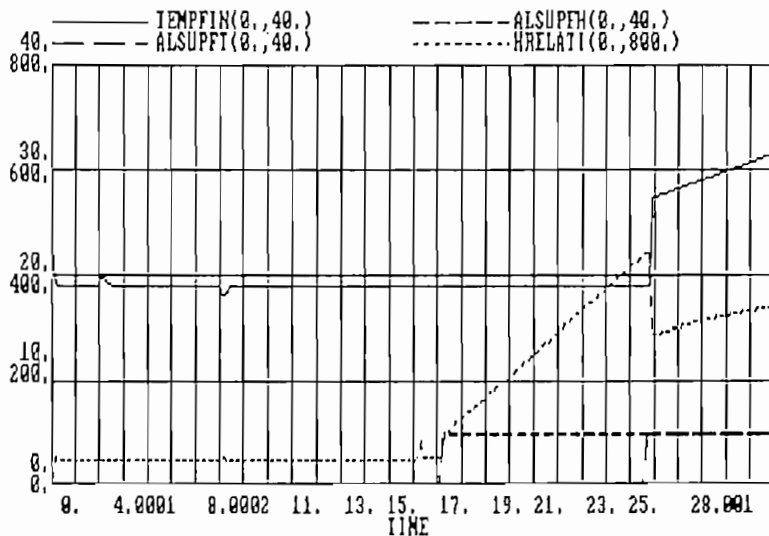


Fig. 4.13.A.- Temperatura y Humedad Relativa fuera de control, activación de las Alarmas respectivas

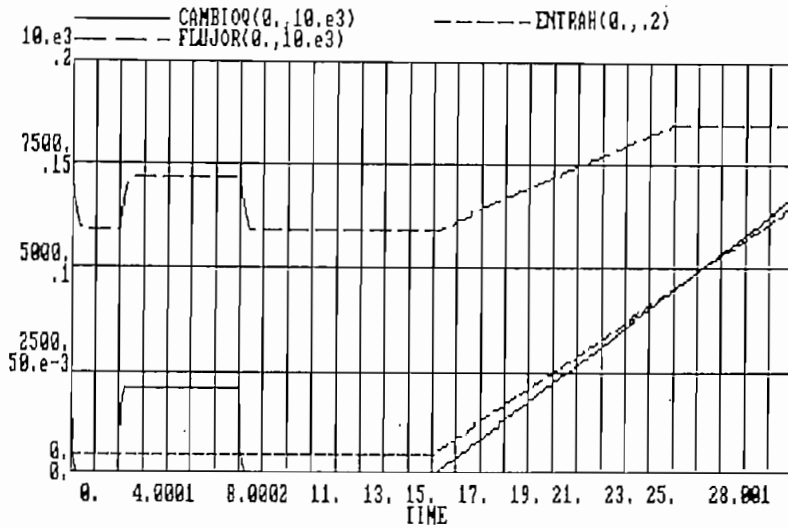


Fig. 4.13.B.- Cambio de Carga Sensible y del Flujo de salida. Perturbación de humedad absoluta

#### 4.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el numeral anterior se realizaron varias pruebas con el paquete computacional desarrollado, considerando los datos de los dos escenarios reales propuestos.

Los resultados obtenidos en las diferentes corridas de los programas son los esperados, verificando así su validez y eficiencia. En el manual de uso de los programas se da una explicación muy clara del uso de los programas desarrollados, con el fin de que el usuario pueda utilizar el paquete computacional sin dificultad.



Es necesario recalcar la gran ayuda que brindó el trabajar con un lenguaje propio de simulación como es el PROFESSIONAL DYNAMO PLUS, el cual cuenta con módulos que ayudan a la programación de sistemas dinámicos complejos. Para una mejor y fácil programación con este lenguaje, se debe tener un conocimiento básico de la dinámica de sistemas.

De lo estudiado sobre la implementación de los centros de cómputo, se concluye que es necesario que éstos cuenten con un sistema de aire acondicionado para que de esta manera se pueda controlar la temperatura, humedad absoluta y humedad relativa, con el fin de que los equipos tengan una mayor vida útil y su funcionamiento sea confiable. Además, el equipo de aire acondicionado debe poseer filtros de alto rendimiento que se encarguen de la depuración del aire que ingresa a la sala de máquinas. La capacidad del equipo de aire acondicionado depende esencialmente de la carga sensible que tenga el local, es decir que se debe considerar principalmente la potencia que disipan los equipos, la potencia debido a las luminarias y el calor cedido por el personal.

En la simulación de los modelos TEMHUM y REGULACI se observa la influencia que tiene la temperatura sobre la humedad relativa; la relación entre la temperatura y la humedad relativa es inversa, es decir, a mayor temperatura menor es el porcentaje de humedad relativa en el ambiente.

Las variaciones de humedad absoluta que hacen que la humedad relativa salga de la zona de trabajo son muy eventuales y, en nuestro medio (Sierra-Quito) es difícil que se produzcan. Por lo que no es necesario realizar una regulación fina de ésta variable utilizando técnicas de control.

Cuando se registran cambios de la carga sensible, la humedad relativa permanece constante debido a la regulación de la temperatura por medio de la variación del flujo de salida.

En el modelo REGULACI se verifica la validez del control adaptivo (ganancia ajustable) para la regulación de temperatura. Cuando hay aumento o disminución de carga sensible del local, la temperatura en él permanece constante.

Se sugiere que se sigan realizando estudios más completos sobre esta temática con el propósito de realizar análisis de riesgos y sensibilidad de las variables de interés, utilizando la técnica de la simulación y, también porque el tema tratado tiene mucha relación con las áreas de control e instrumentación.

Se recomienda la realización de cursos formales o seminarios relativos, al lenguaje de programación Professional Dynamo Plus; el estudio de sistemas de aire

acondicionado y la utilización de la carta psicrométrica para un mejor estudio de la temperatura, humedad absoluta y humedad relativa.

## BIBLIOGRAFIA

ASTROM K. y WITTENMARK B., Adaptive Control, Addison-Wesley, Canada, 1989.

BORJA ANA, Estudio de Instalaciones de Sistemas de Computación y Diseño de un Laboratorio Prototipo para un Centro de Educación, Tesis, E.P.N., 1990.

CURTIS D.J., Process Control Instrumentation Technology, Jonh Wiley & Sons, New York, 1982.

CREUS ANTONIO, Instrumentación Industrial, Editorial Marcombo S.A., Barcelona, 1979.

HAINES ROGER W., Sistemas de Control para Calefacción Ventilación y Aire Acondicionado, Segunda Edición, Marcombo S.A., Barcelona, 1982.

IBM, Instalation Manual - Physical Planning, 1887.

IBM, Technical Newsletter, 1989.

LANGLEN C. BILLY, Refrigerantion and Air Conditioning, Preston Publishing Co., U.S.A., 1978.

MARKS LIONEL S., Manual del Ingeniero Mecánico de Marks, UTEHA, México D.F., 1967.

NATIONAL FIRE PROTECCION ASSOCIATION, National Electrical Code, 1978.

OGATA K., Control Moderno, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1972.

OMEGA, Complete Temperature Measurement Handbook and Encyclopedia, Omega Engineering Inc., 1987.

ORIHUELA GABRIEL, El contrato de mantenimiento para un computador personal, Revista Computación, Febrero, 1987.

PEÑA ADRIAN, Psicrometría, EPN, Quito, 1989.

RECKNAGEL-SPRENGER, Manual de Calefacción y Climatización, Blume, Madrid-Barcelona, 1972.

RUDOY W., CUBA J., Cooling and Heating Load Calculation Manual, Atlanta, 1991.

SANS EDUARDO, Woods, Guía Práctica de la Ventilación, Editorial Blume, Barcelona, 1970.

STROCK C. y KORAL R., Handbook of Air Conditioning Heating and Ventilating, Segunda Edición, The Industrial Press, New York, 1965.

ANEXO 1

LISTADO DE LOS PROGRAMAS

# M O D E L O 1

## TEMHUM

COMENTARIO: COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA PARA UN SISTEMA IDEAL, FLUJO DE SALIDA CONSTANTE.

NO SE CONSIDERA EL EFECTO DE LA RADIACION SOLAR.

### D A T O S

C ALT=2.6, ANC=2, LARG=25  
C QEQUIPO=4000, QLUMINA=700, QPERSONA=295  
C TEMPI=25, LIMIST=21, LIMIIT=17  
C HUMABSI=0.0075, LIMISH=60, LIMIIH=40

### CALCULO DE LA CONSTANTE DE TIEMPO S

N S=VR/FO  
N VR=ALT\*ANC\*LARG  
N FO=QS\*1.16277/(CP\*DENSI\*AT)  
C AT=10.667, CP=0.24, DENSI=0.81214  
N QS=QEQUIPO+QLUMINA+QPERSONA

### TEMPERATURA

L TEMP.K=TEMP.J+DT\*VTEMP.JK  
R VTEMP.KL=(ENTRAT.K-TEMP.K)/S  
A ERTEMP.K=ENTRAT.K-TEMP.K  
A ERTEMF.K=ENTRAT.K-TEMF.K  
N TEMP=TEMPI  
A TEMF.K=DELAY1(TEMP.K, RETAT)

\* ENTRADA Y PERTURBACIONES DE TEMPERATURA  
A ENTRAT.K=C1T\*PULSO.K+C2T\*PASO.K+C3T\*RAMPA.K  
C C1T=0, C2T=1, C3T=0  
A PULSO.K=PULSE(AMP1T, ANCHT, TIEM1T, INTERT)  
C AMP1T=1, ANCHT=1, TIEM1T=0, INTERT=70  
A PASO.K=STEP(AMP2T, TIEM2T)  
C AMP2T=19, TIEM2T=0  
A RAMPA.K=RAMP(PENDT, TIEM3T)



C PENDT=1, TIEM3T=0

\* ALARMAS DE TEMPERATURA

A ALSUPET.K=FIFGE(0,5,RESTAT.K,0)

A ALSUPFT.K=DELAY1(ALSUPET.K,RETAST)

C RETAST=0.05,RETAT=0.1666

A RESTAT.K=LIMIST-TEMP.K

A ALINFET.K=FIFGE(0,5,0,RESTALT.K)

A RESTALT.K=LIMIIT-TEMP.K

A ALINFFT.K=DELAY1(ALINFET.K,RETAST)

HUMEDAD RELATIVA

L HUMABS.K=HUMABS.J+DT\*VHUM.JK

R VHUM.KL=(ENTRAH.K-HUMABS.K)/S

N HUMABS=HUMABSI

A HUMABF.K=DELAY1(HUMABS.K,RETAH)

A HUMREL.K=(HUMABS.K\*542.88\*100\*0.135315)/(0.622\*(0.0027\*  
TEMP.K\*\*2+0.0363\*TEMP.K+0.61))

A HUMRELF.K=DELAY1(HUMREL.K,RETAH)

C RETAH=0.1666

\* ENTRADA DE HUMEDAD

A ENTRAH.K=C1H\*PULSOH.K+C2H\*PASOH.K+C3H\*RAMPAH.K

C C1H=0,C2H=1,C3H=0

A PULSOH.K=PULSE(AMP1H,ANCHH,TIEM1H,INTERH)

C AMP1H=1,ANCHH=1,TIEM1H=0,INTERH=70

A PASOH.K=STEP(AMP2H,TIEM2H)

C AMP2H=0.00957,TIEM2H=0

A RAMPAH.K=RAMP(PENDH,TIEM3H)

C PENDH=1,TIEM3H=0

\* ALARMAS DE HUMEDAD RELATIVA

A ALSUPEH.K=FIFGE(0,5,RETAH.K,0)

A ALSUPFH.K=DELAY1(ALSUPEH.K,RETASH)

C RETASH=0.075

A RESTAH.K=LIMISH-HUMRELF.K

A ALINFEH.K=FIFGE(0,5,0,RESTA1H.K)

A ALINFFH.K=DELAY1 (ALINFEH.K,RETASH)

A RESTA1H.K=LIMI1H-HUMRELF.K

### VARIABLES A GRAFICARSE

SAVE TEMF,ALINFFT,ALSUPFT,LIMIST,LIMIIT,FO

SAVE HUMABF,HUMRELF,ALINFFH,ALSUPFH,LIMISH,LIMI1H

### DEFINICION DE VARIABLES

S => CONSTANTE DE TIEMPO DEL SISTEMA

VR => VOLUMEN DEL RECINTO DE CONTROL [m<sup>3</sup>]

ALT => ALTURA DEL LOCAL [m]

ANC => ANCHO DEL LOCAL [m]

LARG => LARGO DEL LOCAL [m]

FO => FLUJO DE SALIDA DE AIRE EN [m<sup>3</sup>/h]

QS => CALOR SENSIBLE TOTAL DEL LOCAL [W]

DENSI => DENSIDAD DEL AIRE [Kg/m<sup>3</sup>]

CP => CALOR ESPECIFICO DEL AIRE [Kcal/Kg°C]

AT => DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE LA TEMPERATURA IDEAL DEL LOCAL Y LA TEMPERATURA A LA QUE SALE EL AIRE DEL EQUIPO [°C]

TEMF => TEMPERATURA AMBIENTE EN EL LOCAL [°C]

VTEMP => VARIACION DE LA TEMPERATURA

TEMPI => CONDICION INICIAL DE TEMPERATURA [°C]

ENTRAT => ENTRADA DE TEMPERATURA

LIMIST => LIMITE SUPERIOR DE TEMPERATURA [°C]

LIMIIT => LIMITE INFERIOR DE TEMPERATURA [°C]

ALSUPFT => ALARMA PARA EL LIMITE SUPERIOR

ALINFFT => ALARMA PARA EL LIMITE INFERIOR

HUMABS => HUMEDAD ABSOLUTA EN EL LOCAL [Kg/Kg]

VHUM => VARIACION DE LA HUMEDAD ABSOLUTA

HUMABSI => CONDICION INICIAL DE HUMEDAD [Kg/Kg]

HUMRELF => HUMEDAD RELATIVA EN EL LOCAL

ENTRADAH => ENTRADA DE HUMEDAD  
LIMISH => LIMITE SUPERIOR DE HUMEDAD RELATIVA  
LIMIHH => LIMITE INFERIOR DE HUMEDAD RELATIVA  
ALSUPFH => ALARMA PARA EL LIMITE SUPERIOR  
ALINFFH => ALARMA PARA EL LIMITE INFERIOR

SPEC LENGTH=5,DT=.05,SAVPER=.05

## M O D E L O 2

### PROCESOS

COMENTARIO: PROCESOS QUE REALIZA EL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO, MEZCLA DE DOS ATMOSFERAS, SATURACION ADIABATICA Y CALENTAMIENTO.

### D A T O S

C FLUJOINT=4480, TEMINT=19, TEMEXT=24  
C TEMSAL=20, HUMSAL=0.005482  
C HSATURA=0.0098571, TSATURA=8.33, SP=19

CALCULO DEL FLUJO DE AIRE EXTERIOR NECESARIO

N FLUJOEX=(FLUJOINT\*(TEMINT-TEMSAL))/(TEMSAL-TEMEXT)  
N FLUEXT=FIFGE(FLUJOEXT, FLUJOE, FLUJOEXT, 0)  
N FLUJOE=-FLUJOEXT  
N FLUREAL=DELAY1(FLUEXT, 0.1)

PROCESO DE SATURACION

A TEMSALI.K=34.16-2583\*HUMESAL.K  
A HUMESAL.K=HUMSAL+TIME.K  
A DIFER.K=TEMSALI.K-TSATURA  
A DIFERH.K=HSATURA-HUMESAL.K  
A PROCESO.K=FIFGE(TEMSALI.K, TEMPF.K, DIFER.K, 0)  
A SATURA.K=FIFGE(HUMESAL.K, HSATURA, DIFERH.K, 0)  
A HUMREAL.K=(SATURA.K\*AUXI)/(0.622\*(0.0027\*PROCESO.K\*\*2+  
0.0363\*PROCESO.K+0.61))  
N AUXI=542.8\*.135\*100

PROCESO DE CALENTAMIENTO

A TEMP.K=(TSATURA+D1\*EXP(D\*TIME.K))  
A TEMPF.K=FIFGE(SP, TEMP.K, RESTA.K, 0)  
A RESTA.K=TEMP.K-SP  
C D1=.5, D=10

VARIABLES QUE SE VAN A GRAFICAR

SAVE FLUJOINT, FLUREAL  
SAVE HUMREAL, PROCESO, SATURA

DEFINICION DE VARIABLES

FLUJOINT     => FLUJO DE AIRE DEL LOCAL INICIAL [m<sup>3</sup>/h]  
TEMINT       => TEMPERATURA DEL LOCAL [°C]  
SP           => PUNTO DE TRABAJO DE TEMPERATURA [°C]  
TSATURA      => TEMPERATURA DE SATURACION [°C]  
HSATURA      => HUMEDAD ABSOLUTA DE SATURACION [Kg/Kg]  
TEMEXT       => TEMPERATURA EXTERIOR [°C]  
TEMSAL       => TEMPERATURA DE LA MEZCLA [°C]  
HUMSAL       => HUMEDAD ABSOLUTA DE MEZCLA [Kg/Kg]

FLUJREAL     => FLUJO DE AIRE EXTERIOR [m<sup>3</sup>/h]  
FO           => FLUJO DE AIRE DEL LOCAL [m<sup>3</sup>/h]  
PROCESO      => TEMPERATURA [°C]  
SATURA      => HUMEDAD ABSOLUTA [Kg/Kg]  
HUMREAL      => HUMEDAD RELATIVA

SPEC LENGTH=1, DT=.02, SAVPER=.02

# M O D E L O 3

## REGULACI

COMENTARIO: CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA, FLUJO DE SALIDA VARIABLE. UN CAMBIO EN LA TEMPERATURA DEL LOCAL IMPLICA UN CAMBIO DE CALOR SENSIBLE. (EL CONTROL DE LAS VARIABLES SE LO HACE MEDIANTE LA VARIACION DEL FLUJO DE SALIDA).  
SI HAY UNA VARIACION BRUSCA DE LA HUMEDAD ABSOLUTA, SE REALIZAN LOS PROCESOS DE MEZCLA DE DOS ATMOSFERAS, SATURACION Y CALENTAMIENTO.

### D A T O S

C VR=130  
C QSI=7500,MAXFLUJO=6000  
C TEMPI=23,LIMIST=27,LIMIIT=16,SETP=19  
C HUMEI=0.0025,LIMISH=90,LIMI IH=30  
C SETPH=50,LIMI IH=44,LIMSH=56

MACRO HUREAL1 (HUREL)

INTRN HURELI, HURELS, DIFEI, DIFES, RESH, HRS, VCOMT, VCOMTI, SAT,  
D1, D1I, SATI, HRI

A HURELI.K=FIFGE (HUREL.K, HRI.K, DIFEI.K, 0)  
A DIFEI.K=HUREL.K-LIMI IH  
A HURELS.K=FIFGE (HUREL.K, HRS.K, DIFES.K, 0)  
A DIFES.K=LIMSH-HUREL.K  
A D1.K=LIMSH-HUREL.K  
A HUREAL1.K=FIFGE (HURELI.K, HURELS.K, RESH.K, 0)  
A RESH.K=SETPH-HUREL.K  
A SAT.K=FIFGE (100, LIMSH, D1.K, 0)  
L HRS.K=HRS.J+DT\*VCOMT.JK  
R VCOMT.KL=(SAT.K-HRS.K)/.03  
N HRS=100  
A D1I.K=LIMI IH-HUREL.K  
A SATI.K=FIFGE (LIMSH, 100, D1I.K, 0)  
  
L HRI.K=HRI.J+DT\*VCOMTI.JK  
R VCOMTI.KL=(SATI.K-HRI.K)/.03

N HRI=100

MEND

TEMPERATURA

L TEMP.K=TEMP.J+DT\*VTEMP.JK

R VTEMP.KL=(CONST.K\*ENTRAT.K-TEMP.K)/S.K

N TEMP=TEMPI

A TEMPF.K=DELAY1(TEMP.K,RETARDO)

A TEMPFIN.K=FIFGE(TEMINF.K,TEMSUP.K,REFER.K,0)

CALCULO DEL FLUJO PARA CAMBIOS DE TEMPERATURA

A CONST.K=SETP/TEMP1.K

A S.K=VR/FO.K

A FO.K=FENTR/CONST.K

A QS.K=FO.K\*DENSI\*CP\*AT/1.16277

A CAMBIOQS.K=QS.K-QSI

N FENTR=(1.16277\*QSI)/(DENSI\*CP\*AT)

C DENSI=0.81214,CP=0.24,AT=10.11

A DIFER.K=MAXFLUJO-FO.K

A FLUJOS.K=FIFGE(FO.K,MAXFLUJO,DIFER.K,0)

A FLUJOI.K=FIFGE(FO.K,0,TEMP1F.K,LIMIIT)

A FLUJO.K=FIFGE(FLUJOI.K,FLUJOS.K,REFER.K,0)

A TEMSUP.K=FIFGE(TEMPF.K,TEMP1F.K,DIFER.K,0)

A TEMINF.K=FIFZE(TEMP1F.K,TEMPF.K,FLUJOI.K)

A FLUJOR.K=DELAY1(FLUJO.K,RETARDO)

A REFER.K=SETP-TEMP1F.K

ALARMAS DE TEMPERATURA

A ALSUPET.K=FIFGE(0,5,RESTAT.K,0)

A RESTAT.K=LIMIST-TEMP1F.K

A ALSUPFT.K=DELAY1(ALSUPET.K,RETAST)

C RETAST=0.05

A ALINFET.K=FIFGE(0,5,0,RESTAT.K)

A RESTAT.K=LIMIIT-TEMP1F.K

A ALINFFT.K=DELAY1(ALINFET.K,RETAST)

CONSIDERANDO EL FLUJO CONSTANTE,FENTR

L TEMP1.K=TEMP1.J+DT\*VTEMP1.JK

R  $VTEMP1.KL = (ENTRAT.K - TEMP1.K) / W$   
 A  $TEMP1F.K = DELAY1(TEMP1.K, RETARDO)$   
 N  $TEMP1 = TEMP1$   
 N  $W = VR / FENTR$   
 C  $RETARDO = 0.1$

ENTRADA Y PERTURBACIONES DE TEMPERATURA

A  $ENTRAT.K = C1T * PULSO.K + C2T * PASO.K + C3T * RAMPA.K$   
 C  $C1T = 0, C2T = 1, C3T = 0$   
 A  $PULSO.K = PULSE(AMP1T, ANCHT, TIEM1T, INTERT)$   
 C  $AMP1T = 1, ANCHT = 1, TIEM1T = 0, INTERT = 70$   
 A  $PASO.K = STEP(AMP2T, TIEM2T)$   
 C  $AMP2T = 19, TIEM2T = 0$   
 A  $RAMPA.K = RAMP(PENDT, TIEM3T)$   
 C  $PENDT = 1, TIEM3T = 0$

HUMEDAD ABSOLUTA CON FLUJO CONSTANTE

L  $HUME.K = HUME.J + DT * VHUME.JK$   
 R  $VHUME.KL = (ENTRAH.K - HUME.K) / W$   
 N  $HUME = HUMEI$   
 A  $HUMEF.K = DELAY1(HUME.K, RETARDO)$

ENTRADA Y PERTURBACIONES DE HUMEDAD

A  $ENTRAH.K = C1H * PULSOH.K + C2H * PASOH.K + C3H * RAMPAH.K$   
 C  $C1H = 0, C2H = 1, C3H = 0$   
 A  $PULSOH.K = PULSE(AMP1H, ANCHH, TIEM1H, INTERH)$   
 C  $AMP1H = 1, ANCHH = 1, TIEM1H = 0, INTERH = 70$   
 A  $PASOH.K = STEP(AMP2H, TIEM2H)$   
 C  $AMP2H = 0.00975, TIEM2H = 0$   
 A  $RAMPAH.K = RAMP(PENDH, TIEM3H)$   
 C  $PENDH = 1, TIEM3H = 0$

CALCULO Y REGULACION DE LA HUMEDA RELATIVA

A  $HUREL.K = (.135 * 100 * HUMEF.K * 542.8) / AUXI.K$   
 A  $AUXI.K = 0.622 * (0.0027 * TEMPFIN.K ** 2 + 0.0363 * TEMPFIN.K + 0.61)$   
 A  $HUMREAL.K = FIFZE(HUREL.K, HUREAL.K, C1H + C3H)$   
 A  $HUREAL.K = FIFGE(HUREI.K, HURES.K, RESH.K, 0)$



A RESH.K=SETPH-HUREL.K  
 A HUREI.K=FIFGE (HUREL.K, HUREAL1 (HUREL.K), DIFEI.K, 0)  
 A DIFEI.K=HUREL.K-LIMIH  
 A HURES.K=FIFGE (HUREL.K, HUREAL1 (HUREL.K), DIFES.K, 0)  
 A DIFES.K=LIMSH-HUREL.K  
 A HSUP.K=FIFGE (HUMREAL.K, HUREL.K, DSH.K, 0)  
 A DSH.K=LIMISH-HUREL.K  
 A HINF.K=FIFGE (HUREL.K, HUMREAL.K, DIH.K, 0)  
 A DIH.K=LIMI IH-HUREL.K  
 A HRELATIVA.K=FIFGE (HINF.K, HSUP.K, RESH.K, 0)

#### ALARMAS DE HUMEDAD RELATIVA

A ALSUPEH.K=FIFGE (0, 5, RESTAH.K, 0)  
 A RESTAH.K=LIMISH-HRELATIVA.K  
 A ALSUPFH.K=DELAY1 (ALSUPEH.K, RETAST)  
 A ALINFEH.K=FIFGE (0, 5, 0, RESTALH.K)  
 A RESTALH.K=LIMI IH-HRELATIVA.K  
 A ALINFFH.K=DELAY1 (ALINFEH.K, RETAST)

#### VARIABLES A GRAFICAR

**SAVE FLUJOR, CAMBIOQS, TEMPFIN, ALSUPFT, ALINFFT**  
**SAVE HUMEF, HRELATIVA, ALSUPFH, ALINFFH**

#### DEFINICION DE VARIABLES

S           =>    CONSTANTE DE TIEMPO DEL SISTEMA  
 VR           =>    VOLUMEN DEL RECINTO DE CONTROL  
 FENTR       =>    FLUJO DE SALIDA INICIAL [m<sup>3</sup>/h]  
 FLUJOR       =>    FLUJO DE SALIDA DE AIRE [m<sup>3</sup>/h]  
 CAMBIOQS   =>    CAMBIO DE CALOR SENSIBLE DEL LOCAL [W]  
 QSI          =>    CALOR SENSIBLE INICIAL DEL LOCAL [W]  
 DENSI       =>    DENSIDAD DEL AIRE  
 CP           =>    CALOR ESPECIFICO DEL AIRE  
 AT           =>    DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE LA  
               TEMPERATURA IDEAL DEL LOCAL Y LA TEMPERATURA

A LA QUE SALE EL AIRE DEL EQUIPO.

TEMPFIN => TEMPERATURA AMBIENTE EN EL LOCAL

VTEMP => VARIACION DE LA TEMPERATURA

TEMPI => CONDICION INICIAL DE TEMPERATURA

TEMP1 => TEMPERATURA DEL LOCAL A FLUJO CONSTANTE  
(FENTR)

ENTRAT => ENTRADA DE TEMPERATURA

LIMIST => LIMITE SUPERIOR DE TEMPERATURA

LIMIIT => LIMITE INFERIOR DE TEMPERATURA

ALSUPFT => ALARMA PARA EL LIMITE SUPERIOR

ALINFFT => ALARMA PARA EL LIMITE INFERIOR

HUMEF => HUMEDAD ABSOLUTA EN EL LOCAL

VHUME => VARIACION DE LA HUMEDAD ABSOLUTA

HUMEI => CONDICION INICIAL DE HUMEDAD

HRELATIVA => HUMEDAD RELATIVA EN EL LOCAL

ENTRADAH => ENTRADA DE HUMEDAD

LIMISH => LIMITE SUPERIOR DE HUMEDAD RELATIVA

LIMI IH => LIMITE INFERIOR DE HUMEDAD RELATIVA

ALSUPFH => ALARMA PARA EL LIMITE SUPERIOR DE HUMEDAD

ALINFFH => ALARMA PARA EL LIMITE INFERIOR

SPEC LENGTH=24,DT=0.01,SAVPER=0.1

# MODELO 3.1

## COMPROBA

COMENTARIO: CONTROL HUMEDAD ABSOLUTA MEDIANTE LA VARIACION DE FLUJO DE SALIDA.  
COMPARACION DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y DE LA HUMEDAD ABSOLUTA SOBRE LA HUMEDAD RELATIVA.

### D A T O S

C FENTR=4800, VR=130  
C SETPH=0.00975, PTT=19  
C HUMEI=0.0059  
C TEM=20, HUMEDAD=0.009856

### HUMEDAD

L HUME.K=HUME.J+DT\*VHUME.JK  
R VHUME.KL=(CONST.K\*ENTRAH.K-HUME.K)/S.K  
N HUME=HUMEI  
A HUMEF.K=DELAY1 (HUME.K, RETARDO)  
N INFLUHU=(.135\*100\*HUMEDAD\*542.8)/AUXI  
A HUMREL.K=(.135\*100\*HUMEF.K\*542.8)/AUXI  
A HRR.K=(.135\*100\*HUME1F.K\*542.8)/AUXI  
N AUXI=0.622\*(0.0027\*PTT\*\*2+0.0363\*PTT+0.61)  
N INFLUTE=(.135\*100\*SETPH\*542.8)/AUXITE  
N AUXITE=0.622\*(0.0027\*TEM\*\*2+0.0363\*TEM+0.61)  
C RETASH=0.05

### ENTRADA Y PERTURBACIONES DE HUMEDAD

A ENTRAH.K=C1H\*PULSOH.K+C2H\*PASOH.K+C3H\*RAMPAH.K  
C C1H=0, C2H=1, C3H=0  
A PULSOH.K=PULSE (AMP1H, ANCHH, TIEM1H, INTERH)  
C AMP1H=1, ANCHH=1, TIEM1H=0, INTERH=70  
A PASOH.K=STEP (AMP2H, TIEM2H)  
C AMP2H=0.00975, TIEM2H=0  
A RAMPAH.K=RAMP (PENDH, TIEM3H)  
C PENDH=1, TIEM3H=0

### CALCULO DEL FLUJO PARA CAMBIOS DE HUMEDAD

A CONST.K=SETPH/HUME1.K  
A S.K=VR/FO.K  
A FO.K=FENTR/CONST.K

CONSIDERANDO EL FLUJO CONSTANTE, FENTR  
L HUME1.K=HUME1.J+DT\*VHUME1.JK  
R VHUME1.KL=(ENTRAH.K-HUME1.K)/W  
A HUME1F.K=DELAY1(HUME1.K,RETARDO)  
N HUME1=HUMEI  
N W=VR/FENTR  
C RETARDO=0.1

#### VARIABLES A GRAFICARSE

SAVE HUME1F,HUMREL,HRR,FO  
SAVE INFLUTE,INFLUHU

#### DEFINICION DE VARIABLES

S => CONSTANTE DE TIEMPO DEL SISTEMA  
VR => VOLUMEN DEL RECINTO DE CONTROL  
FENTR => FLUJO DE SALIDA INICIAL [m<sup>3</sup>/h]  
TEM => VARIACION DE LA TEMPERATURA [°C]  
HUMEDAD => VARIACION DE LA HUMEDAD  
STEPH => PUNTO DE TRABAJO DE LA HUMEDAD  
PTT => PUNTO DE TRABAJO DE LA TEMPERATURA  
  
HUMEF => HUMEDAD ABSOLUTA EN EL LOCAL  
VHUM => VARIACION DE LA HUMEDAD ABSOLUTA  
HUMEI => CONDICION INICIAL DE HUMEDAD  
HUMREL => HUMEDAD RELATIVA EN EL LOCAL  
HRR => HUMEDAD RELATIVA NO DESEADA  
ENTRAHAH => ENTRADA DE HUMEDAD  
FO => FLUJO DE SALIDA [m<sup>3</sup>/h]  
INFLUTE => INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA  
INFLUHU => INFLUENCIA DE LA HUMEDAD ABSOLUTA  
SPEC LENGTH=5,DT=0.01,SAVPER=0.1

# M O D E L O 4

## CONTAMBI

COMENTARIO: CONTAMINACION AMBIENTAL, FUNCION DEL ELEMENTO DEPURADOR DE AIRE DEPENDIENDO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE Y DE LA VELOCIDAD DE CONTAMINACION EN EL FILTRO.

MACRO REND (CV1, CV2, CV3, CC1, CC2, CC3)

INTRN VVELOC, VCONTAM, PASO, RAMPA, EXPON1, EXPON

```
L REND.K=REND.J+DT*(-VVELOC.JK-VCONTAM.JK)
R VVELOC.KL=CV1*PASO.K+CV2*RAMPA.K+CONST1*EXPON1.K
R VCONTAM.KL=REND.K/2+CC1*PASO.K+CC2*RAMPA.K+CONST*EXPON.K
N REND=100
A PASO.K=STEP (ALTURA, 0)
A RAMPA.K=RAMP (PENDIENTE, 0)
A EXPON1.K=EXP (-CV3*TIME.K)
A EXPON.K=EXP (-CC3*TIME.K)
C ALTURA=1, PENDIENTE=0.55, CONST1=30, CONST=12
MEND
```

### D A T O S

```
C RENDC=50
C V11=0.75, V12=7, C11=0.75, C12=3
C V21=0.05, V22=35, C21=0.05, C22=12
C V31=0.75, V32=7, C31=0.75, C32=3
C V1=5, V2=7, V3=2.5, C1=5, C2=0.5, C3=.3
```

### RENDIMIENTOS

```
A RENDA1.K=REND (V11, 0, 0, C11, 0, 0)
A REND11.K=FIFGE (RENDA1.K, 0, RENDA1.K, 0)
A RENDA2.K=REND (V12, 0, 0, C12, 0, 0)
A REND12.K=FIFGE (RENDA2.K, 0, RENDA2.K, 0)
A RENDB1.K=REND (0, V21, 0, 0, C21, 0)
A REND21.K=FIFGE (RENDB1.K, 0, RENDB1.K, 0)
A RENDB2.K=REND (0, V22, 0, 0, C22, 0)
A REND22.K=FIFGE (RENDB2.K, 0, RENDB2.K, 0)
```

A RENDC1.K=REND(0,0,V31,0,0,C31)  
A REND31.K=FIFGE(REND1.K,0,REND1.K,0)  
A RENDC2.K=REND(0,0,V32,0,0,C32)  
A REND32.K=FIFGE(REND2.K,0,REND2.K,0)  
A RENDD4.K=REND(V1,V2,V3,C1,C2,C3)  
A REND4.K=FIFGE(RENDD4.K,0,RENDD4.K,0)

#### ALARMAS

A ALARM11.K=FIFGE(5,0,REND1,REND11.K)  
A ALARM12.K=FIFGE(5,0,REND1,REND12.K)  
A ALARM21.K=FIFGE(5,0,REND2,REND21.K)  
A ALARM22.K=FIFGE(5,0,REND2,REND22.K)  
A ALARM31.K=FIFGE(5,0,REND3,REND31.K)  
A ALARM32.K=FIFGE(5,0,REND3,REND32.K)  
A ALARM4.K=FIFGE(5,0,REND4,REND4.K)

#### VARIABLES A GRAFICARSE

SAVE REND11,REND12,REND21,REND22,REND31,REND32,REND4  
SAVE ALARM11,ALARM12,ALARM21,ALARM22,ALARM31,ALARM32,ALARM4

#### DEFINICION DE VARIABLES

REND11 Y REND12 => RENDIMIENTO CON VELOCIDAD Y  
CONTAMINACION EN EL FILTRO CONSTANTE  
REND21 Y REND22 => RENDIMIENTO CON VELOCIDAD Y  
CONTAMINACION CON CRECIMIENTO LINEAL  
REND31 Y REND32 => RENDIMIENTO CON VELOCIDAD Y  
CONTAMINACION CON CRECIMIENTO  
EXPONENCIAL  
REND4 => RENDIMIENTO CON VELOCIDAD Y CONTAMINACION  
CONSTANTE LINEAL Y EXPONENCIAL  
ALARM => ALARMAS PARA CADA UNO DE LOS RENDIMIENTOS

SPEC LENGTH=5,DT=.1,SAVPER=.1

ANEXO 2

MANUAL DE USO

## MANUAL DE USO

En éste anexo se va a indicar el tipo de equipo que se utilizó para el desarrollo de los programas de simulación, las principales especificaciones del lenguaje utilizado PROFESSIONAL DYNAMO PLUS y principalmente como deben ser utilizados los programas para los modelos planteados.

- La programación de todos los modelos se trabajó en un computador STAR XT cuyo procesador principal es el INTEL 8088 posee un puerto serial, dos puertos paralelo, monitor monocromático, disco duro de 30 Mbytes y dos unidades de disco de 5 $\frac{1}{4}$ , con el sistema operativo IBM DOS versión 3.30.

- El lenguaje de simulación Professional Dynamo Plus versión 3.1, requiere un mínimo de memoria de 384 Kbytes y el sistema operativo debe ser IBM DOS versión 3.10 en adelante. Trabaja con monitor monocromático o a color.

Para ingresar a los programas se lo puede hacer mediante la interfaz del DYNAMO o por medio de un menú, a continuación se explica cada forma de ingreso:

### UTILIZANDO EL DYNAMO

El ingreso al DYNAMO se lo hace mediante **PD**, en la parte inferior de la pantalla aparecen varias opciones; para



seleccionar cualquiera de los comandos se lo puede hacer por medio de la letra característica o ubicándose con los cursores en el comando deseado.

Comands: Edit Compile Simulate View Document Help Quit

Las opciones que interesan son la de simulación de los modelos con el fin de obtener los resultados de las mismas.

- Simulate, por medio de este comando se realiza la simulación del modelo escogido, aparece el listado de los programas con la extensión .SMT. Presionando **ENTER** se escoge el modelo que se desea simular.

```
COMPROBA.SMT
CONTAMBI.SMT
PROCESOS.SMT
REGULACI.SMT
TEMHUM.SMT
```

Las opciones que presenta son:

Simulate Comands: Change Save Go Preserve Resumen Help Esc Quit

Permite realizar cambios en los valores de las constantes del modelo con el comando Change; para comenzar la simulación en el tiempo se escoge la opción Go, se pueden crear archivos de los resultados.

- View, es la opción por medio de la cual se obtiene los resultados de la simulación, presenta un listado de los programas con la extensión .RSL.

COMPROBA.RSL  
CONTAMBI.RSL  
PROCESOS.RSL  
PROCESO1.RSL  
REGULACI.RSL  
REGULA1.RSL  
REGULAH.RSL

REGULANC.RSL  
REGULAT.RSL  
REGULATH.RSL  
TEMHUM.RSL  
TEMHUMH.RSL  
TEMHUMT.RSL  
TEMHUPH.RSL

Los resultados puede ser obtenidos tanto en forma gráfica (Plot) como en forma tabulada. Si se escoge el comando `Select_Tabulate`, se selecciona las tablas que se desean visualizar; con `Tabulate_All`, se observan todas las tablas creadas.

View Comands: Plot Select\_Tabulate Tabulate\_All Old Help Quit

- **Help**, proporciona información sobre la utilización de cada uno de los módulos.

- **Quit**, para salir del paquete computacional DYNAMO.

Además, se puede ingresar al archivo deseado por medio de identificación del módulo del Dynamo así, en el caso de simulación **SMLT NOMBRE DEL ARCHIVO A SIMULAR**, ingresando directamente al archivo deseado. En el caso de desear los resultados se lo puede obtener con **RSL NOMBRE DEL ARCHIVO**.

Es necesario indicar que cuando se quiere la impresión de los resultados de la simulación se debe hacer correr primero el archivo **DYNP.BAT** que contiene los archivos **GRAPHICS.COM** y **PD -PLM6**.

Para más detalles sobre el uso del lenguaje, revisar la tesis de "Simulación del Sistema de Seguridad de un Centro de Cómputo" realizada por el Sr. Julio Guayasamín; en la cual se realiza un estudio completo de este lenguaje.

#### UTILIZANDO EL MENU

Se encuentra en un disket autoarrancable, con la palabra **MENU** se despliega una pantalla, la cual en su parte superior indica el nombre del trabajo desarrollado y el nombre del autor. Y en la parte central aparece un cuadro con tres opciones:

**SIMULACION**

**RESULTADOS**

**ESCAPE**

Cada opción puede ser escogida mediante la pulsación de la letra de otro color (con negrillas) o por medio de los cursor (teclas de flechas) del panel numérico ubicándose en la opción deseada y luego presionando **ENTER**.

Si se escoge la opción de **SIMULACION**, aparece en la pantalla los nombres de los modelos que se han realizado, para escoger cualquiera de los modelos se lo hace de igual forma que en el menú anterior.

TEMHUM [COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD]  
PROCESOS [PROCESOS DE UN SISTEMA DE AIRE  
ACONDICIONADO]  
REGULACI [REGULACION DE TEMPERATURA Y HUMEDAD]  
COMPROBA [COMPROBACION DE LA HUMEDAD]  
CONTAMBI [MODELO DE CONTAMINACION AMBIENTAL]

**MENU ANTERIOR**

Una vez que se a escogido el modelo desado se ingresa a la pantalla de simulación del DYNAMO lo cual permite realizar cambios, conocer los datos de entrada, y además se puede crear nuevos archivos de resultados (igual que en el módulo de simulación descrito anteriormente). Una vez terminada la simulación del modelo seleccionado se regresa a la pantalla del listado de modelos, con la opción **MENU ANTERIOR** se regresa a la primera pantalla.

En el caso de escoger la opción **RESULTADOS**, aparece en la parte inferior de la pantalla un mensaje:

NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS:

aquí se escribe el nombre del archivo, del cual se desea conocer sus resultados. Para conocer los nombres de los archivos de resultados se presiona **F1**, y se listan todos los archivos de reulstados presionando nuevamente **F1** se regresa a la pantalla original.

Una vez escogido el archivo de resultados se presiona **ENTER**

y a parece otro mensaje:

DESEA IMPRIMIR LOS RESULTADOS (S)I/(N)O

Si no se desea imprimir los resultados, se ingresa a la pantalla del módulo View del DYNAMO y se procede de forma idéntica a la descrita anteriormente. En el caso que se desean imprimir los resultados, se despliega una pantalla en blanco y negro de los gráficos correspondientes.

Por último la tercera opción **ESCAPE**, es para salir del menú al sistema operativo, esto se lo puede hacer de tres formas; presionando la letra **E**, presionando **ESC** o ubicándose con el cursor y presionando **ENTER**.

Para un mejor uso y conocimiento de los modelos desarrollados remitirse al capítulo III en el cual se explican detalladamente los modelos.

ANEXO 3

DRAFT STANDARD ISA-SP71.A3

ISA - SP71.A3  
DRAFT STANDARD

ENVIRONMENTAL CONDITIONS FOR PROCESS  
MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEMS  
TEMPERATURE AND HUMIDITY

1. PURPOSE

1 The purpose of this standard is to establish uniform classifications of environmental conditions for Industrial Process Measurement & Control Systems.

2. SCOPE

1 This standard covers temperature and humidity environmental conditions for industrial process measurement and control equipment. Additional standards for intended to include all other environmental parameters (excluding Nuclear) which should be considered in preparing specifications for land based and off-shore measurement, data acquisition, control, and computing equipment in the process industries. Process industries include chemical, petroleum, power generation, metallurgical, food, textile, paper, and numerous other industries.

2 This Standard is intended to include environmental parameters for fixed (non-mobile) installations during normal operation (non-emergency conditions) or during transportation and storage.

3 The classes of environmental conditions stated in the Standard are suitable for use in all activities related to process instrumentation; including design, manufacturing, sales, installation, test, use and maintenance.

These classes may also be used as a guide when establishing requirements for environmental control of buildings or other protective housings.

- 2.4 These classifications concern only the environmental external to the equipment. Conditions inside the manufacturer's enclosure are outside the scope of this Standard.
- 2.5 The effects of environmental conditions on safety, comfort and performance of operating and maintenance personnel are not considered in this Standard.

### 3. INTRODUCTION

3.1 Environmental classifications have been established for each parameter according to the type of location. For some parameters several severity levels have been established within each location class. Parameter limit values are tabulated for each classification and severity level of the location. A classification consists of a class identifier followed by a severity identifier.

Example; Temperature and Humidity Classification A2 would represent Class A and Severity Level 2.

3.2 In order to be meaningful, the equipment performance in the stated environmental Class and Severity Level must be specified. It is possible to specify several sets of performance specifications and environmental classes for the same equipment.

For example:

1. Temperature & Humidity

Normal Operating Condition: Class A2

Operating Influence:

Ambient Temp. Influence:  $\pm 0.1\%/5^{\circ}\text{C}$

Operative Limits: Class B2

Transportation & Storage Conditions: Class C2

Maintenance Conditions: B3

Shutdown Conditions: C2



\*2. Power

Normal Operating Condition: 30V dc Class E1, F1, G4.

Operating Influence:

Supply Voltage Effect: <.01%

Operative Limit: Class E3, F3, G4.

\*3. Electromagnetic Radiation

Normal Operating Condition: Class B1

Operating Influence:

EMI/RFI Influence: <.02%

Maintenance Conditions: C3

\*4. Shock & Vibration

Normal Operating Condition: Class B2

Operating Influence:

Zero Shift: <0.1%

Bandwidth: <0.5%

Operative Limits: Class C3

Transportation & Storage Conditions: Class C3

Specifications for other environmental conditions are outside the scope of this standard. They should, however, be considered in any specifications for equipment.

#### 4. DEFINITIONS

Normal Operating Conditions, Operative Limits, and Transportation & Storage Conditions.

These terms are defined in ISA-S51.1 Standard-Process Instrumentation Terminology. The ISA-S51.1 definition of Transportation and Storage Conditions include Shutdown. If the Shutdown conditions are different than Transportation and Storage Conditions the Shutdown environment should be specified separately.

---

\*These standards are in process of being developed and will be available at a later date.

.2 Maintenance Conditions

Conditions under which maintenance is performed.

.3 Maintenance

Any activity intended to keep equipment in satisfactory working condition, including tests, measurements, replacements, adjustments, and repairs.

(Ref. SAMA Standard PMC 32.1)

## 5. LOCATION CLASSIFICATIONS

.1 AIR CONDITIONED LOCATIONS (CLASS A)

Locations where both air temperature and humidity are controlled.

These locations are usually provided for process control computers and other electronic equipment requiring a controlled air environment.

Control rooms with equipment for critical levels of process control are normally in this category.

Special consideration should be given where hygroscopic materials will be used such as, punched paper cards. In this case, the humidity range may require an upper limit of 55 to 65% depending on the manufacturer's recommendations. In this case, the specification must be modified to include the appropriate restriction.

Typical control point values for this class are 23°C and 50% relative humidity.

See Table 1 for specific parameters.

#### ENCLOSED TEMPERATURE CONTROLLED LOCATIONS (CLASS B)

Locations where air temperature is controlled but humidity is not controlled.

These locations are usually provided where continuous operator surveillance is required. This class may also represent storage and occasionally transportation conditions.

The temperature control point is typically 23°C.

#### SHELTERED LOCATIONS (CLASS C)

Locations protected from direct exposure to the climatic elements such as sunlight, rain and other precipitation, and full wind pressure.

Neither heating or cooling is normally provided. Ventilation may be either natural or forced. Minimum temperatures may be as low as the outdoor air temperature. Maximum temperature may be considerably greater than the outdoor air temperature due to solar radiation received on the shelter sides. Condensation may occur on surfaces within the shelter or within the equipment enclosure due to temporary temperature excursions below the local dewpoint.

Sheltered locations are provided where a minimum protection is required for operators, maintenance personnel, or equipment.

#### OUTDOOR LOCATIONS (CLASS D)

Locations where there is no specific protection from the local environment.

Equipment in these locations may be subjected to sudden and severe changes of environment due to weather or other factors. Differential conditions may also exist caused by partial exposure to direct heat radiation with the remaining surface shaded or other circumstances of this type. Condensation may occur due to temporary temperature excursions below the local dewpoint. In addition to the effect of ambient air temperature, the effect of radiated heat from the sun or other source should be considered for describing local environments.

These locations are often used for weatherproof equipment requiring little operator attention or maintenance.

TABLE I

Class Location	PARAMETERS	SEVERITY			
		1	2	3	4
A AIR CONDITIONED	Temp. Range Control Tolerance Max Rate of Change (2) Humidity Range Control Tolerance	18 to 27°C ±2°C ±5°C/H 35 to 75% ±5%	18 to 27°C ±2°C ±5°C/H 20 to 80% ±10%		
B ENCLOSED TEMPERATURE CONTROLLED	Temp. Range Control Tolerance Max Rate of Change (2) Humidity Range Max. Moisture Content	15 to 30°C ±2°C ±5°C/H 10 to 75% Not Appl.	5 to 40°C ±3°C ±10°C/H 10 to 75% 0.020 kg/kg	5 to 40°C ±10°C ±20°C/H 5 to 90% 0.028 kg/kg	5 to 50°C ±10°C ±20°C/H 5 to 90% 0.028 kg/kg
C SHELTERED	Temp. Range Max Rate of Change Humidity Range Max. Moisture Content	-25 to 55°C ±5°C/H 5 to 100% 0.028 kg/kg	-40 to 70°C ±10°C/H 5 to 100% 0.028 kg/kg		
D OUTDOOR	Temp. Range Max Rate of Change Humidity Range	-25 to 70°C 10°C/H 5-100%	-40 to 85°C 20°C/H 5-100%	-55 to 65°C 20°C/H 5-100%	

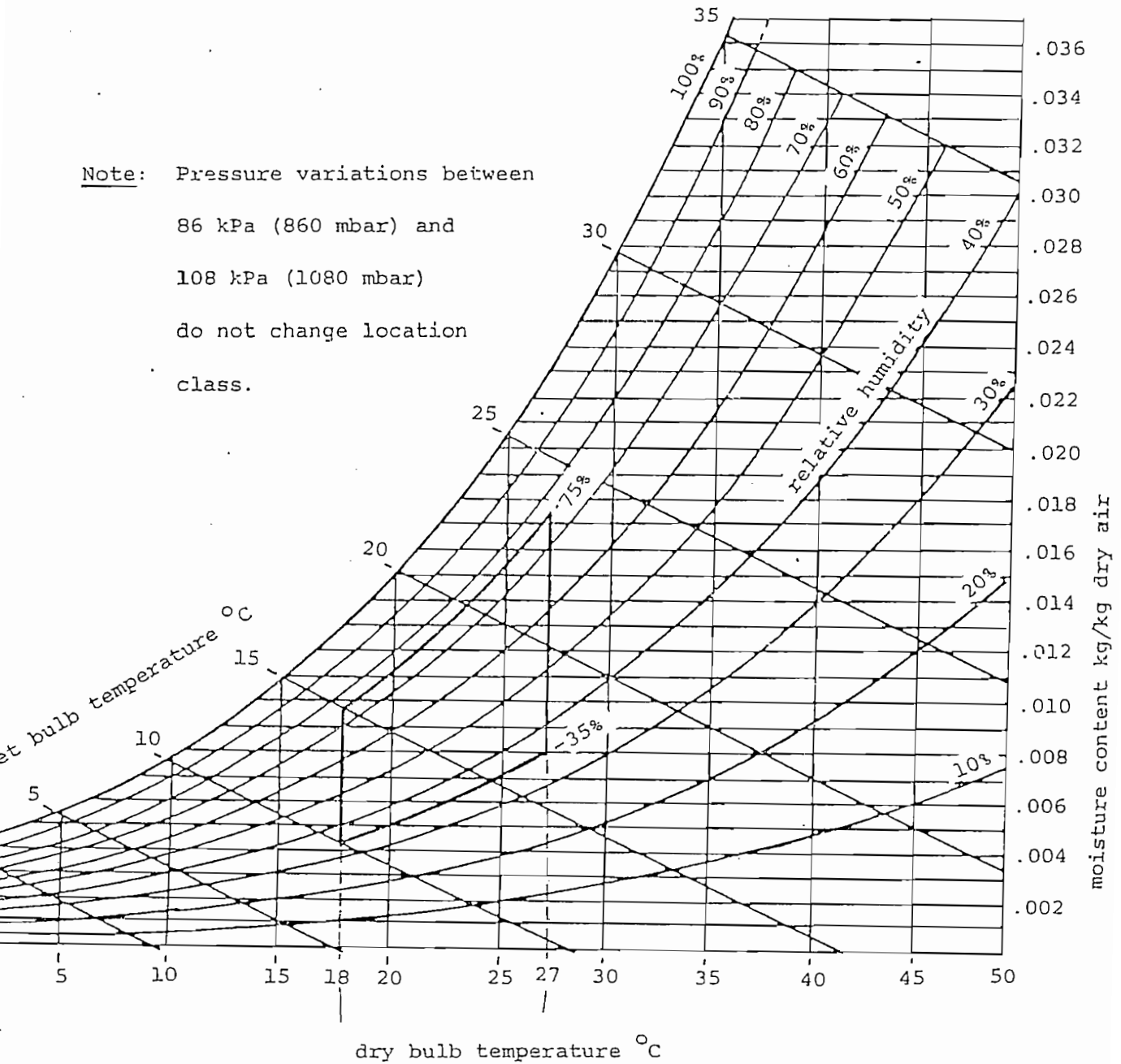
- NOTES: 1. This table applies for atmospheric pressures between 86 kPa and 108 kPa.  
2. Maximum rate of change within the control tolerance.

APPENDIX A

PSYCHROMETRIC CHARTS

AIR-CONDITIONED LOCATIONS CLASS A1

Note: Pressure variations between 86 kPa (860 mbar) and 108 kPa (1080 mbar) do not change location class.



ANEXO 4

ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS INSTALADOS EN LOS  
CENTROS DE COMPUTO DE PETROECUADOR Y LA E.P.N.

3380 DIRECT ACCESS STORAGE MODELS  
A04, AA4, AD4, AND AE4

SPECIFICATIONS

Dimensions:

	Front	Side	Height
mm	1 015*	815	1 780
(inches)	(40*)	(32)	(70-1/2)

Service Clearances:

	Front	Rear	Right	Left
mm	815	815	865	0
(inches)	(32)	(32)	(34)	(0)

Weight: 545 kg (1,200 lb)

Heat Output and Power Requirements:\*\*

Voltage	Max kVA	Max kW	Max (kBTU/hr)
200/208	2.50	1.78	(6.10)
220/380	2.90	1.87	(6.40)
270/400	3.10	1.85	(6.35)
240/415	3.30	1.88	(6.45)
Phases	3		
Plug	Russellstoll, 7328		
Receptacle	Russellstoll, 7324		
Connector	Russellstoll, 7428		
Power Cord Style	E1		

Airflow: 8.5 m<sup>3</sup>/min (300 cfm)

Acoustical Data:

For definitions, see "Acoustics" in Chapter 3 of *IBM General Information Manual: Installation Manual—Physical Planning*, GC22-7072.

L <sub>WAd</sub>		<L <sub>pA</sub> > <sub>m</sub>		I	T
Operating (bels)	Idling (bels)	Operating (dB)	Idling (dB)		
7.9	7.9	58.0	58.0	No	No

Environment, Operating:\*\*\*

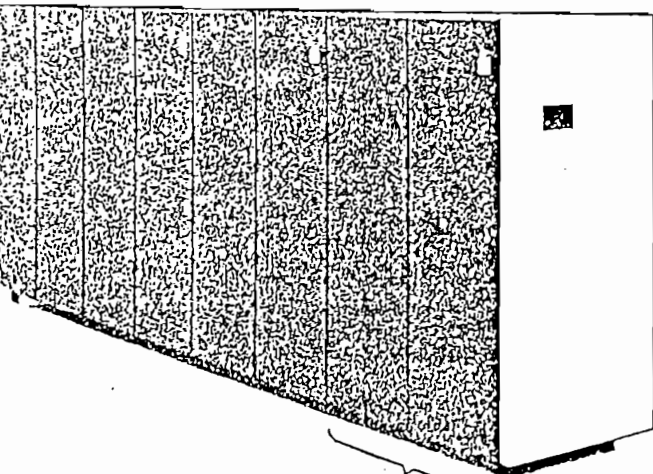
Temperature	16°C-32°C (60°F-90°F)
Rel Humidity	20%-80%
Max Wet Bulb	26°C (78°F)

Environment, Nonoperating:

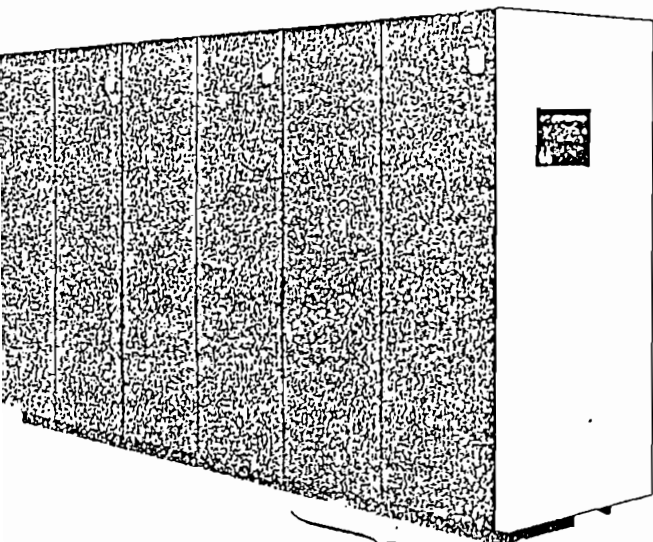
Temperature	10°C-43°C (50°F-110°F)
Rel Humidity	8%-80%
Max Wet Bulb	27°C (80°F)

Environment, Storage: (Maximum 1 year)

Temperature	1°C-60°C (34°F-140°F)
Rel Humidity	5%-80%
Wet Bulb Range	1°C-29°C (34°F-85°F)



3380-A04, AA4



3380-AD4, AE4

Notes:

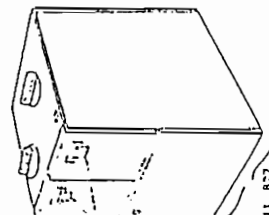
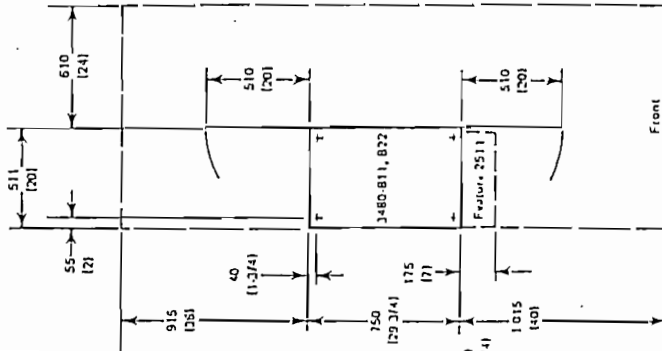
- \* Add 57 mm (2-1/4 in.) to the front dimension for each end cover that is attached to this machine.
- \*\* Values vary with input voltage, installed features, and manufacturing variations.
- \*\*\* Biocides containing organometallic oxide *must not* be used in the air-conditioning systems of buildings containing these machines.



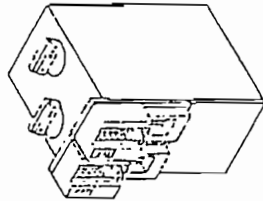
**TAPE UNIT MODELS B11 AND B22**

VIEW (Metric Scale: 10 mm = 0.25 in)

Dimensions are shown in parentheses.



3480 B11, B22 with Feature 2511 Installed (Front View)



3480-B11, B22 (Front View)

**SPECIFICATIONS**

Dimensions:

mm (inches)	Front	Side	Height
510 (20)	510 (20)	750 (29.5/4)	1000* (39.3/72)**

Service Clearances:

mm (inches)	Front	Rear	Right	Left
915 (36)**	915 (36)	915 (36)	610 (24)**	0 (0)

Weight: 155 kg (340 lb)

Heat Output: 800 W (2,700 BTU/hr)

Airflow: 1.2 m<sup>3</sup>/min (400 cfm)

Acoustical Data:

For definitions, see "Acoustics" in Chapter 3 of *IBM General Information Manual: Installation Manual Physical Planning, GC22-7072*.

Operating (bech)	Idle (bech)	Operating (dB)	Idle (dB)
7.3	7.4	35	36

Power Requirements: 1

kVA	0.9
Phases	3

Environment, Operating:

Temperature	15.0°C (59.0°F)
Rel Humidity	20%-80%
Max Wet Bulb	25.6°C (78°F)

Environment, Nonoperating:

Temperature	10°C (50°F)
Rel Humidity	8%-80%
Max Wet Bulb	26.7°C (80°F)

Notes:

- \*The operator's control panel extends an additional 80 mm (3-1/4 inches) above the top cover.
- \*\*Feature 2511 requires an additional 100 mm (4 inches) of service clearance at the front of the 3480-B11 and -B22.
- \*\*The right service clearance applies to only the rightmost tape unit attached to a control unit. Power is received from the 3480 Control Unit.

**SPECIFICATIONS**

Dimensions:

mm (inches)	Front	Side	Height
660 (26)	660 (26)	750 (29.5/4)	1000 (39.3/72)

Service Clearances:

mm (inches)	Front	Rear	Right	Left
915 (36)	915 (36)	915 (36)	0 (0)	610 (24)

Weight: 195 kg (430 lb)

Heat Output: 1 kW (3,400 BTU/hr)

Airflow: 1.2 m<sup>3</sup>/min (400 cfm)

Power Requirements:

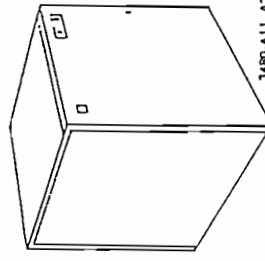
kVA	1
Phases	3
Plug	R&S-3760
Receptacle	R&S-3754
Connector Housing	R&S-3934
Power Cord Style	D4

Environment, Operating:

Temperature	15°C (59°F)
Rel Humidity	20%-80%
Max Wet Bulb	25.6°C (78°F)

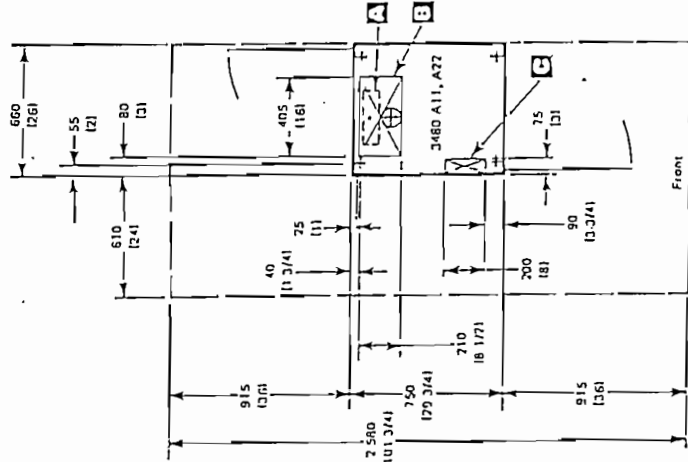
Environment, Nonoperating:

Temperature	10°C (50°F)
Rel Humidity	8%-80%
Max Wet Bulb	26.7°C (80°F)



3480-A11, A22 (Front View)

Notes: The 3480 Control Unit with the dust-control unit component cannot be used with the dust-control unit component. These front length cables have an entry/exit point at either (A) (entry level down) or (B) (entry level down). Entry-level devices may use either the side cable entry/exit floor cutout (C) or the rear cable entry/exit floor cutout (A) (8" x 12").  
 Note: Front devices must use the rear cable entry/exit floor cutout (A). Cable length measurements must be made between these cable entry/exit locations on the two control units.  
 See the table on page 3480.5 for the total number range of the power level devices.



3726 COMMUNICATION CONTROLLER EXPANSION

SPECIFICATIONS

Dimensions:	Front	Side	Height	Left
mm (inch)	1,210 (47.24)	815 (32)	1,525 (60)	
Service Treatment:	Front	Rear	Right	Left
mm (inch)	750 (29.13)	750 (29.13)	0 (0)	250 (9.84)
Weight	10.5 kg (23.1 lb)			
Heat Output:	50 Hz			
W (BTU/hr)	2,900 (9,900)			
Airflow:	50 Hz			
m <sup>3</sup> /min (ft <sup>3</sup> /min)	12.5 (430)			
Power Requirements:	50 Hz			
kVA	2.5			
Phases	1			
Voltage*	200, 230, 250, 210			
Frequency	60 (1.05)			
Plug**	Russetholl, 3720			
Connector**	Russetholl, 3913			
Receptacle**	Russetholl, 3743			
Power Cord Style	A1			
Power Cord Length**	4.2 m (14 ft)			

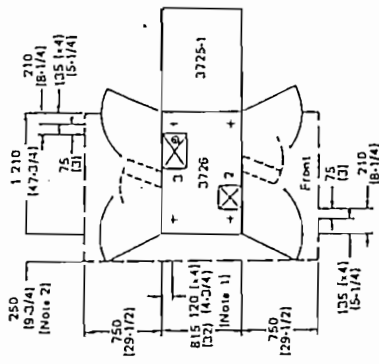
\* Unless otherwise specified, the maximum current consumption does not exceed 16 A, the power receptacle at the customer premises should be able to handle inrush current up to 20 A (to support quick on and off switching of the 3726, Model 103726).

Machine Specifications and Cabling Schematics 3725/3726.4

3726 COMMUNICATION CONTROLLER EXPANSION

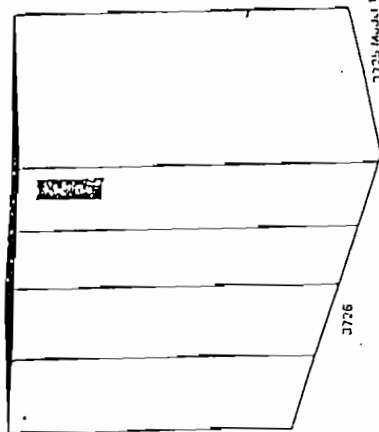
PLAN VIEW (Metric Scale: 10 mm = 0.5 m)

English measurements are shown in parentheses.



- Notes:
1. If required, the width can be reduced to 750 mm (29.13 inch).
  2. The service clearance can be reduced to 0 when another machine is abutted to the left side of the 3726. If the cover is to be opened as shown on the plan view.
  3. Castor and cable holes locating dimensions are measured from edge of frame, not cover.
  4. Ground plates are delivered with the 3726. These plates are installed by the service representative during machine installation. Cutways in the plates correspond to the existing cable holes shown in the plan view.

Cable Entry/Exit Number	Dimensions (Millimeter)	Dimensions (Inch)
2	250 x 250	9.84 x 9.84
3	360 x 250	14.17 x 9.84



3725/3726.3 Input/Output Equipment IM-PP

**SPECIFICATIONS**

**Dimensions:**

Front Side Height  
 Single Frame: 1 1/8" (32) 8 1/2" (215) 1 7/8" (47.6)  
 Dual Frame: 2 1/4" (61) 8 1/2" (215) 1 7/8" (47.6)

Clearances:  
 Front Rear Right Left  
 min 260 865 865 0  
 max 4 1/4" (112) 1 3/4" (44) 1 3/4" (44) 0

Dual Frame: See the dual frame plan view on page 3880.1.  
 Weight: 325 (729) 315 (693) 545 (1,200) 525 (1,150)  
 Heat Output: 1 (200) 250 (5,400) 2,300\* (5,000) 2,500\*\* (5,500\*\*)

Vertical: 9 1/8" (231) 9 1/8" (231) 15 1/8" (388) 30 3/8" (770)  
 Anomalous Data:  
 \* In Applications, see "Anomalous" in Chapter 3 of IMU General Information Manual, Installation Manual, Physical Parameters, IXC222502.

Power	1 kVA	2 kVA	3 kVA	4 kVA
Phases	3	3	3	3
Receptacle	R&S, 3P30	R&S, 3P30	R&S, 3P30	R&S, 3P30
Connector	R&S, 3P44	R&S, 3P44	R&S, 3P44	R&S, 3P44
Power Cord Style	B2	B2	B2	B2

A phase imbalance will exist depending on cable size, channel configuration, and power configuration.

**Typical Configurations and Measurements**

Power Configuration: A B C  
 Amperes in Phase: 8.65 9.67 7.54  
 60-Hz Delta: 5.92 6.00 7.29  
 30-Hz Wye: 4.23 2.90 4.71

Environment, Operating:  
 Temperature: 16°C (61°F) to 30°C (86°F)  
 Relative Humidity: 20% to 80%  
 Max Wet Bulb: 26°C (78°F)

Environment, Nonoperating:  
 Temperature: 10°C (50°F) to 110°F  
 Relative Humidity: 8% to 95%  
 Max Wet Bulb: 27°C (80°F)

Notes:  
 \* On the Model 13 with the eight-channel switch feature, heat output is 2,360 W (8,300 Btu/hr) and 3,450 W.  
 \*\* On the Model 23 with the eight-channel switch feature, heat output is 2,830 W (9,700 Btu/hr) and 4,440 W.

Power Requirements:  
 kVA: 1.7 0.9 2.5\* 2.3\*\*  
 Phases: 3 3 3 3  
 Receptacle: R&S, 3P30 R&S, 3P30 R&S, 3P30 R&S, 3P30  
 Connector: R&S, 3P44 R&S, 3P44 R&S, 3P44 R&S, 3P44  
 Power Cord Style: B2 B2 B2 B2

English measurements are shown in parentheses.

**3880 STORAGE CONTROL MODELS 1-4, 11, 13, 21, AND 23**

**PLAN VIEW (Metric Scale; 10 mm = 0.5 m)**

English measurements are shown in parentheses.

**Single-Frame Configuration**



**Dual-Frame Configuration (Model 13 or 23\*)**



\*Two Model 13s or 23s may be bolted together in a dual-frame configuration. The cover on the zero-clearance end of each frame is removed before the frames are bolted together.

**CAUTION**  
 If a dual-frame 3880 Model 23 is to be installed on a non-raised floor or on a raised floor that has no metallic shielding, RETAIN, search argument 3880 1P 781.



3880.1 Input/Output Equipment IM-PP

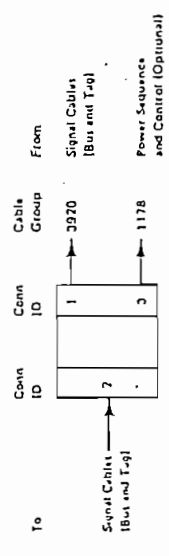
**SPECIFICATIONS**

4245 PRINTER MODELS 12 AND 20 (CHANNEL ATTACHED) AND MODELS D12 AND D20 (COAXIAL CABLE ATTACHED, CHANNEL PROTOCOL)  
 PLAN VIEW (Metric Scale: 10 mm = 0.5 m)

English measurements are shown in parentheses.

Ht.	Length	Cable Nominal OD	Number of Shields	Conductors	
				Number	AWG No
4.27 m (14 ft)	4.27 m (14 ft)	15.4 mm (0.604 in.)	0	4	14
Choking allowed, U.S.A. - 1.83 m (6 ft)				5	-
4.27 mm (1.4 ft)	11 mm (0.43 in.)	0	5	-	

**PRINTER MODEL 1 CABLING SCHEMATIC**



No of Cables	Cable ID	Max Length m	Comments	Notes
3	3	46 (150)	Power sequence and control	2

Comments	
Bus and Tag	

system, same as above. X-length is 122 meters (400 feet), unless modified by system or channel limitation. Maximum cable length must be limited by 3 meters (10 feet) for each control unit connected between the 4245 and the channel.  
 For group 1178, power sequence and control cable, is optional.

**Dimensions:**

mm (inches)	Fmit (60)	Side w/o stacker (28)	Side with stacker (37-1/2)	Height (170 (46-1/4))
1 525	710	930	930	1 170

**Service Clearances:**

mm (inches)	Front (760 (30))	Rear (920 (36))	Right (610 (24))	Left (610 (24))
760	920	610	610	610

Weight: 410 kg (910 lb)

Heat Output (approx):

Model 12	Model 20
2 000 (6.550)	2 500 (7.650)

Airflow: 17 m<sup>3</sup>/min (600 cfm)

**Acoustical Data:**

For definitions, see "Acoustics" in Chapter 3 of IBM General Information Manual - Hardware - Physical Planning, 1/22-2072.

Operating (beta)	Idle (delta)	L <sub>WA</sub> L		T
		<L <sub>PA</sub> > m	1	
7.9	6.6	62.0	30.0	No No
7.8	6.9	63.0	32.5	No No
7.5	6.5	63.5	30.0	No No
7.9	6.8	62.0	37.5	No No

4245-12 50 Hz	2.9	6.6	62.0	30.0	No No
4245-12 60 Hz	7.8	6.9	63.0	32.5	No No
4245-20 50 Hz	7.5	6.5	63.5	30.0	No No
4245-20 60 Hz	7.9	6.8	62.0	37.5	No No

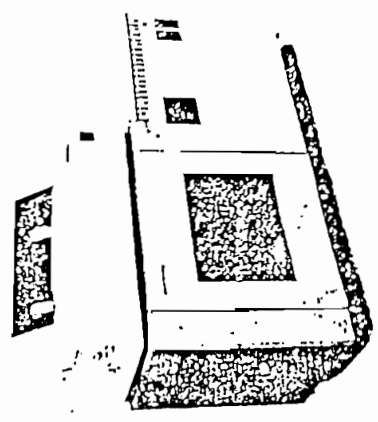
**Power Requirements:**

3.0 Hz	60 Hz
200, 220, 240, 205,	260, 205,
300, 400,	220, 240,
415 V	350 V

kVA	Model 12	2.6	2.6
	Model 20	3.1	3.1
Phases	Model 12	3-1	3
Line Current	Model 20	3-1	3
Power Factor	180 A maximum		
Plug	Socket type	0.9	
Connector	R.A.S. 3874		
Receptacle	R.A.S. 3874		
Power Cord Style	R.A.S. 3554		

**Environment, Operating:**

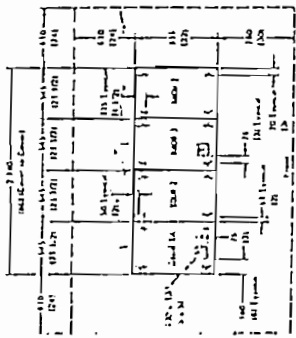
Temperature	16°C (61°F) to 30°C (86°F)
Rel Humidity	5% to 80%
Max Wet Bulb	23°C (73°F)



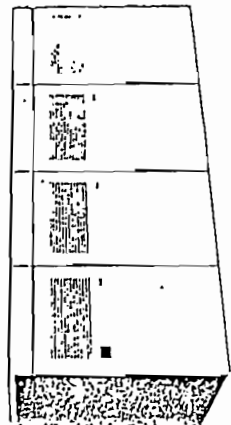
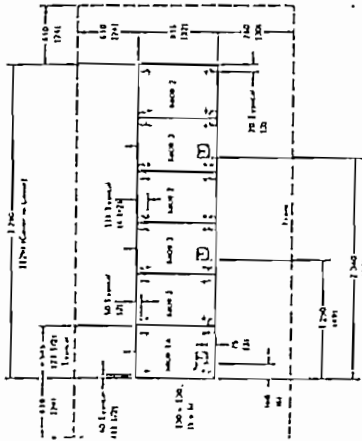


8805 MAGNETIC TAPE UNIT MODELS 1A, 2, AND 3

Left View (Metric Scales: 10 mm = 0.5 m)  
 Right measurements are shown in parentheses.



Maximum Configuration



SPECIFICATIONS

Dimensions:

mm (inches)	Front	Side	Height
545 (21-1/2)	815 (32)	1000 (39-1/2)	

Service Clearances:

mm (inches)	Front	Rear	Right* Lzft*
760 (30)	610 (24)	610 (24)	610 (24)
Weight:	Model		
kg (lb)	1A 2	3	
	137 (302)	98 (215)	129 (285)
Heat Output:	Model		
W (BTU/hr)	1A 2	3	
	425 (1450)	380 (1300)	425 (1450)

Airflow:	Model
m <sup>3</sup> /min (cfm)	1A 2 3
	2.8 (100) 2.8 (100) (100)

Power Requirements:	Model
kVA	1A 2 3
	0.66 0.5 0.66
Phases	1 1 1
Plug	NEMA 5-15P or NEMA 6-15P
Receptacle/Connector	NEMA 5-15R or NEMA 6-15R
Power Cord Style	A1

For machines with waterproof plug, specify feature SF 9950:

Plug:	725 Y	250 Y
Connector:	R&S, 3720U-1	R&S, 3720U-2
Receptacle:	R&S, 3743U-1	R&S, 3743U-2
	R&S, 3913U-1	R&S, 3913U-2

Environment, Operating:

Temperature	16°C-38°C (60°F-100°F)
Rel Humidity	8% to 80%
Max Wet Bulb	26°C (78°F)

Environment, Nonoperating:

Temperature	10°C-43°C (50°F-110°F)
Rel Humidity	8% to 80%
Max Wet Bulb	27°C (80°F)

Notes:

- \*Required clearance when the tape unit is at the end of the 8899 series.
- \*\*Model 2 receives power from a Model 1A or J.

Machine Specifications and Wiring Schematics 5857

## 341 PROCESSORS SPECIFICATIONS

### Dimensions\* (Basic Processor):

	Front	Side	Height
	815	2 390	1 000
(s)	(32)	(94-1/4)	(39-1/2)

### Dimensions\* (with Channel-to-Channel Feature):

	Front	Side	Height
	815	3 190	1 000
(s)	(32)	(125-3/4)	(39-1/2)

### Clearances (Basic Processor):

	Front	Rear	Right	Left
	1 100	1 100	1 105	1 580
(s)	(43-1/4)	(43-3/4)	(43-1/2)	(62-1/4)

### Voltages

	Nominal	Minimum	Maximum
50 Hz	200	180	220
	220	193	238
	380	333	410
60 Hz	400	350	432
	415	363	448
	200	180	220
	208	180	220
	220	193	238
	240	208	254

Power monitoring circuits require that power lines be contained in properly grounded conduit or shielded cables.

### Power Cord:

meters	4.3 (optionally, 1.8)
(feet)	(14) (optionally, 6)

### U.S.A. and Canada:

Plug	R&S, 3760 (Provided by IBM)
Receptacle	R&S, 3754 (Provided by Customer)
Connector	R&S, 3934 (Provided by Customer)

### World Trade Countries (Except Canada):

The machine is shipped without plug on the power cord. This plug is customer-provided according to local codes and national requirements.

Power Cord Style: D1 (See Appendix B.)

### Operating Environment:

Temperature:	10-32°C (50-90°F)
Rel Humidity:	8-80%
Max Wet Bulb:	23°C (73°F)

### Nonoperating Environment:

Temperature:	10-43°C (50-110°F)
Rel Humidity:	8-80%
Max Wet Bulb:	27°C (80°F)

Weight:	
Groups 1, 10, and 11	2
01	545 kg (1,200 lb) 603 kg (1,330 lb)
02	270 kg (590 lb) 317 kg (700 lb)
03	185 kg (400 lb) 185 kg (400 lb)
	1 000 kg (2,190 lb) 1 105 kg (2,430 lb)

### Output: (maximum)

Groups 1, 10, and 11	2
	4 050 W 4 800 W
	(13,800 BTU/hr) (16,400 BTU/hr)
CTCA	4 400 W 5 150 W
	(15,000 BTU/hr) (17,600 BTU/hr)

### Airflow: (down draft)

	37 m <sup>3</sup> /min (1,300 cfm)
CTCA	44 m <sup>3</sup> /min (1,550 cfm)

### Requirements:

Groups 1, 10, and 11	2
z	5.6 6.4
CTCA	6.0 6.8
z	4.4 5.3
CTCA	4.8 5.7
s	3 3

### Minimum dimensions with covers removed:

	Front	Side	Height
01	750	1 525	975
(s)	(29-1/2)	(60)	(38-1/2)
02 or 03	750	760	975