

## CARGA TÉRMICA

La carga térmica es el conjunto de las energías calóricas que instantáneamente entran y se generan en el interior, las cuales tienen que ser evacuadas con los equipos (o las formas) de climatización a proponer. Su cuantificación, tanto global como específica, ítem por ítem, da la clave, en numerosas situaciones, para postular la más apropiada estrategia. Esto es porque al conocer el peso específico de cada carga se diagnostican las causas del problema y la oportunidad de resolverlo. En este capítulo se presentan los fundamentos físicos, las descripciones y la cuantificación de las distintas cargas térmicas, permitiendo que el profesional apropie e interiorice este concepto. Mediante un ejemplo se ilustra cómo —usando apropiadas herramientas computacionales— se puede valorar ágilmente la carga térmica.

**Estimación *Grosso Modo* de la Carga Térmica.** Es corriente en la práctica del diseño (aunque impropio) que lo primero que la gerencia demanda es una aproximación *grosso modo* del orden de magnitud del tamaño del equipo a adquirir. Para resolver esa inquietud, dejando claro que este tipo de aproximaciones está en la frontera de la vulgaridad y la “chambonería”, se pueden hacer estimados preliminares a través de indicadores populares en el medio, o de algunas directrices y tablas disponibles. La Tabla 5.1 recopila algunos de estos índices. Por ejemplo, para AA en Cali, se maneja que oficinas normales necesitan 1 tonelada de refrigeración (TR) por cada 20 a 25 m<sup>2</sup>; 1kW por TR; 400 cfm por TR; en expansión directa 2 MM\$ por TR; en agua fría 2.4 gpm por TR y 4 MM\$ por TR. La referencia [107] sostiene que los estándares Ashrae de estimación en edificios, usando 20 cfm/persona, son:

**Tabla 5.1. Índices diversos de estimación climatización**

Carga de enfriamiento	.25 a .35 tons por cada 100 pies cuadrados
Carga de calentamiento	1.5 a 2.5 MBH por cada 100 pies cuadrados
Ventilación	75 a 125 cfm por cada 100 pies cuadrados
Agua helada	2.4 gpm por ton
Agua caliente	MBH/10 [gpm]

Para casos generales se incluye la siguiente Tabla 5.2, extraída de referencia [602].

**Tabla 5.2. Aproximación en cargas de aire acondicionado ref. [108]**

Aplicación	m <sup>2</sup> por ton	Asientos por ton
Tiendas por departamentos	25.6	-
Tiendas minoristas	21.4	-
Oficinas privadas	37.2	-
Oficinas en general	32.5	-
Comedores	14.0	-
Bancos	27.9	-
Residencias (no aisladas/sombreadas)	37.2	-
Residencias (si aisladas/sombreadas)	46.5	-
Teatros, auditorios	-	20
Night clubs	-	8
Cafeterías	-	12
Restaurantes	-	10

**Naturaleza.** La carga térmica es una variable, puesto que su magnitud siempre está cambiando (depende del día, del mes, del año, del momento). Al ser instantánea, la carga térmica es potencia y sus unidades son kW (o toneladas de refrigeración, en sistema inglés). Al valor más alto se le llama “plena carga”, y a los demás valores “carga parcial”. No toda ganancia calórica es inmediatamente carga real o efectiva; la radiación, por ejemplo, se demora un poco en llegar al equipo climatizador pues experimenta almacenamiento en los elementos sólidos del espacio. En la selección de un equipo climatizador comercial se escoge el modelo cuya capacidad real es igual o mayor a la carga plena. Si el sistema climatizador es capaz de lidiar con la carga plena, será más que eficiente en cualquier otro caso.

Para cuantificar la carga plena serán relevantes la arquitectura y los detalles constructivos del edificio (techos, muros, ventanas, puertas, pisos, aleros, quiebrasoles, persianas interiores y exteriores, número y tipo de luces, número de ocupantes y su actividad, equipos, motores, estufas, extractores,

orientación, longitud y latitud, etc.), su vecindario (estructuras que le dan sombra, obstáculos para los vientos, superficies que reflejan el sol, etc.), las condiciones ambientales externas (temperatura exterior, humedad relativa, radiación solar, vientos, etc.), y también otras dos variables muy importantes: las condiciones ambientales interiores que se desean alcanzar y el momento escogido. Es menester tener plena claridad y manejo al respecto de todo lo anterior, y dejarlo explícito y por escrito en planos e informes.

**Condiciones Interiores.** Se deben definir las aspiraciones del proyecto en términos de temperatura de aire interior, humedad relativa, velocidad de aire y temperatura media radiante. El sistema más efectivo y seguro en confort térmico es el aire acondicionado, aunque se le pueden hacer serias objeciones respecto a higiene, costos e impacto ecológico. Un sistema de aire acondicionado obtiene y mantiene la temperatura y la humedad relativa de todo el volumen del ambiente interior en unos valores fijos, permanentes y uniformes. Por lo anterior, siempre vale la pena desarrollar la opción del aire acondicionado, así sea solo para tomarla como referencia. Al plantear otra estrategia de climatización alternativa se puede entonces hacer una comparación en todos los órdenes: temperaturas, humedad, índice de confort, inversión y gastos, consumo energético, impacto ecológico, sanidad del aire, etc.

**La hora del proyecto.** El primer desafío es definir “la hora del proyecto”. Esta selección es una decisión de diseño y conlleva repercusiones técnicas y económicas; en aire acondicionado no se escoge el momento más crítico de todos los posibles, pues los equipos quedan sobredimensionados para la inmensa mayoría del tiempo de servicio, lo que significa mayores inversiones iniciales, mayores gastos de operación y mantenimiento y, lo que es peor, baja eficiencia de funcionamiento del equipo.

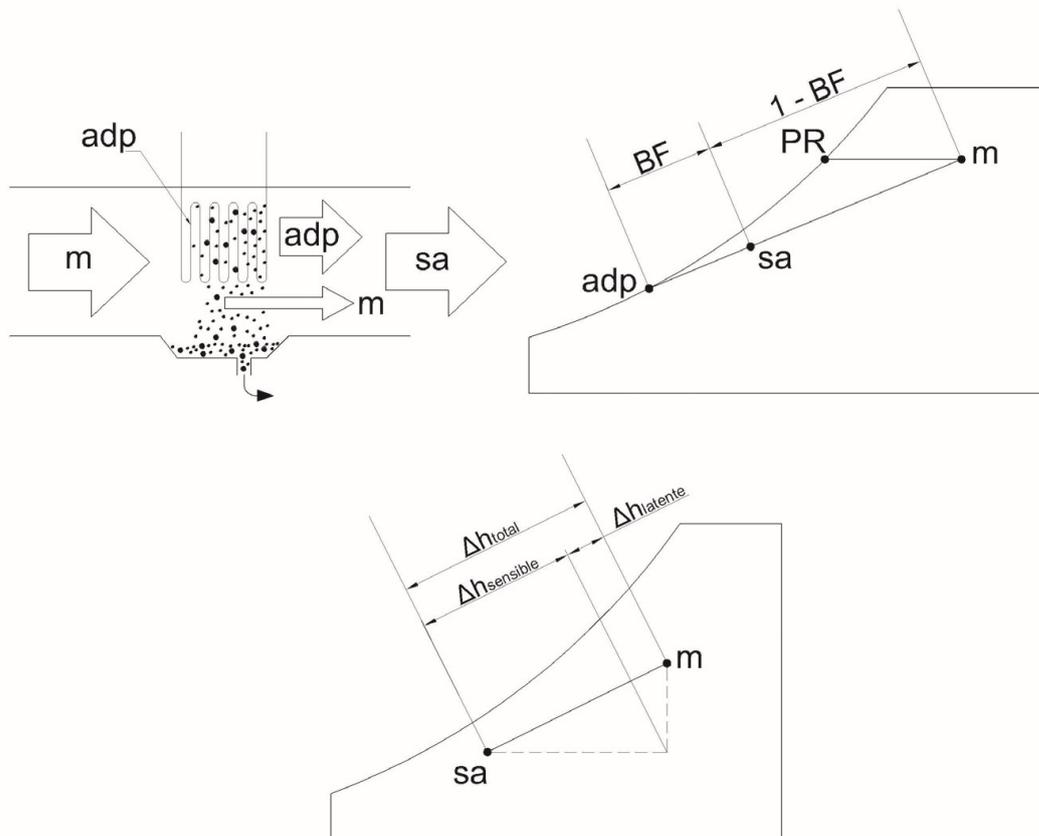
En cualquier edificio las curvas diarias de carga tienen la misma forma sinusoidal: se sube gradualmente hasta el máximo del día y se baja gradualmente hasta el mínimo. Si se promediaran los máximos diarios proyectados en la vida útil del sistema, ese promedio sería la carga de diseño, la carga plena, y esta sería la hora del proyecto. Como este ejercicio no es factible por su extensión, se acostumbra a hacer mediante software proyecciones de carga en diferentes momentos, y sobre estos ensayos seleccionar la hora del proyecto. Para que estas aproximaciones correspondan a momentos verdaderamente representativos y conduzcan a resultados válidos se necesita experiencia del diseñador, o una extensa exploración con suficiente número de ensayos.

**Condiciones Exteriores.** De acuerdo con la hora del proyecto seleccionada, y según las directrices del capítulo 3, “Condiciones Ambientales”, se

registran los valores de temperatura ambiente, humedad relativa, viento y radiación solar. Si se tiene en mente evaluar con el método adaptativo se debe conocer la temperatura exterior mensual representativa.

### CARGAS CALÓRICAS

Como el edificio (o el cuarto) es un sistema térmico balanceado en el momento de carga plena, la suma de todas las energías entrantes y generadas en el interior es igual a la suma de energías salientes. Para la opción de aire acondicionado es el serpentín (de la UMA, fan coil, manejadora, o como desee llamarse) el encargado de evacuar dicha carga calórica por medio del proceso de enfriamiento y deshumectación que ejecuta sobre el aire del cuarto. En el enfriamiento se controla la temperatura deseada; en la deshumectación se controla la humedad relativa deseada. En aire acondicionado se manejan dos tipos de carga: la sensible, que se aprecia en el enfriamiento de la corriente de aire, y la latente, que se observa en la producción de condensado.



**Figura 5.1** Representación gráfica del enfriamiento con deshumectación de una corriente de aire

En la Figura 5.1 se visualiza la contribución de cada una de esos dos componentes. A continuación se describen cada una de las cargas, su tipo y la forma de caracterizarla y calcularla; algunas de estas no son relevantes en alternativas distintas al aire acondicionado.

**Carga por el techo:** El techo es una estructura que separa el ambiente interior del exterior, y que está sometida a la radiación solar. El calor que se cuela a través del techo es una carga sensible: una parte es originada por la radiación directa del sol y el resto por convección, debido a la diferencia de temperatura aire exterior-aire interior. Es claro que un rayo de sol incidente sobre el techo no tiene efecto inmediato en el interior; ese efecto se demora dependiendo de la cantidad de calor que la estructura pueda almacenar y de las propiedades conductivas o aislantes de los distintos componentes y sus materiales. Desde el punto de vista de la transferencia de calor este es un problema complejo de estado transitorio, y para resolverlo y hacerlo accesible se concibió un concepto denominado  $T_{\text{sol-air}}$ , modelo que simplifica enormemente la valoración del calor transferido real y que incluye los efectos de la convección y la radiación exterior. La  $T_{\text{sol-air}}$  es la temperatura exterior equivalente que da la misma carga térmica a la superficie combinada por la convección desde el ambiente más la radiación desde los alrededores y el firmamento. Para evaluar la magnitud instantánea de la carga calórica del techo en la hora del diseño se deben aportar a la herramienta computacional (o manual) varios factores, a saber: la radiación solar incidente (función de ubicación geográfica, mes, día, hora); la fracción sombreada (función de la geometría de los obstáculos permanentes vecinos y sus posiciones relativas); vientos; temperatura exterior; composición física del techo (área, tipo de teja, aislamientos, espacios entre componentes, circulación del aire entre componentes, materiales y formas constructivas de los componentes, acabados superficiales de los componentes); y la temperatura interior. En el capítulo “Caso Base” se muestra un cálculo de carga por techo en versión comprimida. Las principales ecuaciones que permiten cuantificar esta carga son:

$$Q_{\text{roof}} = U_{\text{roof}} * A * \Delta T = U_{\text{roof}} * A * (T_{\text{sol-air}} - T_{\text{in}})$$

$$T_{\text{sol-air}} = T_o + \alpha_s * q_{\text{solar}} / h_o - \epsilon * \sigma * (T_o^4 - T_{\text{surr}}^4) / h_o \text{ ref. [109]}$$

$$T_{\text{surr}} = T_{\text{sky}} = (T_o + 273) * [0.711 + 0.0056 * T_{\text{dp}} + 7.3E-5 * T_{\text{dp}}^2 + 0.013 * \cos(2t/24)]^{1/4} \text{ ref. [109]}$$

donde  $U_{\text{roof}}$  = coeficiente global (inverso de resistencia total);  $T_{\text{in}}$  = temperatura interior;  $T_o$  = temperatura ambiente;  $\alpha_s$  = absorptividad solar;  $q_{\text{solar}}$  = radiación solar incidente;  $\epsilon$  = emisividad de la superficie;  $\sigma$  = constante

de Stephan – Boltzmann;  $h_o$  = coeficiente combinado de convección y radiación;  $T_{surr}$  = temperatura cielo (este caso);  $T_{dp}$  = punto de rocío;  $t$  = hora del día en formato 24 horas.

**Carga por Muros:** Se entiende por muros o paredes las estructuras verticales que separan el ambiente interior del exterior, y que pueden estar sometidas a radiación solar. Las “particiones”, en cambio, separan ambientes interiores acondicionados de los no-acondicionados. Una división física entre dos ambientes acondicionados se considera inexistente o, mejor, representa un aislamiento total, pues no hay allí transferencia de calor. El calor que se cuela a través de un muro es una carga sensible: una fracción originada por la radiación directa del sol y el resto por convección, debido a la diferencia de temperatura aire exterior-aire interior. Al igual que en los techos, es claro que el efecto de un rayo de sol incidente sobre un muro no es inmediato en el interior; ese efecto se demora dependiendo de la cantidad de calor que la pared sea capaz de almacenar y de las propiedades conductivas o aislantes de sus distintos componentes. Igual que en el caso anterior, este es un problema complejo, y para resolverlo se aplica el concepto  $T_{sol-air}$ . El aporte instantáneo de potencia calórica en la hora del diseño depende de varios factores, a saber: la radiación solar incidente (función de ubicación geográfica, mes, día, hora); fracción sombreada (función de obstáculos permanentes vecinos); vientos; temperatura exterior; orientación de la pared y su composición física (área, acabado y color exterior, componentes intermedios y sus materiales y formas constructivas, acabado interior); y la temperatura interior. En el capítulo “Caso Base” (*Base Case*), después de la carga por techo se muestra la correspondiente a muros. Las ecuaciones que cuantifican esta carga son las mismas que operan en el caso de techos, por su identidad funcional.

**Carga por superficies acristaladas:** Son superficies acristaladas aquellas expuestas a radiación solar directa y/o difusa, como ventanas, tragaluces, puertas acristaladas, etc. Igual que en los dos casos anteriores, el calor infiltrado es una carga sensible, pero a diferencia de ellos la penetración de los rayos es expedita y la demora en la conversión a carga efectiva es relativamente corta. También en ventanales y similares hay una fracción de transferencia de calor por convección, que obedece a la diferencia de temperaturas aire interior-aire exterior. La carga calórica por superficies acristaladas depende de varios elementos: radiación solar incidente (función de la ubicación geográfica, mes, día, hora); fracción sombreada (uso de persianas exteriores, cortasoles, aleros); fracción reflejada (uso de persianas interiores, cortinas); posición y orientación del vidrio, su número (sencillo, doble, triple), su tipo, espesor y color, material del marco, vientos, diferencia de temperatura interior/exterior. Toda superficie acristalada

deberá tenerse en cuenta en el software de cargas en aire acondicionado. Hay varias maneras de calcular la ganancia solar a través de las superficies acristaladas [110]; una forma condensada es mediante el empleo del “Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)”, un conjunto de tabulados para diferentes acristalamientos, en cuyo caso la expresión de la carga es:

$$Q_{\text{cristales}} = \text{SHGC} * \text{Área} * \text{Radiación unitaria incidente.}$$

**Carga por Ventilación:** Por condiciones de salubridad, higiene, y para eliminación de olores, siempre es absolutamente indispensable cierta renovación del aire interior (ver capítulo “Calidad de Aire”). Para aire acondicionado este aire nuevo es caliente y húmedo, de modo que su procesamiento representa una carga sensible y otra latente, costosa en todos los órdenes. Una práctica desleal y atentatoria contra el usuario es disminuir o simplemente eliminar la renovación de aire. El problema es que, por un lado, detectar esta estafa no es fácil para una persona no familiarizada con estos sistemas, mientras que por otro lado el “ahorro” logrado en tamaño y capacidad de enfriamiento engaña al inocente, quien piensa que el equipo le salió “bueno y barato”. Los equipos minisplit recirculan el 100% del aire, es decir, no hacen renovación de aire. Los valores de caudales de aire nuevo necesario pueden buscarse en el capítulo “Calidad del aire”, en la Tabla 4.13, Tasas Mínimas de Ventilación en Zonas de Respiración, resumen extraído del ANSI/ASHRAE Standard 62.1 de 2016, o en otras referencias. Para el Caso base (ver capítulo) se utilizó una tabla del Engineering Tool Box, ref. [603], que hace sus recomendaciones en ACH’s (número de renovaciones por hora). De acuerdo con la Figura 1.5, capítulo “Fundamentos”, las cargas sensibles y latente se pueden calcular mediante  $Q_s = m * \Delta h_{\text{sensible}}$  y  $Q_{\text{lat}} = m * \Delta h_{\text{latente}}$ . O también, con base en aire estándar (densidad 1.2 kg/m<sup>3</sup> y Cp 1.005 kJ/kg\*°C) y entalpía de evaporación del agua 2.51 kJ/gr. Las expresiones generalmente utilizadas para cuantificar dichas cargas son:

$$Q_s = 1.21 * V * \Delta T$$

$$Q_{\text{lat}} = 3.01 * V * \Delta w,$$

donde Q [kW]; V caudal [m<sup>3</sup>/s];  $\Delta T$  [°C];  $\Delta w$  cambio humedad [gr/kg]

**Carga por Infiltraciones:** Cuando existen aberturas (rendijas, o aperturas-cierres de puertas) se dan ingresos de aire ambiente al espacio acondicionado. Al igual que el aire de renovación, este aire caliente y húmedo

significa una carga sensible y otra latente si se usa AA. En algunos casos, especialmente cuando el cinismo del instalador tiene cotas altas, se alega que estas infiltraciones cumplen el papel de la renovación necesaria. Las ecuaciones para valorar las cargas sensible y latente de las infiltraciones son las mismas que las utilizadas por la renovación, ya que los procesos son equivalentes. Para cuantificar los caudales de infiltración están disponibles tablas en los manuales de aire acondicionado, ref. [7], que necesitan las condiciones de las ranuras (tipo, longitud), viento frontal, dimensiones de las puertas y frecuencia de uso.

**Carga por Iluminación:** El alumbrado es una carga sensible. Las luminarias emiten calor por radiación y por convección, siendo la primera fracción sometida a almacenamiento, pues es absorbida por los objetos y materiales sólidos, lo que representa una demora en convertirse en carga efectiva. Para evaluar este aporte energético se requiere tener claro cuáles son la potencia lumínica total instalada, el factor de diversidad (% de lámparas efectivamente en uso) y el tipo de luminarias (con el factor a aplicar a la potencia nominal para tener en cuenta elementos complementarios). La ecuación que cuantifica esta carga es:

$$Q_{\text{luminarias}} = \text{Potencia nominal} * \text{factor tipo} * \text{factor diversidad},$$

donde factor tipo es 1 para incandescente y 1.25 fluorescente.

**Carga por Personas:** Los ocupantes de un espacio acondicionado con manejo de temperatura y humedad son carga sensible y carga latente. Al ser su temperatura alta calientan, y al sudar y respirar humectan el aire ambiente, aportando en ambos órdenes. Para cuantificar estas contribuciones es menester conocer el número de ocupantes efectivo a la hora del proyecto (ello es, valor nominal y factor de diversidad), y su ocupación (por lo del metabolismo). Los valores que muestran estos aportes están dados por la Tabla 5.3, a continuación.

**Carga por Equipos Diversos:** Los distintos utensilios que se manejan son fuente de ganancias sensibles y/o latentes. Una buena parte de ellos (estufas, cafeteras, planchas, freidoras, cafeteras, calentaplatos, etc.) entregan importantes cargas de ambos tipos, pero su efecto puede ser fuertemente disminuido mediante el uso de campanas de extracción bien dimensionadas. En ambientes industriales se contabilizan motores, tanques cerrados o abiertos, máquinas impulsadas desde dentro o desde fuera, tuberías y ductos aislados o no-aislados, procesos de lavado o deshidratación, lavadores, esterilizadores, alambiques, aparatos de radiografía o radioscopia,

mecheros, etc. En oficinas y viviendas se pueden inventariar equipos de cómputo, electrodomésticos, periféricos, etc. Para cuantificar sus cargas se deben usar los catálogos (si están disponibles) o las potencias nominales de placa, y/o las tablas recopiladas por los fabricantes y las asociaciones. A continuación se tabulan, en la Tabla 5.4, unos equipos de uso corriente (compendio de ref. [7] y [110]).

**Tabla 5.3. Carga calórica debido a las personas [7] y [110].**

Activi- dad	Carga por personas [ W ]									
	Temperatura local									
	21°C		24°C		26°C		27°C		28°C	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentado reposo	76	27	67	35	62	41	57	45	51	51
Sentado trabajo suave	79	37	70	47	63	53	56	60	52	64
Sentado trabajo normal	83	49	71	60	63	69	58	73	52	79
De pie quieto	85	62	74	72	64	83	58	88	52	94
Caminar lento	85	62	74	72	64	83	58	88	52	94
De pie trabajo suave	107	113	86	134	72	148	64	156	56	164
Baile	117	131	95	153	80	169	72	177	64	185
Marcha	135	158	112	181	97	197	88	205	79	214
Trabajo duro	177	248	154	271	142	283	136	288	131	293

**Tabla 5.4. Cargas calóricas de aparatos diversos.**

	Ganancias calóricas por aparatos diversos [ W ]					
	Cafetera 10 lt	Freidora 10 lt	Parrilla asar carne 25*30 cm	Secador pelo con ventilador 1500W	Horno 3.5 a 6 kW	Calientapla- tos (por m <sup>2</sup> )
Sensible	756	1100	1134	674	1326	2686
Latente	495	1657	610	116	1326	1420

**Carga por la Propia Instalación:** Los sistemas electro-mecánicos adquiridos e instalados consumen energía eléctrica que generalmente termina como aporte calórico, pero además, cuando hay elementos expuestos (duc-

tos o tuberías con o sin aislante) al ambiente exterior, se capturan ganancias indeseables. Los motores eléctricos que mueven bombas y ventiladores hacen sus aportes dependiendo, tal como se explicó en el punto anterior, de si sus transmisiones van adentro o vienen desde afuera del espacio acondicionado. Aquí un inconveniente es que como apenas se está en el proceso de diseño, no se conocen las potencias a consumir, y se debe hacer un estimado de ellas, y al final, después de seleccionados los equipos, verificar que tales estimados estuvieran correctos, y rectificar, si amerita. Una primera y rápida opción para ventiladores y bombas es basarse en los valores obtenidos en la aproximación *grosso modo* que se ejecutó inicialmente. En el caso de ganancias en ductos y tuberías en exteriores, habrá que dimensionarlos y estimar la longitud expuesta, para después aplicar los catálogos del fabricante de aislamientos (los que están provistos de tablas para calcular fugas de calor). Otra posibilidad está incluida en los distintos softwares de cálculo de carga, los que siempre disponen de la herramienta para incluir estas cargas. En la literatura técnica también hay otras ofertas, (Ver ref. [7]), donde las cargas de la propia instalación se prevén como un porcentaje de las ganancias sensibles del local.