

## **Modelo de Cálculo de Carga Térmica: Análisis Paramétrico de Variables en Oficinas Públicas de Oberá, Misiones**

Bochmann, Paola D. <sup>a,b,\*</sup>, Potschka, Julio A. <sup>a,b</sup>, Mazzeletti, Manuel A. <sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>b</sup> LIDEE, FI-UNaM, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina

e-mails: paolabochochmann@gmail.com, potschka@fio.unam.edu.ar, amazzoletti@fio.unam.edu.ar

---

### **Resumen**

Este trabajo presenta el desarrollo de un modelo de cálculo de carga térmica orientado al análisis de eficiencia energética en oficinas públicas. A partir de una revisión del estado del arte, se definieron variables independientes y dependientes para estudiar su impacto en la demanda energética de refrigeración. Se adoptó un enfoque paramétrico, realizando pruebas univariadas que permitieron evaluar la sensibilidad del sistema ante cambios en la superficie, componentes constructivos, condiciones exteriores y ocupación. Los resultados permiten identificar los factores que mayor influencia tienen sobre la carga térmica, brindando herramientas útiles para el dimensionamiento de sistemas de climatización eficientes.

**Palabras Clave** – Carga Térmica, Eficiencia Energética, Energía.

### **1. Introducción**

El calentamiento global ha provocado un aumento significativo en las temperaturas a nivel mundial, lo que ha generado un crecimiento en la demanda de energía eléctrica para refrigeración, especialmente mediante el uso del aire acondicionado. Entre 1990 y 2016, este consumo se triplicó en edificios [1], llegando a representar aproximadamente el 20 % del consumo eléctrico total y, por lo tanto, un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero [2].

En Argentina, el consumo energético del sector residencial representa aproximadamente el 24 %, y cerca del 10 % corresponde al acondicionamiento térmico. Si se consideran además los edificios comerciales, públicos e industriales, la energía utilizada en acondicionamiento térmico alcanza el 18 % del total nacional, siendo responsable del 9 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en el país [2]. Las características constructivas y edilicias del país presentan una gran diversidad. Dentro de esto, la transmitancia térmica de la envolvente, la orientación solar, las propiedades térmicas de los materiales empleados y el cumplimiento de las normativas vigentes son factores que pueden influir en la demanda energética necesaria para mantener condiciones interiores confortables. En este contexto, las personas tienden a ajustar las condiciones del ambiente interior según su confort percibido. Por ello, resulta necesario impulsar medidas que promuevan un uso eficiente de la energía y reduzcan el impacto ambiental asociado al consumo destinado al acondicionamiento térmico [2].

El cálculo de cargas térmicas se entiende como el proceso mediante el cual se determina la cantidad de calor que debe ser extraída o suministrada a un recinto, considerando sus características constructivas y su localización geográfica, con el fin de mantener las condiciones interiores de confort para los ocupantes [3]. Dicho esto, el presente trabajo tiene por objetivo desarrollar un modelo de cálculo de carga térmica y analizar las variables que pueden influir en el consumo de energía eléctrica, contribuyendo también al dimensionamiento de sistemas de climatización en diferentes tipologías edilicias.

## 2. Carga Térmica

Determina la energía necesaria para mantener las condiciones de confort en el interior de un local, permitiendo dimensionar correctamente los equipos de aire acondicionado, calefacción y ventilación [4], lo que contribuye a mejorar la eficiencia energética.

Para el cálculo de la carga térmica de un recinto, se desarrolla un modelo adaptado a las condiciones edilicias locales. En la sección 3 se detallan las bases conceptuales y metodológicas utilizadas para su construcción.

En el recinto, tendremos transferencias de calor procedentes desde el exterior hacia el interior, como el calor recibido a través de ventanas, paredes, techos, suelos, del aire de ventilación o que se infiltra; y cargas producidas en el interior del recinto debido las personas que lo ocupan, iluminación, aparatos eléctricos, de gas o vapor que puedan producir calor, y tuberías de agua caliente [5]. La carga térmica total ( $Q_{total}$ ) se compone de la suma del calor sensible ( $Q_s$ ), y el calor latente ( $Q_L$ ).

$$Q_{total} = Q_s + Q_L \quad (1)$$

El calor sensible ( $Q_s$ ) es aquel que al ingresar en el local genera un aumento en la temperatura del mismo [5]. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_s = Q_r + Q_t + Q_{sv} + Q_{s-p} + Q_{ilum} + Q_{s-eq} \quad (2)$$

donde,  $Q_r$  es el calor sensible por radiación;  $Q_t$  es el calor sensible por transmisión del cerramiento;  $Q_{sv}$  es el calor sensible por ventilación aportado por el aire exterior;  $Q_{s-p}$  es el calor sensible aportado por personas;  $Q_{ilum}$  es el calor sensible aportado por luminarias;  $Q_{s-eq}$  es el calor sensible aportado por equipos eléctricos.

El calor latente ( $Q_L$ ) es el que aporta el vapor de agua de la mezcla de aire pero que no genera una elevación en la temperatura del local [5]. Se calcula a partir de:

$$Q_L = Q_{lv} + Q_{l-p} + Q_{l-eq} \quad (3)$$

donde,  $Q_{lv}$  es el calor latente por ventilación aportado por el aire exterior;  $Q_{l-p}$  es el calor latente aportado por personas;  $Q_{l-eq}$  es el calor latente aportado por equipos eléctricos. Todas las variables relacionadas con Q se expresan en vatios (W).

### 2.1. Carga Térmica por Ventilación Aportado por el Aire Exterior

La carga térmica por ventilación corresponde al calor introducido en el ambiente interior debido al ingreso de aire exterior, ya sea por ventilación forzada o por infiltraciones. Este intercambio genera una ganancia de calor sensible, por diferencia de temperatura, y de calor latente, debido al contenido de humedad del aire.

Durante el verano, se considera al recinto cerrado para evitar pérdidas energéticas. Sin embargo, es necesario renovar el aire interior mediante ventilación, lo que implica introducir aire exterior, que generalmente es más caliente y húmedo. Además, al ingresar aire por ventilación forzada, genera

una sobrepresión dentro del recinto, lo que reduce la entrada de aire exterior por rendijas o infiltraciones. De esta forma, cuando un local dispone de un sistema de aire acondicionado, el aire fluye de adentro hacia afuera y el aire ingresado para ventilación es filtrado, deshumidificado y enfriado hasta alcanzar el estándar requerido [6].

La componente sensible por ventilación ( $Q_{sv}$ ) se calcula como:

$$Q_{sv} = (n_p \cdot c_{vp}) \cdot (c_e / v_e) \cdot (t_e - t_i) \quad (4)$$

donde,  $n_p$  es la cantidad de personas que ocupan el recinto;  $c_{vp}$  es el caudal de aire de ventilación por persona ( $m^3/h$ );  $c_e$  es el calor específico del aire húmedo ( $Wh/kg \cdot ^\circ C$ );  $v_e$  es el volumen específico del mismo aire húmedo ( $m^3/kg$ );  $t_e$  es la temperatura exterior de diseño ( $^\circ C$ );  $t_i$  es la temperatura interior de confort ( $^\circ C$ ).

La componente latente por ventilación ( $Q_{lv}$ ) se calcula como:

$$Q_{lv} = (n_p \cdot c_{vp}) \cdot (\rho / c_v) \cdot (\omega_e - \omega_i) \quad (5)$$

donde,  $\rho$  es la densidad del aire seco ( $kg/m^3$ );  $c_v$  es el calor latente de vaporización de agua ( $Wh/g$ );  $\omega_e$  es la humedad específica del aire exterior ( $g/kg$ );  $\omega_i$  es la humedad específica del aire interior ( $g/kg$ ); el producto entre  $n_p$  y  $c_{vp}$  es la cantidad de aire a renovar ( $C_{ar}$ ).

## 2.2. Carga Térmica por Transmisión del Cerramiento

Es la cantidad de calor que se transfiere a través de los cerramientos de un edificio, tales como muros, techos, pisos, puertas y ventanas, debido a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Este fenómeno ocurre cuando el calor fluye desde una zona más caliente hacia una más fría, atravesando los materiales del cerramiento. Representa una de las principales fuentes de ganancia de calor en el diseño térmico de un local refrigerado y se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$Q_t = \sum q_t \rightarrow q_t = U \cdot A_c \cdot (t_e - t_i) \quad (6)$$

donde,  $U$  es el coeficiente de transmitancia térmica global ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ );  $A_c$  es la superficie del cerramiento ( $m^2$ );  $t_e$  es la temperatura exterior de diseño ( $^\circ C$ );  $t_i$  es la temperatura interior de confort ( $^\circ C$ ).

## 2.3. Carga Térmica por Radiación

Cuando un ambiente cuenta con superficies vidriadas, una parte de la carga térmica se debe a la transferencia de calor por conducción a través del vidrio, y otra proviene de la radiación solar que incide sobre estas superficies, elevando la temperatura en el interior del espacio. Esta ganancia térmica por radiación varía según la hora del día, la época del año, la orientación de los cerramientos y las propiedades del vidrio utilizado. Se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$Q_r = \sum q_r \rightarrow q_r = A_v \cdot I_s \cdot F_{es} \quad (7)$$

)

donde,  $A_v$  es la superficie vidriada ( $m^2$ );  $I_s$  es la radiación solar ( $W/m^2$ );  $F_{es}$  es el factor de protección solar del vidrio.

#### 2.4. Carga Térmica Aportada por Personas

La carga térmica por personas corresponde al calor que los ocupantes transfieren al ambiente interior, según la actividad física que realizan.

La componente sensible ( $Q_{s-p}$ ) se calcula como:

$$Q_{s-p} = n_p \cdot q_{sp} \quad (8)$$

donde,  $n_p$  es la cantidad de personas que ocupan el recinto;  $q_{sp}$  es la disipación de calor sensible por persona según el tipo de actividad (W).

La componente latente ( $Q_{l-p}$ ) se calcula como:

$$Q_{l-p} = n_p \cdot q_{lp} \quad (9)$$

donde,  $q_{lp}$  es la disipación de calor latente por persona según el tipo de actividad (W).

#### 2.5. Carga Térmica Aportada por Iluminación

La carga térmica por luminarias corresponde al calor generado por los sistemas de iluminación artificial, el cual se transfiere al ambiente interior durante su funcionamiento. Esta carga se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$Q_{ilum} = n_l \cdot P_{ilum} \quad (10)$$

donde,  $n_l$  es la cantidad de artefactos de iluminación semejantes;  $P_{ilum}$  es la potencia del artefacto de iluminación (W).

#### 2.6. Carga Térmica Aportada por Equipos Eléctricos

La carga térmica por equipos eléctricos es el calor generado por el funcionamiento de dispositivos presentes en el ambiente interior. Este calor se transfiere al recinto en forma de calor sensible o latente, dependiendo del tipo de equipo.

La componente sensible ( $Q_{s-eq}$ ) se calcula como:

$$Q_{s-eq} = n_{eq} \cdot P_{s-eq} \quad (11)$$

donde,  $n_{eq}$  es la cantidad de equipos o artefactos semejantes;  $P_{s-eq}$  es la potencia del artefacto o equipo para el calor sensible (W).

La componente latente ( $Q_{l-eq}$ ) se calcula como:

$$Q_{l-eq} = n_{eq} \cdot P_{l-eq} \quad (12)$$

donde,  $P_{l-eq}$  es la potencia del artefacto o equipo para el calor latente (W).

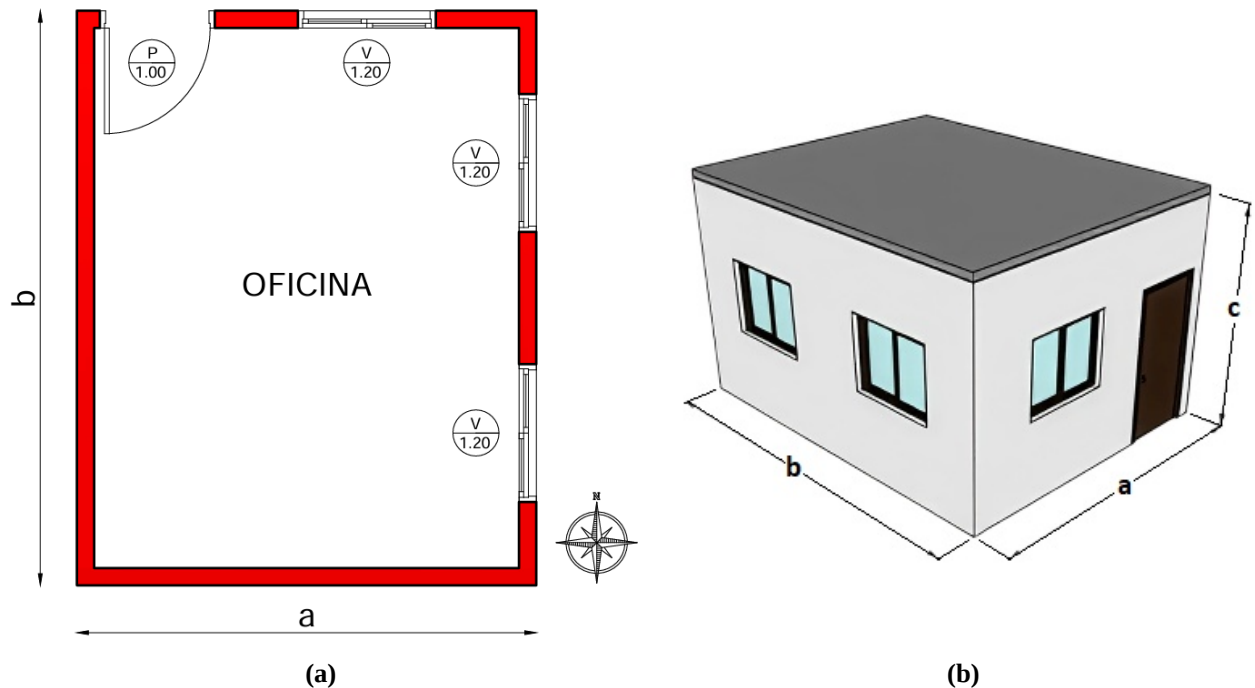
### 3. Procedimiento del Cálculo

Se realiza un modelo de cálculo de carga térmica que será utilizado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones de Oberá, basado en el procedimiento del modelo de sistemas de climatización: balance térmico de verano [5] y en el modelo de ahorro de energía en refrigeración [6].

Este modelo contempla tanto variables independientes o constantes, como variables dependientes, con el objetivo de analizar cómo se comporta la carga térmica del recinto al modificar determinados parámetros.

#### 3.1. Datos Recolectados

El recinto a estudiar será una oficina, ubicada en la ciudad de Oberá, Misiones, considerando en su orientación norte una puerta (P) de  $2,1 \text{ m}^2$  y una ventana (V) de  $1,2 \text{ m}^2$ , en la orientación este tendrá 2 ventanas (V) de  $1,2 \text{ m}^2$  cada una, mientras que en el sur y oeste solamente muro.



**Fig. 1.** Representación del recinto. **(a)** Planta. **(b)** Perspectiva.

Las dimensiones del ancho (a) y del largo (b) del recinto serán variables, adoptando valores estándar entre 4 m y 10 m. En cuanto a la altura hasta el cielorraso (c), se establece un valor constante de 3 m, correspondiente a una medida típica de oficina.

### 3.1.1. Variables para Carga Térmica por Ventilación

Considerando una presión atmosférica ( $P_{atm}$ ) de 101325 Pa, se establecen las condiciones interiores correspondientes al nivel de confort higrotérmico recomendado para oficinas. De acuerdo con la Tabla 1 de la Norma IRAM 11659-1 [7], la temperatura de bulbo seco interior ( $T_{bs_{int}}$ ) es de 23 °C y la humedad relativa interior ( $HR_{int}$ ) es del 50 %. A partir de estos parámetros y mediante el uso del diagrama psicrométrico, se determinaron los siguientes valores: humedad específica del aire interior ( $\omega_i$ ), calor específico del aire húmedo ( $c_e$ ), el volumen específico de la misma mezcla de aire ( $v_e$ ), y la densidad del aire seco ( $\rho$ ). Dichos valores se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 1 - Valores obtenidos para las condiciones interiores**

| Condiciones Interiores                                                                        | Valores Obtenidos |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|
| $P_{atm} = 101325 \text{ Pa}$<br>$T_{bs_{int}} = 23 \text{ °C}$<br>$HR_{int} = 50 \text{ \%}$ | $\omega_i$        | 8,782 g/kg     |
|                                                                                               | $c_e$             | 0,283 Wh/kg.°C |
|                                                                                               | $v_e$             | 0,851 m³/kg    |
|                                                                                               | $\rho$            | 1,175 kg/m³    |

A continuación, se consideró el calor latente de vaporización del agua ( $c_v$ ), adoptando un valor de 540 cal/g correspondiente a una temperatura de 100°C [8]. Para garantizar la compatibilidad con las unidades utilizadas en el cálculo, dicho valor fue convertido a 0,6276 Wh/g.

Para las condiciones exteriores, se toman datos meteorológicos del mes más cálido (enero), con una temperatura media (TDMX) de 32,5 °C [9] y una humedad relativa media ( $HR_{med}$ ) de 78 % [10].

A partir de estos valores, mediante el uso del diagrama psicrométrico, se determinaron los siguientes valores: humedad específica del aire exterior ( $\omega_e$ ), temperatura exterior de diseño ( $t_e$ ), y humedad relativa exterior ( $HR_{ext}$ ). Conociendo  $t_e$ , mediante la Tabla 2 de la Norma IRAM 11659-1 [7], se obtiene la temperatura interior de confort ( $t_i$ ) según el nivel de confort higrotérmico recomendado. Los valores obtenidos se presentan en la tabla siguiente.

**Tabla 2 - Valores obtenidos para las condiciones exteriores**

| Condiciones Interiores                                                                  | Valores Obtenidos |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|
| $P_{atm} = 101325 \text{ Pa}$<br>$TDMX = 32,5 \text{ °C}$<br>$HR_{med} = 78 \text{ \%}$ | $\omega_e$        | 24,454 g/kg |
|                                                                                         | $t_e$             | 38 °C       |
|                                                                                         | $HR_{ext}$        | 57,573 %    |
|                                                                                         | $t_i$             | 26 °C       |

La cantidad de personas ( $n_p$ ), se determina como el cociente entre la superficie del local y la superficie asignada por persona, de acuerdo con el destino del local. Este valor se obtiene de la Tabla 6 de la Norma IRAM 11659-1 [7]. Para oficinas, el valor de referencia es de 4 m²/pers. En todos los casos, se considera un mínimo de dos personas como criterio de base.

El valor del caudal de aire de ventilación por persona ( $c_{vp}$ ), se obtiene de la Tabla 8 de la Norma IRAM 11659-1 [7] en función del destino del local. Para el caso de oficinas, el valor recomendado es de 15 m³/h correspondiente a la condición de verano/invierno.

Para estudiar la variación de la carga térmica, se consideran tres escenarios de temperatura exterior: 26 °C, 30 °C y 40 °C. La temperatura de 26 °C fue seleccionada por coincidir con la temperatura interior de confort establecida para el recinto. La temperatura de 30 °C representa un valor intermedio dentro del rango analizado. Finalmente, se adopta una temperatura de 40 °C como

escenario extremo, ya que se aproxima al máximo histórico registrado en la provincia de Misiones, donde en el año 2022 se alcanzaron temperaturas cercanas a los 42,5 °C [11].

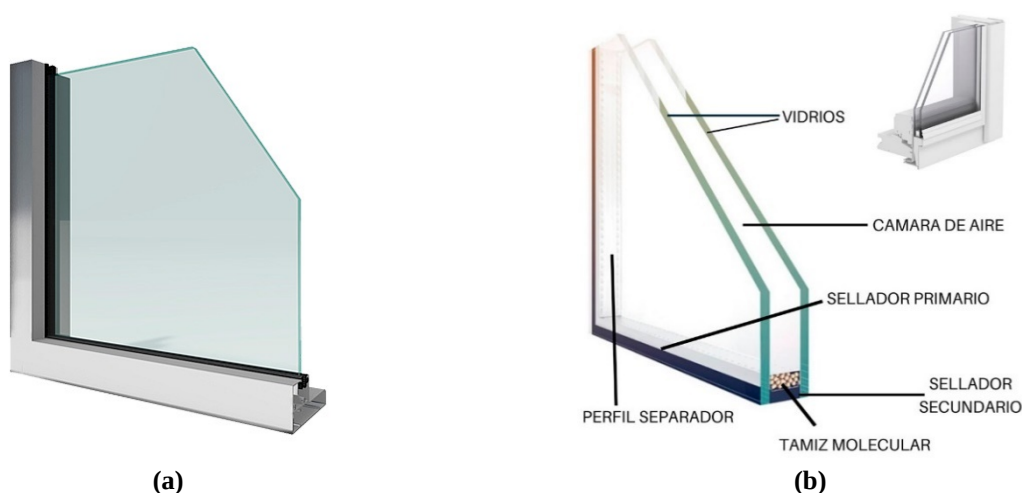
### 3.1.2. Variables para Carga Térmica por Transmisión del Cerramiento

El coeficiente de transmitancia térmica global (U) de los muros se determina mediante la suma de los coeficientes de cada capa constructiva según los valores establecidos en la Norma IRAM 11601 [12]. En este caso, se considera que los muros no poseen aislación térmica y presentan revoque a la cal en ambas caras. Los valores adoptados se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 3 - Coeficientes de transmitancia térmica global para muros**

| Muros |                                                | U (W/m <sup>2</sup> .°K) |
|-------|------------------------------------------------|--------------------------|
| M1    | De Ladrillo Común Macizo, con espesor de 12 cm | 2,862                    |
| M2    | De Ladrillo Hueco de 12x18x25cm                | 1,732                    |
| M3    | De Ladrillo Hueco de 18x18x25cm                | 1,594                    |

Para el estudio se adoptan ventanas de vidrio simple y ventanas de doble vidriado hermético (DVH).



**Fig. 2.** Tipos de ventanas utilizadas en el análisis. **(a)** Vidrio simple [13]. **(b)** DVH [14].

Los coeficientes de U para las ventanas V1, V2 y V3 se obtienen a partir de los valores establecidos en la Norma IRAM 11601 [12]. En el caso de las ventanas V4 y V5 se obtuvieron de un catálogo técnico de fabricante [15]. Las características de cada ventana y los valores adoptados se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 4 - Coeficientes de transmitancia térmica global para vidrios**

| Ventanas |                                                  | U (W/m <sup>2</sup> .°K) |
|----------|--------------------------------------------------|--------------------------|
| V1       | Vidrio Incoloro Común 4mm                        | 5,8                      |
| V2       | DVH, 2 Vidrios de 3mm + 1 Cámara de Aire de 6mm  | 3,23                     |
| V3       | DVH, 2 Vidrios de 3mm + 1 Cámara de Aire de 12mm | 3,08                     |
| V4       | DVH, 2 Vidrios de 4mm + 1 Cámara de Aire de 9mm  | 3                        |
| V5       | DVH, 2 Vidrios de 4mm + 1 Cámara de Aire de 12mm | 2,8                      |

Se adoptan tres tipos de puertas para el análisis. Los valores se adoptados se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 5 - Coeficientes de transmitancia térmica global para puertas**

| Puertas |                                                         | U (W/m <sup>2</sup> .°K) |
|---------|---------------------------------------------------------|--------------------------|
| P1      | Puerta de madera maciza con marco de aluminio anodizado | 4,5 [6]                  |
| P2      | Puerta tipo blindex                                     | 5,6 [5]                  |
| P3      | Puerta de Chapa o Aluminio                              | 6 [16]                   |

Para el techo (T), se adopta un sistema constructivo compuesto de viguetas pretensadas y bovedillas de EPS, sin aislación térmica. El coeficiente de  $U$  considerado es de 1,15 W/m<sup>2</sup>.°K, determinado mediante la suma de los coeficientes de cada capa constructiva, conforme a los valores establecidos en la Norma IRAM 11601 [12].

En cuanto al piso, su contribución a la carga térmica se considera despreciable por estar en contacto directo con el terreno natural, el cual actúa como regulador térmico, manteniendo una temperatura relativamente constante [6].

Los valores de temperatura exterior ( $t_e$ ) e interior ( $t_i$ ) corresponden a los mismos utilizados en el cálculo de la carga térmica por ventilación.

### 3.1.3. Variables para Carga Térmica por Radiación

Para la superficie vidriada ( $A_v$ ) se considera el área correspondiente al hueco de la pared donde se encuentra instalada la puerta o ventana. Las paredes y techos se consideran despreciables frente a las cargas térmicas generadas por superficies vidriadas [5]. Para este estudio, se adopta una superficie de 1,2 m<sup>2</sup> para cada una de las ventanas y 2,1 m<sup>2</sup> para cada una de las puertas.

La zona bioambiental correspondiente a la ciudad de Oberá es la Ib, según lo establecido en la Norma IRAM 11603 [17] y en la Tabla 9 de la Norma IRAM 11659-1 [7].

A partir de esta clasificación, los valores de incidencia solar ( $I_s$ ) se obtienen mediante la Tabla 10b de la Norma IRAM 11659-1 [7]. Como criterio general, se utilizan los valores correspondientes a las 13 h, por tratarse del horario de mayor ganancia solar. Para estudiar la variación horaria, también se consideran los valores correspondientes a las 8 h, 10 h y 16 h. Los valores utilizados, extraídos de la norma, se resumen a continuación.

**Tabla 6 - Datos de radiación solar total para la zona bioambiental "Ib"**

| Hora | Valores de $I_s$ (W/m <sup>2</sup> ) |      |       |       |
|------|--------------------------------------|------|-------|-------|
|      | Sur                                  | Este | Norte | Oeste |
| 8    | 208                                  | 486  | 166   | 166   |
| 10   | 252                                  | 437  | 272   | 252   |
| 13   | 276                                  | 276  | 312   | 371   |
| 16   | 208                                  | 166  | 166   | 486   |

El factor de exposición solar ( $F_{es}$ ) tanto para ventanas sin protecciones solares (S/P.S.) como para aquellas con protecciones solares (C/P.S.), correspondientes a V1, V2 y V3, se obtiene a partir de la Tabla 13 de la Norma IRAM 11659-1 [7]. Para el caso de V4 y V5 se adopta un valor de 0,8 [18] y un factor de protección solar igual a 0,5 lo cual representa la implementación de un sistema capas de reducir aproximadamente a la mitad la incidencia de la radiación solar sobre las superficies vidriadas [8]. Los valores adoptados se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 7 - Factores de exposición solar adoptados**

| Tipos de Vidrio |                                                  | F <sub>es</sub> |        |
|-----------------|--------------------------------------------------|-----------------|--------|
|                 |                                                  | S/P.S.          | C/P.S. |
| V1              | Vidrio Incoloro Común 4mm                        | 0,98            | 0,55   |
| V2              | DVH, 2 Vidrios de 3mm + 1 Cámara de Aire de 6mm  | 0,88            | 0,49   |
| V3              | DVH, 2 Vidrios de 3mm + 1 Cámara de Aire de 12mm | 0,88            | 0,49   |
| V4              | DVH, 2 Vidrios de 4mm + 1 Cámara de Aire de 9mm  | 0,80            | 0,30   |
| V5              | DVH, 2 Vidrios de 4mm + 1 Cámara de Aire de 12mm | 0,80            | 0,30   |

Para el cálculo base de la carga térmica se consideran las ventanas sin protecciones solares (S/P.S.). Posteriormente, en el análisis de variaciones, se evalúa el efecto de incorporar protecciones solares (C/P.S.) en distintas configuraciones: únicamente en la orientación este, únicamente en la orientación norte, y en todas las orientaciones.

#### 3.1.4. Variables para Carga Térmica por Personas

Para estudiar la variación de la carga térmica, se contemplan tres escenarios: una ocupación mínima de 2 personas, y situaciones de mayor densidad, como reuniones, con 10 y 15 personas.

La disipación de calor por persona, tanto en su componente sensible ( $q_{sp}$ ) como en la componente latente ( $q_{lp}$ ) se determina según el tipo de actividad, conforme a los valores establecidos en la Tabla 12 de la Norma IRAM 11659-1 [7]. En este caso, la actividad prevista corresponde a trabajo de oficina con cierta actividad, para la cual se considera un valor de  $q_{sp}$  de 47 W y  $q_{lp}$  de 52 W.

#### 3.1.5. Variables para Carga Térmica por Iluminación

La potencia del artefacto de iluminación ( $P_{ilum}$ ) se determina como el producto entre la superficie del local y la energía térmica generada por la luminaria. Este último valor, se obtiene de la Tabla 4 de la Norma IRAM 11659-1 [7] en función del nivel de iluminación requerido, el tipo de luminaria y destino del recinto.

Se adopta un nivel de iluminación de 500 lx para oficinas, de acuerdo con lo recomendado por la norma mencionada para este tipo de espacios. Si bien la tabla proporciona valores para luminarias fluorescentes, se adopta dicho valor por ser el más bajo disponible para oficinas. No obstante, considerando que la tecnología LED presenta una mayor eficiencia energética, se aplica un factor de reducción sobre la energía térmica emitida por las luminarias fluorescentes. Por tal motivo, se adopta un valor de 10 W/m<sup>2</sup> de energía térmica para el cálculo de la carga sensible generada por las luminarias LED.

La cantidad de luminarias ( $n_l$ ) se determina mediante la siguiente expresión [19].

$$n_l = (A \cdot n_{ilum}) / \varphi \quad (13)$$

donde, A es la superficie del local (m<sup>2</sup>);  $n_{ilum}$  es el nivel de iluminación adoptado (lx);  $\varphi$  es el flujo luminoso de la luminaria (lm).

Para el estudio de la carga térmica generada por iluminación, se considera el uso de luminarias tipo plafón LED de 24 W, con un valor de  $\varphi$  de 1440 lm.

#### 3.1.6. Variables para Carga Térmica por Artefactos o Equipos Eléctricos

La cantidad de artefactos o equipos eléctricos ( $n_{eq}$ ) considerados para la oficina incluye una cafetera, una impresora tipo láser y una fotocopidora. Esta cantidad se mantiene constante, independientemente de la variación en la superficie del local.

Adicionalmente, se supone que cada persona dispone de una computadora de escritorio.

Los valores de potencia asociados a cada equipo, tanto para calor sensible ( $P_{s-eq}$ ) como para calor latente ( $P_{l-eq}$ ), se obtiene de la Tabla 7 de la Norma IRAM 11659-1 [7]. Dichos valores se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 8 - Valores de potencia de artefactos o equipos eléctricos adoptados**

| $n_{eq}$            | Equipo Eléctrico          | $P_{s-eq}$ (W) | $P_{l-eq}$ (W) |
|---------------------|---------------------------|----------------|----------------|
| 1                   | Cafetera                  | 230            | 60             |
| 1                   | Impresora Tipo Láser      | 450            | 0              |
| 1                   | Fotocopidora              | 500            | 0              |
| En Función de $n_p$ | Computadora de Escritorio | 200            | 0              |

#### 4. Desarrollo de Cálculo

Inicialmente, se analiza qué combinación de materiales nos dará mayor carga térmica (caso más crítico) y cuál nos dará menor carga térmica (caso más favorable). Para ello, se determina la carga térmica total para distintas configuraciones de componentes constructivos, ya que, una vez construido el recinto, dichas variables no pueden ser modificadas.

A continuación, se evalúa la carga térmica total en función de la superficie del recinto. Posteriormente, se realizan pruebas univariantes, en las que se modifica una variable a la vez, manteniendo constantes las restantes, con el fin de analizar su incidencia individual en el comportamiento térmico global.

A partir de los resultados obtenidos, se busca identificar los factores con mayor impacto en la eficiencia energética, contribuyendo así al dimensionamiento de sistemas de climatización en diferentes tipologías edilicias.

##### 4.1. Determinación del Caso Crítico y Favorable

Se adopta un caso de referencia, el cual se determina la carga térmica total considerando una superficie de  $20 \text{ m}^2$ , con una  $I_s$  correspondiente a las 13 h, sin protecciones solares y los valores asignados a las variables V1, M1 y P1.

A partir de este escenario, se inicia el análisis variando el tipo de vidrio, mientras se mantienen constantes las demás variables. Luego, se aplica el mismo procedimiento para evaluar la influencia del tipo de muro y, posteriormente, del tipo de puerta. Comparando los valores finales de carga térmica, se determina cuál será el caso más crítico y cuál el más favorable.

##### 4.2. Determinación de la Carga Térmica en Función de la Superficie

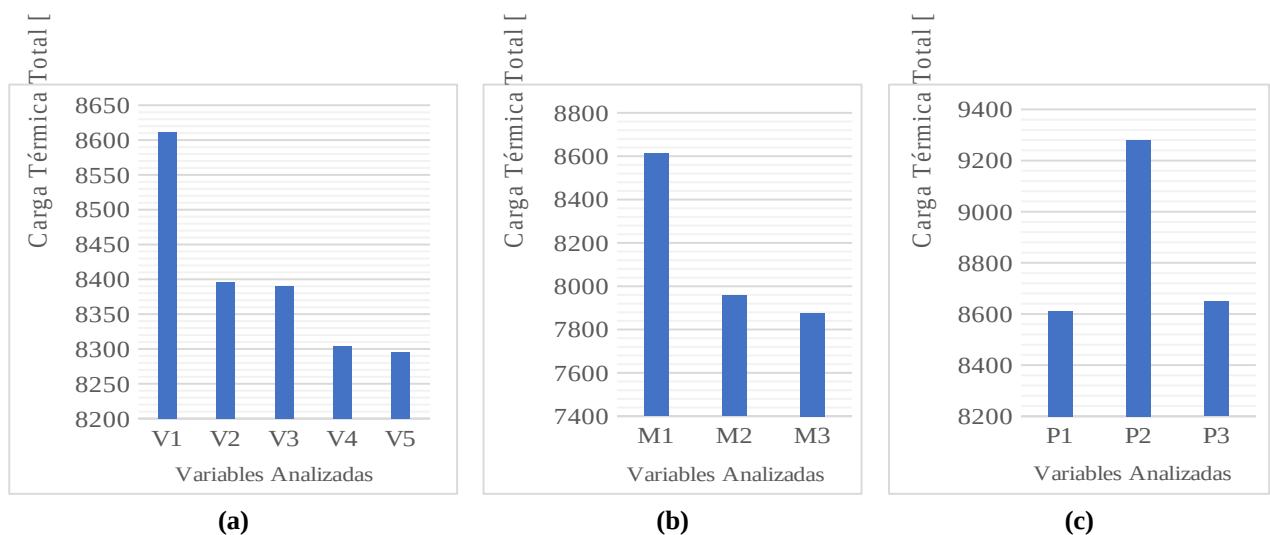
Una vez determinada la combinación de variables que representan el caso más crítico y el más favorable, se procede a calcular la carga térmica para cada uno de ellos, considerando diferentes superficies posibles para la oficina. En ambos escenarios, se adopta un valor de  $I_s$  correspondiente a las 13 h, sin protecciones solares.

#### 4.3. Determinación de las Variaciones de la Carga Térmica

Con referencia al caso más crítico y al caso más favorable, se analizan distintos escenarios mediante un estudio univariable, en el cual se modifica una sola variable a la vez, manteniendo constantes las restantes. Para todos los casos, se considera una superficie fija de  $20\text{ m}^2$ . Las variables consideradas en este análisis son: la incidencia solar ( $I_s$ ), la exposición solar ( $F_{es}$ ), la cantidad de personas ( $n_p$ ) y la temperatura exterior ( $t_e$ ).

### 5. Análisis de Resultados

#### 5.1. Determinación del Caso Crítico y Favorable

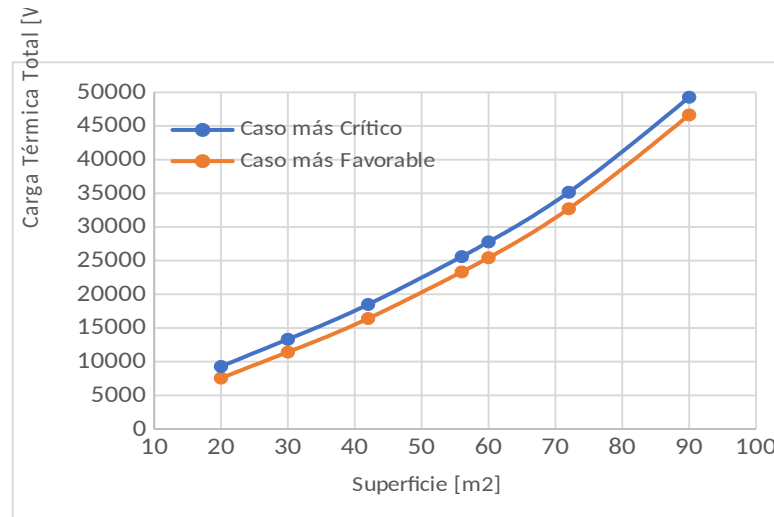


**Fig. 3.** Variaciones de la carga térmica para distintas combinaciones. **(a)** Tipo de vidrio. **(b)** Tipo de muro. **(c)** Tipo de puerta.

Se identifica como caso más crítico (Caso 1) la combinación de V1, M1 y P2, mientras que el caso más favorable (Caso 2) corresponde a la combinación V5, M3, P1, al tratarse de las configuraciones que aportan menor carga térmica.

#### 5.2. Determinación de la Carga Térmica en Función de la Superficie

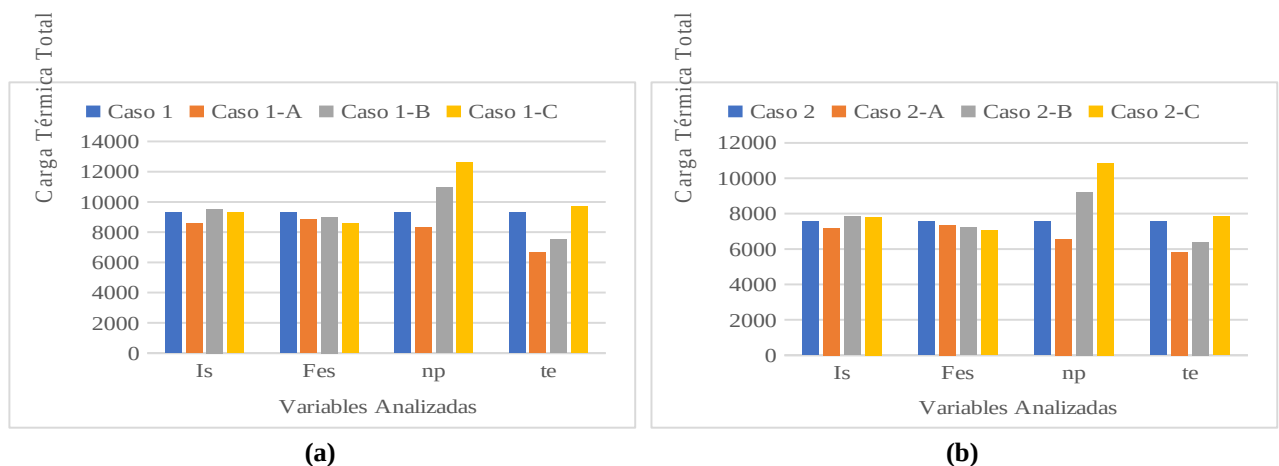
En la Fig. 2 se muestra la variación de la carga térmica con la superficie. Se observa que el caso más crítico, correspondiente a la combinación de V1, M1 y P2, representa el límite superior, mientras que el caso más favorable, correspondiente a la combinación de V5, M3 y P1, define el límite inferior. Por lo tanto, la carga térmica total para cualquier otra combinación de los materiales analizados se ubicará dentro del rango comprendido entre ambas curvas límite.



**Fig. 2.** Carga térmica en función de la superficie.

### 5.3. Determinación de las Variaciones de la Carga Térmica

En la Fig. 4 se muestra las variaciones de la carga térmica total según las variables analizadas. Se observa que la cantidad de personas ( $n_p$ ) y la temperatura exterior ( $t_e$ ) son las variables que generan mayores variaciones en la carga térmica total. En contraste, las variables relacionadas con la radiación solar ( $I_s$ ) y la exposición ( $F_{es}$ ) produjeron variaciones de menor magnitud, aunque no despreciables.



**Fig. 4.** Variaciones de la carga térmica total según las variables analizadas. **(a)** Para el caso más crítico. **(b)** Para el caso más favorable.

## 6. Conclusiones

En este trabajo se desarrolló un modelo de cálculo de carga térmica, a partir de una revisión del estado del arte y se analizó, mediante un enfoque paramétrico, el impacto de distintas variables sobre el comportamiento térmico de una oficina ubicada en la ciudad de Oberá.

Los resultados obtenidos, permitieron identificar que la combinación constructiva compuesta por vidrio incoloro común 4mm (V1), muro de ladrillo común macizo de 12 cm de espesor (M1), y

puerta tipo blindex (P2) genera la mayor carga térmica. En contraste, el uso de ventanas DVH con doble vidrio de 4mm y cámara de aire de 12mm (V5), muro de ladrillo hueco de 18x18x25cm (M3), y puerta de madera maciza con marco de aluminio anodizado (P1), representa el caso más favorable. Estos escenarios establecen los límites dentro de los cuales se encontrarán las demás configuraciones posibles. En este sentido, el diseño constructivo y la selección adecuada de materiales son claves para reducir la demanda energética sin afectar el confort térmico.

Se observó que la carga térmica total crece de forma no lineal con la superficie del recinto, debido a que algunas cargas aumentan proporcionalmente, mientras que otras, como  $Q_r$ ,  $Q_t$  para puertas y ventanas y algunas cargas térmicas debido a equipos eléctricos, se mantienen constantes.

Entre las variables analizadas para una superficie de 20 m<sup>2</sup>, la temperatura exterior y la cantidad de personas demostraron tener mayor influencia sobre la carga térmica total, mientras que la radiación solar y la exposición solar presentaron un impacto menor. Las variaciones de carga térmica se ubicaron entre 8287 W y 12595 W para el caso más crítico, y entre 5829 W y 10874 W para el caso más favorable.

Con base en estos valores, es posible dimensionar los equipos de refrigeración a instalar, de manera que su potencia frigorífica sea igual o ligeramente superior a la carga de refrigeración obtenida. Para el caso crítico, se requerirá un equipo (o varios) que cubra aproximadamente 10830 frigorías, mientras que, para el caso más favorable, se requerirá una capacidad cercana a 9350 frigorías.

Como trabajo futuro, se propone analizar el impacto del volumen interior del recinto sobre la carga térmica, considerando la influencia que puede tener la altura del cielorraso en el comportamiento térmico y en la demanda energética de climatización.

## 7. Referencias

- [1] International Energy Agency (IEA), “The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning”, 2018. Accedido: Julio 13, 2025 [Online]. Disponible en: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The\\_Future\\_of\\_Cooling.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The_Future_of_Cooling.pdf)
- [2] Secretaría de Energía de la Nación, “Acondicionamiento térmico en el sector residencial”, 2019. Accedido: Julio 13, 2025 [Online]. Disponible en: [https://www.eficienciaenergetica.net.ar/img\\_publicaciones/04271458\\_02.SectorResidencial-AcondicionamientoTrmico.pdf](https://www.eficienciaenergetica.net.ar/img_publicaciones/04271458_02.SectorResidencial-AcondicionamientoTrmico.pdf)
- [3] IES CONSABURUM, “Manual de Cálculo de Cargas Térmicas”, 2015. Accedido: Julio 13, 2025 [Online]. Disponible en: <https://renovablesconsaburum.files.wordpress.com/2015/09/tem2-cc3a1lculo-de-cargas-tc3a9rmicas.pdf>
- [4] Blog Soler & Palau, “Cálculo de cargas térmicas: conceptos básicos y métodos”, 2025. Accedido: Julio 13, 2025 [Online]. Disponible en: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/calculo-cargas-termicas/>
- [5] J. D. Czajkowski. “Sistemas de Climatización: Balance Térmico de Verano”. Universidad Nacional de la Plata, 2018. Accedido: Junio 24, 2025 [Online]. Disponible en: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/84465>
- [6] J. D. Czajkowski. “Modelo de ahorro de energía en refrigeración. Aplicable a edificios del sector terciario: viviendas, administración, oficinas, comercios, educación y salud”. Universidad Nacional de la Plata, 2004. Accedido: Mayo 13, 2025 [Online]. Disponible en: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79621>
- [7] Aislamiento térmico de edificios, verificación de sus condiciones higrotérmicas, ahorro de energía en refrigeración. Norma IRAM 11659-1, 2007.
- [8] Khan Academy, “Capacidad calorífica, calor de vaporización y densidad del agua”. Accedido: Julio 13, 2025

- [Online]. Disponible en: <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/chemistry-of-life/structure-of-water-and-hydrogen-bonding/a/specific-heat-heat-of-vaporization-and-freezing-of-water#:~:text=Es%20decir%2C%20el%20agua%20tiene,punto%20de%20ebullici%C3%B3n%20del%20agua>
- [9] Servicio Meteorológico Nacional, “Monitoreo Climático”. Accedido: Julio 13, 2025 [Online]. Disponible en: <https://www.smn.gob.ar/clima/vigilancia>
  - [10] Weather Atlas, “Enero pronóstico del tiempo, Oberá, Argentina”. Accedido: Julio 13, 2025 [Online]. Disponible en: <https://www.weather-atlas.com/es/argentina/obera-el-tiempo-en-enero>
  - [11] El Territorio. Accedido: Julio 23, 2025 [Online]. Disponible en: <https://www.eltterritorio.com.ar/noticias/2022/01/25/735529-con-los-425-grados-de-temperatura-registrados-el-lunes-misiones-batio-un-record-historico-de-calor>
  - [12] Aislamiento térmico de edificios, métodos de cálculo. Norma IRAM 11601, 2004.
  - [13] Carpeal, “R640 Fusion”. Accedido: Julio 23, 2025 [Online]. Disponible en: <https://www.carpeal.com/productos/sistemas-de-carpinteria/hydro/r640/>
  - [14] Oeste DVH. Accedido: Julio 23, 2025 [Online]. Disponible en: <https://www.oestedvh.com.ar/>
  - [15] Ekoglass, “Aislación Térmica”. Accedido: Julio 13, 2025 [Online]. Disponible en: <https://www.ekoglass.com.ar/aislacion-termica/>
  - [16] A. Gómez, J. Czajkowski, C. Ferreyro, “Calidad higrotérmica de cerramientos verticales y horizontales, Sustentabilidad y Economía Energética Edilicia”, 2016. Accedido: Julio 13, 2025 [Online]. Disponible en: [http://www.arquinstal.com.ar/2016/n1\\_02\\_16\\_calidad%20termica.pdf](http://www.arquinstal.com.ar/2016/n1_02_16_calidad%20termica.pdf)
  - [17] Acondicionamiento térmico de edificios, clasificación bioambiental. Norma IRAM 11603, 1996.
  - [18] Revista Ventana, “Ekoglass”. Accedido: Julio 13, 2025 [Online]. Disponible en: <https://guia-ventana.com.ar/ekoglass-todo-lo-que-tenes-que-saber-sobre-el-dvh-en-40-minutos-parte-1/>
  - [19] Omni Calculator, “Calculadora de Iluminación”. Accedido: Julio 13, 2025 [Online]. Disponible en: <https://www.omnicalculator.com/es/vida-cotidiana/calculadora-iluminacion>