

TECNOLOGIA Y CONSERVACION DE LA ENERGIA

106-2

I. LAS INVESTIGACIONES FRANCESAS SOBRE EL ALMACENAMIENTO DE CALOR PARA LA VIVIENDA

B. Delcambre, M. Rubinstein y
J. L. Salagnac, Francia

1. INTRODUCCION

Ligadas inicialmente a los estudios realizados sobre la utilización de la energía solar en la vivienda, las investigaciones francesas sobre el almacenamiento de energía térmica para la vivienda han conocido un desarrollo importante en el curso de estos últimos años, que tiende, en la actualidad, a rebasar el marco estricto de la energía solar.

Se ha podido observar un desarrollo comparable en otros países y, por lo tanto, no resulta sorprendente que hayan podido realizarse estudios similares, tanto en Francia como en el extranjero, sobre diversas soluciones técnicas.

Los principios físicos puestos en juego en estos almacenamientos son ya conocidos por todos:

- calor sensible (de los cuerpos sólidos o líquidos),
- calor latente de cambio de estado (sólido \rightleftharpoons líquido generalmente),
- calor de reacciones químicas o fisicoquímicas.

Este orden de presentación corresponde a la importancia decreciente de los trabajos que han sido realizados en Francia en las vías de investigación abiertas por la utilización de dichos principios.

Aun siguiendo este orden, evitaremos una enumeración fastidiosa de todos los trabajos realizados en cada sector, que presentaremos bajo forma de tablas de síntesis y nos ceñiremos a subrayar los principales resultados obtenidos así como las perspectivas de desarrollo de las técnicas estudiadas.

2. ALMACENAMIENTOS DE CALOR SENSIBLE

Las investigaciones francesas muestran tres campos de estudio que utilizan el calor sensible de los sólidos, de los líquidos o de medios compuestos (fluidos/sólidos) naturales o artificiales:

- almacenamiento centralizado en depósito artificial,
- almacenamiento centralizado en medio natural, y
- almacenamiento integrado en la estructura del edificio.

2.1. Almacenamiento centralizado en depósito artificial

El medio de almacenamiento (agua, guijarros, agua/guijarros) se confina dentro de un depósito formado por una cuba colocada sobre el suelo, o enterrada, o por una excavación cuya estanqueidad queda asegurada por una membrana.

El aislamiento térmico de estos depósitos es función de la aplicación prevista (almacenamiento a corto o largo plazo) y del medio ambiente (naturaleza del suelo, cuba en subsuelo de edificio o en exterior).

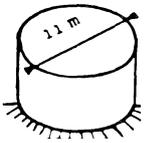
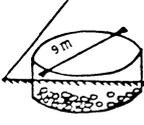
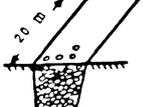
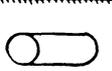
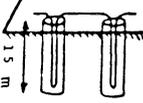
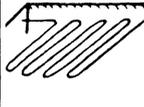
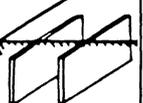
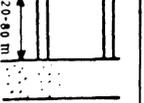
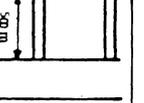
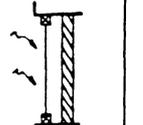
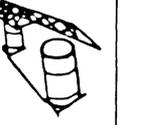
Los experimentos siguen siendo de tamaño modesto, máximo algunos centenares de metros cúbicos.

Los estudios teóricos se han referido a los problemas de convección en el seno de una masa de agua, a las transferencias térmicas en los medios compuestos y a la evaluación de las pérdidas por las paredes enterradas.

Estas investigaciones han dado como resultado un mejor conocimiento de los fenómenos básicos, pero han mostrado, sobre todo, que era necesario un esfuerzo específicamente referido al estudio del comportamiento térmico de los suelos en superficie. Se han iniciado por consiguiente nuevos estudios sobre este tema cuyos resultados rebasan el marco de las aplicaciones a los almacenamientos (redes de calor, fugas en los edificios por las paredes enterradas, ...).

De todos los medios de almacenamiento previstos en estas investigaciones, el agua parece ser la mejor elección ya que el sistema de calefacción proyectado utiliza este líquido como portador de calor, mientras que los lechos de guijarros en-

(Tabla 1)

TIPO	Almacenamientos centralizados en depósitos artificiales						
	Depósitos metálicos	Almacenam. excavados	Estructuras enterradas	Almacenam. excavados	Almacenam. excavados	Cubas de acero enterradas	
							
VOLUMEN (m3)	550	3 x 30	4 x 100	250	160	70	
MEDIO DE ALMACENAMIENTO	agua	agua	agua	agua/guijarros	aire/guijarros	agua	
ACOPAMIENTO PAC	SI	NO	NO	NO	NO	NO	
APLICACION	Recuperación de desechos térmicos de un reactor nuclear	Calefacción solar	Calefacción solar	Calefacción solar	Calefacción solar de aire	Calefacción solar por suelo	
OBSERVACION	Instalación piloto	Instalación experimental	Instalación piloto en inmueble de 26 viviendas. Tubos de hormigón armado.		Acoplamiento con captores en Junio de 1983	Ninguna aportación prevista (salvo chimenea)	
ORGANISMOS (lista no exhaustiva)	C.E.A.Saclay ECOSTOC	C.E.A. Cadarache	C.E.A G.d.F.	C.E.A. Cadarache	CSTB Sophia Antipolis CGE Marcoussis	ENSMP Sophia Antipolis	
TIPO	Almacenamientos centralizados en medio natural					Almacenamiento integrado en la vivienda	
	pozos verticales	capas horizont.	Cambiadores enterrados	Capa subterr. artesiana	Capa profunda	Muro Trombe	Estructura de energía
							
VOLUMEN (m3)							2.600
MEDIO DE ALMACENAMIENTO	Suelo en superficie	Suelo en superficie	Suelo en superficie	Subsuelo	Suelo profundo	Hormigón o agua	agua
ACOPAMIENTO PAC	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO
APLICACION	Calefacc. solar Recuperación desechos	Calefacc. solar	Calefacc. solar	Calefacc. solar Recup. desechos climatización	Recuperación desechos térmicos Redes de calores	Calefacc. solar pasiva	Calefacc. de base solar
OBSERVACION				Instalación piloto de heliogeotermia (224 viviendas)	Pozos experimental cerca de París		Instalación piloto de calefacc. operacional en 1983
ORGANISMOS (lista no exhaustiva)	LCPC Nantes Universidad Nantes	Elf Solaize Universidad Valenciennes ENSMP Fontainebleau BRGM	CNRS Grenoble	ENSMP Fontainebleau BRGM	C.E.A. ELF	CNRS Odeillo	Sociedad BONNA

cuentran aplicaciones en los almacenamientos a corto plazo acoplados a instalaciones de calefacción por aire.

Se están realizando asimismo estudios de durabilidad para determinar en qué condiciones las membranas utilizadas actualmente para realizar la estanqueidad de cubas de agua fría, pueden ser empleadas para asegurar la estanqueidad de almacenamientos excavados que contienen agua caliente.

Surgida a raíz de estas investigaciones, una sociedad comercial (1) se dedica al estudio y realización de almacenamientos de este tipo para aplicaciones en sectores diversos, entre los que se encuentra la vivienda. Algunos proyectos recientes sugieren la viabilidad económica de instalaciones que comprenden almacenamientos de agua de larga duración.

Tras haberse pensado en sistemas de calefacción con almacenamientos de larga duración de elevado nivel térmico (entre 40 y 90 °C), parece desprenderse una tendencia que preconiza el empleo de temperaturas más bajas (entre 5 y 40 °C) de almacenamiento y la utilización de bombas de calor para incrementar el nivel térmico.

Los resultados actuales son insuficientes para poder pronunciarse acerca de los rendimientos reales de estas instalaciones.

2.2. Almacenamiento centralizado en medio natural

En este caso, el medio de almacenamiento es el suelo o una parte localizada del mismo (capa subterránea freática, por ejemplo). El medio de almacenamiento ya no está por consiguiente confinado como antes y el problema del aislamiento sólo se plantea eventualmente en superficie. La transferencia de calor se hace por circulación de agua a través del medio de almacenamiento o por conducción en el suelo.

Teniendo en cuenta la naturaleza misma del medio, los experimentos en este sector se realizan a una escala mucho mayor que para los estudios anteriores.

Los estudios teóricos se refieren principalmente al comportamiento termohidráulico de los medios porosos (estabilidad de los frentes de temperatura, movimientos de las zonas calientes, ...) y a los problemas de transferencias térmicas en la superficie del suelo (caracterización de los intercambios térmicos en redes de tubos verticales u horizontales).

Como en el caso de los almacenamientos en depósitos artificiales, se distinguen dos tipos de

sistemas: uno, que utiliza directamente un nivel térmico elevado (180 °C) por mediación de una red de calor y que requiere un almacenamiento a gran profundidad de agua bajo presión; y el otro, que modifica muy poco la temperatura natural media del medio utilizando una bomba de calor para obtener la temperatura necesaria en invierno, y que restablece durante el verano el nivel térmico medio con la ayuda de rechazos térmicos de origen diverso, y a temperatura relativamente baja (captadores climáticos, rechazos de climatización, ...).

Esta segunda solución es actualmente objeto de una demostración para la calefacción de viviendas, cuyos resultados condicionarán el desarrollo futuro de una técnica que parece económicamente interesante.

2.3. Almacenamiento integrado en la estructura del edificio

Tradicionalmente la función «almacenamiento de calor integrado» queda asegurada por la masa de las paredes, a la que puede añadirse la del suelo si la construcción está sobre terraplén o enterrada; es la utilización normal de la inercia térmica para la recuperación de las aportaciones solares a través de los cristales y las paredes opacas.

Dentro de esta óptica se han estudiado, en estos últimos años, cierto número de soluciones con una atención particular.

El ejemplo más conocido es el del muro Trombe al que se han dedicado numerosos trabajos.

El muro original de hormigón ha sido objeto de investigaciones tendentes a mejorar sus rendimientos, sustituyendo la masa de hormigón por agua sin que los resultados sean muy alentadores.

Un intento reciente de integración en la estructura del edificio de un almacenamiento de larga duración de energía térmica se ha realizado en un liceo de la región de Lyon.

El almacenamiento está constituido por cubas verticales de hormigón armado, aisladas, llenas de agua y que soportan la estructura del edificio. En el caso de esta realización, el almacenamiento está incluido en un sistema de calefacción solar con emisor de baja temperatura.

Hay que esperar conocer los rendimientos reales de esta instalación para apreciar el interés económico de una solución que se caracteriza esencialmente por una idea arquitectónica muy original.

3. ALMACENAMIENTOS DE CALOR LATENTE

La mayor parte de los trabajos en este sector está directamente ligada al de la utilización de la energía solar en el edificio, aunque unas recientes realizaciones hayan demostrado la viabilidad de este tipo de almacenamiento para otras aplicaciones (climatización).

Distinguiremos, como antes, los almacenamientos centralizados, de los almacenamientos integrados en la estructura del edificio.

3.1. Almacenamientos centralizados

Las investigaciones francesas relativas al empleo de este tipo de almacenamiento para la vivienda se han dedicado, principalmente, a dominar las propiedades de los materiales con vistas a garantizar una buena fiabilidad de los almacenamientos en el curso de los ciclos sucesivos de carga y de descarga, y al estudio de las transferencias térmicas con el fin de poner a punto almacenamientos económicamente interesantes.

Los trabajos sobre los materiales han dado como resultado la puesta a punto de productos que permiten revalorizar ciertos residuos industriales, particularmente el cloruro de calcio hidratado (2).

De las estructuras de intercambio estudiadas, el encapsulado de los productos, ya sea en bolsitas o en esferas, ha dado lugar a la comercialización de almacenamientos que utilizan aire, o agua (eventualmente glicolada) como fluido portador de calor (3), (4).

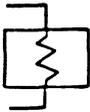
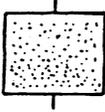
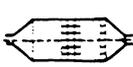
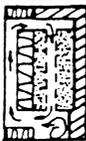
El calor latente de cambio de estado agua-hielo ha sido utilizado asimismo en un almacenamiento que sirve de fuente fría para una bomba de calor. La carga del almacenamiento (fundición del hielo) queda asegurada por captadores solares a baja temperatura o por aportación de agua de ciudad.

3.2. Almacenamiento integrado en la estructura del edificio

Se han realizado numerosos intentos en este sector, tanto para incluir materiales de cambio de fase (MCF) en los muros como en los suelos.

Los muros así constituidos son asimilables a muros Trombe de hormigón, cuyos rendimientos térmicos son comparables para espesores más reducidos. Se han estudiado diversas técnicas de captación, que van desde la insolación directa de la carga exterior del muro o de los contenedores (tubos), llenos de MCF, hasta sistemas de transferencia convectiva que utilizan una circulación forzada de aire.

(Tabla 2)

TIPO	Almacenamientos Centralizados			Almacenamientos integrados en la vivienda		
	Cambiador sumergido	Micro encapsulación	Macro encapsulación	Encapsulación	Contacto directo	Persianas
						
VOLUMEN (m3)	0,1 a 1		0,1 a 10			
MEDIO DE ALMACENAMIENTO	agua sales hidratadas	parafina	sales hidratadas parafina	sales hidratadas parafina	parafina	sales hidratadas
ACOPLAMIENTO PAC	NO	NO	SI	NO	NO	
APLICACION	Calefacción solar	Calefacción solar	Calefacción solar Climatización	Calefacción solar activa o pasiva Muros o suelos	Calefacción de aire Suelo	
OBSERVACION	Numerosos tipos de cambiadores: -tubos -placas -placa móvil -etc.	Impregnación sobre matriz de carbón	Solución comercializada	Estudio de industrialización en curso		
ORGANISMOS (lista no exhaustiva)	ENSMP Sophia Antipolis CNRS Sophia Antipolis CEA Grenoble ENSMP Paris	ELF Solaize CNRS Nancy	CSTB Grenoble ENSMP Sophia Antipolis Rhône Poulenc Decines	CNRS Sophia Antipolis CNRS Orsay	Universidad Compiègne	CNRS Sophia Antipolis ENSMP Sophia Antipolis

Este tipo de muro puede ser térmicamente interesante en ciertos casos y se está realizando un estudio de industrialización de elementos prefabricados. El comportamiento a largo plazo de este tipo de pared todavía no se conoce (son recientes las realizaciones de casas experimentales) y, por lo tanto, deberán aportarse garantías en cuanto a la fiabilidad del sistema, principalmente respecto de los riesgos patológicos ocasionados por un contacto accidental entre el MCF y el hormigón (corrosión).

La inclusión de MCF en los suelos y techos se ha intentado utilizando técnicas comparables a las empleadas para los muros y presenta por consiguiente características similares.

Se han previsto otras soluciones de suelos que presentan riesgos desagradables para los habitantes (contacto directo entre MCF y aire por ejemplo).

Se ha seguido una tercera vía para integrar los almacenamientos de calor latente en la estructura del edificio, que consiste en utilizar persianas (horizontales o verticales) cuyos elementos contienen un MCF. Estos estudios son todavía muy recientes para poder sacar conclusiones de los mismos.

4. ALMACENAMIENTOS TERMOQUÍMICOS

Este sector es el menos desarrollado en el plano de las aplicaciones, pero es objeto de estudios fundamentales sobre las cinéticas de reacción.

A pesar de las potencialidades de estos sistemas, su introducción en la vivienda (sin duda bajo forma de almacenamiento centralizado), planteará problemas reglamentarios ligados principalmente a la seguridad de funcionamiento (emanaciones gaseosas, corrosión, rechazos de agua contaminada, ...).

5. EL CSTB Y LAS INVESTIGACIONES SOBRE EL ALMACENAMIENTO TÉRMICO

Las actividades del CSTB en este sector son muy variadas y se refieren a casi todos los temas evocados anteriormente, sea a través de estudios teóricos, sea por medio de experimentaciones (almacenamientos centralizados de calor latente, almacenamiento piloto sobre lecho de guijarros de 160 metros cúbicos, proyecto de almacenamiento piloto de agua de 1.000 m³, almacenamiento de calor latente integrado en paredes) o también con la participación en grupos de estudios a nivel de la Comunidad Europea (Solar Storage Testing Group). Se ha realizado asimismo un ensayo específico, concebido con el Centro de Energética de la Escuela de Minas de Sophia Antipolis, que permite

comprobar almacenamientos centralizados de capacidad de hasta varios centenares de kWh.

6. DESARROLLOS FUTUROS

A lo largo de esta exposición, hemos visto que las investigaciones francesas sobre el almacenamiento técnico se refieren a un gran número de temas. Estas investigaciones se iniciaron hace ya casi diez años, en el caso de las más antiguas, y los resultados permiten hacerse una idea de las vías más prometedoras.

Distinguiremos para terminar dos grandes campos de aplicación de estos almacenamientos en los cuales parecen mejor adaptadas ciertas tecnologías.

6.1. Aplicaciones a la calefacción solar de los edificios

— **Almacenamientos a corto plazo:** los almacenamientos centralizados de calor sensible o latente, así como los almacenamientos integrados de calor latente, parecen las vías más interesantes desde ahora si se juzga por los resultados comerciales y los intentos de industrialización.

— **Almacenamientos a largo plazo:** los almacenamientos termoquímicos son sin duda un excelente candidato para un futuro más o menos próximo, pero se necesitan todavía estudios de Investigación-Desarrollo. El almacenamiento de calor sensible en depósito artificial o en medios naturales, no se ha utilizado todavía suficientemente en realizaciones y resulta difícil analizar objetivamente su interés.

6.2. Aplicaciones a la calefacción por bomba de calor

Utilizar un almacenamiento (latente o sensible) como fuente fría de una bomba de calor, resulta muy atractivo por la regularidad de las condiciones de funcionamiento que este sistema puede proporcionar y por la economía en el consumo de electricidad que permite.

Sin embargo, este tipo de sistema sólo parece tener desarrollo para calefacciones colectivas en las que los equipos se pueden amortizar más fácilmente.

Los almacenamientos de calor sensible centralizados en medios naturales son sin duda, desde este punto de vista, la mejor elección y por esta razón se esperan con interés los resultados de las operaciones de demostración en curso.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ECOSTOC - 39, rue du Colisée - 75008 PARIS.
- (2) CASOTHERM-CHLIAROLITHE-SOLVAY
33, rue du Prince Albert - BRUSELAS.
- (3) CRISTOPIA - Place Bermond - Sophia Antipolis - 06560 VALBONNE.
- (4) APLECO - Le Monsastier - 48100 MARVEJOLS.

Siglas empleadas en las tablas:

BRGM Bureau de Recherches Géologiques et Minières (Oficina de Investigaciones Geológicas y Mineras)

CEA Commissariat à l'Energie Atomique (Comisaría de Energía Atómica)

CGE Compagnie Générale d'Electricité (Compañía General de Electricidad)

CNRS Centre National de la Recherche Scientifique (Centro Nacional de la Investigación Científica)

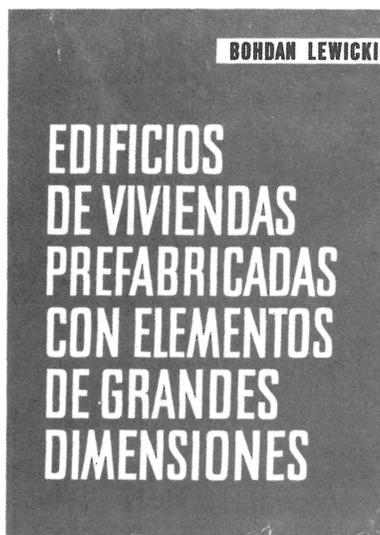
CSTB Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (Centro Científico y Técnico de la Construcción)

ENSMF Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris (Escuela Nacional Superior de Minas de París)

GdF Gaz de France (Gas de Francia)

LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Laboratorio Central de Puentes y Caminos)

* * *

publicaciones del i.e.t.c.c.

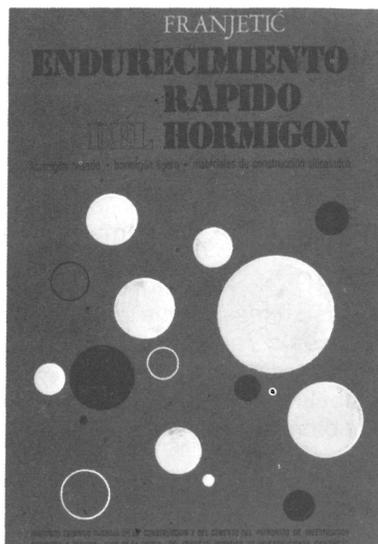
Bohdan Lewicki

Este libro trata de los problemas relativos a la construcción de los edificios de viviendas o públicos realizados con elementos prefabricados de grandes dimensiones. Se han estudiado los problemas de arriostramiento, así como los que plantea la resistencia de los elementos y de la estructura; se han examinado las cuestiones de orden higrotérmico, acústico y de resistencia al fuego; también se ha profundizado en el estudio de la estanquidad de los muros exteriores y de las juntas.

La obra incluye numerosas ilustraciones que dan detalles de diversas soluciones, así como ejemplos de cálculo, tablas de valores numéricos, diagramas y ábacos.

Un volumen encuadernado en tela, de 24 x 17 cm, compuesto de 616 págs.

Precios: 2.500 ptas.; \$USA 36.00.



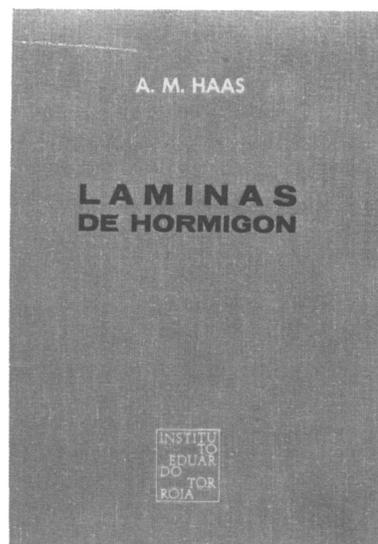
Zorislav Franjetić

En la obra de Franjetić se expone de una forma minuciosa, ordenada y sistemática, todo un cuerpo de doctrina que reúne el conocimiento actual sobre el endurecimiento rápido del hormigón. Parte el autor de los principios básicos y llega a las últimas consecuencias y realidades técnicas y económicas.

Es una obra de consulta, tanto para el investigador sobre la materia, como para el proyectista y el realizador y montador de plantas e instalaciones y equipos de curado y endurecimiento rápido.

Un volumen encuadernado en cartón, de 17 x 24,5 cm, compuesto de 385 págs. 110 figuras y 10 tablas.

Precios: 2.500 ptas.; \$USA 36.00.



A. M. Haas

Al escribir este libro el autor intentó poner a disposición de los estudiantes y de los ingenieros unos conocimientos prácticos, adecuados para servir de guía en el diseño y construcción de láminas delgadas de hormigón.

El autor está convencido de que el éxito en el diseño de una lámina exige, por parte del proyectista, un examen de las tres fases por las que pasa la materialización de la lámina: el diseño, el análisis estructural y la construcción de la estructura.

Un volumen encuadernado en tela, de 17 x 24,5 cm, compuesto de 420 págs., 141 figuras, 22 fotografías y 6 tablas.

Precios: 2.500 ptas.; \$USA 36.00.

II: REFRIGERACION SOLAR PRACTICA CONSEGUIDA POR MEDIO DE LA DESHUMECTACION DEL DESECANTE CON REGENERACION SOLAR, EN UN SISTEMA ENERGETICO SELECTIVO INTEGRADO

P.E., Gershon Meckler, EE.UU.

INTRODUCCION

La tecnología de refrigeración solar introducida hasta ahora, no ha proporcionado una alternativa práctica para los sistemas de refrigeración tradicionales, sobre todo porque ha requerido una energía solar de alta temperatura (al menos 95 °C) y, por tanto, la utilización de colectores solares de seguimiento-concentración o tubos de vacío, ambos de alto coste.

Las necesidades de temperatura y, por consiguiente, el tipo de colector, viene determinado por el tipo de trabajo al que se aplica la energía solar. Las técnicas actuales utilizan la energía solar para alimentar equipos de refrigeración por absorción, actividad que exige un calor de alta calidad para obtener agua enfriada. Posteriormente se utiliza este agua enfriada, como en un sistema de refrigeración tradicional, para enfriar y deshumectar simultáneamente el aire refrigerándolo al punto de condensación (de rocío), para eliminar la humedad por condensación; el aire se calienta en un paso posterior, según se necesite, antes de su distribución.

El nuevo procedimiento reorganiza las funciones del acondicionamiento del aire y los subsistemas correspondientes, de modo que pueda utilizar energía solar de baja temperatura (55 a 60 °C) para una actividad adecuada, reduciendo notablemente la demanda de energía para servicios en verano. De este modo, se hace factible la utilización de energía solar procedente de colectores de placas planas durante todo el año, para disminuir tanto el consumo de combustibles fósiles como los costes de energía para servicios públicos y las necesidades de capacidad de pico para servicios.

El procedimiento es una integración completa de varias técnicas:

1. Separa la deshumectación (refrigeración latente) del control de la temperatura (refrigeración sensible).
2. Deshumecta mediante un desecante líquido absorbente de la humedad, en lugar de por condensación.
3. Enfriá a un nivel de temperatura elevado eficaz, puesto que no hay ninguna necesidad de enfriar a un punto de rocío para condensar la humedad.
4. Estructura el subsistema de deshumectación del desecante de modo que un calor de baja temperatura (55 a 60 °C) puede utilizarse para regenerar (secar) el desecante cargado de humedad, para su reutilización.
5. Incrementa la eficacia del proceso de regeneración del desecante con una técnica de recuperación del calor, con lo que se reduce la superficie necesaria del colector.
6. Integra fuentes de energía y subsistemas alternativos, así como disipadores (por ejemplo: bomba de calor, sistema de cogeneración de energía solar, enfriador, agua no refrigerada, etcétera), en un sistema de energía selectiva con modos de trabajo alternativos. Todo ello proporciona flexibilidad para conmutar al modo operativo más eficaz y de mejor relación coste-rendimiento, dependiendo de las variaciones en la carga, estación del año, hora del día, disponibilidad solar y estructura de precios de servicios.

Estas técnicas aumentan la eficacia tanto al nivel del subsistema como al del sistema total, por la aplicación de la segunda ley del rendimiento termodinámico. Según ésta, los medios calefactores deben trabajar a la temperatura más baja posible para alcanzar el resultado deseado; del mismo modo, los medios refrigeradores deben hacerlo a la temperatura más alta posible para conseguir su fin. En este caso, cuando la deshumectación es por desecante, lo que permite una refrigeración sensible a alta temperatura (13 °C en lugar de 6 °C, que es lo normal), el rendimiento del enfriador aumenta en un orden del 30 %, reduciéndose la energía requerida de forma proporcional.

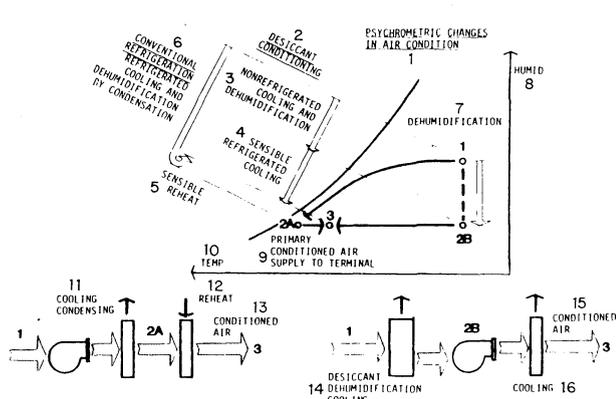
En los apartados siguientes se describen configuraciones alternativas del subsistema de deshumec-

tación del desecante, la relación paramétrica que afecta a la temperatura de regeneración del desecante (y, por consiguiente, al empleo de la energía solar) y los diseños con integración energética para dos instalaciones en Estados Unidos que están provistas de refrigeración con desecante solar.

DESHUMECTACION POR DESECANTE

El aire exterior introducido en un edificio con fines de ventilación o acondicionamiento, requiere un control adecuado de la humedad y de la temperatura para poder contrarrestar las actividades de las personas. El aire que circula a través de un espacio ocupado tiene que ser objeto de un ciclo operativo para suministrarle oxígeno y para eliminar la humedad producida por las personas y plantas, el calor procedente también de personas y equipos, el anhídrido carbónico, los olores y los contaminantes. El método utilizado para eliminar la humedad afecta a las opciones disponibles para la extracción del calor (refrigeración sensible), así como a las oportunidades para un eficiente diseño energético. Un factor fundamental es el nivel de la temperatura de los diferentes procesos.

En la figura 1 se compara el proceso tradicional, de una sola etapa, de acondicionamiento del aire por refrigeración (deshumectación por condensación más refrigeración sensible simultánea), con el proceso de dos etapas, de deshumectación por desecante más un enfriamiento sensible posterior.



Refrigeración tradicional con el empleo de enfriamiento por agua enfriada, deshumectación por condensación y recalentamiento.

Deshumectación del desecante más enfriamiento sensible.

Figura 1. Perfiles psicrométricos: Comparación entre refrigeración tradicional y deshumectación por desecante.

1.—Cambios psicrométricos en la condición del aire. 2.—Acondicionamiento del desecante. 3.—Deshumectación y enfriamiento no refrigerado. 4.—Enfriamiento con refrigeración sensible. 5.—Recalentamiento sensible. 6.—Refrigeración tradicional. Enfriamiento refrigerado y deshumectación por condensación. 7.—Deshumectación. 8.—Humedad. 9.—Suministro de aire acondicionado primario al terminal. 10.—Temperatura. 11.—Enfriamiento-condensación. 12.—Recalentamiento. 13.—Aire acondicionado. 14.—Enfriamiento por deshumectación del desecante. 15.—Aire acondicionado. 16.—Enfriamiento.

El diagrama psicrométrico de la figura ilustra los cambios en las propiedades del vapor de agua y térmicas del aire para cada proceso. La diferencia significativa es la más baja temperatura requerida cuando el aire se enfría para condensación (desde 1 hasta 2 A). El aire debe volverse a la temperatura más alta de suministro (desde 2A a 3) antes de la distribución. Sin embargo, cuando la deshumectación es por absorción del desecante, los controles de la humedad (de 1 a 2B) y de la temperatura sensible (de 2B a 3) se producen solamente al nivel requerido, realizándose ambos a un nivel más alto de temperatura, que es más eficaz desde el punto de vista termodinámico.

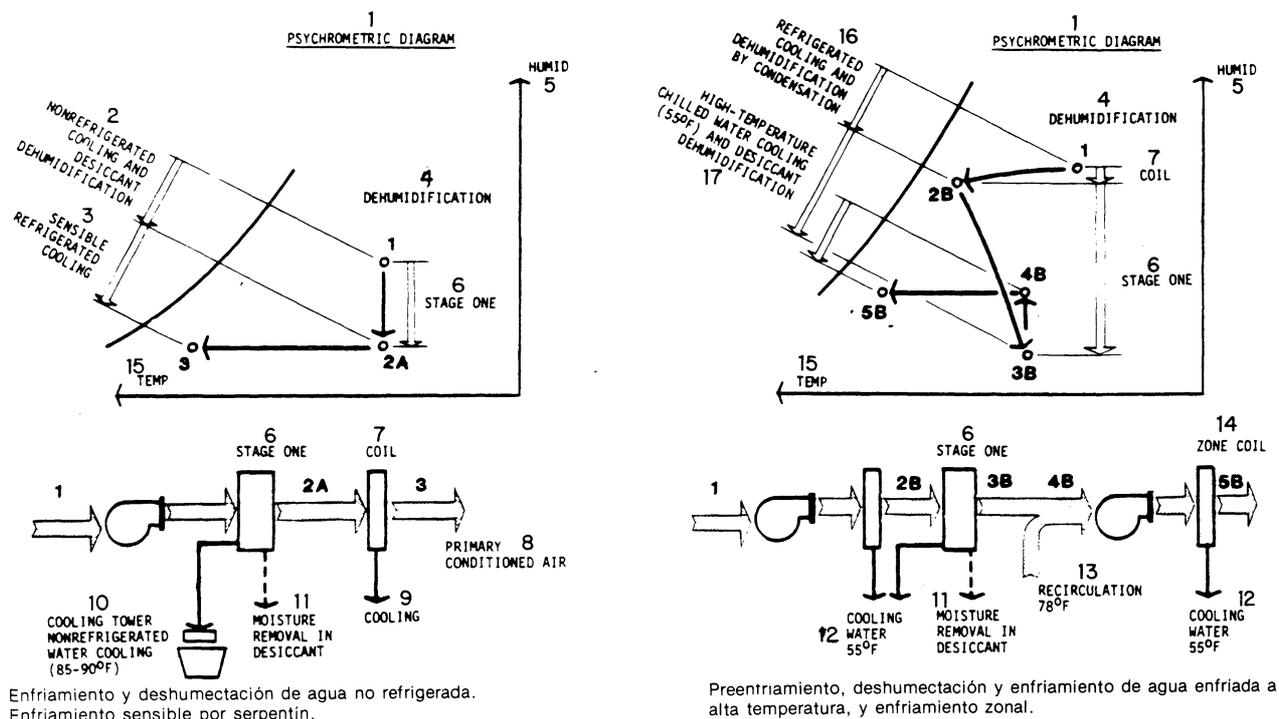
Los desecantes pueden ser de dos tipos: líquidos o sólidos. En este informe sólo se consideran los desecantes líquidos, sobre todo porque pueden utilizar, para fines de regeneración, una fuente de calor de temperatura más baja.

En el sistema de desecante, el aire húmedo se seca a medida que se desplaza a través de un producto que absorbe humedad. Durante este proceso se producen dos cambios, el primero que requiere la eliminación de calor y el otro que exige la aplicación de calor:

- 1.—Durante la absorción de la humedad se libera calor latente. El enfriamiento latente requerido para eliminar este calor puede realizarse con agua de torre de enfriamiento sin refrigeración, con agua de pozo o con agua enfriada a alta temperatura (13 °C).
- 2.—El desecante pierde su eficacia y requiere un secado. Para ello es objeto de un ciclo a través de un regenerador o concentrador, en donde se le aplica calor, eliminándose la humedad en la corriente de aire seco del secador. Para este proceso puede utilizarse calor de baja temperatura (de 55 a 60 °C), obtenido de un tanque de almacenamiento térmico que integra energía solar, o calor residual recuperable tal como camisa de motor y calor de escape, o calor latente procedente del acondicionador a través de una bomba de calor, etcétera.

SISTEMAS ALTERNATIVOS DE DESECANTE LIQUIDOS

En la figura 2 se representan dos disposiciones básicas para sistemas de desecantes líquidos que se regeneran con calor de baja temperatura. La alternativa 1, en la que el enfriamiento latente se realiza con agua de torre de enfriamiento sin refrigeración, suele ser más adecuada cuando el nivel de humedad es relativamente bajo. En aquellos casos en que el nivel de humedad sea alto, la elección estará entre la alternativa 2 (en la que se utiliza agua enfriada a 13 °C para preenfriar y para eliminar el calor latente de absorción) o una tercer-



Enfriamiento y deshumectación de agua no refrigerada. Enfriamiento sensible por serpentín.

Preenfriamiento, deshumectación y enfriamiento de agua enfriada a alta temperatura, y enfriamiento zonal.

Figura 2. Alternativas del sistema de deshumectación del desecante. Deshumectación controlada para una humedad relativa específica constante, mediante una concentración de la solución del desecante a una temperatura también constante. El enfriamiento latente, para eliminar el calor latente liberado durante la absorción de la humedad, puede conseguirse por agua de torre de enfriamiento sin refrigeración, por agua enfriada de alta temperatura (13 °C), o por agua de pozo.

1.—Diagrama psicrométrico. 2.—Deshumectación del desecante y enfriamiento no refrigerado. 3.—Enfriamiento sensible. 4.—Deshumectación. 5.—Humedad. 6.—Etapa 1. 7.—Serpentín. 8.—Aire acondicionado primario. 9.—Enfriamiento. 10.—Enfriamiento de agua no refrigerada de la torre de enfriamiento (29 a 32 °C). 11.—Eliminación de la humedad en el desecante. 12.—Agua de enfriamiento a 13 °C. 13.—Recirculación a 26 °C. 14.—Serpentín de zona. 15.—Temperatura. 16.—Enfriamiento refrigerado y deshumectación por condensación. 17.—Enfriamiento de agua enfriada a alta temperatura (13 °C) y deshumectación del desecante.

ra configuración (no mostrada) que incluye dos acondicionadores del desecante: el primero de enfriamiento con agua sin refrigerar y el segundo con agua enfriada a 13 °C. Cuando se utiliza este último sistema de acondicionamiento del desecante por dos etapas, se reduce la carga del enfriador (porque el agua de la torre de enfriamiento sin refrigerar trata la mayor parte de la carga de enfriamiento latente en el acondicionador de la primera etapa), pero el requerimiento de calor es más grande. Por el contrario, la alternativa 2, que utiliza agua enfriada a 13 °C para preenfriar y para eliminar el calor latente del acondicionador de una sola etapa, requiere más electricidad pero menos calor. En ambos casos las necesidades de electricidad son notablemente inferiores a las de un sistema de refrigeración tradicional. Ello se debe a la más alta temperatura del agua enfriada utilizada en el sistema de desecante; además no se produce ninguna reducción en la cantidad de agua enfriada empleada, ni en la carga total en el sistema del enfriador.

Puesto que la alternativa 2 requiere más electricidad para enfriar el agua y la alternativa 3 exige más calor para la regeneración, la elección entre ellas depende de los siguientes factores: coste de la electricidad, disponibilidad del calor de regeneración (calor residual recuperable del edificio o

solar de baja temperatura) y número de horas (días) en que es alto el nivel de la humedad. La elección será el sistema de regeneración del desecante en dos etapas (alternativa 3) si la carga de humedad es alta, la electricidad cara y la disponibilidad solar grande. Si los días húmedos son más limitados, o no abunda el calor residual/solar para la regeneración, la elección será el serpentín de preenfriamiento simple con acondicionador de una sola etapa (alternativa 2).

RELACIONES PARAMÉTRICAS — PROCESO DEL DESECANTE

La temperatura de enfriamiento en el deshumectador (enfriamiento latente) y la temperatura de regeneración, más alta, pueden variarse dentro de ciertos límites y generalmente con una dispersión de temperatura determinada, dependiendo del nivel de la temperatura de las fuentes de energía disponible y del agua de enfriamiento. La sequedad obtenida por el proceso varía como una consecuencia directa de dos factores: la temperatura en el deshumectador y la concentración de la solución del desecante. El aire del secador resultará si se baja la temperatura en el acondicionador o si se aumenta la concentración del desecante. Por consiguiente, la concentración puede variar también,

dentro de ciertos límites, en respuesta a las fuentes de energía disponibles. Sin embargo, la temperatura requerida para regenerar el desecante es una función de la concentración: cuanto más concentrada es la solución, tanto más alta es la temperatura de regeneración. Estas relaciones pueden resumirse como sigue:

Relación

La sequedad del aire primario viene determinada por la concentración de la solución del desecante y por el nivel de la temperatura de absorción de la humedad por el desecante. El aire del secador resulta cuando se incrementa la concentración de la solución o se reduce la temperatura. Para mantener una relación de humedad dada, un cambio en el nivel de la temperatura de absorción del desecante requiere un cambio compensatorio en la concentración de la solución; una temperatura más alta exige una solución más concentrada para una humedad constante (la eliminación del calor latente de absorción en el deshumectador con agua no refrigerada, a temperatura más alta, en lugar de agua enfriada, requiere una concentración más alta para mantener una sequedad constante).

Para la misma sequedad absoluta, una solución más concentrada requiere una temperatura de regeneración más alta. Una solución más concentrada permite un nivel de temperatura más alto para la absorción de la humedad del desecante (enfriamiento de temperatura más alta en el acondicionador). Por consiguiente, un enfriamiento a temperatura más alta en el acondicionador (para eliminar el calor latente de absorción) exige un nivel de temperatura más alto en el regenerador.

Para la misma sequedad absoluta, la temperatura de la regeneración es una función de la humedad relativa del aire deshumectado; cuanto más baja es la humedad relativa tanto más alta es la temperatura de regeneración. (Por ejemplo: con la penetración del aire en el acondicionador a una humedad absoluta de 22 gr/kg, y la salida del acondicionador a 7,5 gr/kg, con una humedad relativa del 35 %, la temperatura requerida para regenerar el desecante es de 60 °C. Para mantener la misma humedad absoluta de 7,5 gr/kg, la reducción de la humedad relativa al 25 % requiere una solución del desecante más concentrada y una temperatura de regeneración del desecante más alta, del orden de 68 °C.

APLICACIONES DEL ENFRIAMIENTO CON DESECANTE SOLAR

Museo de Ciencias de Virginia, Estados Unidos

El proyecto del Museo de Ciencias (figura 3) integra la deshumectación del desecante, la cogeneración, un enfriador y la energía solar en un siste-

Variables relacionadas

Concentración de la solución del desecante/temperatura a la que se absorbe la humedad por el desecante/sequedad conseguida.

Concentración de la solución del desecante/temperatura de absorción/temperatura requerida para la regeneración/sequedad conseguida/humedad relativa del aire deshumectado.

ma energético selectivo, con modos de operación alternativos. El sistema se concibió para una ampliación del Museo que incluye las salas de exposición, zonas administrativas y de equipos, y un planetario con un teatro hemisférico de 300 asientos.

La entrada periódica de personas y de aire exterior produce cargas fuertes y muy variables del enfria-

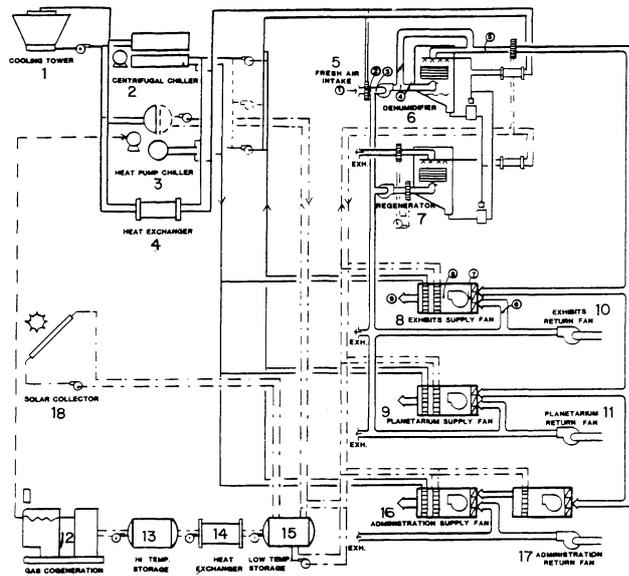


Figura 3. Sistema de deshumectación del desecante por cogeneración/bomba de calor/energía solar (Museo de Ciencias, Virginia, EE.UU.).

1.—Torre de enfriamiento. 2.—Enfriador centrífugo. 3.—Enfriador de bomba de calor. 4.—Intercambiador de calor. 5.—Admisión de aire fresco. 6.—Deshumectador. 7.—Regenerador. 8.—Ventilador de alimentación a las salas de exposiciones. 9.—Ventilador de alimentación al planetario. 10.—Ventilador de retorno de las salas de exposiciones. 11.—Ventilador de retorno del planetario. 12.—Cogeneración de gas. 13.—Almacenamiento de alta temperatura. 14.—Intercambiador de calor. 15.—Almacenamiento de baja temperatura. 16.—Ventilador de alimentación a la zona administrativa. 17.—Ventilador de retorno de la zona administrativa. 18.—Colector solar.

miento y de la humedad. En el verano, la entrada de 300 personas en el planetario produce un sensible aumento tanto de la humedad como de la temperatura. Tal como se indica en la Tabla 1, para el perfil de la carga de verano, un 40 % de la carga total del acondicionamiento del aire en verano corresponde a la deshumectación (enfriamiento latente) y otro 24 % al enfriamiento sensible relacionado con las personas. Dadas estas condiciones y el requisito de una producción del aire de volumen constante, la deshumectación tradicional por condensación a 6 °C hubiera precisado un fuerte recalentamiento antes de la distribución, para mantener el confort cuando es baja la ocupación y hay poco calor generado por las personas.

TABLA 1

CARGA DE DEMANDA MAXIMA (Kcal/h)
ENFRIAMIENTO PUNTA EN VERANO

Carga de demanda	Latente	Sensible	Total
Aire exterior	64.701	21.228	85.929
Envoltura	—	62.456	62.456
Luminarias	—	34.597	34.597
Personas	43.592	44.326	87.918
Totales	108.293	162.607	270.900

Bajo estas circunstancias, la deshumectación del desecante es un factor muy significativo en la reducción del consumo de energía para servicios.

Todo el enfriamiento se realiza a una temperatura más elevada, de 13 °C. En el verano, el aire exterior se enfría y se deshumecta parcialmente por un serpentín preacondicionador, por el que circula agua a 13 °C, que trata una parte importante de la carga del acondicionador del aire exterior (ver diagrama de la figura 3 y tabla psicrométrica relacionada). Siempre que la carga de humedad producida por la ocupación sea alta, el aire preacondicionado se mezcla con el aire de retorno procedente del planetario y de las salas de exposición. El aire mezclado se enfría adicionalmente y se le quita la humedad en un dispositivo deshumectador central, en donde un pulverizador de desecante frío absorbe la humedad. El desecante está constituido, especialmente, por cloruro de litio en una solución anticongelante bactericida, no corrosiva y atóxica. El aire deshumectado se distribuye a tres acondicionadores, de los cuales uno está provisto de cinco unidades de serpentín con ventilador, para enfriamiento sensible a 13 °C (o calentamiento) y suministro a los espacios ocupados. El enfriamiento en seco por serpentín aumenta el rendimiento del ventilador, eliminando la condensación y reduciendo así la resistencia de la corriente de aire.

El agua enfriada para el serpentín de preenfriamiento y el deshumectador se consigue con un enfriador que trabaja con un coeficiente de rendimiento (carga total en Kcal dividida por las Kcal necesarias para impulsar el equipo de acondicionamiento) de 5,2, o por el enfriador en conjunción con una bomba de calor, que produce simultáneamente agua caliente a 60 °C para regenerar el desecante. La bomba de calor se ceba por las exigencias de caldeo (cuando la energía solar es insuficiente) puesto que es eficaz, desde el punto de vista energético, solamente cuando hay necesidades simultáneas de calefacción y enfriamiento. Cuando funciona, la bomba de calor transfiere el calor de absorción (calor latente) directamente desde el acondicionador al tanque de almacenamiento de agua, en donde está integrada con otras fuentes de calor, como la energía solar que sirve de soporte a la regeneración del desecante.

Cuando no hay sol y el nivel de temperatura en el tanque de almacenamiento de agua caliente es demasiado bajo, se arranca el alternador del motor de gas de 75 Kw. El sistema de cogeneración proporciona simultáneamente lo siguiente:

- electricidad para accionar la bomba de calor;
- calor seco para cargar el tanque de almacenamiento, de alta temperatura, para servir de soporte a la regeneración del desecante;

— reserva de emergencia para alimentar la iluminación, la alarma contra incendios y los cuadros de control del depósito de agua, durante una interrupción del servicio.

Respuesta adecuada de energía. De este modo, diversas fuentes de energía y subsistemas son activados en una secuencia graduada, según se necesiten, con objeto de proporcionar calor para la regeneración del desecante o para calefacción en invierno: solar únicamente, solar más bomba de calor (que proporciona simultáneamente calor y agua enfriada) y bomba de calor más cogenerador (que proporciona simultáneamente calor y electricidad). El regenerador concentra el desecante para su reutilización, rechazando la humedad al calentador en la corriente de aire seco del desecador, que sale del edificio. Un sistema de recuperación del calor reduce notablemente las necesidades de calor del regenerador, reduciendo, así, la superficie de colector requerida. Cuando es utilizable la carga de humedad, el acondicionador y el regenerador se ponen fuera de servicio en un ciclo del economizador.

Comparación de los modos alternativos operativos. En la Tabla 2 se indica el consumo fijo de electricidad para todos los modos de funcionamiento. En la Tabla 3 se presentan las entradas de los servicios, por modo, para seis modos operativos alternativos. La energía total de recursos se utiliza como base común para comparar los modos alternativos y para la evaluación correspondiente.

El sistema puede depender solamente de la fuente de energía eléctrica, con el empleo del enfriador y de la bomba de calor, o pasar a la combinación con cogeneración y energía solar.

En la tabla 3 se comparan los modos A y B; ambos utilizan la cogeneración, pero el modo E tiene también una entrada solar. Aunque el consumo total es prácticamente el mismo para los dos modos, el empleo de la opción solar da lugar a una reducción en la energía adquirida de servicios de unas 61.200 Kcal/h. Por cada ganancia solar de 1 Kcal se produce una reducción en la energía

adquirida de 1,6 Kcal. El consumo del cogenerador y la entrada total de gas son iguales en los dos modos. El componente solar proporciona sustanciales ahorros en el consumo de electricidad.

En la comparación de los modos C y D se tiene que ambos utilizan un enfriador y una bomba de calor, pero D emplea también energía solar. La energía adquirida es exactamente la misma para los dos casos en la temporada punta de verano; pero en el modo C, sin la entrada solar, hay un consumo adicional fuera del almacenamiento, mientras que en D, con entrada solar, se produce un incremento de Kcal. en almacenamiento. En consecuencia, en el modo D sería posible desconectar la bomba de calor y efectuar extracciones del almacenamiento, con el consiguiente ahorro de electricidad.

Al comparar el modo E (modo de cogeneración de gas-solar-enfriador) con el modo F (enfriador tradicional), si bien la carga de enfriamiento es más alta en el caso E (debido al calor latente de absorción que se libera durante el proceso de deshumectación del desecante), un rendimiento más alto produce un consumo más bajo del enfriador en lo que se refiere a energía eléctrica suministrada (68.505 Kcal/h en comparación con 112.489 Kcal/h). El rendimiento del enfriador en el sistema de energía con selectividad del modo E es un 30 % más alto que en el sistema tradicional de condensación-enfriador, como consecuencia de la más alta temperatura del enfriamiento sensible y de la deshumectación.

La utilización total de energía de servicios en verano, en periodo de punta, incluyendo los gastos de gas y electricidad, es de 667.514 Kcal/h para el modo E y de 689.079 Kcal/h para el caso F. Las ventajas principales del modo E son el más bajo consumo de electricidad y la flexibilidad para utilizar diferentes fuentes de energía dependiendo de las variables ambientales y de los precios.

Basándose en la explotación prevista de unas 40 horas por semana de uso público, el consumo final de energía por el edificio se prevé en un total de 88.300 Kcal por año y por metro cuadrado, con el desglose siguiente: calefacción, 10.800 Kcal; refrigeración, 23.300 Kcal; alumbrado, 21.700 Kcal; ventilación, 27.100 Kcal; y otros usos, 5.400 Kcal.

La instalación está actualmente en construcción. La explotación inicial dependerá del calor suministrado por la bomba de calor y por el cogenerador, con la adición de energía solar en la siguiente fase de desarrollo.

Veterans Administration Hospital, Washington, D. C.

Este Hospital, actualmente en construcción, realiza la conservación de energía de servicios, suprimiendo la carga de enfriamiento/deshumectación del enfriador y utilizando la energía solar para ser-

TABLA 2

CONSUMO FIJO DE PLANTA ELECTRICA

Consumo fijo	Kcal/h
Ventiladores de alimentación	31.650
Ventiladores de recirculación	19.753
Torre de enfriamiento	8.337
Ventilador de agotamiento	684
Bombas de calor	6.271
Deshumectador	13.789
Totales	80.484

TABLA 3
CONSUMO Y ENTRADA DE SERVICIOS TOTALES PARA MODOS ALTERNATIVOS DE TODO EL SISTEMA.
 (Refrigeración punta en verano)

Consumo (Entrada maquinaria)		Entrada de servicios (Energía total recursos)	
Por modo	Kcal/h		Kcal/h
Modo A	Cogeneración gas	223.776	
	Bomba de calor	31.928	Electricidad 480.344
	Enfriador	56.715	Gas 248.391
	Carga almacenamiento	76.972	
			728.736
		Carga almacenamiento	-76.972
		Total	651.763
Modo B	Cogeneración gas	447.552	Electricidad 227.067
	Enfriador	68.505	Gas 496.783
	Carga almacenamiento	85.769	
			723.850
		Carga almacenamiento	-85.769
		Total	638.081
Modo C	Bomba de calor	31.928	Electricidad 672.401
	Enfriador	56.715	Descarga almacenamiento + 25.065
	Descarga almacenamiento	25.065	
		Total	697.466
Modo D	Solar	37.800	Electricidad 672.401
	Bomba de calor	31.928	Carga almacenamiento -12.734
	Enfriador	56.715	
	Carga almacenamiento	12.734	
		Total	659.667
Modo E	Cogeneración gas	223.776	Electricidad 419.123
	Solar	37.800	Gas 248.391
	Enfriador	68.505	
			667.514
		Carga almacenamiento	-21.532
		Total	645.982
Modo F	Enfriador (tradicional)	112.489	Electricidad 689.079
			Total 689.079

vir de soporte al acondicionamiento del aire de verano, como sigue:

- deshumectación por un desecante líquido absorbente de humedad;
- enfriamiento latente no refrigerado, con el empleo de agua de torre de refrigeración para eliminar el calor latente liberado por el proceso de absorción de humedad;
- regeneración del desecante con energía solar de 54 a 60 °C, disponible a través de colectores de placa plana en un 80 % del tiempo durante la temporada de refrigeración;
- un cogenerador de motor diesel que pueda proporcionar calor de reserva para regeneración del desecante y, al mismo tiempo, generar electricidad para impulsar el enfriador.

El aire exterior (en la cantidad mínima requerida para ventilación) se deshumecta en un acondicionador central y se distribuye a acondicionadores de aire, de caudal regulable, para el enfriamiento sensible. El sistema completamente neumático era un requisito de diseño. Habida cuenta de los largos tendidos de distribución de la instalación y de las limitaciones existentes, los costes totales se reducen enfriando el aire a 9 °C para minimizar: la cantidad de aire que se distribuye, las dimensiones de los conductos, y la potencia de los ventiladores. El aire primario se distribuye a terminales de ventilador de caudal ajustable, en donde se mezcla con aire recirculado y se suministra, a volumen constante, a las salas. Se prevé que el sistema proporcione un ahorro notable de los costes totales, incluyendo hasta un 50 % de los costes energéticos de servicios, en comparación con un sistema tradicional de refrigeración/condensación.

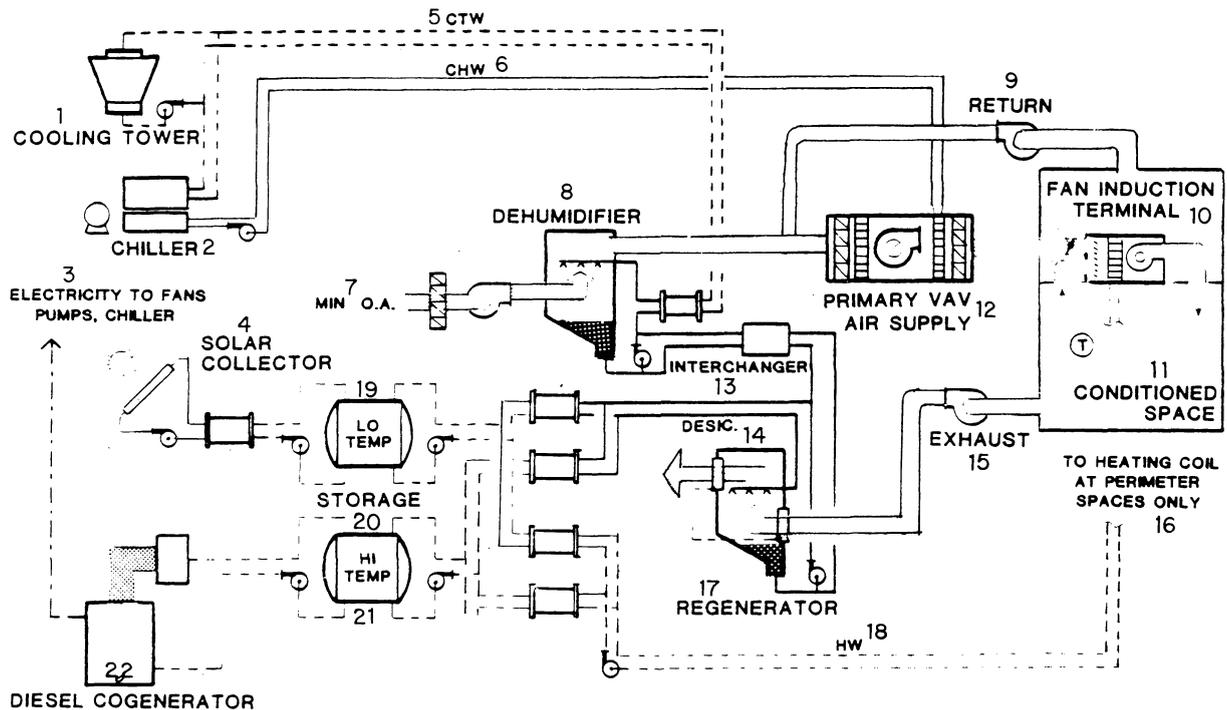


Figura 4. Sistema de deshumectación del desecante por cogeneración/energía solar. (Veterans Administration Hospital).

1.—Torre de enfriamiento. 2.—Enfriador. 3.—Electricidad para ventiladores, bombas de calor y enfriador. 4.—Colector solar. 5.—Agua de la torre de enfriamiento. 6.—Agua del enfriador. 7.—Admisión del aire exterior. 8.—Deshumectador. 9.—Retorno. 10.—Terminal de inducción del ventilador. 11.—Espacio acondicionado. 12.—Suministro de aire primario de caudal regulable. 13.—Intercambiador. 14.—Desecante. 15.—Aire seco. 16.—Conducción hacia el serpentín calentador en los espacios perimetrales solamente. 17.—Regenerador. 18.—Agua caliente. 19.—Depósito de baja temperatura. 20.—Almacenamiento. 21.—Depósito de alta temperatura. 22.—Cogenerador de motor diesel.

* * *

publicación del i.e.t.c.c.



Manuel Fernández Cánovas

Dr. Ingeniero de Construcción

Este libro, el primero en lengua castellana sobre resinas epoxi aplicadas a la construcción, está dirigido a arquitectos, ingenieros, constructores y aplicadores. En él, sobre una reducida base teórica imprescindible, se asienta toda una extensa gama de aplicaciones de gran interés.

El autor trabaja desde hace muchos años en el campo de la investigación, especialmente en el estudio de refuerzos y reparaciones estructurales realizados con resinas epoxi.

Con un lenguaje sencillo se tocan todos los problemas que pueden presentarse en la construcción y en los que la solución puede radicar en el correcto empleo de las resinas epoxi.

Se estudian los componentes de las formulaciones epoxi, sus propiedades físicas y químicas, y aplicaciones, deteniéndose, detalladamente, en las siguientes:

Unión de hormigón fresco a hormigón endurecido.—Unión de hormigones entre sí.—Inyecciones de fisuras y grietas.—Unión de acero a hormigón.—Barnices y pinturas.—Las combinaciones brea-epoxi.—Revestimientos de depósitos alimenticios.—Sellado de superficies cerámicas.—Protección de tubos.—Los suelos epoxi en sus diferentes variantes.—Terrazo epoxi.—Reparación de baches.—Reparación de desperfectos en estructuras.—Reparación de carreteras de hormigón.—Juntas elásticas.—Guardacantos de tableros de puentes.—Refuerzos de pilares, vigas, forjados y zapatas, etc.—Consolidación de suelos.—Anclajes.—Protección de aceros en pretensado.

Se termina con unos capítulos dedicados a la limpieza y preparación de las superficies según los materiales a unir; al control del estado superficial de éstos; a las condiciones de temperatura de aplicación; limpieza de los útiles de trabajo; precauciones en el manejo de los sistemas; almacenaje, mezcla y manejo de las formulaciones epoxi y métodos de ensayo de sistemas y aplicaciones epoxidicas.

Un volumen encuadernado en cartóné plastificado con lomo de tela, de 17 x 24 cm, compuesto de 334 páginas y 158 figuras y fotografías.

Madrid, 1981.

Precios: España, 1.700 ptas.; extranjero, \$ USA 34.00.