

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE LA CARGA TÉRMICA NECESARIA DE ACUERDO AL TAMAÑO DE LA CÁMARA DE REFRIGERACIÓN, UTILIZANDO QT CREATOR.

M. Juarez-Zuñiga¹, J.A. Rojas-Estrada¹, M.A. Ochoa-Villegas^{*1}
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Posgrado en Ingeniería

¹Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Nuevo León, Av. Eloy Cavazos 2001,
Guadalupe, N.L. 67170, Tel. 81 8157 0500

*Autor de correspondencia: miguel.angel.ochoa@itnl.edu.mx
juarez_mitzy@hotmail.es

RESUMEN.

El cálculo de carga térmica puede ser realizado de diferentes maneras, desde aproximaciones de rango hasta cálculos manuales cuyo nivel de complejidad depende únicamente del nivel de precisión que se desee. Este trabajo se enfoca en proveer de una herramienta que permita calcular la carga térmica para diferentes tamaños de espacios, pudiendo modelar desde la ubicación y orientación, y todas las variables existentes. El modelo matemático que se utilizó fue extraído de una revisión intensiva de la literatura y se validó con diferentes publicaciones. La contribución es la integración de una plataforma sencilla de cálculo de carga térmica programada en *QT creator*, y el cuál nos dará el calor total a extraer para ser tomado como valor de referencia al momento de diseñar una cámara de refrigeración. Los resultados obtenidos utilizando la plataforma encajan con la capacidad instalada de refrigeración de un salón y una oficina de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Nuevo León.

Palabras Clave: carga térmica, cámara de refrigeración, programa

ABSTRACT

The calculation of thermal loads can be done in different ways, from range approximations to manual calculations whose level of complexity depends only on the precision desired. This work provides a tool to perform thermal load calculations for different sizes, being able to model from the location and orientation, and all the variables required. The mathematical model used was determined from an extensive search of literature review and validated using different papers. The main contribution is the integration of a thermal load simple platform programmed in *QT creator*, which will be designed with the necessary tools to calculate the total heat to extract, and after that to be used as a reference to implement cooling chambers. Results obtained using the platform match with the installed cooling capacity inside a classroom and an office of Instituto Tecnológico de Nuevo León.

Keywords: thermal load, cooling chamber, program

1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales etapas en el diseño de la instalación de una cámara de refrigeración y aire acondicionado es el cálculo de las cargas térmicas, lo cual permite conocer que equipo debe ser utilizado dando las dimensiones necesarias para ser instaladas en dichos espacios, que serán para la generación de

calor y frío. Dado la importancia que presenta esta etapa, es necesario seleccionar un buen método. En este trabajo se presentan las características fundamentales que deben ser utilizadas, con el objetivo de analizar las variables críticas [1].

Cuando se habla de cálculos de carga térmica se tiene en cuenta la dificultad y el tiempo que se invierte para realizar dicho cálculo; pero con la evolución de la tecnología ahora estos cálculos pueden ser automatizados para una obtención más rápida y precisa de los resultados. Esto se debe gracias a los programas que se van desarrollando como, por ejemplo: Byron desarrolla el programa QCALC 1.0 donde se estructura una salida de datos y resultados en una hoja común de Excel y pantallas de entrada de datos de tipo *Userform* de *Visual Basic* [2]. El programa, QCALC 1.0, calcula también la carga térmica, y sus resultados los arroja en una tabla de Excel, la desventaja que tiene es que no tiene la opción de componentes que deben ser empleados para extraer el calor de la cámara de refrigeración. El programa propuesto en este artículo nos permite obtener el calor total a extraer de la cámara de refrigeración utilizando un software más amigable, como lo es el *Qt creator*, ya que permite trabajar con Python y C++. Una de sus principales ventajas es que es compatible con *Windows* y *Macbook*; además, la interfaz está diseñada para proporcionar los componentes a utilizar para un adecuado diseño de capacidad de refrigeración. El modelo matemático de los componentes incluye el cálculo de la carga térmica de las siguientes definiciones: calor sensible, calor latente y calor total.

El artículo está distribuido de la siguiente manera: en la sección 2 se muestran las ecuaciones empleadas para el cálculo de carga térmica. En la sección 3, se muestran los experimentos y resultados a través de la validación del modelo matemático, plasmando la información de los ejercicios ocupados. En la sección 4 se explica el desarrollo de la interfaz en el software de *Qt creator*. Finalmente, la sección 5 provee la conclusión de esta publicación.

2. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

Para su realización, se propone un modelo matemático, el cual permitirá al usuario conocer el total de calor a extraer, de manera que este pueda ser utilizado para otro tipo de aplicación.

Este modelo proporciona:

- Carga térmica sensible.
- Carga térmica latente.
- Carga térmica total.

La carga térmica sensible, se refiere al calor absorbido por un cuerpo o sustancia, que resulta en un aumento de la temperatura, sin que ocurra algún cambio de fase [3, 4, 5, 6]. La carga térmica latente, es el calor absorbido por un cuerpo o sustancia el cual provoca un cambio de fase, pero no un aumento significativo de temperatura [7, 4, 5, 6]. La carga térmica total es la suma de calor de un cuerpo o sustancia obtenida a través de la carga térmica sensible y latente.

2.1. Carga térmica sensible

El modelo matemático utilizado para la carga térmica sensible (QS), está dada por la ecuación (1), en la cual se observa que está compuesta por cinco elementos que son parte fundamental.

$$QS = Qsr + Qsrt + Qst + Qsi + Qsai \quad (1)$$

El calor por radiación solar a través de cristal (Qsr), la cual permite obtener el calor que transmite un vidrio, está dada por la ecuación (2).

$$Qsr = R * A * Fcr * Fat * Falm \quad (2)$$

donde, R , es la radiación solar (w/m^2), A es la superficie de la ventana (m^2), Fcr es el factor de corrección de la radiación solar, Fat el factor de atenuación por personas u otros elementos, $Falm$ es el factor de almacenamiento en las estructuras del edificio.

El calor por transmisión y radiación a través de techos y paredes ($Qsrt$), está dada por la ecuación (3).

$$Qsrt = K * A * DET \quad (3)$$

donde, K es el coeficiente de transmisión térmica del cerramiento ($w/m^2 \text{ } ^\circ C$), A la superficie del cerramiento (m^2), DET diferencia equivalente de temperatura ($^\circ C$).

El calor por transmisión a través de paredes, techos, suelos y ventanas (Qst), está dada por la ecuación (4).

$$Qst = S * K * \Delta T \quad (4)$$

donde, S es la superficie del cerramiento interior (m^2), K es de nuevo el coeficiente de transmisión térmica de cerramiento

($w/m^2 \text{ } ^\circ C$), ΔT es la diferencia de la temperatura interna y externa del diseño del local ($^\circ C$).

Otra variable por considerar es el calor sensible por infiltraciones de aire exterior (Qsi), las cual está dada por la siguiente ecuación (5):

$$Qsi = V * N * 0.33 * (Te - Ti) \quad (5)$$

donde, " V ", es el volumen del espacio (m^3), " 0.33 " es la constante que resulta de multiplicar el el calor específico del aire húmedo y el volumen específico de la misma mezcla de aire ($kcal/m^3 \text{ } ^\circ C$) [8], " Te " es la temperatura exterior de diseño ($^\circ C$), " Ti " es la temperatura interior de diseño del local ($^\circ C$) y " N " es el número de renovaciones por hora (1/h).

El calor sensible por aportaciones internas ($Qsai$), se determina a su vez como suma de los siguientes tipos de cargas que se generan dentro del mismo, dada por la ecuación (6) [9].

$$Qsai = Qsil + Qsp + Qsv \quad (6)$$

Ganancia interna de calor sensible por iluminación ($Qsil$), la iluminación produce calor sensible que hay que tener en cuenta. Si la iluminación es incandescente:

- $Qsil$ = potencia eléctrica de iluminación

Si la iluminación es fluorescente:

- $Qsil$ = potencia eléctrica de iluminación x 1,25. [10]

Ganancia interna de calor sensible debido a los ocupantes (Qsp), dada por la ecuación (7) [10].

$$Qsp = N * \dot{Q}_p \quad (7)$$

donde, " N " es el número de personas, " \dot{Q}_p " es el calor sensible, según la actividad que estén realizando ($^\circ C$).

Ganancia interna de calor sensible por aparatos diversos (Qsv), está dado por la ecuación (8).

$$Qsv = 0.5 * \dot{Q}_a \quad (8)$$

donde, " 0.5 " es el coeficiente de simultaneidad, " \dot{Q}_a " es el calor sensible que produce el aparato (w).

2.2. Carga térmica latente

El modelo matemático para la carga térmica latente (QL), está dada por la ecuación (9).

$$QL = Q_{li} + Q_{lai} \quad (9)$$

Calor latente por infiltraciones de aire exterior (Q_{li}), está dada por la ecuación (10).

$$Q_{li} = V_{ae} * 0.72 * (W_e - W_i) \quad (10)$$

V_{ae} es el caudal de aire exterior caliente que se introduce al local (m^3/h), "0.72" es el producto de la densidad estándar del aire ($1,2 \text{ kg}/m^3$) por el calor latente de vaporización del agua ($0,6 \text{ kcal}/g$), W_e humedad absoluta del aire exterior (g/kg), W_i humedad absoluta del aire interior (g/kg).

Calor latente por aportaciones internas (Q_{lai}), dadas por la ecuación (11).

$$Q_{lai} = N * \dot{Q}_{personas} \quad (11)$$

N es el número de personas, $\dot{Q}_{personas}$ es el calor latente que produce las personas dependiendo su actividad. El calor latente por aportaciones internas debe ser tomado en consideración ya que existe un cambio de estado cuando se agrega humedad al ambiente, ya sea por infiltraciones de aire y/o por el vapor emitido por los ocupantes.

2.3. Carga térmica total

Para finalizar el modelo matemático de la carga térmica, se utiliza la ecuación (12) que es el cálculo de la carga térmica total (Q_r).

$$Q_r = Q_S + Q_L \quad (12)$$

Q_S es el total de la carga térmica sensible (w), Q_L total de la carga térmica latente (w) [10].

3. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Los resultados están basados en el cálculo de tres lugares diferentes. El primero es con el objetivo de validar el modelo matemático que se ha empleado para el cálculo de cargas térmicas. Los dos siguientes son con la finalidad de simular un espacio destinado para una cámara de refrigeración, pero utilizando un salón y una oficina. Los resultados son extrapolables ya que una cámara de refrigeración no es muy diferente a dichos espacios, solamente habría que cambiar algunas variables como: eliminar ventanas o cambiar recubrimientos. Para realizar la simulación se utilizaron las ecuaciones de carga térmica, las cuales se modelaron a manera de experimento en el Aula 1 del Departamento de Estudios de Posgrado de Investigación (DEPI) y la oficina de jefatura del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto

Tecnológico de Nuevo León. Con ello, se tomaron en cuenta las variables de las condiciones climáticas tales como temperatura, radiación solar, velocidad del aire, así como la ubicación del edificio, calor latente y sensible desprendido por personas, radiación por iluminación y factor de atenuación

3.1 Cálculo de la carga térmica del diseño de un sistema de climatización para la segunda planta del Gad del cantón Marcabelí.

Para el cálculo del ejercicio 1 utilizó la siguiente información: El cantón Marcabelí está ubicado en la parte alta de la provincia de El Oro, al sur de la costa ecuatoriana posee un clima entre los 16 y $22 \text{ }^\circ\text{C}$ y es conocido como "Edén de los Andes". Su superficie es de 148 Km^2 , su posición es: $79^\circ 48''$ longitud Oeste, $3^\circ 44''$ latitud Sur, se encuentra ubicado a una altura de 540 metros sobre el nivel del mar aproximadamente, el clima del sector es Tropical-Seco, su humedad relativa oscila entre los 75 y 95% . [11]

Para el cálculo se utilizó las ecuaciones del modelo matemático, solo que para este ejercicio se encuentran diferencia en decimales las cuales corresponden al calor específico del aire en base al volumen, donde se utiliza los siguientes valores 0.34 y 0.83 .

El calor total por extraer es de $6,797.6 \text{ W}$, por lo cual se ocupa un sistema que tenga la capacidad de $30,000 \text{ BTU}/hr$, este debe ser de 2.5 TON , se recomendaría utilizar el modelo $302C.17$, con potencia de motor de 3.17 kw , 220 volts , este modelo solo enfría.

Se presenta otra opción que consta de un Sistema Dividido Múltiple – TTD y TTT, este sistema se puede utilizar en base a las necesidades del local.

3.2 Cálculo de la carga térmica de un aula de posgrado.

Para el ejercicio 2 se utilizó la información siguiente: El salón está situado en Guadalupe, Nuevo León (25° de latitud) [12]. La pared Norte está al exterior; el coeficiente DE (densidad x espesor) vale $300 \text{ kg}/m^2$. El coeficiente de transmisión es de $1,5 \text{ (W}/m^2\cdot^\circ\text{C)}$. En la pared N hay dos ventanas de $1.6 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$ cada una, con marco metálico y vidrio absorbente del 60% con persianas venecianas verticales. El coeficiente de transmisión del vidrio es de $5 \text{ (kcal}/h\cdot m^2 \cdot ^\circ\text{C)}$. El coeficiente de transmisión de las paredes interiores Sur es de $1,6 \text{ (kcal}/h \cdot m^2 \cdot ^\circ\text{C)}$. Se considerará una ocupación media de 8 personas. La iluminación es fluorescente, con una potencia eléctrica de 5 kW . Se pide determinar la carga térmica sensible y latente, un día 24 de agosto a las 15 horas solares.

El total de calor a extraer del salón fue de $8,554.14 \text{ W}$, por lo cual se ocupa un sistema que tenga la capacidad de $36,000$

BTU/hr, para este se le recomienda uno de 3.5 TON, por lo cual se presenta el modelo MMT36CDBWLCAM8, con 220 volts, su función solo es frío.

Para este ejercicio también se recomendaría utilizar el Sistema Dividido Múltiple – TTD y TTT, se hace esta recomendación debido a que el salón ya dispone de uno, el cual es compartido con otras áreas que se encuentran cerca del salón.

Cuando se realizó el cálculo del salón se encontró que el salón cuenta con un sistema dividido, con capacidad de 48,000 BTU, su control es a través del termostato.

3.3 Cálculo de la carga térmica de una oficina del Departamento de Eléctrica y Electrónica.

Se realizó un nuevo cálculo de carga térmica, este se realizó para la oficina del departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del ITNL, el cual está situado en la ciudad de Guadalupe, Nuevo León (25° latitud) [12]. La pared Oeste esta al exterior; el coeficiente DE (densidad x espesor) vale 300 kg/m². El coeficiente de transmisión es de 1,5 (W/m³°C). En la pared O hay ventana de 1.7m x 3.13m con marco metálico y vidrio absorbente del 60 % con persianas venecianas verticales. El coeficiente de transmisión del vidrio es de 5 (kcal/h·m² ·°C). Se considerará una ocupación de 1 personas. La iluminación es fluorescente, con una potencia eléctrica de 5 kW. Se pide determinar la carga térmica sensible y latente, un día 13 de septiembre a las 12 horas solares.

Su calor total por extraer fue de 3,274.15 W, para esta oficina se recomienda utilizar el modelo 121H Evolution, el cual tiene la capacidad de 12,000 BTU/hr, este modelo tiene la función de frío y calor.

La oficina cuenta con el sistema ASW –H12A2IEZ, el cual tiene la capacidad de 12,000 BTU/hr, 220 volts. Al realizar el cálculo se confirmó que la oficina está utilizando el sistema correcto de refrigeración.

4. QT CREATOR

Fue desarrollado por primera vez en 1994, Qt ("adorable") es la tecnología independiente líder para el desarrollo multiplataforma con más de 70 industrias que desarrollan productos basados en Qt en sistemas operativos de escritorio, integrados y móviles [13].

Qt está basado en un Diseñador de Interfaces Gráficas de Usuario (GUI), entorno integrado para la creación y diseño de formas para proyectos C++ que permite diseñar rápidamente widgets y diálogos usando los mismos widgets que se usaran en la aplicación. Las formas son totalmente funcionales y pueden

ser previsualizados inmediatamente para asegurarse de que funcione exactamente como se planeó [14].

4.1. Desarrollo de interfaz en Qt creator.

Una vez realizado la validación del modelo matemático se dispone a desarrollar la interfaz en el software de *Qt creator*, el software maneja el lenguaje de C++, el cual es bastante amigable para crear una interfaz la cual se puede manipular de forma sencilla. La interfaz está diseñada con cada una de las ecuaciones que fueron utilizados en el modelo matemático, en la Figura 1 se muestra una de las ecuaciones y se aprecia el diseño de la ecuación. La función principal del programa es generar un sencillo cálculo de cargas térmicas, en el cual solo se ingrese los datos más básicos para la realización de dicho cálculo.

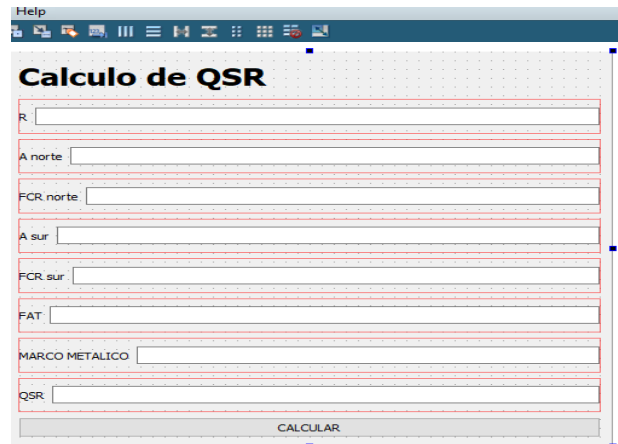


Figura 1 Diseño de la ecuación

Después de ser ingresadas las ecuaciones empleadas, la interfaz quedó de la siguiente manera como se muestra en la Figura 2 y la Figura 3.



Figura 2 Máscara de la interfaz



Figura 3 Pestañas con las ecuaciones

Cada ecuación tiene sus propias máscaras, con cada una de sus variables, en la Figura 4 se muestra la ecuación final. Una vez editada la máscara de la ecuación se obtiene el resultado de la ecuación Q_{sr} del salón de posgrado. En la Figura 5 se muestra el cálculo de Q_{sr} con el ejercicio del cantón de Marcabeli.

Figura 4 Resultado del Salón de Posgrado

Figura 5 Resultado del Cantón de Marcabeli

5. CONCLUSIONES

La interfaz propuesta en este artículo es sencilla de utilizar, debido a que trae precargada las ecuaciones necesarias con una alta usabilidad y que solamente le solicita parámetros propios del cálculo que desee realizar (materiales, orientaciones, etc). Cuando se ingresan los datos requeridos por el programa, se obtiene el calor total a extraer del salón o cuarto, y a partir del resultado, se selecciona los componentes tales como: compresor, condensador, evaporador y válvula de expansión, los cuales son fundamentales para asegurarnos que la temperatura deseada se va a mantener sin que el equipo de refrigeración esté sobreutilizado o subutilizado. Los resultados demuestran que el modelo matemático, a través de la plataforma programada, determinan correctamente la carga térmica necesaria de un espacio y que puede ser empleado indistintamente de la ubicación de la cámara de refrigeración y/o salón.

6. REFERENCIAS

- [1] A. Valverde G. y M. Alvarez Guerra, «Método de Cálculo Computarizado para la Determinación de las Cargas Térmicas de Refrigeración, Aire Acondicionado y Selección de Equipos,» *Scientia Et Technica*, vol. XII, n° 31, 2006.
- [2] M. M. B. Alejandro, *DESARROLLO DE PROGRAMA PARA CÁLCULO DE CARGAS TERMICAS EN EDIFICACIONES*, Universidad del Valle, 2013.
- [3] M. C. Santibañez, «EcuRed,» Tecnología Azucarera. Centro Nacional de Capacitación Azucarera MINAZ., 1983. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Calor_sensible. [Último acceso: 2018].
- [4] C. John, *Technicians guide to refrigeration systems*, United States: McGraw-Hill, 1997.
- [5] R. Dossat, *Principios de refrigeración*, México: Editorial Continental, 2004.
- [6] R. Zeinelabdeina, S. Omer y G. Gan, «Critical review of latent heat storage systems for free cooling in buildings,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, pp. 2843-2868, 2018.
- [7] J. C. a. Javier Jiménez Arroyo, «caloryfrio.com,» 2000. [En línea]. Available: <https://www.caloryfrio.com>. [Último acceso: 2018].
- [8] I. industriales, «Ingenierosindustriales,» 2009. [En línea]. Available: www.ingenierosindustriales.com/. [Último acceso: 2018].

- [9] «Cargas térmicas,» [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4183/fichero/2.-+anexo+calculo%252F5.-+calculo++cargas+termicas.pdf>. [Último acceso: 2017].
- [10] Apilanez, «Frio y calor,» 2003. [En línea]. Available: http://frioycalor.info/Climatizacion/Climatizacion_Ioseba_Apilanez_03.pdf. [Último acceso: 2017].
- [11] D. F. R. OROZCO, *DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN PARA LA SEGUNDA PLANTA DEL GAD DEL CANTÓN MARCABELÍ*, Ecuador, 2016.
- [12] «CIUDADES Y DIRECTORIO,» [En línea]. Available: <http://www.ocdemexico.org.mx/Nuevo-Leon/Guadalupe/>. [Último acceso: AGOSTO 2018].
- [13] Q. CREATOR, «TEHE QT COMPANY,» [En línea]. Available: <https://www1.qt.io/company/>. [Último acceso: JUNIO 2018].
- [14] «Qt Creator/es,» JUNIO 2016. [En línea]. Available: https://wiki.qt.io/Qt_Creator/es. [Último acceso: JUNIO 2018].
- [15] B. J. m. A. A. P. M. José Jacobo Abullarade Dorath, *Medtodología Alternativa para el Cálculo de la Carga Térmica*, El Salvador : Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", 206.