

CALEFACCION Y REFRIGERACION EN HABITACION INDIVIDUAL CON USO EXCLUSIVO DE ENERGIAS RENOVABLES

Victorio Tacchi* Flavio Tacchi*

RESUMEN

En el trabajo se considera el aprovechamiento de los recursos naturales, básicamente sol y temperatura de aire invernal, para cubrir un 100% de las necesidades de aporte de calor para calefacción y agua caliente sanitaria, como también un 100% del aire acondicionado necesario en verano. Se prevee una aislación de la casa, con un coeficiente volumétrico global de dispersión de calor en invierno o de ganancia de calor en verano $G = 1 \text{ kCal/h m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ (A) con un coeficiente de forma = 0.9. El valor de G es obtenido también gracias a la existencia de espacios tanques excluidos del acondicionamiento. Se prevee un recambio del aire de los espacios acondicionados de un volumen por hora, con temp. de diseño de 20.5°C mínimo para el invierno y de 25°C máximo para el verano. La casa se ubica en las villas cercanas a la ciudad de Córdoba, Zona Villa de la Norma 11605 y tendrá una superf. acondicionada de 140 m^2 .

CALEFACCION Y AGUA CALIENTE SANITARIA

Se analiza el caso concreto de una casa cuyo aporte de calor se realiza con una superficie de paneles térmicos relativamente reducida, que según cálculos resulta 31 m^2 para calefacción y de 15 m^2 , para agua caliente. La baja superficie de paneles se obtiene gracias a la acumulación estacional de calor que es entregado a una casa de aproximadamente 140 m^2 calefaccionados y habitada por 5 - 6 personas. Los paneles se ubicarán preferentemente arriba de la cubierta y la acumulación se realizará en grandes reservorios de agua, por calor sensible, sin renovación de la misma. La temp. aproximadamente irá desde los 78°C al inicio del invierno, hasta los 43°C al finalizar el mismo, con una acumulación de calor de $35,000 \text{ kCal./m}^3$ de agua. La entrega de calor a la casa, desde el reservorio ubicado en el subsuelo, se podrá efectuar por circulación natural y por medio de normales termosifones, obteniéndose el agua caliente sanitaria, con un intercambiador ubicado en la parte alta del reservorio, por donde circulará, calentándose el agua de uso sanitario.

REFRIGERACION

Se precisa que se pretende no un simple refrescamiento de los ambientes, sino que se quiere alcanzar niveles semejantes a los obtenidos con el aire acondicionado. El sistema se basa en un reservorio de agua (que tampoco se recambia) que se enfría durante el invierno y que suficientemente aislado, mantiene la temp. final del orden de los $3-6^\circ\text{C}$, hasta el inicio del verano. El enfriamiento del mismo, ubicado también en el subsuelo, se logra con un intercambiador, aire ambiente exterior-líquido de transporte, que absorbe calor del reservorio y lo entrega al aire del medio ambiente exterior invernal más frío, preferentemente durante la noche, que se encuentra expuesto a los vientos, posiblemente en sombra y en las proximidades de la cumbre de la casa. La circulación del líquido que es incongelable, hacia el reservorio y desde este al intercambiador, se realiza naturalmente en un régimen termosifónico, apenas

*WALDINIEVOLE S.C. La Rioja 57 1er.P of.1 tel.051-214494-5000 Córdoba

+304,8000 + 385 x 103 = 1.744.580 kCal

la temp. del aire exterior sea menor a la temp. de la parte superior del reservorio. La circulación se realiza en circuito cerrado, existiendo un segundo intercambiador líquido-líquido, ubicado en la parte superior del reservorio.

La entrega de las frigorías a la casa en la época oportuna, se efectuará por medio de bombas, que obligarán a circular el agua enfriada hacia intercambiadores (fain coil) ubicados oportunamente en la casa. Otra posible solución, está dada por los sistemas de transporte de calor (1) (2) y (3) que así como están en condición de llevar calor hacia abajo, llevan contemporaneamente frío hacia arriba, sin necesidad de energía externa al sistema.

Como antecedente de esta forma de refrigeración, podrá nombrarse el "diseño de un banco de germoplasma" (4) y el antecedente histórico de villas venetas de época Palladiana (5)

DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE CALOR Y DE FRIO

Es necesario tener una idea de las dimensiones que adquieren los elementos de una casa así concebida, para lo que nos referiremos a un caso concreto, con coordenadas Latitud S. 31°24' y Longitud W 64°11' y cuyas características de diseño son:

Sup. aproximada. (en parte no acondicionada)...	220 m2
Sup. paramentos exteriores.....	198 m2
Sup. de la cubierta, incluyendo pendiente.....	280 m2
Total piel envolvente (paramentos y techos)..	478 m2
Volumen interno total.....	528 m3
Volumen interno acondicionado.....	336 m3
Masa superficial (Norma IRAM 11605).....	0.36tn/m2
Coefficiente f (Norma IRAM 11604).....	0.9

El coeficiente global de dispersión térmico volumétrico, resulta aplicando (A):

$$(198m2 \times 0.56kCal/h^\circ C m2) + (280m2 \times 0.45kCal/h^\circ C m2)$$

$$"G" = \frac{\text{---}}{\text{---}} +$$

$$+ (1N \times 0.3069 kCal/h^\circ C m3 \text{ aire}) = 1.0119 kCal/h^\circ C m3 \text{ (B)}$$

La cantidad de calor es: $Q = G \times V \times \Delta T \times 24h \times \text{Dias}$ (C).
Aplicando (C) tendremos:

$$Q = 1.0119 \times 336 m3 \times 7^\circ C \times 24h \times 153 d = 8,739,318 kCal/año . \text{ (D)}$$

Este valor (D) es la pérdida de calor durante el invierno, que deberá ser repuesto, para una temp. media exterior de 13.5°C, durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre (153 días) si se pretende tener una temperatura media interior de 20.5°C, con el coeficiente "G" indicado (B), incluyendo un recambio de aire por hora, 336 m3 que deben ser llevados de 13.5 a 20.5°C con un Delta Temp. = 7°C (6)

SUPERFICIE DE LOS COLECTORES SOLARES TERMICOS

Con los datos consignados en (6) tenemos que la insolación para un plano de ángulo 21°24' (diez ° menos que la Latitud, que es el de mayor colección anual) es de 493,654.5kCal./m2 para los 153 días invernales considerados mas arriba.

Para los 212 días restantes (otoño, primavera y verano) para el mismo ángulo, la insolación será de 1,021,322kCal./m2.

Si los paneles, para una temp. final del reservorio de 78°C tienen un

rendimiento promedio de 0.25 para el invierno y 0.27 para el verano y además le aplicamos un factor de 0.7 (acumulación estacional) tendremos:

0.25 x 0.7 = 0.175 (rendimiento de captación para el invierno)

0.27 x 0.7 = 0.189 (" " " " " verano)

Lo que da un neto de captación anual por m² de :

493,654.5 kCal./m² x 0.175 = 86,389.5 kCal./m² (153 días)

1,021,322. kCal./m² x 0.189 = 193,029.8 kCal./m² (212 días)

TOTAL..... = 279,419.3 kCal./m² (año)

Para hacer frente a los requerimientos energéticos de calefacción deberemos disponer de la siguiente cantidad de paneles solares:

$$8,739,318 \text{ kCal/año} \div 279,419.3 \text{ kCal/m}^2 \text{ año} = 31 \text{ m}^2$$

Para agua caliente sanitaria se estiman 60 l.a 44°C por día y por persona, con temp.de suministro de 12°C, lo que da un Delta Temp.media de 32°C. Para seis personas la cantidad de energía anual será de:

$$60 \text{ l.} \times 32^\circ\text{C} \times 6 \times 365 = 4,204,800 \text{ kCal./ año.}$$

Si se considera una colección anual igual a la requerida para la calefacción, tendremos:

$$4,204,800 \div 279,419.3 = 15 \text{ m}^2$$

El total de superficie de paneles solares cubriendo un 100% de las necesidades será de 46 m² .

En el cálculo de la sup. de los paneles solares puede elegirse una variable, que permita una mayor colección invernal, aumentando el ángulo de los mismos a por ejemp.42°, lo que permite una disminución del calor acumulado, con disminución de la capacidad del reservorio, pero con un aumento de la sup. de los paneles, puesto que la colección por m² anual disminuirá. Aumentando aún más la inclinación de los paneles, se puede llegar a volúmenes de acumulación de calor que contemplen únicamente la discontinuidad del recurso solar. La vía en uno u otro sentido depende de razones económicas, como son el precio de la acumulación versus el precio de los paneles, del espacio disponible y de las variables climáticas de cada sitio. Aquí se indaga las dimensiones y posibilidades de la acumulación completamente estacional.

RESERVORIOS DE ACUMULACION DE CALOR

Las necesidades energéticas para agua caliente sanitaria, durante los 212 días, en que no se usa calefacción:

$$4,204,800 \div 365 \times 212 = 2,442,240 \text{ kCal./212 d.}$$

Durante el verano la producción de calor será de :

$$46 \text{ m}^2 \times 193,029 \text{ kCal./ m}^2 = 8,879,370.8 \text{ kCal.}$$

menos lo gastado para agua caliente en el mismo período, podremos acumular para los requerimientos de invierno :

$$8,879,370.8 - 2,442,240 = 6,437,130.8 \text{ kCal.}$$

Para agua caliente en invierno gastaremos :

$$4,204,800 \div 365 \times 153 = 1,762,560 \text{ kCal.}$$

La producción de calor en invierno es :

46 m ² x 86,389.5 kCal./m ²	=	3,973,917	kCal.
mas lo acumulado.....	=	6,437,130.8	"
		10,411,047.8	"
menos lo gastado en agua.	=	1,762,560.0	"
neto para calefacción....	=	8,648,487.8	"

que con aproximación cubre los requerimientos de (D). Si se prevee un Delta Temp. de 35°C en el agua de acumulación (de 43-44 a 78-79 °C) y teniendo en cuenta el calor acumulado durante el verano tendremos un volumen de agua de :

$$6,437,130.8 \div 35 = 183,918 - \text{litros de agua .}$$

La capacidad volométrica necesaria será en realidad mayor, para dar lugar a la dilatación del agua, que para un Delta de 60°C que se toma en vista de años con abundantes recursos solar, bajo consumo o simplemente para hacer frente a la primera carga de calor (18°C temp. del agua de suministro y una temp. final de 78°C) alcanza a los 5 m³, lo que da un volumen del depósito de 189 m³ que se puede obtener con un cilindro de diámetro 3.6 m por un largo de 18.6m, o de otras medidas según convenga.

EVALUACION DE LAS NECESIDADES DE REFRIGERACION

Las necesidades en frigorías, que no son otra cosa, que las cantidades de kCal., que deben ser extraídas de un determinado ambiente, para alcanzar un determinado enfriamiento, son evaluadas para la casa en examen como sigue : se considera que deben cubrirse 120 días de verano (medio noviembre, diciembre, enero, febrero y medio marzo) siendo la temp. media para ese lapso de 22.65°C, (6). Si pretendemos obtener una temp. media interior, de 21°C (con un máximo que no supere los 25°C) durante los 120 días indicados, tendremos un Delta Temp. de 1.65°C. Aplicando ahora la fórmula (C), ya empleada para calcular la cantidad de calor necesario en invierno tendremos:

$$Q = 1.0119("G") \times 336 \text{ m}^3 \times 1.65^\circ\text{C} \times 24\text{h} \times 120\text{d} = 1,615,672.4 \text{Frig. (E)}$$

cantidad que incluye una renovación de aire por hora. Reconocidos frigoristas (7), evalúan las necesidades de una casa normal, sin pretensiones de aislamiento, pero controlando infiltraciones de aire masivas, con una fórmula empírica, que expresa la potencia de instalación en razón de 3,000 frig./h por cada 25 m² de sup. a refrigerar. Así que una casa con 140 m² de superficie a refrigerar necesitará una potencia instalada de 16,800 frig./h y sus necesidades energéticas evaluadas para un verano promedio en 5h/día, durante 50 días, resultando una cantidad de :

$$16,800 \text{ frig.} \times 5\text{h} \times 50\text{d} = 4,200,000 \text{ frig./año}$$

Ahora bien, el coeficiente "G" de una casa común, es de aproximadamente dos veces y media más grande del de la casa en examen, así que las frig. necesarias serán de 1,680,000 frig. valor cercano al de (E).

ACUMULACION DE FRIGORIAS

La cantidad de frigorías captadas durante el invierno y necesarias en el verano, será por ganancia de calor debido a insuficiente aislación en el acumulador, un 25% mayor. Esta ganancia de calor en el reservorio de las frigorías, es menor a la pérdida de calor en el reservorio de la calefacción, porque el salto de temp. con el medio ambiente es menor. De

tal modo que la cantidad de frig. a captar y acumular deberá ser del orden de las 2,000,000 frigorías. Si el depósito de frío está ocupado por agua y se prevee un salto de 15°C (desde 21 a 6°C) tendremos un volumen de:

$$2,000,000 \div 15 = 134,000 \text{ l. equivalente a } 134 \text{ m}^3$$

reservorio que al finalizar el mes de septiembre, tendrá una temp. de 4-8°C y una utilizabilidad que va de 4-8°C hasta 19-22°C, con una temperatura media de entrega de el frío, inferior a los 15°C, que es la temperatura aproximada de entrega de aire en la boca de salida de los aparatos de aire acondicionado.

La temperatura del reservorio en los últimos días de la primera quincena de marzo, estará cercana a los 21°C, suficiente todavía, para asegurar un salto de 8-10°C con la máxima exterior de esa fecha, o como mínimo, asegurando una temp. máxima interior de 25°C, standar aceptable en los equipos de aire acondicionado central.

Las dimensiones geométricas de un depósito metálico para agua de 134m³ pueden ser entre otras, de 3.05 m de diámetro por 18.6m de largo. Con los depósitos de frío, no es necesario tener en cuenta las variaciones de volumen con las temp., pues a partir de una temperatura inicial de 15°C (temp. de carga) tendremos una contracción de volumen.

ESTIMACION DE FRIGORIAS DEL MEDIO AMBIENTE DURANTE EL INVIERNO

La cantidad de calor de baja temp. captado dependerá: de la superficie del intercambiador, del salto de temp. entre el aire exterior y la temp. del reservorio, de la velocidad del aire que se renueva en contacto con la sup. del intercambiador, debida a circulación termosifónica, que se presume del orden de 0.3 m/s y que actúa en ausencia de viento, además de un difícilmente calculable intercambio radiativo con el albedo y de la velocidad del viento nocturno, generalmente no indicado en las tablas, así que se decide dar un valor arbitrario, pero prudente, a estos dos últimos aportes, con un factor de 1.1. La fórmula que se aplica para calcular el intercambio superficial de calor es:

$$Q = 2 + \sqrt{m/s. \text{aire}} \times m^2 \text{ de intercambiador} \times h \times \Delta T \times 1.1 \text{ (F)}$$

Donde el primer término es el coeficiente de conductividad externo expresado en kCal./m² h °C, con una velocidad de aire ya indicada de 0.3 m/s.; la sup. de intercambio variará, con las necesidades; h es la cantidad de horas, durante las cuales disponemos de una determinada temp., indicandola por ejem. mes a mes; Delta Temp. es el salto de temp. elegido según tablas y que deberá ser decreciente mes a mes, para permitir un ulterior salto entre la temp. alcanzada en el reservorio y la más baja temp. exterior. Se calcula la cantidad de horas en base a planillas (B) donde figuran las bajas temp. invernales hora por hora, resultando mes a mes un promedio ponderado de Temp. medias semanales, con el total de horas en que se dan, que será el recurso de frío:

en abril	252 h	con una temp. media de	11.80°C
" mayo	231 "	" " " "	" " 8.27 "
" junio	168 "	" " " "	" " 5.18 "
" julio	168 "	" " " "	" " 4.47 "

A partir de julio, una estimación en base a los días de heladas que son promediados en varios años así: 7.2 para julio; 4.5 para agosto y 1.2 para septiembre. La cantidad de horas estimadas es de 4 horas por día

de helada con una temperatura máxima de 0°C, lo que nos da:
heladas: 68 h con una temp. máxima de 0°C .

Se establece la extracción de kCal. mes a mes, basándonos en la temp. alcanzada en el reservorio al finalizar el mes anterior, controlando que el salto decreciente sea posible, compatibilizándolo con las cantidades de calor en juego. Así la cantidad de calor existente en el reservorio al 1ro. de abril es:

$$134,000 \text{ L} \times 21^\circ\text{C} = 2,814,000 \text{ kCal. (inicio del invierno)}$$

Aplicando la fórmula (F) con los datos ya indicados y las horas y temperaturas deducidas de (8), para abril y con una sup. de intercambio de 180 m², tendremos :

$$Q = 2 + \sqrt{0.3} \times 180 \text{ m}^2 \times 252 \text{ h} \times (21 - 11.8 = 9.2^\circ\text{C}) \times 1.1 = 1,169,183 \text{ kCal.}$$

que es el recurso del mes de abril. Ahora debemos comprobar si el salto de 9.2°C, es posible con las cantidades de calor en juego:

$$1,169,183 \text{ kCal.} \div 134,000 \text{ L} = 8.72^\circ\text{C}$$

que resulta ser el salto real de temp. en que se puede disminuir la temp. en el reservorio, encontrándonos que a fines de abril, el reservorio habrá disminuido su cantidad de calor en :

$$134,000 \text{ L} \times 8.72^\circ\text{C} = 1,168,480 \text{ kCal.}$$

La cantidad de calor remanente a fines de abril será :

$$2,814,000 \text{ kCal.} - 1,168,480 \text{ kCal.} = 1,645,520 \text{ kCal.}$$

La temp. al finalizar el mes de abril será de 21 - 8.72 °C = 12.28 °C y aplicando la misma metodología en los meses restantes, considerando siempre las Temp. y horas disponibles arriba indicadas, tendremos a la fin del invierno, una cantidad de calor en el reservorio de 532,940 - kCal., con un nivel de temp. de 4°C y un saldo disponible como Frig. de:

al inicio del invierno.....	2,814,000	kCal.
menos lo existente al fin del mismo..	<u>532,940</u>	"
frig. disponibles para enfriar la casa..	2,290,000	"

Las necesidades de frigorías fueron establecidas en 1,612,638 frigorías, más un 25% por ganancia de calor, nos da una necesidad real de 2,016,000 frig. cantidad que es inferior a las frig. disponibles.

Es evidente, que disponiendo de datos de temp. hora por hora, durante los meses fríos y contando con un programa computacional adecuado, el cálculo del recurso invernal puede ser realizado de manera mucho más precisa, por ejem. calculando la cantidad de kCal. que se entregan al aire exterior, con períodos de hora por hora y no de mes por mes, incluyendo también al final de cada período, la temp. alcanzada en el reservorio.

El dimensionamiento de un intercambiador de tubo y aletas de 180 m² que es la superficie empleada en el cálculo puede ser: diámetro tubo, 0.25 m ; diámetro aletas (exterior), 0.40 m; cantidad de aletas por m, 100; largo del tubo, 11.40 o las que convengan. El mismo tubo puede funcionar de pulmón si se lo llena parcialmente con líquido, para absorber la variación de volumen del mismo, por dilatación. Este inter-

cambiador estará unido con conductos, a otro intercambiador, ahora de líquido-líquido, en circuito cerrado, y que estará ubicado en la parte superior del reservorio de frío y cuya sup. podrá ser la quinta parte de la sup. del intercambiador exterior, es decir el mismo intercambiador, pero con una longitud de 2.30 m.

AISLACION DE LOS RESERVORIOS

El coeficiente "K", previsto para la aislación del reservorio es de 0.086 kCal./m² h °C, que se alcanza con un espesor de lana de vidrio de 0.40 m. Esto nos permite contener las pérdidas o las ganancias de calor, dentro de lo previsto y con una longitud de los depósitos de 18.6m

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Arq. Juan VERNLY y del Ing. Miguel A. LANDABURO ambos del CIAL, quienes realizaron el cálculo de las temperaturas horarias para Córdoba, que permitieron calcular el recurso invernal de frío.

REFERENCIAS

- (1) " Sistemas de transferencia de calor" V. Tacchi Investigación Privada, 3ra Reunión de Trabajo de Energía Solar, MENDOZA 1977.
- (2) "Instalación piloto de un sistema de transporte espontáneo de calor" V. Tacchi, R. Tacchi, A.T. Rapallini, 8va Reunión de Trabajo LA PAMPA , 1983 .
- (3) "Trasporto di calore a distanza e dall'alto verso il basso, senza apporto de energia esterna" V. Tacchi, R. Tacchi, A.T. Rapallini, Rivista HTE, órgano oficial Sec. Italiana ISES año 6 N° 32 1984 .
- (4) "Disaño de un banco de germoplasma" L. Saravia et All. 5to. Congreso Latino-Americano de Energía Solar, VALPARAISO , Chile
- (5) "Los 'Cóvoli' un sistema natural de enfriamiento en villas vénetas de época Palladiana", A. Fanchiotti, Facultad de Ingeniería de Roma "La Sapienza", Revista "Presenza Económica" Año 1 N°3 1989 CARACAS.
- (6) "Tabla de datos metereológicos para 60 localidades de la Rep. Argentina", necesarios para el dimensionamiento de sistemas solares", A. Fabris, J. Pracchia, A.T. Rapallini, Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales. 1985.
- (7) Freguglia César S.R.L, Informe personal del Ing. Freguglia feb. mar. 1990 .
- (8) Informe personal del Arq. Juan Vernly e Ing. Miguel Landaburo, Director y Jefe de Depart. del CIAL, respectivamente, Córdoba 1990 .