

Estimación del ahorro de energía eléctrica conseguido con la implementación de sistemas desecantes en ambientes tropicales húmedos

Lesme Corredor*, Alvaro Mestra*, Jovanny Pacheco*

Resumen

Los sistemas desecantes de uso generalizado en procesos que requieren ambientes «secos», como, por ejemplo, la industria farmacéutica, son una alternativa prometedora para el acondicionamiento de aire en zonas tropicales húmedas, ya que gran parte de la energía demandada para la climatización de los recintos se consume en la condensación de grandes volúmenes de agua. Basados en esta premisa, nuestro grupo de investigación adelanta actualmente un estudio encaminado a evaluar, técnica y económicamente, la implantación de tales equipos en instalaciones residenciales, comerciales e industriales. Esta investigación comenzará con una evaluación del calor latente que se va a evacuar, en función de las condiciones meteorológicas horarias, temperatura, humedad relativa, brillo solar de los últimos cuatro años en la ciudad de Barranquilla (11° Lat. N y 74.8° Long. O). Los resultados servirán para calcular y comparar los requerimientos de energía eléctrica de los actuales equipos de compresión mecánica.

Palabras claves: Humedad relativa, humedad absoluta, sistemas desecantes, materiales absorbentes, sistemas de compresión mecánica, calor latente, calor sensible, consumo eléctrico.

Abstract

Dessicant cooling systems which has been used in industrial processes that require "dry" ambient conditions, such as pharmaceutical industry are a promissory alternative for humid tropical zones Air Conditioning, because a major of energy consumption for this purpose is used to condense ambient water vapor. Based in this idea, our Research Group is currently carrying out a study to evaluate technical and economical feasibility to use such devices in residential, commercial and industrial facilities. The study begin evaluating **sensible** and **latent** loads in evaporator as a function of hourly meteorological conditions, Temperature, Relative Humidity, Sunshine for Barranquilla-Colombia (11° Lat. N y 74.8° Long. W), in the last four years. Results will be used to calculate and compare electrical energy requirements in actual mechanical compression HVAC systems.

Key words : Relative humid, absolute humid, dessicant systems, sorptive materials, mechanical compression systems, latente heat, sensible heat, electrical demand.

Lista de abreviaturas

ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros de Refrigeración, Calefacción y Acondicionamiento	BTU	Unidad Térmica Británica
		CFM	Pies cúbicos por minuto

* Grupo de Investigación en Uso Racional de Energía y Preservación del Medio Ambiente. Universidad del Norte. Departamento de Ingeniería Mecánica. (E-mail: lcorredo@guayacan.uninorte.edu.co)

Dw de Aire
 Cambio en la humedad Absoluta
 IDEAM Instituto De Hidrología, Meteorología y
 Estudios Ambientales
 Lat. N. Latitud Norte
 T.R. Toneladas de refrigeración

DT Cambio de temperatura
 H.R. Humedad Relativa
 Kw Kilovatio
 Kw-h Kilovatio / hora
 Long. O. Longitud Occidental

1. INTRODUCCIÓN

En las regiones tropicales húmedas es común instalar sistemas de acondicionamiento de aire para reducir las altas temperaturas y humedades relativas externas (30-37°C y 80-98 % H.R.) que se presentan durante todo el año. Estas condiciones climáticas conllevan inevitablemente a un alto consumo de energía eléctrica por este concepto, especialmente en aquellos países donde se apuesta exclusivamente por los sistemas de compresión mecánica.

En los acondicionadores de aire, la reducción tanto de la temperatura como de la humedad relativa del aire del recinto se llevan a cabo en el evaporador

hasta lograr las condiciones de confort del mismo (22°C y 50% H.R.¹). En el evaporador se produce rechazo de calor sensible y latente del aire, siendo este último el promotor de la gran cantidad de agua condensada en su superficie. Es en este componente del sistema donde centraremos nuestra discusión, ya que él desaloja un elevado porcentaje de la carga térmica que debe expulsar el equipo (ver figura 1). Conviene anotar que bajo condiciones reales de funcionamiento, su rendimiento se ve afectado tanto por la película de agua/hielo como por la capa de polvo que a menudo se forma sobre su superficie, puesto que reducen sensiblemente su coeficiente de transferencia de calor.

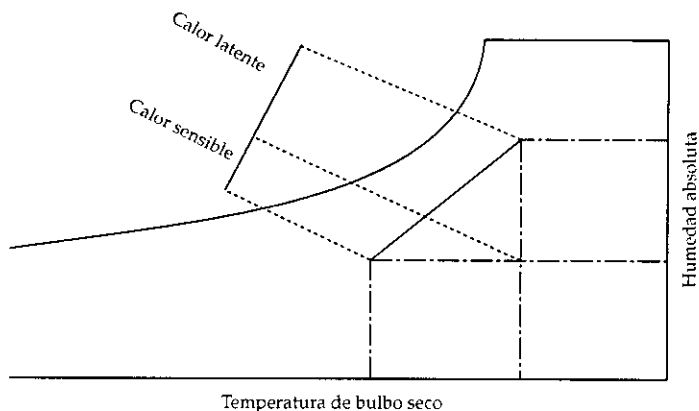


Figura 1. Comparación entre el calor latente y el calor sensible

¹ Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado (ARI). México, Prentice-Hall, 1987.

Una alternativa bastante prometedora es reemplazar las funciones tradicionales del evaporador en dos: 1) Secado del aire mediante la utilización de materiales sustancias higroscópicas con características similares a las utilizadas en instalaciones neumáticas industriales, y 2) un intercambiador de calor convencional en el cual se le disminuya la temperatura (calor sensible) al aire. Tal arreglo se aprecia esquemáticamente en la figura 2.

El deshumidificador es el corazón del sistema desecante; él remueve la humedad de la corriente de aire que va hacia el evaporador; mientras que el material desecante es regenerado mediante una fuente externa de energía, el cual puede provenir de varias fuentes,

tales como: gas natural, electricidad, energía solar y calores residuales de procesos, entre otros.

Los sistemas desecantes tradicionalmente han sido muy costosos, y por este motivo su uso ha estado orientado básicamente al control de humedad en aquellos procesos donde ésta puede afectar sensiblemente la calidad de los productos manufacturados o conservados, tal como sucede en las industrias farmacéutica, de alimentos y de componentes electrónicos, sólo por destacar unas cuantas.

La comprobada eficacia y eficiencia energética de los sistemas desecantes ha motivado a los gobiernos de algunos países industrializados² a promover su

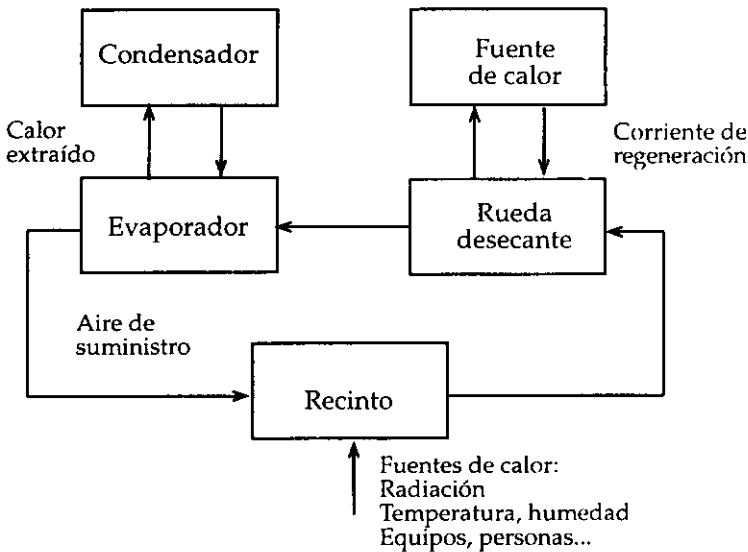


Figura 2. Diagrama del conjunto

² S.J. SLAYZAK; A.A. PESARAN y C.E. HANCOCK. *Experimental Evaluation Of Commercial Desiccant Dehumidifier Wheels*. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Golden Colorado USA.

masificación mediante la investigación y desarrollo de nuevos materiales y equipos. Todo este esfuerzo debe conducir a una reducción apreciable de los costos de estos sistemas y, por lo tanto, contribuir para que puedan ser utilizados en instalaciones residenciales, comerciales (supermercados, hoteles, restaurantes, etc.) y hospitalarias.

aire que debe ser secada, y la otra a la corriente de regeneración o de gases calientes.

2. OBJETIVOS

2.1 General

Evaluar la factibilidad técnica para la

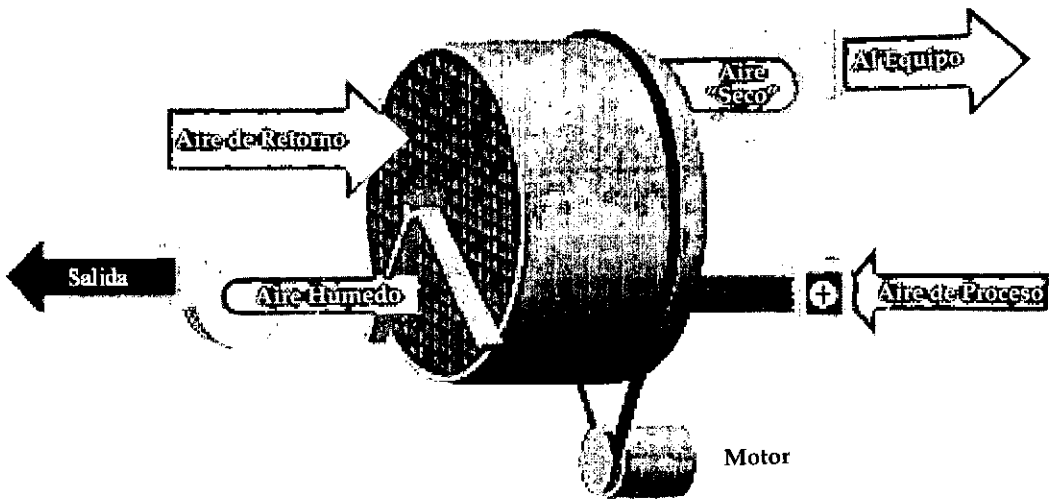


Figura 3. Esquema general de la rueda desecante³

Actualmente existen en el mercado dos mecanismo de eliminación de humedad: los líquidos y los sólidos, siendo estos últimos los que han alcanzado una mayor presencia en la mayoría de las aplicaciones comerciales.

En la figura 3 se muestra esquemáticamente una rueda de un material sólido absorbente, la cual tiene parte de su superficie expuesta a la corriente de

implementación de sistemas desecantes en la climatización de recintos de uso residencial y comercial.

2.2 Específicos

- Determinar la variación de la carga térmica total en un recinto real.
- Determinar el porcentaje de la carga térmica correspondiente a calor latente (condensación de humedad) que puede ser retirado del sistema y su variación con respecto al tiempo.

³ Munters Corporation Cargocaire Division. AB Carl Munters.

3. METODOLOGÍA

El estudio comienza con un análisis detallado de las condiciones de operación de tres oficinas tipo de la Universidad del Norte: departamentos de Ingeniería Eléctrica, Civil y las del bloque Administrativo. Con esta información se evaluará el comportamiento de las cargas por calor Latente y Sensible en condiciones reales de operación. Posteriormente, se realizará una estimación de las cargas **latente** y **sensible** para un sistema que deba mantener el recinto bajo las condiciones de confort ideales recomendadas por la ASHRAE¹. Para llevar a cabo los cálculos mencionados se utiliza la información meteorológica de Barranquilla correspondiente al período comprendido entre 1995 y 1998, suministrada por el Instituto Colombiano de Estudios Atmosféricos (IDEAM)⁴. A fin de simplificar la simulación y sin perder rigurosidad, se escogerán cuatro meses típicos (enero, marzo, junio y octubre) a los cuales se les determinarán los valores promedio diario y horarios de las temperaturas de bulbo seco y húmedo. Además, se considerarán las desviaciones en los datos obtenidos originadas por el «Fenómeno del niño» ocurrido en el año 1997 y el de la «niña» en 1998. Con estos resultados y con los de radiación térmica que vienen siendo desarrollados por este mismo grupo, se desarrollará un modelo teórico de la evolución de la carga térmica para un recinto en particular, la oficina del Programa de Ingeniería Mecánica.

⁴ Base de Datos IDEAM.

4. HIPÓTESIS SIMPLIFICATORIAS

Considerando la complejidad inherente de los distintos fenómenos que se presentan en cada uno de los componentes del sistema y a falta de una mayor cantidad de datos y correlaciones experimentales, haremos las siguientes hipótesis simplificadorias:

- El ambiente interior es una mezcla homogénea de aire y vapor de agua, cuya concentración total es función del volumen del recinto, la rapidez de remoción de humedad por parte del sistema y la rapidez de suministro de humedad debido a infiltraciones, personas, etc.
- La presión atmosférica es constante a lo largo del día (101.3 KPa).
- Las variaciones de la presión de vapor con la temperatura al igual que la entalpía se comportan como un polinomio de cuarto orden, el cual presenta un coeficiente de correlación aproximadamente igual a 1⁵.
- Las demás propiedades termodinámicas se consideran constantes para el rango de temperaturas de trabajo.
- El análisis del modelo teórico se realiza bajo condiciones estacionarias, de tal manera que no existe acumulación ni desacumulación de energía.

⁵ CORREDOR, L; PACHECO, D; CASTRO, J. Auditoría Energética a la Universidad del Norte. Enero de 1998. Barranquilla.

- No existe condensación ni dispersión de vapor de agua a través del recinto.
- La potencia eléctrica consumida por el compresor en un equipo determinado es directamente proporcional a la cantidad de calor que se retira del sistema.

5. ANÁLISIS Y MANIPULACIÓN DE LOS DATOS

Se registraron y analizaron estadísticamente los datos correspondientes a las temperaturas de bulbo húmedo y seco, ante dos escenarios: uno optimista, caracterizado por bajas humedades relativas, y uno pesimista, por altas.

Con esta información se procedió a determinar los valores de la humedad absoluta (relación masa de vapor de agua/masa de aire seco). En todo momento se siguieron las recomendaciones del NREL³, con el fin de conseguir una mayor precisión en los resultados. Posteriormente se procedió a la estimación de la carga térmica debida a la radiación y a la temperatura exterior⁶.

Una vez conseguida esta información se acopló con la obtenida en la auditoría energética llevada a cabo en Universidad⁵ del Norte a finales de 1997 para determinar los porcentajes del consumo eléctrico ocasionados por las cargas **sensible y latente**.

La determinación del consumo eléctrico adicional que representaría la implementación de un sistema desecante se hará en un informe posterior.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Estudio energético

Mediante el análisis energético se comprobó que la relación entre la carga sensible y latente variaba de un equipo a otro de acuerdo a las condiciones del recinto.

Tal como puede apreciarse en las figuras 4 a 6, se presentaron las mayores diferencias entre el calor latente y el sensible removido al comienzo de la operación (8:30 y 14:00 horas aproximadamente). Esta diferencia se reduce a medida que avanza el día, y se debe principalmente a que a estas horas, el sistema debe reducir la temperatura del recinto hasta las condiciones de *comfort*, es decir, enfría más rápido el aire y disminuye lentamente su humedad (ver tablas 1, 2 y 3.)

⁶ MURRAY R, Spiegel. *Probabilidad y Estadística*. México, Schaum, 1994.

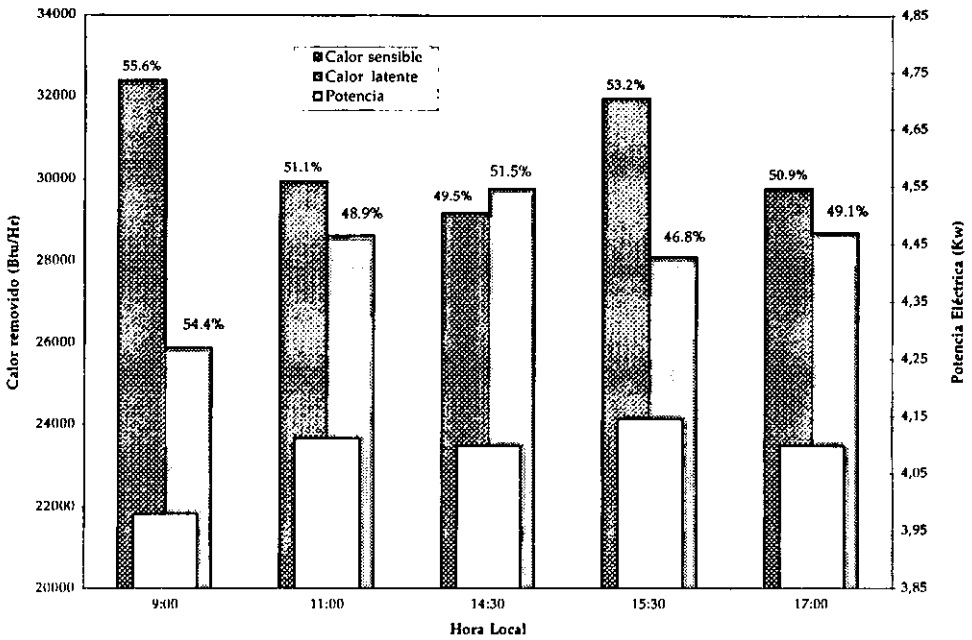


Figura 4. Resultado de la auditoría a las oficinas de Ingeniería Eléctrica

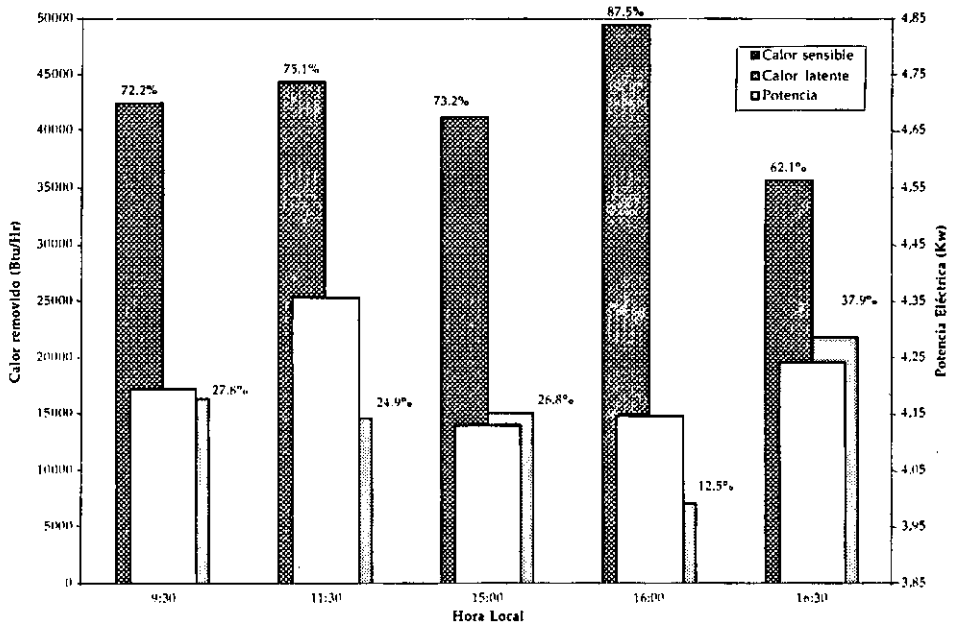


Figura 5. Resultado de la auditoría a las oficinas de Ingeniería Civil

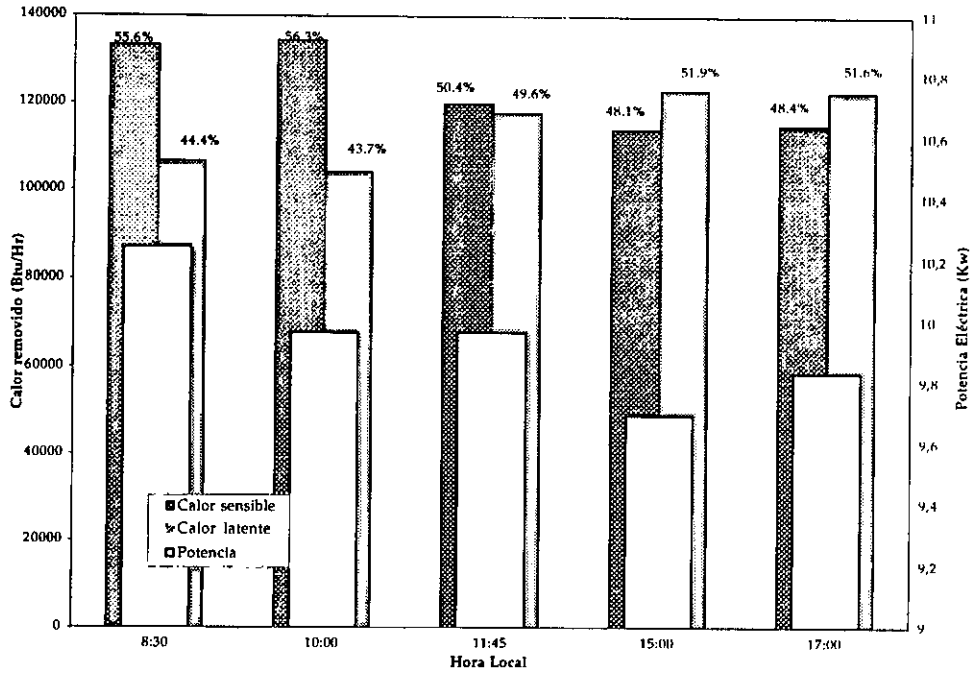


Figura 6. Resultado de la auditoría al edificio administrativo de la Universidad del Norte

Tabla 1. Condiciones de operación y del recinto

Condiciones del recinto			Efecto refrigerante		
Hora	tbs	H.R.	DT	Dw	Flujo másico
09:00	24.8	61.24%	10.8	3.46	6945.65
11:00	25.2	62.88%	10.9	4.16	6358.91
14:30	25.3	65.61%	10.7	4.35	6313.26
15:30	25.8	62.05%	11.6	4.03	6383.45
17:00	23.7	65.78%	10.2	4.03	6750.83
	°C		°C	gr vap/Kg a.s	Kg a.s./hr

Tabla 2. Condiciones del recinto de Ingeniería Civil

Condiciones del recinto			Efecto refrigerante		
Hora	tbs	H.R.	DT	Dw	Flujo másico
09:30	25.9	52.73%	10.9	1.56	9041.92
11:30	26.4	49.65%	11.1	1.32	9250.44
15:00	25.3	53.99%	10	1.37	9552.69
16:00	25.5	44.53%	11	0.53	10411.00
16:30	25.4	55.96%	9.9	2.34	8355.97
	°C		°C	gr vap/Kg a.s	Kg a.s./hr

Tabla 3. Condiciones del edificio administrativo

Condiciones del recinto			Efecto refrigerante		
Hora	tbs	H.R.	DT	Dw	Flujo másico
08:30	25	62.06%	13	4.19	23762.99
10:00	25	61.40%	13	4.06	23929.71
11:45	24	69.51%	12	4.83	23136.25
15:00	23	73.94%	11	4.93	23972.44
17:00	24	72.35%	12	5.25	22223.00
	°C		°C	gr vap/Kg a.s	Kg a.s./hr

En las oficinas del programa de Ingeniería Eléctrica y del bloque administrativo se presenta una relación del orden del 50% entre el calor sensible y el latente removido por el acondicionador de aire, en contraste con las oficinas de Ingeniería Civil, donde se presenta un valor entre 12.5 y 37.9%. Este porcentaje relativamente bajo se explica en la tabla 2, donde se observa que el flujo de aire que pasa por el evaporador es tan alto que la cantidad de condensado es muy inferior al de Ingeniería Eléctrica. A pesar de esto, la temperatura interior no

logra bajar de los 25°C, debido a la gran cantidad de calor que recibe esta construcción por la radiación solar, lo cual se traduce en unos valores altos de humedad relativa, sin lograr, por ende, las condiciones ideales de *comfort*.

Por otra parte, se nota que la potencia consumida por cada uno de los equipos no varía ostensiblemente a lo largo del día. En general, se presenta una fluctuación del orden de 4.5 a un 5.5% respecto a la media.

Ya que ninguno de los tres sistemas reales descritos logra acercarse a las condiciones de *confort*, será necesario realizar la estimación basados en un modelo teórico simplificado, el cual deberá corroborarse en posteriores informes.

6.2 Modelo teórico

En las figuras 9 y 10 se presenta el comportamiento de la carga térmica en estado estacionario y bajo dos condiciones ambientales extremas: ambiente «seco», correspondiente al mes de marzo de 1997, y ambiente «húmedo», corres-

pondiente a octubre de 1998. Esta selección está basada en los valores obtenidos de la humedad absoluta para el intervalo de años comprendido entre 1995 y 1998 (figuras 7 y 8).

Es obvio que para ambas condiciones el calor latente que se debe remover para mantener las condiciones de confort es superior al calor sensible, debido al exceso de humedad del aire.

Paradójicamente, los mayores porcentajes de calor latente se registran en el escenario «seco», donde la humedad absoluta es baja. Ello se debe al ostensible

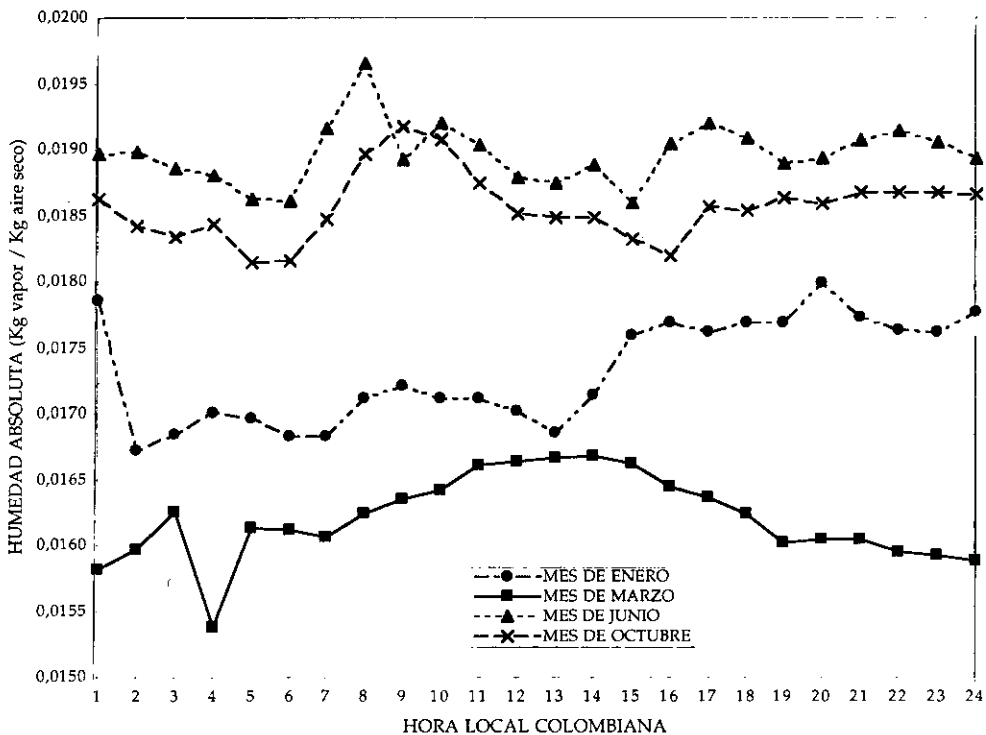


Figura 7. Condiciones ambientales promedio para el escenario «seco»

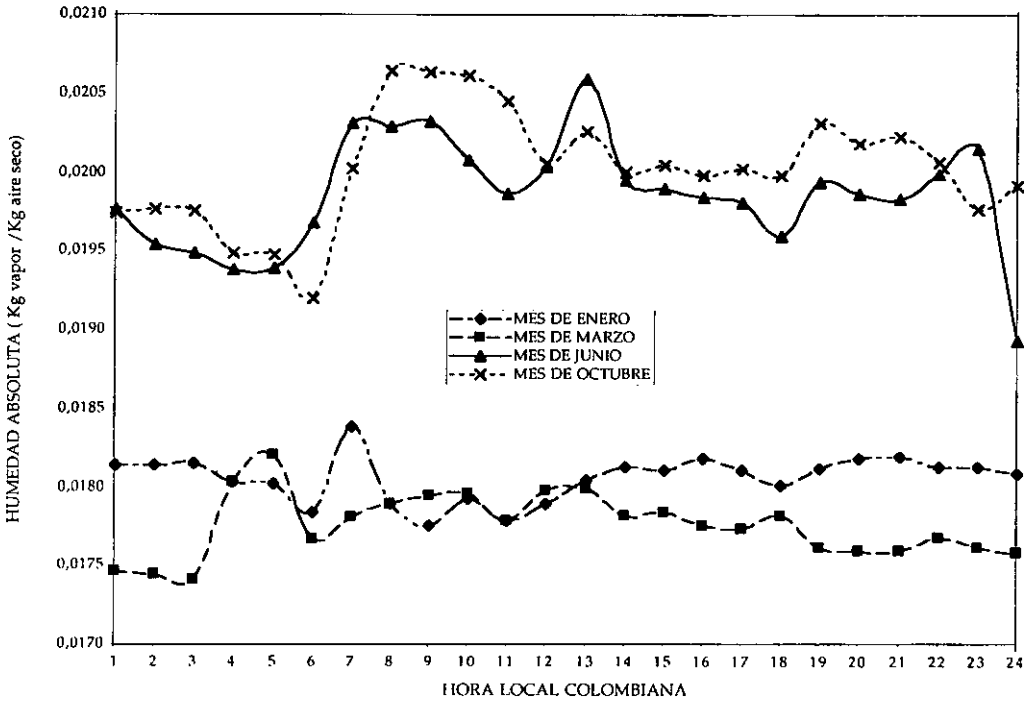


Figura 8. Condiciones ambientales promedio para el escenario «húmedo»

aumento del caudal de aire exterior, promovido en parte por las altas velocidades del viento en esta época del año.

El comportamiento del calor sensible a lo largo del día está influenciado por las ganancias debidas a la radiación solar, la cual se muestra ascendente en horas de la mañana y descendente en horas de la tarde (en menor proporción debido a la acumulación térmica de las paredes).

Conclusiones

Se concluye que las variaciones en las condiciones climáticas a lo largo del día no afectan apreciablemente el consumo eléctrico de los actuales equipos de acondicionamiento de aire. Por lo tanto, cualquier mejora que se emprenda debe apuntar hacia un manejo y control más eficaz de las cargas sensible y latente de los recintos estudiados.

El modelo teórico desarrollado no considera las fluctuaciones de la carga

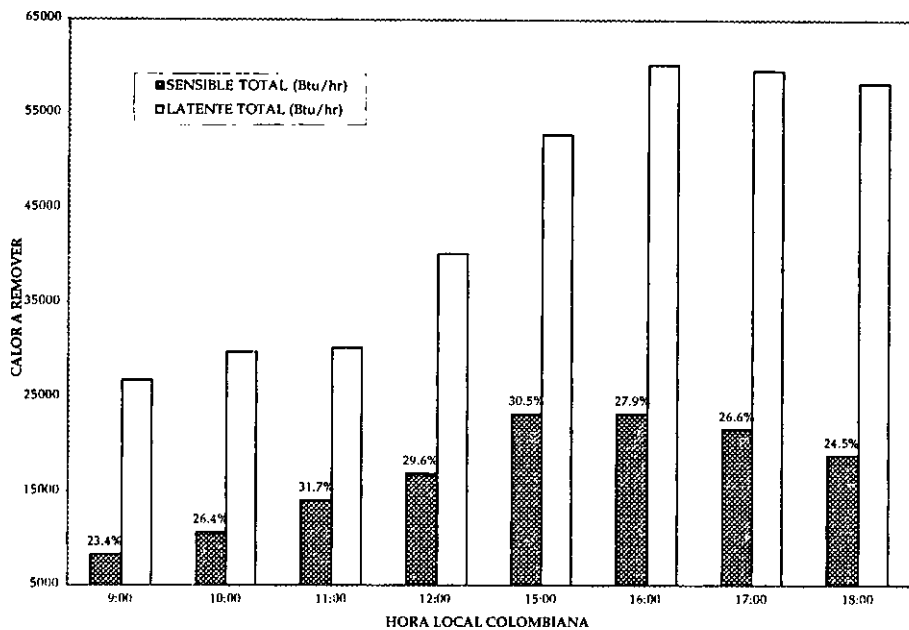


Figura 9. Comparación de las cargas sobre el sistema para el escenario «húmedo»

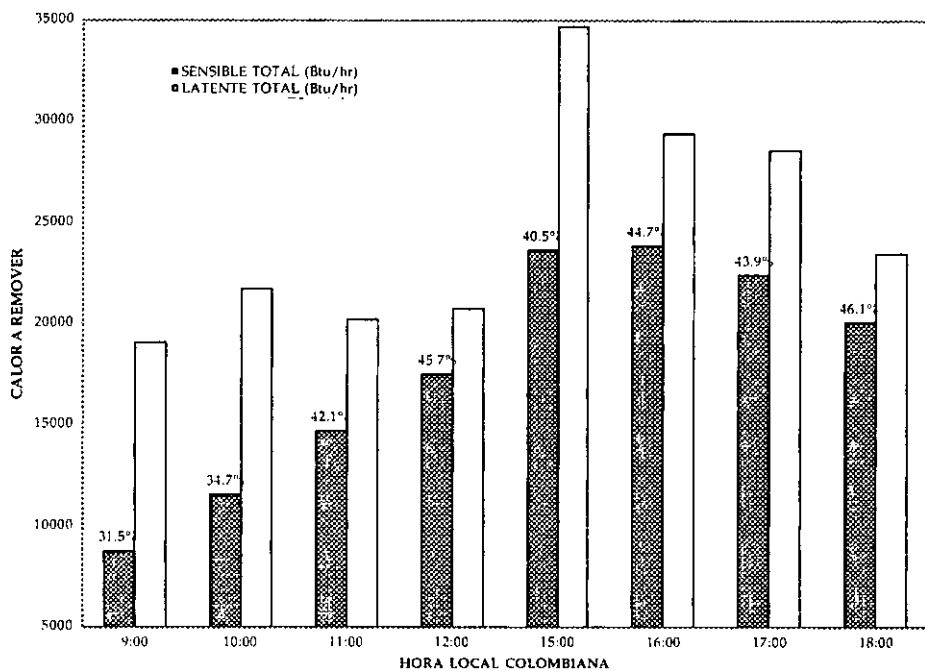


Figura 10. Comparación de las cargas sobre el sistema para el escenario «seco»

térmica producidas durante el tiempo que permanece fuera de servicio el acondicionador de aire. Por consiguiente, no es posible determinar cuánto calor se acumula durante este período y que necesariamente debe ser retirado.

La confrontación entre los resultados obtenidos con el modelo teórico y la auditoría energética efectuada en la Universidad nos lleva a concluir:

Los acondicionados de aire convencionales instalados actualmente no son capaces de remover por completo la humedad del local. Para lograrlo se requeriría de un equipo con una capacidad entre 54 y 76.6% superior, lo cual puede significar un consumo eléctrico extra de 4.9 a 6.8Kw. para un equipo de 20 T.R. Esto representa un panorama

promisorio para la implantación de sistemas desecantes, destacándose aquellas edificaciones con grandes volúmenes de aire y afluencia de personas que justifiquen económicamente la inversión en equipos con la tecnología actual.

Referencias

Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado (ARI). México, Prentice-Hall, 1987.

S.J. SLAYZAK; A.A. PESARAN y C.E. HANCOCK. *Experimental Evaluation Of Commercial Desiccant Dehumidifier Wheels*. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Golden Colorado USA.

Munters Corporation Cargocaire Division. AB Carl Munters.

Base de Datos IDEAM.

CORREDOR, L; PACHECO, D; CASTRO, J. Auditoría Energética a la Universidad del Norte. Enero de 1998. Barranquilla.

MURRAY R, Spiegel. *Probabilidad y Estadística*. México, Schaum, 1994.