

ESTRATEGIAS DE CLIMATIZACIÓN

Los objetivos de implementar sistemas de climatización son obtener IAQ y confort, pero la adquisición, el montaje y la operación de tales dispositivos exigen una inversión significativa de recursos. Además, por lo general siempre existen, o aparentemente existen, distintas formas para obtener lo deseado, en diferentes grados y con múltiples precios. Si a lo anterior se suman los intereses y las preferencias personales de dueños, directores de obra, consejeros, ingenieros, etc., se tiene un panorama complejo del cual solo puede derivarse una única decisión. Para la elección, parece claro, se deberá disponer de una parrilla de comparación donde las alternativas competidoras muestren sus ventajas técnicas y económicas. Este capítulo indica los fundamentos que permiten elaborar las distintas propuestas de climatización desde una perspectiva técnica. La condición de calidad de aire se presentó en el capítulo respectivo.

Conseguir un ambiente agradable es un proceso cuya secuencia comienza estableciendo con toda claridad el objetivo (grado de confort) y las restricciones (económicas, espaciales, funcionales, estéticas, de limpieza, de suministros, etc.). Esta delimitación inicial es indispensable, pues orienta correctamente los esfuerzos desde el primer momento. Por ejemplo, dentro de un mismo edificio son bien distintos los casos de un auditorio subterráneo y el de unas oficinas de un piso superior, pues en el primero podría obligarse un grado de confort más exigente, y además el número de alternativas para garantizar temperatura, humedad y limpieza del aire es mucho más restringido que el de las oficinas. Congruente con lo anterior, una ventilación cruzada no sería opción para el auditorio, aunque sí para las oficinas. Hay que comenzar, pues, descartando las opciones que parezcan inviables por una u otra razón. Este primer resultado debe registrarse y sustentarse en forma clara y explícita, pues estará emergiendo con cierta periodicidad en el debate, y será productivo que se supere esa etapa al concientizar —al grupo y a la dirección— de las inviabilidades.

El segundo paso comprende el inventario, la valoración y la comparación de cargas térmicas. Esto aplica siempre, en diseño o en mejoras, y tanto en el proceso de enfriamiento como en el de calefacción (verano e invierno en zonas templadas, tierra caliente y tierra fría en nuestro medio). Entender el edificio como un sistema térmicamente estable es clave pues, por ejemplo en verano, la tarea de evacuar los calores que se cueban y que se producen interiormente es responsabilidad del sistema de climatización. Siendo el tamaño y la complejidad de este dispositivo proporcional a dichas cargas calóricas, se revela totalmente conveniente disminuirlas al máximo. Eso es, en palabras sencillas, reducir el problema. En invierno opera la misma lógica: es totalmente indeseable que haya fugas de calor al exterior, porque esas pérdidas deben ser repuestas por el sistema de calefacción. Se plantea, pues, la necesidad de minimizar las transferencias de calor, hacia adentro en verano y hacia afuera en invierno, entre el edificio y sus alrededores.

Antes de pasar a la concepción de propuestas sobre cómo se hacen estas disminuciones, es necesario visualizar si el total general del inventario de cargas tiene (o ha sido llevado a) una magnitud razonable (lo que puede verse mediante índices generales, o por la experiencia del diseñador); si ello se cumple, el proceso se detiene aquí. En caso contrario, si se percibe un total pasado de la cuenta, lo siguiente es comparar y jerarquizar cargas. Procede luego escoger las cargas que, por magnitud y por facilidad de tratamiento, prometan resultados interesantes, y generar un abanico de propuestas que se sustentan en sus efectos benéficos y la racionalidad de las inversiones. Han comenzado a aplicarse, en propiedad, las estrategias de climatización. Una ayuda sencilla, pero siempre efectiva, es revisar, a partir de las ecuaciones que cuantifican las cargas calóricas, cuáles son los parámetros que determinan los excesos y concentrar sobre ellos la generación de proposiciones. El *Caso Base* ilustra cómo dos cambios sencillos de acabado exterior y la adición de un obstáculo condujeron a la eliminación de las principales causas de discomfort en el edificio objeto de estudio.

Conseguido el fin de tener un inventario de cargas calóricas razonables, y recordando que solo caben las estrategias no descartadas inicialmente —no antes—, se da paso a la proposición de las distintas formas de climatización para conseguir confort. Para racionalizar el proceso propositivo y evitar en lo posible un semi-caos de “ideas que le apuntan a todo”, no se debe perder de vista que el confort depende de seis aspectos, algunos de ellos manipulables y otros no. Pregúntese, y establezca claramente para su espacio particular, ¿cuál o cuáles de los seis elementos del confort comprometen aquí la situación?, ¿cómo se elimina esta amenaza?, ¿qué valdría la

pena implementar para mejorar este elemento del confort? ¡No olvide que se puede evaluar de inmediato el cambio de una condición! Basta entrar al software, ingresar los seis parámetros y luego cambiar el que considera reformable.

Entre los seis componentes del confort hay dos personales (metabolismo y ropaje) y cuatro del entorno (temperatura/humedad/velocidad del aire y temperatura media radiante). En el método adaptativo una premisa es que la gente maneja su aislamiento personal del ropaje, pero las posibilidades de este cambio deben estimarse con precaución. El metabolismo, al depender del tipo y la intensidad de la actividad, tiene menos márgenes; no sería verosímil pretender obtener confort por esta vía. Temperatura, humedad y velocidad del aire ambiente son las condiciones más susceptibles de modificar, y a las que muchas estrategias —mecánicas y naturales— se enfocan. Ellas tres determinan el intercambio de calor por convección y por evaporación (del sudor), dos porciones importantísimas del fenómeno térmico. La temperatura media radiante es, a pesar de su importancia e influencia, la circunstancia más desconocida y la menos explotada. Se trata aquí de entender que el intercambio radiante entre el sujeto y sus alrededores es tan responsable del confort como los intercambios mencionados de convección y evaporación con el aire ambiente. Esta transferencia de calor es función de la temperatura superficial de los vecinos y de su emisividad (coeficiente de emisión), así que manipularlos puede conducir a un final feliz. Un error costoso, ya lo comentamos, es procurar solucionar un problema radiante con estrategias dirigidas a la convección. La correcta identificación de la causa del desconfort es clave en la proposición de estrategias efectivas y económicas.

A continuación se listan y se describen las principales *Estrategias Mecánicas o Artificiales* para climatización, enfatizando el tipo de influencia que cada una aporta, con el fin de orientar en su correcta selección.

Aislamientos. Son arreglos que usan materiales con bajos coeficientes de conducción, con suficiente grosor, componiendo así un conjunto que se opone al paso del calor. Ejemplos de buenos materiales aislantes son la fibra de vidrio, el poliestireno expandido, el poliuretano y también el aire. Un muro compuesto de capas múltiples, con cámara de aire y superficies reflectivas, es una buena y económica manera de oponerse al efecto calefactor del sol. Al disminuir la transferencia, las temperaturas superficiales interiores de techos y paredes son menores, lo que significa disminución de la temperatura media radiante.

Ventilación mecánica. Se utiliza tanto para climatización como para calidad de aire. En el primer caso, el sistema de ventilación debe soplar

directamente sobre los habitantes teniendo en cuenta las velocidades recomendadas en el capítulo sobre Confort. Para mejorar la calidad de aire interior se puede practicar la *dilución*, esto es reduciendo la concentración de contaminantes por aporte de grandes volúmenes de aire nuevo, o la *Extracción* (Exhaust) con un sistema de campana-ducto-ventilador-descarga. La extracción no tiene efecto en el confort pues por la naturaleza del movimiento del aire, en ese caso las velocidades son imperceptibles. La ventilación mecánica está dirigida, pues, a aprovechar el efecto de la velocidad del aire. Pero también es un vehículo para evacuar carga calórica.

Aire acondicionado convencional. El sistema de acondicionamiento de aire, si está apropiadamente diseñado y construido, garantiza control sobre temperatura, humedad, velocidad, y filtración del aire. En el caso convencional se acondiciona todo el volumen del cuarto, llevando las temperaturas superficiales a valores muy cercanos a la del aire, y entonces el grado de confort es el máximo posible. Como pago para tal beneficio esta forma de climatizar es la que más inversiones y gastos demanda, la que más energía utiliza y, por ende, la que mayor impacto ecológico tiene. Por otro lado, estas instalaciones también corren el riesgo de contaminarse y producir el síndrome del edificio enfermo, el cual se explica en el capítulo “Calidad del aire”.

Enfriadores evaporativos. Los equipos de esta categoría toman aire exterior, lo hacen pasar por un medio húmedo y lo descargan al espacio a climatizar. Es inmediatamente visible que tales sistemas quedan limitados por los valores de humedad relativa aceptables dentro del recinto y, claro, por la humedad relativa del aire ambiente. Si lo anterior no plantea limitaciones, o sea si es factible, se dispone de un método que da confort con alta eficiencia energética, bajísimos consumos de energía y buena calidad de aire, puesto que el proceso captura polvo y maneja altos volúmenes de renovación. Este método se enfoca hacia la temperatura y la velocidad del aire. Además, al ser un proceso de renovación total, se lleva carga térmica.

Pisos radiantes. Pisos, muros y techos radiantes constituyen una estrategia sana y eficiente de climatización. Consiste en insertar, dentro de dichos elementos constructivos, un sistema de mangueras por las cuales circula agua corriente (fría o caliente) a la temperatura deseada. Es un método corriente para lidiar con el frío de invierno en los países desarrollados, pero en su aplicación de enfriamiento en verano y en la zona tórrida tiene la limitación de que marca la temperatura de punto de rocío del espacio a acondicionar (se pueden causar condensaciones). Además de requerir una construcción cuidadosa, se necesita un mecanismo de

calefacción/enfriamiento y bombeo de agua que demanda manejo técnico. El piso radiante se enfoca al manejo de la temperatura media radiante y a la temperatura del aire en su vecindad.

Pinturas/recubrimientos de baja emisividad. Para disminuir el calor emitido por radiación de las superficies interiores de techos se puede optar por cubrirlas con pintura o con elementos que tengan baja emisividad. Así, a pesar de que la temperatura superficial sea alta, la cantidad de calor transmitido a los ocupantes es baja. Efectivamente, el aire directamente en contacto con la superficie se calienta, pero al disminuir su densidad por dicho calentamiento tiende a subir, y así no transporta calor por convección hacia abajo. Además, la radiación emitida hacia abajo, disminuida por la magnitud del coeficiente, hace tolerable la contribución. Un cielo raso con elementos de aluminio brillante tiene emisividades del orden de 0.05, insignificantes al compararlas con los materiales corrientes de construcción que valen entre 0.85 y 0.9. Las pinturas de baja emisividad se enfocan a cortar el efecto de la temperatura media radiante.

Al lado de las estrategias enumeradas se encuentran las Estrategias *Naturales*, que compiten más en los órdenes de economía e impacto ecológico que en el de confort. Las estrategias naturales para climatización comúnmente usadas son ventilación natural y efecto invernadero.

Ventilación natural. La ventilación natural es aquella en la que la renovación del aire se produce exclusivamente por la acción del viento o por la existencia de un gradiente de temperaturas entre el punto de entrada y el de salida (Código Técnico de Edificación, 2006). Las fuerzas motrices son las diferencias de presión creadas a través de las distintas aberturas por el viento o por diferencia de temperatura (efecto chimenea). La ventilación natural se da mediante la adecuada ubicación de pasos o conductos aprovechando las depresiones o sobrepresiones creadas en el edificio por el viento o por la convección natural, sin que sea necesario aportar al sistema trabajo mecánico. La Figura 7.1 muestra los dos principios que dan lugar a la ventilación natural.

Efecto invernadero. El efecto invernadero es el fenómeno mediante el cual la radiación solar (onda corta) que entra a un espacio cerrado, gracias a que el material del muro es transparente para ella, es absorbida por los materiales del interior, los cuales se calientan; sin embargo, al emitir radiación esta no puede salir del espacio debido a que los muros son ahora opacos para la nueva radiación (que es ahora de onda larga). De esa manera la temperatura interior se eleva. La Figura 7.2 muestra un invernadero corriente, donde se aprecia que el material de estas construcciones es vidrio (o plástico transparente).

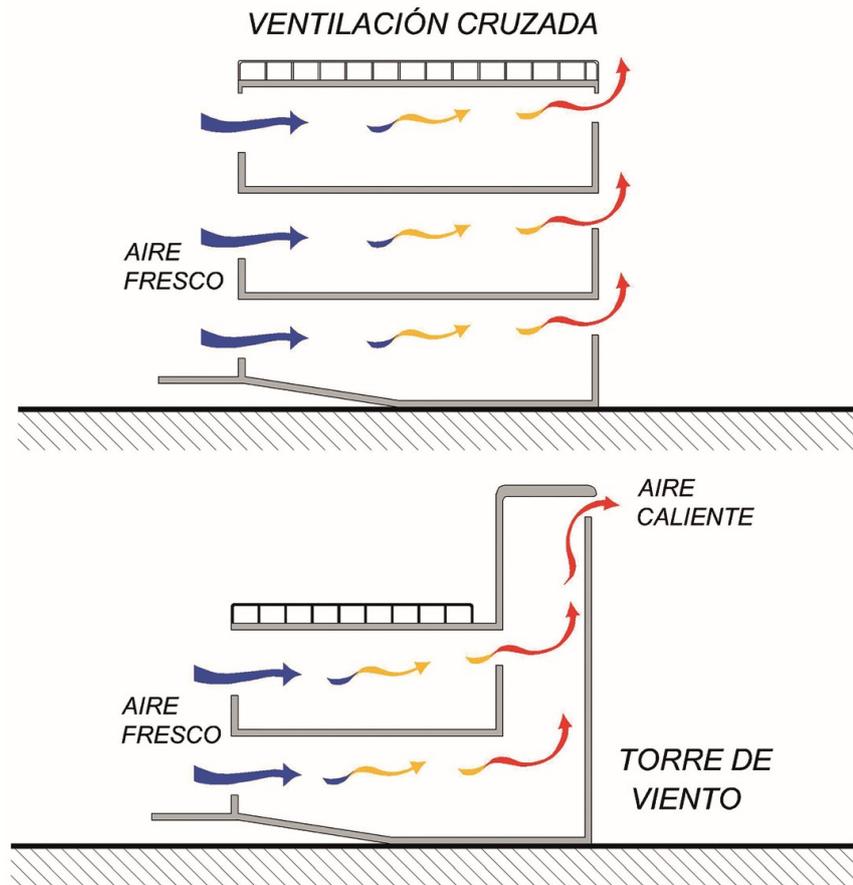


Figura 7.1. Ventilación natural con base en el viento y en el efecto chimenea [801].



Figura 7.2. Ilustración de una construcción de invernadero.

Muro trombe. Se trata de un sistema diseñado para el aprovechamiento de la energía solar con finalidad en el confort interior. Está compuesto por un muro, una superficie acristalada exterior, una cámara de aire intermedia y unos orificios de ventilación regulables, tal como se puede ver en la Figura 7.3 y la Figura 7.4. Durante el verano el sol está alto y el

muro está generalmente sombreado por el alero superior; el calor ganado calienta el aire de la cámara, que al ascender sale por la abertura superior e induce una corriente interior a nivel del piso, lo que representa una renovación en el ambiente interior. Durante el invierno el sol está bajo y la radiación directa recibida por el muro provoca un efecto invernadero: el calor queda atrapado entre el muro y el vidrio, y ahora la corriente convectiva de aire caliente es dirigida al interior, lo cual ofrece una excelente y limpia calefacción. En la noche se cierra la puertilla y se aprovecha el calor acumulado por la masa del muro. Adecuadamente dimensionado, y minimizadas las pérdidas por usar doble o triple panel de vidrio, se obtienen ambientes interiores estables y confortables aun con bajas temperaturas externas. Se ve claramente, pues, su utilidad en zonas templadas porque la incidencia del sol sobre las paredes es mayor. En la zona tórrida/climas fríos se vuelve admisible sobre las fachadas este y oeste porque reciben el sol todos los días; las caras norte y sur solo reciben el sol seis meses cada una, con una elevación tan alta que la radiación incidente no justifica el uso del muro Trombe.

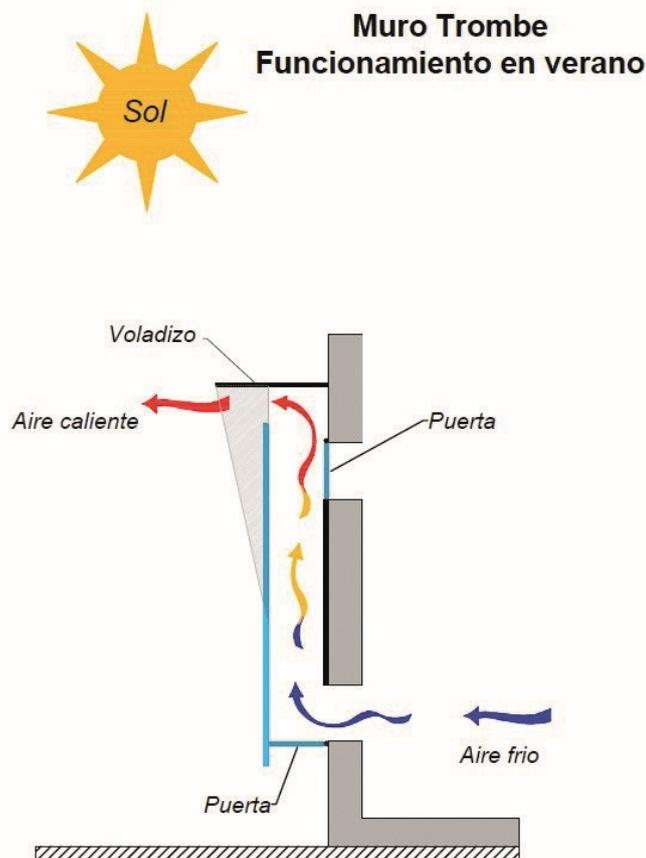


Figura 7.3. Muro Trombe, funcionamiento en verano.

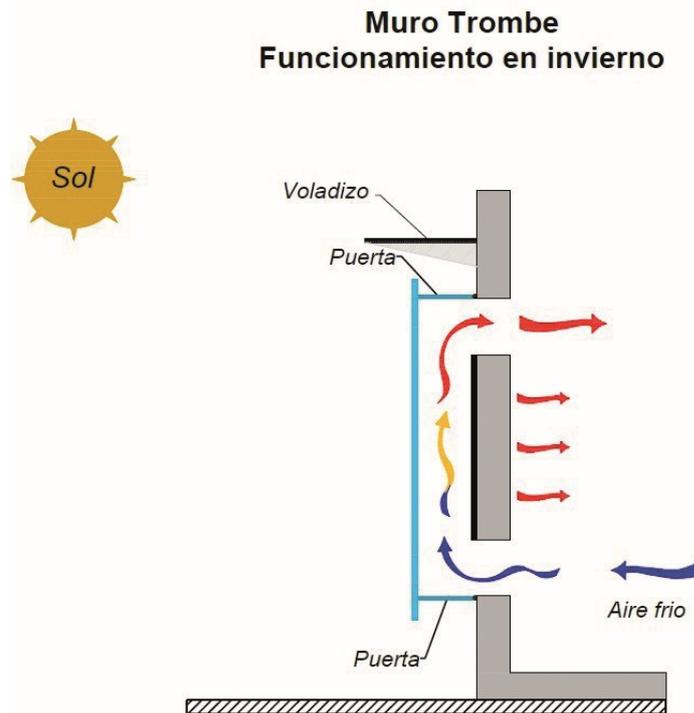


Figura 7.4. Muro Trombe, funcionamiento en invierno, período diurno.

CASO BASE

Con el propósito de conseguir un ambiente agradable para los espacios demasiado cálidos del edificio habitacional se hizo inventario de cargas calóricas, así como cálculos de índice de confort y capacidad de ventilación natural. El diagnóstico inicial muestra cargas excesivas, completa incapacidad de la ventilación natural para evacuarlas y un ambiente intolerable para la inmensa mayoría de habitantes.

PROPOSICIÓN DE ESTRATEGIAS

Los aportes relativos de las cargas que entran al volumen de las salas están representados en la Figura 7.5, comparados mediante un gráfico de Pareto. Se puede ver que el aporte por las ventanas representa el 50% del calor que entra, que sumado a la pared occidental acumula casi el 75% del total. En el caso de la alcoba, su Pareto (no ilustrado aquí) nos dice que el techo y la ventana también son responsables del 75% del total. Esto significaría que encontrada una solución para la carga de estas superficies se habría resuelto el problema.

Estrategias orientadas a evitar entrada de cargas térmicas y reducir la temperatura media radiante aparecen entonces como factores importantes para el proyecto. Calculemos el efecto de aplicar individual o simultáneamente las siguientes estrategias: pintar techo y/o pared Oeste con pintura blanca; implementar en la estructura del techo una barrera radiante en foil de aluminio; convertir la pared Oeste en muro verde mediante la siembra de hiedra; instalar blackout y/o cortasoles en las ventanas. Pero, atención, pues un factor importante del desconfort es la temperatura ambiente, y es del caso evaluar estrategias para su disminución. Se analiza implementar un enfriamiento evaporativo y considerar qué tanto caudal de renovación podría aportar una chimenea solar.

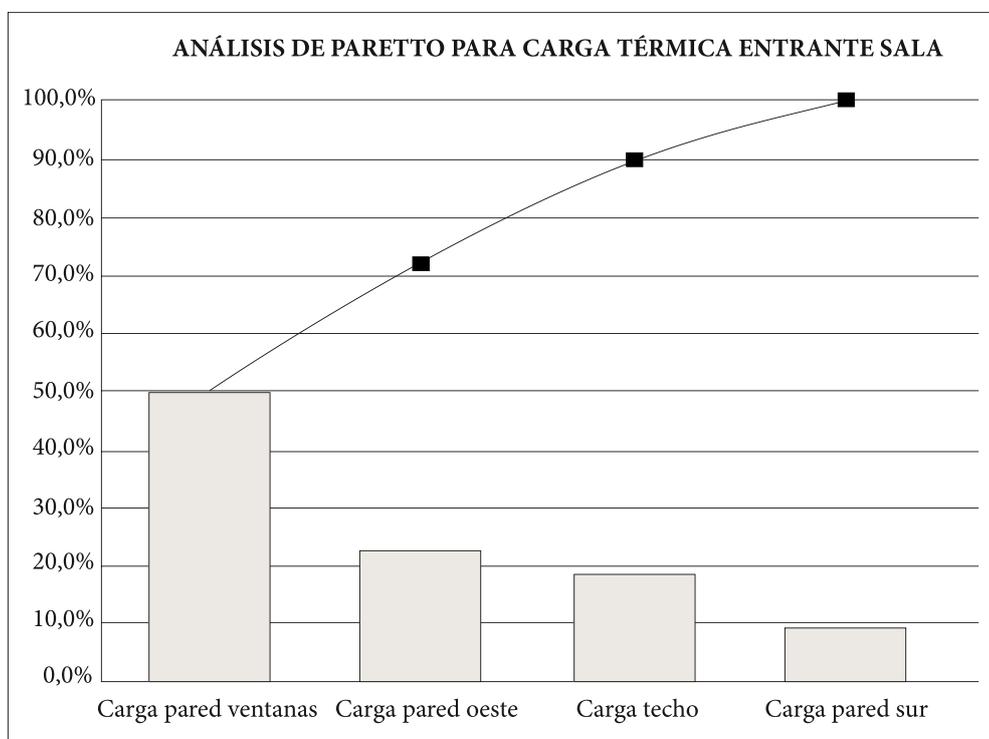


Figura 7.5. Proporción de las cargas térmicas por pared.

Pintura blanca exterior en techo y muro oeste

Al practicar recubrimiento de pintura blanca en techo y pared Oeste, el valor de la absorptividad solar baja de 0,73 a 0,26. Usando las ecuaciones y parámetros ya conocidos se tiene:

$$Q_{\text{roofsalas}} = 193 \text{ W de donde } T_{\text{r-roofsalas}} = Q_{\text{roofsalas}} * h_i / A + T_{\text{in}} = 27.6^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{roofalcoba}} = 326 \text{ W de donde } T_{\text{r-roofalcoba}} = Q_{\text{roofalcoba}} * h_i / A + T_{\text{in}} = 29.9^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{muroroom}} = 1484 \text{ W de donde } T_{\text{sup.int.muro}} = Q_{\text{muroroom}} * h_i / A + T_{\text{in}} = 30.3^{\circ}\text{C}$$

Cubrimiento del techo con foil de aluminio

Con foil de aluminio las reducciones generalmente son efectivas, pues sus valores de absorptividad solar y emisividad son bastante bajos; sin embargo, habrá que calcular y comparar con respecto a la pintura, que ya demostró bondades.

Con $\alpha_s = 0,09$ y $\varepsilon = 0,03$ se tiene $Q_{\text{roof-salas}} = 395\text{W}$, luego aquí es mejor la pintura blanca.

Cubrimiento pared oeste con hiedra

La hiedra sembrada en la pared es una alternativa muy llamativa, porque si se obtiene buen cubrimiento podríamos aspirar a una temperatura en dicha superficie cercana a la de bulbo húmedo, esto es 21.6°C . Pero para ser conservativos (y realistas) se tomarán 25°C . Calculando:

$Q_{\text{muro-oeste}} = -320\text{ W}$; resultado que es una gran ventaja, ya que esta alternativa estaría retirando carga del sistema.

Instalación de blackout o cortasoles en ventanas

Esta condición (ver Figura 7.4) cambia el modelamiento de las ventanas, ya que deben tratarse como ventanas no-soleadas. En las salas el área del vidrio menos el marco es $16,3 - 1,95 = 14,35\text{ m}^2$; en la alcoba son $3,8\text{ m}^2$. Al tratarse de ventanas no-soleadas, las ecuaciones que rigen su modelado son:

$$Q_{\text{window}} = U_{\text{window}} * A_{\text{window}} * (T_{\text{outdoor}} - T_{\text{indoor}})$$

$$U_{\text{window}} = (U_{\text{center}} * A_{\text{center}} + U_{\text{frame}} * A_{\text{frame}}) / A_{\text{window}}$$

$$U_{\text{total}} = 1/R_{\text{total}} = 1 / (R_{\text{outdoor}} + R_{\text{window}} + R_{\text{inside}}) = 1 / (0.044 + 0.00353 + 0.12) = 5.97\text{ W/m}^2\text{C}$$

T_{utdoo} es un valor afectado por la potencia solar difusa y reflejada; esta influencia hace que asumamos como 35°C dicha temperatura exterior. Así, los cálculos de las nuevas potencias en las ventanas son:

$$Q_{\text{window-salas}} = 5.97 * 16.3 * (35 - 27) = 779\text{ W}$$

$$Q_{\text{window-alcoba}} = 5.97 * 3.8 * (35 - 27) = 182\text{ W}$$

Y las temperaturas superficiales serán:

$$T_{\text{rwindow-salas}} = Q_{\text{window-salas}} * h_i / A + T_{\text{in}} = (779 * 0.12) / 16.3 + 27 = 32.7^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{rwindowalcoba}} = Q_{\text{window-alcoba}} * h_i / A + T_{\text{in}} = (182 * 0.12) / 3.8 + 27 = 32.7^\circ\text{C}$$



Figura 7.4. Implementación de cortasoles en ventanas. Reproducido de [111].

PRIMER BALANCE DE MODIFICACIONES

La nueva carga térmica total en las salas, implementando techos y muro Oeste pintados de blanco, pared Oeste con hiedra y cortasoles en ventanas, es:

$$Q_{2salas} = Q_{\text{roof}} + Q_{\text{muro-oeste}} + Q_{\text{muro-sur}} + Q_{\text{window}} + Q_{\text{personas}} + Q_{\text{equipo}} = 193 - 320 + 208 + 779 + 656 + 350 = 1866 \text{ W}$$

Esto representa una reducción del 87% en carga en las salas.

En la alcoba fue pertinente pintar techo con pintura blanca e instalar cortasoles en ventanas. Luego, queda:

$$Q_{2alcoba} = Q_{\text{roof}} + Q_{\text{solsur}} + Q_{\text{no-soleste}} + Q_{\text{window}} + Q_{\text{personas}} + Q_{\text{equipo}} = 326 + 422 + 365 + 182 + 656 + 350 = 2300 \text{ W}$$

Esto representa una reducción del 59% en carga en las alcobas.

$$Q_{2total} = 1866 + 2300 = 4166 \text{ W (frente a } 19742 \text{ W originales)}$$

En estas nuevas condiciones, y manteniendo el aumento razonable de temperatura en 3°C, los flujos de aire necesarios para la remoción de las nuevas cargas son para las salas y la alcoba, respectivamente, 2206 m³/h y 2719 m³/h, para un total de 4925 m³/h. Recordemos que los caudales de

aire suministrados por la ventilación cruzada, calculados por el Método NORMA, continúan siendo 2060 m³/h y 2590 m³/h, para un total de 4650 m³/h. La comparación sugiere que las necesidades están casi satisfechas, pues solo hay un déficit de 275 m³/h, que se puede soslayar. Sin embargo, y en pos de entregar soluciones más allá de lo satisfactorio, se puede continuar con el análisis de otras implementaciones bioclimáticas.

Implementación de chimenea solar

El flujo adicional necesario en la sala con la implementación de las estrategias es de 275 m³/h, los cuales se pueden evacuar con una chimenea solar. Tomando como parámetro de diseño una temperatura en el colector de al menos 75°C (la literatura frecuentemente cita temperaturas mayores a 110°C), la potencia requerida es:

$$Q = F \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T / 3600 = 275 \cdot 1.01 \cdot 1.0051 \cdot (75 - 32) / 3600 = 3.3 \text{ kW}$$

La chimenea debe ser instalada con un ángulo tal que a las 14:00 los rayos solares en marzo 20 estén perpendiculares; dicho ángulo es de 27° con respecto a la horizontal y con un azimuth de 82°. En esta geometría, la radiación solar incidente es de 984 W/m². Escogiendo una superficie interior en aluminio, pintada con pintura a base de Cr negro ($\alpha_s = 0,95$; $\epsilon_{IR} = 0,09$), el balance energético queda:

$$\alpha_s \cdot q_{solar} = \epsilon_{eff} \cdot \sigma \cdot (T_{plate}^4 - T_{sky}^4) + h \cdot (T_{plate} - T_{air})$$

siendo: $\epsilon_{ff} = 1 / (1/\epsilon_{glass} + 1/\epsilon_{plate} - 1)$; $T_{air} = T_{airout}$; $h_L = Nu_L \cdot k / L$ (h_L : coeficiente de transferencia de calor por convección natural);

$Nu_L = 0,68 + 0,67 \cdot Ra_L^{1/4} \cdot [1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{-4/9}$ (caso placas inclinadas Ref. [109]) con $Ra = (g \cdot \cos \theta \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3) / a \cdot u$; donde $\beta = 1/\Delta T$ y $\Delta T = (T_{plate} - T_{air})$ (en gases ideales).

Las incógnitas son T_{plate} , T_{air} y las dimensiones de la chimenea. Mediante un proceso iterativo de cálculo, partiendo de un área fija de colector, se halla la solución completa. Fijando 1.5m ancho * 2.5 m largo * 0.15m de paso, el área plana es de 3.75 m² y el área transversal de flujo es de 0.22 m². Mediante el algoritmo seleccionado se converge a un valor de $T_{airout} = 57,2^\circ\text{C}$ con un coeficiente combinado de convección - radiación $h_u = 12,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. El flujo de aire se calcula con la conocida $= 3600 \cdot (\alpha_s \cdot q_{solar} \cdot A) / (\rho_{air} \cdot C_p \cdot \Delta T)$ [m³/h]. Reemplazando todos los valores ya conocidos resulta $F = 371,6$ [m³/h], que sobrepasa la necesidad de 275 m³/h; por tanto, la chimenea es adecuada. Las densidades del aire son a la entrada de 1.01 kg/m³ y a la salida de 0.83 kg/m³.

Esta diferencia, y la altura de la chimenea (1,14 m), son las que producen el tiro en la chimenea según:

$$\Delta P = g \cdot \Delta \rho \cdot \Delta z \text{ [Pa]} = 9,8 \cdot 0,18 \cdot 1,14 = 2,01 \text{ Pa}$$

Ya se dijo que el área transversal es 0.22 m²; por tanto para un flujo de 371.6 m³/h resulta una velocidad del aire de 0.5 m/s.

Enfriamiento evaporativo

Aunque se han conseguido grandes logros en la disminución de cargas (la causa principal del problema), la verdad es que subsiste una amenaza al confort. De hecho, en la situación crítica, la temperatura del aire exterior es 32°C, y la del aire interior debe ser superior —en alguna medida— a dicha temperatura externa (y no 27°C, como se ha venido suponiendo). Esta condición es amenazante para el confort, pues se acerca a la temperatura de la piel, y por consiguiente es necesario plantearse una solución radical y confiable para este caso extremo. Bajar la temperatura del aire solo se logra con AA o enfriamiento evaporativo. Partiendo de que este último es sustancialmente más ecológico, más económico y más higiénico que el primero, y que la humedad relativa del aire es baja en el momento de interés, evaluemos la posibilidad de implementar enfriamiento evaporativo, inicialmente usando humidificador ultrasónico aplicado al flujo de la ventilación natural.

Se busca, en lo posible, obtener los 27°C de temperatura interna deseada, sin aumentar en demasía la humedad relativa. Para que no se amenace el confort por el lado de la humedad, se fija un valor límite —muy conservativo— de 70%. Ya se anunció que las propiedades del aire ambiente, es decir el aire en el ingreso al proceso de enfriamiento evaporativo, son 32°C y 42%HR; luego, la densidad es 1.01 kg/m³, la temperatura de bulbo húmedo 21.6°C y la humedad absoluta 0.014 kg/kg, punto 1 de la Figura 7.5 con esa densidad, y como el caudal total de aire disponible por ventilación natural fue calculado en 4650 m³/h, se tienen 4697 kg de aire/h.

Condiciones de salida del humectador adiabático: para un proceso a entalpía constante con humedad relativa de salida de 70%, representado como 1-2 en la carta sicrométrica de la Figura 7.5, en la salida la temperatura bulbo seco es 25.9°C, la densidad 0.97 kg/m³, la entalpía de aire seco 68 kJ/kg, el punto de rocío 20°C, la temperatura de bulbo húmedo 21.6°C, y la humedad absoluta 0.0165 kg/kg. La humedad adicionada (flujo de agua requerido) será entonces: $M_w = (0.0165 - 0.014) \cdot 4697 = 11.7 \text{ kg/h}$, esto es 11.7 lt/h. El aire “humidificado y frío” ahora procederá a absorber

las cargas térmicas provenientes del recinto, las personas y los equipos, es decir los 4166 W, antes de salir del local. Al hacerlo vendrá el calentamiento sensible que ya definimos en 3°C, proceso representado como 2-3 en la Figura 7.5. Entonces a la salida del espacio este aire estará a 28.9°C. Si solo se aplica ventilación cruzada ya se dijo que habría un pequeño déficit de caudal (275 m³/h), luego el aumento real de temperatura será ligeramente superior, llegando a 3.2°C. Se ha conseguido así que en la habitación haya zonas con una temperatura muy agradable de 25.9°C, y como la máxima es 28.9°C se está cumpliendo la condición de que el aire interior pueda ser considerado a 27°C.

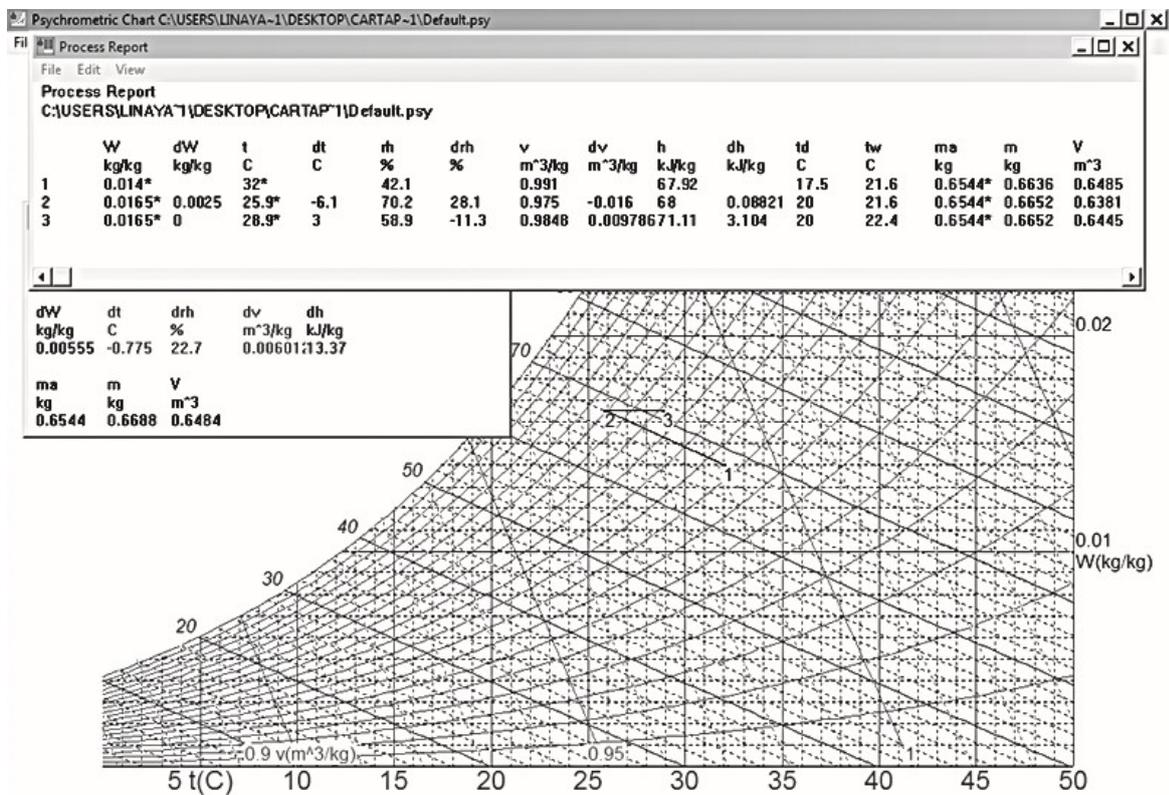


Figura 7.5. Enfriamiento evaporativo seguido de calentamiento sensible.

Existen en el mercado diversos tipos de aparatos nebulizadores no industriales con sistema de aspersión por ultrasonido. Por ejemplo, se puede citar el equipo Essick Air HD1407 Moist Air Whole House Humidifier with Automatic Humidistat, cuyas características técnicas son: LxWxH: 62.2 x 39.4 x 57 cm; 30 lbs; 120 VAC; 165 W; 2.2 litros/h; área cobertura: 269 m². Debe notarse que, aunque se anuncia como equipo suficiente para una gran área, la capacidad de evaporación de este nebulizador es solo 2.2 litros/h, lo que para este proyecto significa usar un tándem o cambiarse a otro modelo. La Figura 7.6 y la Figura 7.7 muestran

equipos interesantes con la capacidad demandada. Otra modalidad dentro de los enfriadores evaporativos, que puede verse en la Figura 7.8, es aquella donde la evaporación sucede por contacto aire seco/agua líquida en superficies extendidas, (como una mopa o un empacado de celdas estilo panel). En estos aparatos, efectivos desde el punto de vista del consumo energético, el aire succionado por el ventilador atraviesa el material humedecido, y al final es descargado por ducto y rejillas al espacio a acondicionar.

The Bonaire Durango is designed to easily cool today's open plan homes with areas up to 75 square metres. It's quiet, environmentally friendly and, best of all, very economical to run. It can be easily installed into most windows and with its neutral colour, the Bonaire Durango blends in no matter what the environment.

Features

- Costs less than 25 cents per day to run*
- Cools an area up to 75 square metres*
- Easy to install
- 250mm deep low profile cabinet does not obstruct exterior area
- Powerful three speed fan motor
- Direct drive fan for higher efficiency
- Transition duct supports the unit without any need for additional structural support
- UV stabilised polymer cabinet will never rust
- Uses standard electrical and plumbing connections
- The cool and ventilation mode allows the choice of water flow cooling or just fan operation

Warranty
The Bonaire Durango is supported with a two year domestic parts and labour warranty.

*Actual may not depict latest model

Figura 7.6. Enfriador evaporativo Bonaire Durango.

Product Specification			
Air flow	4,500 m ³ /hr		
Window section	H 550mm	W 550mm	D 260mm
External cabinet	H 1170mm	W 850mm	D 250mm
External cabinet clearance (TOP)	100mm		
Weight	40kg		
Electrical	240 Volts	1 Phase	50 Hz
Fan speeds	3		



- Tamaño: 61 cm de alto.
- Capacidad: 1,1 a 6,5 litros de agua atomizada por hora.
- Consumo máximo de energía: 230W.

Figura 7.7. Nebulizador Mistifier plus.

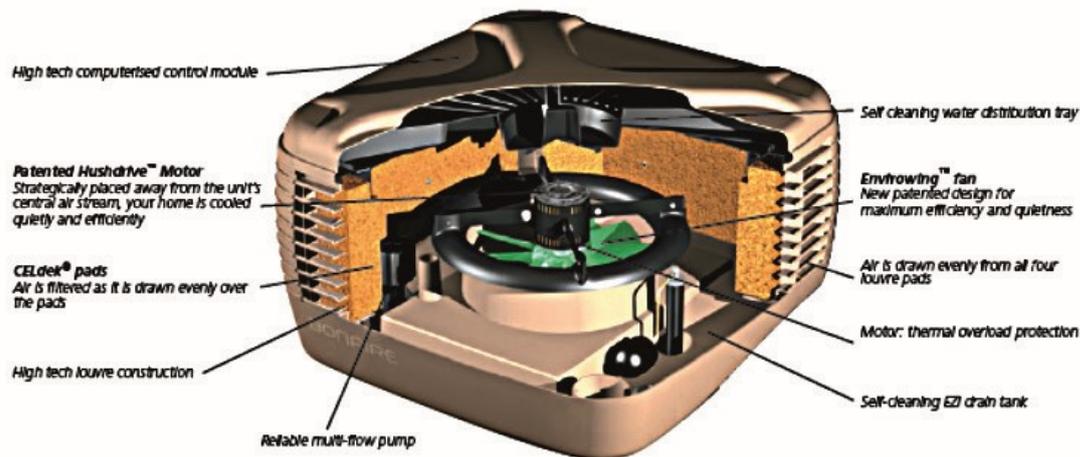


Figura 7.8. Ilustración de enfriador evaporativo con medio humedecido.

SELECCIÓN DE MODIFICACIONES Y BALANCE CLIMÁTICO FINAL

De lo anteriormente expuesto se desprende, como procedimiento más que prudente, la combinación de estrategias para garantizar resultados sin riesgos. Ellas, además, se han revelado sencillas y ecológicas. Para el ejemplo tratado se añade, entonces, enfriamiento evaporativo a los cambios antes aprobados (que eran techos y muro Oeste pintados de blanco, pared Oeste con hiedra y cortasoles en ventanas). Para el balance final la Figura 7.9 muestra las temperaturas de las superficies interiores; de ellas se desprende que la temperatura media radiante ahora imperante es 28.5°C, más moderada que 29.6°C, la original. Después, según la Figura 7.10, PMV y PPD son cero y 95% (los mejores posibles). En conclusión, desde el punto de

vista térmico, se han logrado plenamente los objetivos trazados mediante un híbrido combinación de estrategias pasivas y cuasi-pasivas.

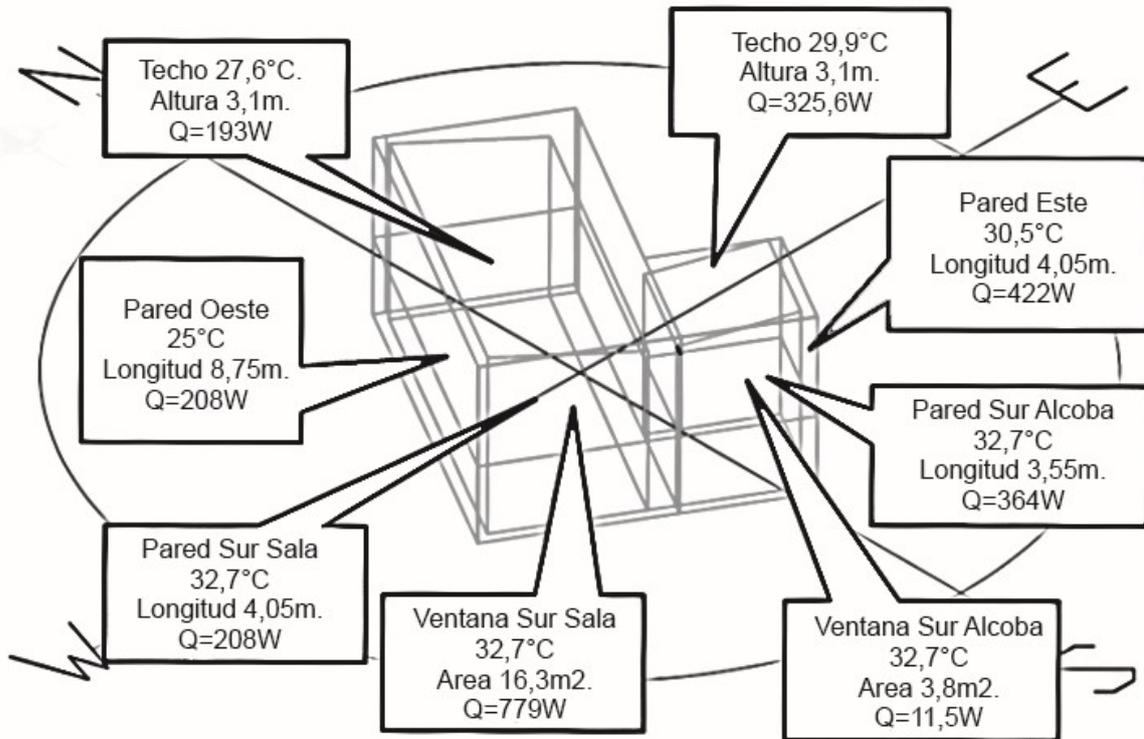


Figura 7.9. Temperaturas finales paredes superficies interiores.

FANGER MODEL FOR COMFORT CALCULATION

! WARNING ! Please use colon mark as a decimal separator

METABOLIC RATE (Met)	Choose Metabolic Rate Value	1	Predicted Mean Vote PMV	8,850382E-03
RELATIVE HUMIDITY (%)		55		
AIR TEMPERATURE (°C)		27	Percentage of People Dissatisfied PPD	5,001621
CLOTHING INSULATION I _{cl}	Choose Clothing Insulation Value	0,6		
CLOTHING FACTOR F _{cl}		1,1	0.8 m/s is recommended as an upper limit. Above this value, loose papers may be disturbed !	
INDOOR RELATIVE AIR SPEED (m/s)		0,5	PRESS TO CALCULATE MEAN RADIANT TEMPERATURE	
MEAN RADIANT TEMPERATURE CALCULATION (°C)		28,5	<input type="button" value="CALCULATE"/> <input type="button" value="CLEAR"/> <input type="button" value="EXIT"/> <input type="button" value="SHOW PICTURE"/>	

Figura 7.10. PMV/PPD para la situación final.

OTRAS ALTERNATIVAS

Es corriente que dentro de un proyecto se presenten múltiples opciones de diseño o de mejoras que compiten entre sí, a menudo con distintas ventajas en distintos campos, y también es probable que el diseñador encuentre que sus criterios particulares no coinciden con los de la dirección. Así ocurrirá que en unos proyectos se priorizan las políticas conservacionistas, en otros la estética, en otros lo económico, lo funcional, etc.

Entre las varias alternativas extras que se pueden plantear para resolver el desconfort por ambiente demasiado cálido en el *CASO BASE* se seleccionan dos. Es fundamento de estas nuevas propuestas partir de la total garantía del confort, ya que la solución encontrada también lo ofrece. Los planteamientos generales se ven en la Tabla 7.1, donde la alternativa No. 3 es la estrategia previamente descrita y detallada.

Tabla 7.1. Caso Base: Alternativas de Solución Climática en comparación.

Alternativa	Descripción
1. Aire acondicionado	Simple y llanamente se implementa un sistema de aire acondicionado expansión directa (AA: 24°C, 50%HR).
2. Híbrido de estrategias pasivas y convencionales: Eliminar cargas e implementar aire acondicionado (<i>minisplits</i>)	Inicialmente se aplican las estrategias para disminución de cargas ya probadas efectivas (techo pintado de blanco, pared Oeste con hiedra y cortasoles en ventanas) y se complementa con dos unidades <i>minisplit</i> de aire acondicionado expansión directa (AA: 24°C,50%HR).
3. Híbrido de estrategias pasivas y cuasi-pasivas: Eliminar cargas e implementar enfriamiento evaporativo	Se aplican las estrategias para disminución de cargas ya probadas efectivas (techo pintado de blanco, pared oeste con hiedra y cortasoles en ventanas) y se complementa con un sistema de enfriamiento evaporativo.

La primera comparación a hacer es la de cargas calóricas discriminadas, cotejo que se muestra en la Tabla 7.2. En las opciones de aire acondicionado se observan cargas sensibles y latentes; para la primera opción están todas las cargas originales, mientras que para la segunda y la tercera se ven disminuidas por aplicación de las estrategias pasivas. Aunque vuelve a visibilizarse el efecto benigno de haber eliminado causas del desconfort, lo que verdaderamente dice la tabla es el tamaño de equipo que se tiene que adquirir. Es claro que las tres opciones dan confort, pero aquí toman ventaja las del aire acondicionado, pues además de entregar las condiciones

de temperatura y humedad relativa que al usuario “le dé la gana”, prácticamente independizan el ambiente interior, garantizando ultra-confort para todo momento y para toda condición atmosférica exterior. La comparación se extiende ahora a otros campos como el económico, el de la calidad de aire y el ecológico, lo cual se considera en los capítulos posteriores.

Tabla 7.2. Comparativo de Cargas calóricas para tres opciones de climatización en Caso Base.

Carga (W)	AA		Pasivas + AA		Pasivas + Enfriam.Evap.		
	Sensibles	Latentes	Sensibles	Latentes	Sensibles	Latentes	
Exteriores	Techos	5305	-	519	-	519	-
	Muros	4781	-	1772	-	1772	-
	Cristales	8790	-	961	-	961	-
	Infiltraciones	0	0	0	0	0	-
Interiores	Ocupantes	518	279	518(7%)	279	518(7%)	-
	Alumbrado	-	-	-	-	-	-
	Aparatos diversos	700	-	700	-	700	-
	Instalación	514	-	115	-	115	-
Carga del local	<i>RSH20608</i>	<i>RLH279</i>	4585	279	4585	-	
	<i>RTH20887</i>		4864		4585		
Carga de ventilacion	<i>OASH 917</i>	<i>OALH 1010</i>	917	1010	-	-	
	<i>OATH 1927</i>		1927		-		
Carga total	<i>TSH 21525</i>	<i>TLH 1289</i>	5502	1289	4585	-	
	<i>GTH 22814W (6.5tr)</i>		6791W (2tr)		4585W (1.3tr)		

