

**DESARROLLAR UN MÉTODO MANUAL PARA DETERMINAR LA GANANCIA  
DE CALOR A TRAVÉS DE PAREDES Y TECHOS PARA REGIONES SITUADAS  
EN LATITUDES ENTRE LOS 0° A 10° NORTE UTILIZANDO EL MÉTODO  
ANALÍTICO SERIES DE TIEMPO RADIANTE (RTS)**

**RICHARD ALEXANDER ARGÜELLO MEDINA**

**JUAN ANGEL ZARATE ROBLES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2021**

**DESARROLLAR UN MÉTODO MANUAL PARA DETERMINAR LA GANANCIA  
DE CALOR A TRAVÉS DE PAREDES Y TECHOS PARA REGIONES SITUADAS  
EN LATITUDES ENTRE LOS 0° A 10° NORTE UTILIZANDO EL MÉTODO  
ANALÍTICO SERIES DE TIEMPO RADIANTE (RTS)**

**RICHARD ALEXANDER ARGÜELLO MEDINA**

**JUAN ANGEL ZARATE ROBLES**

**Proyecto de grado para optar al título de ingeniero mecánico**

**Director**

**OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA  
M. Sc. en Informática**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2021**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	15
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. MARCO TEÓRICO .....	18
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	18
2.1.1 Determinación de las cargas térmicas para garantizar el confort en los locales del piso 1 del edificio de aulas 2 en la UTB. ....	18
2.1.2 Método de cálculo computarizado para la determinación de las cargas térmicas de refrigeración, aire acondicionado y selección de equipos. ....	20
2.1.3 Climatización de una oficina: cálculo mediante herramientas software. ....	21
2.2 REFERENTES TEÓRICOS .....	22
2.2.1 ASHRAE como organismo rector.....	22
2.2.2 Comités técnicos de ASHRAE.....	23
2.2.3 Clasificación de los métodos de cálculo .....	24
2.2.4 Metodologías desarrolladas por los comités de ASHRAE. ....	26
2.2.5 Cronología de los métodos .....	27
2.3 MÉTODO DE SERIES DE TIEMPO RADIANTE (RTS).....	28
2.3.1 Supuestos y principios de la carga de enfriamiento de RTS.....	28
2.3.2 Descripción general del método de series de tiempo radiante.....	29
2.3.2.1 Determinación de la Irradiación solar incidente en la superficie exterior. ..	33
2.3.2.2 Ganancia de calor a través de paredes y techos .....	38
2.3.2.3 Ganancia de calor a través de ventanas.....	45
2.3.2.4 Cálculo de la carga de refrigeración utilizando RTS. ....	48
2.3.4.1 Carga de enfriamiento por haz directo .....	52

2.3.4.2 Carga de enfriamiento por conducción en ventanas.....	53
2.4 MÉTODO CLTD/SCL/CLF .....	53
2.4.1 Características principales y suposiciones .....	54
2.4.2 Metodología. ....	55
2.4.3 Carga de enfriamiento a través paredes y techos.....	56
2.4.3.1 Procedimiento de aplicación del método CLTD/SCL/CLF para paredes y techos. ....	57
2.4.4 Carga de enfriamiento del espacio por ventanas.....	60
2.4.4.1 Carga por conducción .....	60
2.4.4.2 Carga por radiación solar.....	62
2.4.4.3 Procedimiento de aplicación del método CLTD/SCL/CLF para ventanas. .	64
2.5 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS .....	67
3. DESARROLLO DEL MÉTODO SERIES DE TIEMPO RADIANTE EN MATLAB .....	68
3.1 CONDICIONES DE DISEÑO.....	69
3.2. GENERACIÓN DE LOS VALORES FACTORES DE SERIE DE TIEMPO DE CONDUCCIÓN (CTS <sub>F</sub> ) EN EL PROGRAMA EXCEL.....	70
3.2.1. Implementación de hoja de cálculo en Excel. ....	71
3.2.2 Configuración de las superficies. ....	73
3.3 GENERACIÓN DE VALORES RTF (FACTORES DE TIEMPO RADIANTE) EN EL PROGRAMA EXCEL.....	76
3.3.1 Implementación de hoja de cálculo en Excel. ....	77
3.3.2. Factores de tiempo radiante para el cálculo de la carga de enfriamiento a través paredes y techos.....	78
3.3.3 Factores de tiempo radiante para los tipos de zonas en el cálculo de la carga de enfriamiento a través de ventanas. ....	80
3.3.3.1 Definición de los parámetros contantes y variables. ....	80
3.3.3.2 Elaboración de la tabla de zonas .....	82

3.4 ANÁLISIS DE SOFTWARE QUE SE UTILIZARÁ PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	87
3.4.1 Características básicas del software MATLAB .....	87
3.4.2 Programación en Matlab.....	88
3.4.3 Espacio de trabajo en Matlab.....	89
3.5 PRESENTACIÓN DE LA INTERFAZ CREADA EN MATLAB.....	90
3.5.1 Generador CLTD .....	91
3.5.2 Generador SCL.....	94
3.6 EQUIVALENCIA ENTRE LOS RESULTADOS DE MÉTODO RTS Y CLTD/SCL/CLF.....	96
4. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS GENERADOS POR EL PROGRAMA.....	98
4.1 DESVIACIÓN INHERENTE DE RESULTADOS ENTRE LOS MÉTODOS CLTD/SCL/CLF.....	98
4.2 ELABORACIÓN DE TABLAS DE CLTD CON EL PROGRAMA ELABORADO PARA LAS MISMAS CONDICIONES DE LAS TABLAS EXISTENTES EN LA BIBLIOGRAFÍA DE ASHRAE .....	99
4.3 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS TABLAS EXISTENTES DE ASHRAE CON LAS OBTENIDAS .....	101
5. ELABORACION DE LAS TABLAS CLTD Y SCL.....	104
6. CONCLUSIONES .....	107
7. RECOMENDACIONES.....	1079
BIBLIOGRAFÍA.....	110

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Irradiancia solar extraterrestre y datos relacionados.....	35
Tabla 2. Meridiano estándar local para algunas de las zonas horarias. ....	35
Tabla 3. Reflectividades solares para superficies.....	37
Tabla 4. Valores de absorptividad solar de varias superficies .....	40
Tabla 5. Porcentajes de rango diario de temperatura.....	41
Tabla 6. Superficies de zonas predeterminadas por ASHRAE.....	44
Tabla 7. Coeficientes globales de transferencia de calor para acristalamientos....	46
Tabla 8. Coeficientes de ganancia de calor solar <i>SHGC<math>\theta</math></i> y <i>SHGCD</i> .....	47
Tabla 9. Valores $i_{ac}$ para cortinas con persianas: acristalamientos sencillos sin revestimiento.....	47
Tabla 10. Porcentajes para separación en parte radiante y convectiva de la ganancia de calor.....	49

Tabla 11. Tipo de paredes con masa localizada hacia el interior con respecto al aislamiento con material secundario estuco y/o yeso.....	58
Tabla 12. CLTD para pared tipo 1, 24° latitud norte, 21 de julio. ....	58
Tabla 13. Clasificación de techos. ....	59
Tabla 14. CLTD para los tipos de techo, 24° latitud norte, 21 de julio. ....	60
Tabla 15. Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento (CLTD) para ventanas y puertas.....	61
Tabla 16. Coeficientes de sombreado para ventanas con único cristal. ....	64
Tabla 17. Tipos de zonas para único piso. ....	65
Tabla 18. SCL para vidrios iluminados por el sol ubicados en latitud 24° norte, julio.....	66
Tabla 19. Evaluación del criterio. ....	67
Tabla 20. Variables para criterio. ....	67
Tabla 21. Configuración de paredes. ....	73
Tabla 22. Configuración de techos ....	74
Tabla 23. Propiedades térmicas y código de capas para paredes y techos. ....	75
Tabla 24. Parámetros de una zona.....	80
Tabla 25. Parámetros de zona constantes ....	81
Tabla 26. Parámetros de zona variables ....	81
Tabla 27. Tipos de zonas.....	82

Tabla 28. RTF solares para los grupos de zonas. ....	83
tabla 29. RTF no solares para los grupos de zonas.....	83
Tabla 30. RMSE para suposición zona representativa 18, RTF solares.....	84
Tabla 31. RMSE totales para zonas representativas. ....	85
Tabla 32. Errores entre zona representativa A y zona 2, latitud 0°.....	85
Tabla 33. Selección del tipo de zona para una edificación de único piso. ....	86
Tabla 34. CLTD para pared tipo 10, 36° latitud norte, julio. ....	100
Tabla 35. CLTD generados por el programa para pared tipo 10, 36° latitud norte, julio.....	101
Tabla 36. Variación de los CLTD generados por programa y libro. ....	102
Tabla 37. Datos climatológicos de bucaramanga. ....	104
Tabla 38. CLTD para mes de diciembre, 7.1° latitud norte, pared tipo 8. ....	105
Tabla 39. SCL para mes de diciembre, 7.1° latitud norte, MW-carpet-50%.....	105

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Visión general del método de series de tiempo radiante para paredes, techos y ventanas. ....	30
Figura 2. Ángulos solares para superficies horizontales y verticales. ....	33
Figura 3. CTSF para paredes ligeras a pesadas. ....	43
Figura 4. CTSF para paredes con masa similar y aislamiento creciente ....	43
Figura 5. RTF para construcción ligera a pesada ....	44
Figura 6. Transferencia de calor en superficies opacas. ....	50
Figura 7. Transferencia de calor en ventanas sin dispositivo de sombra. ....	52
Figura 8. Cronograma del método CLTD/SCL/CLF. ....	54
Figura 9. Visión general de la implementación del método RTS en Matlab. ....	68
Figura 10. Entradas de la hoja de cálculo generación CTSF. ....	72
Figura 11. Valores de CTSF para tipo de pared 10. ....	72
Figura 12. Parámetros de entrada para la generación de RTF. ....	78
Figura 13. Ejemplo de salida para la generación de RTF ....	78
Figura 14. Interfaz de generación de RTF predeterminados. ....	79
Figura 15. Interfaz de matlab. rojo: ventana de comandos. azul: carpeta actual. verde: barra de menú. amarillo: espacio de trabajo. ....	89
Figura 16. Ventana inicial ....	90

Figura 17. Pantalla de entrada de la interfaz .....	91
Figura 18. Pantalla de salida de la interfaz .....	93
Figura 19. Pantalla de entrada de la interfaz .....	94
Figura 20. Pantalla de salida de la interfaz .....	96
Figura 21. Comparativa entre los métodos de cálculo de carga de enfriamiento...	98
Figura 22. Concepto de CLTD. ....	99
Figura 23. Comparación de CLTD, 36° latitud norte, julio, pared N°10.....	102
Figura 24. Datos de entrada en la interfaz de CLTD para Bucaramanga .....	106

## LISTA DE ANEXOS

“ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizar en la base de datos de la Biblioteca UIS”

Anexo A. Tablas CLTD con el método de series de tiempo radiante, para calcular la carga de refrigeración de las paredes iluminadas por el sol, 0° latitud norte, diciembre

Anexo B. Tablas CLTD con el método de series de tiempo radiante, para calcular la carga de refrigeración de las paredes iluminadas por el sol, 5° latitud norte, diciembre

Anexo C. Tablas CLTD con el método de series de tiempo radiante, para calcular la carga de refrigeración de las paredes iluminadas por el sol, 10° latitud norte, diciembre.

Anexo D. Tablas CLTD con el método factores de tiempo radiante, para calcular la carga de refrigeración de los techos planos iluminados por el sol en latitud 0° norte, diciembre.

Anexo E. Tablas CLTD con el método factores de tiempo radiante, para calcular la carga de refrigeración de los techos planos iluminados por el sol en latitud 5° norte, diciembre.

Anexo F. Tablas CLTD con el método factores de tiempo radiante, para calcular la carga de refrigeración de los techos planos iluminados por el sol en latitud 10° norte, diciembre.

Anexo G. Tablas CLTD con el método de series de tiempo radiante, para calcular la carga de refrigeración de las paredes iluminadas por el sol, 7.12° latitud norte, diciembre, bucaramanga.

Anexo H. Tablas CLTD con el método de series de tiempo radiante, para calcular la carga de refrigeración de los techos iluminados por el sol, 7.12° latitud norte, diciembre, bucaramanga.

Anexo I. Carga de enfriamiento solar (SCL) por el método de series de tiempo radiante (RTS), 0° latitud norte, diciembre.

Anexo J. Carga de enfriamiento solar (SCL) por el método de series de tiempo radiante (RTS), 5° latitud norte, diciembre.

Anexo K. Carga de enfriamiento solar (SCL) por el método de series de tiempo radiante (RTS), 10° latitud norte, diciembre.

## RESUMEN

**TÍTULO:** DESARROLLAR UN MÉTODO MANUAL PARA DETERMINAR LA GANANCIA DE CALOR A TRAVÉS DE PAREDES Y TECHOS PARA REGIONES SITUADAS EN LATITUDES ENTRE LOS 0° A 10° NORTE UTILIZANDO EL MÉTODO ANALÍTICO SERIES DE TIEMPO RADIANTE (RTS).\*

**AUTOR:** RICHARD ALEXANDER ARGÜELLO MEDINA  
JUAN ANGEL ZARATE ROBLES\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Ganancia de calor, Matlab, ASHRAE, Método de series de tiempo radiante(RTS), CLTD/SCL/CLF, Carga de enfriamiento, Acondicionamiento de aire.

### DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto tiene como objetivo realizar un complemento del método diferencia de temperatura para carga de enfriamiento/carga de enfriamiento solar/factor de carga de enfriamiento (CLTD/SCL/CLF) de ASHRAE para calcular cargas térmicas a través de paredes, techos y ventanas que estén ubicados en latitudes de 0° a 10°. Este complemento es específicamente tablas de CLTD y SCL calculados por medio de la metodología de series de tiempo radiante (RTS), metodología que predice conservativamente las cargas de enfriamiento y la segunda científicamente más correcta desarrollada actualmente por ASHRAE.

La metodología RTS se implementó en el programa Matlab, fue creada una interfaz que permite de manera fácil el ingreso de las variables geográficas y climatológicas del sitio, las características físicas de la zona, es decir, la construcción de las superficies que componen la habitación a analizar. Con este programa se calcula de manera rápida los valores de CLTD y SCL, mientras se visualiza una gráfica de la tendencia de estos valores al transcurrir el día de diseño.

El resultado del proyecto son tablas de CLTD para las latitudes de 0°, 5° y 10° norte, en cada latitud 16 tipos de paredes con 8 orientaciones y 14 tipos de techos. Las tablas de SCL se generaron para las mismas tres latitudes, con 4 zonas representativas y dentro de cada una de estas las 8 orientaciones principales. Adicionalmente se realizaron tablas de CLTD para la ciudad de Bucaramanga.

---

\* Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Omar Armando Gelvez Arocha. M. Sc. en Informática.

## ABSTRACT

TITLE: DEVELOP A MANUAL METHOD FOR DETERMINING HEAT GAIN THROUGH WALLS AND ROOFS FOR REGIONS LOCATED AT LATITUDES BETWEEN 0 ° TO 10 ° N, USING THE ANALYTICAL METHOD RADIANT TIME SERIES (RTS).\*

AUTHOR: RICHARD ALEXANDER ARGÜELLO MEDINA

JUAN ANGEL ZARATE ROBLES \*\*

KEY WORDS: Heat Gain, Matlab, ASHRAE, Radiant Time Series Method (RTS), CLTD / SCL / CLF, Cooling Load, Air Conditioning.

### DESCRIPTION:

This project aims to complement the ASHRAE temperature difference method for cooling load / solar cooling load / cooling load factor (CLTD / SCL / CLF) to calculate thermal loads through walls, roofs and windows that are in latitudes of 0 ° to 10 °. This complement is specifically CLTD and SCL tables calculated using the radiant time series (RTS) methodology, a methodology that conservatively predicts cooling loads and the second most scientifically correct currently developed by ASHRAE.

The RTS methodology was implemented in the Matlab program, an interface was created that easily allows the entry of the geographic and climatological variables of the site, the physical characteristics of the area, that is, the construction of the surfaces that make up the room to analyze. With this program, the CLTD and SCL values are quickly calculated, while a graph of the trend of these values is displayed at the end of the design day.

The result of the project is CLTD tables for latitudes of 0 °, 5 ° and 10 ° north, at each latitude 16 types of walls with 8 orientations and 14 types of roofs. The SCL tables were generated for the same three latitudes, with 4 representative zones and within each of these the 8 main orientations. Additionally, CLTD tables were made for the city of Bucaramanga.

---

\* Degree work.

\*\* Faculty of Physical-mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Omar Armando Gelvez Arocha. M. Sc. in Computer Science.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se busca lograr que la vivienda humana cumpla con el cometido de proporcionar condiciones de confort a sus ocupantes, y además tal meta se pueda alcanzar con el mínimo costo de instalación y operación de los equipos requeridos para proporcionar la climatización. Para lograr tal cometido, se requiere contar con metodologías para calcular las ganancias y pérdidas de calor de las edificaciones (cargas térmicas), así como el efecto de dichos flujos de energía sobre el comportamiento térmico de la edificación, ya que la masa de esta origina una inercia térmica que desfasa en el tiempo la respuesta de la edificación respecto a la carga térmica instantánea. Para tales cálculos hay bibliografía con tablas derivadas del método CLTD/SCL/CLF (ASHRAE 1992) que permiten sin implicar demasiados cálculos, hallar las cargas de enfriamiento de forma manual. Estas tablas fueron generadas sólo para latitudes entre los 24°N y los 48° N, por lo cual cuando se requiere calcular cargas térmicas en latitudes diferentes, se debe acudir a métodos de cálculo más complejos. El objetivo de este proyecto es generar unas tablas para las latitudes entre 0° a 10°, que permitan el cálculo manual de las ganancias de calor por paredes y techos a partir de un cálculo previo de dichas ganancias por el método de RTS, que es un método que da resultados ligeramente conservativos, para posteriormente con estos resultados dar la equivalencia de los valores de CLTD de las tablas.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un complemento del método CLTD/SCL/CLF de ASHRAE para calcular cargas térmicas a través de paredes y techos que estén ubicados entre latitudes de 0° a 10° norte.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Elaborar conjunto de tablas utilizando el método de series de tiempo radiante (RTS), para determinar los valores de diferencia de temperatura para carga de enfriamiento (CLTD) considerando los siguientes parámetros:

- Latitud
- Orientación de la pared
- Tipo de pared (Paredes construidas en Colombia y configuraciones de ASHRAE)
- Hora del día
- Día del año

Para lo cual se deberá:

- Implementar en MATLAB un programa que permita calcular la ganancia de calor a través de paredes, ventanas y techos a partir de la metodología de series de tiempo radiante.

- Construir tablas de valores de CLTD equivalentes para las latitudes requeridas, basados en los resultados obtenidos mediante la simulación parametrizada de las variables mencionadas utilizando el programa implementado.
- Comprobar la fiabilidad del método comparando los resultados con los valores existentes para latitudes mayores que se encuentran en *Cooling and Heating Load Calculation Manual, second edition* de ASHRAE

## 2. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de la investigación se presentarán primero los antecedentes investigativos, es decir los proyectos que se han desarrollado acerca del diseño y análisis de cargas térmicas en edificaciones, haciendo énfasis en las ganancias de calor a través de paredes y techos, los cuales darán las bases y servirán de guía en los temas a tratar. Posteriormente se muestran los referentes teóricos los cuales son la recopilación de los conocimientos científicos existentes sobre el tema que servirán para el desarrollo y culminación del proyecto.

### 2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Es muy importante conocer y resaltar investigaciones relacionadas con el cálculo de cargas térmicas en edificaciones, que se han desarrollado en otras regiones, en la nación o a nivel internacional, con el objetivo de aprender acerca de sus resultados y así poder elaborar un proyecto que sea de utilidad para dichos cálculos.

**2.1.1 Determinación de las cargas térmicas para garantizar el confort en los locales del piso 1 del edificio de aulas 2 en la UTB<sup>1</sup>.** Este proyecto se desarrolló en la Universidad Tecnológica de Bolívar en Cartagena, este proyecto se genera por la importancia del uso eficiente de la energía. La UTB en busca de cumplir con esta meta ha puesto en marcha el programa de Uso Racional de la Energía, con el fin de implementar métodos de ahorro de energía en el campus de la universidad (Tenera y Manga) para la reducción de costos de electricidad y agua.

---

<sup>1</sup> RAMÍREZ LEÓN, Hermes Javier. Determinación de las cargas térmicas para garantizar el confort en los locales del piso 1 del edificio de las aulas 2 en la UTB. Trabajo de pregrado Universidad Tecnológica de Bolívar, Ciudad, Cartagena de Indias. Noviembre de 2007. [En línea]. [Revisado noviembre de 2008]. Disponible en catálogo on-line de la biblioteca de la UTB, <http://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0043111.pdf>

La ejecución del programa de URE constituyo de una serie de estudios, entre estos se planeó calcular cargas térmicas generadas en cada local, aula y oficina de los campus de la UTB, con el objetivo de comparar los resultados obtenidos con la capacidad de los equipos instalados y determinar, si los equipos cumplen con la demanda de confort o si el equipo presenta sobredimensionamiento.

Se planteó para el cálculo de cargas térmicas en los salones y oficinas del campus aplicar la metodología CLTD/SCL/CLF de ASHRAE, la ventaja por las cuales lo eligen es por ser un método simplificado y manual. Sin embargo, cuenta con unas desventajas que son nombradas por el autor de este proyecto, las cuales son:

- El ajuste para una pared o techo que no corresponde a uno de los grupos listados es una fuente de errores.
- La inexactitud de corregir para otros meses y otras latitudes.

Como conclusiones de este proyecto se presentan un total de carga calculada máxima de 34 toneladas de refrigeración comparado con las 27 toneladas de refrigeración instalada actualmente; Estos resultados bajo las condiciones de los cálculos, de las cuales se aclaró que:

- a) Los cálculos se están realizando en condiciones extremas, es decir que el cálculo se hizo con las condiciones climáticas del día más caluroso del año, con todos los equipos funcionando a máxima capacidad, todas las luces encendidas y una ocupación total del local, lo cual muy poco ocurre en el año.
- b) En los cálculos de los 5 laboratorios, la Sala de cómputo y la oficina del coordinador de laboratorio / David Senior, las paredes y ventanas soleadas se encontraban en pleno contacto con el sol, lo cual no es totalmente cierto

debido a la mampostería colocada alrededor del edificio lo cual reduce el contacto directo del sol con las paredes.

- c) Además de la mampostería externa, en la orientación Este del edificio existe un edificio cilíndrico el cual comunica los pisos del edificio de Aulas 2 a través de las escaleras, para locales que están en este sector no se tomó en cuenta el sombreado de la sección que sobresale del edificio.
- d) Algunos datos de corrección por latitud fueron tomados de una latitud diferente (latitud 8° Norte) lo cual puede variar el cálculo.

De las razones posibles nombradas anteriormente cabe resaltar la última, la cual evidencia que hace falta generar tablas de CLTD para latitudes diferentes a las existentes en la bibliografía de ASHRAE y reafirma la necesidad de este tipo de proyecto para generar herramientas de cálculo para este tipo de localizaciones. Con estas herramientas se busca tener mayor exactitud y confiabilidad en los cálculos, ya que esto afecta directamente a la eficiencia energética que va a tener el sistema de aire acondicionado o refrigeración, que se implemente en estas edificaciones.

**2.1.2 Método de cálculo computarizado para la determinación de las cargas térmicas de refrigeración, aire acondicionado y selección de equipos<sup>2</sup>.** Con este estudio se logró agilizar los cálculos para sistemas de refrigeración, aire acondicionado y seleccionar equipos, mediante la creación de una herramienta computacional, la cual calcula la carga térmica de un espacio ya sea a acondicionar o a refrigerar; conteniendo en su base de datos las condiciones climatológicas de las principales ciudades de Colombia, materiales y equipos comerciales.

---

<sup>2</sup> VALVERDE G. Austin y ÁLVAREZ GUERRA, Mario. Método de cálculo computarizado para la determinación de las cargas térmicas de refrigeración, aire acondicionado y selección de equipos. Scientia Et Technica, vol. XII, núm. 31, pp.127-13. agosto de 2006. [En línea]. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911639023>

En este trabajo se exponen las características fundamentales de la herramienta computacional SEAAR desarrollada en Universidad de Ibagué con el objetivo de agilizar los cálculos de refrigeración y acondicionamiento de aire. Este sistema permite el cálculo de la carga térmica de un espacio para las opciones de climatización o refrigeración siguiendo el método ASHRAE CLTD/CLF en las condiciones climatológicas de las principales ciudades de Colombia y la selección automatizada de materiales y equipos comerciales para el proyecto de la instalación de ingeniería.

De este proyecto se puede resaltar la importancia de primero obtener la información acerca de las condiciones climatológicas de la región para el cálculo de ganancias de calor a través de paredes y techos por cualquier método que se vaya a utilizar, así como el aprovechamiento de las herramientas computacionales para agilizar dichos cálculos que de forma manual demandan mucho tiempo y en algunas ocasiones cálculos iterativos para llegar a sus soluciones.

### **2.1.3 Climatización de una oficina: cálculo mediante herramientas software<sup>3</sup>.**

Este proyecto se desarrolló en la ciudad de Madrid en España, en la universidad Calos III de Madrid, facultad de ingeniería técnica industrial: Mecánica.

El proyecto analiza el cálculo de cargas térmicas y conductos para un edificio de oficinas situado en la localidad de Aranjuez, Madrid. El motivo de este trabajo se basa en la necesidad de implementar un sistema de cargas climáticas en el edificio que permita un confortable uso de este, dentro de los parámetros establecidos a través de la normativa vigente. En primer lugar, se realiza una breve descripción del edificio y se definen los objetivos del proyecto. A continuación, se presentan las bases de datos sobre las que se llevan a cabo los cálculos de cargas. En segundo lugar, se muestra el proceso de cálculo paso por paso. Esta detallada guía nos sirve

---

<sup>3</sup> ÁLVAREZ NUEVO, Pablo Miguel. Climatización de una oficina: Cálculo mediante herramientas software. Trabajo de pregrado Universidad Carlos III de Madrid, Ciudad Madrid. Julio de 2014. [En línea]. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/44310837.pdf>

de base para poder entender con mayor claridad el funcionamiento del programa. Por último, se muestran los resultados obtenidos y se analizan para extraer conclusiones. El modelo de cálculo ha sido desarrollado bajo el software comercial Hourly Analysis Program (HAP®). Este software estima las cargas que inciden sobre un edificio y determina las características de los equipos de acondicionamiento de aire. La metodología de cálculo se basa en las funciones de transferencia de la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).

Este proyecto aporta una metodología en la adquisición de los datos que se deben ingresar al software, la cual puede ser una guía para el programa que se va a implementar en MATLAB.

## **2.2 REFERENTES TEÓRICOS**

**2.2.1 ASHRAE como organismo rector.**<sup>4</sup> El nombre en inglés de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) es una asociación profesional, reconocida mundialmente como la máxima autoridad para formular estándares y procedimientos de cálculo en estas áreas de conocimiento. ASHRAE cumple su misión a través de un comité técnico, el cual está integrado por profesionales con reconocidas habilidades y experiencia en cada tema específico, responsable de investigar y recopilar la última tecnología de cada tema, y publicar este conocimiento en forma de capítulos. Manual de ASHRAE. Se publicaron cuatro manuales denominados "Conceptos básicos, aplicaciones, sistemas, equipos y refrigeración", que se revisan aplicaciones, sistemas, equipos y refrigeración", que se revisan y publican anualmente. De esta

---

4 MARTÍN DOMÍNGUE, Ignacio R. y ALARCÓN HERRERA, Ma. Teresa. XXVIII Semana nacional de energía solar. [En línea]-En:( 4-8, octubre 2004:Oaxaca,Mexico). Evolución de las metodologías para el cálculo de cargas térmicas en edificaciones desarrolladas por la ASHRAE. Oaxaca,2004. 6. [Consultado: 26 de agosto de 2020]. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/304582076>.

forma, cada manual tiene un período de revisión de cuatro años, además se publican libros profesionales sobre algunos de los temas más interesantes.

**2.2.2 Comités técnicos de ASHRAE.** El comité técnico encargado de recopilar, analizar y recomendar el método más adecuado para estimar la carga térmica que se produce los edificios se denomina Comité Técnico 4.1 (TC4.1). Como otros comités de ASHRAE, opera bajo los principios de un acuerdo de consenso, en el cual, tratando de considerar todos los conceptos, teorías y tecnologías factibles, y solo recomienda que los procedimientos y tecnologías que hayan pasado la verificación de identidad sean incluidos en el manual. A través de la investigación, Tecnología apropiada, y probada por la experiencia de diseñadores líderes y / o se considera práctica para muchos usuarios.

El comité mencionó que los ingenieros de calefacción han desarrollado procedimientos relativamente simples y directos para estimar la "pérdida de calor" en los edificios (similar a las cargas de calefacción), y las pruebas de laboratorio generalmente pueden confirmar los resultados. Sin embargo, la situación de la refrigeración de edificios es diferente: desde la década de 1930 se ha tratado de explicar y afrontar la absorción (acumulación, almacenamiento) del calor radiante en los edificios y su posterior liberación, provocada por la calidad del edificio. de. Construcción y su contenido material.

En otras palabras, el calor (instantáneo) del edificio no es igual a la carga de enfriamiento en el mismo edificio en ese momento, porque el calor se absorbe en el cuerpo principal del edificio y luego se libera, lo que resulta en un retraso en el calor. Respuesta térmica. Considerando la existencia de este comportamiento, han surgido tres preguntas importantes:

- ¿Qué parte de la carga térmica instantánea se retrasa?
- ¿Cuánto tiempo dura el retraso?

- ¿Cómo calcular estas cantidades?

Al mencionar que existe una gran cantidad de trabajos técnicos en la literatura que intentan dar respuesta a estas preguntas, ASHRAE se ha comprometido a recopilar e investigar las tecnologías que se han propuesto para recomendar la tecnología más adecuada para su uso. Sin embargo, el mismo comité advirtió que el cálculo de la carga frigorífica de un edificio sigue siendo un arte, no una ciencia, por lo que los resultados obtenidos deben seguir considerándose como una aproximación a la realidad.

**2.2.3 Clasificación de los métodos de cálculo.** La complejidad del comportamiento térmico de una edificación se observa al examinar la cantidad de variables que intervienen, que en general se pueden dividir en las siguientes categorías:

- Localización geográfica.
- Tamaño, geometría, materiales y uso de la vivienda.
- Época del año.
- Condiciones climáticas de la región.

Por esta razón se han generado diferentes metodologías para el cálculo de las cargas térmicas, agrupando el problema de la siguiente forma:

De acuerdo con el uso del inmueble

- Para edificaciones habitacionales, ya sean unifamiliares o multifamiliares, también denominadas Residenciales.

- Para edificaciones no-habitacionales, que abarca toda otra edificación como pueden ser para uso industrial, comercial, oficinas, auditorios, cines, centros comerciales, etc.

De acuerdo con la época del año

- Calefacción
- Enfriamiento

De acuerdo con el propósito del análisis

- Para selección de equipo de climatización
- Para estimación del uso de energía y evaluación del confort

De acuerdo con su facilidad de uso

- Métodos manuales
- Métodos computacionales

Y en múltiples categorías anteriores se han desarrollado varios métodos, lo cual ha dado como resultado que exista un número apreciable de metodologías de cálculo para determinar las cargas de enfriamiento, lo cual genera una confusión entre quienes requieren realizar ese tipo de análisis y las diferencias entre los resultados obtenidos para una misma construcción.

Lo anterior también dificulta el proceso de aprendizaje del tema en las universidades y demás instituciones de educación superior, debido a que los estudiantes sólo se les puede mostrar uno de los métodos existentes, por lo general alguno de los más simplificados, para uso manual, dirigidos a la selección de equipo, y que depende de la bibliografía utilizada y de su fecha de publicación. Como consecuencia, no existe una visión clara entre los profesionales dedicados al cálculo y selección e

instalación de equipos de acondicionamiento de aire, de la restringida aplicabilidad y/o confiabilidad de algunos de los métodos de cálculo existentes, así como la continua evolución de los nuevos métodos.

De la clasificación anterior, los casos para los cuales existen mayor variedad de métodos son:

- Selección de equipo para enfriamiento en edificaciones no habitacionales.
- Estimación dinámica (horaria) del uso de energía y condiciones de confort.

Quedando las metodologías para el cálculo de cargas para calefacción y enfriamiento de edificaciones habitacionales (para la selección de equipo) como técnicas casi completas, que no han tenido cambios importantes en los últimos años.

**2.2.4 Metodologías desarrolladas por los comités de ASHRAE.**<sup>5</sup> Hasta ahora, ASHRAE ha desarrollado seis métodos de cálculo de carga de enfriamiento (Sauer y Howell, 1990) (ASHRAE, 2001):

- TFM (método de función de transferencia)
- TETD / TA (diferencia de temperatura equivalente total / promedio de tiempo)
- CLTD / CLF (diferencia de temperatura de carga de refrigeración / factor de carga de refrigeración)
- Método residencial.

---

<sup>5</sup> MARTÍN DOMÍNGUE y ALARCÓN HERRERA. Op. cit., p. 22.

- HB (método de balance de calor)
- RTS (Series de Tiempo Radiante)

Por supuesto, los métodos anteriores se basan en las mismas leyes de la termodinámica y la transferencia de calor, pero la diferencia entre ellos radica en las simplificaciones introducidas y el método utilizado para resolver las ecuaciones resultantes.

**2.2.5 Cronología de los métodos.** En 1967, el método TETD / TA se introdujo en el manual "Fundamentals" y el método TFM se introdujo en 1972. Debido a sus requisitos de cálculo, era demasiado complicado para aplicaciones a gran escala en ese momento. En 1977 se propuso una versión simplificada del método de función de transferencia en los principios básicos, denominada CLTD / CLF, cuyo propósito era convertirse en un método de cálculo manual de fácil manejo, y por su sencillez, se convirtió en un método de enseñanza universitario.

Poco después, se propuso un programa adicional llamado "residencial", que en realidad era un subconjunto del método CLTD / CLF, simplificado para ser utilizado solo para residencias unifamiliares (residenciales). Finalmente, la edición de 2001 de ASHRAE Fundamentals introdujo dos nuevos métodos, el llamado HB (balance de calor) y RTS (serie de tiempo radiante), y señaló que, aunque estos nuevos métodos son los más confiables para estimar la carga de enfriamiento en edificios. Los métodos anteriores siguen siendo válidos para muchas aplicaciones, pero debido a que son una simplificación del principio de equilibrio térmico, su uso requiere la experiencia del diseñador para tratar situaciones atípicas o anormales.

El argumento sobre la propuesta de ASHRAE de estos nuevos métodos para reemplazar los métodos anteriores es que, dada la disponibilidad de los cálculos actuales, no hay razón para usar métodos restringidos para simplificar, que se han simplificado para ser utilizados en cálculos manuales. Por tanto, los nuevos métodos

propuestos son versiones completas sin simplificaciones, y para aplicarlos se requieren programas informáticos especiales.

### **2.3 MÉTODO DE SERIES DE TIEMPO RADIANTE (RTS)<sup>6</sup>**

El método (RTS) es un método simplificado para realizar cálculos de carga de enfriamiento de diseño. Se deriva del método de balance de calor (HBM), y cuando se usa dentro de sus límites, los resultados obtenidos son ligeramente conservadores, es decir, en comparación con HBM, predice una pequeña carga de enfriamiento. El RTSM fue elaborado para ser riguroso y no requiere iteración (como HBM) para determinar la ganancia de calor por conducción y la carga de enfriamiento. El RTSM produce ganancias de calor de componentes individuales y cargas de enfriamiento que pueden ser analizadas fácilmente por el diseñador. Además, los coeficientes utilizados para calcular la ganancia de calor por conducción transitoria y la carga de enfriamiento tienen significados físicos que los usuarios de este método pueden comprender.

Estas características permiten utilizar el criterio de ingeniería en el proceso de cálculo de la carga de refrigeración. RTSM es adecuado para su uso en hojas de cálculo. Aunque es conceptualmente simple, como método manual, en realidad requiere demasiado cálculo.

**2.3.1 Supuestos y principios de la carga de enfriamiento de RTS.** La carga de enfriamiento de diseño se basa en el supuesto de condiciones periódicas estables (es decir, las condiciones climáticas, de ocupación y de ganancia de calor en el día de diseño son las mismas que en los días anteriores, por lo que la carga se repite en el mismo ciclo de 24 horas). Por lo tanto, la ganancia de calor de un componente específico en un momento específico es la misma que hace 24 horas, la misma que

---

<sup>6</sup> AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASHRAE,2017. 18.22 p.

hace 48 horas, y así sucesivamente. Esta suposición es la base de la derivación RTS del método HB. El cálculo de la carga de refrigeración debe tener en cuenta dos efectos de retardo inherentes al proceso de transferencia de calor del edificio:

(1) Retraso de la ganancia de calor por conducción a través de superficies externas sólidas opacas (paredes, techos o pisos).

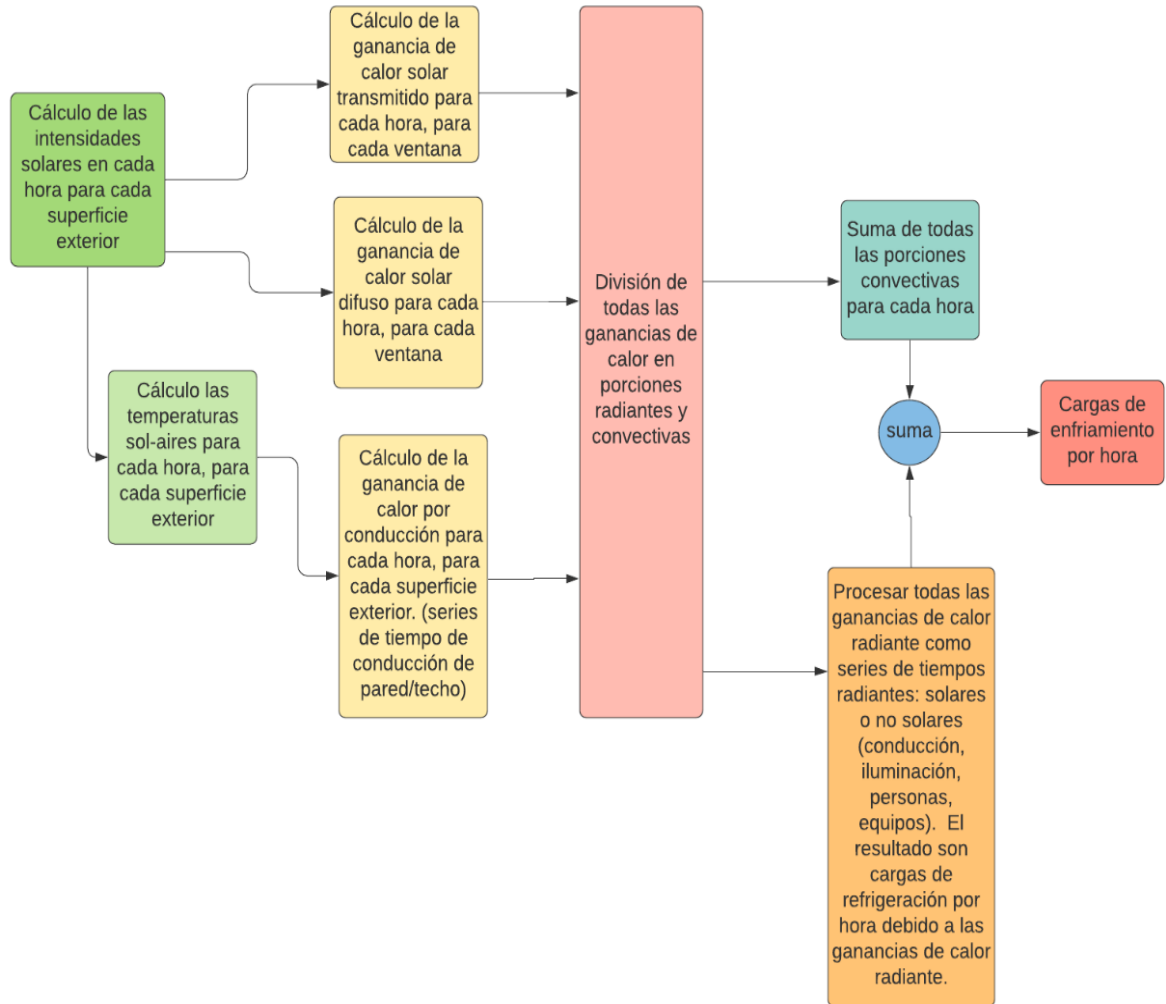
(2) Retraso en la conversión de la ganancia de calor radiante en carga de enfriamiento.

Las paredes externas y los techos conducen el calor debido a las diferencias de temperatura entre el aire exterior y el interior. Además, la energía solar se absorbe en las superficies externas y luego se transfiere al edificio mediante conducción térmica. Debido a la masa y la capacidad calorífica de los materiales de las paredes o techos, existe un retraso considerable en la entrada de calor a la superficie exterior, que se convierte en ganancia de calor en la superficie interior.

La mayoría de las fuentes de calor transfieren energía a la habitación mediante una combinación de convección y radiación. La parte convectiva del calor se convierte inmediatamente en carga de enfriamiento. La parte radiante debe ser absorbida primero por el acabado y la masa de las superficies interiores de la habitación, y solo cuando se transfiere de las superficies al aire de la habitación por convección, se convierte en una carga de enfriamiento. Por lo tanto, la ganancia de calor radiante se convierte en una carga de enfriamiento en el período de tiempo retardado.

**2.3.2 Descripción general del método de series de tiempo radiante.** La Figura 1 describe el método de series de tiempo de radiante. Al calcular la radiación solar, el calor solar transferido a través de las ventanas, la temperatura del aire solar y la infiltración, el método RTS es exactamente el mismo que los métodos simplificados anteriores (TFM y TETD / TA).

Figura 1. visión general del método de series de tiempo radiante para paredes, techos y ventanas.



Las diferentes áreas importantes incluyen calcular la ganancia de calor por conducción, dividir toda la ganancia de calor en partes radiantes y convectivas y convertir la ganancia de calor por radiación en carga de enfriamiento.

El método RTS considera los efectos del retardo de tiempo de conducción y el retardo de tiempo de radiación multiplicando la ganancia de calor por hora por una

serie de tiempo de 24 horas. De hecho, la multiplicación de series de tiempo distribuye el calor a lo largo del tiempo.

Los coeficientes de serie, que se llaman factores de tiempo radiante ( $r_0, r_1, r_2 \dots r_{23}$ ) y factores de tiempo de conducción ( $c_0, c_1, c_2 \dots c_{23}$ ), se derivan utilizando el método de balance de calor.

El factor de tiempo de radiante refleja el porcentaje de ganancia de calor radiante anterior, que se convierte en carga de enfriamiento en la hora actual. De manera similar, el factor tiempo de conducción refleja el aumento previo de calor fuera de la pared o techo, que se convierte en un aumento del calor interno durante la hora actual. Por definición, la suma de cada serie temporal de radiación o conducción debe ser del 100%.

Estas series se pueden utilizar para comparar fácilmente los efectos de retardo de tiempo de una estructura con otra. Esta capacidad de comparar opciones es particularmente útil en el proceso de diseño cuando es posible que no se hayan determinado todos los detalles de la construcción. La comparación puede ilustrar el tamaño de la diferencia entre las opciones, de modo que los ingenieros puedan hacer juicios y hacer suposiciones más informadas al estimar la carga.

Los pasos para calcular la carga de refrigeración a través de paredes, techos y ventanas utilizando RTS son los siguientes:

Tanto para paredes, techos y ventanas el primer paso es:

- Determinación de la irradiación solar incidente en la superficie

El siguiente paso depende del tipo de componente, para paredes y techos se prosigue con:

- Cálculo de la temperatura aire-sol
- Cálculo de la ganancia de calor por conducción utilizando la serie de tiempo de conducción (CTS).
- División las ganancias de calor en componente radiante y convectivo (el componente convectivo es carga directa de refrigeración).
- Conversión del componente radiante de las ganancias de calor por conducción en carga de refrigeración utilizando la serie de tiempo radiante (RTF no solares).
- Suma de las cargas radiativas y convectivas de refrigeración.

Para las ventanas sin sombreado interior y exterior, luego del cálculo de la irradiación los pasos son los siguientes:

- Determinar las ganancias de calor solar por haz directo, difuso y convectivo
- Conversión de la ganancia de haz directo en carga de enfriamiento utilizando la serie de tiempo radiante (RTF solares).
- Suma de la ganancia de calor solar difuso y convectivo (Ganancia de calor por conducción instantánea, es decir, no ocurre retraso en el tiempo del flujo de calor).
- División de la ganancia de calor por conducción en componente radiante y convectivo (Carga de refrigeración directa).
- Conversión del componente radiante de las ganancias de calor por conducción en carga de refrigeración utilizando la serie de tiempo radiante (RTF no solares).



$$H = 15(AST - 12) \quad (2)$$

Altitud solar  $\beta$ :

$$\sin(\beta) = \cos(L) \cos(\delta) \cos(H) + \sin(L) \sin(\delta) \quad (3)$$

Azimut solar  $\phi$ :

$$\cos(\phi) = \frac{\sin(\beta) \sin(L) - \sin(\delta)}{\cos(\beta) \cos(L)} \quad (4)$$

Azimut solar-superficie  $\gamma$ :

$$\gamma = \phi - \psi \quad (5)$$

Angulo de incidencia  $\theta$ :

$$\cos(\theta) = \cos(\beta) \cos(\gamma) \sin(\Sigma) + \sin(\beta) \cos(\Sigma) \quad (6)$$

Donde:

*ET = Ecuación de tiempo, minutos decimales, ver tabla 1*

*L = Latitud*

*LON = Longitud local, grados decimales de arco*

*LSM = Meridiano estandar local, grados decimales de arco, ver tabla 2.*

*LST = Hora estandar local*

*$\delta$  = Declinación solar, °, ver tabla 1*

*$\psi$  = Azimut de la superficie, °*

*$\Sigma$  = Inclinación de la superficie desde la horizontal, °*

*$\Sigma = 0$  ; superficie horizontal*

*$\Sigma = 90$ ; superficie vertical*

Tabla 1. Irradiancia solar extraterrestre y datos relacionados.

	$E_o$ , W/m <sup>2</sup>	Equation of Time, min	Declina- tion, degrees	$A$ W/m <sup>2</sup>	$B$ (Dimensionless Ratios)	$C$
Jan	1416	-11.2	-20.0	1230	0.142	0.058
Feb	1401	-13.9	-10.8	1215	0.144	0.060
Mar	1381	-7.5	0.0	1186	0.156	0.071
Apr	1356	1.1	11.6	1136	0.180	0.097
May	1336	3.3	20.0	1104	0.196	0.121
June	1336	-1.4	23.45	1088	0.205	0.134
July	1336	-6.2	20.6	1085	0.207	0.136
Aug	1338	-2.4	12.3	1107	0.201	0.122
Sep	1359	7.5	0.0	1151	0.177	0.092
Oct	1380	15.4	-10.5	1192	0.160	0.073
Nov	1405	13.8	-19.8	1221	0.149	0.063
Dec	1417	1.6	-23.45	1233	0.142	0.057

*Note:* Data are for 21st day of each month during the base year of 1964.

**Fuente:** AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Extraterrestrial Solar Irradiance and Related Data. 2001 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAE. 2001. p. 30.13.

Tabla 2. Meridiano estándar local para algunas de las zonas horarias.

LSM	UTC	Zona horaria
60°	-4	Hora estándar del Atlántico
75°	-5	Hora estándar del Este
90	-6	Hora estándar central
105	-7	Hora estándar de montaña
120	-8	Hora estándar del Pacífico
135	-9	Hora estándar de Alaska
150	-10	Hora estándar de Hawái-Aleutianas

Teniendo calculados los valores anteriores es posible continuar con el cálculo de cada una de las diferentes irradiaciones, a continuación, se muestran las ecuaciones y tablas para su cálculo.

### **Irradiancia solar directa ( $E_{DN}$ )**

Si  $\beta > 0$

$$E_{DN} = \left[ \frac{A}{\exp(B/\sin(\beta))} \right] CN \quad (7)$$

En otro caso:

$$E_{DN} = 0 \quad (8)$$

### **Irradiancia directa superficial ( $E_D$ )**

Si  $\cos(\theta) > 0$        $E_D = E_{DN} \cos(\theta) \quad (9)$

En otro caso:       $E_D = 0 \quad (10)$

Relación  $Y$  de cielo difuso en superficie vertical a cielo difuso en superficie horizontal:

Si  $\cos(\theta) > -0.2$

$$Y = 0.55 + 0.437 \cos(\theta) + 0.313 \cos^2(\theta) \quad (11)$$

En otro caso:       $Y = 0.45 \quad (12)$

### **Irradiancia difusa ( $E_d$ )**

Superficies verticales:

$$E_d = CYE_{DN} \quad (13)$$

Superficies distintas a la vertical:

$$E_d = \frac{CE_{DN}(1+\cos(\Sigma))}{2} \quad (14)$$

**Irradiancia reflejada ( $E_r$ )**

$$E_r = \frac{E_{DN}(C+\sin(\beta))\rho_g(1-\cos(\Sigma))}{2} \quad (15)$$

**Irradiancia superficial total ( $E_t$ )**

$$E_t = E_D + E_d + E_r \quad (16)$$

Donde:

$A$  = Constante solar aparente, ver tabla 1

$B$  = Coeficiente de extinción atmosférica, ver tabla 1

$C$  = Factor de difisión del cielo, ver tabla 1

$CN$  = Numero de claridad para localizaciones Despejadas/secas o Brumosas/Humedas.

$E_d$  = Irradiancia difusa del cielo

$E_r$  = Irradiancia difusa reflejada por el suelo

$\rho_g$  = reflectividad del suelo, ver tabla 1

Tabla 3. Reflectividades solares para superficies.

Foreground Surface	Incident Angle					
	20°	30°	40°	50°	60°	70°
New concrete	0.31	0.31	0.32	0.32	0.33	0.34
Old concrete	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.25
Bright green grass	0.21	0.22	0.23	0.25	0.28	0.31
Crushed rock	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Bitumen and gravel roof	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Bituminous parking lot	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12

**Fuente:** AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Solar Reflectances of Foreground Surfaces. 2001 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAE. 2001. p. 30.16.

**2.3.2.2 Ganancia de calor a través de paredes y techos.** En el método RTS, la conducción a través de paredes y techos exteriores se calcula utilizando series de tiempo de conducción (CTS). La entrada de calor conductivo de la pared y el techo por el exterior se define por la ecuación de conducción:

$$q_{i,\theta-n} = UA(t_{e,\theta-n} - t_{rc}) \quad (17)$$

Donde:

$q_{i,\theta-n}$  = Entrada de calor conductivo para la superficie n horas atrás, W

$U$  = Coeficiente de transferencia de calor global para la superficie,  $W/(m^2 \cdot K)$

$A$  = Área de la superficie,  $m^2$

$t_{e,\theta-n}$  = Temperatura Sol – Aire n horas atrás,  $^{\circ}C$

$t_{rc}$  = Temperatura constante del aire del recinto asumida,  $^{\circ}C$

### **Temperatura Sol-Aire.**

La temperatura del aire solar es la temperatura del aire exterior que, en ausencia de todos los cambios de radiación, la tasa de entrada de calor proporcionada a la superficie es la misma que la combinación de radiación solar incidente, intercambio de energía radiante del cielo y el entorno exterior e intercambio de calor por convección con aire exterior.

El balance de calor de la superficie bajo el sol es el siguiente:

$$\frac{q}{A} = \alpha E_t + h_o(t_o - t_s) - \varepsilon \Delta R \quad (18)$$

Donde:

$\alpha$  = Absortividad de la superficie para radiación solar

$E_t$  = Irradiación solar total incidente en la superficie,  $W/m^2$

$h_o$  = Coeficiente de transferencia de calor por radiación de onda larga y convección en la superficie exterior,  $W/(m^2 \cdot K)$

$t_o =$  Temperatura exterior, °C

$t_s =$  Temperatura de la superficie, °C

$\varepsilon =$  Emitancia hemisférica de la superficie

$\Delta R =$  diferencia entre la radiación de onda larga incidente en la superficie desde el cielo y los alrededores, y la radiación emitida por un cuerpo negro a la temperatura del aire exterior,  $W/m^2$

Suponiendo que la tasa de transferencia de calor se puede expresar en términos de la temperatura sol-aire  $t_e$ .

$$\frac{q}{A} = h_o(t_e - t_s) \quad (19)$$

Igualando las ecuaciones 18 y 19, se obtiene como resultado:

$$t_e = t_o + \frac{\alpha E_t}{h_o} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_o} \quad (20)$$

Para superficies horizontales que reciben radiación de onda larga únicamente del cielo, un valor apropiado de  $\Delta R$  es aproximadamente  $63 \frac{W}{m^2}$ , de modo que si  $\varepsilon = 1$  y  $h_o = 17 W/(m^2 \cdot K)$ , el término de corrección de onda larga es de aproximadamente 4 K.

Dado que la superficie vertical recibe radiación de onda larga del suelo y los edificios circundantes del cielo, es difícil determinar el valor exacto de  $\Delta R$ . Cuando la intensidad de la radiación solar es alta, la superficie de los objetos terrestres tiende a tener una temperatura más alta que el aire exterior, por lo que su radiación de onda larga compensa en cierta medida la baja radiación del cielo. Por lo tanto, es una práctica común suponer  $\Delta R = 0$  para superficies verticales.

Colores de superficie, el valor de  $\alpha/h_o = 0,026$  es apropiado para una superficie de color claro, mientras que  $\alpha/h_o = 0,052$  representa el valor máximo usual para este

parámetro (es decir, para una superficie de color oscuro o cualquier superficie para la que no se pueda anticipar de forma fiable la luminosidad permanente). Los valores de absorptancia solar de varias superficies se incluyen en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de absorptividad solar de varias superficies

Surface	Absorptance
Brick, red (Purdue) <sup>a</sup>	0.63
Paint	
Red <sup>b</sup>	0.63
Black, matte <sup>b</sup>	0.94
Sandstone <sup>b</sup>	0.50
White acrylic <sup>a</sup>	0.26
Sheet metal, galvanized	
New <sup>a</sup>	0.65
Weathered <sup>a</sup>	0.80
Shingles	
Gray <sup>b</sup>	0.82
Brown <sup>b</sup>	0.91
Black <sup>b</sup>	0.97
White <sup>b</sup>	0.75
Concrete <sup>a,c</sup>	0.60 to 0.83

<sup>a</sup>Incropera and DeWitt (1990).

<sup>b</sup>Parker et al. (2000).

<sup>c</sup>Miller (1971).

**Fuente:** AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Solar Absorptance Values of Various Surfaces. 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAE. 2017. p. 18.25.

### Temperatura exterior

Para calcular el perfil de la temperatura exterior del día de diseño es necesario conocer la temperatura diseño (Usualmente la temperatura máxima del mes más caluroso del año), el rango de temperatura promedio del mes más caluroso y los porcentajes del rango diario de temperatura del día típico. Estos términos se relacionan de la siguiente manera:

$$t_{o\theta} = t_D - P_\theta * RD \quad (21)$$

Donde:

$t_D$  = Temperatura de diseño

$P_\theta$  = Porcentaje de rango diario a la hora determinada

$RD$  = Rango diario de temperatura

$t_{o\theta}$  = Temperatura exterior a la hora determinanda

En la tabla 5 se encuentran los valores de porcentaje de rango temperatura típicos de un día.

Tabla 5. Porcentajes de rango diario de temperatura.

<b>Time, h</b>	<b>%</b>	<b>Time, h</b>	<b>%</b>	<b>Time, h</b>	<b>%</b>
1	87	9	71	17	10
2	92	10	56	18	21
3	96	11	39	19	34
4	99	12	23	20	47
5	100	13	11	21	58
6	98	14	3	22	68
7	93	15	0	23	76
8	84	16	3	24	82

**Fuente:** AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Percentage of Daily Temperature Range. 2001 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAE. 2001. p. 29.17.

El rango diario al aire libre es la diferencia entre la temperatura máxima diaria promedio y la temperatura mínima diaria promedio durante el mes más caluroso. Se podrían obtener resultados más confiables determinando o estimando la forma de la curva de temperatura para los días calurosos típicos en el sitio de construcción y considerando cada mes por separado, para lograr estos resultados es necesario información específica de las condiciones climatológicas del sitio de interés. La carga máxima de enfriamiento suele estar determinada por la ganancia de calor solar a través de la fenestración; este pico puede ocurrir en los meses de invierno y / o en un momento del día cuando la temperatura del aire exterior no está en su pico.

La ganancia de calor conductivo a través de paredes o techos se puede calcular utilizando las entradas de calor conductor para las horas actuales y las últimas 23, con las series de tiempo de conducción:

$$q_{\theta} = c_0 q_{i,\theta} + c_1 q_{i,\theta-1} + c_2 q_{i,\theta-2} + c_3 q_{i,\theta-3} + \dots + c_{23} q_{i,\theta-23} \quad (22)$$

Donde:

$q_{\theta}$  = Ganancia de calor conductivo por la superficie para cada hora.

$q_{i,\theta}$  = Entrada de calor de la hora actual.

$q_{i,\theta-n}$  = Entrada de calor  $n$  horas atrás.

$c_0, c_1, \text{etc.}$  = Factores de tiempo de conducción

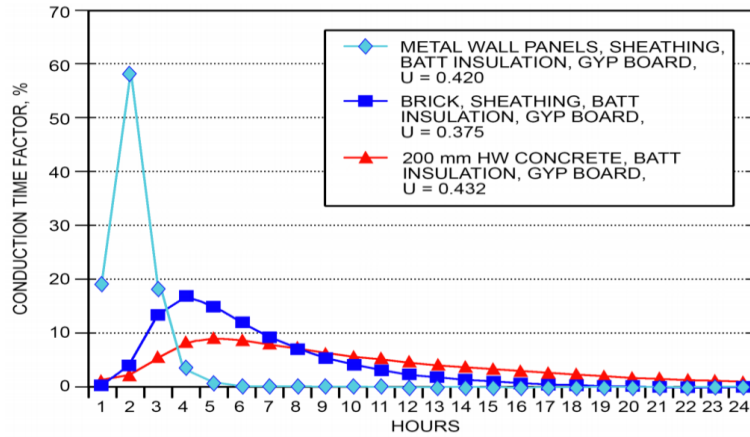
Esos valores se obtuvieron calculando primero las funciones de transferencia de conducción para cada ejemplo de construcción de paredes y techos. La suposición de condiciones de entrada de calor periódicas estables para los cálculos de carga de diseño permitió que las funciones de transferencia de conducción se reformulen en factores de respuesta periódicos como lo demuestran Spitler y Fisher (1999a).

Los factores de respuesta periódica se simplificaron aún más al dividir los 24 factores de respuesta periódica por el factor U en el techo o pared respectiva para formar la serie de tiempo de conducción (CTS). Los factores de tiempo de conducción se pueden usar en la Ecuación (22) y proporcionan un medio para comparar las características de retardo de tiempo entre diferentes construcciones de paredes y techos. Las ganancias de calor calculadas para paredes o techos utilizando factores de respuesta periódicos (y, por lo tanto, CTS) son idénticas a las calculadas usando las funciones de transferencia de conducción para las condiciones periódicas constantes asumidas en los cálculos de la carga de refrigeración de diseño. La metodología para calcular los factores de respuesta periódicos de las funciones de transferencia de conducción se desarrolló originalmente como parte del Proyecto de Investigación 875 de ASHRAE (Spitler et al. 1997, Spitler y Fisher 1999b).

La Figura 3 ilustra los valores CTS para tres paredes con factores U similares, pero con una construcción ligera a pesada. La Figura 4 ilustra el CTS para tres paredes

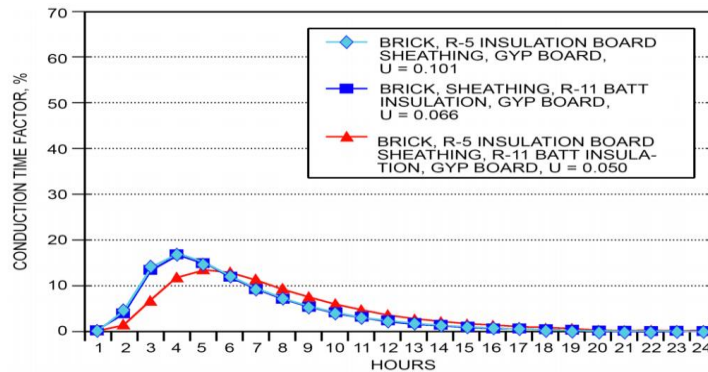
con una construcción similar, pero con diferentes cantidades de aislamiento, por lo tanto, con factores U significativamente diferentes.

Figura 3. CTSF para paredes ligeras a pesadas.



**Fuente:** AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING and Air-Conditioning Engineers. CTS for Light to Heavy Walls. [Figura]. 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAЕ. 2017. p. 18.23.

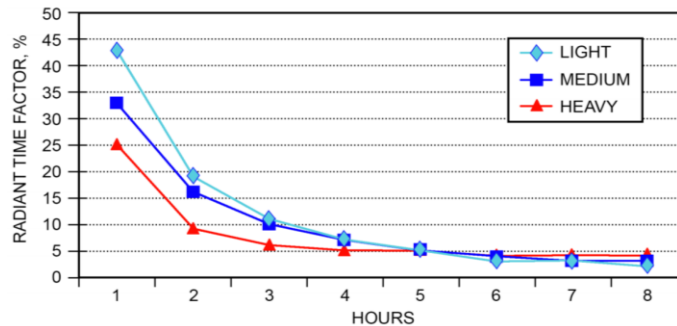
Figura 4. CTSF para paredes con masa similar y aislamiento creciente



**Fuente:** AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. CTS for Walls with Similar Mass and Increasing Insulation. [Figura]. 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAЕ. 2017. p. 18.23.

La Figura 5 ilustra los valores de RTS para zonas que varían de construcción ligera a pesada.

Figura 5. RTF para construcción ligera a pesada



**Fuente:** AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. RTS for Light to Heavy Construction. [Figura]. 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAE. 2017. p. 18.23.

En la tabla 6 se muestran la configuración de las superficies que conforma la zona predeterminada como ligera, mediana y pesada, por ASHRAE.

Tabla 6. Superficies de zonas predeterminadas por ASHRAE.

Construction Class	Exterior Wall	Roof/Ceiling	Partitions	Floor	Furnishings
Light	Steel siding, 50 mm insulation, air space, 19 mm gyp.	100 mm LW concrete, ceiling air space, acoustic tile	19 mm gyp., air space, 19 mm gyp.	Acoustic tile, ceiling air space, 100 mm LW concrete	25 mm wood @ 50% of floor area
Medium	100 mm face brick, 50 mm insulation, air space, 19 mm gyp.	100 mm HW concrete, ceiling air space, acoustic tile	19 mm gyp., air space, 19 mm gyp.	Acoustic tile, ceiling air space, 100 mm HW concrete	25 mm wood @ 50% of floor area
Heavy	100 mm face brick, 200 mm HW concrete air space, 50 mm insulation, 19 mm gyp.	200 mm HW concrete, ceiling air space, acoustic tile	19 mm gyp., 200 mm HW concrete block, 19 mm gyp.	Acoustic tile, ceiling air space, 200 mm HW concrete	25 mm wood @ 50% of floor area

**Fuente:** AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. RTS Representative Zone Construction for Tables 19 and 20. 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAE. 2017. p. 18.39.

**2.3.2.3 Ganancia de calor a través de ventanas.** La principal variable relacionada con el clima que influye en la carga de refrigeración de un edificio es la radiación solar. El efecto de la radiación solar es más pronunciado e inmediato en su impacto sobre las superficies expuestas no opacas. El cálculo de la ganancia de calor solar y la transferencia de calor por conducción a través de varios materiales de acristalamiento y marcos de montaje asociados, con o sin dispositivos de protección interior y / o exterior, se analiza en el Capítulo 15 del manual de la ASHRAE 2017, lo que se ofrece a continuación es la aplicación de tales datos a la evaluación general de la ganancia de calor y la conversión de la ganancia de calor calculada en una carga de enfriamiento compuesta para el espacio acondicionado.

Para la ganancia de calor de la ventana, utilice las siguientes ecuaciones:

Ganancia de calor solar de haz directo  $q_b$ :

$$q_b = AE_D SHGC(\theta) IAC(\theta, \Omega) \quad (23)$$

Ganancia de calor solar difuso  $q_d$ :

$$q_d = A(E_d + E_r) \langle SGGH \rangle_D IAC_D \quad (24)$$

Ganancia de calor convectivo  $q_c$ :

$$q_c = UA(t_o - t_{rc}) \quad (25)$$

Ganancia de calor total por fenestración:

$$Q = q_b + q_d + q_c \quad (26)$$

Donde:

$A = \text{Área de la ventana, } m^2$

$U$  = factor  $U$  global, incluido el marco y la orientación de montaje, ver tabla 7  
 $SHGC(\theta)$  = coeficiente de ganancia de calor solar del haz en función del ángulo de incidencia  $\theta$ , ver tabla 8

$\langle SHGC \rangle_D$  = coeficiente de ganancia de calor solar difuso, ver tabla 8  
 (también denominado  $SHGC$  hemisférico)

$T_{in}$  = Temperatura interior

$T_{out}$  = Temperatura exterior

$IAC(\theta, \Omega)$  = coeficiente de atenuación solar interior para la ganancia de calor solar del haz, 1.0 si no hay dispositivos de sombra interior

$IAC_D$  = coeficiente de atenuación solar interior para la ganancia de calor solar difusa, 1.0 si no hay dispositivos de sombra interior

Tabla 7. Coeficientes globales de transferencia de calor para acristalamientos.

Product Type		Glass Only		Vertical Installation										
				Operable (including sliding and swinging glass doors)					Fixed					
Frame Type		Center of Glass	Edge of Glass	Aluminum Without Thermal Break	Aluminum With Thermal Break	Reinforced Vinyl/Aluminum Clad Wood	Wood/Vinyl	Insulated Fiberglass/Vinyl	Aluminum Without Thermal Break	Aluminum With Thermal Break	Reinforced Vinyl/Aluminum Clad Wood	Wood/Vinyl	Insulated Fiberglass/Vinyl	
ID	Glazing Type			Aluminum Thermal Break	Aluminum Thermal Break	Reinforced Vinyl/Aluminum Clad Wood	Wood/Vinyl	Insulated Fiberglass/Vinyl	Aluminum Thermal Break	Aluminum Thermal Break	Reinforced Vinyl/Aluminum Clad Wood	Wood/Vinyl	Insulated Fiberglass/Vinyl	
<b>Single Glazing</b>														
1	3.2 mm glass	5.91	5.91	7.01	6.08	5.27	5.20	4.83	6.38	6.06	5.58	5.58	5.40	
2	6 mm acrylic/polycarb	5.00	5.00	6.23	5.35	4.59	4.52	4.18	5.55	5.23	4.77	4.77	4.61	
3	3.2 mm acrylic/polycarb	5.45	5.45	6.62	5.72	4.93	4.86	4.51	5.96	5.64	5.18	5.18	5.01	
<b>Double Glazing</b>														
<b>Double Glazing, e = 0.60 on surface 2 or 3</b>														
4	6 mm airspace	3.12	3.63	4.62	3.61	3.24	3.14	2.84	3.88	3.52	3.18	3.16	3.04	
5	13 mm airspace	2.73	3.36	4.30	3.31	2.96	2.86	2.58	3.54	3.18	2.85	2.83	2.72	
6	6 mm argon space	2.90	3.48	4.43	3.44	3.08	2.98	2.69	3.68	3.33	3.00	2.98	2.86	
7	13 mm argon space	2.56	3.24	4.16	3.18	2.84	2.74	2.46	3.39	3.04	2.71	2.69	2.58	
<b>Double Glazing, e = 0.40 on surface 2 or 3</b>														
8	6 mm airspace	2.95	3.52	4.48	3.48	3.12	3.02	2.73	3.73	3.38	3.04	3.02	2.90	
9	13 mm airspace	2.50	3.20	4.11	3.14	2.80	2.70	2.42	3.34	2.99	2.67	2.65	2.53	
10	6 mm argon space	2.67	3.32	4.25	3.27	2.92	2.82	2.54	3.49	3.13	2.81	2.79	2.67	
11	13 mm argon space	2.33	3.08	3.98	3.01	2.68	2.58	2.31	3.20	2.84	2.52	2.50	2.39	
<b>Double Glazing, e = 0.40 on surface 2 or 3</b>														
12	6 mm airspace	2.78	3.40	4.34	3.35	3.00	2.90	2.61	3.59	3.23	2.90	2.88	2.77	
13	13 mm airspace	2.27	3.04	3.93	2.96	2.64	2.54	2.27	3.15	2.79	2.48	2.46	2.35	
14	6 mm argon space	2.44	3.16	4.07	3.09	2.76	2.66	2.38	3.30	2.94	2.62	2.60	2.49	
15	13 mm argon space	2.04	2.88	3.75	2.79	2.48	2.38	2.11	2.95	2.60	2.29	2.27	2.16	

**Fuente:** AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. U-Factors for Various Fenestration Products in W/(m<sup>2</sup>·K). 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAE. 2017. p. 15.9.

En las siguientes tablas se muestran los valores de SHGC y IAC para algunos tipos de acristalamientos, las tablas completas, los detalles del cálculo de los SHGC y el uso adecuado de los valores IAC para todos los dispositivos de sombreado, se encuentran en el capítulo 15 de 2017 ASRHAЕ Handbook-Fundamentals.

Tabla 8. Coeficientes de ganancia de calor solar  $SHGC(\theta)$  y  $\langle SHGC \rangle_D$ .

ID	Glazing System		Center Glazing $T_v$	Center-of-Glazing Properties								Total Window SHGC at Normal Incidence				Total Window $T_v$ at Normal Incidence			
				Incidence Angles								Aluminum		Other Frames		Aluminum		Other Frames	
				Normal 0.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	Hemis., Diffuse	Operable	Fixed	Operable	Fixed	Operable	Fixed	Operable	Fixed	
<i>Uncoated Single Glazing</i>																			
1a	3	CLR	0.90	SHGC	0.86	0.84	0.82	0.78	0.67	0.42	0.78	0.79	0.70	0.76	0.80	0.81	0.72	0.79	
				$T$	0.83	0.82	0.80	0.75	0.64	0.39									
				$R^f$	0.08	0.08	0.10	0.14	0.25	0.51									
				$R^b$	0.08	0.08	0.10	0.14	0.25	0.51									
				$\mathcal{A}_1^f$	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10									
1b	6	CLR	0.88	SHGC	0.81	0.80	0.78	0.73	0.62	0.39	0.74	0.74	0.66	0.72	0.78	0.79	0.70	0.77	
				$T$	0.77	0.75	0.73	0.68	0.58	0.35									
				$R^f$	0.07	0.08	0.09	0.13	0.24	0.48									
				$R^b$	0.07	0.08	0.09	0.13	0.24	0.48									
				$\mathcal{A}_1^f$	0.16	0.17	0.18	0.19	0.19	0.17									

**Fuente:** AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Visible Transmittance  $T_v$ , Solar Heat Gain Coefficient (SHGC), Solar Transmittance  $T$ , Front Reflectance  $R_f$ , Back Reflectance  $R_b$ , and Layer Absorptance  $A$  for Glazing and Window Systems. 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAЕ. 2017. p. 15.22.

Tabla 9. Valores IAC para cortinas con persianas: acristalamientos sencillos sin revestimiento.

Glazing ID:			1a	1b	1c	1d	1e	1f	1g	1h	1i	
Louver Location	Louver Reflection	$\phi$	$IAC_{\theta} (IAC_{90})/IAC_{diff}, F_R^d$									
Indoor Side	0.15	Worst <sup>a</sup>	0.98 (0.97)0.86	0.98 (0.97)0.86	0.98 (0.96)0.86	0.97 (0.95)0.87	0.98 (0.96)0.87	0.97 (0.95)0.87	0.98 (0.96)0.87	0.97 (0.95)0.87	0.97 (0.95)0.87	0.97 (0.95)0.87
		0°	0.98 (0.78)0.87	0.98 (0.79)0.87	0.98 (0.80)0.88	0.97 (0.82)0.88	0.98 (0.80)0.88	0.97 (0.82)0.89	0.98 (0.80)0.88	0.97 (0.82)0.89	0.97 (0.82)0.88	0.97 (0.82)0.88
		Excluded Beam <sup>b</sup>	0.73 (0.78)0.87	0.74 (0.79)0.87	0.75 (0.80)0.88	0.77 (0.82)0.88	0.76 (0.80)0.88	0.77 (0.82)0.88	0.76 (0.80)0.88	0.78 (0.82)0.88	0.77 (0.82)0.88	0.77 (0.82)0.88
	45°	0.80 (0.74)0.83	0.80 (0.75)0.83	0.81 (0.76)0.84	0.82 (0.78)0.85	0.81 (0.77)0.84	0.83 (0.79)0.85	0.81 (0.77)0.84	0.83 (0.79)0.85	0.82 (0.78)0.85	0.82 (0.78)0.85	
	Closed	0.70 (0.70)0.73	0.70 (0.70)0.74	0.72 (0.72)0.75	0.74 (0.74)0.76	0.72 (0.72)0.75	0.74 (0.74)0.77	0.72 (0.72)0.75	0.74 (0.74)0.77	0.74 (0.74)0.77	0.74 (0.74)0.76	
				0.44	0.44	0.42	0.4	0.42	0.4	0.42	0.4	0.4
Indoor Side	0.50	Worst <sup>a</sup>	0.98 (0.96)0.80	0.97 (0.96)0.80	0.97 (0.96)0.81	0.97 (0.95)0.83	0.97 (0.96)0.82	0.97 (0.95)0.83	0.97 (0.96)0.82	0.97 (0.95)0.83	0.97 (0.95)0.83	0.97 (0.95)0.83
		0°	0.98 (0.70)0.83	0.97 (0.70)0.84	0.97 (0.72)0.84	0.97 (0.75)0.86	0.97 (0.73)0.85	0.97 (0.76)0.86	0.97 (0.73)0.85	0.97 (0.76)0.86	0.97 (0.75)0.86	0.97 (0.75)0.86
		Excluded Beam <sup>b</sup>	0.59 (0.70)0.82	0.60 (0.70)0.83	0.63 (0.72)0.84	0.67 (0.75)0.85	0.64 (0.73)0.84	0.67 (0.76)0.85	0.64 (0.73)0.84	0.67 (0.76)0.85	0.67 (0.76)0.85	0.67 (0.75)0.85
	45°	0.69 (0.58)0.74	0.70 (0.59)0.75	0.72 (0.62)0.76	0.75 (0.66)0.79	0.73 (0.63)0.77	0.75 (0.67)0.79	0.73 (0.63)0.77	0.75 (0.67)0.79	0.75 (0.66)0.79	0.75 (0.66)0.79	
	Closed	0.51 (0.49)0.58	0.52 (0.50)0.58	0.55 (0.53)0.61	0.60 (0.58)0.65	0.56 (0.54)0.62	0.60 (0.59)0.65	0.56 (0.54)0.62	0.61 (0.59)0.66	0.60 (0.58)0.65	0.60 (0.58)0.65	
				0.46	0.45	0.43	0.4	0.42	0.4	0.42	0.39	0.4

**Fuente:** AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. IAC Values for Louvered Shades: Uncoated Single Glazings. 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAЕ. 2017. p. 15.39.

**2.3.2.4 Cálculo de la carga de refrigeración utilizando RTS.** La carga de refrigeración instantánea se define como la velocidad a la que la energía de calor se transfiere al aire de la zona en un momento dado. El cálculo de la carga de refrigeración se complica por el intercambio radiante entre superficies, muebles, particiones y otras masas en la zona. La mayoría de las fuentes de ganancia de calor transfieren energía por convección y radiación. La transferencia de calor radiativo introduce en el proceso una dependencia del tiempo que no se cuantifica fácilmente. La radiación es absorbida por las masas térmicas en la zona y luego se transfiere por convección al espacio. Este proceso crea un retraso y un efecto de amortiguación. Por otro lado, se supone que la porción de convección de las ganancias de calor se convierte inmediatamente en carga de refrigeración en la hora en que se produce esa ganancia de calor.

El procedimiento de la serie de tiempo radiante simplifica aún más el procedimiento de balance de calor al depender de una división estimada por radiación y convección de la ganancia de calor conductivo de la pared y el techo en lugar de resolver simultáneamente la transferencia de calor por convección y radiación de cada superficie, como se hace en el procedimiento de balance de calor.

Por lo tanto, la carga de enfriamiento para cada componente de carga (luces, personas, paredes, techos, ventanas, electrodomésticos, etc.) para una hora en particular es la suma de la porción convectiva de la ganancia de calor para esa hora más la porción con retraso del tiempo del calor radiante recibido durante esa hora y las 23 h anteriores. La Tabla 10 contiene recomendaciones para dividir cada uno de los componentes de ganancia de calor en porciones convectivas y radiantes.

Tabla 10. Porcentajes para separación en parte radiante y convectiva de la ganancia de calor.

Heat Gain Type	Recommended Radiative Fraction	Recommended Convective Fraction	Comments
Occupants, typical office conditions	0.60	0.40	See Table 1 for other conditions.
Equipment	0.1 to 0.8	0.9 to 0.2	See Tables 6 to 12 for details of equipment heat gain and recommended radiative/convective splits for motors, cooking appliances, laboratory equipment, medical equipment, office equipment, etc.
Office, with fan	0.10	0.90	
Without fan	0.30	0.70	
Lighting			Varies; see Table 3.
Conduction heat gain			
Through walls and floors	0.46	0.54	
Through roof	0.60	0.40	
Through windows	0.33 (SHGC > 0.5) 0.46 (SHGC < 0.5)	0.67 (SHGC > 0.5) 0.54 (SHGC < 0.5)	
Solar heat gain through fenestration			
Without interior shading	1.00	0.00	
With interior shading			Varies; see Tables 14A to 14G in Chapter 15.
Infiltration	0.00	1.00	

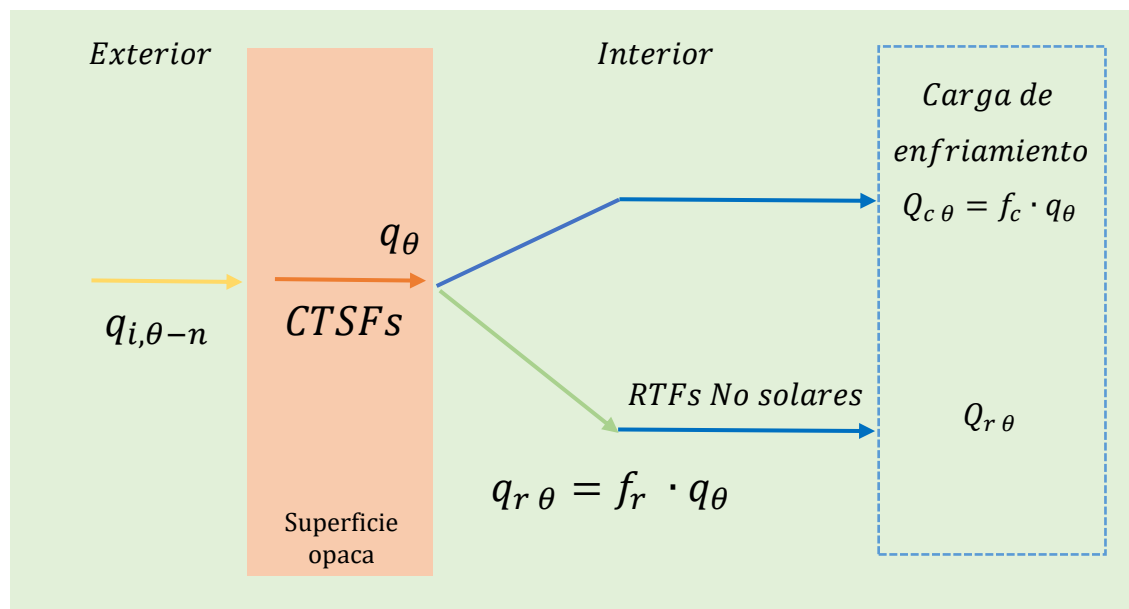
**Fuente:** AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Recommended Radiative/Convective Splits for Internal Heat Gains. 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAЕ. 2017. p. 18.24.

El método de la serie de tiempo radiante convierte la porción radiante de las ganancias de calor por hora en cargas de enfriamiento utilizando factores de tiempo radiante, denominados los coeficientes de la serie de tiempo radiante (RTF). Los factores de tiempo radiante se utilizan para calcular la carga de enfriamiento para la hora actual sobre la base de las ganancias de calor actuales y pasadas. La serie de tiempo radiante para una zona particular proporciona la respuesta dependiente del tiempo de la zona a un solo pulso de energía radiante. La serie muestra la porción del pulso radiante que se convoca al aire de la zona para cada hora. Por lo tanto,  $r_0$  representa la fracción del pulso radiante convectado al aire de la zona en la hora actual  $r_1$  en la hora anterior, y así sucesivamente.

**2.3.3 Procedimiento del cálculo de carga de enfriamiento por superficies opacas (paredes y techos).** En la figura 6 se representa de manera general el flujo del calor a través de una superficie opaca. la superficie recibe el calor radiante del sol en la parte exterior y luego este se transfiere al interior del recinto por conducción, pero a causa del almacenamiento de la superficie opaca, se presenta

un retraso en el tiempo del calor, es decir, el calor  $q_\theta$  es menor al calor  $q_{i\theta}$  en la hora correspondiente. Los CTS como ya se mencionó anteriormente son los que permiten cuantificar la disminución de calor teniendo definidas las capas que conforman la superficie y sus propiedades.

Figura 6. Transferencia de calor en superficies opacas.



La ganancia de calor  $q_\theta$  que llega al aire interior se transfiere por convección y radiación, la parte convectiva es directamente carga de enfriamiento, para calcularla se multiplica  $q_\theta$  por el valor de porción convectiva de la tabla 10 dependiendo del tipo de superficie opaca. Para el cálculo de la carga de enfriamiento por radiación es necesario dos pasos:

- Multiplicar la ganancia por conducción de la pared o techo ( $q_\theta$ ) por la fracción radiante de la tabla 10 para obtener la componente radiante ( $q_{r\theta}$ )

- Convertir la ganancia de calor radiante en carga de enfriamiento utilizando los RTFs no solares

La porción radiante de las ganancias de calor por hora se convierte en cargas de enfriamiento por hora de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q_{r,\theta} = r_0 q_{r\theta} + r_1 q_{r\theta-1} + r_2 q_{r\theta-2} + r_3 q_{r\theta-3} + \dots + r_{23} q_{r\theta-23} \quad (27)$$

Donde:

$Q_{r,\theta}$  = Carga de refrigeración radiante ( $Q_r$ ) para la hora actual ( $\theta$ ),  $W$

$q_{r\theta}$  = Ganancia de calor radiante para la hora actual,  $W$

$q_{r\theta-n}$  = Ganancia de calor radiante  $n$  horas atrás,  $W$

$r_0, r_1, etc.$  = Factores de tiempo radiante

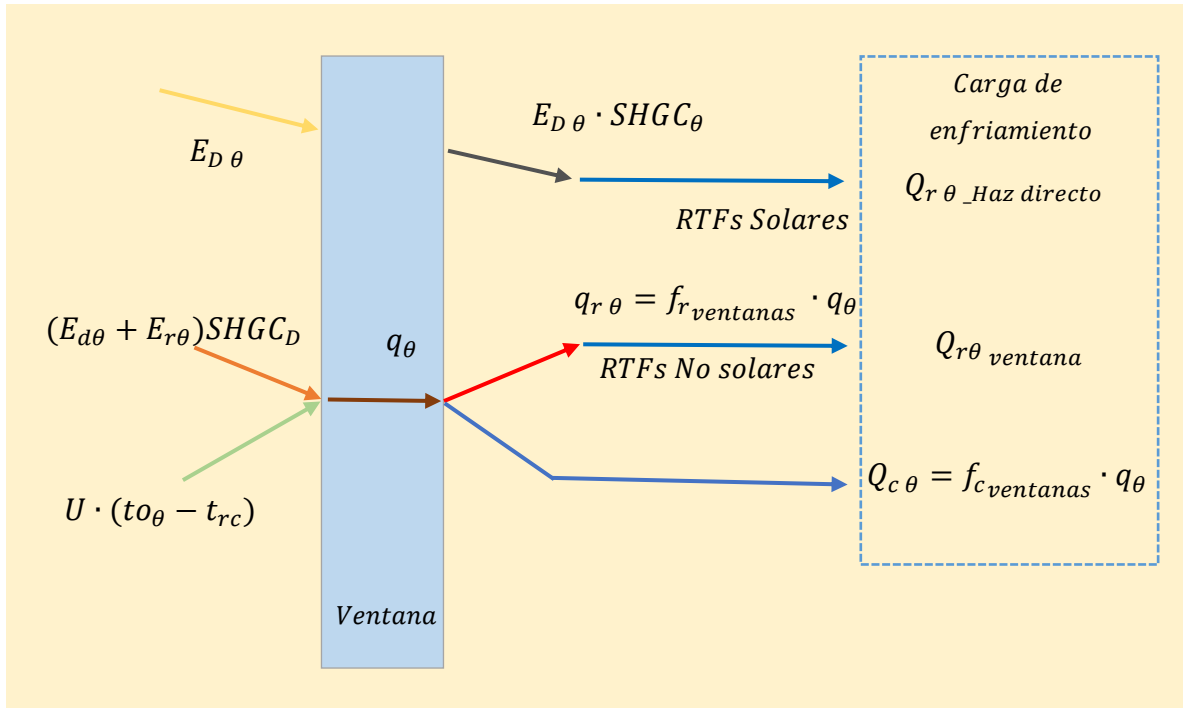
Finalmente, se agrega a la porción convectiva para determinar la carga de enfriamiento total para ese componente, para esa hora.

Para las aplicaciones de diseño más comunes, la variación de RTS depende principalmente de la masa de la construcción y la capacidad de respuesta térmica de las superficies en las que el calor radiante aumenta.

**2.3.4 Procedimiento del cálculo de carga de enfriamiento por ventanas.** A continuación, se describe la metodología para calcular la carga de enfriamiento que se gana por ventanas sin dispositivos de sombra interior y exterior.

En la figura 7 se describe el comportamiento del flujo de calor a través de la ventana, como observa en este caso, es insignificante el almacenamiento de energía por la baja masividad de las ventanas, es decir, es instantánea la transferencia de calor por conducción a través de la ventana.

Figura 7. Transferencia de calor en ventanas sin dispositivo de sombra.



**2.3.4.1 Carga de enfriamiento por haz directo.** La ganancia de calor por haz directo cuando la ventana no tiene dispositivos de sombreado es recibida por las superficies interiores de la habitación, por tan razón se considera que toda la ganancia es 100% radiante. Para convertir esta ganancia en carga de enfriamiento se aplica la ecuación 27, en este caso el calor  $q_{r\theta}$  está definido para la hora actual como:

$$q_{r\theta_{\text{Haz directo}}} = A \cdot E_{D\theta} \cdot SHGC_{\theta} \quad (28)$$

Al aplicar la ecuación 27 para radiación directa del sol, se utilizan los RTFs solares, dando como resultado una carga de enfriamiento por haz directo  $Q_{r\theta_{\text{Haz directo}}}$ .

**2.3.4.2 Carga de enfriamiento por conducción en ventanas.** La ganancia de calor convectivo (ecuación 25) y solar difuso (ecuación 24) se suman para formar el calor por conducción que atraviesa la ventana, este calor se define por la siguiente ecuación:

$$q_{\theta_{ventana}} = A \cdot (E_{d\theta} + E_{r\theta})SHGC_D + U \cdot A \cdot (t_{o\theta} - t_{rc}) \quad (29)$$

En la superficie interior de la ventana el calor por conducción se transfiere por convección y radiación, el calor por convección hacia el aire interior es carga de enfriamiento directa:

$$Q_{c\theta_{ventana}} = f_{c_{ventana}} \cdot q_{\theta_{ventana}} \quad (30)$$

Por radiación, el procedimiento comienza con el cálculo de la porción radiante, es decir:

$$q_{r\theta_{ventana}} = f_{r_{ventana}} \cdot q_{\theta_{ventana}} \quad (31)$$

Luego se prosigue con la aplicación de la ecuación 27, en cuyo caso se utiliza los RTFs no solares, dando como resultado la carga de enfriamiento por la porción radiante de la ventana  $Q_{r\theta_{ventana}}$ . Las fracciones de convección radiación para ventanas se encuentra en la tabla 10.

## 2.4 MÉTODO CLTD/SCL/CLF.<sup>7</sup>

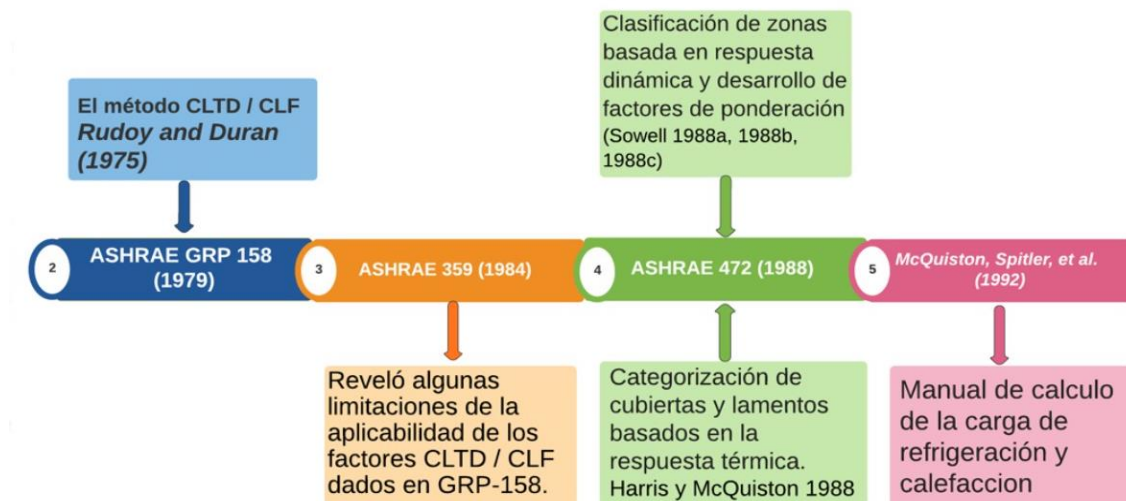
En 1975 ASHRAE desarrolló un método denominado diferencia de temperatura para carga de enfriamiento/factores de carga de enfriamiento CLTD/CLF que se derivó del TFM (Método de Función de Transferencia), el cual fue introducido en 1967. El método CLTD/CLF depende de datos tabulados para simplificar su

---

<sup>7</sup> RAMIREZ LEÓN, Hermes Javier. Determinación de las cargas térmicas para garantizar el confort de los locales del piso 1 del edificio de aulas 2 en la UTB. Ingeniero mecánico. Cartagena de indias: Universidad tecnológica de Bolívar. Facultad de ingeniería. 2007. 24 p.

operación para el uso manual. Este método fue sometido a varias revisiones para acomodar los problemas que aumentaron en aproximaciones y limitaciones para cubrir más datos tabulados precisos. Debido a esto, ASHRAE publicó el cálculo de carga por temperatura diferencial/carga solar de enfriamiento/factores de carga de enfriamiento (CLTD/SCL/CLF) (ASHRAE 1993, 1997), el cual es un método revisado del CLTD/CLF. Este método es un método simplificado, menos complejo que el método RTS

Figura 8. Cronograma del método CLTD/SCL/CLF.



### 2.4.1 Características principales y suposiciones

*Características principales.*

- La temperatura del aire es asumida constante.
- Tres factores se usan para hallar las ganancias de calor: por conducción, por calor solar, y las ganancias internas, las cuáles son respectivamente, CLTD/SCL/CLF.

- Esos factores se calculan usando el método de función de transferencia (TFM) y produce cargas térmicas para las condiciones ambientales estándar y los tipos de zona.

*Suposiciones.*

- La temperatura de aire del sol es asumida por el aire exterior
- La temperatura de aire está tomada como una constante

**2.4.2 Metodología.** Este método utiliza datos tabulados de CLTD (Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento), SCL (factor solar de carga térmica), y CLF (factor de carga térmica), los cuales incluyen el efecto de:

(1) Intervalos de tiempo de calor generado por conducción a través de superficies exteriores opacas.

(2) El tiempo de retraso del almacenamiento térmico en la conversión de calor generado por radiación a carga térmica.

Esta simplificación genera que la carga térmica se pueda calcular manualmente. Los datos son generados con factores del material de diseño y coeficientes de transferencia por conducción, el cuál produce cargas térmicas en condiciones ambientales estándar y los tipos de zona. Las cargas térmicas son entonces estandarizadas para condiciones especificadas de una zona, así es que sería posible calcular las cargas térmicas para cada hora con una multiplicación simple.

**2.4.3 Carga de enfriamiento a través paredes y techos.**<sup>8</sup> La diferencia de temperatura de carga de enfriamiento (CLTD) se usa para determinar la carga de enfriamiento de paredes y techos de la siguiente manera:

$$q = UA(CLTD) \quad (32)$$

Donde:

*U = Coeficiente global de transferencia de calor de la superficie*

*A = Área de la superficie*

Los valores tabulados de CLTD se encuentran en las tablas 8.2 y 8.3 del libro Load Calculation Manual Cooling (1992)

Los valores estándares para la generación de estas tablas son los siguientes:

Condiciones externas:

- Julio 21, para 24°, 36° y 48° Latitud norte.
- Sin sombreado exterior.
- Reflectividad del piso de 0,2
- Cielo despejado con número de claridad de 1,0
- Superficies exteriores de paredes y techos con relación de absorptividad y coeficiente de película ( $\alpha/h$ ) de 0,3
- Temperatura de bulbo seco externa máxima de 95 °F con rango diario de 21 °F

---

<sup>8</sup> MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Cooling and heating load calculation manual, 2 ed. New York: ASHRAE, 1992. 8.4 p. ISBN 978-0-910110-85-3.

Condiciones internas:

- Temperatura de bulbo seco de la habitación 78°F, constantes.
- Coeficiente de película interno para aire quieto.

Los datos tabulados deben ser corregidos para temperaturas interna, externa y rango diario diferentes de la siguiente manera:

$$CLTD_c = CLTD_T + (78 - t_i) + (t_{om} - 85) \quad (33)$$

Donde:

$CLTD_T = CLTD$  tabulado, °F

$t_i =$  Temperatura de bulbo seco interna actual, °F

$t_{om} = t_o - \left(\frac{DR}{2}\right)$ , Temperatura de bulbo seco media interior actual de diseño

$t_o =$  Temperatura de bulbo seco externa de diseño, °F

$DR =$  Rango diario, °F

#### **2.4.3.1 Procedimiento de aplicación del método CLTD/SCL/CLF para paredes y techos.**

*Paredes*

Para obtener los CLTD de una pared particular, las siguientes 3 características de la pared deben ser primero determinadas:

- Posición de la masa con respecto al aislamiento
- Resistencia total de la pared ( $1/U$ )
- Material principal de la pared

Luego se debe remitir a las tablas 8,6 del libro Calculation Manual Cooling (1992) para determinar el tipo de pared, 8,6A cuando la capa masiva está colocada hacia

el interior con respecto al aislamiento, la tabla 8,6B para es para paredes sin capa masiva, sin aislamiento, o masa distribuida uniformemente y la tabla 8,6C es para paredes con capas masivas colocadas hacia el exterior con respecto al aislante.

Tabla 11. Tipo de paredes con masa localizada hacia el interior con respecto al aislamiento con material secundario estuco y/o yeso.

Secondary Material	R-Factor, ft <sup>2</sup> ·°F/Btu	Principle Wall Material**																
		A1	A2	B7	B10	B9	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C17	C18		
Stucco and/or plaster	0.0 to 2.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	2.0 to 2.5	*	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5	*	*	*	*	*
	2.5 to 3.0	*	5	*	*	*	3	*	2	5	6	*	*	5	*	*	*	*
	3.0 to 3.5	*	5	*	*	*	4	2	2	5	6	*	*	6	*	*	*	*
	3.5 to 4.0	*	5	*	*	*	4	2	3	6	6	10	4	6	*	*	5	*
	4.0 to 4.75	*	6	*	*	*	5	2	4	6	6	11	5	10	*	*	10	*
	4.75 to 5.5	*	6	*	*	*	5	2	4	6	6	11	5	10	*	*	10	*
	5.5 to 6.5	*	6	*	*	*	5	2	5	10	7	12	5	11	*	*	10	*
	6.5 to 7.75	*	6	*	*	*	5	4	5	11	7	16	10	11	*	*	11	*
	7.75 to 9.0	*	6	*	*	*	5	4	5	11	7	*	10	11	*	*	11	*
	9.0 to 10.75	*	6	*	*	*	5	4	5	11	7	*	10	11	4	11	*	11
	10.75 to 12.75	*	6	*	*	*	5	4	5	11	11	*	10	11	4	11	*	11
	12.75 to 15.0	*	10	*	*	*	10	4	5	11	11	*	10	11	9	12	*	16
	15.0 to 17.5	*	10	*	*	*	10	5	5	11	11	*	11	12	10	16	*	16
	17.5 to 20.0	*	11	*	*	*	10	5	9	11	11	*	15	16	10	16	*	16
	20.0 to 23.0	*	11	*	*	*	10	9	9	16	11	*	15	16	10	16	*	16
23.0 to 27.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	16	*	15	*	*	*	

Fuente: MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Wall types, Mass Located Inside Insulation, for Use with table 8.3. Cooling and heating load calculation manual. 2 ed. New York: ASHRAE, 1992. p. 8.27.

Luego de determinar el tipo de pared se procede a las tablas 8,3 del manual para encontrar el CLTD tabulado, según el tipo de pared, latitud del lugar y orientación. En la tabla 12 se muestra un ejemplo para una pared específica.

Tabla 12. CLTD para pared tipo 1, 24° latitud norte, 21 de julio.

Wall Facing	Wall No. 1														Solar Time, h									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	1	0	-1	-2	-3	-2	5	13	17	18	19	22	26	28	30	32	34	34	27	17	11	7	5	3
NE	1	0	-1	-2	-3	0	17	39	51	53	48	39	32	30	30	30	28	24	18	13	10	7	5	3
E	1	0	-1	-2	-3	0	18	44	59	63	59	48	36	32	31	30	28	24	19	13	10	7	5	3
SE	1	0	-1	-2	-3	-2	8	25	38	44	45	42	35	32	31	30	27	24	18	13	10	7	5	3
S	1	0	-1	-2	-3	-3	-1	3	8	12	18	24	29	31	31	30	27	23	18	13	9	7	4	3
SW	1	0	-1	-2	-3	-3	-1	3	8	13	17	22	29	40	51	58	59	52	36	20	12	8	5	3
W	2	0	-1	-2	-2	-3	-1	3	8	13	17	22	27	42	59	73	80	75	52	27	14	9	5	3
NW	2	0	-1	-2	-2	-3	-1	3	8	13	17	22	27	37	50	62	69	67	48	25	13	8	5	3

Fuente: MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Cooling Load Differences for Calculating Cooling load Sunlit Walls-24° North Latitude, July. Cooling and heating load calculation manual. 2 ed. New York: ASHRAE, 1992. p. 8.19.

## Techos

Para obtener el CLTD de un techo particular, primero se deben determinar las siguientes cuatro características:

- Localización de la masa con respecto al aislamiento
- Resistencia total de techo, ( $1/U$ )
- Material principal del techo
- Presencia o ausencia de cielo raso

Teniendo estos datos se debe remitir a la tabla 13 para determinar el tipo de techo.

Tabla 13. Clasificación de techos.

Mass Location**	Suspended Ceiling	R-Factor, ft <sup>2</sup> ·h·°F/Btu	B7, Wood 1 in.	C12, HW Concrete 2 in.	A3, Steel Deck	Attic-Ceiling Combination
Mass inside the insulation	Without	0 to 5	*	2	*	*
		5 to 10	*	2	*	*
		10 to 15	*	4	*	*
		15 to 20	*	4	*	*
		20 to 25	*	5	*	*
		25 to 30	*	*	*	*
	With	0 to 5	*	5	*	*
		5 to 10	*	8	*	*
		10 to 15	*	13	*	*
		15 to 20	*	13	*	*
		20 to 25	*	14	*	*
		25 to 30	*	*	*	*
Mass evenly placed	Without	0 to 5	1	2	1	1
		5 to 10	2	*	1	2
		10 to 15	2	*	1	2
		15 to 20	4	*	2	2
		20 to 25	4	*	2	4
		25 to 30	*	*	*	*
	With	0 to 5	*	3	1	*
		5 to 10	4	*	1	*
		10 to 15	5	*	2	*
		15 to 20	9	*	2	*
		20 to 25	10	*	4	*
		25 to 30	10	*	*	*
Mass outside the insulation	Without	0 to 5	*	2	*	*
		5 to 10	*	3	*	*
		10 to 15	*	4	*	*
		15 to 20	*	5	*	*
		20 to 25	*	5	*	*
		25 to 30	*	*	*	*
	With	0 to 5	*	3	*	*
		5 to 10	*	3	*	*
		10 to 15	*	4	*	*
		15 to 20	*	5	*	*
		20 to 25	*	*	*	*
		25 to 30	*	*	*	*

\*Denotes a roof that is not possible with the chosen parameters.

\*\*The 2 in. concrete is considered massive and the others nonmassive.

**Fuente:** MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Roof Classifications for use with Table 8.2. Cooling and heating load calculation manual. 2 ed. New York: ASHRAE, 1992. p. 8.25.

Teniendo el tipo de techo, en la tabla 14 se obtiene el valor del CLTD para la latitud del lugar

Tabla 14. CLTD para los tipos de techo, 24° latitud norte, 21 de julio.

Roof No.	Solar Time, h																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	-2	-4	-5	-6	-6	-3	9	26	44	62	76	87	92	92	86	74	58	39	23	14	8	4	2
2	2	-0	-2	-4	-5	-6	-5	1	14	30	48	64	77	86	90	89	82	70	53	36	23	14	8	5
3	12	8	5	2	0	-2	-2	3	11	22	35	47	59	68	74	77	74	68	58	47	37	29	22	16
4	16	11	6	3	0	-2	-3	-4	-1	5	15	27	41	55	67	75	80	80	76	67	55	43	32	23
5	21	16	12	8	5	3	1	1	4	10	19	30	42	52	61	68	71	70	66	59	50	41	33	27
8	28	24	20	17	14	11	9	9	10	14	20	27	35	43	49	54	58	58	56	52	47	42	37	32
9	31	25	20	16	12	9	6	4	3	5	10	17	26	36	46	54	61	65	66	63	58	51	44	37
10	36	31	27	22	19	15	12	9	8	8	11	16	22	30	37	45	52	56	59	59	56	52	47	41
13	34	31	28	25	22	20	17	16	15	16	19	23	28	33	38	43	47	49	50	49	46	43	40	37
14	34	32	30	27	25	23	21	19	19	19	21	24	27	32	36	40	43	45	46	45	44	42	39	37

**Fuente:** MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Cooling Load Temperature Differences for Calculating Load form Flat Roofs- 24° North Latitude, July. Cooling and heating load calculation manual. 2 ed. New York: ASHRAE, 1992. p. 8.15.

**2.4.4 Carga de enfriamiento del espacio por ventanas.** Los principios básicos para calcular la ganancia de calor de la conducción y la radiación solar a través de la fenestración son los descritos en el método de la función de transferencia (TFM). Para determinar la ganancia de calor a través de las ventanas se divide la carga conducción y radiante. En la ganancia de calor por conducción, el coeficiente general de transferencia de calor representa los procesos de transferencia de calor de:

- (1) Convección e intercambio de radiación de onda larga fuera y dentro del espacio acondicionado.
- (2) Conducción a través del material de la ventana.

**2.4.4.1 Carga por conducción.** Para calcular la carga de enfriamiento de este componente, la ganancia de calor por conducción se trata de una manera similar a la que se obtiene a través de paredes y techos. Los coeficientes RTF utilizados para convertir la ganancia de calor en carga de enfriamiento son, por lo tanto, los mismos

que los de paredes y techos. Los CLTD resultantes se dan en la tabla 15, presentando nuevamente sólo un conjunto único de factores para todos los tipos de construcción de habitaciones. despreciando los efectos de masa y latitud debido a la densidad generalmente baja y la pequeña magnitud de estos componentes. Los CLTD de la tabla 15 también se pueden utilizar para puertas con una precisión razonable.

Tabla 15. Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento (CLTD) para ventanas y puertas.

Solar Time, h		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD, °F		1	0	-1	-2	-2	-2	-2	0	2	4	7	9	12	13	14	14	13	12	10	8	6	4	3	2

*Corrections:* The values in the table were calculated for an inside temperature of 78°F and an outdoor maximum temperature of 95°F with an outdoor daily range of 21°F. The table remains approximately correct for other outdoor maximums (93 to 102°F) and other outdoor daily ranges (16 to 34°F), provided the outdoor daily average temperature remains approximately 85°F. If the room air temperature is different from 78°F, and/or the outdoor daily average temperature is different from 85°F, see note 2, Table 8.3.

**Fuente:** MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Cooling Load Temperature Differences for Conduction through Glass and Doors. Cooling and heating load calculation manual. 2 ed. New York: ASHRAE, 1992. p. 8.30.

La carga de enfriamiento de la ganancia de calor por conducción y convección se calcula mediante:

$$q_{cond} = UA(CLTD) \quad (34)$$

Donde:

*U = Coeficiente global de transferencia de calor por frenestración*

*A = Área de la ventana normal al flujo de calor*

*CLTD = Diferencia de temperatura equivalente, basada en la hora solar para ventanas*

**2.4.4.2 Carga por radiación solar.** Los principios básicos para evaluar la ganancia de calor de la energía solar transmitida y absorbida a través de la fenestración, incluidos los términos principales SHGF y SC, son los mismos para el procedimiento CLTD / CLF. Los manuales anteriores de ASHRAE tabulaban los valores de los factores máximos de ganancia de calor solar para las láminas de vidrio de doble resistencia iluminadas por el sol o sombreadas externamente, utilizadas como entrada de ganancia de calor para calcular los factores de carga de enfriamiento (CLF), empleando coeficientes RTF apropiados como en la discusión de TFM. Sin embargo, este proceso introdujo nuevas variables en los cálculos:

(1) la presencia o ausencia de dispositivos de sombreado interior, que es fundamental.

(2) la construcción, el mobiliario, los revestimientos del piso y las cantidades relativas de fenestración, que son críticas cuando el sombreado interior está ausente.

Los resultados obtenidos con este método no reconocen la variación significativa de los perfiles de carga de enfriamiento solar debido a diferentes latitudes, meses y otros factores. Se introduce un nuevo término, carga de enfriamiento solar (SCL), para aproximar más las cargas de enfriamiento debidas a la radiación solar transmitida a través de la ventana. La carga de refrigeración provocada por la radiación solar a través de la fenestración se calcula mediante:

$$q_{rad} = A(SC)SCL \quad (35)$$

Donde:

$A = \text{Área de la ventana, } f_t^2$

$SC = \text{Coeficiente de sombra, adimensional}$

$SCL = \text{Carga de enfriamiento solar, } \frac{Btu}{h \cdot f_t^2}$

La carga total de enfriamiento a través de la ventana es la suma de la ganancia por conducción y radiante.

### **Coeficiente de sombra**

La carga de enfriamiento de la radiación solar debe analizarse en uno de dos casos:

(1) presencia de sombreado interior.

(2) ausencia de sombreado interior.

Las persianas (venecianas o enrollables) o cortinas absorben la energía solar antes de que pueda golpear el suelo u otras superficies interiores del espacio, lo que conduce a una rápida respuesta en la carga de refrigeración debido a la baja masa del dispositivo de sombreado.

Cuando no hay sombra interior, la energía solar es absorbida por los elementos más masivos del espacio, lo que da como resultado un mayor retraso en la conversión de dicha ganancia de calor en carga de refrigeración. Muchas variables, de las cuales las más importantes son la presencia o ausencia de alfombra en el piso, la masa del piso y otras superficies, la masa del contenido del espacio, la cantidad de vidrio en las superficies expuestas, la presencia o ausencia de un techo, el tamaño relativo del espacio, etc., influyen en este fenómeno.

El efecto compuesto de las diversas formas de sombreado interior sobre la radiación solar del vidrio, en relación con el vidrio transparente de doble resistencia sin sombrear, está representado por un coeficiente de sombreado (SC) o multiplicador decimal, tabulado en la tabla 8.10 del libro para una amplia variedad de condiciones (ver tabla 16).

Tabla 16. Coeficientes de sombreado para ventanas con único cristal.

Type of Glass	Nominal Thickness Each Light <sup>a</sup>	Solar Transmittance <sup>b</sup>	No Interior Shading		Type of Interior Shading					
			$h_o = 4.0$	$h_o = 3.0$	Venetian Blinds		Roller Shades			
					Medium	Light	Opaque	Light	Translucent	
<b>SINGLE GLASS</b>										
Single										
Clear	3/32 to 1/4	0.87 to 0.80	1.00	1.00						
Clear	1/4 to 1/2	0.80 to 0.71	0.94	0.95						
Clear	3/8	0.72	0.90	0.92	0.64	0.55	0.59	0.25	0.39	
Clear	1/2	0.67	0.87	0.88						
Clear pattern	1/8 to 9/32	0.87 to 0.79	0.83	0.85						
Heat absorbing pattern	1/8		0.83	0.85						
Heat absorbing <sup>c</sup>	3/16 to 1/4	0.46	0.69	0.73						
Heat absorbing pattern	3/16 to 1/4		0.69	0.73	0.57	0.53	0.45	0.30	0.36	
Tinted	1/8 to 7/32	0.59 to 0.45	0.69	0.73						
Heat absorbing or pattern		0.44 to 0.30	0.60	0.64	0.54	0.52	0.40	0.28	0.32	
Heat absorbing <sup>c</sup>	3/8	0.34	0.60	0.64						
Heat absorbing or pattern	1/2	0.44 to 0.30	0.53	0.58	0.42	0.40	0.36	0.28	0.31	
Reflective coated glass		0.24								
			0.30		0.25	0.23				
			0.40		0.33	0.29				
			0.50		0.42	0.38				
			0.60		0.50	0.44				

**Fuente:** MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Shading Coefficients for Glass without or with Interior Shading by Venetian Blinds or Roller Shades. Cooling and heating load calculation manual. 2 ed. New York: ASHRAE, 1992. p. 8.37.

El coeficiente de sombra es definido como la relación entre la ganancia de calor del sistema de fenestración y la ganancia de calor por el vidrio de referencia:

$$SCL = \frac{\text{Ganancia de calor solar del sistema de fenestración}}{\text{Ganancia de calor del vidrio de referencia}} \quad (36)$$

El sistema de fenestración es la combinación entre el tipo de acristalamiento y el tipo de sombreado interior. El SCL para una zona en particular depende de la latitud, la dirección, la naturaleza y la cantidad de superficies circundantes, así como de varios parámetros internos.

#### 2.4.4.3 Procedimiento de aplicación del método CLTD/SCL/CLF para ventanas.

Para seleccionar el tipo de zona se necesita primero la cantidad de pisos que tiene el edificio, en la tabla 17 se muestra como ejemplo para el caso de un edificio de único piso.

Tabla 17. Tipos de zonas para único piso.

Zone Parameters*				Zone Type			Error Band	
No. Walls	Floor Covering	Partition Type	Inside Shade	Glass Solar	People and Equipment	Lights	Plus	Minus
1 or 2	Carpet	Gypsum	**	A	B	B	9	2
1 or 2	Carpet	Concrete block	**	B	C	C	9	0
1 or 2	Vinyl	Gypsum	Full	B	C	C	9	0
1 or 2	Vinyl	Gypsum	Half to None	C	C	C	16	0
1 or 2	Vinyl	Concrete block	Full	C	D	D	8	0
1 or 2	Vinyl	Concrete block	Half to None	D	D	D	10	6
3	Carpet	Gypsum	**	A	B	B	9	2
3	Carpet	Concrete block	Full	A	B	B	9	2
3	Carpet	Concrete block	Half to None	B	B	B	9	0
3	Vinyl	Gypsum	Full	B	C	C	9	0
3	Vinyl	Gypsum	Half to None	C	C	C	16	0
3	Vinyl	Concrete block	Full	B	C	C	9	0
3	Vinyl	Concrete block	Half to None	C	C	C	16	0
4	Carpet	Gypsum	**	A	B	B	6	3
4	Vinyl	Gypsum	Full	B	C	C	11	6
4	Vinyl	Gypsum	Half to None	C	C	C	19	-1

\*A total of 14 zone parameters is fully defined in Chapter 2. Those not shown in this table were selected to achieve the minimum error band shown in the right-hand column for Solar Cooling Load (SCL). The error band for Lights and People

and Equipment is approximately 10%.

\*\*The effect of inside shade is negligible in this case.

**Fuente:** MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Zona Types for Use with SCL and CLF Tables, Single-Story Building. Cooling and heating load calculation manual. 2 ed. New York: ASHRAE, 1992. p. 8.30.

En las tablas 8.8B, 8.8C, 8.8D de libro Cooling and heating load calculation manual se encuentran los casos de tope, primer y medio piso respectivamente, de un edificio de múltiples pisos.

El siguiente paso es encontrar la combinación de los parámetros de la tabla que coincidan con nuestro edificio, o en su defecto, el que tenga mayor similitud.

Definida la zona (A, B, C o D), la hora y orientación de la superficie, se remite a las tablas 8.9 del mismo libro, en estas se encuentran disponibles tres latitudes al norte, 24° (8.9A), 36° (8.9B) y 48° (8.9C). Dado el caso que no coincida el lugar del sitio con las latitudes, es posible hacer interpolación lineal entre los valores SCL de las latitudes. En la tabla 18 se muestra los SCL para el caso de latitud 24° norte.

Tabla 18. SCL para vidrios iluminados por el sol ubicados en latitud 24° norte, Julio.

Glass Facing	Zone type A																			Solar Time, h				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	0	0	0	0	0	19	35	36	36	38	40	42	42	40	38	39	43	32	11	6	3	1	1	0
NE	0	0	0	0	0	54	124	150	144	115	78	58	49	44	38	32	25	14	6	3	1	1	0	0
E	0	0	0	0	0	57	139	177	180	154	107	68	54	46	40	33	25	14	6	3	1	1	0	0
SE	0	0	0	0	0	26	74	104	114	106	83	59	50	44	38	32	25	14	6	3	1	1	0	0
S	0	0	0	0	0	5	15	23	30	35	40	43	43	40	37	32	24	14	6	3	1	1	0	0
SW	0	0	0	0	0	5	15	23	30	35	39	42	61	88	110	118	105	62	24	12	6	3	1	1
W	1	0	0	0	0	5	15	23	30	35	39	41	67	116	160	186	184	118	44	21	11	5	3	1
NW	1	0	0	0	0	5	15	23	30	35	39	41	51	83	122	151	158	106	39	19	9	5	2	1
hor	0	0	0	0	0	10	55	113	170	218	253	271	273	258	225	176	115	54	24	12	6	3	1	1

Glass Facing	Zone type B																			Solar Time, h				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	2	2	1	1	1	16	30	32	32	35	37	39	40	39	37	39	42	33	16	10	7	5	4	3
NE	2	1	1	1	1	47	105	128	126	106	78	62	55	50	44	38	31	20	12	9	6	5	3	3
E	2	2	1	1	1	49	118	151	158	141	105	74	63	55	48	41	33	22	13	10	7	5	4	3
SE	2	1	1	1	1	23	63	89	100	95	78	60	53	48	43	37	30	20	12	8	6	4	3	2
S	1	1	1	1	0	5	13	20	26	31	36	39	40	38	36	32	26	17	10	7	5	4	3	2
SW	5	3	3	2	1	5	13	20	26	31	35	38	55	79	98	106	98	63	33	22	15	11	8	6
W	7	6	4	3	2	6	14	21	27	32	35	38	61	102	141	165	167	115	56	37	26	18	13	10
NW	6	5	4	3	2	6	14	21	27	32	35	38	47	75	108	134	142	102	48	32	22	16	11	8
hor	8	6	4	3	3	11	48	97	146	190	224	244	251	243	219	181	130	78	50	35	25	19	14	10

Glass Facing	Zone type C																			Solar Time, h				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	5	5	4	4	4	19	31	31	30	32	35	36	36	35	34	36	39	31	14	11	9	8	7	6
NE	8	7	6	6	5	50	104	120	114	92	65	53	50	47	43	38	32	23	16	14	12	11	10	9
E	9	8	7	7	6	53	117	143	143	123	88	62	56	51	47	42	35	26	19	16	14	13	11	10
SE	7	6	6	5	4	26	64	85	92	85	68	51	47	44	40	36	30	21	15	12	11	10	9	8
S	4	4	3	3	3	7	14	20	25	29	33	36	36	34	32	29	24	15	10	8	7	6	5	5
SW	10	9	8	7	7	10	17	23	28	32	34	37	53	75	92	97	87	53	26	20	17	14	13	11
W	15	14	12	11	10	13	20	25	30	34	36	38	60	99	132	152	150	97	43	31	26	22	19	17
NW	13	12	10	9	8	12	19	24	29	33	35	37	45	72	103	125	129	87	36	27	22	19	16	14
hor	24	21	19	17	15	22	57	102	145	181	208	223	226	217	194	160	115	71	51	43	38	33	30	27

Glass Facing	Zone type D																			Solar Time, h				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	8	8	7	6	6	17	27	27	27	29	31	33	33	33	34	37	30	17	15	13	12	10	9	9
NE	12	11	10	9	8	43	86	100	97	82	63	54	52	49	46	42	37	29	23	21	18	16	15	13
E	14	13	11	10	9	46	97	118	121	108	83	64	59	56	52	47	41	33	27	24	21	19	17	16
SE	11	10	9	8	7	24	53	71	77	74	62	50	47	45	42	38	33	26	21	18	16	15	13	12
S	6	6	5	5	4	7	13	18	22	25	29	32	32	31	30	28	24	18	13	11	10	9	8	7
SW	15	14	12	11	10	12	18	22	26	29	31	34	47	64	79	84	78	53	32	27	24	21	19	17
W	23	21	19	17	15	17	22	26	29	32	34	36	53	84	112	130	130	91	50	42	36	32	29	26
NW	20	18	16	14	13	15	20	24	28	31	33	34	41	63	88	106	111	80	43	35	30	27	24	22
hor	36	33	30	27	24	29	55	90	124	154	178	193	199	196	181	156	122	88	71	62	56	50	45	40

Notes: 1. Direct application of data  
 • Standard double-strength glass with no inside shade  
 • Clear sky, 21st day of month

2. Adjustments to table data  
 • Latitudes other than 24, 36, and 48° north  
 - Linear interpolation is acceptable or a table for a specific latitude may be generated. See text.

• Months other than July  
 - For design purposes, the data will suffice for about 2 weeks from the 21st day of given month.  
 - Tables may be generated for a specific month. See text.

• Other types of glass and internal shade  
 - Use shading coefficients as multiplier. See text.

• Externally shaded glass  
 - Use north orientation. See text.

Fuente: MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Solar cooling Load For Suntill Glass-24° North Latitude, July. 2 ed. New York: ASHRAE,1992. p. 8.34.

Finalmente, con el valor de SCL adecuado, área de la ventana y el coeficiente de sombra (SC) se puede aplicar la ecuación 30. Dado el caso de una fuente de sombra exterior a la ventana, es necesario aplicar algunos cálculos adicionales, dichos cálculos se encuentran en el libro antes mencionado.

## 2.5 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Dado los diferentes métodos que existen para el cálculo de las cargas térmicas en recintos es necesario hacer un análisis de alternativas para seleccionar la mejor, dado los siguientes criterios:

Complejidad: Cantidad de cálculos necesarios para solución del método.

Tiempo: Tiempo necesario para resolver el método.

Exactitud: Fidelidad del método.

Tabla 19. Evaluación del criterio.

3	Alto
2	Medio
1	Bajo

Tabla 20. Variables para criterio.

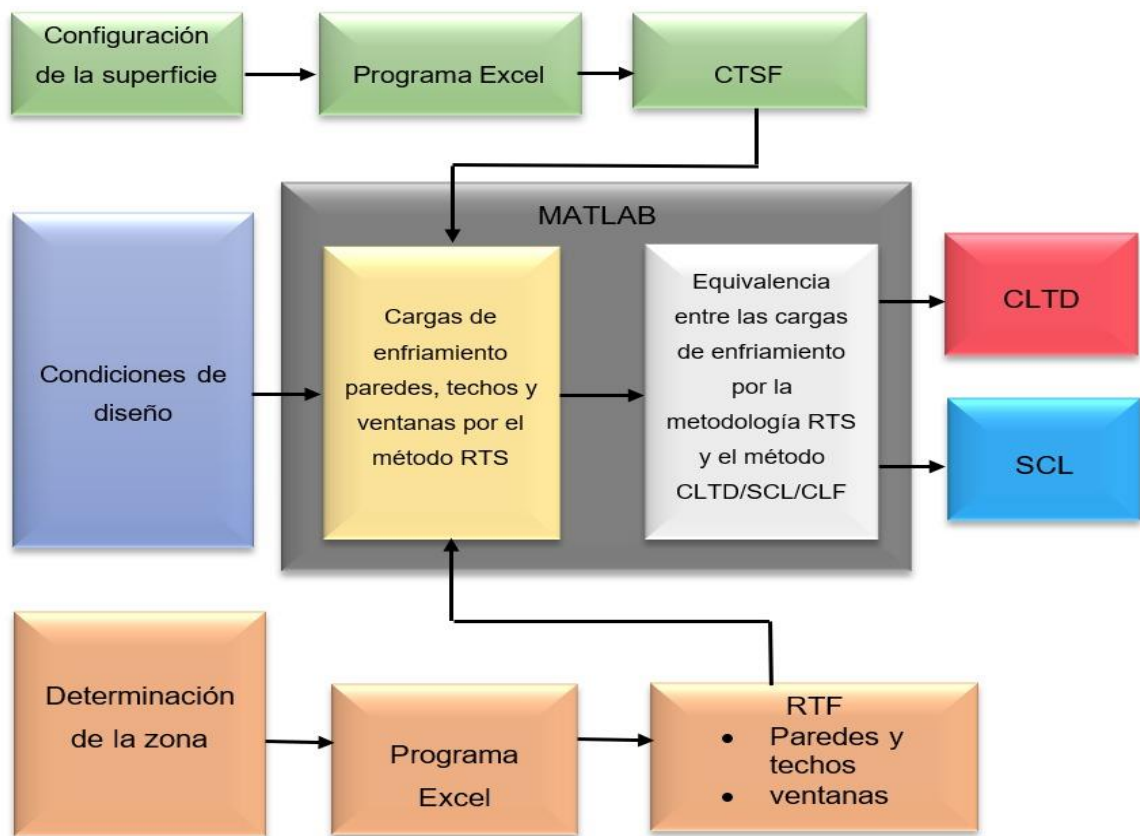
Método	Complejidad	Tiempo	Exactitud	Total
TFM	2	2	2	6
TETD/TA	2	2	2	
CLTD/CLF	1	1	2	4
Método residencial	2	2	2	6
HBM	3	3	3	9
RTS	2	2	2	6

Dado los criterios y su evaluación el método más apropiado para obtener las cargas térmicas del recinto es el método de series de tiempo radiante (RTS)

### 3. DESARROLLO DEL MÉTODO SERIES DE TIEMPO RADIANTE EN MATLAB

En la figura 9 se describe de manera general el desarrollo del método RTS en el software elegido.

Figura 9. Visión general de la implementación del método RTS en Matlab.



Hay 3 entradas que se requieren en el Matlab para el desarrollo del método, las cuales son las siguientes:

- Condiciones de diseño
- Valores de CTSF para la pared o techo elegido

- Valores de RTF para la zona elegida

Una vez obtenida la información anterior el programa ejecuta la metodología RTS para obtener:

- Carga de enfriamiento a través de pared o techo
- Carga de enfriamiento a través de ventana

Luego de calcular la carga de enfriamiento para la superficie, se iguala con las ecuaciones de la metodología CLTD/SCL/CLF para obtener los valores de carga equivalentes según el tipo de superficie.

A continuación, se describe a fondo cada una de las etapas para determinar los valores de CLTD y SCL, posteriormente se validan los resultados y finalmente se realizan las tablas.

### **3.1 CONDICIONES DE DISEÑO**

Las condiciones climatológicas del sector son determinadas por una organización o instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales dependiendo del gobierno de cada país, las cuales desarrollan un informe o archivo climático que permite extraer datos de interés para cada zona específica. Para el caso de Colombia el IDEAM<sup>9</sup> es la entidad encargada de desarrollar estos informes.

Las condiciones de diseño interior se establecerán según el criterio del propietario, los códigos locales o los criterios de comodidad, los valores de las tablas se generan para las condiciones estándar que se enumeran a continuación.

---

<sup>9</sup> COLOMBIA, INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES.

Condiciones exteriores:

- Latitudes 0°, 5°, 10° del hemisferio norte.
- Mes más caluroso del lugar.
- Sin sombreado exterior.
- Reflectividad del piso 0,2.
- Modelo de cielo despejado con un número de claridad de 1,0.
- Temperatura máxima de bulbo seco del aire exterior de 35 °C con un rango diario de 11,66 °C.
- Techos y paredes con absorptividad de 0,884 para colores oscuros y 0,442 para colores claros.
- Coeficiente de película de 17 W/m<sup>2</sup>-K.

Condiciones internas:

Temperatura ambiente de bulbo seco constante a 25,55 °C.

Coeficiente de película interna para aire en calma de 8,27 W/m<sup>2</sup>-K.

### **3.2. GENERACIÓN DE LOS VALORES FACTORES DE SERIE DE TIEMPO DE CONDUCCIÓN (CTSFS) EN EL PROGRAMA EXCEL**

Los CTSFS son factores de respuesta periódica normalizados. Es decir, son equivalentes a los factores de respuesta periódica definidos por Spitler et al. (1997) divididos por el factor U de la construcción. En las ediciones de 2001 y 2005 del Manual de ASHRAE: Fundamentals (ASHRAE 2005), se los denominó factores de tiempo de conducción. Para reducir la ambigüedad del acrónimo CTF, se adoptó el término factor de serie temporal de conducción (CTSFS).

Los factores de respuesta periódica (PRF) se pueden generar mediante la conversión de coeficientes CTF tabulados o calculados de otra manera (Spitler y Fisher 1999), utilizando un método de regresión de respuesta de frecuencia (Chen y Wang 2005) o utilizando un método numérico unidimensional (Nigusse 2007). Para este manual, se ha implementado un método de volumen finito implícito unidimensional (FVM) en Visual Basic para aplicación (VBA). Las rutinas FVM usan seis volúmenes de control uniformes por capa con un paso de tiempo fijo de 60 segundos.

**3.2.1. Implementación de hoja de cálculo en Excel.** En la hoja de cálculo C-1\_CTSFgen.xls, incluida en los archivos de respaldo que acompañan el manual ASHRAE (2014) (en línea en [www.ashrae.org/lcam](http://www.ashrae.org/lcam)) y que se muestra en la Figura 10, el usuario ingresa los códigos de capa, de afuera hacia adentro, en Celdas B5: B14. En las hojas LAYERS IP y LAYERS SI del archivo Excel se encuentran capas adicionales a las mostradas en la tabla 23.

Una vez que se ingresan las capas, hacer clic en el botón GENERAR CTSF para que la hoja de cálculo genere los CTSF y los factores U, y los CTSF se trazarán como se muestra en la Figura 11. Para la hoja de cálculo de generación CTSF es necesaria el código de la superficie, es decir, el tipo de pared o techo que se va a analizar. A continuación, se muestra la interfaz del archivo de Excel que permite la generación de los valores de CTSF.

Figura 10. Entradas de la hoja de cálculo generación CTSF.

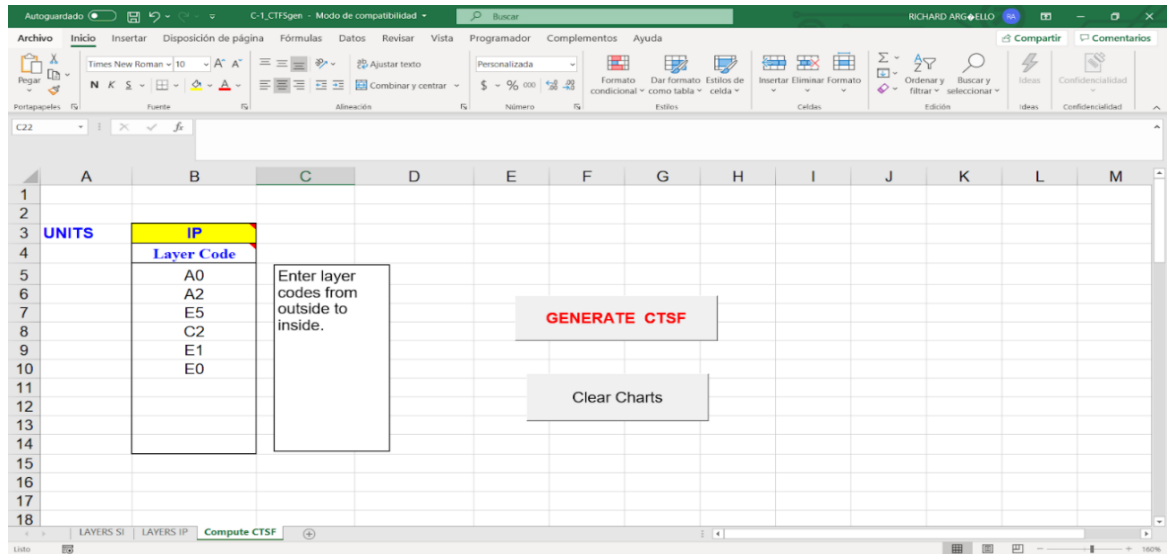
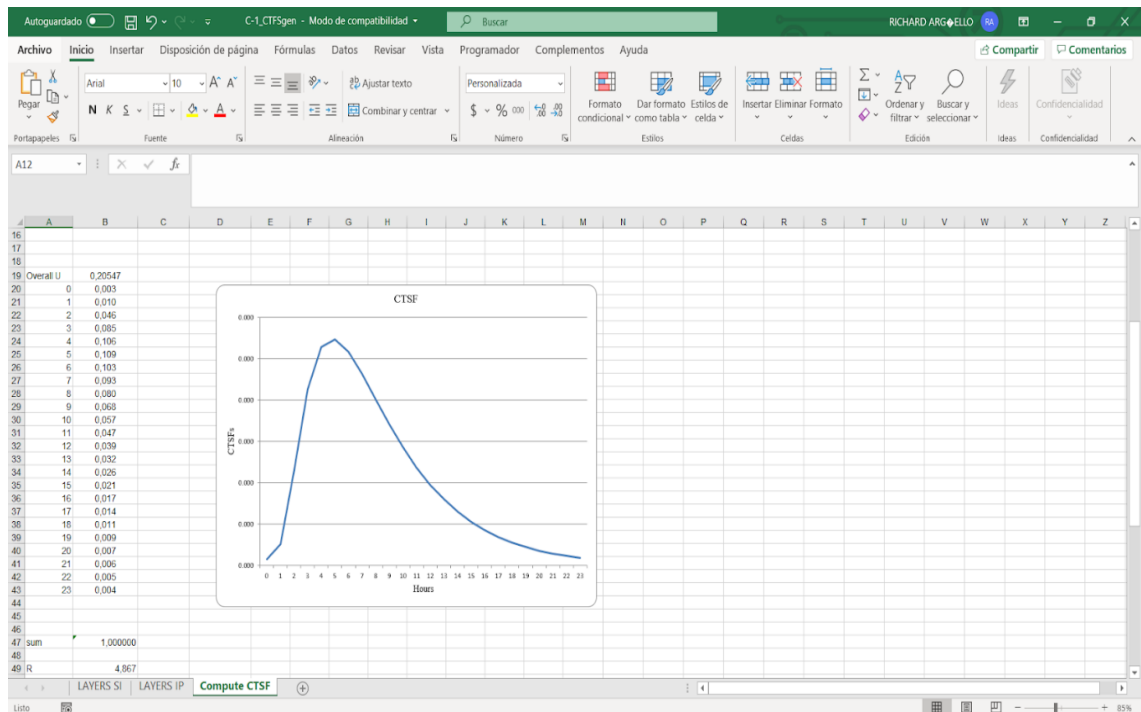


Figura 11. Valores de CTSF para tipo de pared 10.



Además de los CTSF el archivo Excel genera el valor de resistencia total de la pared (R) y su coeficiente global (U), en unidades inglesas.

**3.2.2 Configuración de las superficies.** En la tabla 21 se especifica los códigos de las capas que conforman los tipos de paredes y en la tabla 22 los tipos de techos que fueron utilizados en las tablas de CLTD del *Load Calculation manual* (1992), fueron definidas en la tesis doctoral *A study to categorize walls and roofs on the basis of thermal response* (1988).

Tabla 21. Configuración de paredes.

Tipo de pared	Descripción	Código de capas De izquierda a derecha (interior
1	Revestimiento de acero con aislamiento de 100 mm	EO A3 B1 B13 A3 A0
2	Pared marco con aislamiento de 13 mm	E0 E1 B14 A1 A0
3	100 mm de bloque de concreto pesado con aislamiento de 25 mm	E0 C3 B5 A6 A0
4	Aislamiento de 50 mm con 50 mm de concreto pesado	30 A6 B21 C7 A0
5	Aislamiento de 35 mm con 200 mm de bloque de concreto liviano	EO A6 B21 C7 A0
6	Aislamiento de 25 mm con 100 mm de concreto pesado	E0 E1 B2 C5 A1 A0
7	100 mm de bloque de concreto pesado con aislamiento de 50 mm	EO A6 C5 B3 A3 A0
8	Ladrillo cara vista y 50 mm de concreto pesado con aislamiento de 25 mm	E0 A2 C12 B5 A6 A0
9	Aislamiento de 150 mm con madera de 50 mm	E0 A6 B15 B10 A0
10	100 mm bloque de concreto liviano con 25 mm de aislamiento y ladrillo cara vista	E0 E1 C2 B5 A2 A0
11	200 mm bloque de concreto pesado con aislamiento de 50 mm	E0 E1 C8 B6 A1 A0
12	200 mm de concreto pesado	E0 E1 B1 C10 A1 A0
13	Ladrillo cara vista y 100 mm concreto pesado con 16 mm de aislamiento	E0 A2 C5 B19 A6 A0
14	Ladrillo cara vista y ladrillo cara vista con aislamiento de 50 mm	E0 A2 A2 B6 A6 A0
15	200 mm de bloque de concreto liviano (relleno) y ladrillo cara vista	E0 A6 C17 B1 A7 A0
16	200 mm de bloque de concreto pesado (relleno) y ladrillo cara vista	E0 A6 C18 B1 A7 A0

Tabla 22. Configuración de techos

Tipo de techo	Descripción	Código de capas De izquierda a derecha (interior a exterior)
1	Cubierta de acero con aislamiento de 85 mm	E0 A3 B25 E3 E2 A0
2	Cubierta de acero con aislamiento de 125 mm	E0 A3 B14 E3 E2 A0
3	50 mm de alto con techo suspendido	EO E5 E4 C12 E3 E2 A0
4	Techo del ático con aislamiento de 150 mm	E0 E1 B15 E4 B7 A0
5	Aislamiento de 125 mm con 50 mm de alto	E0 B14 C12 E3 E2 A0
6	100 mm de alto con aislamiento de 8 mm	E0 C5 B17 E3 E2 A0
7	Aislamiento de 40 mm con 50 mm de concreto pesado	E0 B22 C12 E3 E2 C12 A0
8	Aislamiento de 4 mm con 150 mm de concreto pesado	E0 B16 C13 E3 E2 A0
9	75 mm de aislamiento con 100 mm concreto liviano y techo suspendido	E0 E5 E4 B12 C14 E3 E2 A0
10	150 mm concreto liviano. con aislamiento de 4 mm y techo suspendido.	E0 E5 E4 C15 B16 E3 E2 A0
11	100 mm de concreto pesado con aislamiento de 150 mm	E0 C5 B15 E3 E2 A0
12	150 mm de concreto pesado con aislamiento de 4 mm y 50 mm de concreto pesado con sistema de azotea	E0 C13 B16 E3 E2 C12 A0
13	150 mm de concreto pesado con aislamiento de 50 mm	E0 C13 B6 E3 E2 A0
14	50 mm de concreto pesado con aislamiento de 100 mm y techo suspendido.	E0 E5 E4 C12 B13 E3 E2 A0

Tabla 23. Propiedades térmicas y código de capas para paredes y techos.

ID	Descripción	Espesor (mm)	Conductividad (W/m <sup>2</sup> K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (kJ/kg K)	Resistencia (m <sup>2</sup> K/W)
A0	Resistencia superficie Ext	0	0	0	0	0,059
A1	25 mm Estuco	25,4	0,69	1858	0,841	0,036
A2	100 mm Ladrillo cara vista	101,5	1,33	2002	0,921	0,075
A3	Steel siding	2	45	7689	0,419	0
A4	12 mm Slag	12,7	0,19	1121	1,67	0,068
A5	Resistencia superficie Ext	0	0	0	0	0,059
A6	Acabado	12,7	0,42	1249	1,088	0,031
A7	100 mm Ladrillo cara vista	100	1,33	2000	0,921	0,075
B1	Resistencia espacio de aire	277,4	1,73	0	0	0,16
B10	50 mm Madera	51	0,12	593	2,512	0,422
B11	75 mm Madera	76	0,12	593	2,512	0,628
B12	75 mm Aislamiento	76	0,04	91	0,841	1,767
B13	100 mm Aislamiento	100	0,04	91	0,841	2,326
B14	125 mm Aislamiento	125	0,04	91	0,841	2,907
B15	150 mm Aislamiento	150	0,04	91	0,841	3,489
B16	4 mm Aislamiento	4	0,04	91	0,841	0,093
B17	8 mm Aislamiento	8	0,04	91	0,841	0,186
B18	12 mm Aislamiento	12	0,04	91	0,841	0,279
B19	15 mm Aislamiento	15	0,04	91	0,841	0,349
B2	25 mm Aislamiento	25	0,04	32	0,841	0,581
B20	20 mm Aislamiento	20	0,04	91	0,841	0,465
B21	35 mm Aislamiento	35	0,04	91	0,841	0,814
B22	42 mm Aislamiento	42	0,04	91	0,841	0,977
B23	60 mm Aislamiento	62	0,04	91	0,841	1,442
B24	70 mm Aislamiento	70	0,04	91	0,841	1,628
B25	85 mm Aislamiento	85	0,04	91	0,841	1,976
B26	92 mm Aislamiento	92	0,04	91	0,841	2,14
B27	115 mm Aislamiento	115	0,04	91	0,841	2,675
B3	50 mm Aislamiento	50,8	0,04	32	0,841	1,181
B4	75 mm Aislamiento	76	0,04	32	0,841	1,767
B5	25 mm Aislamiento	25	0,04	91	0,841	0,581
B6	50 mm Aislamiento	51	0,04	91	0,841	1,186
B7	25 mm madera	25,4	0,12	593	2,512	0,207
B8	65 mm madera	63	0,12	593	2,512	0,521
B9	100 mm madera	100	0,12	593	2,512	0,826
C1	100 mm Clay tile	100	0,57	1121	0,841	0,175
C10	200 mm HD concreto	203	1,73	2243	0,841	0,116
C11	300 mm HD concreto	300	1,73	2243	0,841	0,173
C12	50 mm HD concreto	50,8	1,73	2243	0,841	0,029
C13	150 mm HD concreto	150	1,73	2243	0,841	0,087
C14	100 mm LD concreto	101,6	0,17	641	0,841	0,578
C15	150 mm LD concreto	150	0,17	641	0,841	0,867
C16	200 mm LD concrete	200	0,17	641	0,841	1,156
C17	200 mm LD bloque concreto (relleno)	200	0,14	288	0,841	1,449
C18	200 mm HD bloque concreto (relleno)	200	0,59	849	0,841	0,34
C19	300 mm LD bloque concreto (relleno)	300	0,14	304	0,841	2,174
C2	100 mm LD bloque concreto	100	0,38	609	0,841	0,262
C20	300 mm HD bloque concreto (relleno)	300	0,68	897	0,841	0,444
C3	100 mm HD bloque	100	0,81	977	0,841	0,123
C4	100 mm Ladrillo común	100	0,73	1922	0,841	0,138
C5	100 mm HD concreto	101,6	1,73	2243	0,841	0,058
C6	200 mm Clay tile	200	0,57	1121	0,841	0,35
C7	200 mm LD bloque concreto	200	0,57	609	0,841	0,35
C8	200 mm HD bloque concreto	200	1,04	977	0,841	0,193
C9	200 mm Ladrillo común	200	0,73	1922	0,841	0,275
E0	Resistencia de superficie Interior	0	0	0	0	0,121
E1	20 mm yeso	19,1	0,73	1601,6	0,841	0,026
E2	12 mm escoria o piedra	12	1,44	881	1,67	0,008
E3	10 mm fieltro y membrana	10	0,19	1121	1,67	0,053
E4	Espacio de aire cielo raso	304,8	1,73	0	0	0,176
E5	Baldosa acustica	19,1	0,06	481	0,841	0,311

En la tabla 23 se encuentran las propiedades térmicas y números de código de las capas utilizadas en las descripciones de paredes y techos utilizados en las tablas de CLTD del *Load Calculation manual* (1992).

### *Configuración de ventana*

El cristal elegido para el cálculo de los SCL mediante la metodología RTS es el mismo que se utilizó para las tablas del *Load Calculation manual* (1992), hoja de vidrio de 1/8 in de doble resistencia.

Tabla 24. Propiedades del vidrio de referencia.

Código	Descripción	Espesor	Coefficiente global de transferencia de calor (U)
1a	Hoja de vidrio de doble resistencia	3,2 mm	5,91 $W/m^2K$

### *Geometría de las superficies*

Las paredes y techos para el modelo de análisis son tomadas como superficies planas y rectangulares cuyo grosor depende de las capas que las conformen.

## **3.3 GENERACIÓN DE VALORES RTF (FACTORES DE TIEMPO RADIANTE) EN EL PROGRAMA EXCEL**

Los coeficientes RTF se determinan excitando el modelo de zona térmica con un pulso radiante y monitoreando las cargas de enfriamiento resultantes. Los RTF solares y no solares se obtienen ajustando la distribución del pulso radiante.

Los detalles completos se pueden encontrar en Nigusse (2007). La hoja de cálculo C-2\_RTFgen.xls implementa este algoritmo en código VBA.

**3.3.1 Implementación de hoja de cálculo en Excel.** Se requiere la siguiente información de entrada:

1. Una descripción de zona que consta de parámetros geométricos: ángulos de inclinación, direcciones de orientación y áreas de superficie.
2. Información de construcción: códigos de capa para cada capa de material en cada construcción.

Se pueden especificar capas adicionales en las hojas de cálculo LAYERS IP y LAYERS SI, como se discutió anteriormente, para la hoja de cálculo de generación CTSF. La hoja de cálculo en la Figura 12 (C-2\_RTFgen.xls) muestra los datos de entrada para la generación de RTF. Estos parámetros de entrada se describen a continuación:

1. Los números de ID de superficie.
2. El nombre de la superficie.
3. El ángulo de orientación en grados hacia la derecha desde el norte.
4. El ángulo de inclinación en grados por encima de la horizontal.
5. El área de superficie está en pies cuadrados (I-P) o metros cuadrados (SI).
6. Las emisividades de onda larga (se utilizan para estimar las distribuciones de radiación).
7. Las condiciones de contorno, deben establecerse en TA.
8. Número de capas y la descripción de las capas de la superficie (se especifican desde afuera hacia adentro).

Al hacer clic en el botón GENERAR RTF, se llaman las subrutinas VBA para leer los parámetros de entrada, calcular los RTF solares y no solares, y devolverlos a la hoja de trabajo como se muestra en la Figura 13.

Figura 12. Parámetros de entrada para la generación de RTF

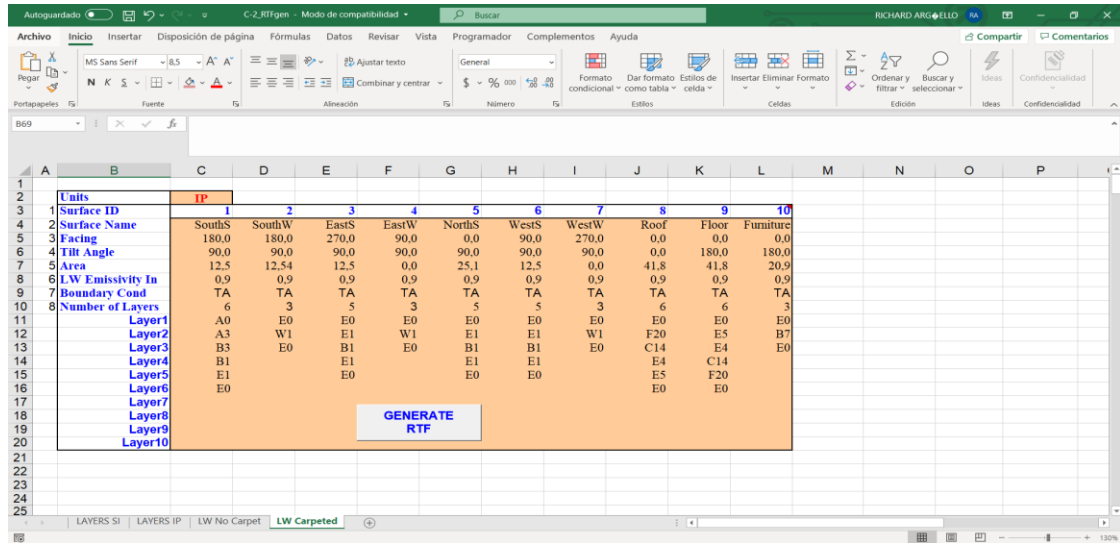
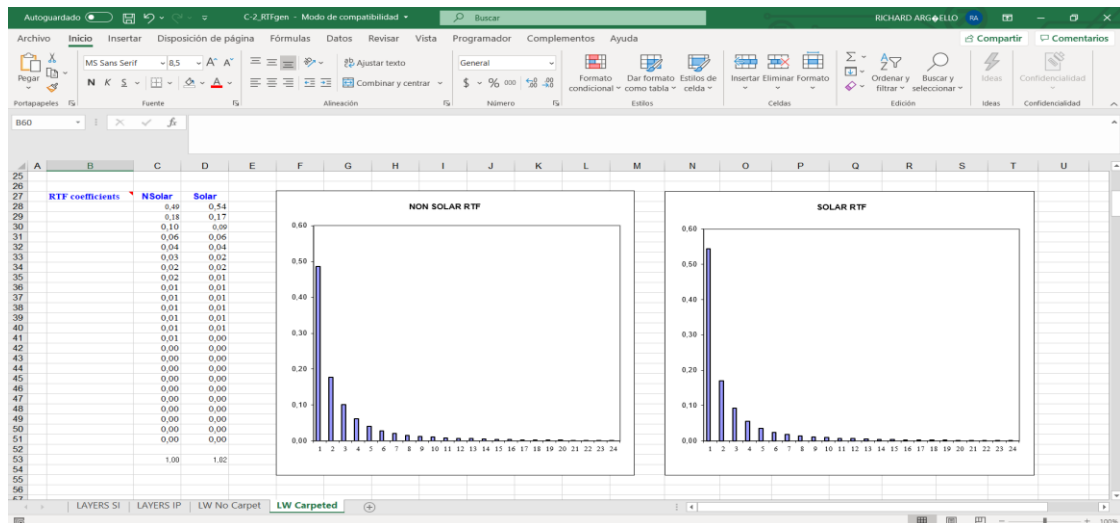


Figura 13. Ejemplo de salida para la generación de RTF



### 3.3.2. Factores de tiempo radiante para el cálculo de la carga de enfriamiento a través paredes y techos.

Dado que en la bibliografía no se encuentra la descripción de los 14 parámetros que conforman la zona que fue utilizada para la impresión de las tablas del libro Cooling load Calculation Manual (1992), para el procedimiento de cálculo de CLTD

equivalentes se escoge una zona predeterminada en el archivo 7-6 RTF\_tabulated.xls, se escoge una zona con las siguientes características:

- 50% de área de acristalamiento
- Con alfombra
- Peso mediano de las superficies

En la figura 14 se muestra la interfaz del programa para la generación de los RTF predeterminados, la configuración de las superficies medianas son las mismas de la tabla 6.

Figura 14. Interfaz de generación de RTF predeterminados.

Tabulated RTF selection (HOF)			
MW w Carpet 50% glass			
Index	Non Solar	Solar	
0	0,49	0,54	
1	0,17	0,16	
2	0,09	0,08	
3	0,05	0,04	
4	0,03	0,03	
5	0,02	0,02	
6	0,02	0,01	
7	0,01	0,01	
8	0,01	0,01	
9	0,01	0,01	
10	0,01	0,01	
11	0,01	0,01	
12	0,01	0,01	
13	0,01	0,01	
14	0,01	0,01	
15	0,01	0,01	
16	0,01	0,01	
17	0,01	0,01	
18	0,01	0,01	
19	0,01	0,00	
20	0,00	0,00	
21	0,00	0,00	
22	0,00	0,00	
23	0,00	0,00	

### 3.3.3 Factores de tiempo radiante para los tipos de zonas en el cálculo de la carga de enfriamiento a través de ventanas.

**3.3.3.1 Definición de los parámetros contantes y variables.** El desarrollo de un conjunto de tablas para un uso manual en la metodología de CLTD/SCL/CLF implica inevitablemente una relación entre la precisión y la cantidad de tablas necesarias. Debido a los 14 parámetros de la tabla 25 que conforman un tipo de zona, la generación de las tablas de una simple latitud y un mes se requeriría aproximadamente 22.000 páginas, por esta razón se definieron algunos parámetros contantes y se permutó con los demás.

Tabla 25. Parámetros de una zona.

No.	Parameter	Meaning	Levels (in normal order)
1	ZG	Zone geometry	100 ft × 20 ft, 15 ft × 15 ft 100 ft × 100 ft
2	ZH	Zone height	8 ft, 10 ft, 20 ft
3	NW	No. exterior walls	1, 2, 3, 4, 0
4	IS	Interior shade	100, 50, 0%
5	FN	Furniture	With, Without
6	EC	Exterior wall construction	1, 2, 3, 4 (Table 2.2)
7	PT	Partition type	5/8 in. gypsum board-air space 5/8 in. gypsum board, 8 in. concrete block
8	ZL	Zone location	Single-story, top floor, bottom floor, mid-floor
9	MF	Mid-floor type	8 in. concrete, 2.5 in. concrete, 1 in. wood
10	ST	Slab type	Mid-floor type, 4 in. slab on 12 in. soil
11	CT	Ceiling type	3/4 in. accoustic tile and air space, w/o ceiling
12	RT	Roof type	1, 2, 3, 4 (Table 2.4)
13	FC	Floor covering	Carpet with rubber pad, vinyl tile
14	GL	Glass percent	10, 50, 90

**Fuente:** MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Zone Parametric Level Definitions. 2 ed. New York: ASHRAE, 1992. p. 2.3.

### *Parámetros constantes*

Se eligieron los siguientes parámetros constantes a conveniencia para disminuir la cantidad de permutaciones.

Tabla 26. Parámetros de zona constantes

Número	Parámetro	Nivel
1	Geometría de la zona	4,6m x 4,6m
2	Altura de la zona	3,0 m
4	Sombra interior	0%
5	Mobiliario	Con muebles
6	Construcción pared exterior	A0,A1,A6,A2,A6,E1,E0
8	Localización de la zona	Único piso
10	Tipo de piso	M18,VT1,E0
11	Tipo de cielo raso	Sin cielo raso
12	Tipo de techo	A0,F13,G03,I02,G06,E0

### *Parámetros variables*

Tabla 27. Parámetros de zona variables

Número	Parámetro	Nivel
3	Numero de paredes exteriores	1,2,3,4
7	Tipo de partición	<ul style="list-style-type: none"><li>• Partición de yeso (E0,G01,E1,G01,E0)</li><li>• Concreto(E0,E1,A6,A2,A6,E1,E0)</li></ul>
13	Cubierta del piso	<ul style="list-style-type: none"><li>• Con alfombra (F20)</li><li>• Sin alfombra (Vinilo)</li></ul>
14	Porcentaje de acristalamiento	<ul style="list-style-type: none"><li>• 10%</li><li>• 50%</li></ul>

**3.3.3.2 Elaboración de la tabla de zonas.** Permutando con las variables, se genera la siguiente tabla.

Tabla 28. Tipos de zonas.

Numero de Paredes	Cubierta del piso	Tipo de partición	Porcentaje de acristalamiento	Zona
1 o 2	Alfombra	Yeso	10%	6
1 o 2	Alfombra	Yeso	50%	5
1 o 2	Alfombra	Concreto	10%	3
1 o 2	Alfombra	Concreto	50%	4
1 o 2	Baldosa de vinilo	Yeso	10%	7
1 o 2	Baldosa de vinilo	Yeso	50%	8
1 o 2	Baldosa de vinilo	Concreto	10%	2
1 o 2	Baldosa de vinilo	Concreto	50%	1
3	Alfombra	Yeso	10%	14
3	Alfombra	Yeso	50%	13
3	Alfombra	Concreto	10%	11
3	Alfombra	Concreto	50%	12
3	Baldosa de vinilo	Yeso	10%	15
3	Baldosa de vinilo	Yeso	50%	16
3	Baldosa de vinilo	Concreto	10%	10
3	Baldosa de vinilo	Concreto	50%	9
4	Alfombra	Yeso	10%	19
4	Alfombra	Yeso	50%	20
4	Baldosa de vinilo	Yeso	10%	18
4	Baldosa de vinilo	Yeso	50%	17

Para cada una de las zonas se generó los valores de RTF, esto con el fin de comparar y agrupar las zonas que tenga una respuesta transitoria similar. Las zonas se dividieron en 4 grandes grupos llamados zona A,B,C y D. El criterio de agrupación fue su primer término ( $r_0$ ) ya que es el valor que más influye en la caga de enfriamiento, en las tablas 29 y 30 se muestran los RTF solares y no solares respectivamente, ordenados de menor a mayor por  $r_0$ .

Tabla 29. RTF solares para los grupos de zonas.

Hora	Zona A					Zona B				Zona C						Zona D				
	RTF 2	RTF 10	RTF 18	RTF 3	RTF 11	RTF 15	RTF 1	RTF 19	RTF 14	RTF 7	RTF 9	RTF 4	RTF 6	RTF 12	RTF 16	RTF 17	RTF 8	RTF 13	RTF 20	RTF 5
0	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51	0,52	0,53	0,53	0,53	0,54	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,59	0,59	0,59
1	0,14	0,14	0,15	0,12	0,12	0,15	0,14	0,13	0,13	0,16	0,15	0,13	0,15	0,13	0,16	0,16	0,17	0,14	0,14	0,15
2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,08
3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
4	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
6	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
7	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
8	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
9	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
10	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
11	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
12	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
14	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 30. RTF no solares para los grupos de zonas.

Hora	Zona A					Zona B				Zona C						Zona D				
	RTF 2	RTF 10	RTF 3	RTF 11	RTF 18	RTF 19	RTF 15	RTF 1	RTF 14	RTF 4	RTF 7	RTF 6	RTF 9	RTF 12	RTF 16	RTF 17	RTF 8	RTF 20	RTF 13	RTF 5
0	0,32	0,33	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,42	0,43	0,43	0,44	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,51
1	0,12	0,12	0,11	0,11	0,13	0,12	0,13	0,11	0,12	0,11	0,15	0,14	0,11	0,10	0,13	0,13	0,16	0,12	0,12	0,15
2	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,08
3	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
6	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02
7	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
8	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
9	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
11	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
12	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
13	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
14	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
16	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Luego de tener definidos los grupos se procede a escoger una zona representativa entre cada grupo, para ello se utiliza como criterio el error cuadrático medio (RMSE) que nos permite medir el error entre dos conjuntos de datos. La ecuación del RMSE aplicada a los RTF queda de la siguiente manera:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{j=0}^{24} (RTF_{Zona\ representativa} - RTF_{Zona\ del\ grupo})^2} \quad (37)$$

En Excel se realiza el cálculo de estos errores suponiendo cada zona del grupo como representativa. luego se procede a sumar los errores en cada comparación y finalmente se suman dichos errores (ver tabla 31).

Tabla 31. RMSE para suposición zona representativa 18, RTF solares.

Hora	RTF18	RTF 2	RTF 3	RTF10	RTF 11	Diferencias al cuadrado						
						18-2	18-3	18-10	18-11			
0	0,50	0,48	0,50	0,49	0,51	0,000363	0,00001	0,00024	0,000052			
1	0,15	0,14	0,12	0,14	0,12	0,000077	0,00067	0,00007	0,000651			
2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,000007	0,00003	0,00001	0,000026			
3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,000000	0,00000	0,00000	0,000000			
4	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,000002	0,00000	0,00000	0,000001			
5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,000004	0,00000	0,00000	0,000002			
6	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,000005	0,00000	0,00000	0,000003			
7	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,000005	0,00000	0,00000	0,000003			
8	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,000005	0,00000	0,00000	0,000003			
9	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,000004	0,00000	0,00000	0,000003			
10	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,000004	0,00000	0,00000	0,000003			
11	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000003	0,00000	0,00000	0,000002			
12	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000003	0,00000	0,00000	0,000002			
13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000003	0,00000	0,00000	0,000002			
14	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000002	0,00000	0,00000	0,000002			
15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000002	0,00000	0,00000	0,000001			
16	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000002	0,00000	0,00000	0,000001			
17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000001	0,00000	0,00000	0,000001			
18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000001	0,00000	0,00000	0,000001			
19	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000001	0,00000	0,00000	0,000001			
20	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,000001	0,00000	0,00000	0,000001			
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000001	0,00000	0,00000	0,000001			
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000001	0,00000	0,00000	0,000000			
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000001	0,00000	0,00000	0,000000			
						RMSE	0,00455648	0,00561079	0,00385754	0,00563404	Suma RMSE	0,019659

El procedimiento de la tabla 31 se realiza para RTF solares y no solares, estos resultados se suman para obtener el error total (RMSE Total) de cada suposición, este procedimiento se repite en cada grupo, las zonas que presentan el menor error

se muestran en la tabla 32 y son las zonas representativas de cada grupo correspondiente.

Tabla 32. RMSE totales para zonas representativas.

Grupo	Zona representativa	RMSE Total
A	10	0,029083
B	1	0,065368
C	6	0,020935
D	13	0,035130

### Desviación de SCL

Teniendo definidas las zonas representativas se procedió a comparar los SCL equivalentes para la zona representativa con las demás zonas del grupo respectivo, este cálculo para todos los grupos, latitudes de referencia (0°, 5° y 10° norte) y orientaciones de ventana. En la tabla 33 se ilustra el procedimiento en Excel para este cálculo.

Tabla 33. Errores entre zona representativa A y zona 2, latitud 0°.

LATITUD 0° N																								
Hora	Zona representativa A								Zona 2								Error							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	2	3	7	9	13	16	13	4	2	3	7	10	13	17	14	5	0%	0%	0%	-10%	0%	-6%	-7%	-20%
2	2	3	6	8	12	15	12	4	2	3	7	9	12	15	12	4	0%	0%	-14%	-11%	0%	0%	0%	0%
3	2	2	6	7	10	13	11	4	2	2	6	8	10	13	11	4	0%	0%	0%	-13%	0%	0%	0%	0%
4	2	2	5	7	9	12	9	3	2	2	5	7	9	12	10	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-10%	0%
5	1	2	5	6	8	10	8	3	1	2	5	6	8	11	9	3	0%	0%	0%	0%	0%	-9%	-11%	0%
6	1	2	4	5	7	9	8	2	1	2	4	5	7	9	8	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-33%
7	7	59	172	178	76	15	13	9	7	59	171	177	76	15	13	9	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
8	13	71	231	245	111	20	18	14	13	70	230	244	111	20	18	14	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
9	18	53	227	257	131	24	23	19	18	53	226	256	130	24	23	19	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%
10	22	38	184	236	144	28	26	23	22	38	183	235	143	28	26	23	0%	0%	1%	0%	1%	0%	0%	0%
11	25	32	113	194	152	47	29	26	25	32	113	193	151	46	29	26	0%	0%	0%	1%	1%	2%	0%	0%
12	26	31	60	134	157	93	31	27	26	31	60	134	156	92	31	27	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	0%
13	26	30	50	83	158	155	75	28	26	30	50	83	158	155	75	28	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
14	25	28	44	57	157	211	150	32	25	28	44	57	156	210	150	32	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%
15	22	25	38	47	151	254	212	48	22	25	39	47	150	253	211	48	0%	0%	-3%	0%	1%	0%	0%	0%
16	18	20	32	39	139	271	245	72	18	20	32	39	138	269	244	72	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	0%
17	12	14	25	31	112	234	220	72	12	14	25	31	111	233	219	72	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%
18	5	7	16	22	39	62	54	17	5	7	17	22	39	62	54	17	0%	0%	-6%	0%	0%	0%	0%	0%
19	4	6	14	19	29	41	35	11	4	6	15	19	30	41	35	11	0%	0%	-7%	0%	-3%	0%	0%	0%
20	4	5	13	17	24	32	27	9	4	6	13	17	25	32	27	9	0%	-17%	0%	0%	-4%	0%	0%	0%
21	3	5	11	15	21	27	22	7	3	5	12	15	21	27	22	7	0%	0%	-8%	0%	0%	0%	0%	0%
22	3	4	10	13	18	24	19	6	3	4	10	14	19	24	20	6	0%	0%	0%	-7%	-5%	0%	-5%	0%
23	3	4	9	12	16	21	17	6	3	4	9	12	17	21	17	6	0%	0%	0%	0%	-6%	0%	0%	0%
24	2	3	8	11	15	18	15	5	2	3	8	11	15	19	15	5	0%	0%	0%	0%	0%	-5%	0%	0%

Posteriormente se calcula dos errores promedios (positivos y negativos) de cada tabla como la mostrada anteriormente. Dado que son 3 latitudes por comparación de zonas, se calcula el promedio entre los errores de dichas latitudes, los resultados se muestran en la tabla 34.

Tabla 34. Selección del tipo de zona para una edificación de único piso.

Numero de Paredes	Cubierta del piso	Tipo de partición	Porcentaje de acristalamiento	Zona	Error	
					Positivo	Negativo
1 o 2	Alfombra	Yeso	10%	C	0	0
1 o 2	Alfombra	Yeso	50%	D	27	-2
1 o 2	Alfombra	Concreto	10%	A	5	-3
1 o 2	Alfombra	Concreto	50%	C	4	-24
1 o 2	Baldosa de vinilo	Yeso	10%	C	2	-7
1 o 2	Baldosa de vinilo	Yeso	50%	D	21	-4
1 o 2	Baldosa de vinilo	Concreto	10%	A	1	-9
1 o 2	Baldosa de vinilo	Concreto	50%	B	0	0
3	Alfombra	Yeso	10%	B	14	-2
3	Alfombra	Yeso	50%	D	0	0
3	Alfombra	Concreto	10%	A	6	-2
3	Alfombra	Concreto	50%	C	3	-17
3	Baldosa de vinilo	Yeso	10%	B	13	-2
3	Baldosa de vinilo	Yeso	50%	C	19	-2
3	Baldosa de vinilo	Concreto	10%	A	0	0
3	Baldosa de vinilo	Concreto	50%	C	3	-18
4	Alfombra	Yeso	10%	B	4	-2
4	Alfombra	Yeso	50%	D	2	-16
4	Baldosa de vinilo	Yeso	10%	A	18	-3
4	Baldosa de vinilo	Yeso	50%	D	2	-14

La tabla 34 es equivalente a la tabla 8.8A del libro Load Cooling Calculation Manual (1992), con ella podemos elegir la zona según las cuatro variables, para posteriormente dirigirse a los anexos D en busca de la carga de enfriamiento solar (SCL) según la latitud y la orientación de la ventana.

### 3.4 ANÁLISIS DE SOFTWARE QUE SE UTILIZARÁ PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.

**3.4.1 Características básicas del software MATLAB.**<sup>10</sup> Basado en la herramienta computacional a usar y con el propósito de llevar cabo los cálculos numéricos, se hace necesario entender cómo funciona MATLAB.

A continuación, se describen las bases necesarias para entender su manejo e interfaz, en esta fase se va a hacer una introducción al software MATLAB dicho nombre abreviado es “MATriz LABoratory”.

Es un programa para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices, y por tanto se puede trabajar también con números escalares (tanto reales como complejos), con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas. Matlab es un lenguaje de alto rendimiento para cálculos técnicos, es al mismo tiempo un entorno y un lenguaje de programación.

Uno de sus puntos fuertes es que permite construir nuestras propias herramientas reutilizables. Podemos crear fácilmente nuestras propias funciones y programas especiales (conocidos como M-archivos) en código Matlab, los podemos agrupar en Toolbox (también llamadas librerías): colección especializada de M-archivos para trabajar en clases particulares de problemas. Matlab, a parte del cálculo matricial y álgebra lineal, también puede manejar polinomios, funciones, ecuaciones diferenciales ordinarias, gráficos.

Millones de ingenieros y científicos en todo el planeta utiliza MATLAB® para analizar y diseñar los sistemas y productos que transforman nuestro mundo. El lenguaje de

---

<sup>10</sup> MATHWORKS. Introducción a MATLAB. [En línea]. Disponible en <https://la.mathworks.com/help/matlab/getting-started-with-matlab.html>

MATLAB, basado en matrices, es la forma más natural del mundo para expresar las matemáticas computacionales.

Las gráficas integradas facilitan la visualización de los datos y la obtención de información a partir de ellos. El entorno de escritorio invita a experimentar, explorar y descubrir. Todas estas herramientas y funciones de MATLAB están probadas rigurosamente y diseñadas para trabajar juntas.

**3.4.2 Programación en Matlab.** MATLAB es una herramienta informática que surgió para realizar cálculos matemáticos, especialmente operaciones con matrices. El usuario de MATLAB suele ser una persona que necesita algo más que una calculadora pero que requiere "muchos datos" con un lenguaje de programación. Por eso el entorno de trabajo es sencillo de manejar, casi tan fácil como una calculadora.

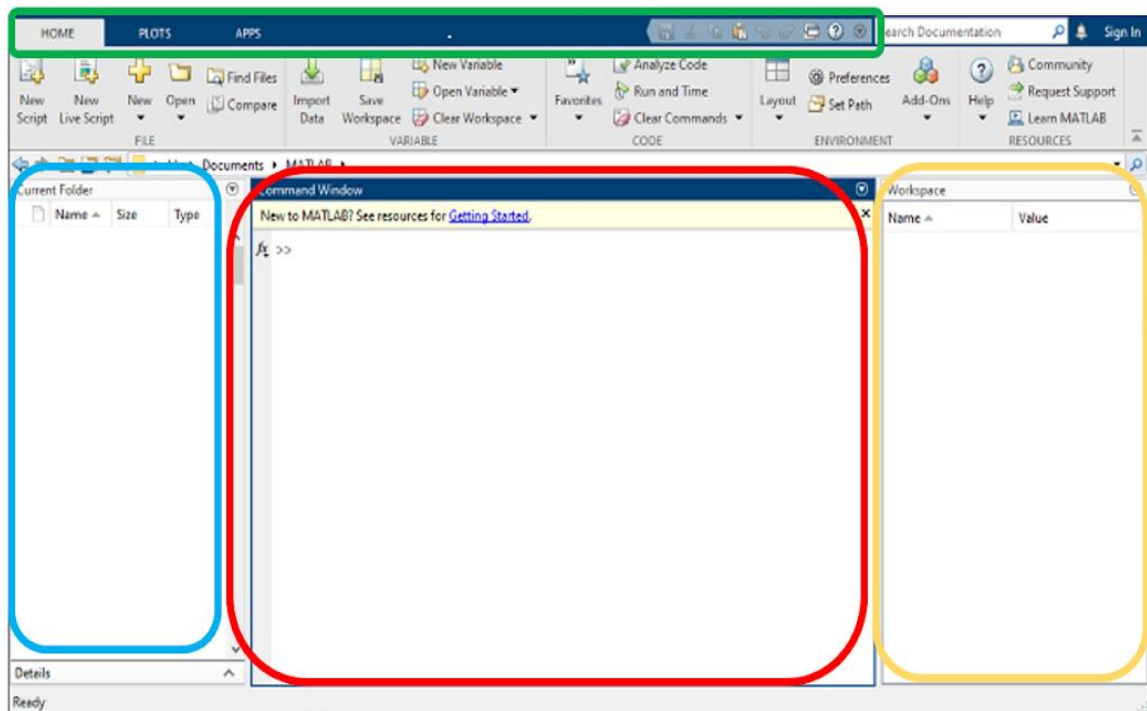
Con los años la herramienta ha sido modificada pasando por varias versiones. En cada versión se han incorporado otras funciones distintas y hoy en día proporciona funciones para gran cantidad de aplicaciones ingenieriles: simulación de sistemas dinámicos, visión artificial, análisis estadístico y diseño de controladores automáticos, etc.

Desde las primeras versiones MATLAB incorpora una característica muy interesante: la capacidad para programar. En efecto, es posible crear archivos que contengan las operaciones que se desean realizar. Además, es posible incorporar nuevas funciones de MATLAB realizadas por el propio usuario.

La programación se lleva a cabo mediante un lenguaje que es muy parecido a lenguajes de alto nivel como BASIC o C. Esto permite que el usuario pueda agrupar sentencias que utiliza frecuentemente dentro de un programa que puede ser invocado posteriormente. De este modo se ahorra tiempo y esfuerzo en sucesivas sesiones pues no es necesario escribir todas las sentencias de nuevo como se mostrará.

**3.4.3 Espacio de trabajo en Matlab.** Nada más abrir Matlab (podemos hacerlo pinchando en el icono que aparece en el escritorio o en su defecto en Inicio->Todos los programas) aparecerá una pantalla como la siguiente:

Figura 15. Interfaz de MATLAB. Rojo: Ventana de comandos. Azul: Carpeta actual. Verde: Barra de menú. Amarillo: Espacio de trabajo.



Todas las sentencias que vamos a utilizar las escribiremos en la ventana Command Window (ventana de comandos). Es la ventana de mayor tamaño.

El escritorio incluye estos paneles:

**Carpeta actual:** acceda a sus archivos.

**Ventana de comandos:** ingrese comandos en la línea de comandos, indicada por el indicador (>>).

**Espacio de trabajo:** explore los datos que crea o importa desde archivos.

**3..4.3.1 Identificadores.** Los objetos que se pueden utilizar en MATLAB han de tener un identificador que es un conjunto de caracteres. La palabra resultante ha de cumplir ciertos requisitos:

- No puede comenzar por un numero
- No puede coincidir con palabras reservadas como for, if, etc.
- No puede contener espacios en blanco.

### 3.5 PRESENTACIÓN DE LA INTERFAZ CREADA EN MATLAB.

Se ingresan todas las ecuaciones en lenguaje de programación de la metodología RTS para el cálculo de los valores SCL y CLTD equivalente en la ventana editor. Dentro del código hay funciones que permiten importar valores que son necesarios de archivos Excel, ya que esto simplifica y agiliza el manejo de datos. Luego se procede a generar una interfaz que sea cómoda para el usuario en cuanto al ingreso de datos, para ello se utiliza MATLAB en el comando guide, el cual permite presentar una interfaz o pantalla donde se ingresan ciertos ítems o valores de información básicos respectivo para calcular lo deseado.

Se crean tres interfaces, la primera es home.fig que permite elegir e ir directamente a una de las otras dos interfaces, las cuales son CLTD.fig y SCL.fig.

Figura 16. Ventana inicial





La columna de la izquierda enlista los datos que debe conocer el diseñador para el uso del programa, las variables de entrada manuales son:

**Tmax:** Temperatura maxima externa.

**RD:** Rango diario de temperatura.

Estas dos variables el diseñador debe determinarlas a partir del archivo climatico dependiendo del lugar donde se encuentre,

**LON:** longitud del sitio.

**Tre:** Temperatura de diseño del recinto.

Para escribir en cada uno de ellos se debe hacer clic en el recuadro en blanco, que es donde se van a colocar los valores, luego el usuario debe seleccionar todos los parametros predeterminados para establecer la zona de estudio tales como:

**Mes:** en esta opcion se encuentran los 12 meses del año, analizados para el 21 de cada uno de ellos, el usuario elige el mes a criterio.

**Tipo de superficie:** se puede elegir entre pared o techo.

**Tipo:** para esta opcion es posible elegir entre los 14 tipo de techos o los 16 tipos de paredes según la selección anterior (pared o techo), tambien es posible ingresar un tipo de pared o techo con las capas a conveniencia utilizando la opcion de exportado.

**Color de la superficie:** en esta opcion el usuario elije entre tonos oscuros o claros de colores según sea el caso.

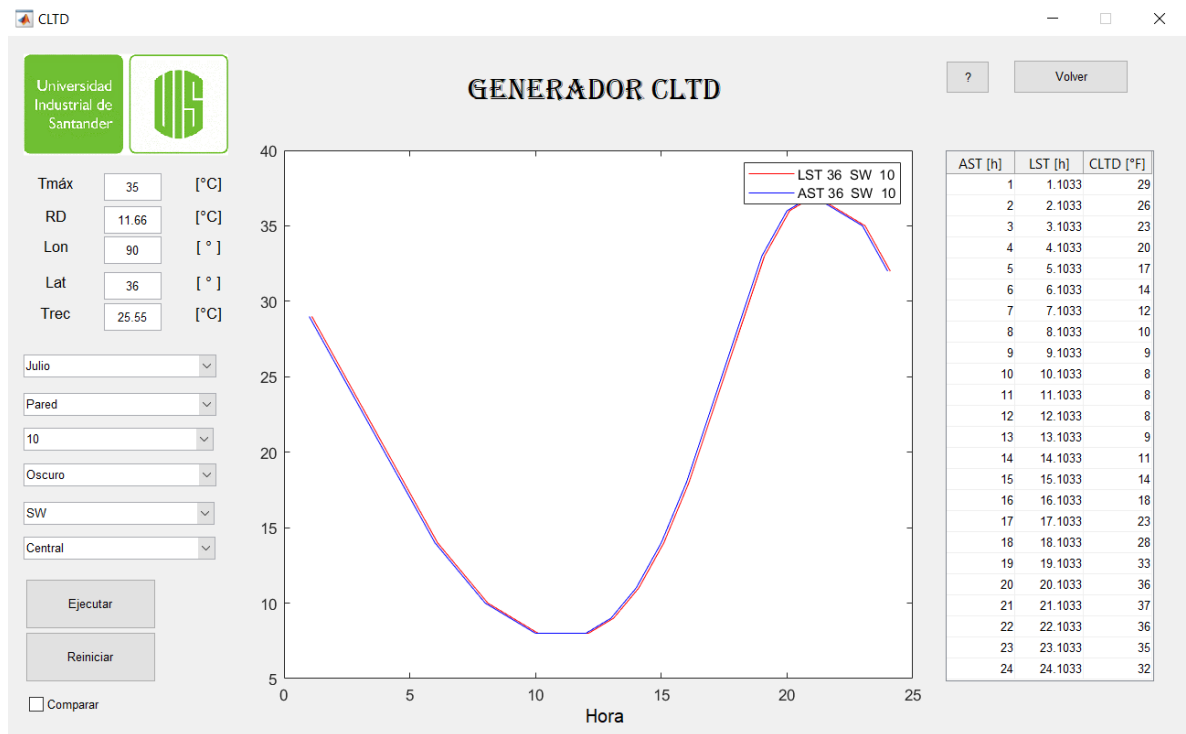
**Orientacion de la superficie:** es posible elegir entre las 8 principales orientaciones.

**Zona horaria:** se puede elegir algunas de las zonas horarias que se encuentran al oeste del meridiano de Greenwich.

Luego de dar a conocer todos los parametros se hace clic en el boton ejecutar e instantaneamente el programa entrega todos los valores enlistados en las columnas de la derecha en la cual se debe poner mas enfasis como respuesta de los CLTD. Tambien esta la opcion de comparar dos superficies y verlas al mismo tiempo para determinar similitudes o diferencias según el caso de estudio, a su vez se agrega un boton de reiniciar para volver a calcular otras superficies.

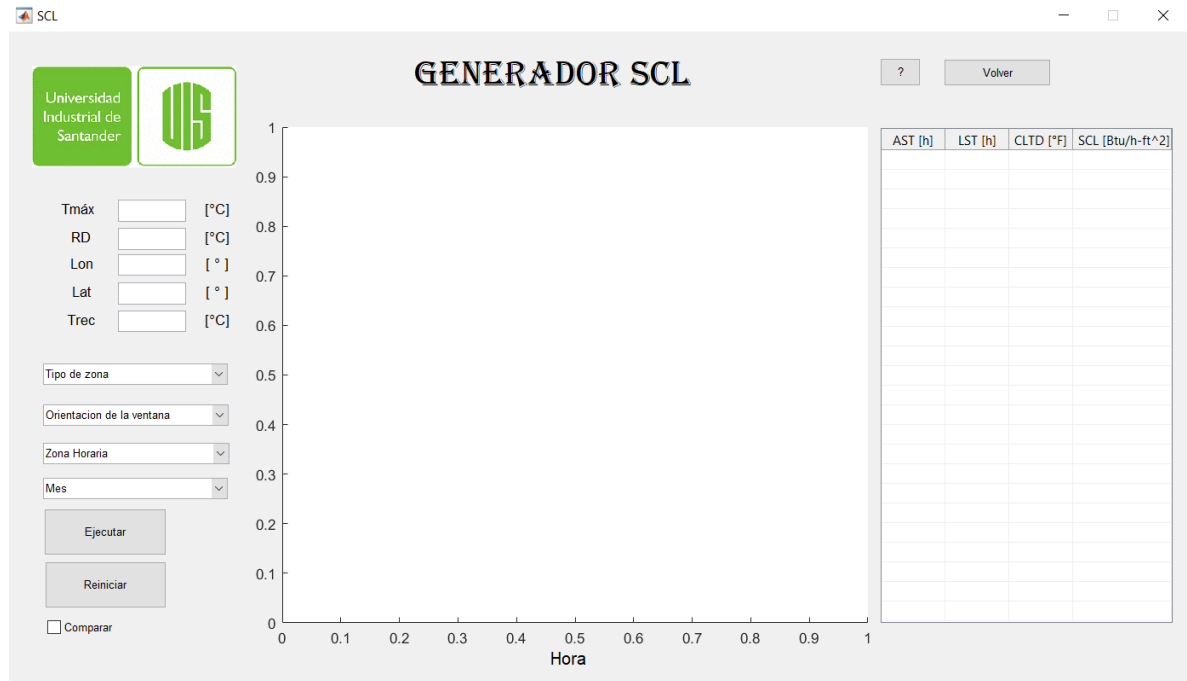
En el centro se muestra la grafica que nos muestra el comportamiento de la carga de enfriamiento en el transcurso de las 24 horas.

Figura 18. Pantalla de salida de la interfaz



**3.5.2 Generador SCL.** El objetivo de la interfaz implementada consiste en que el usuario pueda calcular los valores SCL para las 24 horas solares, observar la hora local en la que ocurre y además visualizar la variación de la curva SCL con relación a (AST, LST,CLTD).

Figura 19. Pantalla de entrada de la interfaz



La columna de la izquierda enlista los datos que debe conocer el diseñador para el uso del programa, las variables de entrada manuales son:

**Tmáx:** Temperatura maxima externa.

**RD:** Rango diario de temperatura.

Estas dos variables el diseñador debe determinarlas a partir del archivo climatico dependiendo del lugar donde se encuentre,

**Lon:** longitud del sitio.

**Tre:** Temperatura de diseño del recinto.

Para escribir en cada uno de ellos se debe hacer clic en el recuadro en blanco, que es donde se ingresan los valores, luego el usuario debe seleccionar todos los parámetros predeterminados para establecer la zona de estudio tales como:

**Tipo de zona:** Las 4 opciones predeterminadas son:

- LW-Carpet-50%
- MW-Carpet-50%
- HW-Carpet-50%
- Exportado

La cuarta opción de exportado permite establecer otro tipo según los parámetros que definen una zona en el método RTS, esta opción exporta los valores RTF previamente calculados por el archivo (C-2\_RTFgen).

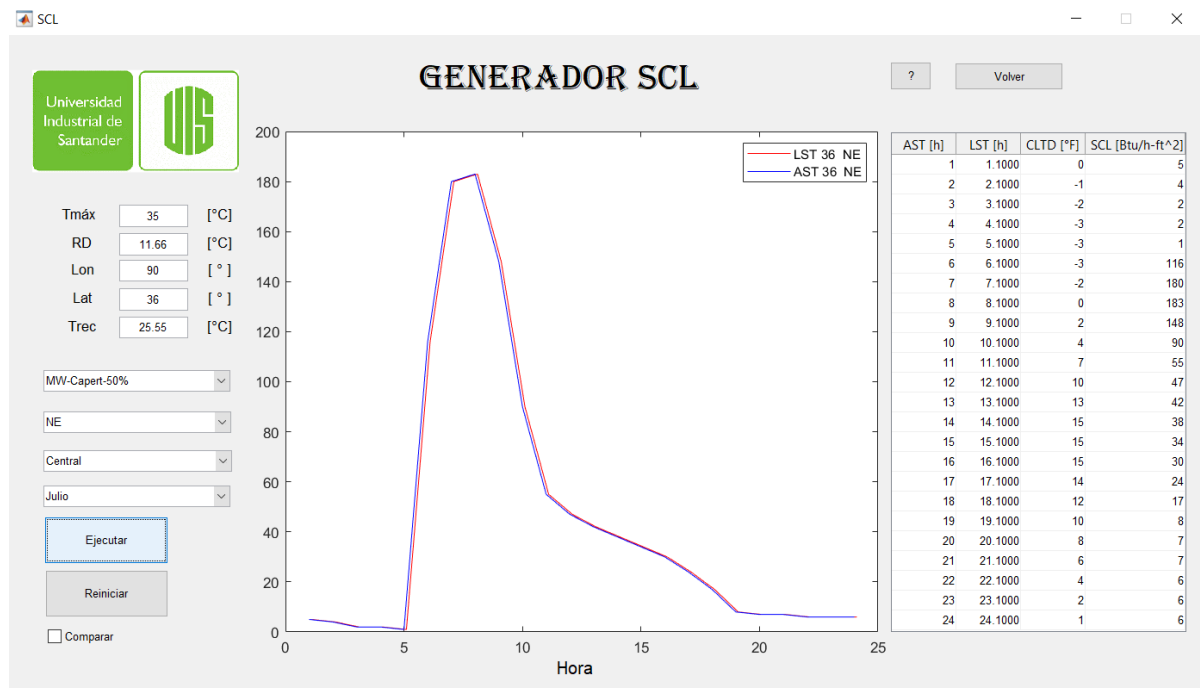
**Orientación de la ventana:** es posible elegir entre las 8 principales orientaciones.

**Zona horaria:** se puede elegir algunas de las zonas horarias que se encuentran al oeste del meridiano de Greenwich.

**Mes:** en esta opción se encuentran los 12 meses del año, analizados para el 21 de cada uno de ellos, el usuario elige el mes a criterio.

Luego de dar a conocer todos los parametros se hace clic en el boton ejecutar e instantaneamente el programa entrega todos los valores enlistados en las columnas de la derecha en la cual se debe poner mas enfasis como respuesta de los SCL. Tambien esta la opcion de comparar dos superficies y verlas al mismo tiempo para determinar similitudes o diferencias según el caso de estudio, a su vez se agrega un boton de reiniciar para volver a calcular otras superficies. En el centro se muestra la grafica que nos muestra el comportamiento de la carga de enfriamiento en el transcurso de las 24 horas.

Figura 20. Pantalla de salida de la interfaz



### 3.6 EQUIVALENCIA ENTRE LOS RESULTADOS DE MÉTODO RTS Y CLTD/SCL/CLF

Dentro del programa se realiza una igualación de la carga de enfriamiento para superficies opacas calculada por el método RTS con la ecuación 32, dando como resultado los CLTD equivalentes:

$$CLTD_{\theta} = \frac{Q_{r\theta} + Q_{c\theta}}{U \cdot A} \quad (38)$$

De la misma manera se realiza la igualación de la carga de enfriamiento a través de ventanas con la suma de la ecuación 34 y 35, dando como resultado los valores de SCL equivalentes:

$$SCL_{\theta} = \frac{Q_{r\theta Haz\ directo} + Q_{r\theta ventana} + Q_{c\theta ventana} - U \cdot A \cdot (CLTD_{\theta})}{SC \cdot A} \quad (39)$$

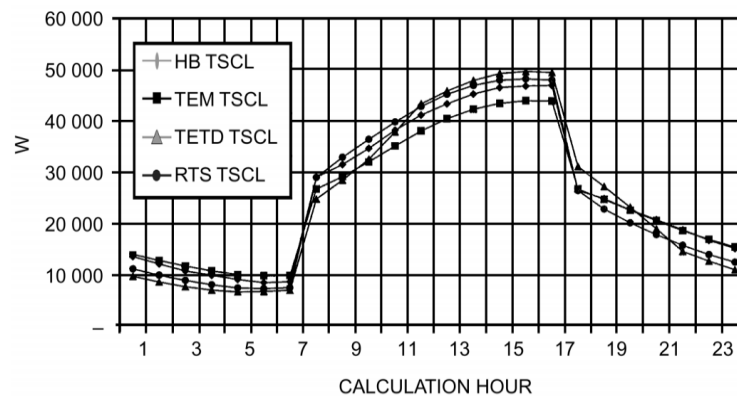
Los valores de  $CLTD_{\theta}$  para ventanas son seleccionados de la tabla 15.

## 4. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS GENERADOS POR EL PROGRAMA

### 4.1 DESVIACIÓN INHERENTE DE RESULTADOS ENTRE LOS MÉTODOS CLTD/SCL/CLF

El método CLTD/SCL/CLF y RTS tienen una diferencia inherente por sus suposiciones y método de solución de las ecuaciones de cada modelo para el cálculo de las cargas de enfriamiento en un local. En la figura 21 se muestra una comparativa en la carga de enfriamiento sensible para un pequeño edificio de tiendas simulado en las instalaciones de ASHRAE utilizando los diferentes métodos.

Figura 21. Comparativa entre los métodos de cálculo de carga de enfriamiento.



**Fuente:** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Cooling Load Profile Comparison. [Figura]. 2001 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASRHAE. 2001. p. 29.37.

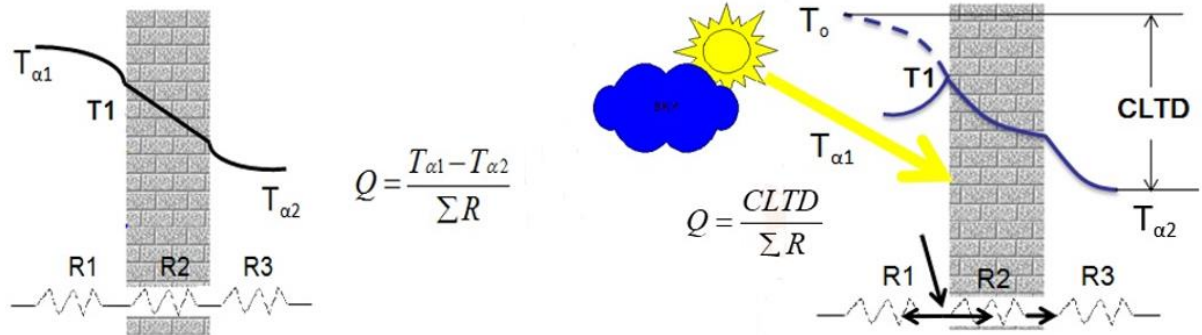
En la figura anterior se observa claramente que el método RTS es conservativo, además ASHRAE<sup>11</sup> afirma que, junto al método de balance de calor, estas dos son las metodologías más científicamente correctas disponibles actualmente para el cálculo de cargas de enfriamiento.

<sup>11</sup> AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2001 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASHRAE,2001. 29.37 p.

## 4.2 ELABORACIÓN DE TABLAS DE CLTD CON EL PROGRAMA ELABORADO PARA LAS MISMAS CONDICIONES DE LAS TABLAS EXISTENTES EN LA BIBLIOGRAFÍA DE ASHRAE.

Para determinar las tablas se tiene en cuenta que este método utiliza datos tabulados de CLTD (Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento) dichos valores dependen de las propiedades físicas de la pared, su ubicación (Latitud, orientación) y el tiempo de estimación (mes, hora).

Figura 22. Concepto de CLTD.



### Identificación

1. Material principal de la pared.
2. Posición del material principal con respecto al aislamiento.
3. Resistencia a la transferencia de calor de la pared
4. Material secundario de la pared.

Para realizar la comparación de los valores de CLTD del libro y el programa desarrollado en MATLAB se elige un tipo de pared con características similares para la elaboración de una tabla que nos permita visualizar la diferencia en los valores. Considerando la gran cantidad de combinaciones de tipos de paredes que se puedan analizar, se escogió para una pared con características iguales a las

definidas por ASHRAE, se establece la pared tipo 10 con las siguientes características:

- Pared tipo 10
- 100 mm bloque de concreto liviano
- 25 mm de aislamiento
- Cara de ladrillo a la vista

A continuación, se observa la tabla desarrollada en el libro Load Calculation Manual Cooling, en la tabla 35 se muestran los valores del CLTD para una pared tipo 10 la cual se va a comparar.

Tabla 35. CLTD para pared tipo 10, 36° latitud norte, julio.

Wall Facing	Wall No. 10																							
	Solar Time, h																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	17	15	13	11	9	7	6	5	5	5	6	7	8	10	12	15	17	19	20	22	22	22	21	19
NE	18	16	13	11	9	7	6	6	8	12	16	20	23	25	26	27	27	28	28	27	26	25	23	20
E	20	17	15	12	10	8	7	7	9	14	20	26	30	33	35	35	35	35	34	33	31	28	26	23
SE	20	17	15	12	10	8	6	6	7	10	14	19	24	28	31	32	33	33	33	32	30	28	25	23
S	19	17	14	12	10	8	6	5	4	4	4	6	9	13	18	22	25	28	29	29	28	26	24	22
SW	29	25	22	18	15	12	10	8	6	6	6	7	8	10	14	19	25	31	36	39	40	39	37	33
W	34	30	25	21	18	14	12	9	8	7	7	7	8	10	13	17	23	30	37	42	45	45	42	38
NW	28	25	21	18	15	12	10	8	6	6	6	6	8	10	12	15	19	24	29	34	36	36	34	32

**Fuente:** MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Shading Coefficients for Glass without or with Interior Shading by Venetian Blinds or Roller Shades. Cooling and heating load calculation manual. 2 ed. New York: ASHRAE, 1992. p. 8.20.

En cumplimiento de los objetivos del proyecto y con el fin de validar la exactitud del programa desarrollado se elaboraron unas tablas similares a las disponibles en el método de CLTD. Utilizando el programa que se desarrolló en MATLAB se parametriza los valores de las variables con los que se generaron las tablas existentes en la bibliografía de ASRHAE, dichos valores se tabulan en Excel para

generar unas tablas a esas condiciones; en la tabla 36 se muestran de manera organizada

Tabla 36. CLTD generados por el programa para pared tipo 10, 36° latitud norte, julio.

Orientación	Pared No. 10												Hora solar, h											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	17	15	13	12	10	8	7	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	20	20	20	19	18
NE	18	16	14	12	11	9	8	8	9	12	16	19	21	23	24	25	26	26	26	26	25	24	22	20
E	21	19	16	14	12	10	9	9	11	15	19	24	28	31	33	33	33	33	33	31	30	28	26	23
SE	21	18	16	14	12	10	9	8	9	11	14	18	22	26	29	30	31	31	31	30	29	27	25	23
S	20	17	15	13	11	10	8	7	6	5	6	7	10	13	16	20	23	25	27	27	26	25	24	22
SW	29	26	23	20	17	14	12	10	9	8	8	9	11	14	18	23	28	33	36	37	36	35	32	
W	34	30	26	23	20	17	14	12	10	9	9	9	10	11	13	17	22	28	34	38	41	41	39	37
NW	27	25	22	19	16	14	12	10	8	7	7	8	8	10	12	14	17	22	26	30	33	33	32	30

#### 4.3 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS TABLAS EXISTENTES DE ASHRAE CON LAS OBTENIDAS.

Una vez se cuenten con las dos tablas y la desviación inherente de los métodos se procede a analizar la fiabilidad de los resultados que se obtienen con el programa elaborado.

A partir de la bibliografía disponible de ASHRAE se debe encontrar los valores de desviación entre el método CLTD/SCL/CLT y el método de series de tiempo radiante (RTS), esto con el fin de obtener las diferencias entre los resultados inherentes de los métodos.

Una vez se obtienen las tablas con el programa se procede a analizar la fiabilidad de los resultados comparándolas con las tablas del *Manual load Calculation 1992*, para ello se grafica en Excel dos orientaciones (este y oeste) para una misma latitud y pared.

Figura 23. Comparación de CLTD, 36° Latitud Norte, Julio, pared N°10.

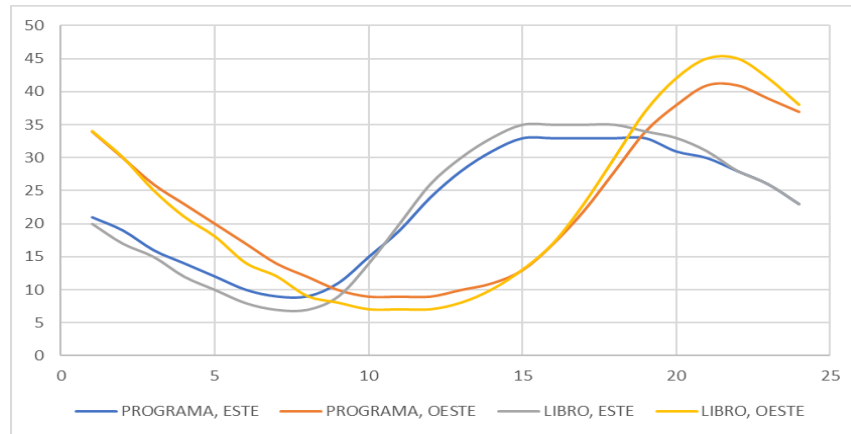


Tabla 37. Variación de los CLTD generados por programa y libro.

pared 10, 36° latitud norte, julio						
Hora	Programa		Libro		Variación	
	este	oeste	este	oeste	este	oeste
1	21	34	20	34	5%	0%
2	19	30	17	30	12%	0%
3	16	26	15	25	7%	4%
4	14	23	12	21	17%	10%
5	12	20	10	18	20%	11%
6	10	17	8	14	25%	21%
7	9	14	7	12	29%	17%
8	9	12	7	9	29%	33%
9	11	10	9	8	22%	25%
10	15	9	14	7	7%	29%
11	19	9	20	7	5%	29%
12	24	9	26	7	8%	29%
13	28	10	30	8	7%	25%
14	31	11	33	10	6%	10%
15	33	13	35	13	6%	0%
16	33	17	35	17	6%	0%
17	33	22	35	23	6%	4%
18	33	28	35	30	6%	7%
19	33	34	34	37	3%	8%
20	31	38	33	42	6%	10%
21	30	41	31	45	3%	9%
22	28	41	28	45	0%	9%
23	26	39	26	42	0%	7%
24	23	37	23	38	0%	3%

En la figura 23 se observa la tendencia similar que tienen ambos métodos de cálculo cuando la orientación es la misma y la variación de los valores se muestra en la tabla 37, esta desviación se da por dos razones:

- La zona con la que fueron calculados los CLTD de las tablas del libro no se encontró en la bibliografía, por esta razón es de esperarse una diferencia en los valores obtenidos con el programa (zona descrita en el numeral 3.3.2).
- Las diferencias inherentes de los métodos que se explican en el primero ítem de esta etapa.

## 5. ELABORACION DE LAS TABLAS CLTD y SCL

Con el fin de obtener el mes de diseño para realizar las tablas, se decidió calcular los valores de CLTD y SCL para todos los meses del año analizando una misma pared en todas sus orientaciones, misma zona y en una latitud baja, esto con el fin de determinar los mayores valores del año en cada caso, dado que para las latitudes de 0° a 10° no hay estaciones climatológicas que diferencien claramente el mes con la temperatura externa más alta.

El análisis mensual se realizó con los datos climatológicos mensuales promedios ofrecidos por el IDEAM, como referencia de sitio con latitud baja para procedimiento se escogió la ciudad de Bucaramanga. En la tabla 38 se muestran los valores de dicha ciudad.

Tabla 38. Datos climatológicos de Bucaramanga.

MES	TEMPERATURA EXTERIOR MÁXIMA PROMEDIO	RANGO DIARIO DE TEMPERATURA PROMEDIO
ENERO	28	9
FEBRERO	28.1	8.8
MARZO	28.3	8.9
ABRIL	28.2	8.5
MAYO	28.5	8.9
JUNIO	28.3	8.7
JULIO	28.4	9.2
AGOSTO	28.7	9.3
SEPTIEMBRE	28.6	9.4
OCTUBRE	28.1	9
NOVIEMBRE	27.6	8.3
DICIEMBRE	27.7	8.5

Los datos climatológicos utilizados para generar los valores de cargas son los ofrecidos por IDEAM, como el análisis es mensual se utilizó.

En la tabla 39 se observa el mes y valor máximo de CLTD que se encontró en el análisis. En la tabla 40 se encuentra el mes y valor más alto de SCL en el análisis del año.

Tabla 39. CLTD para mes de diciembre, 7.1° latitud norte, pared tipo 8.

Orientación	Hora solar, h																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	14	13	12	12	11	10	10	9	9	9	10	10	11	12	13	14	15	16	16	16	16	15	15	14
NE	15	14	14	13	12	11	11	11	11	12	13	14	15	16	16	17	18	18	18	18	18	17	17	16
E	21	20	19	18	16	15	15	15	17	21	24	27	29	29	30	30	29	29	28	27	26	25	24	22
SE	26	24	23	21	20	19	18	18	20	24	28	32	36	38	39	39	38	37	36	34	33	31	29	28
S	32	30	28	26	24	23	21	21	21	23	25	28	32	35	38	41	43	44	44	43	41	39	37	35
SW	32	30	28	26	24	23	21	20	19	18	18	19	20	23	27	32	37	40	42	42	41	39	37	34
W	27	25	23	22	20	19	18	17	16	15	15	15	16	17	20	23	28	31	33	34	33	31	30	28
NW	17	16	15	14	13	12	12	11	11	11	11	11	12	13	14	15	17	18	20	20	19	19	18	17
																							Máx	44

Tabla 40. SCL para mes de diciembre, 7.1° latitud norte, MW-Carpet-50%.

Orientación	Hora solar, h																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	1	1	1	1	1	1	6	13	19	23	26	27	27	25	22	16	9	3	2	2	1	1	1	1
NE	2	2	1	1	1	1	50	61	46	31	30	30	29	26	23	17	10	4	3	2	2	2	2	2
E	7	6	4	2	1	1	159	241	243	198	118	58	45	37	30	23	16	9	8	8	8	8	7	7
SE	11	9	7	5	3	2	167	266	294	280	238	175	102	59	41	30	21	13	12	11	11	11	11	11
S	13	12	11	10	9	7	76	133	168	192	208	216	216	209	193	166	115	37	24	18	15	13	13	13
SW	11	11	11	11	11	10	15	20	25	31	60	127	197	256	296	302	233	60	34	22	16	12	11	11
W	7	7	7	7	7	7	12	19	23	26	27	29	77	160	227	259	211	51	28	17	12	9	7	7
NW	2	2	2	2	2	2	7	14	19	24	26	27	28	26	41	61	61	13	7	4	3	2	2	2
																							Máx	302

Con el programa elaborado en MATLAB se obtienen los valores de los CLTD para las latitudes 0°, 5°, y 10°, para el mes de diciembre y las condiciones de diseño descritas en la primera etapa. Posteriormente los valores se organizan en Excel con los datos de las variables para las que fueron calculados, el resultado se encuentra en los anexos A, B y C. Adicionalmente se generaron tablas para las condiciones de diseño y ubicación de la ciudad de Bucaramanga con datos de entrada en la

interfaz correspondientes, como se muestra en la figura 24. Las tablas de la ciudad de Bucaramanga se encuentran en los anexos C.

Figura 24. Datos de entrada en la interfaz de CLTD para Bucaramanga

Tmáx	<input type="text" value="28"/>	[°C]
RD	<input type="text" value="8.5"/>	[°C]
Lon	<input type="text" value="73.12"/>	[ ° ]
Lat	<input type="text" value="7.12"/>	[ ° ]
Trec	<input type="text" value="20"/>	[°C]
<input type="text" value="Diciembre"/>		
<input type="text" value="Tipo de Superficie"/>		
<input type="text" value="Tipo"/>		
<input type="text" value="Oscuro"/>		
<input type="text" value="Orientacion de la Superf..."/>		
<input type="text" value="Eastern"/>		

## 6. CONCLUSIONES

- Se desarrollo en MATLAB un programa que permite calcular la ganancia de calor a través de paredes, ventanas y techos a partir de la metodología de series de tiempo radiante.
- Mediante el método analítico series de tiempo radiante (RTS) implementado en el software MATLAB, se generaron tablas para ser utilizadas en cálculos manuales de cargas de enfriamiento similares a las obtenidas a través del método de la función de transferencia (TFM) y que están concretadas en el método CLTD/SCL/CLF.
- Se encontró que las tablas generadas con el método (RTS) se comportan de manera similar a las disponibles en el método CLTD/SCL/CLF.
- Para la ciudad de Bucaramanga el mes con la mayor carga es diciembre.
- Las tablas realizadas en el presente proyecto constituyen una herramienta útil y práctica para predecir cargas de enfriamiento, con conocimiento previo de los parámetros elegidos para su creación.
- El programa desarrollado en Matlab es una herramienta que puede ser utilizada para el ámbito académico, ya que permite parametrizar valores y ver cómo influyen en la carga de refrigeración.
- La variación en el perfil de carga de enfriamiento no es lineal con respecto a la latitud, por lo cual no es correcto realizar interpolación lineal con las tablas desarrolladas por ASHRAE para latitudes bajas.

- El cálculo de cargas térmicas es complejo, requiere muchos conocimientos previos y experiencia del diseñador para lograr un resultado aproximado a la realidad.

## 7. RECOMENDACIONES

- Los métodos manuales para cálculo de carga de enfriamiento son útiles y prácticos, pero sólo deben ser usados cuando las condiciones para las que fueron calculados son muy similares a las que se tienen en la realidad.
- Cuando no se tienen estaciones climatológicas es necesario hacer un análisis de las ganancias de calor en el año, ya que la temperatura exterior no presenta grandes variaciones y el flujo de calor es el parámetro a analizar.

## BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ NUEVO, Pablo Miguel. Climatización de una oficina: Cálculo mediante herramientas software. Trabajo de pregrado Universidad Carlos III de Madrid, Ciudad Madrid. Julio de 2014. [En línea]. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/44310837.pdf>

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASHRAE,2017. 18.22 p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2001 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: ASHRAE,2001. 29.37 p.

CASTELINO, Richard Lawrence. Implementation of the revised transfer function method and evaluation of the CLTD/SCL/CLF method. Stillwater, Oklahoma, 1992, 158 p. Trabajo de grado (Master of science). Universidad de Oklahoma. Facultad de posgrados.

HARRIS, Steven Merrill. A study to categorize walls and roofs on the basis of thermal response. Stillwater, Oklahoma, 1988, 146 p. Trabajo de grado (Doctor of Philosophy).Universidad de Oklahoma. Facultad de posgrados.

LINDSEY, Kirk. Revision of the CLTD/SCL/CLF Cooling load Calculation method. Stillwater, Oklahoma, 1991, 94 p. Trabajo de grado (Master of science).Universidad de Oklahoma. Facultad de posgrados.

MARTÍN DOMÍNGUE, Ignacio R. y ALARCÓN HERRERA, Ma. Teresa. XXVIII Semana nacional de energía solar. [En línea]-En:( 4-8, octubre 2004:Oaxaca,Mexico). Evolución de las metodologías para el cálculo de cargas térmicas en edificaciones desarrolladas por la ASHRAE. Oaxaca,2004. 6.

[Consultado: 26 de agosto de 2020]. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/304582076>.

MATHWORKS. Introducción a MATLAB. [En línea]. Disponible en <https://la.mathworks.com/help/matlab/getting-started-with-matlab.html>

MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Cooling and heating load calculation manual, 2 ed. New York: ASHRAE,1992. 8.4 p. ISBN 978-0-910110-85-3.

MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Solar cooling Load For Sunlit Glass-24° North Latitude, July. 2 ed. New York: ASHRAE,1992. p. 8.34.

MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Zona Types for Use with SCL and CLF Tables, Single-Story Building. Cooling and heating load calculation manual. 2 ed. New York: ASHRAE,1992. p. 8.30.

MCQUISTON, Faye C y SPITLER, Jeffrey D. Cooling Load Differences for Calculating Cooling load Sunlit Walls-24° North Latitude, July. Cooling and heating load calculation manual. 2 ed. New York: ASHRAE,1992. p. 8.19.

NIGUSSE, Bereket Asgedom. Improvements to the radiant time series method cooling load calculation procedure. Stillwater, Oklahoma, 2007, 297 p. Trabajo de grado (Doctor of Philosophy).Universidad de Oklahoma. Facultad de posgrados.

RAMÍREZ LEÓN, Hermes Javier. Determinación de las cargas térmicas para garantizar el confort en los locales del piso 1 del edificio de las aulas 2 en la UTB. Trabajo de pregrado Universidad Tecnológica de Bolívar, Ciudad, Cartagena de Indias. Noviembre de 2007. [En línea]. [Revisado noviembre de 2008]. Disponible en catálogo on-line de la biblioteca de la UTB, <http://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0043111.pdf>

SOWELL, E.F. Classification of 200,640 parametric zones for cooling load calculation. En: ASHRAE Transactions. No 94 (2), (1998); p. 754-777.

SPITLER, Jeffrey D. Load calculation applications manual. 2 ed. Atlanta: ASHRAE, 2014. 147 p. ISBN 978-1-936504-75-6.

SPITLER, Jeffrey D; Lindsey Kirk y McQuiston, F.C. The CLTD/SCL/CLF cooling load calculation method. En: ASHRAE Transactions. No 99 (1), (1993); p. 183-192

VALVERDE G. Austin y ÁLVAREZ GUERRA, Mario. Método de cálculo computarizado para la determinación de las cargas térmicas de refrigeración, aire acondicionado y selección de equipos. Scientia Et Technica, vol. XII, núm. 31, pp.127-13. agosto de 2006. [En línea]. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911639023>