

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### DIMENSIONAMIENTO DE DUCTOS DE VENTILACIÓN Y CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS EN EDIFICACIONES ESTÁNDAR MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO

ALEX SANTIAGO ALVAREZ GALLEGOS

[alex.alvarez01@epn.edu.ec](mailto:alex.alvarez01@epn.edu.ec)

EDISON FERNANDO ESTÉVEZ CUENCA

[edison.estevez@epn.edu.ec](mailto:edison.estevez@epn.edu.ec)

DIRECTOR: ING. HUGO FRANCISCO ZÚÑIGA PUEBLA

[hfrancisco36@hotmail.com](mailto:hfrancisco36@hotmail.com)

CO-DIRECTOR: ING. MIGUEL DARÍO ORTEGA LÓPEZ, MSc

[miguel.ortega@epn.edu.ec](mailto:miguel.ortega@epn.edu.ec)

Julio de 2016

## DECLARACIÓN

Nosotros, Alex Santiago Alvarez Gallegos y Edison Fernando Estévez Cuenca, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Alex Santiago Alvarez Gallegos

Edison Fernando Estévez Cuenca

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Alex Santiago Alvarez Gallegos y Edison Fernando Estévez Cuenca, bajo nuestra supervisión.

Ing. Hugo Francisco Zúñiga Puebla

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Miguel Darío Ortega López, MSc.

CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por cuidarme, guiarme y darme fortaleza para seguir adelante.  
A mi mami Carmita, amiga y gran heroína, por su amor y cariño que me inspira a comerme  
el mundo.

A mi papi Edison, amigo y gran héroe, ya que con su amor y enseñanzas de vida han  
formado de mí una persona de bien.

A mi hermana Andrea (Peckas), por las risas y anécdotas vividas y por vivir, por cuidarme  
y regañarme, por estar ahí en las buenas y en las malas.

A mis abuelitos, ejemplo de vida y perseverancia, por su amor, enseñanzas y  
consentimientos.

A mi tío Orlando y Mónica, por sus consejos, risas y momentos plenos vividos en familia.  
A mis tías, fuente de inspiración y amor, por sus buenos augurios y deseos.

A mis primas Daya, Jessy y Estefy, por su amor y cariño, por ser fuente de inspiración y  
admiración.

A mi moshi Mony, por cuidarme y brindarme todo su amor, por ser mi apoyo en los  
buenos y malos momentos.

A mi compañero y amigo Eddy, por el esfuerzo y ñeque invertidos en el desarrollo de este  
trabajo, por ser un amigo incondicional, por ser una persona en quien se puede confiar y  
más que todo por ser un amigo de acolite y figura de perseverancia.

Al Ing. Hugo Z, por sus enseñanzas y apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo.  
Al Ing Miguel O, por sus enseñanzas, guía y apoyo, pero sobre todo por ser una fuente de  
inspiración.

Al Ing Francisco Laso, por ayuda y guía en el desarrollo de este trabajo.  
A Ernesto, gran amigo, por su ayuda incondicional, por hacer de la programación algo tan  
sencillo y fundamental.

A todos mis amigos, por su gran amistad y apoyo, por las anécdotas vividas, por ser como  
son, por hacer que la vida estudiantil esté llena de risas y vivencias.  
En fin a toda mi familia, por brindarme su cariño, por enseñarme humildad perseverancia,  
gracias totales.

*Alex*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por siempre brindarme la ayuda idónea para salir victorioso de cualquier batalla, y no permitir que me rinda ni que logre huir de mis obligaciones mostrándome lo valioso de cada instante de vida y lo importante de tomar buenas decisiones.

A mi familia quienes siempre me han apoyado incondicionalmente y me han ayudado a mejorar cada día, en cualquier aspecto siempre tendré algo para seguir aprendiendo de todos ustedes: Bibita, Ernesto y Martha, Tito y Yessenia, Mery, Carlos y Lorena, Nicole, Daniel, Carlitos y Allison, a todos ustedes les debo lo que soy.

A Alex un muy buen amigo que jamás ha estado ausente y a quien debo la realización de este proyecto, sin su colaboración sería una pequeña sombra del trabajo que es ahora.

Al ingeniero Miguel Ortega que con su forma de ser, ha sabido siempre dar ánimos sin importar las dificultades más o suyas. Su integridad, paciencia y ejemplo lo han hecho una de las personas a quien más admiro.

Al ingeniero Hugo Zúñiga, autor ideológico de este proyecto, su interés en el desarrollo de este proyecto de titulación dio un impulso fortísimo al desarrollo y a su feliz término.

A los ingenieros Carlos Naranjo y Francisco Laso, por su desinteresada colaboración con el desarrollo de este proyecto, siempre estaré agradecido.

A mis amigos y compañeros dentro y fuera de la Poli, la vida fue más llevadera cuando de alguna forma entraron en mi vida, se les estima bastante y siempre he tratado de ser recíproco: Sylvi, Dieguito, Chino, Santy, Juanka, Natys, Javier, Juan, Taty, Vicky, Diego y Gaby, Chulla, Lenin, Omar, Pato, David, Geova, Huguito, Marcos, Jorges, Fercho y Ampa, Pablo, Julio, Oscar, Marilyn, Sergio, Chalo, Chuky, Conchas, Darwin, Andrés, Alejo y Mafer, Pedro y Lili, Sra. María Elena y a todos los demás quiero decirles gracias, no podría haber encontrado mejores amigos...!!!!

*Eddy*

## DEDICATORIA

A mis padres, mi gran orgullo, los amo demasiado y no existe manera de retribuir todo el sacrificio y esfuerzo dado a lo largo de estos años. Mis dos grandes héroes, por enseñarme a vivir de una manera correcta y feliz, por darme todo su amor y cariño, por confiar en mí y en todo lo que me he propuesto. A mi papi Edison, porque eres el ejemplo que me he planteado seguir, por todos tus regañones que hicieron de mí una persona más fuerte, por enseñarme que todo en la vida tiene solución y que un *NO PUEDO* no tiene cabida; a mi mami Carmita, mi gran amor, mi guía, mi maestra a lo largo de toda mi vida, gracias por todos tus consejos, tu cariño y amor, no tengo palabras para decirte cuanto te amo y lo mucho que significas para mí.

A mi ñaña Andrea, mi vida y mi compañera de travesuras, por todas las cosas maravillosas que vivimos junto a nuestros padres, por el amor y cariño demostrado, por los ricos pasteles de chocolate que compartimos juntos, por todo tu apoyo incondicional y sobre todo por ser una inspiración a lo largo de estos años.

*EMA*<sup>2</sup> los amo mucho.

A mi abuelito Edgar por sus consejos y consentimientos, por enseñarme que la vida hay que vivirla al máximo.

A mi abuelito de cabello blanco Manuel, por su cariño, amor y consejos, por ser una figura de lucha y perseverancia.

A mi abuelita Carmela, por demostrarme y enseñarme que el trabajo duro engrandece al hombre, por su gran amor de madre, por sus consejos y cariño.

A mi abuelita Graciela, por inculcar en mí carácter y responsabilidad, por brindarme todo su amor, por todos sus consejos y enseñanzas.

A todas mis tías, Sonia, Betty, Vilma, Gaby, Janeth, Rebeca, dignas de admiración, por ser ejemplo de lucha, por su amor y ternura.

A mi tía Blanqui, por ser mi segunda madre, por consentirme, por cuidarme y desearme siempre lo mejor.

*Alex*

## DEDICATORIA

Por su autenticidad, humildad, y la calidad humana que poseen les dedico este logro muy importante para mí, es nada comparado con lo que merecen pero siento que se los debo a ustedes, que la bendición de Dios acompañe siempre nuestras vidas.

A mi madre Martha Susana, no me alcanzaría la vida para pagarle todo lo que ha hecho por mí, los valores que me infundió con su ejemplo así como el amor a Dios jamás se apartarán de mí, el cariño y ternura que me brindó desde niño siempre brillará en mis ojos.

A mi padre Alipio Ernesto, por todo el apoyo, por estar siempre ahí y jamás abandonarme, tu forma de ser me ha inculcado el mantenerme firme y no desmayar hasta alcanzar mis metas.

A mi hermano Ernesto, cuando estoy contigo aún me siento un niño aprendiendo todo lo que pueda de tus sabias palabras, lo más valioso que me enseñaste es que uno puede lograr lo que quiera siendo fiel a tus objetivos.

A mi hermana Mery, eres como mi segunda madre, nunca permitiste que me falte nada y me enseñaste que debo ser constante hasta lograr mis sueños honestamente sin importar el camino de los demás.

A mi hermano Carlos, siempre seremos dos niños jugando, mis recuerdos más tiernos son contigo siempre admiraré tus habilidades físicas, paciencia (a largo plazo) y constancia.

A Sylvia, con quien hemos compartido tantas experiencias buenas y malas, por acompañarme todo este tiempo, soportar mi carácter, y sobre todo por hacerme creer en mí mismo.

A mis primos Manolo y Fabricio y a mi amigo Diego, son tres hermanos más para mí, jamás podría olvidar toda la diversión que tuvimos al crecer juntos así como todo lo que aprendimos en tanto tiempo compartido.

*Eddy*

## CONTENIDO

Declaración .....	i
Certificación.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Dedicatoria.....	v
Contenido .....	vii
Contenido de tablas .....	xi
Contenido de figuras .....	xiii
Contenido de anexos .....	xv
Nomenclatura .....	xvii
Resumen.....	xx
Abstract .....	xxi
Introducción .....	xxii
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1 FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Justificación .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.2.1 General .....	2
1.2.2 Específicos .....	2
1.3 Estado del arte .....	3
1.3.1 Antecedentes de investigación .....	3
1.3.1.1 Estudios centrados en el ámbito de ventilación mecánica.....	5
1.3.1.2 Estudios centrados en el ámbito de carga térmica.....	8
1.4 Definiciones .....	10
1.4.1 Acondicionamiento de aire.....	10
1.4.1.1 Carga térmica .....	11
1.4.1.2 Carga de enfriamiento .....	11
1.4.1.3 Carga de calentamiento .....	11
1.4.1.4 Calor.....	11
1.4.1.5 Condiciones de confort.....	12
1.4.2 Ventilación de aire .....	12
1.4.2.1 Ventilación natural de aire .....	12
1.4.2.2 Ventilación forzada de aire.....	13
1.4.2.3 Infiltraciones de aire.....	13
1.4.2.4 Ventilador.....	13
1.4.2.5 Ductos de aire.....	13

1.4.2.6	Renovación de aire .....	14
1.5	Cargas de enfriamiento.....	15
1.5.1	Principios.....	15
1.5.2	Condiciones de diseño.....	16
1.5.2.1	Consideraciones iniciales de diseño .....	17
1.5.3	Balance de calor .....	18
1.5.3.1	Generalidades del cálculo de ganancia de calor .....	19
1.5.4	Efectos de almacenamiento de calor y límite del análisis estático .....	20
1.5.5	Zonificación .....	21
1.6	Métodos de cálculo de cargas térmicas no residenciales.....	21
1.7	Dimensionamiento de ductos .....	23
1.7.1	Resistencia al flujo de aire.....	26
1.7.1.1	Pérdidas por fricción .....	26
1.7.1.2	Pérdidas dinámicas .....	27
1.7.1.3	Métodos de diseño de ductos .....	28
1.7.1.4	Procedimiento de diseño de sistemas de ductos de ventilación .....	29
1.7.2	Cálculo de dimensiones de ductos de aire.....	30
1.7.3	Pérdida de presión en el sistema de ductos de ventilación.....	31
1.8	Criterios de servicio .....	32
	<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>33</b>
<b>2</b>	<b>CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO DEL SOFTWARE .....</b>	<b>33</b>
2.1	Cálculo de Cargas de enfriamiento .....	33
2.1.1	Selección del método .....	33
2.1.2	Método CLTD CLF.....	36
2.1.2.1	Paredes y techos .....	38
2.1.2.2	Ventanas .....	39
2.1.2.3	Ocupantes, iluminación y equipos.....	41
2.1.2.4	Paredes internas, cielos rasos y pisos .....	43
2.1.2.5	Intercambio de aire.....	43
2.1.3	Argumentos generales.....	44
2.1.3.1	Ventanas .....	45
2.1.3.2	Techos .....	45
2.1.3.3	Paredes .....	45
2.1.3.4	Ocupantes.....	46
2.1.3.5	Equipos eléctricos e iluminación.....	46
2.1.3.6	Intercambio de aire.....	47
2.1.3.7	Cálculo de la orientación óptima.....	47

2.2	Diseño de sistemas de ventilación.....	47
2.2.1	Argumentos generales.....	47
2.2.1.1	Pérdidas de presión.....	48
2.2.1.2	Ductos rectangulares.....	49
2.2.1.3	Materiales y accesorios considerados.....	49
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>50</b>
<b>3</b>	<b>SOFTWARE.....</b>	<b>50</b>
3.1	Software de ventilación mecánica.....	50
3.1.1	Descripción general.....	50
3.1.2	Estructura.....	52
3.1.2.1	Pantalla de inicio.....	52
3.1.2.2	Pantalla de ingreso de parámetros de generales.....	53
3.1.2.3	Pantalla de cálculo y análisis de resultado.....	53
3.1.3	Diagrama de flujo.....	57
3.1.4	Manual del usuario.....	57
3.2	Software de cálculo de cargas térmicas de enfriamiento.....	58
3.2.1	Descripción general.....	58
3.2.2	Estructura.....	61
3.2.2.1	Pantalla de inicio.....	61
3.2.2.2	Pantalla de ingreso de parámetros generales.....	61
3.2.3	Diagrama de flujo.....	64
3.2.4	Manual del usuario.....	66
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>67</b>
<b>4</b>	<b>VALIDACIÓN DEL SOFTWARE.....</b>	<b>67</b>
4.1	Ventilación mecánica.....	67
4.1.1	Cálculo del diámetro equivalente.....	69
4.1.2	Cálculo del factor de fricción mediante la ecuación de Colebrook-White.....	69
4.1.3	Diseño de sistemas de ventilación de aire.....	72
4.1.4	Análisis de resultados.....	76
4.1.4.1	Diámetro equivalente.....	76
4.1.4.2	Factor de fricción.....	76
4.1.4.3	Caída de presión en sistemas de ventilación.....	76
4.2	Cargas térmicas.....	80
4.2.1	Ganancias de calor por radiación solar a través de ventanas.....	81
4.2.2	Ganancia de calor por conducción a través de techos, paredes y vidrio.....	81
4.2.3	Ganancia de calor debido al alumbrado.....	83
4.2.4	Ganancia de calor debido a ocupantes.....	84

4.2.5	Ganancia de calor debido al intercambio de aire.....	84
4.2.6	Cálculo de la orientación óptima.....	85
4.2.7	Análisis de resultados.....	88
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>90</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
5.1	Conclusiones .....	90
5.1.1	Ventilación mecánica .....	90
5.1.2	Cálculo de cargas térmicas.....	91
5.2	Recomendaciones.....	93
5.2.1	Generales.....	93
5.2.2	Ventilación mecánica .....	93
5.2.3	Cálculo de cargas térmicas.....	94
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>95</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>97</b>
ANEXO A.....		I
Tablas de coeficientes y factores necesarios para el cálculo de cargas térmicas de enfriamiento mediante el método ASHRAE CLTD/CLF.....		I
ANEXO B.....		XI
Coeficientes de fricción para el cálculo de pérdidas dinámicas de presión en accesorios de sistemas de ventilación.....		XI
ANEXO C.....		XVII
Manual del usuario.....		XVII
Software de ventilación mecánica.....		XVII
ANEXO D.....		XXIX
Manual del usuario.....		XXIX
Software de cálculo de cargas térmicas de enfriamiento.....		XXIX

## CONTENIDO DE TABLAS

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1 FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>1</b>
Tabla 1.1: Valores de temperatura y humedad relativa de confort general.....	12
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>33</b>
<b>2 CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO DEL SOFTWARE</b> .....	<b>33</b>
Tabla 2.1: Peso específico de los criterios de selección.....	34
Tabla 2.2: Peso específico de las soluciones según el criterio “Validez”.....	35
Tabla 2.3: Peso específico de las soluciones según el criterio “Versatilidad”.....	35
Tabla 2.4: Peso específico de las soluciones según el criterio “Complejidad”.....	36
Tabla 2.5: Conclusiones de la selección.....	36
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>50</b>
<b>3 SOFTWARE</b> .....	<b>50</b>
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>67</b>
<b>4 VALIDACIÓN DEL SOFTWARE</b> .....	<b>67</b>
Tabla 4.1: Zonificación y caudal zonal requerido.....	68
Tabla 4.2: Diámetro equivalente de dimensiones rectangulares SMACNA.....	69
Tabla 4.3: Diámetro equivalente de dimensiones rectangulares.....	69
Tabla 4.4: Comparación del factor de fricción $f$ .....	71
Tabla 4.5: Resultados de la ecuación de Colebrook-White para los $f$ encontrados.....	71
Tabla 4.6: Dimensionamiento de ductos.....	73
Tabla 4.7: Análisis de ruta crítica de suministro de aire en la planta baja.....	74
Tabla 4.8: Análisis de ruta crítica de suministro de aire en la planta alta.....	75
Tabla 4.9: Análisis de ruta crítica de extracción de aire en la planta alta.....	75
Tabla 4.10: Datos del análisis de las pérdidas dinámicas.....	79
Tabla 4.11: Porcentaje de diferencia entre velocidad y pérdida dinámica.....	80
Tabla 4.12: Ganancia de calor sensible por radiación.....	81
Tabla 4.13: Ganancia de calor sensible por conducción a través de techos.....	82
Tabla 4.14: Ganancia de calor sensible por conducción a través de paredes.....	82
Tabla 4.15: Ganancia de calor sensible por conducción a través de vidrio.....	83
Tabla 4.16: Ganancia de calor sensible debido a iluminación.....	83
Tabla 4.17: Ganancia de calor sensible y latente debido a ocupantes.....	84
Tabla 4.18: Ganancia de calor sensible y latente debido a infiltraciones y ventilación.....	84
Tabla 4.19: Ganancia de calor en kW para cada hora de un día del mes de Julio.....	85
Tabla 4.20: Ganancia de calor en kW para cada hora de un día del mes de Julio (software).....	87
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>90</b>

<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>97</b>

## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1 FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>1</b>
Figura 1.1: Términos principales para el balance estático de energía.....	19
Figura 1.2: Selección del área del louver.....	25
Figura 1.3: Ilustración de la ruta crítica.....	31
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>33</b>
<b>2 CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO DEL SOFTWARE</b> .....	<b>33</b>
Figura 2.1: Ejemplo de selección de tipo de pared.....	46
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>50</b>
<b>3 SOFTWARE</b> .....	<b>50</b>
<b>VENTILACIÓN MECÁNICA</b> .....	<b>51</b>
Figura 3.1: Esquema de interacción del software.....	51
Figura 3.2: Esquema de compilación y ejecución del software.....	51
Figura 3.3: Pantalla de inicio.....	52
Figura 3.4: Pantalla de ingreso de datos generales.....	53
Figura 3.5: Distribución general de pantalla de cálculo y análisis de resultado.....	53
Figura 3.6: Pantalla de cálculo de ductos de ventilación.....	54
Figura 3.7: Opciones de ductos de ventilación desplegados en la sección A.....	55
Figura 3.8: Pantalla de ductos seleccionados, distribución general del software.....	55
Figura 3.9: Descripción de secciones involucradas en la pantalla de ductos seleccionados.....	55
Figura 3.10: Pantalla de accesorios para suministro de aire.....	56
Figura 3.11: Pantalla de accesorios para extracción de aire.....	56
Figura 3.12: Pantalla de análisis de caída de presión en el sistema de ventilación.....	57
Figura 3.13: Diagrama de flujo del software de ventilación mecánica.....	58
<b>CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS DE ENFRIAMIENTO</b> .....	<b>59</b>
Figura 3.14: Esquema de interacción del software.....	59
Figura 3.15: Esquema general de cálculo de carga de enfriamiento.....	60
Figura 3.16: Pantalla de inicio.....	61
Figura 3.17: Pantalla de ingreso de parámetros generales.....	61
Figura 3.18: Barra de menú.....	62
Figura 3.19: Pantalla de resultados.....	62
Figura 3.20: Pantalla de gráficos de resultados.....	62
Figura 3.21: Opciones de edición y descarte.....	63
Figura 3.22: Pantalla de resultados de orientación óptima.....	63
Figura 3.23: Pantalla de gráficos de resultados de orientación óptima.....	64

Figura 3.24: Diagrama de flujo del software de cargas de enfriamiento.....	65
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>67</b>
<b>4 VALIDACIÓN DEL SOFTWARE.....</b>	<b>67</b>
Figura 4.1: Zonificación de la planta baja.....	67
Figura 4.2: Zonificación de la planta alta.....	68
Figura 4.3: Diagrama de Moody.....	70
Figura 4.4: Obtención del factor de fricción mediante la ecuación de Colebrook-White.....	70
Figura 4.5: Diagrama unifilar planta baja.....	72
Figura 4.6: Diagrama unifilar planta alta.....	72
Figura 4.7: Selección del diámetro de ducto y velocidad en la gráfica de fricción.....	77
Figura 4.8: Comparación de la selección del diámetro de ducto y velocidad.....	78
Figura 4.9: Ganancia máxima horaria para cada orientación.....	86
Figura 4.10: Ganancia máxima diaria para cada orientación.....	86
Figura 4.11: Ganancia máxima horaria en las orientaciones de análisis y óptima.....	87
Figura 4.12: Ganancia máxima horaria en las orientaciones de análisis y óptima (software).....	88
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>90</b>
<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>97</b>

## CONTENIDO DE ANEXOS

<b>ANEXO A</b> .....	<b>I</b>
<b>Anexo A-1:</b> Estructura de materiales disponibles.....	II
• Paredes externas.....	II
• Techos.....	II
• Ventanas.....	III
• Puertas, paredes internas o tabiques.....	III
<b>Anexo A-2:</b> CLTD para el cálculo de cargas de enfriamiento en elementos externas.....	III
• Paredes tipo “B” en un periodo comprendido entre 07:00 y 18:00.....	III
• Paredes tipo “C” en un periodo comprendido entre 07:00 y 18:00.....	IV
• Paredes tipo “D” en un periodo comprendido entre 07:00 y 18:00.....	IV
• Paredes tipo “E” en un periodo comprendido entre 07:00 y 18:00.....	V
• Paredes tipo “F” en un periodo comprendido entre 07:00 y 18:00.....	V
• Techos en un periodo comprendido entre 07:00 y 18:00.....	VI
<b>Anexo A-3:</b> CLTD corregido.....	VI
• LM para latitudes Sur a 0°.....	VI
• LM para latitudes Sur a 8°.....	VII
<b>Anexo A-4:</b> CLTD para superficies transparentes externas en conducción.....	VII
<b>Anexo A-5:</b> SHGF para superficies transparentes externas en radiación.....	VII
• SHGF para latitudes Sur a 0°.....	VII
• SHGF para latitudes Sur a 4°.....	VIII
• SHGF para latitudes Sur a 8°.....	VIII
<b>Anexo A-6:</b> SC para superficies transparentes externas en radiación.....	IX
<b>Anexo A-7:</b> CLF para superficies transparentes externas en radiación.....	IX
• CLF para superficies cristalinas con sombra interior.....	IX
• CLF para superficies cristalinas sin sombra interior.....	X
<b>Anexo A-8:</b> Factor para fluorescentes.....	X
<b>Anexo B-1:</b> Coeficiente de pérdida de presión en accesorios <i>c</i> en codos.....	XII
• Codo de 90°.....	XII
○ Factor de corrección para el <i>c</i> en codos de 90°.....	XII
<b>Anexo B-2:</b> Coeficiente de pérdida de presión en accesorios <i>c</i> en transiciones.....	XIII
• Transición (ampliación).....	XIII
• Contracción.....	XIII
<b>Anexo B-3:</b> Coeficiente de pérdida de presión en accesorios <i>c</i> en derivaciones.....	XIV
• Y de suministro.....	XIV

- Y de extracción.....XV
- T de extracción..... XVI

**ANEXO C.....XVII**

Manual del usuario: software de ventilación mecánica.....XVII

**ANEXO D.....XXX**

Manual del usuario: software de cálculo de cargas térmicas de enfriamiento.....XXX

## NOMENCLATURA

$A$	Área [ $ft^2$ ]
$a$	Ancho de ducto rectangular [ $in$ ]
$b$	Alto de ducto rectangular [ $in$ ]
$c$	Coefficiente de pérdida de presión en accesorios
$CLF$	Factor de carga de enfriamiento
$CLTD$	Diferencia de temperaturas para carga de enfriamiento [ $^{\circ}F$ ]
$c_p$	Calor específico $\left[ \frac{Btu}{lb_m \cdot ^{\circ}F} \right]$
$d$	Diámetro necesario [ $in$ ]
$D$	Diámetro [ $in$ ]
$D_{eq}$	Diámetro equivalente [ $in$ ]
$f_{AD}$	Factor debido a la existencia de ático o ductos
$F_S$	Factor para fluorescentes
$F_U$	Factor de uso
$f$	Factor de fricción
$h_{fg}$	Calor latente de vaporización $\left[ \frac{Btu}{lb_m} \right]$
$K$	Factor de ajuste debido al color
$L$	Longitud de ducto [ $ft$ ]
$LM$	Corrección para latitud y mes
$n$	Cambios por hora (renovaciones de aire)
$P_{acc}$	Pérdida total de presión por accesorio [ $in. wg$ ]
$P$	Potencia nominal o potencia nominal de placa [ $kW$ ]
$\dot{Q}$	Razón de ganancia o producción de calor [ $kW$ ]
$\dot{Q}_S$	Carga térmica de enfriamiento debido a ganancias sensibles [ $kW$ ]

$\dot{Q}_L$	Carga térmica de enfriamiento debido a ganancias latentes [ $kW$ ]
$Q_{cfm}$	Caudal de aire [ $cfm$ ]
$Re$	Número de Reynolds
$RD_T$	Rango diario de temperaturas [ $^{\circ}F$ ]
$SC$	Coeficiente de sombra
$SHGF$	Factor de ganancia de calor debido a radiación solar $\left[\frac{Btu}{h*ft^2}\right]$
$T_i$	Temperatura interna de diseño [ $^{\circ}F$ ]
$T_o$	Temperatura externa de diseño [ $^{\circ}F$ ]
$U$	Coeficiente de transferencia de calor por conducción $\left[\frac{Btu}{h*ft^2*^{\circ}F}\right]$
$V$	Velocidad del aire [ $fpm$ ]
$v$	Volúmen de un espacio [ $ft^3$ ]
$V_p$	Presión dinámica [ $in. wg$ ]
$()_h$	Ítem horario
$()_{corr}$	Ítem corregido
$()_P$	Ítem debido a personas
$()_{II}$	Ítem debido a iluminación
$()_A$	Ítem debido a accesorios eléctricos
$()_R$	Ítem debido a radiación
$()_k$	Ítem debido a conducción
$()_{kT}$	Ítem debido a conducción en elementos externos
$()_{kTi}$	Ítem debido a conducción en elementos internos
$\Delta P_d$	Caída de presión dinámica [ $in. wg$ ]
$\Delta P_f$	Caída de presión por fricción [ $in. wg$ ]
$\Delta P/L$	Caída de presión por ítem: tramo de ducto o accesorio [ $in. wg$ ]

$\Delta T_d$	Diferencia de temperaturas de diseño [ $^{\circ}F$ ]
$\Delta \omega$	Variación de humedad absoluta $\left[\frac{lb_{vap}}{lb_{aire}}\right]$
$\varepsilon$	Factor de rugosidad absoluta del material [ $ft, in$ ]
$\rho$	Densidad del aire $\left[\frac{lb_m}{ft^3}\right]$
#	Número, cantidad
# <i>personas</i>	Número de ocupantes de un espacio
# <i>cfm</i>	Ventilación de aire requerida por ocupante [ <i>cfm</i> ]
[ <i>in. wg</i> ]	Pulgadas de columna de agua

## RESUMEN

En el presente proyecto se han elaborado y desarrollado dos programas, uno en el ámbito de ventilación mecánica y otro en aire acondicionado, mediante el uso del paquete de programación Visual Studio 2010.

El software de ventilación mecánica, desarrollado como una biblioteca adjunta de AutoCAD 2012, permite al usuario dimensionar ductos de sección rectangular y circular, mediante el ingreso de parámetros correspondientes al material, caudal, caída de presión, longitud, densidad de aire del sitio de interés, entre otros.

Por otra parte, el software de aire acondicionado centrado en el cálculo de cargas térmicas de enfriamiento, ofrece al usuario el ingreso de datos para el cálculo de carga de enfriamiento de acuerdo a la procedencia (ventanas, muros, techos, superficies internas, ocupantes, intercambio de aire, luminarias o aparatos eléctricos), permite visualizar hora a hora la carga de enfriamiento total, ya sea como un conjunto de zonas o plantas.

Además el software de cargas térmicas de enfriamiento, permite al usuario cambiar las condiciones geográficas y de diseño para realizar un recálculo de las cargas ya ingresadas; presenta una opción de cálculo de orientación óptima para conocer la ubicación que demande menos carga de enfriamiento con el fin de sugerir la orientación propicia del edificio y así reducir el costo de equipos de acondicionamiento de aire.

Cada software desarrollado en este proyecto se rige a las metodologías creadas por ASHRAE y SMACNA, presenta su respectiva validación, descripción y manual de usuario (Anexo C y Anexo D) con el fin de facilitar el uso y comprensión de los mismos.

## **ABSTRACT**

In this project two programs are prepared and developed, one on the field of mechanical ventilation and the other in air conditioning. Both uses the programming package Visual Studio 2010.

The software for mechanical ventilation is developed as an attached library of AutoCAD 2012, which allows the user to design rectangular and round section ducts by entering parameters for material, flow, pressure drop, length, air density of interest, etc.

On the other hand, the cooling loads software allows the user to provide data according to the source (windows, walls, ceilings, internal surfaces, occupants, air exchange, lights or electrical appliances), it can display the total cooling load as a set of areas or plants in one-hour steps.

Moreover, the cooling loads software allows the user to change the geographical and design conditions for a complete recalculation of loads. It has an option to show the optimum orientation of the building which also reduce the cooling load and as a consequence the cost of air conditioning equipment.

Each software developed in this project follow ASHRAE and SMACNA's methods with its respective validation, description and user manual to facilitate the use and understanding.

## INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de su existencia, el hombre se ha visto en la necesidad de tornar su vivienda acogedora, invirtiendo tiempo para mejorarla. Con la tecnología las necesidades de comodidad han podido cambiar las condiciones de la vivienda de básicas o necesarias a cómodas y confortables; en la antigüedad, enfriar un ambiente se limitaba a bloquear la incidencia de los rayos del sol, actualmente se puede implementar un equipo de aire acondicionado que mantenga condiciones climáticas internas favorables o de confort, pero esto sólo fue posible hasta el siglo anterior en que se desarrolló la refrigeración mecánica.

Cualquier servicio siempre va de la mano del costo de su puesta en marcha, no se debe dejar de lado la noción del gasto energético y por lo tanto económico que conlleva la climatización de ambientes. El desempeño de un sistema de climatización siempre debe lograr ser lo más eficiente al menor costo posible, para ello la selección de la capacidad del equipo de aire acondicionado debe realizarse de acuerdo a la cantidad de carga que se tenga en un ambiente, mediante el uso de métodos de cálculo de cargas térmicas o programas computacionales.

Cada software de uso comercial ha sido desarrollado en función de la necesidad del sitio de estudio, motivo por el cual el uso de dichos programas para otra localidad no presenta resultados confiables. El software de cálculo de cargas térmicas de enfriamiento desarrollado en el siguiente proyecto tiene como objetivo principal ser útil en todo el Ecuador, realizando un cálculo eficiente en ambientes de oficina que funcionan en horas laborables o edificaciones estándar.

Además, se ha desarrollado un software que facilite la implementación de sistemas de ventilación mecánica, ya sea dimensionando ductos rectangulares o calculando las pérdidas de presión que ocurren por el movimiento de un caudal de aire en todo un sistema para cualquier ubicación geográfica y distintos materiales.

# CAPÍTULO I.

## FUNDAMENTO TEÓRICO

Este capítulo menciona ciertos antecedentes que han impulsado el avance de la tecnología para la implementación del confort, tanto en el ámbito de ventilación mecánica como en el de cálculo de cargas térmicas, citando trabajos previos y presentando una breve descripción de los mismos. Además contiene la justificación y los objetivos tomados del plan de titulación aprobado para este trabajo, como una muestra de los fines que se pretende alcanzar antes de su desarrollo.

Contiene definiciones de términos necesarios para una adecuada comprensión, generalidades y métodos involucrados en el cálculo de cargas térmicas y ventilación mecánica. Para el caso de ventilación mecánica se presenta una descripción general, consideraciones y relaciones matemáticas tomadas en cuenta para el dimensionamiento de ductos de ventilación.

Finalmente se describen los criterios de servicio que normalmente se toman en cuenta para la implementación de sistemas de climatización y ventilación mecánica.

### 1.1 JUSTIFICACIÓN <sup>1</sup>

En la actualidad no existe un software<sup>2</sup> que permita optimizar el tiempo invertido en el cálculo de dimensiones para ductos de ventilación, además los programas ya desarrollados para el cálculo de cargas térmicas de edificaciones únicamente basan sus cálculos en una presión estándar (1 atmósfera) y un solo tipo de material, que no beneficia a lugares<sup>3</sup> que presentan una presión atmosférica y materiales de construcción diferentes dando lugar al sobredimensionamiento de la carga térmica y por ende a una elección errónea de los equipos de aire acondicionado ocasionando un desperdicio energético.

---

<sup>1</sup> Los apartados 1.2 y 1.3, han sido tomados del plan de tesis aprobado.

<sup>2</sup> Los existentes no son económicamente convenientes.

<sup>3</sup> Los programas comerciales existentes de cálculo de cargas térmicas poseen ciertas ubicaciones cargadas en su sistema sin considerar otras localidades.

El software a desarrollarse ofrecerá de forma eficiente las dimensiones de ducto de un determinado caudal de aire y el valor de las cargas térmicas a las que está sometida la edificación según la temperatura del medio, propiedades de los materiales de construcción utilizados comúnmente y factores de radiación solar respecto a la orientación.

El software garantizará una interfaz amigable con el usuario minimizando el tiempo empleado en el diseño de sistemas de ductos de ventilación, además para el cálculo de cargas térmicas tomará cualquier presión atmosférica en función de la altura geográfica adaptándose a cualquier lugar. Finalmente, permitirá al usuario conocer la carga térmica total de la edificación en diferentes orientaciones, siendo capaz de sugerir cambios de diseño para la optimización energética del edificio.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 GENERAL**

Dimensionar ductos de ventilación y calcular cargas térmicas en edificaciones estandar mediante el desarrollo de un software.

### **1.2.2 ESPECÍFICOS**

- Desarrollar el software para el dimensionamiento de ductos de ventilación y cálculo de cargas térmicas.
- Calcular eficientemente las dimensiones de ductos de ventilación y cargas térmicas.
- Determinar la carga térmica al considerar variaciones en los parámetros como materiales de construcción, influencia de radiación solar según la orientación del edificio.
- Recomendar modificaciones en el diseño tomando como base los resultados obtenidos con el software con el fin de minimizar la carga térmica y ahorrar energía.

## **1.3 ESTADO DEL ARTE**

### **1.3.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN**

A medida que el hombre fue desarrollando su capacidad intelectual y su forma de ver el mundo, ha sido capaz de crear un sin número de cosas que beneficien su estadía. Cuando el hombre trajo el fuego a su hogar, descubrió la necesidad de tener una grieta en el techo que permita que el humo generado salga y a su vez se suministre aire, con el objetivo de mantener una temperatura confortable, una buena combustión e ingreso de aire fresco.

Con el pasar de los años la ventilación y el confort térmico fueron de vital importancia, por ejemplo los egipcios se vieron en la necesidad de implementar un sistema de ventilación de polvos que garantice la salud de sus escultores, mientras que los romanos realizaron un sistema de suelo radiante que proveía un ambiente de confort a sus ocupantes.

En la Edad Media, la gente comenzó a darse cuenta que un edificio sin una buena ventilación no proporcionaba un aire de buena calidad, transmitiendo enfermedades entre sus ocupantes. El rey Carlos I de Inglaterra en 1600 decretó que ningún edificio debe ser construido con una altura de menos de 3 [m] y que las ventanas debían tener su alto mayor a su ancho con el objetivo de mejorar la eliminación de humos.

Con el estudio y avance tecnológico en el ámbito de la refrigeración industrial y ventilación mecánica, han surgido nuevos retos en cuanto a mantener un ambiente lo más confortable y ventilado posible. Un correcto diseño de un sistema de climatización y ventilación mecánica, garantizará que la implementación y montaje de las unidades se realice de manera correcta, tomando en consideración la ubicación, clima y otros factores que afecten de manera directa la comodidad y calidad de aire de los ocupantes.

Ecuador al ser un país ubicado en el centro del planeta y estar atravesado por una zona montañosa, presenta una gran cantidad de climas y un gran reto en cuanto al diseño e implementación de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés).

Cada uno de los climas presentes en Ecuador, van de acuerdo a la latitud de cada sector y a la temporada que se presente, por este motivo el diseño de un sistema HVAC es diferente a lo largo de todo el país. Desde el punto de vista del índice hídrico, Ecuador presenta tres tipos de climas que son: húmedos, subhúmedos y secos, diferenciados por su régimen térmico.

En la región litoral independientemente del estado de humedad, se tiene climas cálidos y semicálidos, mientras que en la región interandina éstos varían de templados a fríos y en ocasiones semicálidos. Finalmente, la región oriental e insular presentan un régimen hídrico húmedo predominante.

La implementación de un sistema HVAC toma en consideración la situación más crítica del año, analizando de manera detenida todos los parámetros involucrados. En la región litoral, el análisis toma en consideración el tipo de clima presente y la temporada, así como el porcentaje de humedad y el material de cada uno de los lugares en los cuales se desea un sistema de climatización.

En cambio en la región interandina un sistema de enfriamiento, resulta de vital importancia si el ambiente está sujeto a cargas de radiación, conducción, aglomeración de ocupantes o está orientado hacia este u oeste. La adición de un sistema de calefacción, ocurre si en el edificio se realizan actividades en la noche cuya temperatura oscila entre los 7°C o por ubicación el clima sea templado o frío.

Finalmente, el análisis de un sistema HVAC en la región amazónica e insular se centra en la humedad existente, al ser un contenido cercano al 100%, el diseño debe tomar como principal desafío la reducción de dicha humedad y temperatura para tornar un ambiente cómodo.

En lugares en donde no es necesario equipos de climatización pero presentan un clima muy húmedo, es necesario la implementación de un sistema de ventilación, con el fin de evitar malos olores y aire viciado.

Cada uno de los lugares en los cuales se necesite un cálculo de HVAC, debe tomar en cuenta las cargas involucradas en el ambiente, así como el tipo de material, clima y temporada. Ecuador al tener escasos registros de propiedades de materiales, el cálculo debe realizarse de forma sigilosa si se toma bibliografías desarrolladas por entidades internacionales, en ciertos casos la carga hallada será

mayor o menor a la requerida por el lugar, dependiendo de cómo se encuentre estructurado el espacio de interés y las características de los materiales que lo constituyen.

De acuerdo a la pequeña sinopsis explicada, se estructura el estado del arte en dos apartados, uno dedicado a la ventilación mecánica y otro referente a la carga térmica.

#### **1.3.1.1 Estudios centrados en el ámbito de ventilación mecánica**

El ámbito que involucra una buena calidad de aire, está ligado intrínsecamente al proceso de ventilación mecánica, ya sea en el entorno de salud o a nivel industrial.

Actualmente, se han desarrollado varios proyectos tomando en consideración los procedimientos y recomendaciones establecidas por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés) y la Asociación Nacional de Contratistas de aire acondicionado y láminas metálicas (SMACNA, por sus siglas en inglés).

ASHRAE a lo largo de los años ha ido desarrollando y publicando los avances obtenidos en su revista conocida como ASHRAE JOURNAL, esta revista proporciona información detallada en cuanto a estudios y métodos de cálculo útiles para el diseñador involucrado en el ámbito de climatización y ventilación mecánica.

Los procedimientos creados en cuanto a ventilación mecánica, han sido de gran ayuda para el desarrollo de proyectos y estudios, entre los más importantes se tiene: Ventilación de bodega de almacenamiento de producto terminado en una fábrica de balanceado, diseño de sistemas de ventilación industrial para los ambientes de trabajo de una empresa dedicada a la elaboración y comercialización de productos cosméticos, implementación de un sistema de extracción de humos de soldadura por arco eléctrico y predicción del rendimiento de ventilación para edificios, una visión general del método y aplicaciones recientes.

Para el proyecto desarrollado en la ciudad de Guayaquil de ventilación de bodega de almacenamiento de producto terminado en una fábrica de balanceado, se establece el diseño de un sistema de ventilación mecánica con el fin de dar solución al problema del calor generado en el interior y de esta manera proporcionar un aire de buena calidad a sus ocupantes (Sanga Chavarría, 2012).

Por otra parte, el diseño de sistemas de ventilación industrial para los ambientes de trabajo de una empresa ubicada en la ciudad de Guayaquil dedicada a la elaboración y comercialización de productos cosméticos, tiene como fin garantizar la salud del personal implementando un sistema de ventilación mecánica, ya que el uso de sustancias como la acetona y ciertos polvos cosméticos podrían afectar de manera directa a los trabajadores (Pérez Gil, 2012).

En la ciudad de Quito en el laboratorio de soldadura de la Escuela Politécnica Nacional, se realizó la implementación de un sistema de extracción de humos de soldadura por arco eléctrico. Este procedimiento ayuda a que al humo provocado por el proceso de soldadura sea extraído de manera correcta de la mesa de trabajo, con el fin de cuidar la salud del operario (Haro Gualotuña & Ñacato de la Cruz, 2006).

En el ámbito de investigación, en China en la universidad de Tianjin, se realizó un análisis acerca del rendimiento de ventilación para edificios. Este estudio presenta una visión general de las herramientas que se utilizan para pronosticar la utilidad de ventilación mecánica en edificios, mediante el uso de métodos como: modelos analíticos, modelos empíricos, modelos experimentales en pequeña escala, modelos experimentales en escala completa, modelos de múltiples zonas, modelos zonales y modelos de dinámica de fluidos computacionales (CFD, por sus siglas en inglés) (Chen, 2008).

Además, el proceso de cálculo puede ser automatizado mediante un software, que ayude a minimizar el tiempo de ejecución de proyectos, entre los más conocidos se tiene: Sistema de transcripción asistido por computadora (CATS, por sus siglas en inglés), programa de cálculo de estructuras desarrollado por CYPE ingenieros S.A (CYPECAD) y el software androide Soler y Palau / Greenheck.

CATS es un programa con parámetros de cálculo direccionados a condiciones de aire estándar y medidas de ductos de sección rectangular con decimales, este programa permite al usuario el dimensionamiento de ductos, visualización de esquemas en 3D, cálculo de peso del sistema analizado y además posee un asistente de cálculo de secciones transversales, velocidades, caudales, diámetros equivalentes, entre otros.

CATS no permite el ingreso de propiedades de un nuevo material, cálculo a otras condiciones atmosféricas, ni la visualización de alternativas de ductos al usuario. Su valor comercial es alrededor de \$500 a \$600, de acuerdo a la versión requerida.

Por otra parte, CYPECAD posee un módulo que ayuda al dimensionamiento de ductos, uniones, cálculo de ventilación de aire requerido, cálculo de caída de presión, presentación de diseño, peso del sistema, selección de ventilador, entre otros. Este programa, no considera el ingreso de otro material ni la libre elección en cuanto a ingreso de accesorios, el costo de adquisición es alrededor de \$2000 con todos los módulos de cálculo.

Finalmente, el software gratuito androide Soler y Palau / Greenheck, permite al usuario la selección del tipo de material, cálculo de la caída de presión en el sistema y dimensionamiento de ducto rectangular. Este programa no proporciona al usuario la facilidad de ingresar un tipo de material diferente ni conocer sus alternativas de cálculo.

Como resultado del análisis realizado en esta sección, se tiene que un correcto diseño y montaje de un sistema de ventilación mecánica representa una necesidad en el ámbito industrial, ayudando en la mayor parte a los ocupantes de ambientes en donde la calidad de aire representa un peligro a su salud, mediante la renovación o extracción del mismo.

Por otro lado, los programas comerciales en ciertos casos no permiten que el usuario ingrese sus condiciones de cálculo, ni mucho menos le dan alternativas a escoger, simplemente se plantea un valor que se acoge a las necesidades que desea. Los resultados presentados en su gran mayoría, son producto de un análisis a condiciones de aire estándar, materiales que se asemejan al requerido, accesorios no deseados o simplemente la incertidumbre del cálculo, generando en varias ocasiones un sobredimensionamiento o una elección errónea de equipos.

Por esta razón, el software a ser desarrollado debe acogerse a las necesidades del diseñador, permitiendo la personalización de propiedades del material, el ingreso de la densidad de aire de interés y la libre elección de accesorios utilizados comúnmente en instalaciones. Además, el software debe garantizar que las medidas de ductos rectangulares y mangueras flexibles sean estándar y de uso comercial.

De este modo, el software proporcionará un diseño del sistema de ventilación mecánica con resultados más confiables acordes a los parámetros de ingreso del usuario. Al mismo tiempo permitirá guardar, abrir y exportar los datos tabulados a lo largo del análisis.

#### **1.3.1.2 Estudios centrados en el ámbito de carga térmica**

El confort térmico está atado a un adecuado cálculo de carga térmica, tomando en consideración ciertos parámetros que intervienen, además del método de cálculo a utilizar.

ASHRAE establece ciertos métodos de cálculo con sus respectivas consideraciones (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997, pág. 28.1) y (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, págs. 312,343), mientras que otras bibliografías como es el caso de CARRIER, utiliza un método de cálculo manual similar al de ASHRAE (CARRIER, 1980).

Actualmente, se han desarrollado proyectos que en su gran mayoría se basan en ASHRAE o CARRIER, entre los más importantes de acuerdo a su forma de desarrollo se tiene: Diseño de sistema de aire acondicionado para un bus tipo de turismo, diseño de un sistema de ventilación y aire acondicionado para el quirófano y sala de terapia intensiva de la clínica Colonial y diseño de sistemas de climatización en salones de obra de arte.

Para proyectos desarrollados en la ciudad de Quito, se tiene el diseño de sistema de aire acondicionado para un bus tipo de turismo y el diseño de un sistema de ventilación y aire acondicionado para el quirófano y sala de terapia intensiva de la clínica Colonial. El primer proyecto describe y analiza todos los factores involucrados en el cálculo de la carga térmica para un bus, se centra de forma puntual en el intercambio de aire debido a la existencia de ventilación natural, mediante un adecuado dimensionamiento de ductos y distribución de aire, para así mantener confort térmico.

De la misma manera, el segundo proyecto basado en ASHRAE, propone un diseño eficiente que garantice un aire de excelente calidad y un ambiente esterilizado libre de microorganismo, adecuado para procesos de cirugía (Ayala Guerrero & Montenegro Guerrero, 2010), (Caicedo Flores & Vega Martinez, 2011).

Por otra parte, el diseño de sistemas de climatización en salones de obra de arte planteado en la ciudad de Guayaquil, describe el proceso de cálculo y toma de parámetros de humedad y temperatura para mantener en condiciones adecuadas el ambiente, realizando un análisis por zona y seleccionando de forma correcta cada uno de los equipos (Gamarra Yépez, 2005).

No obstante, se han desarrollado programas que faciliten el cálculo de la térmica, entre los más conocidos se tiene: CYPECAD, selección de equipos y cálculo de carga térmica CARRIER y el diseño de sistemas de carga CARRIER (System design load CARRIER).

CYPECAD ha dedicado un módulo de aire acondicionado, que permite el ingreso de cargas debido a paredes, techos, puertas y cristales. Además, el usuario puede ingresar un estimado de actividad de ocupantes y fuentes de iluminación existentes.

El cálculo de la carga térmica en CYPECAD, puede realizarse por enfriamiento o calefacción, arrojando resultados por zona. Este programa no considera de forma correcta la ubicación del proyecto sino que únicamente se puede seleccionar ubicaciones cargadas en el sistema, su costo de adquisición es alrededor de \$2000 con todos los módulos de cálculo.

Por otro lado, el software de selección de equipos y cálculo de carga térmica CARRIER, proporciona al usuario el uso de dos módulos. El primer módulo dedicado al cálculo de la carga térmica, permite el cálculo mediante la introducción de características de materiales y superficies a ser analizadas, no presenta una base de datos que ayude al usuario a ingresar de forma correcta cada uno de los parámetros de cálculo, presentando resultados poco confiables.

El segundo módulo de CARRIER, se enfoca en la selección de equipos de aire acondicionado, emitiendo sugerencias en cuanto a equipos y detallando características de cada sistema. El precio de adquisición de este software oscila entre los \$500.

Finalmente, el programa de System design load CARRIER, es una colección de programas que utiliza el método ASHRAE y el modelo de cielo despejado, fue creado específicamente para el diseñador del sistema de climatización. Estos

programas están diseñados para aumentar la productividad, la precisión, mejorar la capacidad de análisis y documentación, su costo oscila entre \$1.495 US / \$1.735.

En resumen, un correcto cálculo e implementación de un sistema de climatización, garantizará un ambiente adecuado que se acople a las necesidades de sus ocupantes. Este cálculo térmico debe tomar en consideración todos los factores involucrados en cuanto al origen de la carga térmica, latitud, temperatura de bulbo seco, temperatura de diseño, temporada, entre otros.

Por otra parte, los programas mencionados en esta sección, presentan resultados aproximados y en ciertos casos poco confiables. Cada software, fue desarrollado de acuerdo a la necesidad del sector de estudio, considerando variables de dicho ambiente, sin facilitar al usuario el ingreso de condiciones necesarias que se adapten a su requerimiento.

El uso de programas comerciales, proporcionará resultados confiables, siempre y cuando se tengan las mismas condiciones y parámetros de estudio. Si no es el caso, la carga térmica obtenida no garantizará una correcta selección de equipos y en consecuencia el confort del ambiente no será el requerido.

Por ende, el desarrollo de un software de cálculo de cargas térmicas, garantizará una interfaz amigable al usuario adaptándose a las necesidades requeridas. El software permitirá al usuario el ingreso de condiciones geográficas registradas en una base de datos o simplemente las condiciones deseadas.

Además, el programa permitirá al usuario el ingreso de parámetros acordes al material de análisis, obteniendo resultados confiables acorde a la latitud y condiciones de diseño deseadas.

## **1.4 DEFINICIONES**

### **1.4.1 ACONDICIONAMIENTO DE AIRE**

Es el proceso de tratamiento de aire que permite controlar de forma simultánea su temperatura, humedad, calidad y distribución con el fin de satisfacer los requerimientos de un espacio o ambiente acondicionado. Para ello se utiliza un equipo de aire acondicionado, que es un conjunto de elementos que conforman un

ciclo de refrigeración para acondicionar aire y suministrarlo a condiciones deseadas.

El equipo de aire acondicionado consta de una unidad externa denominada condensadora y una unidad interna llamada evaporadora.

#### **1.4.1.1 Carga térmica**

Se denomina carga térmica a la ganancia o pérdida de calor por unidad de tiempo [kW/h] desde un ambiente de mayor temperatura hacia otro de menor temperatura.

La carga térmica puede ser tanto de calentamiento como de enfriamiento.

#### **1.4.1.2 Carga de enfriamiento**

Es la razón de calor que debe ser removido de un espacio, con el propósito de mantener las condiciones de confort térmico (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980).

#### **1.4.1.3 Carga de calentamiento**

Es la razón de calor que debe ser suplido en un espacio, con el propósito de mantener las condiciones de confort. El cálculo de cargas de calentamiento no considera almacenamiento de calor, ganancias internas ni solares (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997, pág. 28.16).

#### **1.4.1.4 Calor**

Es la forma que toma la energía cuando se transfiere entre dos sistemas o entre un sistema y el exterior, esto ocurre a causa de una diferencia de temperatura (Cengel & Boles, 2011, pág. 60).

##### *Calor latente*

Se denomina de esta manera a la cantidad de energía que una sustancia absorbe o libera durante el proceso de cambio de fase (Cengel & Boles, 2011, pág. 116).

##### *Calor Sensible*

Es la cantidad de energía que provoca una variación en la temperatura de un cuerpo.

Para determinar el calor sensible es fundamental conocer el calor específico de cada material, mismo que se define como: la cantidad de energía necesaria para

elevante en un grado de temperatura una unidad de masa de alguna sustancia (Cengel & Boles, 2011, pág. 178).

#### 1.4.1.5 Condiciones de confort

Denominado por algunos autores Confort General; condición conjunta de temperatura y humedad, que posee valores definidos para las mismas, que han sido deducidas gracias a la experiencia y posteriormente han llegado a ser corroboradas por los ensayos realizados por la ASHRAE (CARRIER, 1980, pág. 1.15).

A continuación en la Tabla 1.1 se puede apreciar los valores de temperatura y humedad relativa con que se define el confort.

Tabla 1.1: Valores de temperatura y humedad relativa de confort general.

<i>CONFORT GENERAL</i>		
<i>Estación</i>	<i>Temperatura</i>	<i>humedad</i>
<i>Verano</i>	23-24 [°C]	45-50 [%]
<i>Invierno</i>	23-24 [°C]	45- 50 [%]

Adaptada de: (CARRIER, 1980, pág. 1.15).

Por otra parte, la norma de condiciones ambientales térmicas para ocupantes (ASHRAE Standard 55-1992), especifica un ambiente confortable si el mismo es aceptable para al menos el 80% de sus ocupantes (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, pág. 148).

#### 1.4.2 VENTILACIÓN DE AIRE

Es el proceso de suplir o remover aire por medios naturales o mecánicos hacia o desde un espacio físico, dicho aire puede haber sido acondicionado o no (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, pág. Definitions).

A su vez la ventilación de aire puede ser natural, forzada o por infiltraciones.

##### 1.4.2.1 Ventilación natural de aire

Es el flujo intencional de aire a través de ventanas abiertas, puertas, rejillas y otras aberturas planificadas en la construcción de la envolvente del espacio; guiado por

diferenciales de presión creados naturalmente (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997, pág. 25.1).

#### **1.4.2.2 Ventilación forzada de aire**

Es el movimiento intencional de aire hacia dentro o fuera de un espacio por medio de ventiladores y conductos de aire, conocida también como ventilación mecánica (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997, pág. 25.1).

#### **1.4.2.3 Infiltraciones de aire**

Es el flujo incontrolado de aire desde el exterior hacia un espacio a través del uso normal de puertas externas, grietas u otras aberturas no intencionales.

La exfiltración es la fuga de aire desde un espacio hacia el exterior, al igual que la ventilación normal y las infiltraciones ocurren por diferenciales de presión creados natural o artificialmente (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997, pág. 25.1).

#### **1.4.2.4 Ventilador**

Turbomáquina que provoca un ligero diferencial de presión para provocar el movimiento de un caudal constante de un gas, frecuentemente aire.

#### **1.4.2.5 Ductos de aire**

Son los conductos de sección redonda o rectangular destinados a transportar aire sea de suministro o de extracción, pueden ser fabricados en diversos materiales siendo los más comunes la fibra de vidrio y el tool galvanizado. En el caso en que el aire esté climatizado, se requiere el uso de ductos aislados térmicamente.

Por lo general los ductos de aire utilizan ciertos accesorios con el fin de realizar un control de caudal, dirección y velocidad. Entre los principales se tiene: rejillas, difusores, ductos flexibles, mangueras flexibles, contracciones, transiciones, codos, y derivaciones.

Una *rejilla* es un accesorio decorativo ubicado al final del conducto de ventilación de suministro y al inicio de un conducto de extracción, cuya función es disipar el aire suministrado o ser el punto de ingreso del mismo para su extracción.

Mientras que un *difusor*, al igual que las rejillas son la última parte del conducto de ventilación de suministro que debe atravesar el aire antes de entrar en el ambiente de destino, su diferencia radica en poseer patrones definidos de distribución y ángulos variables para modificar el alcance del aire que difunden.

Por otra parte, un *ducto flexible* es un conducto de material no rígido que usualmente va entre ductos, cuya función es opacar las vibraciones y de esta manera evitar desajustes o desacoples del sistema de ventilación.

Además, una *manguera flexible* es un accesorio de unión entre un ducto de ventilación hacia el difusor o rejilla con una longitud máxima de 3[m] y un diámetro mínimo de 4 [in]; para el caso de aire climatizado estas mangueras flexibles van recubiertas o aisladas térmicamente.

Una *contracción* es un accesorio de unión entre dos ductos de diferente tamaño, en el que se presenta una disminución progresiva de su sección. En el caso de ductos de sección circular la contracción tiene forma de tronco de cono de revolución mientras que en ductos de sección rectangular su forma es de un tronco de pirámide rectangular. De igual manera, una *transición* es un accesorio similar a una contracción con la diferencia que el área de la sección se incrementa de forma progresiva.

Finalmente un *codo* y una *derivación* son accesorios de cambio de dirección del flujo de aire. El primero puede presentarse con un giro de 90° o de 45° tanto en secciones circulares como en rectangulares, mientras que el segundo divide el caudal en dos direcciones diferentes en suministro o une dos caudales en uno solo en extracción de aire.

#### **1.4.2.6 Renovación de aire**

Es suministrar o extraer aire de un ambiente con el fin de garantizar en cada espacio aire de calidad apto para el consumo y bienestar de sus ocupantes.

Con el fin de conocer el caudal de aire necesario en un espacio de interés, es posible proceder de acuerdo a si se conoce o no el número de personas que ocupan dicho lugar, tal como se detalla a continuación:

Número de ocupantes conocido (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, pág. 5.1):

$$Q_{cfm} = \#_{personas} * \#_{cfm} \quad (1.1)$$

Donde:

- $Q_{cfm}$ : caudal de aire[ $cfm$ ]
- $\#_{personas}$ : número de ocupantes de un espacio[-]
- $\#_{cfm}$ : ventilación de aire requerida por ocupante [ $cfm$ ]

Número de ocupantes desconocido (Rodríguez Galbarro, Ventilación y Renovación de Aire Interior en los Edificios, 2010):

$$Q_{cfm} = v * n \quad (1.2)$$

Donde:

- $v$ : Volumen de un espacio[ $ft^3$ ]
- $n$ : cambios por hora (renovaciones de aire)  $\left[\frac{1}{h}\right]$

## 1.5 CARGAS DE ENFRIAMIENTO

En localidades con altas latitudes, donde en el invierno las temperaturas bajan de tal manera que es imposible la supervivencia sin calefacción, los cálculos de las cargas térmicas se hacen para condiciones extremas, en invierno para cargas de calentamiento y en verano para cargas de enfriamiento.

### 1.5.1 PRINCIPIOS

En el diseño de acondicionamiento de aire existen tres tipos de flujos de calor, conceptualmente distintos pero relacionados entre sí. El primero es la ganancia de calor, el segundo es la carga de enfriamiento y el tercero la extracción de calor.

La ganancia de calor o *razón instantánea de ganancia de calor*, es la rapidez a la cual el calor ingresa o es generado en un ambiente en un determinado instante. Se pueden clasificar en dos tipos: de acuerdo a la forma y al tipo de ganancia:

Según la forma en la que el calor entra o se genera en un espacio, ya que puede provenir de varias fuentes, la ganancia de calor puede darse por:

- a) Radiación solar a través de superficies transparentes.

- b) Conducción de calor a través de paredes externas y techos.
- c) Conducción de calor a través de divisiones internas, cielos falsos y pisos.
- d) Calor generado por ocupantes, luces, aparatos, equipos y procesos.
- e) Cargas como resultado de ventilación e infiltraciones de aire externo.

Según el tipo de ganancia de calor, podría ser:

- a) Ganancia de calor sensible.
- b) Ganancia de calor latente.

Mientras que, la carga de enfriamiento se define como la razón a la cual el calor debe ser removido del espacio para mantener el aire a un valor de temperatura constante.

La sumatoria de todas las ganancias de calor sensible instantáneas en un tiempo específico no necesariamente es igual a la carga sensible de enfriamiento de ese espacio en ese tiempo, sin embargo la carga latente es una carga de enfriamiento instantánea.

La ganancia de calor que se da por radiación es en parte absorbida por las superficies de los elementos del espacio, cuando estas están más calientes que el aire, le ceden calor por convección.

Finalmente, la extracción de calor es la razón a la cual el calor es en realidad removido del espacio acondicionado (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, págs. 1.1-1.2).

### **1.5.2 CONDICIONES DE DISEÑO**

Las cargas dependen de las condiciones internas que se desea mantener y del clima, para que el equipo de aire acondicionado garantice las condiciones de confort durante la mayor parte del tiempo se debe diseñar para condiciones pico; una vez que se conoce la carga pico no es recomendable añadir un factor de seguridad ya que el sobredimensionamiento puede significar una inversión y costos de funcionamiento excesivos, además del funcionamiento ineficiente del equipo durante la mayor parte del tiempo (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, pág. 294).

### 1.5.2.1 Consideraciones iniciales de diseño

Para calcular las cargas de enfriamiento de un espacio, se requieren ciertas condiciones de diseño como son los datos climáticos y la información detallada de la estructura de la construcción.

Con el fin de recopilar la información necesaria para el cálculo de las cargas de enfriamiento, se tienen los siguientes pasos: características de la construcción, configuración, condiciones externas de diseño, condiciones internas de diseño, horarios de operación, fecha y hora, los mismos que se detallan a continuación.

Las *características de la construcción* son los materiales, tamaño de componentes, colores y estado de fachadas. Obtenidos de las especificaciones de construcción o de planos arquitectónicos.

Por otra parte, la ubicación, orientación, sombras externas (obtenidas de las especificaciones de construcción o de planos arquitectónicos) y sombras aledañas (causadas por edificaciones cercanas) se conocen como la *configuración del edificio*.

Para las *condiciones externas de diseño*, se tienen datos acertados de clima proporcionados por estaciones meteorológicas, con el fin de seleccionar las condiciones externas de diseño más extremas.

Mientras que, las *condiciones internas de diseño* son los valores de temperatura, humedad relativa y flujo de ventilación deseados.

Conocer el horario de la estada de ocupantes, funcionamiento de luces, aparatos eléctricos, procesos, entre otros. Este conjunto de valores conocido como *horarios de operación*, son de vital importancia en el cálculo de la carga térmica interna.

Finalmente, la *fecha y hora* seleccionadas en el cálculo de la carga de enfriamiento, ayudan a recopilar varios valores de carga y así escoger la carga pico. Los días de análisis son conocidos por datos meteorológicos o picos de radiación solar (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997, pág. 28.5).

### 1.5.3 BALANCE DE CALOR

La carga térmica considera el calor que se genera o que fluye a través de las paredes y la energía térmica que se acumula en el espacio, la misma que debe conservarse de acuerdo a la primera ley de la termodinámica.

Para el cálculo de cargas de enfriamiento, se debe tomar en consideración los denominados efectos dinámicos (almacenamiento de energía) ya que una parte del calor se absorbe por la masa de la construcción y no contribuye con ningún aumento de la carga hasta que haya transcurrido varias horas.

Al proceso de transferencia de calor y efectos de almacenamiento de energía (ambos variables en el tiempo) se les conoce como conducción en régimen transitorio, cuya consecuencia se denomina inercia térmica.

La inercia térmica es la capacidad que tiene un material para almacenar y liberar energía. Cuanto mayor es la inercia térmica de la envolvente de un espacio, la velocidad de incremento o decremento de temperatura es menor.

Los efectos dinámicos deben ser considerados siempre que la temperatura interna varíe, si la temperatura interna no es constante la carga instantánea del espacio puede ser diferente de la razón a la que el calor está siendo removido o suministrado.

Es conveniente clasificar los términos del balance estático de energía en dos grupos: energía sensible y energía latente, los que a su vez se dividen en:

Términos de energía sensible:

- a) Conducción a través de paredes o componentes externos
- b) Conducción a través del piso
- c) Ganancia de calor debido al intercambio de aire
- d) Ganancia de calor por radiación, luces, equipos y ocupantes

Términos de energía latente:

- a) Ganancias debidas al intercambio de aire, ocupantes y ciertos equipos.

En la Figura 1.1 se puede apreciar el comportamiento de las ganancias térmicas en un balance estático de energía.



Figura 1.1: Términos principales para el balance estático de energía.  
Adaptado de (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, pág. 301).

### 1.5.3.1 Generalidades del cálculo de ganancia de calor

Para el cálculo de la ganancia de calor se toma en consideración la procedencia de la misma. Dicho cálculo se realiza para: ventanas, superficies (exteriores, horizontales, verticales, interiores), pisos, personas, iluminación y aparatos eléctricos.

Las *ventanas u otras aberturas* (Fenestración) contribuyen a la ganancia de calor por radiación y conducción. Las principales variables asociados a estas ganancias son el tipo de material cristalino, marco y accesorios de sombra interior o exterior, entre otros.

Para el caso de superficies interiores, exteriores, horizontales y verticales, se produce el fenómeno de ganancia de calor por conducción. Las *superficies interiores* consideran la temperatura adyacente de un espacio no acondicionado, tomando en cuenta la sección física que separa dichos espacios.

En cambio, las *superficies exteriores* dependen de elementos de radiación solar y gradiente térmico, cuya diferencia radica en los materiales de construcción (masa y naturaleza).

Las *superficies horizontales y verticales exteriores*, reciben radiación solar de onda larga desde el cielo, pisos o edificios circundantes de acuerdo a la ubicación de las mismas. Las variaciones de radiación son difíciles de determinar por lo que se asumen nulas, cuando la intensidad de radiación es alta la superficie de los objetos

terrestres usualmente tienen una temperatura mayor que la del aire externo por lo que su radiación de onda larga compensa en parte la baja emitancia del cielo.

Por otra parte, para los *pisos* en contacto con el suelo o con una base subterránea que no está ventilada ni acondicionada, la transferencia de calor puede ser descartada de la estimación de carga de enfriamiento.

La ganancia de calor debido a *personas*, se debe al calor y humedad expulsados por los ocupantes producto de su actividad cotidiana. Esas fracciones de calor sensible y latente constituyen una importante fracción del total de la carga.

Además, las ganancias debido a iluminación y aparatos eléctricos se dan por el consumo de energía por parte de los mismos, estimada con la ayuda de los datos de placa o la entrada nominal de carga.

La diferencia radica en que en la ganancia debido a iluminación la potencia de la luminaria no necesariamente es la razón de ganancia de calor instantánea. Esto ocurre porque solo una parte de su energía se disipa en forma de convección y es captada por el equipo de aire acondicionado, la energía restante se disipa en forma de radiación afectando al espacio acondicionado varias horas después (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997, págs. 28.5-28.10).

#### **1.5.4 EFECTOS DE ALMACENAMIENTO DE CALOR Y LÍMITE DEL ANÁLISIS ESTÁTICO**

Almacenamiento de calor es la razón del flujo de calor que entra o sale de la masa de la construcción, abarcando todo su contenido. Como una medida de la capacidad de almacenamiento de calor se utilizan dos conceptos, análisis estático y dinámico.

La capacidad de calor estática es el resultado de la masa por su calor específico, por otra parte la capacidad efectiva dinámica  $C_{eff}$  se define como el flujo de calor periódico dentro y fuera de un cuerpo dividido por la variación de temperatura en la superficie.

El análisis estático podría sobreestimar el potencial de almacenamiento ya que no toma en cuenta la distribución de temperaturas sino que asume que todo el cuerpo

se calienta a las mismas condiciones, mientras que el análisis dinámico depende de la tasa de transferencia de calor y de su frecuencia, motivo por el cual es menor que la capacidad de calor estática, así los efectos dinámicos pueden reducir el pico de la carga de enfriamiento.

Un análisis estático es suficiente para algunas de las complicaciones a las que se enfrenta el diseñador pero no para el cálculo de la carga pico de enfriamiento. Con el fin de preservar la simplicidad del análisis estático en un método de aproximación de cálculo de cargas pico, ASHRAE ha desarrollado el método CLTD CLF que modifica términos del cálculo estático para considerarlos como inercia térmica (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, pág. 304).

### **1.5.5 ZONIFICACIÓN**

En construcciones grandes o complejas usualmente se calcula las cargas de enfriamiento de forma separada para un número determinado de zonas (multizona), debido a que pueden existir espacios a diferentes temperaturas, motivo por el cual el análisis multizona es necesario porque la ganancia de calor no es uniforme ni suficiente para lograr una distribución efectiva del calor.

Siendo fundamental en la etapa de diseño, el análisis multizona permite controlar las condiciones de confort de acuerdo al número de zonas, con el fin de minimizar el pico de las cargas de enfriamiento y así realizar una correcta selección de la unidad de aire acondicionado con la suficiente capacidad para satisfacer la demanda de enfriamiento (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, pág. 307).

## **1.6 MÉTODOS DE CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS NO RESIDENCIALES**

Un cálculo de cargas térmicas toma en consideración todos los términos de energía térmica involucrados en el ambiente de estudio.

Se realiza un cálculo de cargas térmicas para lograr obtener un valor numérico que represente la demanda de calentamiento o enfriamiento, con el fin de dar una idea de las potenciales posibilidades de reducción de carga para así seleccionar la

unidad de aire acondicionado y mantener confort durante las condiciones ambientales más extremas.

Se presentan 5 métodos de cálculo de cargas de enfriamiento desarrollados por ASHRAE, que toman su nombre de las siglas en inglés debido a las herramientas que usan. Estos son: funciones de transferencia (TFM), diferencias de temperatura para cargas de enfriamiento y factores de carga de enfriamiento (CLTD CLF), diferenciales de temperatura total equivalente y la técnica de tiempo promedio (TETD/TA), diferencias de temperatura para cargas de enfriamiento, factor de carga de enfriamiento solar y factores de carga de enfriamiento (CLTD SCL CLF) y series radiantes de transferencia (RTS). Además, se describe brevemente el método de CARRIER y el método didáctico.

Todos los métodos citados previamente son válidos en aplicaciones no residenciales y se basan en un balance de calor, por lo que han sido considerados para este proyecto.

El procedimiento asistido por computadora *TFM*, fue desarrollado como un método de cálculo hora a hora orientado a simular el uso anual de energía. Su solución se presenta en dos pasos, el primero establece las ganancias de calor de todas las fuentes y el segundo determina la conversión de dicha ganancia de calor en carga de enfriamiento (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997, pág. 28.1).

El método *CLTD CLF*, es una versión simplificada del TFM, para cálculo manual hora a hora. Su procedimiento de un solo paso, utiliza diferencias de temperatura para cargas de enfriamiento (CLTD), factores de carga de enfriamiento (CLF) y ganancia de calor solar máxima (SHGF) (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, págs. 312-313,343).

Por otra parte, el método *TETD/TA* al igual que el TFM, es un método asistido por computadora de dos pasos. Este método es una alternativa simplificada de la técnica del balance de calor, utiliza valores de diferencial de temperatura total equivalente y un sistema de promedio de tiempo para el cálculo de carga de enfriamiento.

Para el método *CLTD SCL CLF*, que presenta una actualización del método CLTD CLF incorporando un nuevo término denominado factor de carga de enfriamiento solar (SCL). Básicamente el método se conserva pero cambia la selección del CLTD para techos y paredes.

El método de series radiantes de transferencia *RTS*, es una actualización no iterativa del método TFM (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, pág. 343).

En contraparte, la empresa CARRIER presenta un método de cálculo similar al CLTD CLF de ASHRAE. Con la diferencia en cuanto a ecuaciones y consideraciones para el cálculo (CARRIER, 1980).

Finalmente, el método pedagógico de cálculo de cargas térmicas, ofrece un procedimiento rápido, cuyos resultados no son muy diferentes de los calculados con un método reconocido. En el capítulo 2, este procedimiento será excluido de entre los otros métodos mencionados anteriormente, por carecer de fundamento teórico (Guía para el Cálculo de Cargas Térmicas en Edificios, 2010).

## **1.7 DIMENSIONAMIENTO DE DUCTOS**

Para el diseño de un sistema de ductos de aire ya sea de aplicación residencial, comercial o industrial, se debe considerar aspectos como: la relación espacio-presión, el manejo de fuego y humo, aislamiento térmico, fugas en el sistema, diseño de louvers, ruido y pruebas de ajuste / balanceo.

La presión del espacio se determina por la ubicación del ventilador y el arreglo del sistema de ductos, en un ambiente al suministrar o extraer aire se genera un aumento o disminución de presión de dicho espacio (*relación espacio-presión*). De darse el caso de un espacio ventilado por suministro y extracción, la presión del espacio dependerá de la capacidad relativa de los ventiladores, siendo positiva si el suministro es mayor que la extracción y viceversa.

Los gradientes de presión causados por el viento pueden ser reducidos o eliminados mediante una correcta ubicación de difusores o rejillas.

Una parte esencial del diseño de un sistema de ventilación y aire acondicionado, es la protección contra el fuego. Ya que los sistemas de ductos de ventilación

pueden transportar humo, gases, fuego de un área a otra o avivar un incendio dentro del sistema (*manejo de fuego y humo*).

Los códigos de seguridad contra incendios requieren concordancia con los estándares de organizaciones reguladoras, por ejemplo en EE.UU. la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA), en su publicación *NFPA Standard 90A* establece inspecciones y requerimientos de seguridad antiincendios en ductos, plenums, corredores, salidas y entradas de aire, filtros de aire, ventiladores, cableado, equipos eléctricos y equipos de aire acondicionado.

El *aislamiento térmico* debe concordar con los requerimientos de la normativa local, normalmente los espesores recomendados son los mínimos posibles. En ciertas consideraciones térmicas y económicas, se puede justificar un nivel mayor de aislamiento, además de otros accesorios para evitar el paso de vapor y limitar la condensación.

Para las *fugas del sistema de ductos*, se recomienda que todas las juntas o uniones estén correctamente selladas, ya sean costuras longitudinales (en dirección del flujo), penetraciones en la pared del ducto (aberturas hechas con tornillos) o juntas transversales (en dirección perpendicular al flujo).

Las fugas en ductos no sellados varían considerablemente con la maquinaria de fabricación, espesor del material, métodos de montaje e instalación.

El *diseño de louvers* mediante la velocidad del fluido, considera la forma de las paletas, espaciamiento y ángulos que causan variaciones. Estos factores afectan al área libre y al funcionamiento del louver, generando caídas de presión y penetración de agua.

La Figura 1.2 se utiliza para la selección rápida del área del louver, en el caso de suministro se manejan cantidades de aire menores a 7000[cfm] y hasta 5000[cfm] en extracción.

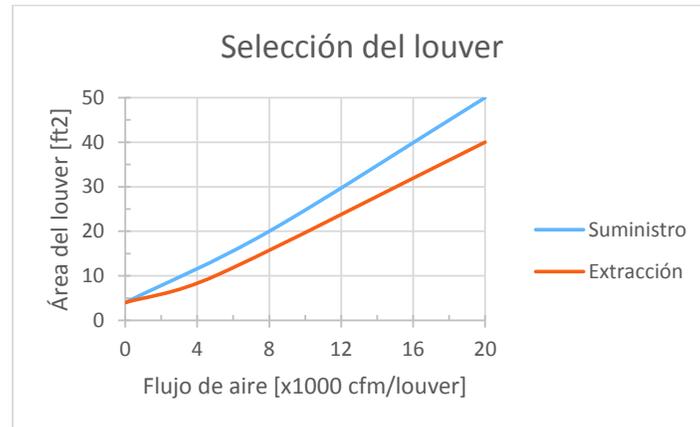


Figura 1.2: Selección del área del louver.

Adaptada de: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009, pág. 21.16).

Las mayores fuentes de *ruido* son difusores, rejillas, ventiladores, ductos de aire, accesorios y vibraciones producto del funcionamiento del sistema. El ruido se genera con el aumento de la velocidad del fluido en los ductos de aire y la presión de trabajo.

Para la selección de accesorios es conveniente utilizar aquellos que produzcan ruido en menor cantidad, para satisfacer los objetivos del diseño bajo cualquier condición de funcionamiento, además de su correcta instalación. En el caso del ventilador, la selección debe tomar en cuenta el tipo de ventilador, presión de trabajo y caudal de aire para minimizar el ruido que se genera.

El control de ruido en el sistema requiere de un apropiado diseño, dimensionamiento y la instalación de silenciadores en caso de ser necesario (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009, págs. 21.13-21.16).

Cada sistema de ductos de aire debe ser correctamente *probado, ajustado y balanceado*. Probar involucra medir cuantitativamente el desempeño del sistema, mientras que ajustar es regular la razón específica del flujo de aire y sus patrones de movimiento en terminales del sistema (como por ejemplo regular los dampers para modificar la velocidad del aire).

Finalmente, balancear implica distribuir las cantidades específicas de flujo de aire en el sistema de acuerdo a las consideraciones de diseño (primordialmente en

derivaciones y terminales) (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2011, pág. 38.1).

### 1.7.1 RESISTENCIA AL FLUJO DE AIRE

Llamadas pérdidas de presión en un sistema de ductos de aire, son la transformación irreversible de energía mecánica en calor, estas pérdidas pueden ser por fricción o pérdidas dinámicas.

#### 1.7.1.1 Pérdidas por fricción

Se deben a la viscosidad del fluido y es el resultado del intercambio de momento entre moléculas en flujo laminar o entre partículas individuales de capas adyacentes de fluido que se mueven a diferentes velocidades en flujo turbulento, presentándose pérdidas a lo largo de todo el ducto de aire y accesorios de longitudes considerables.

En tramos de ductos de aire, se calculan únicamente las pérdidas por fricción, mismas que serán determinadas con la ecuación de Darcy (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009, pág. 21.6):

$$\Delta P_f = \frac{12 * f * L}{D} * \rho \left( \frac{V}{1097} \right)^2 \quad (1.3)$$

Donde:

$\Delta P_f$ : caída de presión por fricción [*in. wg*]

$f$ : factor de fricción [-]

$L$ : longitud de ducto (100[ft]) [*ft*]

$D$ : Diámetro [*in*]

$\rho$ : densidad del aire  $\left[ \frac{lb_m}{ft^3} \right]$

$V$ : velocidad del aire [*fpm*]

Para hallar el valor de  $f$ , se consideran ciertos parámetros dependiendo del tipo de flujo que exista a lo largo de los ductos de aire, estos pueden ser: laminar, turbulento o transición:

En flujo laminar,  $f$  depende únicamente del número de Reynolds, mientras que en flujo turbulento,  $f$  depende de: número de Reynolds, rugosidad y protuberancias internas (uniones) de la superficie.

En cambio en el flujo en transición,  $f$  depende de la rugosidad del material y del número de Reynolds.

Para calcular el valor de  $f$  se utiliza la ecuación de Colebrook-White, la misma que tiene solución utilizando un método iterativo (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009, pág. 21.6):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right) \quad (1.4)$$

Donde:

- $f$ : factor de fricción [-]
- $\varepsilon$ : factor de rugosidad absoluta del material [*in*]
- $D$ : diámetro [*in*]
- $Re$ : número de Reynolds [-]

Al trabajar con aire estándar, en condiciones de temperatura entre 5[°C] y 38[°C], el número de Reynolds y la velocidad se determinan mediante las siguientes ecuaciones (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009, págs. 21.6, 21.2):

$$Re = 8.5 * D * V \quad (1.5)$$

$$V = \frac{576 * Q_{cfm}}{\pi D^2} \quad (1.6)$$

Donde:

- $Re$ : número de Reynolds [-]
- $V$ : velocidad del aire [*fpm*]
- $Q_{cfm}$ : caudal de aire [*cfm*]

### 1.7.1.2 Pérdidas dinámicas

Son el resultado de perturbaciones del flujo de aire causadas por los equipos de montaje y acople, es decir por los accesorios que modifican la dirección de la ruta del flujo de aire o el área de sección del ducto, ocurren a lo largo de todo el accesorio y no pueden separarse de las pérdidas de fricción. Para facilitar el cálculo se asume que las pérdidas dinámicas están concentradas en una sección (pérdida local) en la que no actúan las pérdidas por fricción.

En un sistema de ductos de ventilación, es necesario la instalación de accesorios en cada cambio de sección del ducto o de dirección de flujo de aire, es precisamente en estos accesorios en donde se dan caídas de presión denominadas pérdidas dinámicas de presión.

Para calcular el valor de la caída de presión que ocurre en un accesorio, se necesita conocer las dimensiones y el caudal de aire, a continuación, se escoge el coeficiente de pérdida de accesorio  $c$ .

A medida que el fluido atraviesa un accesorio, se genera una disminución de la presión total y un incremento de la presión estática por la conversión de presión dinámica en presión estática. Este incremento de presión estática se denomina recuperación estática y se expresa en términos de Presión dinámica media del caudal de aire ya sea antes o después del accesorio. La presión dinámica del aire se determina con:

$$V_p = \left( \frac{V}{4005} \right)^2 \quad (1.7)$$

Donde:

$V_p$ : presión dinámica [*in. wg*]  
 $V$ : velocidad del aire [*fpm*]

Finalmente se calcula la caída total de presión en el accesorio multiplicando el coeficiente de pérdida por la presión dinámica.

$$P_{acc} = c * V_p \quad (1.8)$$

Donde:

$P_{acc}$ : pérdida total de presión por accesorio [*in. wg*]  
 $c$ : coeficiente de pérdida de presión en accesorios [-]

### 1.7.1.3 Métodos de diseño de ductos

Los métodos de diseño de sistemas de ventilación y aire acondicionado contemplan el método de fricción equivalente y el método de recuperación estática.

Para el *método de fricción equivalente*, se dimensiona los ductos para una pérdida de presión constante por unidad de longitud. Después del diseño inicial, se calcula

la pérdida total de presión para todas las secciones del ducto y se redimensiona las secciones en caso de ser necesario.

Cuando el costo de la energía es alto y la instalación de los ductos tiene un bajo costo, un diseño con un estimado de baja de fricción es más económico, para el caso contrario resulta más económico usar una estimación de alta fricción.

Por otra parte, el *método de recuperación* estática es aplicable únicamente para suministro de aire, su objetivo es obtener la misma presión estática en uniones de diferentes ramales, modificando las dimensiones de los ductos y evitando variación de presión estática de una sección a otra.

Cuando el coste de la energía es alto y el de la instalación de ductos es bajo, una velocidad inicial baja resulta más económico. Para el caso contrario es más recomendable usar una velocidad alta.

#### **1.7.1.4 Procedimiento de diseño de sistemas de ductos de ventilación**

Como un procedimiento general para el diseño de un sistema ductos de ventilación y aire acondicionado, se puede citar los siguientes pasos:

1. Estudiar los planos de la edificación con el fin de realizar una correcta zonificación, además de considerar el arreglo y disposición de los ductos tanto de suministro como de extracción para proveer una distribución adecuada de aire a las zonas que lo requieran.
2. Seleccionar las dimensiones de los terminales de ducto ya sean rejillas o difusores así como datos necesarios provistos por el fabricante.
3. Esquematizar el sistema de ductos ubicando la cantidad de aire a manejar, se recomienda usar ductos de sección redonda y minimizar el uso de accesorios.
4. Dividir el sistema de ductos de aire en todo punto donde exista un cambio de flujo, de tamaño o forma y numerar cada división.
5. Dimensionar los ductos de acuerdo al método elegido para la selección del ventilador.
6. Analizar el sistema por niveles de ruido y colocar silenciadores donde sea necesario.

### 1.7.2 CÁLCULO DE DIMENSIONES DE DUCTOS DE AIRE

El procedimiento para determinar el diámetro necesario  $d$  en ductos de ventilación de aire es el siguiente:

1. Conocer el valor deseado de la caída de presión por cada 100[ft], el valor de  $\varepsilon$  y un valor supuesto de diámetro  $d$ .
2. Con las ecuaciones ( 1.6) y ( 1.5) se calcula la velocidad y el número de Reynolds, a continuación con la ecuación ( 1.4) se da valores a  $f$  hasta hallar el valor que cumple la igualdad.
3. La ecuación ( 1.3) permite calcular el valor de la caída de presión y compararla con la deseada.
4. Al existir discrepancia en el paso anterior, se da un pequeño incremento al valor del diámetro y se repite los pasos 2 y 3 hasta que la caída de presión calculada tenga un valor cercano a la caída de presión deseada.

Con la ecuación ( 1.9) es posible hallar las dimensiones de la sección rectangular, tomando en consideración que el diámetro equivalente  $D_{eq}$  calculado sea similar al diámetro necesario  $d$ .

$$D_{eq} = 1.3 * \frac{(a * b)^{0.625}}{(a + b)^{0.25}} \quad (1.9)$$

Donde:

- $D_{eq}$ : diámetro equivalente [in]
- $a$ : ancho de ducto rectangular [in]
- $b$ : alto de ducto rectangular [in]

Generalmente ocurre que  $D_{eq} \neq d$ , en consecuencia se debe calcular nuevamente la caída de presión por cada 100[ft] de longitud de ducto de sección rectangular con la ecuación ( 1.3).

ASHRAE presenta una gráfica y una tabla para la utilización del método descrito anteriormente, consiste en determinar el diámetro necesario de ducto con la ayuda de la gráfica de fricción, ubicando el valor de la caída de presión y el caudal de aire manejado; para encontrar las dimensiones de ducto de sección rectangular se escoge un valor de  $D_{eq}$  cercano a  $d$  provisto por la tabla de dimensiones

rectangulares equivalentes (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009, págs. 21.8, 21.10).

### 1.7.3 PÉRDIDA DE PRESIÓN EN EL SISTEMA DE DUCTOS DE VENTILACIÓN

Un sistema de ductos de ventilación posee varios elementos que hacen que el sistema sea funcional, entre ellos tenemos: difusores, rejillas, mangueras flexibles, ductos de ventilación, accesorios de unión, filtros, louvers, entre otros.

Para el cálculo de la pérdida total de presión en un sistema de ductos de ventilación, se hace uso del término ruta crítica como el mayor trayecto posible entre el ventilador y el punto de suministro o extracción, donde se estima la mayor caída de presión.

En la Figura 1.3 se presenta un esquema explicativo de la ruta crítica, donde la flecha roja indica la ruta de mayor caída de presión desde el ventilador hacia una rejilla o difusor.

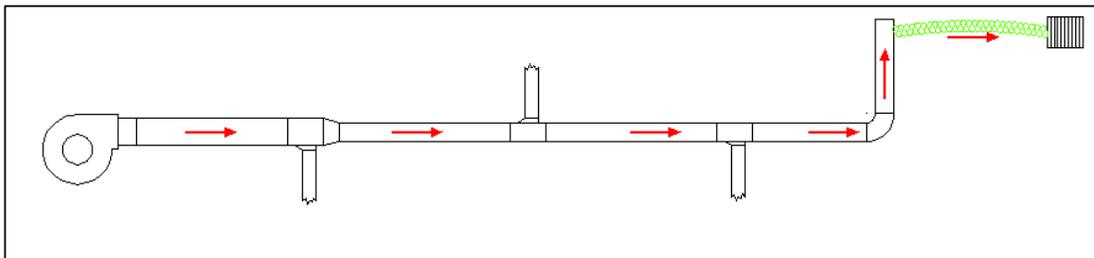


Figura 1.3: Ilustración de la ruta crítica.

Fuente: Propia

Para calcular la caída de presión del sistema de ventilación, se suma la pérdida de presión de cada elemento de la ruta crítica, ya sea un dato calculado o tomado del catálogo del fabricante. En ocasiones en que no existe seguridad de la elección de la ruta crítica, se hace los cálculos para las rutas que aparentan las mayores caídas de presión para tener la certeza de la elección de la ruta crítica correcta.

La importancia del cálculo de la caída de presión de una ruta crítica se debe a que conjuntamente con el valor del caudal total, son datos de entrada al catálogo de ventiladores para realizar la selección del equipo.

## **1.8 CRITERIOS DE SERVICIO**

Para llevar de las condiciones ambientales de un espacio a las condiciones deseadas de confort, se debe suplir las necesidades de ventilación de espacios y acondicionamiento de aire.

En los servicios necesarios de un ambiente, es fundamental determinar zonas o espacios con características similares en toda su extensión.

En general se ha dispuesto renovar el aire de la mayor parte de las zonas, haciendo excepción de aquellos lugares que por su ubicación no necesitan de ventilación mecánica ya que la ventilación natural es suficiente para renovar el aire. Las zonas en las que se proporciona ventilación mecánica de suministro de aire, generalmente son las que albergan personas por períodos considerables de tiempo, mientras que la extracción de aire se da comúnmente en: baños, cafeterías, entre otros.

En cuanto a climatización, se proporciona únicamente a zonas que determinan ambientes con alta afluencia de personas, equipos que generan gran cantidad de calor y espacios que debido a su ubicación reciben incidencia solar.

## **CAPÍTULO II.**

### **CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO DEL SOFTWARE**

El presente capítulo contiene la selección del método de cálculo de cargas térmicas de enfriamiento mediante matrices de ponderación, para el método seleccionado se presenta una descripción completa, argumentos generales y consideraciones que se tomarán como base para el desarrollo del software de cálculo de cargas térmicas.

De la misma manera, para el software de dimensionamiento de ductos, se mencionan los argumentos generales y consideraciones tomadas para su implementación.

#### **2.1 CÁLCULO DE CARGAS DE ENFRIAMIENTO**

##### **2.1.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO**

La selección del método de cálculo de cargas térmicas de enfriamiento se ha realizado mediante matrices de ponderación, calculando el peso específico de las alternativas de solución para cada uno de los criterios de selección adoptados, con el fin de elegir el método más adecuado. Se ha considerado los criterios de validez, versatilidad y complejidad.

La validez es la factibilidad de usar datos tabulados correspondientes o más cercanos a la ubicación geográfica de Ecuador. Por otra parte, la versatilidad es la capacidad del método a ser comparado con similares para observar el comportamiento de sus resultados.

Finalmente, el criterio complejidad es el nivel de dificultad del método para el usuario en cuanto al ingreso de datos de entrada del software.

Los métodos de cálculo a ser evaluados de acuerdo a los criterios mencionados se describen en la sección 1.6, cada uno de los cuales representan una opción de solución, numerados de la siguiente manera:

*Opción 1.*- ASHRAE; TFM

*Opción 2.*- ASHRAE; CLTD CLF

*Opción 3.*- ASHRAE; TETD/TA

*Opción 4.*- ASHRAE; CLTD SCL CLF

*Opción 5.*- ASHRAE; RTS

*Opción 6.*- CARRIER, método manual de cálculo de cargas térmicas.

Para determinar el valor de ponderación asignado a cada criterio, se realiza la evaluación del peso específico según la siguiente relación:

Validez > Versatilidad > Complejidad

La Tabla 2.1 muestra la puntuación que obtiene cada criterio y su respectiva ponderación.

Tabla 2.1: Peso específico de los criterios de selección.

<i>CRITERIO</i>	<i>Validez</i>	<i>Versatilidad</i>	<i>Complejidad</i>	$\Sigma+1$	<i>Ponderación</i>
<i>Validez</i>	-	1	1	3	0,50
<i>Versatilidad</i>	0	-	1	2	0,33
<i>Complejidad</i>	0	0	-	1	0,17
			TOTAL	6	1

Fuente: Propia.

Una vez que se conoce el peso específico de cada uno de los criterios, se procede a realizar la matriz de ponderación de las soluciones.

Para la evaluación del peso específico de las soluciones según el criterio “Validez”, se ha considerado la siguiente relación:

Opción2 > Opción6 > Opción1 = Opción3 = Opción4 = Opción5

Las opciones 2 y 6 obtienen su ventaja debido a que son los 2 únicos métodos que presentan datos de ganancia de radiación válidos para la aplicación en Ecuador. La opción 2 tiene su ventaja al mostrar datos cada 4° frente a la opción 6 que muestra cada 10°, la Tabla 2.2 muestra la matriz de ponderación.

Tabla 2.2: Peso específico de las soluciones según el criterio “Validez”.

<i>SOLUCIÓN</i>	<i>Opción1</i>	<i>Opción2</i>	<i>Opción3</i>	<i>Opción4</i>	<i>Opción5</i>	<i>Opción6</i>	$\Sigma+1$	<i>Ponderación</i>
<i>Opción1</i>	-	0	0,5	0,5	0,5	0	2,5	0,12
<i>Opción2</i>	1	-	1	1	1	1	6	0,29
<i>Opción3</i>	0,5	0	-	0,5	0,5	0	2,5	0,12
<i>Opción4</i>	0,5	0	0,5	-	0,5	0	2,5	0,12
<i>Opción5</i>	0,5	0	0,5	0,5	-	0	2,5	0,12
<i>Opción6</i>	1	0	1	1	1	-	5	0,24
<b>TOTAL</b>							<b>21</b>	<b>1</b>

Fuente: Propia.

Además, para la evaluación del peso específico de las soluciones según el criterio “Versatilidad”, se considera:

$$\text{Opción2} = \text{Opción6} > \text{Opción1} = \text{Opción3} = \text{Opción4} = \text{Opción5}$$

Los métodos correspondientes a las opciones 2 y 6 son similares, es por esta razón que presentan igual valoración, mientras que las demás opciones buscan el mismo objetivo con distintas consideraciones, motivo por el cual reciben un valor menor. A continuación la Tabla 2.3 muestra la puntuación obtenida para el criterio versatilidad.

Tabla 2.3: Peso específico de las soluciones según el criterio “Versatilidad”.

<i>SOLUCIÓN</i>	<i>Opción1</i>	<i>Opción2</i>	<i>Opción3</i>	<i>Opción4</i>	<i>Opción5</i>	<i>Opción6</i>	$\Sigma+1$	<i>Ponderación</i>
<i>Opción1</i>	-	0	0,5	0,5	0,5	0	2,5	0,12
<i>Opción2</i>	1	-	1	1	1	0,5	5,5	0,26
<i>Opción3</i>	0,5	0	-	0,5	0,5	0	2,5	0,12
<i>Opción4</i>	0,5	0	0,5	-	0,5	0	2,5	0,12
<i>Opción5</i>	0,5	0	0,5	0,5	-	0	2,5	0,12
<i>Opción6</i>	1	0,5	1	1	1	-	5,5	0,26
<b>TOTAL</b>							<b>21</b>	<b>1</b>

Fuente: Propia.

Finalmente, para la evaluación del peso específico de las soluciones según el criterio “Complejidad”, el análisis se basa en:

$$\text{Opción2} > \text{Opción6} > \text{Opción4} > \text{Opción3} > \text{Opción1} > \text{Opción5}$$

La opción 6 describe un procedimiento de cálculo derivado de la opción 2, con la diferencia que en ciertos campos presenta mayor dificultad, a diferencia del resto de opciones con métodos de mayor complejidad. La Tabla 2.4 muestra la puntuación que obtiene cada opción según el criterio denominado complejidad.

Tabla 2.4: Peso específico de las soluciones según el criterio “Complejidad”.

<i>SOLUCIÓN</i>	<i>Opción1</i>	<i>Opción2</i>	<i>Opción3</i>	<i>Opción4</i>	<i>Opción5</i>	<i>Opción6</i>	$\Sigma+1$	<i>Ponderación</i>
<i>Opción1</i>	-	0	0	0	1	0	2	0,10
<i>Opción2</i>	1	-	1	1	1	1	6	0,29
<i>Opción3</i>	1	0	-	0	1	0	3	0,14
<i>Opción4</i>	1	0	1	-	1	0	4	0,19
<i>Opción5</i>	0	0	0	0	-	0	1	0,05
<i>Opción6</i>	1	0	1	1	1	-	5	0,24
<b>TOTAL</b>							<b>21</b>	<b>1</b>

Fuente: Propia.

En la Tabla 2.5 se presenta los resultados finales, que muestran la mejor alternativa entre las opciones de solución frente a los criterios de selección.

Tabla 2.5: Conclusiones de la selección.

<i>SOLUCIÓN</i>	<i>Validez</i>	<i>Versatilidad</i>	<i>Complejidad</i>	$\Sigma$	<i>Ponderación</i>
<i>Opción1</i>	0,0595	0,0397	0,0159	0,115	5
<i>Opción2</i>	0,1429	0,0873	0,0476	0,28	<b>1</b>
<i>Opción3</i>	0,0595	0,0397	0,0238	0,12	4
<i>Opción4</i>	0,0595	0,0397	0,0317	0,13	3
<i>Opción5</i>	0,0595	0,0397	0,0079	0,107	6
<i>Opción6</i>	0,1190	0,0873	0,0397	0,25	2

Fuente: Propia.

Después de realizar la selección del método, se obtiene como resultado que el método más apropiado a utilizarse es ASHRAE CLTD CLF, este método ofrece facilidad de cálculo en latitudes desde 0° hasta 60° ya sea Norte o Sur con datos cada 4°, obteniendo los valores intermedios mediante interpolación.

### 2.1.2 MÉTODO CLTD CLF

Para considerar efectos transitorios sin recurrir a un análisis dinámico completo, ASHRAE ha desarrollado este método que usa diferencia de temperaturas para cargas de enfriamiento (CLTD) y factores de carga de enfriamiento (CLF). Bajo condiciones estáticas constantes donde  $T_0$  es la temperatura exterior y  $T_i$  es la temperatura interna, la carga de enfriamiento debida a conducción se reduce a:

$$\dot{Q}_{Sk} = U * A * (T_o - T_i) * \frac{1}{3412.15} \quad (2.1)$$

Donde:

$\dot{Q}_{Sk}$ : carga sensible de enfriamiento por conducción [kW]  
 $U$ : coeficiente de transferencia de calor por conducción  $\left[\frac{Btu}{h*ft^2*°F}\right]$   
 $A$ : área [ $ft^2$ ]  
 $T_o$ : temperatura externa de diseño [°F]  
 $T_i$ : temperatura interna de diseño [°F]  
 $\frac{1}{3412.15}$ : Factor de conversión  $\left[\frac{kW*h}{Btu}\right]$

Si las temperaturas tienen un patrón periódico día tras día, entonces  $\dot{Q}_{Sk}$  también lo tendrá; se puede definir una CLTD como la diferencia de temperaturas que da la misma carga de enfriamiento al multiplicarse por  $U$  y por  $A$ , si dichas diferencias de temperatura se tabulan para materiales de construcción y patrones típicos de temperatura y así la carga de enfriamiento será:

$$\dot{Q}_{SkT} = U * A * (CLTD_h) * \frac{1}{3412.15} \quad (2.2)$$

Donde:

$\dot{Q}_{SkT}$ : carga sensible de enfriamiento por conducción externa [kW]  
 $CLTD_h$ : diferencia de temperaturas para carga de enfriamiento en una hora h [°F]

Asimismo si hay una ganancia de calor constante en una zona, la correspondiente carga de enfriamiento será igual a la ganancia de calor.

El factor de carga de enfriamiento (CLF) al multiplicarse por el valor diario máximo de ganancia de calor da como resultado la carga de enfriamiento a una hora  $h$ .

$$\dot{Q}_{SR} = \dot{Q}_{max} * (CLF_h) \quad (2.3)$$

Donde:

$\dot{Q}_{SR}$ : carga sensible de enfriamiento por radiación [kW]  
 $\dot{Q}_{max}$ : ganancia de calor máxima [kW]  
 $CLF_h$ : factor de carga de enfriamiento en una hora h [-]

La razón por la que se consideran CLFs es debido a que las ganancias por radiación (solar, luces, entre otros) son absorbidas por la masa del espacio, convirtiéndose en una carga de enfriamiento instantánea cuando se han transferido al aire por

convección. Los CLFs en ciertas ganancias como las que se deben a ocupantes, consideran una parte por convección y otra por radiación.

Los datos de CLTD y CLF de ASHRAE han sido calculados con “funciones de transferencia”, para mantener manejable el tamaño del arreglo de dichos datos se ha considerado únicamente un número muy limitado de tipos de construcciones así como de condiciones de operación, se provee también factores de corrección para la restricción de  $T_i = cte$ , con el fin de aumentar la aplicabilidad. Este método a pesar de ser el original presentado por ASHRAE sigue siendo utilizado por diseñadores e ingenieros (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, págs. 312-324).

### 2.1.2.1 Paredes y techos

La carga de enfriamiento (conducción) a un tiempo  $h$  se calcula introduciendo el CLTD apropiado en la ecuación ( 2.2) tomado del Anexo A-2, para lo cual previamente se debe seleccionar el tipo de pared en el Anexo A-1.

Ya que los datos tabulados de ASHRAE han sido obtenidos para cierta locación y bajo condiciones dadas, el uso de los mismos se realiza aplicando factores de corrección y determinando el valor corregido, el  $CLTD_{corr}$  es el valor de CLTD obtenido al aplicar modificaciones en latitud y mes de cálculo, color de la superficie y posibles cambios en las temperaturas de diseño, para obtener los valores corregidos se tiene las siguientes ecuaciones (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, págs. 313-316):

Techos:

$$CLTD_{corr-T} = [(CLTD_T + LM) * K + (78 - T_i) + (T_o - 85)] * f_{AD} \quad (2.4)$$

Donde:

- $CLTD_{corr-T}$ : diferencia de temperaturas para carga de enfriamiento corregido para techos [ $^{\circ}F$ ]
- $CLTD_T$ : diferencia de temperaturas para carga de enfriamiento para techos [ $^{\circ}F$ ]
- $LM$ : corrección para latitud y mes [-]
- $K$ : factor de ajuste debido al color [-]
- $T_o$ : temperatura externa de diseño [ $^{\circ}F$ ]
- $T_i$ : temperatura interna de diseño [ $^{\circ}F$ ]
- $f_{AD}$ : factor debido a la existencia de ático o ductos [-]

Paredes:

$$CLTD_{corr-p} = (CLTD_p + LM) * K + (78 - T_i) + (T_o - 85) \quad (2.5)$$

Donde:

$CLTD_{corr-p}$ : diferencia de temperaturas para carga de enfriamiento corregido para paredes [ $^{\circ}F$ ]

$CLTD_{corr-p}$ : diferencia de temperaturas para carga de enfriamiento para paredes [ $^{\circ}F$ ]

En las ecuaciones ( 2.4) y ( 2.5),  $LM$  se obtiene del Anexo A-3, mientras  $K$  es un ajuste debido al color y toma valores de 1 para colores oscuros (azul, rojo, café, verde), 0.83 para colores medios y 0.65 para colores claros (colores crema).

Además el valor de  $f_{AD}$  en la ecuación ( 2.4) es un factor debido a la existencia de ventiladores de ático o de ductos sobre el cielo falso y puede tomar valores de 1 si no existe ático o ductos y de 0.75 si existe ventilación positiva (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, págs. 319,321-322).

### 2.1.2.2 Ventanas

En ventanas la ganancia de calor se da por conducción (debido a diferencia de temperaturas) o conducción y radiación (transmitida a través y absorbida por el vidrio).

La *conducción* a través de las ventanas en una hora específica se calcula con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{Sk-v} = U * A * (CLTD_{corr-v-h}) * \frac{1}{3412.15} \quad (2.6)$$

Donde:

$\dot{Q}_{Sk-v}$ : carga sensible de enfriamiento por conducción en ventanas [ $kW$ ]

$U$ : coeficiente de transferencia de calor por conducción [ $\frac{Btu}{h*ft^2*^{\circ}F}$ ]

$A$ : área [ $in^2$ ]

$CLTD_{corr-v-h}$ : diferencia de temperaturas para carga de enfriamiento horario corregido para ventanas [ $^{\circ}F$ ]

$\frac{1}{3412.15}$ : factor de conversión [ $\frac{kW*h}{Btu}$ ]

Que a su vez necesita de:

$$CLTD_{corr-v-h} = CLTD_{v-h} + (78 - T_i) + \left[ \left( T_o - \frac{1}{2} RD_T \right) - 85 \right] \quad (2.7)$$

Donde:

$CLTD_{corr-v-h}$ : diferencia de temperaturas para carga de enfriamiento horario corregido para ventanas [ $^{\circ}F$ ]

$CLTD_{v-h}$ : diferencia de temperaturas para carga de enfriamiento horario para ventanas [ $^{\circ}F$ ]

$T_o$ : temperatura externa de diseño [ $^{\circ}F$ ]

$T_i$ : temperatura interna de diseño [ $^{\circ}F$ ]

$RD_T$ : rango diario de temperaturas [ $^{\circ}F$ ]

Donde el CLTD para conducción a través de ventanas en cada hora, se obtiene del Anexo A-4.

Mientras que, la ganancia de calor por *radiación* tiene dos componentes, una absorbida por el vidrio que levanta su temperatura cambiando de ese modo el flujo de calor por conducción y otra transmitida que se asume es absorbida en su totalidad en el interior de del espacio.

Este tipo de ganancias se las calcula por medio del factor de ganancia de calor solar (SHGF), que se define como la ganancia de calor instantánea debida a radiación solar a través de vidrio o superficies transparentes combinando las dos componentes de ganancia de calor debida a radiación.

Para calcular la contribución de la ganancia solar a la carga de enfriamiento, se multiplica la ganancia de calor solar diaria máxima por el factor de carga de enfriamiento, así la carga de enfriamiento real en un tiempo h debida a radiación solar se da por la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{SR-h} = A * SC * SHGF_{max} * CLF_h * \frac{1}{3412.15} \quad (2.8)$$

Donde:

$\dot{Q}_{SR-h}$ : carga sensible de enfriamiento horaria causada por radiación [ $kW$ ]

$A$ : área [ $ft^2$ ]

$SC$ : coeficiente de sombra [-]

$SHGF_{max}$ : factor de ganancia de calor debido a radiación solar máximo [ $\frac{Btu}{h*ft^2}$ ]

$CLF_h$ : factor de carga de enfriamiento horario [-]

$\frac{1}{3412.15}$ : Factor de conversión [ $\frac{kW*h}{Btu}$ ]

El  $SHGF_{max}$ , es el valor de SHGF cuando la radiación alcanza su máximo para un mes, latitud y orientación en particular, se lo selecciona del Anexo A-5.

Los CLFs toman en consideración la variación de radiación solar durante el día así como la dinámica de su absorción y posterior emisión del calor absorbido por parte de la masa existente en el espacio, los CLFs se encuentran tabulados para cada orientación, horas del día y tipo de estructura en el Anexo A-7.

En el caso particular de ganancia a través de superficies cristalinas sin sombra interior, ASHRAE considera tres tipos de masa contenida en el espacio: alta, media y baja, cada una con valores diferentes de masa por unidad de área de piso y ha tabulado los CLFs respectivos para cada consideración (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, pág. 318), (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, pág. 3.25).

En general el coeficiente de sombra se lo puede encontrar tabulado para diferentes materiales en el Anexo A-6.

### 2.1.2.3 Ocupantes, iluminación y equipos

La manera de calcular las cargas térmicas de enfriamiento debido a ganancias de calor ocasionadas por ocupantes, iluminación y equipos o accesorios eléctricos, son similares entre sí. Detallados a continuación:

Ocupantes:

$$\dot{Q}_{P-h} = \dot{Q}_P * CLF_{P-h} \quad (2.9)$$

$$\dot{Q}_{SP-h} = \dot{Q}_{SP} * \#_{personas} * CLF_{P-h} \quad (2.10)$$

$$\dot{Q}_{LP-h} = \dot{Q}_{LP} * \#_{personas} \quad (2.11)$$

Donde:

- $\dot{Q}_{P-h}$ : ganancia de calor horaria debida a personas [kW]
- $\dot{Q}_P$ : ganancia de calor debida a personas [kW]
- $CLF_{P-h}$ : factor de carga de enfriamiento horario debido a personas [°F]
- $\dot{Q}_{SP-h}$ : carga sensible de enfriamiento horaria debido a personas [kW]
- $\dot{Q}_{SP}$ : carga sensible de enfriamiento debido a personas [kW]
- $\#_{personas}$ : número de ocupantes de un espacio [-]
- $\dot{Q}_{LP-h}$ : carga latente de enfriamiento horaria debido a personas [kW]
- $\dot{Q}_{LP}$ : carga sensible de enfriamiento debido a personas [kW]

Iluminación:

$$\dot{Q}_{SII-h} = \dot{Q}_{II} * CLF_{II-h} \quad (2.12)$$

$$\dot{Q}_{SII-h} = P * \# * F_U * F_S * CLF_{II-h} \quad (2.13)$$

Donde:

- $\dot{Q}_{SII-h}$ : carga sensible de enfriamiento horaria debido a iluminación [kW]
- $\dot{Q}_{II}$ : ganancia de calor debido a iluminación [kW]
- $CLF_{II-h}$ : factor de carga de enfriamiento horario debido a iluminación [°F]
- $P$ : Potencia nominal [kW]
- $\#$ : cantidad [-]
- $F_U$ : factor de uso [-]
- $F_S$ : factor para fluorescentes [-]

Equipos y accesorios eléctricos:

$$\dot{Q}_{A-h} = \dot{Q}_A * CLF_{A-h} \quad (2.14)$$

$$\dot{Q}_{SA-h} = P * \# * F_U * CLF_{A-h} \quad (2.15)$$

Donde:

- $\dot{Q}_{A-h}$ : ganancia de calor horaria debido a accesorios eléctricos [kW]
- $\dot{Q}_A$ : ganancia de calor debido a accesorios eléctricos [kW]
- $CLF_{A-h}$ : factor de carga de enfriamiento horario debido a accesorios eléctricos [-]
- $\dot{Q}_{SA-h}$ : carga sensible de enfriamiento horaria debido a aparatos eléctricos [kW]
- $P$ : Potencia nominal [kW]
- $\#$ : cantidad [-]
- $F_U$ : factor de uso [-]

Las ecuaciones para el cálculo de cargas debidas a ocupantes y equipos, poseen carga sensible y carga latente,  $\dot{Q}_P, \dot{Q}_{II}, \dot{Q}_A$  representan la razón de producción de calor referente a personas, iluminación y equipos respectivamente, mientras que  $\dot{Q}_{SP-h}, \dot{Q}_{LP-h}, \dot{Q}_{SII-h}, \dot{Q}_{SA-h}, \dot{Q}_{LA-h}$  es la carga sensible o latente de enfriamiento a una hora  $h$ .

En el cálculo de cargas debidas a iluminación, el factor para fluorescentes  $F_S$  se toma del Anexo A-8.

Para validar la consistencia de CLFs se considera la primera ley de la termodinámica que en este particular caso será: *El total diario de las cargas de enfriamiento debe ser igual al total diario de ganancias de calor* (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, págs. 320-322).

#### 2.1.2.4 Paredes internas, cielos rasos y pisos

Para el caso elementos internos como: paredes o tabiques, cielos rasos y pisos, el cálculo es bastante sencillo, ya que al ser elementos internos no necesitan de selección de datos tabulados. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{skTi} = A * U * \Delta T_d * \frac{1}{3412.15} \quad (2.16)$$

Donde:

$\dot{Q}_{skTi}$ : carga sensible de enfriamiento debido a conducción interna [kW]  
 $U$ : coeficiente de transferencia de calor por conducción  $\left[ \frac{Btu}{h*ft^2*°F} \right]$   
 $A$ : área [ft<sup>2</sup>]  
 $\Delta T_d$ : Diferencia de temperaturas de diseño [°F]  
 $\frac{1}{3412.15}$ : factor de conversión  $\left[ \frac{kW*h}{Btu} \right]$

#### 2.1.2.5 Intercambio de aire

El cálculo de cargas de enfriamiento debidas al intercambio de aire, tiene dos componentes: sensible y latente.

Para la determinación de ganancias sensibles se utiliza el flujo de calor sensible dado por:

$$\dot{Q}_{SI} = \rho * c_p * Q_{cfm} * \Delta T_d * \frac{1}{3412.15} \quad (2.17)$$

Donde:

$\dot{Q}_{SI}$ : carga sensible de enfriamiento debido a intercambio de aire [kW]  
 $\rho$ : densidad del aire  $\left[ \frac{lbm}{ft^3} \right]$   
 $c_p$ : Calor específico  $\left[ \frac{Btu}{lbm*°F} \right]$   
 $Q_{cfm}$ : caudal [cfm]  
 $\Delta T_d$ : Diferencia de temperaturas de diseño [°F]  
 $\frac{1}{3412.15}$ : Factor de conversión  $\left[ \frac{kW*h}{Btu} \right]$

De igual manera para la determinación de la ganancia de calor latente debido al intercambio de aire se utiliza la ecuación definida a continuación (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010, pág. 314):

$$\dot{Q}_{LI} = \rho * h_{fg} * Q_{cfm} * \Delta\omega * \frac{1}{3412.15} \quad (2.18)$$

Donde:

- $\dot{Q}_{LI}$ : carga latente de enfriamiento debido a intercambio de aire [kW]
- $\rho$ : densidad del aire  $\left[\frac{lb_m}{ft^3}\right]$
- $h_{fg}$ : Calor latente de vaporización  $\left[\frac{Btu}{lb_m}\right]$
- $Q_{cfm}$ : caudal de aire [cfm]
- $\Delta\omega$ : Variación de humedad absoluta  $\left[\frac{lb_{vap}}{lb_{aire}}\right]$
- $\frac{1}{3412.15}$ : Factor de conversión  $\left[\frac{kW*h}{Btu}\right]$

### 2.1.3 ARGUMENTOS GENERALES

Para la implementación del método CLTD CLF en el software de cálculo de cargas térmicas de enfriamiento, se asumirá condiciones de trabajo que determinan la forma en que se realiza el cálculo de cargas. Dichas consideraciones se mencionan de forma general para el método y puntualmente en la determinación de cargas en: ventanas, techos, paredes, ocupantes, equipos eléctricos e iluminación, intercambio de aire y análisis de orientación óptima. Los argumentos generales son:

- La aplicación del software tiene como objetivo principal ser funcional en Ecuador, razón por la cual los datos utilizados de SHGF de ASHRAE corresponden a los de latitudes comprendidas en el intervalo  $[8^\circ, -8^\circ]$ .
- No se considera cargas de calentamiento.
- En algunos casos el usuario puede ingresar los datos del material que desee, al tratarse de un elemento de la envolvente externa se debe proveer el valor de  $U$ , el peso por unidad de área y la capacidad calorífica; mientras que al tratarse de un elemento interno únicamente deberá ingresar el valor de  $U$ .
- Al ingresar las características de un material de la envolvente externa no listado, el software filtra los datos ingresados para buscar y seleccionar el material con peso por unidad de área y capacidad calorífica más cercano.

- La ganancia máxima mensual se calcula hora a hora en un día tipo del mes de análisis.

### 2.1.3.1 Ventanas

Para el cálculo de la carga de enfriamiento debido a ventanas, se dispone de 16 orientaciones cada 22.5° a partir del norte. Almacena 5 arreglos con diferentes materiales y espesores como acrílico de 3[mm] y 6[mm] de espesor, vidrio simple de hasta 6[mm], vidrios dobles de 3[mm] con 6[mm] de separación y de 6[mm] con 12[mm] de separación.

Los marcos de las ventanas pueden ser metálicos, de madera o ninguno. No contempla mecanismos de sombra externa ni de sombra exterior aledaña causada por objetos circundantes.

La sombra interior puede ser causada por persianas, persianas entre vidrios en dos colores diferentes, cortinas o ninguna. En el caso de no tener sombra interior, se considera únicamente un valor medio de masa contenida en el espacio, esto es alrededor de  $70 \left[ \frac{lb}{ft^2} \right] \equiv 340 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$ .

### 2.1.3.2 Techos

En el cálculo de conducción en techos, se considera únicamente cubiertas planas horizontales interiores o exteriores. Sin considerar el uso de cielo falso.

Para el caso de techo externo, las estructuras provistas se conforman de: viga metálica, malla metálica, 4[in] de concreto y una membrana de aislamiento o 12[in] de concreto y una membrana de aislamiento, por otra parte los techos internos conservan las mismas estructuras con la diferencia de la membrana de aislamiento reemplazada por baldosa, parquet y alfombra.

### 2.1.3.3 Paredes

La carga de enfriamiento debido a paredes, considera 12 opciones registradas en el software y una opción para el ingreso personalizado. Los materiales disponibles son: concreto de 10[cm], concreto de 10[cm] y aislante de 2.5[cm], concreto de 10[cm] y aislante de 5[cm], concreto de 20[cm], concreto de 20[cm] y aislante de 2.5[cm], concreto de 20[cm] y aislante de 5[cm], bloque de 10[cm] y espacio de aire, bloque de 10[cm] y aislante de 2.5[cm], espacio de aire y bloque de 10[cm], bloque

de 20[cm], bloque de 20[cm] y espacio de Aire, bloque de 20[cm] y aislante de 2.5[cm] y otro.

Para paredes internas, se tiene 4 arreglos denominados pared común, vidrio, paneles de gypsum y otro.

En la Figura 2.1 se muestra una imagen de un tipo de pared con la estructura interna y sus distintos materiales que la configuran, correspondiente a Bloque de 10[cm] y aislante de 2.5 [cm].

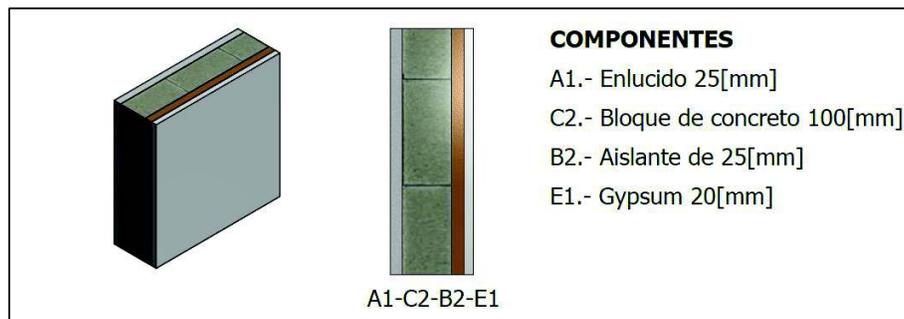


Figura 2.1: Ejemplo de selección de tipo de pared.

Fuente: Propia

#### 2.1.3.4 Ocupantes

Para el caso de la carga por ocupantes, la selección de actividades puede ser: descansando, escribiendo, alimentándose, tipeando, de pie (caminando) y trabajo de escritorio con sus respectivas ganancias sensibles y latentes.

El valor del  $CLF_{p-h}$  en la ecuación ( 2.10) para ganancia sensible es uno, ya que el equipo de aire acondicionado únicamente funciona en horas laborables.

#### 2.1.3.5 Equipos eléctricos e iluminación

Las ecuaciones ( 2.13) y ( 2.15) para el cálculo de cargas de enfriamiento, el factor de uso  $F_U$  tiene valor uno. El término # representa el número de lámparas o equipos prendidos simultáneamente. Los términos de  $CLF_{Il-h}$  y  $CLF_{A-h}$  toman un valor de uno ya que el equipo de aire acondicionado no funcionará las 24 horas.

No se consideran aparatos eléctricos que aporten con ganancia de calor latente, excepto en el caso en que el usuario provea dicho valor al software.

### 2.1.3.6 Intercambio de aire

La carga debido al intercambio de aire, considera la densidad de acuerdo a la altura geográfica del sitio de estudio. Únicamente se considera el caudal de ventilación y el valor del calor específico es constante e igual a  $0.24 \left[ \frac{Btu}{lb_m * ^\circ F} \right]$ , mientras que, el valor de calor latente de vaporización será calculado de acuerdo a la temperatura interna de diseño.

### 2.1.3.7 Cálculo de la orientación óptima

Para la ubicación óptima del edificio, el software realiza el cálculo de las ganancias térmicas para todas las orientaciones, girando  $22.5^\circ$  como un conjunto completo desde orientaciones definidas (N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSO, SO, OSO, O, ONO, NO, NNO).

Al realizar este análisis el software parte desde la posición del primer elemento definido por el usuario, tomándolo como punto de referencia y avanzando en sentido horario. Los resultados obtenidos se muestran tabulados para mes, orientación y hora, gráficamente se presenta la orientación ingresada por el usuario y la óptima.

## 2.2 DISEÑO DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN

### 2.2.1 ARGUMENTOS GENERALES

Con el fin de desarrollar un software para el dimensionamiento de ductos en sistemas de ventilación, se ha tomado ciertas consideraciones para su implementación, en general condiciones de funcionamiento, puntualmente otras características que tendrá el software en cuanto a: pérdidas de presión, ductos rectangulares, materiales y accesorios considerados.

- Para el dimensionamiento de ductos se usa el método de fricción equivalente.
- El caudal de aire real necesario, se lo consigue con los catálogos de difusores y rejillas a utilizarse, usualmente son valores cerrados y no exactos como los que se obtiene con las ecuaciones ( 1.1) y ( 1.2); por ejemplo al tener un ambiente que necesita 90[cfm], se determina el uso de dos

difusores de 50[cfm] cada uno, de esta manera el caudal real necesario para dicho ambiente será 100[cfm].

- El valor límite de caudal es 50000[cfm] con el fin de abastecer cualquier demanda.
- Diámetro necesario es el valor exacto del diámetro de un ducto de sección circular que provocaría la caída de presión deseada para un cierto caudal de aire en una longitud de 100[ft].
- Diámetro de ducto es el diámetro nominal con el que se construye un ducto de sección circular, es un número entero y par.
- Diámetro equivalente es el diámetro que tendría un ducto circular que ofrezca las mismas características que uno de sección no circular.
- Diámetro de manguera es el diámetro que poseerá una manguera flexible, tomando un valor entero y par.
- Al tratarse de una manguera flexible, se usará el material de mayor rugosidad y se le asignará las propiedades del ducto de diámetro equivalente más cercano al necesario de acuerdo al caudal que conduce.
- La longitud de cada ducto se toma entre accesorios.
- Los accesorios son elementos puntuales en el diagrama unifilar.

#### **2.2.1.1 Pérdidas de presión**

La pérdida de presión por fricción ocurre únicamente en ductos de ventilación mecánica, mientras que, las pérdidas dinámicas se dan en accesorios. En accesorios como: rejillas, difusores, louvers, filtros, entre otros, la caída de presión es la proporcionada por el fabricante.

La velocidad del aire en un accesorio se asume constante a lo largo de toda su extensión, cuyo valor es la del ducto anterior en la dirección del caudal.

La caída de presión de la ruta crítica, corresponde a la suma de las caídas de presión de todos los elementos de dicha ruta, desde el ventilador hasta la rejilla o difusor. En el caso de existir caídas de presión negativas, se asume un valor de cero.

### 2.2.1.2 Ductos rectangulares

El dimensionamiento de ductos rectangulares se realiza con el valor de diámetro equivalente.

El alto máximo de conductos de aire alcanza un valor igual al del ancho, mientras que, el valor mínimo podría darse en una proporción de 1 a 3. En ductos montantes, se busca el empleo de ductos de sección cercana a cuadrada, con sus dimensiones en una proporción mínima de 1 a 2 y máxima de 1 a 1.

### 2.2.1.3 Materiales y accesorios considerados

Para el cálculo de dimensionamiento de ductos de ventilación es necesario conocer el factor de rugosidad absoluta del material, ASHRAE considera categorías de rugosidad como: liso. Liso medio, rugosidad media y rugoso.

Para un material *liso* con una rugosidad absoluta de  $\varepsilon = 0.0001[ft]$ , correspondiente a materiales como acero al carbón sin revestimiento y tubería de plástico PVC.

La rugosidad absoluta con un valor de  $\varepsilon = 0.0003[ft]$ , correspondiente a un material *liso medio*, como el acero galvanizado costura longitudinal 4[ft], acero galvanizado rolado continuo costura espiral 10[ft] y acero galvanizado costura espiral 1, 2 o 3 cordones 12[ft].

Para un material de *rugosidad media* o *rugoso*, con valores de  $\varepsilon = 0.003[ft]$  y  $\varepsilon = 0.01[ft]$  respectivamente, se tiene materiales como acero galvanizado espiral corrugado 10[ft], fibra de vidrio ducto rígido y fibra de vidrio sin revestimiento interno para el caso de rugosidad media. En materiales rugosos, se tiene fibra de vidrio con revestimiento interno, ducto flexible completamente extendido y ducto flexible metálico completamente extendido.

Los accesorios que se consideran para la implementación del software, son transiciones (reducciones y ampliaciones), codos y derivaciones (Y de suministro, Y y bota de extracción).

Para el caso de suministro de aire, se considera transiciones (reducciones o ampliaciones), codos a 90° y derivaciones (Y). En cambio, en extracción se tiene transiciones, codos a 90° y derivaciones (Y y botas o T).

## CAPÍTULO III.

### SOFTWARE

Este capítulo contiene información acerca de cada software desarrollado: *Ventilación mecánica* y *Cargas térmicas de enfriamiento*; su alcance, características, herramientas utilizadas y la respectiva guía del usuario para una mejor comprensión y una correcta utilización (presente en el Anexo C y en el Anexo D respectivamente). En ambos casos existen imágenes que detallan de manera general su interacción con el usuario y los recursos del software, el algoritmo de funcionamiento, las pantallas, las opciones y también los diagramas de flujo.

### 3.1 SOFTWARE DE VENTILACIÓN MECÁNICA

#### 3.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El software fue diseñado y desarrollado mediante el paquete de programación Microsoft Visual Studio 2010 como parte de una herramienta de análisis de AutoCAD 2012.

En la Figura 3.1 se tiene una idea global del desarrollo del software, considerando las entradas, salidas y la interacción que realiza el usuario. El apartado correspondiente a medios de validación, nos presenta la forma de homologar el programa, ya sea recreando una parte del diagrama de Moody para el correcto uso del factor de fricción o mediante el uso de un método analítico y tablas de ASHRAE con el fin de verificar las alternativas presentadas por el programa. La sección de herramientas interactivas, muestra el manejo de AutoCAD para la realización del esquema unifilar y toma de longitud de ducto de ventilación mecánica, la exportación e importación de ductos rectangulares seleccionados mediante un archivo de texto y la visualización externa del listado final de ductos en Excel; finalmente para los fundamentos teóricos se tiene los principios ocupados en la elaboración y diseño del programa.

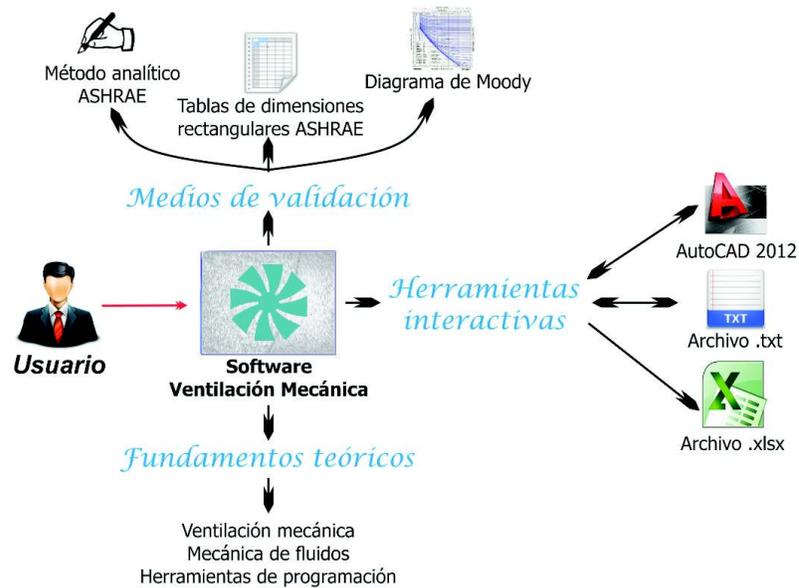


Figura 3.1: Esquema de interacción del software.

Fuente: Propia.

La estructura de compilación y ejecución del software se encuentra esquematizado en la Figura 3.2.

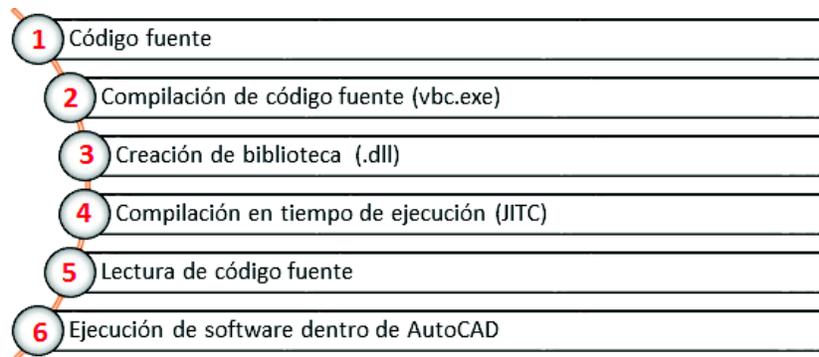


Figura 3.2: Esquema de compilación y ejecución del software.

Fuente: Propia.

Una vez cargado y ejecutado el software dentro de AutoCAD, es posible realizar las siguientes actividades:

- a) Dimensionar ductos de ventilación mecánica sea en suministro o extracción de aire, para materiales como: acero al carbón, acero galvanizado, fibra de vidrio, ducto flexible metálico y otros materiales ingresados por el usuario.
- b) Ingresar la altura geográfica del sector en el cual van a ser instalados los ductos de ventilación.

- c) Guardar y exportar el dimensionamiento de ductos hacia un archivo .txt y excel respectivamente.
- d) Cargar el archivo .txt de dimensionamiento de ductos con el propósito de continuar el dimensionamiento.
- e) Insertar accesorios comúnmente usados en las instalaciones.
- f) Calcular la caída de presión en los diferentes ramales mediante la selección de la línea más crítica dentro del sistema de ventilación.
- g) Comparar las diferentes caídas de presión con el objetivo de conocer qué línea es la más crítica.
- h) Exportar de forma individual cada cálculo de caída de presión o el total de líneas calculadas.

### 3.1.2 ESTRUCTURA

El software se encuentra constituido por tres formularios: pantalla de inicio, pantalla de ingreso de parámetros de generales, pantalla de cálculo y análisis de resultado.

#### 3.1.2.1 Pantalla de inicio

La pantalla de inicio del software es una presentación en la cual se detalla el título del programa, las personas involucradas en el desarrollo y dirección del mismo, tal como se puede visualizar en la Figura 3.3.



Figura 3.3: Pantalla de inicio.

### 3.1.2.2 Pantalla de ingreso de parámetros de generales

Esta pantalla permite al usuario ingresar los datos generales necesarios para el dimensionamiento de ductos rectangulares de aire y para el cálculo de la caída de presión en las distintas líneas del sistema, representada en la Figura 3.4.

Dentro de los parámetros generales constan: tipo de ventilación (suministro o extracción de aire), material de construcción (acero al carbón, acero galvanizado, fibra de vidrio, ducto flexible metálico y otro tipo de material ingresado por el usuario), pérdida por fricción (0.01 [in. wg] - 10 [in. wg] con incrementos de 0.01 [in. wg]), altura sobre el nivel del mar y densidad del aire (acorde a la altura geográfica).

Figura 3.4: Pantalla de ingreso de datos generales.

### 3.1.2.3 Pantalla de cálculo y análisis de resultado

La pantalla de cálculo y análisis de resultado, a su vez se divide en 3 pantallas secundarias; la distribución se puede apreciar en la Figura 3.5.

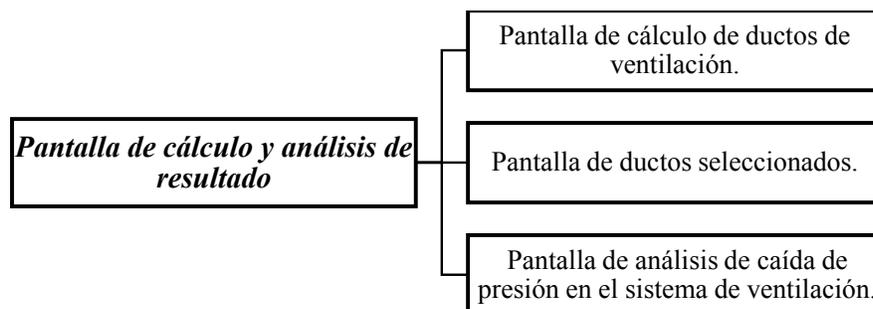


Figura 3.5: Distribución general de pantalla de cálculo y análisis de resultado.

Fuente: Propia.

La *pantalla de cálculo de ductos de ventilación* presenta las opciones de ductos de ventilación, para lo cual el usuario debe ingresar los siguientes datos: tipo de ducto de ventilación (montante, regular o flexible), flujo de aire, longitud de tramo (medida en [ft], tomado del diagrama unifilar de AutoCAD), # de tramo (descripción o numeración del tramo a ser ingresado). Cada una de las opciones se representa en la Figura 3.6.

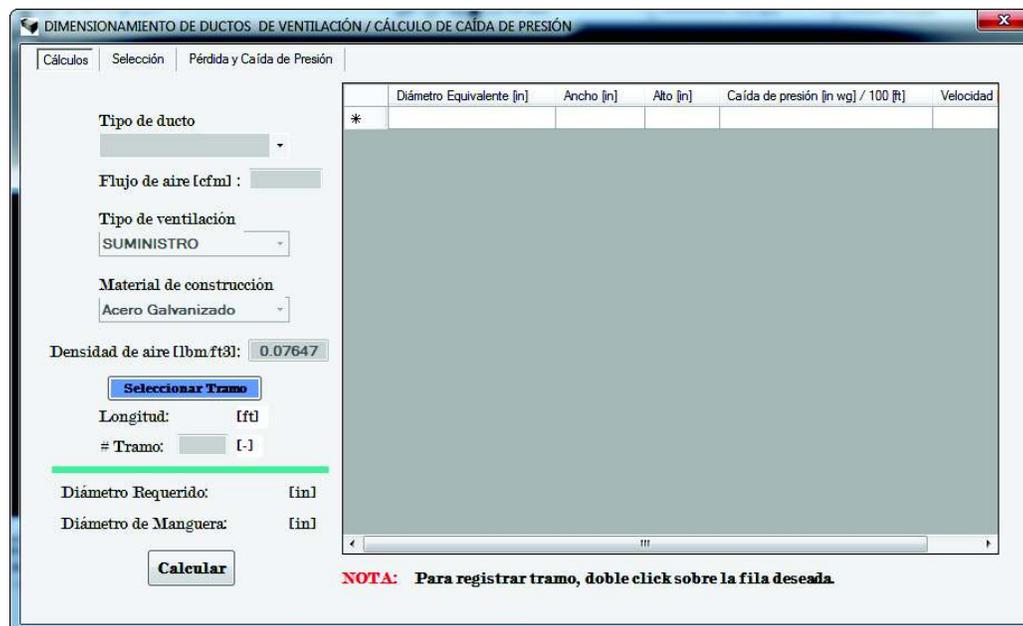


Figura 3.6: Pantalla de cálculo de ductos de ventilación.

Una vez ingresado los datos requeridos, el programa presenta una serie de opciones de ductos de ventilación que se ajustan a los deseados por el usuario, tanto en caída de presión como en diámetro requerido.

En la Figura 3.7, la sección A representa el cuadro de opciones de los distintos ductos de aire. Para cada ducto rectangular se puede apreciar el diámetro equivalente [in], ancho [in], alto [in], caída de presión [in. wg / 100 ft], velocidad del fluido [fpm].

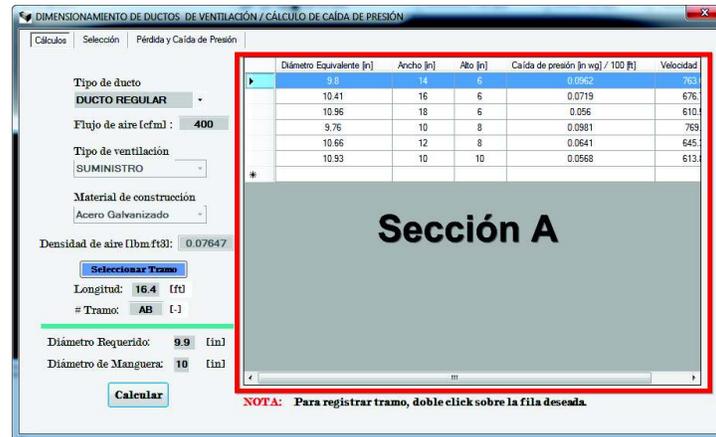


Figura 3.7: Opciones de ductos de ventilación desplegados en la sección A.

Para la *pantalla de ductos seleccionados* se tiene dos secciones A y B, representadas en la Figura 3.8.

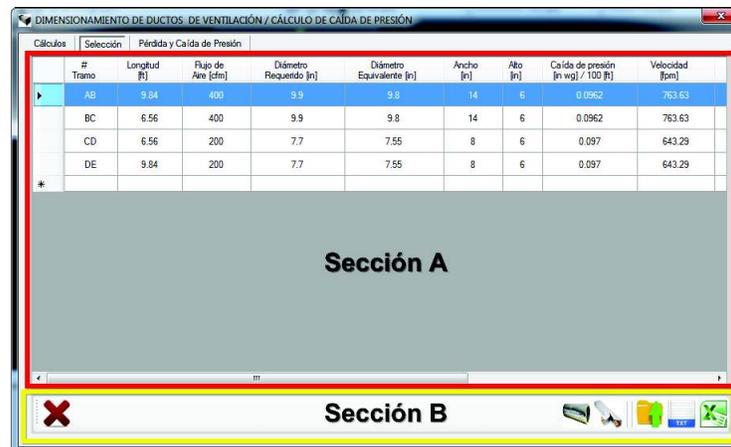


Figura 3.8: Pantalla de ductos seleccionados, distribución general del software.

Cada una de las secciones antes mencionadas, se describe de manera general en la Figura 3.9.

**Pantalla de ductos seleccionados**

- **Sección A:** Representa un cuadro resumen de los ductos de aire registrados.
- **Sección B:** Es una barra de herramientas, que consta de los siguientes botones: eliminar registro, agregar accesorios, cálculo de caída de presión, cargar archivos .txt, guardar en archivo .txt y exportar a Excel .

Figura 3.9: Descripción de secciones involucradas en la pantalla de ductos seleccionados.

Fuente: Propia.

Dentro de la sección B, al seleccionar el botón agregar accesorios se despliega una nueva pantalla dentro de la cual se encontrarán los accesorios que se deseen insertar en el diagrama unifilar AutoCAD, esta pantalla depende del tipo de ventilación sea suministro o extracción de aire.

Para el caso de suministro de aire, los accesorios que se dispone son: Y rectangular, codo a 90°, contracción y transición, mientras que para extracción se tiene: Y rectangular, codo a 90°, contracción, transición y T rectangular los cuales se pueden apreciar en la Figura 3.10 y Figura 3.11 respectivamente.

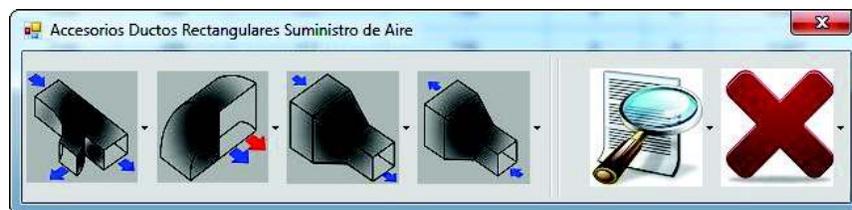


Figura 3.10: Pantalla de accesorios para suministro de aire.

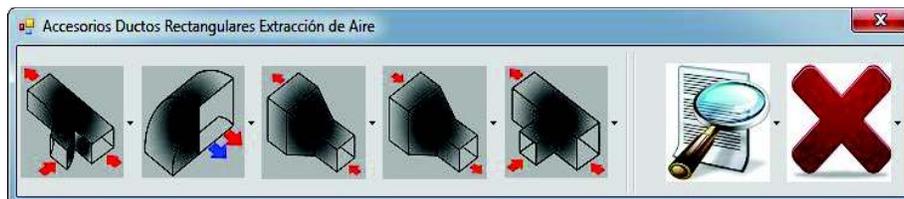


Figura 3.11: Pantalla de accesorios para extracción de aire.

El formulario correspondiente a la *pantalla de análisis de caída de presión en el sistema de ventilación*, lleva a cabo el cálculo de la caída de presión del sistema, seleccionando la ruta o rutas críticas a ser analizadas, esta ventana consta de dos secciones como se puede apreciar en la Figura 3.12.

La sección A representa un esquema jerárquico, producto de la selección continua y ordenada de ductos de ventilación y accesorios diagramados en el esquema unifilar.

Mientras que, la sección B es un conjunto de páginas que muestran el desglose de cada cálculo involucrado en la caída de presión, resultados globales de las líneas críticas y ventanas de ingreso de parámetros para el cálculo de la pérdida de presión de cada accesorio.

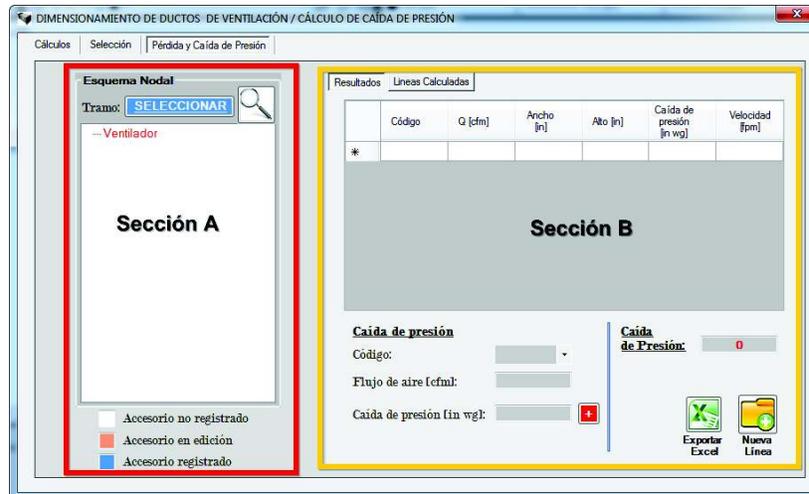


Figura 3.12: Pantalla de análisis de caída de presión en el sistema de ventilación.

### 3.1.3 DIAGRAMA DE FLUJO

En la Figura 3.13, se ilustra el proceso paso a paso que sigue el software con el fin de realizar el correcto cálculo de dimensiones de ductos rectangulares y caída de presión en las diferentes líneas de ventilación, sea en suministro o extracción de acuerdo al material de construcción y la pérdida de fricción registrada por el usuario.

### 3.1.4 MANUAL DEL USUARIO

Este trabajo contiene también una breve sección denominada manual, destinada a direccionar al usuario en los primeros pasos en cuanto al uso del software.

El manual del usuario para el software de ventilación mecánica se encuentra en el Anexo C.

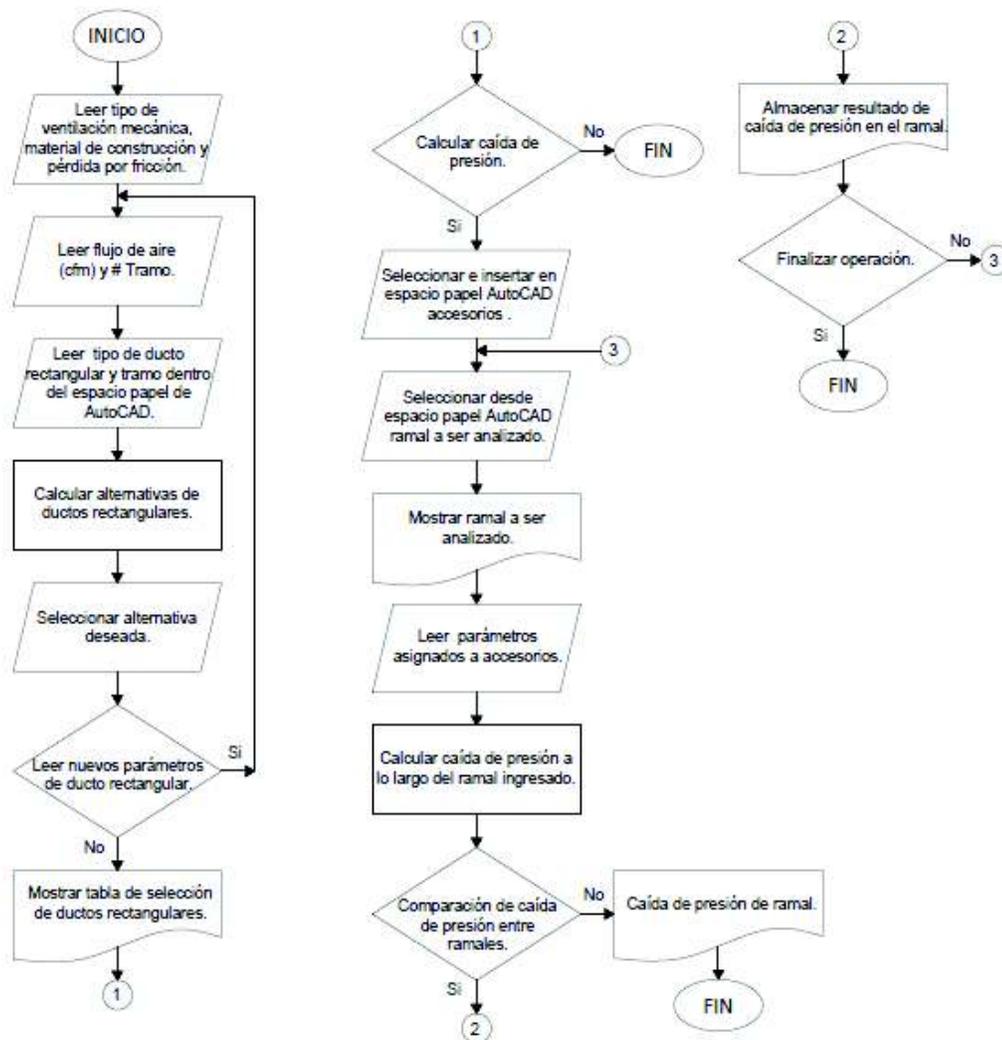


Figura 3.13: Diagrama de flujo del software de ventilación mecánica.

Fuente: Propia.

## 3.2 SOFTWARE DE CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS DE ENFRIAMIENTO

### 3.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El programa de cálculo de cargas térmicas de enfriamiento fue diseñado mediante la herramienta CorelDraw y desarrollado por medio del paquete de programación Microsoft Visual Studio 2010, en la Figura 3.14 se detalla de forma global los recursos utilizados por el software.

La Figura 3.14 describe de manera global los recursos involucrados en el desarrollo del software de cargas térmicas de enfriamiento, considerando las entradas, salidas e interacciones hacia el mismo. Para el apartado de medios de validación se ha utilizado el método analítico de ASHRAE detallado en el capítulo dos, la sección de herramientas interactivas implica el uso de una base de datos Access, exportación de documentos e imágenes hacia Excel e Imagen png respectivamente. Finalmente para los fundamentos teóricos se tiene los principios ocupados en la elaboración y diseño del programa.

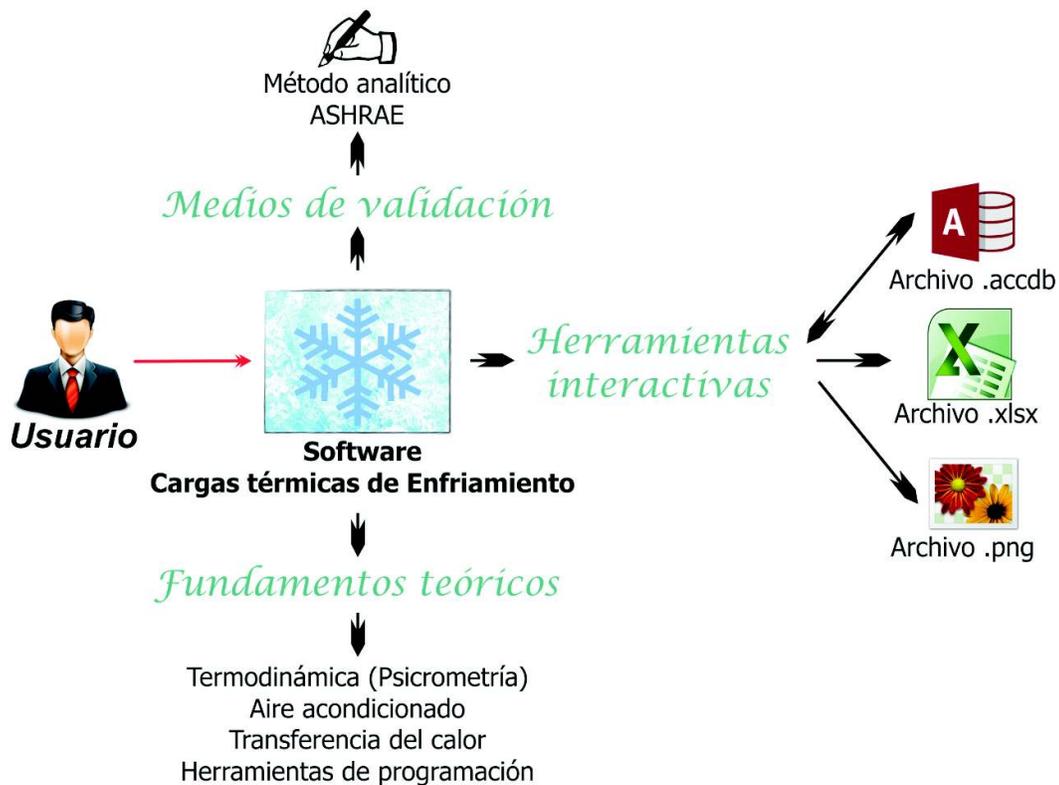


Figura 3.14: Esquema de interacción del software.

Fuente: Propia.

En la Figura 3.15 se presenta un esquema general para el cálculo de la carga de enfriamiento de acuerdo a la procedencia y al tipo de ganancia ingresado.

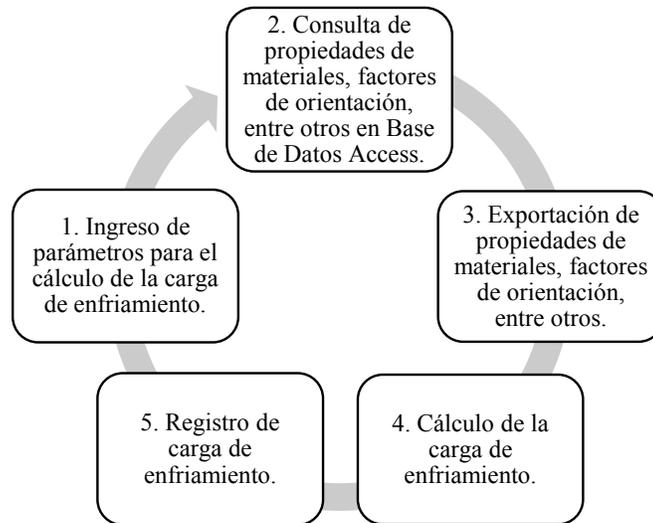


Figura 3.15: Esquema general de cálculo de carga de enfriamiento.

Fuente: Propia.

El software es capaz de realizar las siguientes acciones:

- a) Calcular la carga de enfriamiento de acuerdo al nivel de procedencia, sea en cristal externo o interno, pared externa o interna, techo externo o interno, personas, puertas, iluminación, intercambio de aire y aparatos eléctricos.
- b) Eliminar carga de enfriamiento no deseada.
- c) Editar una determinada carga de enfriamiento.
- d) Ilustrar la carga total de enfriamiento de forma anual o mensual.
- e) Exportar el cálculo detallado de cada carga de enfriamiento, así como los gráficos creados.
- f) Recalcular las mismas cargas de enfriamiento en otras condiciones.
- g) Calcular la orientación óptima con el fin de minimizar la carga de enfriamiento.
- h) Comparar mediante un gráfico la carga total de enfriamiento hallada con la menor carga de enfriamiento calculada.
- i) Guardar el proyecto desarrollado.
- j) Abrir proyecto desarrollado.

### 3.2.2 ESTRUCTURA

El software se encuentra constituido por dos formularios: pantalla de inicio y pantalla de ingreso de parámetros generales.

#### 3.2.2.1 Pantalla de inicio

Es una presentación en la cual se detalla el título del programa, las personas involucradas en el desarrollo y dirección del mismo, tal como muestra la Figura 3.16.



Figura 3.16: Pantalla de inicio.

#### 3.2.2.2 Pantalla de ingreso de parámetros generales

Esta pantalla consta de cinco secciones, como muestra la Figura 3.17.

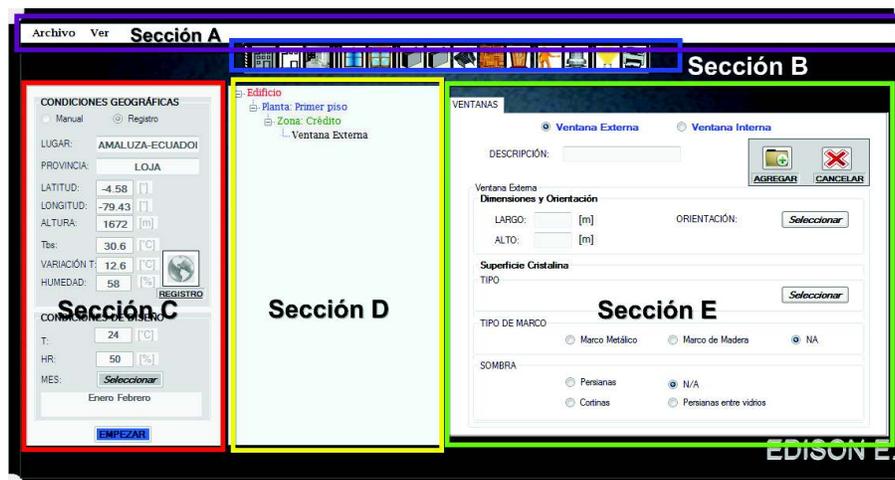


Figura 3.17: Pantalla de ingreso de parámetros generales.

La sección A, representa una barra de menú dotada de dos opciones: archivo y ver, cada una de ellas despliega diferentes elecciones representadas en la Figura 3.18.

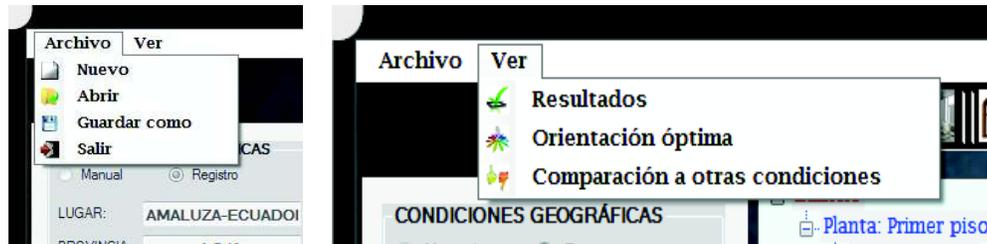


Figura 3.18: Barra de menú.

La opción Resultados, genera una pantalla dentro de la cual se puede observar el desglose de la carga de enfriamiento (Figura 3.19), así como un esquema hora a hora (Figura 3.20).

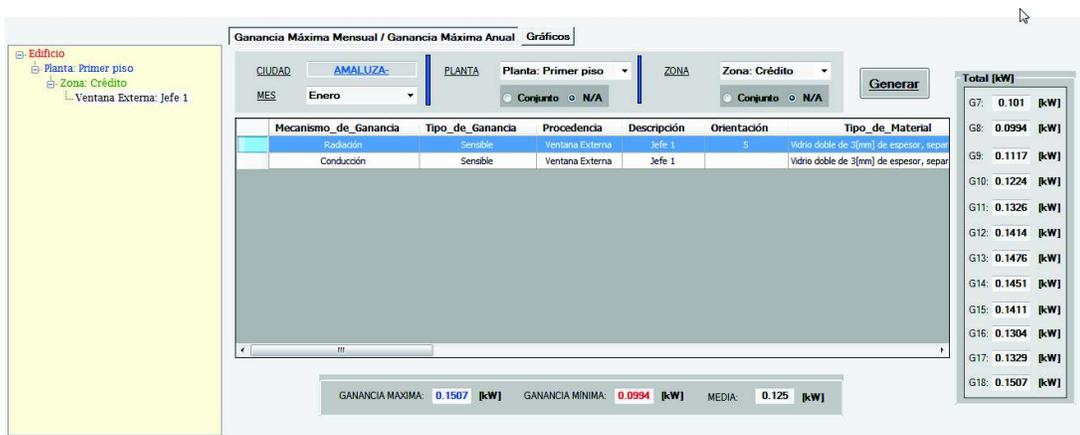


Figura 3.19: Pantalla de resultados.



Figura 3.20: Pantalla de gráficos de resultados.

La Figura 3.21 muestra el esquema jerárquico que permite realizar la edición y el descarte de una determinada carga.



Figura 3.21: Opciones de edición y descarte.

De igual manera la opción Orientación óptima, muestra una ventana dentro de la cual se genera el análisis de la menor carga al ir variando el parámetro de orientación (Figura 3.22), así como también un esquema comparativo hora a hora de forma anual, mensual o comparación mensual (Figura 3.23).

Mes	Orientación	TGanancia_7_kW	TGanancia_8_kW	TGanancia_9_kW	TGanancia_10_kW	TGanancia_11_kW	TGanancia_12_kW
Enero	S	0.1010	0.0994	0.1117	0.1224	0.1326	
Enero	SSO	0.0426	0.0551	0.0651	0.0751	0.0813	
Enero	SO	0.0355	0.0452	0.0549	0.0613	0.0656	
Enero	OSO	0.0353	0.0423	0.0494	0.0564	0.0611	
Enero	O	0.0296	0.0362	0.0428	0.0494	0.0537	
Enero	ONO	0.0257	0.0309	0.0360	0.0412	0.0448	
Enero	NO	0.0155	0.0198	0.0226	0.0269	0.0322	
Enero	NNO	0.0090	0.0116	0.0141	0.0173	0.0287	
Enero	N	0.0100	0.0144	0.0238	0.0363	0.0480	
Enero	NNE	0.0199	0.0347	0.0462	0.0520	0.0531	
Enero	NE	0.0806	0.1046	0.1145	0.1117	0.0972	
Enero	ENE	0.1724	0.2033	0.2059	0.1853	0.1401	
Enero	E	0.2369	0.2632	0.2501	0.2040	0.1360	
Enero	ESE	0.2680	0.2822	0.2504	0.1834	0.1104	
Enero	SE	0.2452	0.2388	0.1872	0.1194	0.0947	
Enero	SSE	0.1929	0.1553	0.1052	0.0927	0.0938	
Febrero	S	0.0620	0.0611	0.0686	0.0751	0.0819	
Febrero	SSO	0.0343	0.0444	0.0525	0.0605	0.0657	
Febrero	SO	0.0331	0.0421	0.0511	0.0571	0.0612	
Febrero	OSO	0.0352	0.0423	0.0493	0.0564	0.0610	
Febrero	O	0.0316	0.0387	0.0457	0.0527	0.0573	
Febrero	ONO	0.0298	0.0358	0.0417	0.0477	0.0518	
Febrero	NO	0.0219	0.0278	0.0318	0.0378	0.0448	

MES DE ANÁLISIS: Enero

ORIENTACIÓN DESEADA  
Mes: Enero  
Orientación: N

Archivo | Análisis de Ganancia

Figura 3.22: Pantalla de resultados de orientación óptima.

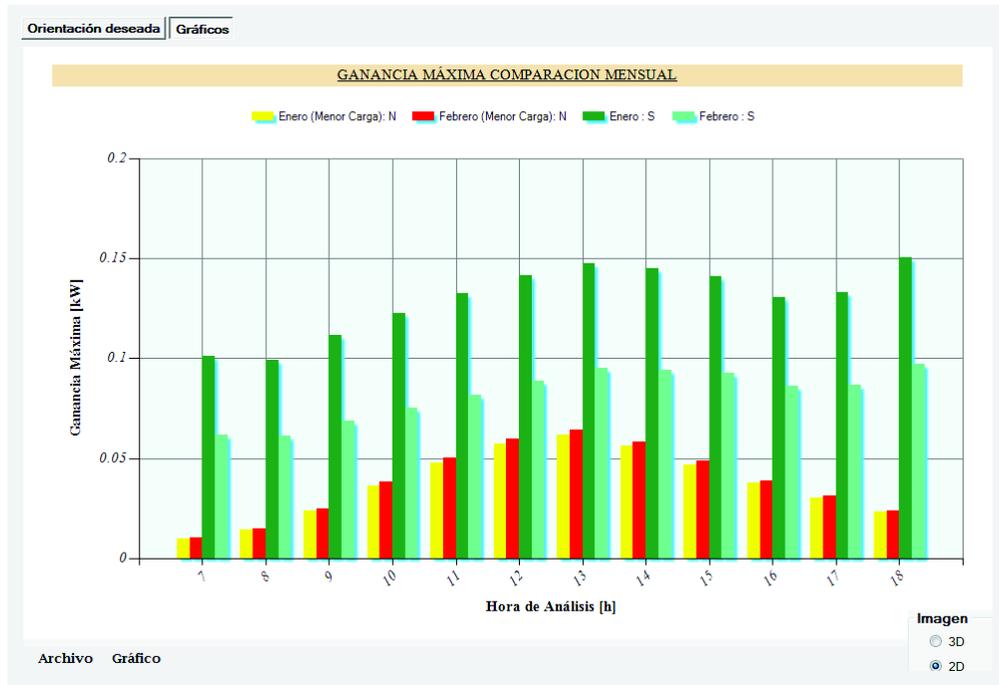


Figura 3.23: Pantalla de gráficos de resultados de orientación óptima.

Finalmente, la opción Comparación a otras condiciones permite al usuario realizar un recálculo ingresando nuevamente las condiciones geográficas y condiciones de diseño provistas en la sección C.

Dentro de la sección B se encuentra la procedencia de la carga de enfriamiento ingresada por el usuario. La sección C consta de las condiciones geográficas y condiciones de diseño del lugar de análisis, establecidas por el usuario. Dentro de esta sección el ingreso puede darse de manera manual o mediante el uso de un registro dotado por el software.

Mientras que, la sección D representa un esquema jerárquico, producto del ingreso de la carga de enfriamiento de una determinada procedencia de forma continua y ordenada. Finalmente la sección E es un conjunto de páginas que muestran los parámetros a ser ingresados dependiendo de la procedencia de la carga.

### 3.2.3 DIAGRAMA DE FLUJO

En la Figura 3.24, se ilustra el proceso paso a paso que sigue el software para calcular la carga de enfriamiento, la orientación óptima y el recálculo a otras condiciones. Además de permitir al usuario guardar y exportar los archivos que sean de su interés.

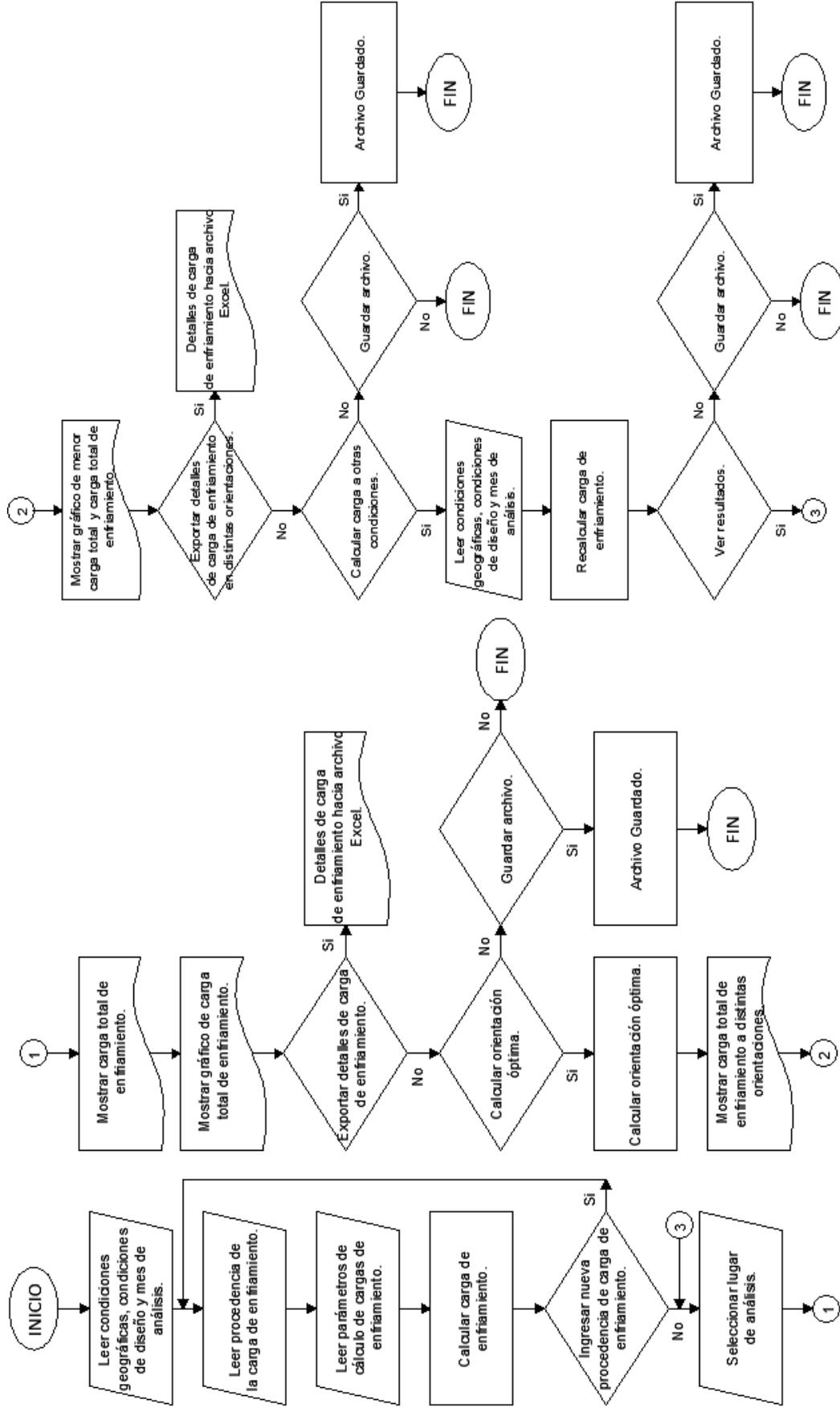


Figura 3.24: Diagrama de flujo del software de cargas de enfriamiento.  
Fuente: Propia.

### **3.2.4 MANUAL DEL USUARIO**

En el Anexo D se encuentra el manual del usuario del software de cálculo de cargas térmicas de enfriamiento, donde se dará una breve inducción al uso del software, así como de los requerimientos para su uso e instrucciones de instalación.

## CAPÍTULO IV.

### VALIDACIÓN DEL SOFTWARE

Para corroborar los resultados en cuanto al cálculo de cargas de enfriamiento como al dimensionamiento de sistemas de ductos ventilación se ha preparado el siguiente análisis de resultados, los cálculos han sido realizados mediante el procedimiento manual tomado de (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980) y de (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association, Inc., 2006), para luego ser comparados con aquellos obtenidos con cada software y evaluar de esta manera su desempeño.

#### 4.1 VENTILACIÓN MECÁNICA

Para la validación del software de ventilación mecánica se ha planteado 3 procesos, el primero corresponde al cálculo del valor del diámetro equivalente  $D_{eq}$ , seguido del cálculo del factor de fricción  $f$  mediante la ecuación de Colebrook-White y finalmente la comparación de la caída de presión en un sistema de ductos de ventilación en un edificio ubicado a nivel del mar que consta de dos plantas.

De acuerdo al procedimiento para el diseño de sistemas de ventilación detallado en la sección 1.7.1.4, se realiza la zonificación del edificio (Figura 4.1 y Figura 4.2) y el cálculo del caudal requerido presentado en la Tabla 4.1.

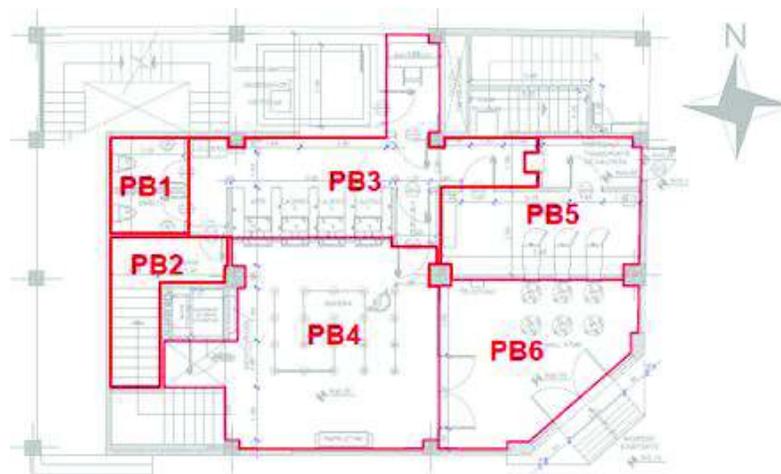


Figura 4.1: Zonificación de la planta baja.

Fuente: Propia.

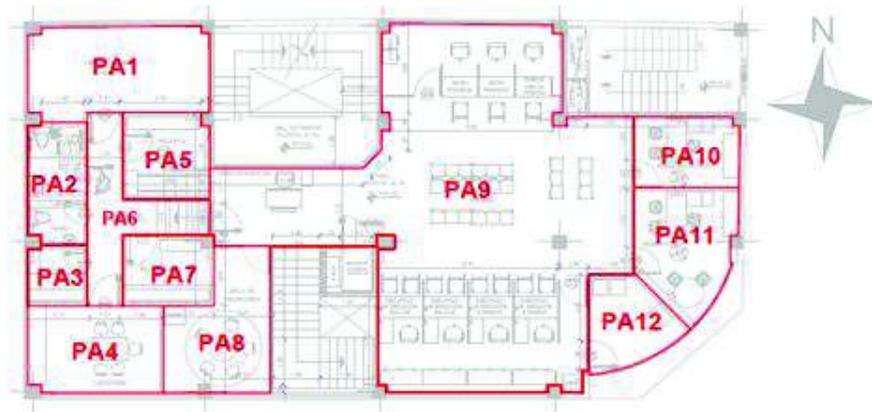


Figura 4.2: Zonificación de la planta alta.

Fuente: Propia

Tabla 4.1: Zonificación y caudal zonal requerido.

<i>TIPO</i>	<i>Facilidad</i>	<i>Zona</i>	<i>cfms totales</i>
<i>Suministro</i>	Proveeduría	PB 2	100
	Cajas	PB 3	200
	Espera	PB 4	600
	ATM	PB 5	200
	Rack	PA 1	150
	Utilería	PA 3	50
	Archivo	PA 5	100
	Pasillo	PA 6	150
	Proveeduría	PA 7	50
	S. Reuniones	PA 8	150
	Hall P.A.	PA 9	700
	Supervisor	PA 10	100
	Gerente	PA 11	150
	Habilitante	PA 12	50
<i>Extracción</i>	SSHH	PB 1	100
	SSHH	PA 2	100
	Cafetería	PA 4	150

Fuente: Propia.

#### 4.1.1 CÁLCULO DEL DIÁMETRO EQUIVALENTE

El diámetro equivalente  $D_{eq}$  de un ducto de sección rectangular es el diámetro que tendría un ducto circular que ofrezca las mismas características de tipo de flujo de aire y caída de presión.

En la Tabla 4.2 y en la Tabla 4.3, se muestra el diámetro equivalente para ductos de sección rectangular provista por SMACNA y los resultados obtenidos con el software utilizando la ecuación ( 1.9) respectivamente.

Tabla 4.2: Diámetro equivalente de dimensiones rectangulares SMACNA.

$a$ [in]	$b$ [in]				
	6	7	8	9	10
6	6,6	-	-	-	-
7	7,1	7,7	-	-	-
8	7,6	8,2	8,7	-	-
9	8	8,7	9,3	9,8	-
10	8,4	9,1	9,8	10,4	10,9

Adaptado de: (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association, Inc., 2006, págs. A6-A7)

Tabla 4.3: Diámetro equivalente de dimensiones rectangulares.

$a$ [in]	$b$ [in]				
	6	7	8	9	10
6	6,56	-	-	-	-
7	7,08	7,65	-	-	-
8	7,55	8,18	8,75	-	-
9	7,99	8,66	9,27	9,84	-
10	8,4	9,11	9,76	10,37	10,93

Fuente: Propia

#### 4.1.2 CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN MEDIANTE LA ECUACIÓN DE COLEBROOK-WHITE

El valor del factor de fricción  $f$  se obtiene con el diagrama de Moody en procedimientos manuales o por medios iterativos utilizando la ecuación de Colebrook-White.

El diagrama de Moody representado en la Figura 4.3 obedece a la ecuación de Colebrook-White, mientras que la Figura 4.4 obtenida con el software por medios iterativos, cumple las mismas condiciones y ha sido esquematizado para  $Re \geq 5000$ .

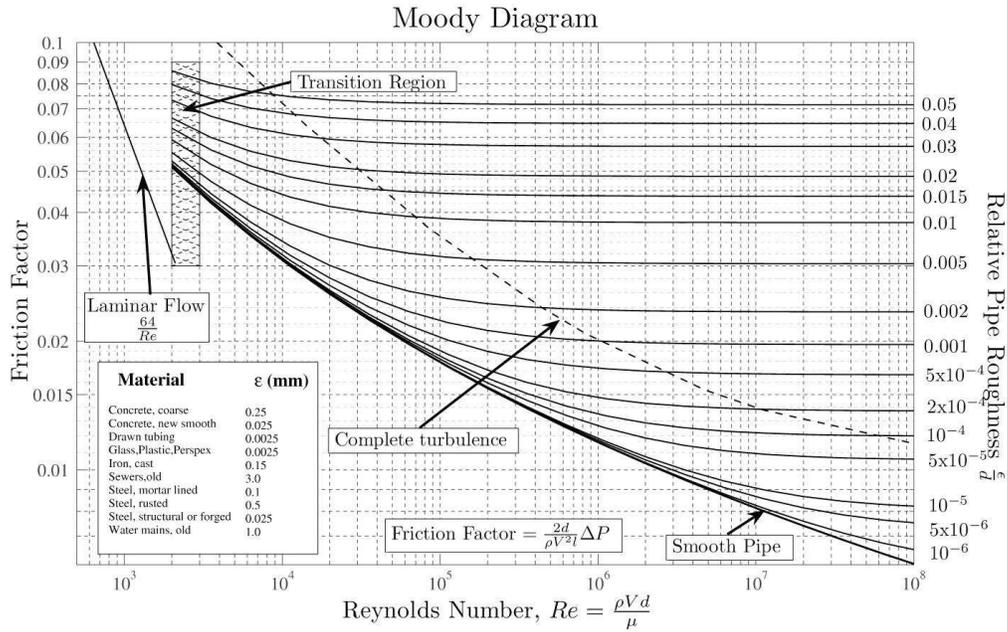


Figura 4.3: Diagrama de Moody.

Fuente: (ENGINEERING, s.f.).

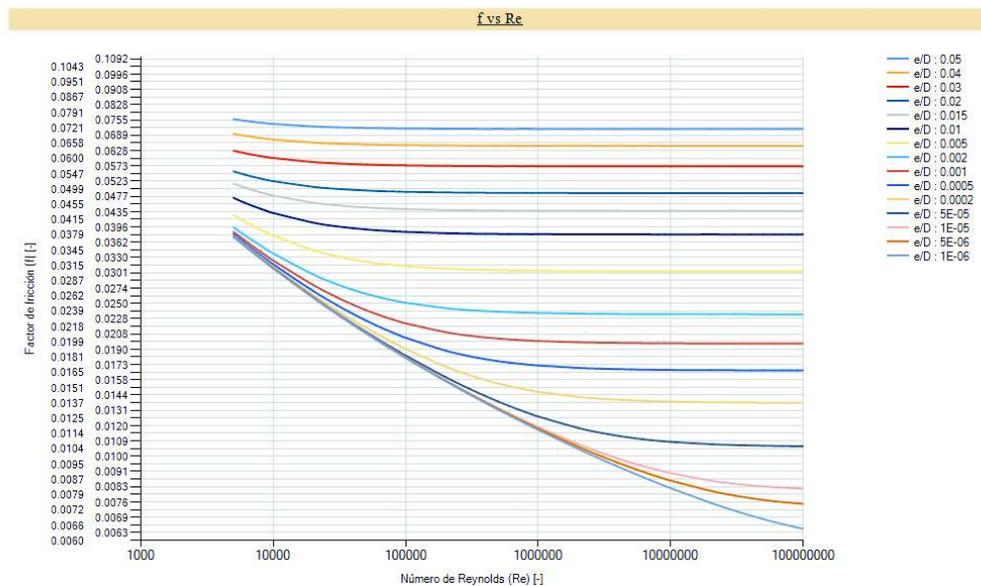


Figura 4.4: Obtención del factor de fricción mediante la ecuación de Colebrook-White.

Fuente: Propia.

La Tabla 4.4 presenta valores de  $f$  para diferentes  $\varepsilon/D$  y  $Re$  obtenidos del diagrama de Moody y del proceso iterativo del software.

Tabla 4.4: Comparación del factor de fricción  $f$ .

$Re$	FACTOR DE FRICCIÓN $f$ [-]					
	$\varepsilon/D = 0,00001$		$\varepsilon/D = 0,005$		$\varepsilon/D = 0,05$	
	Manual	Software	Manual	Software	Manual	Software
10000	0,031	0,03089	0,038	0,03762	0,072	0,07376
100000	0,018	0,01804	0,031	0,03130	0,071	0,07174
1000000	0,012	0,01187	0,03	0,03046	0,07	0,07154

Fuente: Propia.

Con el fin de validar el factor de fricción  $f$  obtenido con el software, se comprobará la ecuación ( 1.4) de Colebrook-White.

Por ejemplo para la curva  $\varepsilon/D=0.00001$  con  $Re=10000$  y  $f=0.03089$ , se tiene la siguiente igualdad:

$$\frac{1}{\sqrt{0.03089}} = -2\log\left(\frac{0.00001}{3.7} + \frac{2.51}{10000 * \sqrt{0.03089}}\right)$$

$$5.690 = 5.689$$

La Tabla 4.5 presenta los resultados de la ecuación de Colebrook-White, para cada factor de fricción  $f$  obtenido mediante el software.

Tabla 4.5: Resultados de la ecuación de Colebrook-White para los  $f$  encontrados.

$Re$	VALOR NUMÉRICO DE LA ECUACIÓN DE COLEBROOK-WHITE					
	$M. Izq. = M. Der.$					
	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}}\right)$					
	$\varepsilon/D = 0,00001$		$\varepsilon/D = 0,005$		$\varepsilon/D = 0,05$	
	$M. Izq.$	$M. Der.$	$M. Izq.$	$M. Der.$	$M. Izq.$	$M. Der.$
10000	5,690	5,689	5,156	5,155	3,682	3,681
100000	7,445	7,444	5,652	5,652	3,734	3,732
1000000	9,179	9,179	5,730	5,729	3,739	3,738

Fuente: Propia.

### 4.1.3 DISEÑO DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN DE AIRE

Una vez que el lugar de análisis ha sido zonificado, se procede a realizar el esquema unifilar del sistema de suministro y extracción de aire, representados en la Figura 4.5 y Figura 4.6.

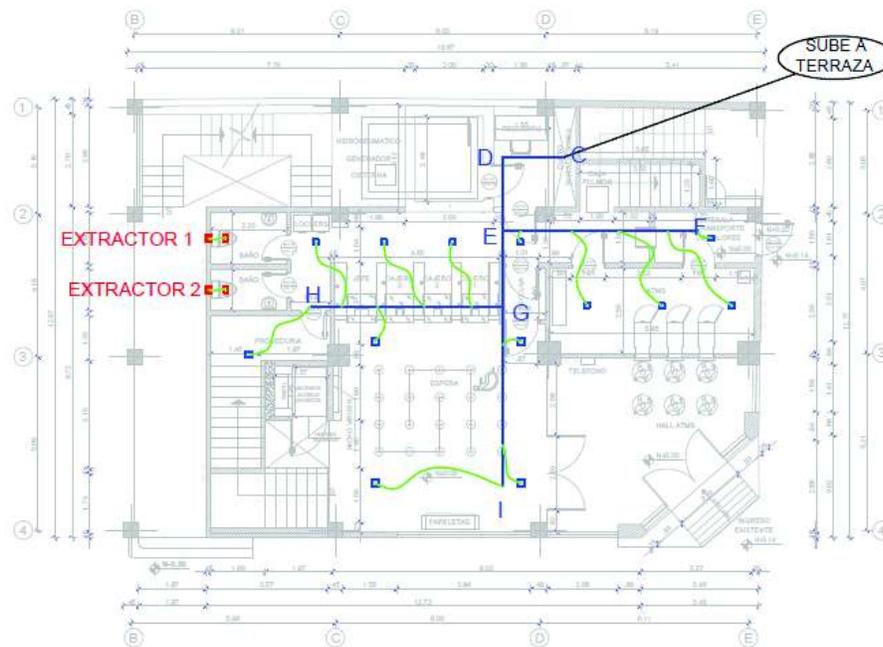


Figura 4.5: Diagrama unifilar planta baja.

Fuente: Propia



Figura 4.6: Diagrama unifilar planta alta.

Fuente: Propia

A continuación, se procede a realizar el dimensionamiento de los ductos de sección rectangular, tomando en consideración el caudal de aire y la caída de presión deseada. La Tabla 4.6 muestra el tipo de ventilación, denominación de tramo, caudal de aire ( $Q_{cfm}$ ), diámetro necesario ( $d$ ), selección de dimensiones de ducto rectangular ( $a$  y  $b$ ), y diámetro equivalente ( $D_{eq}$ ) de los sistemas de ventilación del edificio.

Tabla 4.6: Dimensionamiento de ductos.

DIMENSIONAMIENTO DE DUCTOS						
<i>Datos</i>				<i>Selección</i>		
<i>Tipo</i>	<i>Tramo</i>	$Q_{cfm}$	$d$	$a$	$b$	$D_{eq}$
<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>[cfm]</i>	<i>[in]</i>	<i>[in]</i>	<i>[in]</i>	<i>[in]</i>
<i>Suministro</i>	A-B	2700	20,0	24	14	19,86
	B-J	1650	16,6	20	12	16,80
	J-K	1650	16,6	20	12	16,80
	K-L	300	8,7	8	8	8,75
	L-M	200	7,6	8	6	7,55
	K-N	1050	14,1	14	12	14,16
	N-O	100	5,8	6	6	6,56
	N-P	850	13,0	12	12	13,12
	P-Q	200	7,6	8	6	7,55
	P-R	450	10,3	12	8	10,66
	R-T	100	5,8	6	6	6,56
	R-S	300	8,8	8	8	8,75
	B-C	1050	14,1	14	12	14,16
	C-D	1050	14,1	14	12	14,16
	D-E	1050	14,1	14	12	14,16
	E-F	250	8,2	10	6	8,40
	E-G	800	12,7	14	10	12,89
	G-H	350	9,3	10	8	9,76
	G-I	450	10,3	12	8	10,66
<i>Extracción</i>	Y'-Z	100	5,4	6	6	6,56
	Y-Y'	250	7,5	8	6	7,55
	X-Y	250	7,5	8	6	7,55

Plantas baja y alta, ductos de suministro y extracción

Fuente: Propia

Finalmente, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en la línea crítica de suministro y extracción en cada uno de los sistemas, tomando en consideración la trayectoria más lejana de impulsión o extracción de aire.

En las siguientes tablas se realiza una comparación de velocidad y caída de presión desarrollados de forma manual y mediante el software en una línea del sistema, con el fin de determinar el porcentaje en que la precisión de cálculo ha mejorado al usar el software.

La Tabla 4.7 corresponde a suministro de aire de la planta baja y la Tabla 4.8 y Tabla 4.9 conciernen a la planta alta tanto en suministro como en extracción de aire, los valores de  $\frac{\Delta P}{L} = 0$  representados en estas tablas corresponden a las pérdidas dinámicas negativas y el signo menos (-) en la columna de *Mejora en precisión* indica que el cálculo con el software minimiza el sobredimensionamiento.

Cada tabla considera tramos de ductos rectangulares y accesorios denominados de la siguiente manera: tramos de ductos en letras mayúsculas separadas con un guion (Ej. A-B) y accesorios como contracciones (Co), codos 90° (C), Y rectangulares (Y), mangueras flexibles (M), transiciones (Tr) y T rectangulares (T).

Tabla 4.7: Análisis de ruta crítica de suministro de aire en la planta baja.

<i>PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LA LÍNEA CRÍTICA DE SUMINISTRO PLANTA BAJA</i>									
<i>General</i>				<i>Manual</i>		<i>Software</i>		<i>Mejora en Precisión</i>	
<i>Elem.</i>	$Q_{cfm}$	$D_{eq}$	$L$	$V$	$\Delta P/L$	$V$	$\Delta P/L$	$V$	$\Delta P/L$
<i>[ítem]</i>	<i>[cfm]</i>	<i>[in]</i>	<i>[ft]</i>	<i>[fpm]</i>	<i>[in. wg]</i>	<i>[fpm]</i>	<i>[in. wg]</i>	<i>%</i>	<i>%</i>
A-B	2700	19,86	0,98	1280	0,00103	1255,10	0,00098	-1,9	-4,9
Y 1	2700	-	-	1280	0,01021	1255,10	0,00982	-1,9	-3,8
Co 1	1050	-	-	1280	0,00613	1255,10	0,00589	-1,9	-3,9
B-C	1050	14,16	10,83	1000	0,01087	960,14	0,00992	-4,0	-8,7
C 1	1050	-	-	1000	0,01219	960,14	0,01124	-4,0	-7,8
C-D	1050	14,16	5,98	1000	0,00600	960,14	0,00548	-4,0	-8,7
C 2	1050	-	-	1000	0,01219	960,14	0,01124	-4,0	-7,8
D-E	1050	14,16	7,18	1000	0,00721	960,14	0,00658	-4,0	-8,7
Y 2	1050	-	-	1000	0	960,14	0	-4,0	0,0
Co 2	800	-	-	1000	0,00374	960,14	0,00345	-4,0	-7,8
E-G	800	12,89	7,25	940	0,00725	882,79	0,00639	-6,1	-11,9
Y 3	800	-	-	940	0	882,79	0	-6,1	0,0
Co 3	450	-	-	940	0,00331	882,79	0,00292	-6,1	-11,8
G-I	450	10,66	17,33	810	0,01676	726,06	0,01347	-10,4	-19,6
M	150	8,00	12,28	430	0,00996	429,72	0,00959	0,0	-3,7
difusor	150	-	-	-	0,06300	-	0,06300	-	0,0
					<b>0,1698</b>		<b>0,160</b>		<b>-5,8</b>

Fuente: Propia.

Tabla 4.8: Análisis de ruta crítica de suministro de aire en la planta alta.

<i>PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LA LÍNEA CRÍTICA DE SUMINISTRO PLANTA ALTA</i>									
<i>General</i>				<i>Manual</i>		<i>Software</i>		<i>Mejora en Precisión</i>	
<i>Elem.</i>	$Q_{cfm}$	$D_{eq}$	$L$	$V$	$\Delta P/L$	$V$	$\Delta P/L$	$V$	$\Delta P/L$
<i>[ítem]</i>	<i>[cfm]</i>	<i>[in]</i>	<i>[ft]</i>	<i>[fpm]</i>	<i>[in. wg]</i>	<i>[fpm]</i>	<i>[in. wg]</i>	<i>%</i>	<i>%</i>
<i>A-B</i>	2700	19,86	0,98	1280	0,00103	1255,10	0,00098	-1,9	-4,9
<i>Y 1</i>	2700	-	-	1280	0,02656	1255,10	0,02553	-1,9	-3,9
<i>B-J</i>	1650	16,80	10,23	1100	0,00992	1071,86	0,00933	-2,6	-5,9
<i>C 1</i>	1650	-	-	1100	0,01433	1071,86	0,01361	-2,6	-5,0
<i>J-K</i>	1650	16,80	10,18	1100	0,00987	1071,86	0,00928	-2,6	-5,9
<i>Y 2</i>	1650	-	-	1100	0	1071,86	0	-2,6	0,0
<i>K-N</i>	1050	14,16	6,75	1000	0,00660	960,14	0,00618	-4,0	-6,3
<i>Y 3</i>	1050	-	-	1000	0,01808	960,14	0,01667	-4,0	-7,8
<i>N-P</i>	850	13,12	34,06	950	0,03330	905,37	0,03076	-4,7	-7,6
<i>Y 4</i>	850	-	-	950	0,00338	905,37	0,00307	-4,7	-9,2
<i>Co 1</i>	450	-	-	950	0,00338	905,37	0,00307	-4,7	-9,2
<i>P-R</i>	450	10,66	5,44	810	0,00526	726,06	0,00423	-10,4	-19,6
<i>Y 5</i>	450	-	-	810	0,03671	726,06	0,03024	-10,4	-17,6
<i>R-S</i>	300	8,75	6,92	730	0,00694	718,42	0,00672	-1,6	-3,2
<i>M</i>	150	8,00	9,71	430	0,00788	429,72	0,00758	0,0	-3,8
<i>difusor</i>	150	-	-	-	0,06300	-	0,06300	-	0,0
					<b>0,246</b>			<b>0,230</b>	<b>-6,5</b>

Fuente: Propia.

Tabla 4.9: Análisis de ruta crítica de extracción de aire en la planta alta.

<i>PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LA LÍNEA CRÍTICA DE EXTRACCIÓN PLANTA ALTA</i>									
<i>General</i>				<i>Manual</i>		<i>Software</i>		<i>Mejora en Precisión</i>	
<i>Elem.</i>	$Q_{cfm}$	$D_{eq}$	$L$	$V$	$\Delta P/L$	$V$	$\Delta P/L$	$V$	$\Delta P/L$
<i>[ítem]</i>	<i>[cfm]</i>	<i>[in]</i>	<i>[ft]</i>	<i>[fpm]</i>	<i>[in. wg]</i>	<i>[fpm]</i>	<i>[in. wg]</i>	<i>%</i>	<i>%</i>
<i>rejilla</i>	50	-	-	-	0,06300	-	0,06300	-	0,0
<i>M</i>	50	6,00	8,64	255	0,00363	254,65	0,00359	0,0	-1,0
<i>Y'-Z</i>	100	6,56	8,20	650	0,00948	426,05	0,00447	-34,5	-52,9
<i>Co 1</i>	100	-	-	650	0,00158	426,05	0,00068	-34,5	-57,0
<i>Y-Y'</i>	250	7,55	9,43	810	0,01479	804,12	0,01350	-0,7	-8,7
<i>C 1</i>	250	-	-	810	0,01191	804,12	0,01118	-0,7	-6,1
<i>X-Y</i>	250	7,55	0,98	830	0,00154	804,12	0,00140	-3,1	-8,7
					<b>0,1059</b>			<b>0,09783</b>	<b>-7,6</b>

Fuente: Propia.

#### 4.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Esta sección tiene como fin realizar la comparación entre los valores obtenidos de forma manual y con el software. Se tomará en consideración los resultados conseguidos del análisis del diámetro equivalente, factor de fricción y caída de presión en sistemas de ventilación.

##### 4.1.4.1 Diámetro equivalente

El diámetro equivalente  $D_{eq}$  hallado en la sección 4.1.1 y resumido en la Tabla 4.2 y Tabla 4.3, presentan valores equivalentes con la única diferencia en la precisión de cifras decimales. Los datos proporcionados por SMACNA han sido aproximados hasta décimas, mientras que los diámetros equivalentes hallados mediante el software se han aproximado hasta centésimas.

De este análisis se concluye que los valores de  $D_{eq}$  calculados con el programa se rigen a los procedimientos de ASRAE y SMACNA, por lo tanto el uso de los datos es válido.

##### 4.1.4.2 Factor de fricción

Por otra parte, el procedimiento de cálculo del factor de fricción detallado en la sección 4.1.2 y utilizado por el software, cumple con la ecuación de Colebrook-White y sus valores pueden ser representados en un esquema (Figura 4.4) equivalente al diagrama de Moody. Cada valor de  $f$  calculado por el programa mediante medios iterativos, presenta mayor exactitud que los hallados mediante el uso del diagrama de Moody, los cuales difieren debido a la apreciación de la gráfica y del observador.

De lo expuesto anteriormente, se demuestra la validez de los valores de  $f$  obtenidos con el uso del software.

##### 4.1.4.3 Caída de presión en sistemas de ventilación

Para los resultados de la caída de presión en los sistemas de ventilación resumidos en la Tabla 4.7, Tabla 4.8 y Tabla 4.9, se puede observar que las diferencias puntuales alcanzan porcentajes bastante altos en algunos casos. Sin embargo, el dato de mayor interés es la diferencia global de la caída de presión en las rutas críticas, este valor es aceptable considerando la diferencia de métodos aplicados.

Con el fin de corroborar los valores de caída de presión que arroja el software, se ha preparado un análisis más detallado para el cálculo de pérdidas de presión en ductos de aire y en accesorios para compararlos con los obtenidos manualmente.

*Pérdidas por fricción (ductos de aire)*

En el caso de la caída de presión por fricción en ductos rectangulares se ha tomado el tramo de ducto G-I con un caudal de aire de 450[cfm] y una caída de presión de diseño de 0.1 [in. wg], obtenido de la Tabla 4.7.

De esta manera, para el cálculo manual se utiliza la figura de fricción, ingresando en la misma con el caudal y la pérdida de presión deseada (Figura 4.7), obteniendo un valor de 10.3 [in] de diámetro circular necesario con una velocidad de 810[*fpm*].

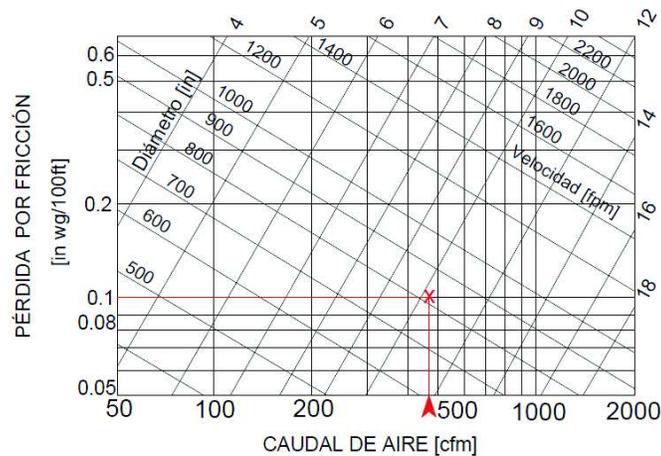


Figura 4.7: Selección del diámetro de ducto y velocidad en la gráfica de fricción.

Adaptado de la gráfica de fricción para  $\rho = 0.075 \frac{\text{lb}_m}{\text{ft}^3}$  y  $\varepsilon = 0.0003 \text{ [ft]}$  (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009, pág. 21.8).

A continuación, se procede a buscar dimensiones de ductos rectangulares que presenten un diámetro equivalente similar al diámetro necesario, de las opciones válidas se ha seleccionado un ducto rectangular de 12x8[in] con un  $D_{eq}$  igual a 10.66 [in]. Para el cálculo de la caída de presión, es necesario conocer el valor del factor de fricción obtenido del diagrama de Moody, con un  $Re = 7.3 \times 10^4$  y una relación  $\varepsilon/D$  de 0.00034 se tiene que  $f$  es aproximadamente 0.021.

Finalmente con la ecuación ( 1.3) se tiene la caída de presión por cada 100[ft] de longitud igual a 0.0967[in.wg], mientras que para determinar la caída de presión en ese tramo se utiliza la longitud real ( $L= 17.33 \text{ [ft]}$ ) obteniendo el siguiente resultado:

$$\Delta P_{f-G-I} = \frac{12 * 0.021 * 17.33}{10.66} * 0.075 \left( \frac{810}{1097} \right)^2 = 0.01676 [in. wg]$$

Por otra parte, al evaluar con el software las mismas condiciones descritas anteriormente se obtiene una velocidad de 726.06 [fpm], con una caída de presión por cada 100[ft] de 0.0777 [in. wg] y de 0.01347 [in. wg] con la longitud del tramo. Al verificar el factor de fricción con el que el programa trabaja en este caso se tiene un valor de 0.0209.

De esta manera se muestra que la diferencia de resultados de caída de presión entre métodos es el causado por la apreciación del observador en las gráficas en el cálculo manual, tanto en la determinación de la velocidad del aire como en el valor del factor  $f$ , ya que al escoger un ducto de un diámetro equivalente mayor al necesario la caída de presión ya no es la supuesta inicialmente.

Las diferencias que se dan en la velocidad y en la caída de presión, se deben a que en el método manual se realiza los cálculos con una ubicación hipotética en la gráfica de fricción, mientras que el software al trabajar con las ecuaciones calcula el punto exacto. En la Figura 4.8 se puede observar gráficamente la comparación de las selecciones realizadas de forma manual (color rojo) y mediante el software (color azul).

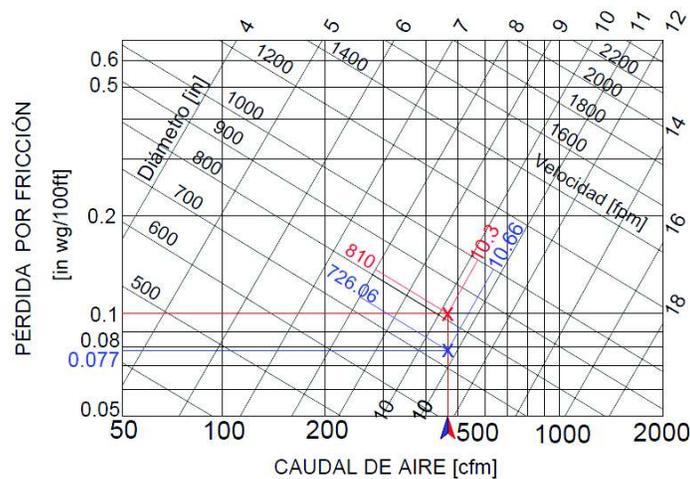


Figura 4.8: Comparación de la selección del diámetro de ducto y velocidad.

Fuente: Propia.

Al calcular el porcentaje de mejora en precisión en velocidad y caída de presión se tiene:

$$\%Diferencia_V = \left| \frac{810 - 726.06}{810} \right| * 100\% = -10.4\%$$

$$\%Diferencia_{\Delta P_{f-G-I}} = \left| \frac{0.01676 - 0.01347}{0.01676} \right| * 100\% = -19.6\%$$

Al ser recomendable la elección de un ducto que ofrezca una menor pérdida de presión que la de diseño, el error mostrado anteriormente es un sobredimensionamiento que conlleva el uso del método manual y que puede ser evitado al realizar el diseño utilizando las ecuaciones o el software.

#### *Pérdidas dinámicas (accesorios)*

Para comprender el origen de variación de la pérdida dinámica de presión, se analizará los resultados del cálculo puntual de tres accesorios: una Y, un codo de 90° y una contracción, registrados en la Tabla 4.10.

La determinación del valor de la pérdida de presión en accesorios utiliza las ecuaciones ( 1.7) y ( 1.8), para ello es de vital importancia hallar el coeficiente de pérdida  $c$ , conociendo el caudal, su velocidad y las dimensiones de la salida o salidas (en el caso de una Y). En las tablas del folleto de SMACNA (Anexo B), se ubican cada uno de los accesorios con su respectivo coeficiente de pérdida.

El procedimiento de cálculo de pérdida dinámica ya sea manual o mediante el software es idéntico, la diferencia radica en la forma de obtener el valor de la velocidad del aire que atraviesa el accesorio. Esta velocidad se obtiene con la gráfica de fricción en procedimientos manuales o con la ecuación ( 1.6) para el caso del programa.

Tabla 4.10: Datos del análisis de las pérdidas dinámicas.

<i>General</i>			<i>Manual</i>						<i>Software</i>	
<i>Tabla</i>	<i>Elem.</i>	<i>Q<sub>cfm</sub></i>	<i>V</i>	<i>c</i>	<i>Re</i>	<i>c<sub>corr</sub></i>	<i>V<sub>p</sub></i>	<i>ΔP<sub>d</sub></i>	<i>V</i>	<i>ΔP<sub>d</sub></i>
[#]	[-]	[cfm]	[fpm]	[-]	[-]	[-]	[in. wg]	[in. wg]	[fpm]	[in. wg]
4.8	Y 1	2700	1280	0,26	-	-	0,1021	0,02656	1255.1	0.02553
4.8	C 1	1650	1100	0,19	157080	1	0,0754	0,01433	1071.86	0.01361
4.9	Co1	100	650	0,06	-	-	0,026	0,00158	426.05	0.00068

Fuente: Propia.

El análisis conlleva hallar el porcentaje de diferencia entre la velocidad y la pérdida dinámica, presentados en la Tabla 4.12. Los valores encontrados muestran una

considerable reducción tanto en la velocidad y la pérdida de presión, sin embargo para el caso de la *Co 1*, se debe tener en cuenta que la disminución del 57% se debe al error en el cálculo de la velocidad.

Tabla 4.11: Porcentaje de diferencia entre velocidad y pérdida dinámica.

	<i>Codo de 90° (C 1)</i>		<i>Derivación (Y 1)</i>		<i>Contracción (Co 1)</i>	
	<i>V</i>	$\Delta P/L$	<i>V</i>	$\Delta P/L$	<i>V</i>	$\Delta P/L$
<i>%Diferencia</i>	-2,6	-5	-1,9	-3,9	-34,5	-57

Fuente: Propia.

En conclusión, los procesos seguidos por el software cumplen con todos los requerimientos de ASHRAE y SMACNA, presentando valores exactos a diferencia del método manual. Para el caso del cálculo de la caída de presión, se encontró que el porcentaje en que se ha mejorado la precisión es superior al 5%, controlando de esta manera el sobredimensionamiento de la capacidad del equipo.

Por otra parte, el análisis detallado de la caída de presión en cada elemento que conforma el sistema de ventilación, dio como resultado que la única variante es la velocidad. Este valor al ser calculado mediante la ecuación ( 1.6) varía del hallado mediante la gráfica de fricción, debido a la precisión de la gráfica y a la apreciación del diseñador.

## 4.2 CARGAS TÉRMICAS

Para el caso de cargas térmicas, se procede a realizar la validación mediante ejemplos desarrollados del manual de cálculo de cargas de enfriamiento y calentamiento (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980).

Estos ejercicios contemplan el cálculo de la ganancia de calor por radiación, conducción a través de techos, paredes y vidrios, iluminación, ocupantes, intercambio de aire y orientación óptima. En cada uno de los cuales se realizará una comparación entre la solución manual y la obtenida con el software.

#### 4.2.1 GANANCIAS DE CALOR POR RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE VENTANAS

Ej. 3.9a: Determinar la carga de enfriamiento solar máxima por unidad de área para las siguientes condiciones:

Ventana orientada al sur; el 21 de julio a 40° latitud norte, con concreto y césped a los alrededores, valor de masa contenida en el espacio: "light". Vidrio simple de 1/8[in]  $\approx$  3.2 [mm] de espesor, con sombra interior de persiana de color opaco.

La Tabla 4.12 muestra los resultados obtenidos para el ejercicio planteado, así como los datos más importantes durante su solución mediante el método manual y usando el software.

Tabla 4.12: Ganancia de calor sensible por radiación.

<i>Parámetro</i>	<i>RESULTADOS</i>	
	<i>ASHRAE</i>	<i>Software</i>
<i>Área</i>	1[m <sup>2</sup> ]	1[m <sup>2</sup> ]
<i>SC</i>	0.64	-
<i>SHGF<sub>Julio, 40° N</sub></i>	109 $\left[ \frac{Btu}{h \cdot ft^2} \right]$	-
<i>CLF<sub>12</sub></i>	0.83	-
<b><math>\dot{Q}_{SR-12}</math></b>	<b>0.182 [kW]</b>	<b>0.1827 [kW]</b>

Adaptado de: ejemplo 3.9a (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, pág. 3.26).

#### 4.2.2 GANANCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE TECHOS, PAREDES Y VIDRIO

- Techos

Ej. 3.5: Determinar la carga de enfriamiento por unidad de área para un techo plano de color oscuro, de 6[in] de concreto de baja densidad con 2[in] de aislante.

$\rho=5.7$  [lb/ft<sup>3</sup>] sin cielo falso ni ático. La ubicación es Beatrice, Nebraska, E.E.U.U. (40°20' latitud norte; Rango diario 24[°F]) a las 17:00 en Julio con una temperatura interna de diseño de 78[°F]  $\approx$  25.556[°C] con  $U = 0.077 \left[ \frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} \right]$  y peso y capacidad calórica de aproximadamente  $30 \left[ \frac{lb}{ft^2} \right]$  y  $7 \left[ \frac{Btu}{ft^2 \cdot ^\circ F} \right]$ .

A continuación, la Tabla 4.13 presenta los resultados del ejercicio:

Tabla 4.13: Ganancia de calor sensible por conducción a través de techos.

<i>Parámetro</i>	<i>RESULTADOS</i>	
	<i>ASHRAE</i>	<i>Software</i>
<i>Área</i>	1[m <sup>2</sup> ]	1[m <sup>2</sup> ]
<i>CLTD<sub>corr-17</sub></i>	44[°F]	-
<b><math>\dot{Q}_{skT}</math></b>	<b>0.0107[kW]</b>	<b>0.0108[kW]</b>

Adaptado de: ejemplo 3.5 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, pág. 3.15).

- Paredes

Ej. 3.7a: Determinar la carga de enfriamiento por unidad de área para una pared de color claro de 4[in] de bloque de concreto de baja densidad con espacio de aire de 3/4 [in] con terminado de yeso al interior y enlucido al exterior. La ubicación es Windsor, Ontario, Canadá (42°16' latitud norte; Rango diario 20[°F]) a las 19:00 en Agosto con una temperatura interna de diseño de 74[°F] ≈ 23.3 [°C]. En la Tabla 4.14 se presenta los resultados.

Tabla 4.14 Ganancia de calor sensible por conducción a través de paredes.

<i>Parámetro</i>	<i>RESULTADOS</i>	
	<i>ASHRAE</i>	<i>Software</i>
<i>U</i>	0.263 [ $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$ ]	-
<i>Área</i>	1[m <sup>2</sup> ]	1[m <sup>2</sup> ]
<i>CLTD<sub>corr-19</sub></i>	36[°F]	-
<b><math>\dot{Q}_{sk-T}</math></b>	<b>0.0298[kW]</b>	<b>0.029[kW]</b>

Adaptado de: ejemplo 3.7a (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, pág. 3.17).

**NOTA.-** Este ejercicio considera un horario fuera del establecido para el uso del software en 0, pero para la validación de este ejercicio se ha introducido en el código el dato del CLTD de las 19:00.

- Vidrio

Ej. 3.8a: Determinar la carga de enfriamiento debido a la ganancia de calor por conducción en una ventana de 32[ft<sup>2</sup>] ≈ 2.973[m<sup>2</sup>] de vidrio simple con sombra

interna de cortinas, en Pampa, TX, E.E.U.U. (35°30' latitud norte; Rango diario 26[°F]) a las 16:00 en Julio con una temperatura interna de diseño de 76[°F]  $\approx$  24.4 [°C]. En la Tabla 4.15 se presentan los resultados.

Tabla 4.15: Ganancia de calor sensible por conducción a través de vidrio.

<i>Parámetro</i>	<i>RESULTADOS</i>	
	<i>ASHRAE</i>	<i>Software</i>
$U$	$0.81 \left[ \frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} \right]$	-
$A$	$2.973 [m^2]$	$2.973 [m^2]$
$CLTD_{corr-16}$	$14 [^\circ F]$	-
$\dot{Q}_{Sk-T}$	<b><math>0.106 [kW]</math></b>	<b><math>0.107 [kW]</math></b>

Adaptado de: ejemplo 3.8a (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, pág. 3.18).

#### 4.2.3 GANANCIA DE CALOR DEBIDO AL ALUMBRADO

Ej. 4.1a: Determinar la carga de enfriamiento debido a la iluminación del espacio a las 12:00, dadas las siguientes condiciones 12 bases; 2 lámparas por base, fluorescentes no ventiladas de 40[W], 9 de ellas prendidas al mismo tiempo, el espacio contiene muebles de oficina, el piso es de 8[in] de concreto requerimiento estimado de aire 0.7 [cfm/ft<sup>2</sup>]. La iluminación se enciende a las 08:00 hasta las 18:00. A continuación, se presentan los resultados del ejercicio en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16: Ganancia de calor sensible debido a iluminación.

<i>Parámetro</i>	<i>RESULTADOS</i>	
	<i>ASHRAE</i>	<i>Software</i>
#	$9 * 2$	$9 * 2$
$F_U$	1	-
$F_S$	1.2	-
$CLF_{Il-12}$	1	-
$\dot{Q}_{SII-12}$	<b><math>0.864 [kW]</math></b>	<b><math>0.864 [kW]</math></b>

Adaptado de: ejemplo 4.1a (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, pág. 4.1).

#### 4.2.4 GANANCIA DE CALOR DEBIDO A OCUPANTES

Ej. 4.3a: Determinar la carga de enfriamiento a las 14:00 debido a 6 ocupantes de una oficina que abre de 09:00 a 17:00, la temperatura de la oficina es  $78[^\circ\text{F}] \approx 25.556[^\circ\text{C}]$  y la actividad de los ocupantes es escribiendo. La Tabla 4.17 muestra los resultados del ejercicio.

Tabla 4.17: Ganancia de calor sensible y latente debido a ocupantes.

<i>Parámetro</i>	<i>RESULTADOS</i>	
	<i>ASHRAE</i>	<i>Software</i>
$\dot{Q}_{SP}$	0.307[kW]	0.296[kW]
$\dot{Q}_{LP}$	0.33[kW]	0.33[kW]
<b><math>\dot{Q}_{SP-14}</math></b>	<b>0.637[kW]</b>	<b>0.626[kW]</b>

Adaptado de: ejemplo 4.3a (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, pág. 4.5).

NOTA.- En este caso en particular, el CLF tiene un valor distinto al que el software toma en consideración en la sección 2.1.3.4, pero para validación de este ejemplo se ha sustituido el CLF de 1 por 0.76.

#### 4.2.5 GANANCIA DE CALOR DEBIDO AL INTERCAMBIO DE AIRE

Ej. 5.1a: Determinar la carga de enfriamiento a las 12:00 resultante del suministro de aire cuyo caudal es 300[cfm], las condiciones interiores de diseño son  $78[^\circ\text{F}] \approx 25.556[^\circ\text{C}]$  y HR=50% si la temperatura externa de diseño es  $84[^\circ\text{F}] \approx 28.88 [^\circ\text{C}]$  y la localidad es a nivel del mar. La cantidad de humedad para esas condiciones es:  $w_0 = 0.0155 \left[ \frac{\text{lb}_{vap}}{\text{lb}_{aire}} \right]$  y  $w_i = 0.0102 \left[ \frac{\text{lb}_{vap}}{\text{lb}_{aire}} \right]$  que, corresponde a un valor de humedad relativa del 61.41% externa. La Tabla 4.18 muestra los resultados del ejercicio.

Tabla 4.18: Ganancia de calor sensible y latente debido a infiltraciones y ventilación.

<i>Parámetro</i>	<i>RESULTADOS</i>	
	<i>ASHRAE</i>	<i>Software</i>
$\dot{Q}_{SI}$	0.58[kW]	0.579[kW]
$\dot{Q}_{LI}$	2.074[kW]	2.15[kW]
<b><math>\dot{Q}_I</math></b>	<b>2.65 [kW]</b>	<b>2.73[kW]</b>

Adaptado de: ejemplo 5.1a (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, pág. 5.2).

#### 4.2.6 CÁLCULO DE LA ORIENTACIÓN ÓPTIMA

Ej. 3.9a: Ventana orientada al sur; el 21 de julio a 40° latitud norte, vidrio simple de 1/8[in]  $\approx$  3.2 [mm] de espesor, sombra interior de persiana color opaco, área de 1[m<sup>2</sup>], temperaturas de diseño: interna 76[°F]  $\approx$  24.4 [°C], externa 96[°F]  $\approx$  35.55 [°C] y rango diario de temperaturas 26[°F]  $\approx$  14.4 [°C].

Al realizar los cálculos para la determinación manual de la carga de enfriamiento para la ventana del ejercicio y considerando los mecanismos de ganancia de calor por radiación y conducción se ha elaborado la Tabla 4.19 y la Figura 4.9, donde Las curvas representan las cargas de enfriamiento horarias para un día tipo del mes de Julio al variar la orientación.

La Figura 4.10 da una idea más clara a cerca de la variación de la carga según la orientación en ese día, cada fracción del diagrama representa el valor del área bajo la curva del cálculo de la carga máxima mensual horaria.

Tabla 4.19: Ganancia de calor en kW para cada hora de un día del mes de Julio.

<i>Orienta.</i>	<i>Hora de análisis [h]</i>											
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>S</i>	0,04	0,05	0,09	0,14	0,18	0,21	0,21	0,18	0,15	0,11	0,09	0,07
<i>SSO</i>	0,04	0,05	0,06	0,08	0,13	0,19	0,23	0,25	0,24	0,21	0,15	0,10
<i>SO</i>	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,15	0,23	0,29	0,32	0,31	0,27	0,19
<i>OSO</i>	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12	0,21	0,30	0,36	0,38	0,35	0,26
<i>O</i>	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10	0,17	0,26	0,35	0,39	0,38	0,30
<i>ONO</i>	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,09	0,12	0,21	0,30	0,36	0,37	0,29
<i>NO</i>	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,13	0,21	0,28	0,30	0,26
<i>NNO</i>	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,12	0,16	0,20	0,19
<i>N</i>	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10
<i>NNE</i>	0,16	0,13	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
<i>NE</i>	0,25	0,24	0,20	0,13	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,07
<i>ENE</i>	0,30	0,32	0,29	0,22	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,09	0,07
<i>E</i>	0,31	0,35	0,34	0,28	0,20	0,14	0,14	0,12	0,12	0,11	0,09	0,08
<i>ESE</i>	0,27	0,32	0,33	0,31	0,24	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,08
<i>SE</i>	0,20	0,25	0,28	0,28	0,25	0,19	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08
<i>SSE</i>	0,08	0,14	0,19	0,22	0,23	0,21	0,17	0,13	0,12	0,11	0,09	0,07

Resultados obtenidos al analizar las condiciones del ejercicio 3.9a (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, pág. 3.26).

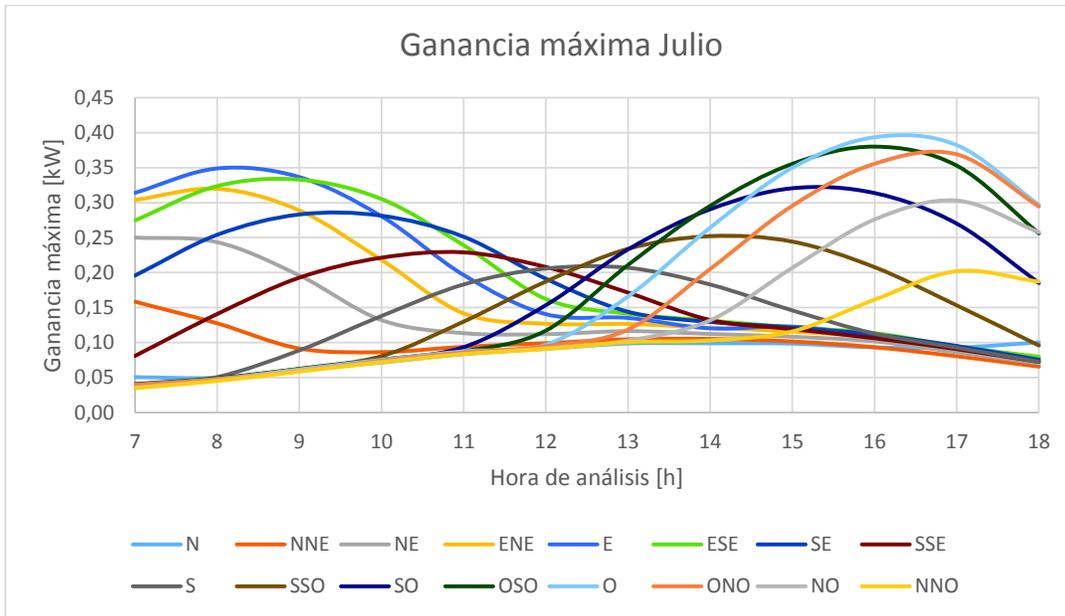


Figura 4.9: Ganancia máxima horaria para cada orientación.  
Fuente: Propia.



Figura 4.10: Ganancia máxima diaria para cada orientación.  
Fuente: Propia.

Al conocer la orientación que presenta una menor ganancia, se puede plantear el resultado del análisis en una gráfica (Figura 4.11).

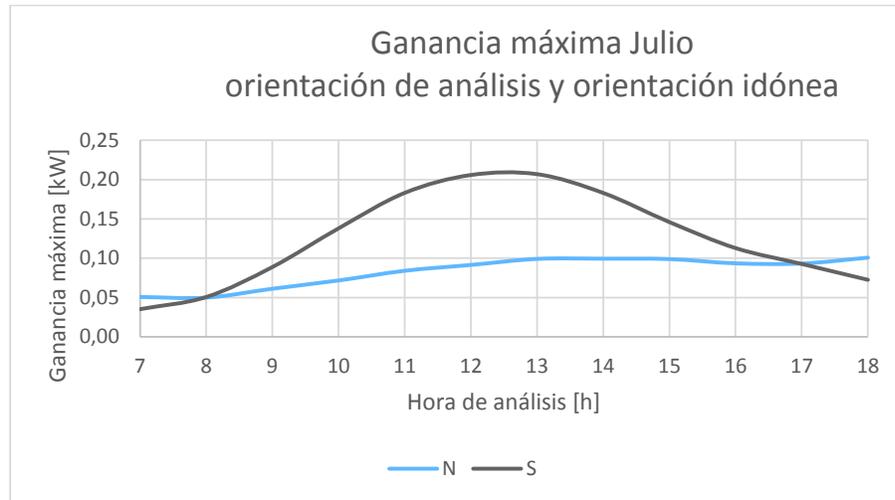


Figura 4.11: Ganancia máxima horaria en las orientaciones de análisis y óptima.

Fuente: propia.

Por otra parte al realizar los cálculos mediante el software, se tiene la Tabla 4.20 y su respectiva gráfica en la Figura 4.12. Donde las curvas representan las cargas de enfriamiento horarias para la orientación de análisis y la óptima.

Tabla 4.20: Ganancia de calor en kW para cada hora de un día del mes de Julio (software).

ORIENT	Hora de análisis [h]											
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
S	0,04	0,05	0,09	0,14	0,18	0,21	0,21	0,18	0,15	0,11	0,09	0,07
SSO	0,04	0,05	0,06	0,08	0,13	0,19	0,23	0,25	0,24	0,21	0,15	0,10
SO	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,15	0,23	0,29	0,32	0,31	0,27	0,19
OSO	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12	0,21	0,30	0,36	0,38	0,35	0,26
O	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10	0,17	0,26	0,35	0,39	0,38	0,30
ONO	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,21	0,30	0,36	0,37	0,29
NO	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,13	0,21	0,28	0,30	0,26
NNO	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,12	0,16	0,20	0,19
N	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10
NNE	0,16	0,13	0,09	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
NE	0,25	0,24	0,20	0,13	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,07
ENE	0,30	0,32	0,29	0,22	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,09	0,07
E	0,31	0,35	0,34	0,28	0,20	0,14	0,14	0,12	0,12	0,11	0,09	0,08
ESE	0,27	0,32	0,33	0,31	0,24	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,08
SE	0,20	0,25	0,28	0,28	0,25	0,19	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08
SSE	0,08	0,14	0,19	0,22	0,23	0,21	0,17	0,13	0,12	0,11	0,09	0,07

Resultados obtenidos al analizar las condiciones del ejercicio 3.9a (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, pág. 3.26).

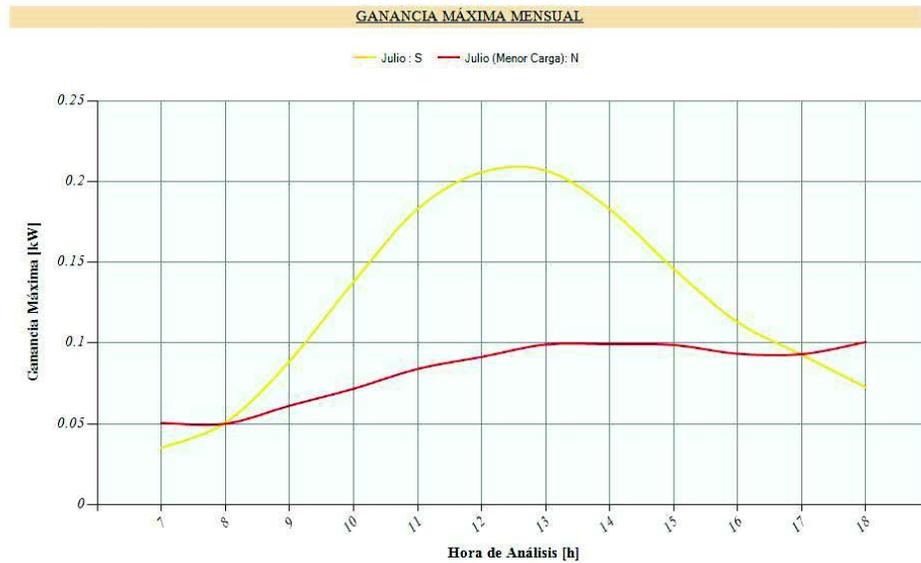


Figura 4.12: Ganancia máxima horaria en las orientaciones de análisis y óptima (software).

Fuente: Propia.

#### 4.2.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De las tablas (4.12 - 4.20) y figuras (4.11 y 4.12) halladas de forma manual y con el software, se visualiza que sus valores y gráficas son idénticas o presentan pequeñas variaciones que por su magnitud se consideran despreciables.

Por otra parte, la sección 4.2.5 (Ganancia de calor debido al intercambio de aire) presenta una variación considerable del orden de las centésimas, producto de la carga térmica de enfriamiento debido a ganancias latentes  $\dot{Q}_{LI}$ .

Esta diferencia se debe a la variación de los valores de densidad del aire  $\rho$  y del calor latente de vaporización  $h_{fg}$  en la ecuación ( 2.18), el manual de ASHRAE agrupa estos términos y los considera con un valor constante de:

$$60 * \rho * h_{fg} = 4840 \left[ \frac{\text{min}}{\text{h}} * \frac{\text{lb}_{\text{m aire}}}{\text{ft}^3} * \frac{\text{Btu}}{\text{lb}_{\text{m agua}}} \right]$$

Mientras que, el software desarrollado considera  $\rho$  acorde a la altura geográfica del lugar y  $h_{fg}$  en función de la temperatura interna de diseño.

Al utilizar el software se tiene resultados de carga de enfriamiento en cada hora en un rango de 7h00 a 18h00, mientras que en un cálculo manual hallar cada valor

horario conlleva un trabajo considerable y por la misma razón mayor tiempo de realización.

De lo expuesto anteriormente, se da validez a los procedimientos seguidos por el software y por lo tanto a los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO V.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

##### 5.1.1 VENTILACIÓN MECÁNICA

- En este trabajo se desarrolla un software eficiente para dimensionar ductos de ventilación de aire, considerando parámetros de funcionamiento como: caudal, densidad, rugosidad del material y caída de presión, con el fin de realizar una selección apropiada de dimensiones de ducto.
- Al diseñar sistemas de ventilación mecánica utilizando el método gráfico (comúnmente empleado), el valor de velocidad y diámetro son aproximados debido a la precisión en el ingreso de caudal y caída de presión en la gráfica de fricción. Esto conlleva a un sobredimensionamiento y al incremento de los costos asociados. En cambio, al usar un método analítico como el que emplea el software, la solución obtenida tiene matemáticamente un error nulo al apegarse totalmente al método. De esta forma se evita la sobreestimación de las caídas de presión y los errores asociados al método gráfico.
- Al elegir la alternativa de ducto rectangular entre los disponibles, se debe considerar que a mayor diámetro se tiene menor caída de presión y los costos aumentan. El diseñador deberá tomar en consideración estos aspectos en la selección del ducto adecuado, ya que el diámetro equivalente del ducto seleccionado no coincide con el diámetro mínimo requerido calculado. También vale indicar que no existe un dimensionamiento válido único por lo que factores económicos y de espacio físico disponible juegan un papel importante.
- El software desarrollado permite afinar aún más los cálculos respecto al método gráfico al considerar la variación de densidad y rugosidad de acuerdo a las condiciones particulares del diseño. El método gráfico utiliza la gráfica de fricción desarrollada para una densidad de  $0.075 \left[ \frac{lb_m}{ft^3} \right]$  y

rugosidad del material de  $0.0003[ft]$ . La densidad del aire constituye un factor muy importante en el cálculo de la caída de presión, ya que a mayor densidad mayor caída, por esta razón el software obtiene este valor calculándolo de acuerdo a la altura geográfica del sitio de estudio con el propósito de incrementar la exactitud en los resultados. La rugosidad depende del material y afecta de forma directa en las caídas de presión, por lo que el software facilita la selección de esta propiedad en base a valores típicos usados por la ASHRAE o personalizados ingresados por el usuario.

- Las caídas de presión que aparecen en un sistema de ventilación mecánica por su naturaleza son pérdidas por fricción en ductos y pérdidas dinámicas en accesorios, la ventaja del software de dimensionamiento de ductos es que posibilita el cálculo de las dos en cualquier ruta. El usuario mediante esta facilidad puede determinar la caída de presión del ramal en donde el fluido presenta la mayor resistencia y al que se le denomina ruta crítica. En base a este resultado y con el caudal del sistema el diseñador podrá proceder con la selección del ventilador en base a los catálogos que él disponga.
- El software desarrollado es aplicable en la plataforma de AutoCAD 2012 para sistemas de ductos de ventilación y aire acondicionado, con un rango de pérdida de fricción de  $0.01 - 10 [in. wg]$ , altura geográfica de  $0 - 4000 [m]$  y cualquier rugosidad de material de construcción. Además, el sistema a ser analizado debe ser ingresado como un esquema unifilar en escala 1:1, que no puede ser modificado durante la ejecución, al mismo tiempo no permite la personalización de accesorios ni la predicción de la ruta crítica. Los sistemas de ventilación se resuelven mediante un proceso repetitivo en el que el programa resulta de gran ayuda ya que minimiza el tiempo empleado en las etapas de diseño.

### 5.1.2 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

- El método de cálculo de cargas térmicas de enfriamiento por diferencias de temperatura y factores de carga de enfriamiento (CLTD CLF) de ASHRAE, sigue siendo muy utilizado alrededor del mundo por su facilidad de uso y

comprensión, ya que consiste en un método de aplicación manual y su precisión no es tan exacta como el de funciones de transferencia, sus resultados son confiables ya que se basa en el balance de calor y este a su vez en la ley de conservación de la energía. Este método es de gran utilidad para la estimación de cargas térmicas en las etapas de diseño de los edificios, por consiguiente al automatizarlo en el software de cálculo de cargas térmicas de enfriamiento, se optimiza el tiempo de cálculo empleado determinando rápidamente las cargas térmicas con la exactitud propia del método.

- La condición crítica debido a la radiación se refleja en los valores del factor de ganancia de calor debido a radiación solar (SHGF) determinados analíticamente por un modelo desarrollado por ASHRAE para una atmósfera sin nubosidad, que se denomina cielo claro. Dicho factor se considera de manera directa en el cálculo de la carga térmica por radiación, para en conjunto con el resto de cargas, garantizar que los equipos seleccionados de aire acondicionado trabajen de manera adecuada y en ningún momento queden subdimensionados.
- El método propuesto por ASHRAE en el cálculo de cargas de enfriamiento debido a intercambio de aire, toma la presión atmosférica a nivel del mar como una constante y de igual manera el calor de vaporización a una temperatura fija. El software desarrollado en este trabajo considera la presión en función de la altitud y el calor de vaporización en función de la temperatura interna de diseño. De esta manera, en el software se obtiene con exactitud la carga térmica de enfriamiento debido al intercambio de aire, este valor es la única diferencia con el método de cálculo de ASHRAE, ya que introduce un porcentaje de mejora en los resultados de carga térmica total.
- El software de cálculo de cargas térmicas permite al usuario visualizar cómo varía la ganancia máxima, al cambiar el tipo del material, orientación y ubicación geográfica del proyecto.

- Con el análisis de orientación óptima, es posible sugerir modificaciones en el diseño de un edificio antes de su construcción, con el fin de obtener una edificación energéticamente más eficiente.
- El software desarrollado es aplicable para el cálculo de las cargas térmicas de enfriamiento en cualquier latitud del mundo. Consta de una base de datos interna que presenta las principales estaciones meteorológicas de nuestro país con sus respectivos datos de temperatura, humedad, altura, entre otros. Se limita a cristales simples de hasta 6[mm] y cristales dobles con espacio de aire. Cuando se ejecuta la opción de recálculo el programa lo realiza con todas las cargas ingresadas previamente.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

### **5.2.1 GENERALES**

- El uso del software se recomienda a usuarios inmersos en el tema de ventilación y aire acondicionado.
- Para una apropiada utilización del software se ha elaborado el manual del usuario presente en los Anexos C y D. El uso adecuado del programa, dependerá del ingreso correcto de los parámetros y de una interpretación adecuada de resultados.

### **5.2.2 VENTILACIÓN MECÁNICA**

- Al no encontrar un ducto que ofrezca la caída de presión muy cercana a la de diseño, desde el punto de vista netamente del fenómeno físico siempre es recomendable escoger un ducto de mayores dimensiones que ofrezca una menor caída de presión.
- El software ha sido validado como se muestra en el capítulo 4. Sin embargo si el usuario desea comprobar los resultados con el método gráfico obtendrá diferencias que se deben a las imprecisiones propias de la estimación de valores en los gráficos. Si lo hace siguiendo el método analítico de manera

manual, que es un método exacto, podrá también verificar la misma exactitud en el software.

### **5.2.3 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS**

- El uso de SHGFs obtenidos a partir de datos medidos por instituciones meteorológicas, proporcionaría resultados más realistas minimizando las ganancias de calor por radiación, ya que constituyen una gran parte de la carga total.
- Existen varios tipos de software ya sean gratuitos o con fines de lucro que proporcionan datos de radiación solar para cualquier ubicación en el planeta. Como trabajo futuro se sugiere la obtención de SHGFs a partir de datos de diferentes fuentes para observar la evolución de resultados.
- La validación del software se presenta en el capítulo 4. No obstante, si el usuario desea realizar algún tipo de comparación de resultados, el método implementado utiliza la descripción y tablas citadas en las referencias (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980), verificando la misma exactitud que el software.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (1997). *1997 ASHRAE handbook: Fundamentals*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2009). *2009 ASHRAE handbook: Fundamentals*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2011). *2011 ASHRAE Handbook: HVAC Applications* (SI Edition ed.). Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (1980). *Cooling and heating load calculation manual*. Pittsburg, Pennsylvania, U.S.: The office. Recuperado el 01 de Febrero de 2016
- AUTODESK. (2016). *My First Plug-in Training*. Obtenido de <http://www.autodesk.com/myfirstautocadplugin>
- Ayala Guerrero, C. F., & Montenegro Guerrero, E. V. (2010). Diseño del sistema de aire acondicionado para un bus tipo de turismo (Tesis de pregrado). EPN, Quito.
- Caicedo Flores, P. V., & Vega Martinez, A. R. (2011). Diseño de un sistema de ventilación y aire acondicionado para el quirófano y sala de terapia intensiva de la clínica Colonial (Tesis de pregrado). EPN, Quito.
- CARRIER. (1980). *Manual de aire acondicionado*. Barcelona: Marcombo.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). *Termodinámica*. Mexico: The Mc.Graw Hill Companies. Inc.
- Chen, Q. (2008). Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications. *ELSEVIER*.
- ENGINEERING, M. (s.f.). *MATHEMATICAL ENGINEERING*. Recuperado el 13 de 04 de 2016, de MATHEMATICAL ENGINEERING: <http://me-lrt.de/09-1-wasserforderung-mit-kreiselpumpe>
- Gamarra Yépez, W. J. (2005). Diseño de sistema de climatización en salones de obras de arte (Tesis de pregrado). ESPOL, Guayaquil.
- Haro Gualotuña, A. D., & Ñacato de la Cruz, J. O. (2006). Implementación de un sistema de extracción de humos de soldadura por arco eléctrico (Tesis de pregrado). EPN, Quito.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2014). Anuario Meteorológico. (C. Naranjo Jácome, Ed.)
- Janssen, J. E. (Septiembre de 1999). The History of Ventilation and Temperature Control. *ASHRAE JOURNAL*, 47-52.
- Kreider, J. F., Curtiss, P. S., & Rabl, A. (2010). *Heating and cooling of buildings Design for efficiency*. Boca Ratón: CRC Press.

- Lyndsey, K. (1991). Revision of the CLTD/CLF cooling load calculation method. En K. Lyndsey, *Revision of the CLTD/CLF cooling load calculation method* (págs. 1-99). Stillwater, Ok: Oklahoma State University.
- Pérez Gil, M. (2012). Diseño de sistemas de ventilación industrial para los ambientes de trabajo de una empresa dedicada a la elaboración y comercialización de productos cosméticos (Tesis de pregrado). ESPOL, Guayaquil.
- Rodriguez Galbarro, H. (2010). *Ingemecánica*. (H. Rodriguez Galbarro, Editor) Recuperado el Agosto de 2015, de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>
- Sanga Chavarría, J. R. (2012). Ventilación de bodega de almacenamiento de producto terminado en una fábrica de balanceado (Tesis de pregrado). ESPOL, Guayaquil.
- Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association, Inc. (2006). *HVAC Systems duct Design*. Chantilly, VA: SMACNA, Inc.
- Vanegas, C. A. (2010). *Manejo de datos con Visual Basic y ASP .NET*. Bogotá.

## **ANEXOS**

## **ANEXO A**

### **TABLAS DE COEFICIENTES Y FACTORES NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS DE ENFRIAMIENTO MEDIANTE EL MÉTODO ASHRAE CLTD/CLF.**

Los datos tabulados en las tablas del anexo A son para latitud sur, en el caso de que se desee obtener datos para latitud norte, cambie los meses Enero a Diciembre por Julio a Junio y las orientaciones norte por sur, Ej. SSE en latitud sur es NNE en latitud norte.

Los anexos han sido obtenidos de (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1980, págs. 3.4, 3.19, 3.20, 3.21, 3.23, 3.24, 3.25, 3.31, 3.34, 3.35, 3.38, 3.39, 4.1)

**Anexo A-1:** Estructura de materiales disponibles.

- Paredes externas.

MATERIALES PARED	Tipo	U	Cp	Peso
		[Btu/h*ft <sup>2</sup> *°F]	[Btu/ft <sup>2</sup> *°F]	[lb/ft <sup>2</sup> ]
Concreto de 10[cm]	E	0,585	12,5	63
Concreto de 10[cm] + Aislante de 2.5[cm]	D	0,2	12,5	63
Concreto de 10[cm] + Aislante de 5[cm]	D	0,119	12,5	63
Concreto de 20[cm]	C	0,49	12,7	109
Concreto de 20[cm] + Aislante de 2.5[cm]	B	0,187	22	110
Concreto de 20[cm] + Aislante de 5[cm]	B	0,115	22	110
Bloque de 10[cm] + Espacio de Aire	F	0,263	7,2	36
Bloque de 10[cm] + Aislante de 2.5[cm]	F	0,161	7,2	36
Aislante de 5[cm] + Bloque de 10[cm]	E	0,11	7,3	37
Bloque de 20[cm]	E	0,348	11,3	57
Bloque de 20[cm] + Espacio de Aire	D	0,173	11,3	57
Bloque de 20[cm] + Aislante de 2.5[cm]	D	0,149	11,3	57

- Techos.

MATERIALES TECHO	U	Cp	Peso
	[Btu/h*ft <sup>2</sup> *°F]	[Btu/ft <sup>2</sup> *°F]	[lb/ft <sup>2</sup> ]
Acero, aislante 2,5[cm]	0,213	7	2,13
Acero, aislante 5[cm]	0,124	8	2,13
Madera 2,5[cm], aislante 2,5[cm]	0,17	8	3,73
Techo con viga estructural	0,225	23,51	3,39
Concreto 5 [cm], aislante 2,5 [cm]	0,122	29	6,57
Madera 2,5[cm], aislante 5[cm]	0,109	19	3,83
Concreto 15 [cm]	0,158	24	5,79
Madera 6,4[cm], aislante 2.5[cm]	0,13	13	6,51
Concreto 20[cm]	0,126	31	7,13
Concreto 10[cm], aislante 2,5[cm]	0,2	52	11,21
Madera 6,4[cm], aislante 5[cm]	0,093	13	6,61
Sistema de terraza	0,106	75	15,98
Concreto 15 [cm], aislante 2,5 [cm]	0,192	75	15,89
Madera 10[cm], aislante 2,5[cm]	0,106	17	9,27
Madera 10[cm], aislante 5 [cm]	0,078	18	9,27
Concreto 30[cm] baja densidad.	0,474	42,19	8,73
Techo Interno con baldosa	6,57	0,206	29
Techo Interno con alfombra	5,79	0,158	24
Techo Interno con parquet	6,57	0,206	29

- Ventanas.

<i>MATERIALES VENTANAS</i>	<i>U [Btu/h*ft<sup>2</sup>*°F]</i>	
	<i>Sombra</i>	<i>Sin sombra</i>
<i>Acrílico de 3 [mm] de espesor</i>	-	0,98
<i>Acrílico de 6 [mm] de espesor</i>	-	0,89
<i>Vidrio simple de hasta 6 [mm] de espesor</i>	0,81	1,04
<i>Vidrio doble de 3[mm] de espesor, separados 6 [mm]</i>	0,55	0,61
<i>Vidrio doble de 6[mm] de espesor, separados 12 [mm]</i>	0,52	0,56

- Puertas, paredes internas o tabiques.

<i>MATERIALES DIVISIONES INTERNAS</i>	<i>U [Btu/h*ft<sup>2</sup>*°F]</i>
<i>Pared común</i>	0,308
<i>Paneles de Gypsum</i>	0,27
<i>Vidrio</i>	1,04
<i>Madera (puertas)</i>	0,529

**Anexo A-2:** CLTD para el cálculo de cargas de enfriamiento en elementos externas.

- Paredes tipo “B” en un periodo comprendido entre 07:00 y 18:00.

<i>Orientación</i>	<i>Hora de análisis</i>											
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>S</i>	11	10	9	9	9	8	9	9	9	10	11	12
<i>SSE</i>	12	11	11	11	12	12	13	13	14	15	15	16
<i>SE</i>	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20
<i>ESE</i>	15	14	14	14	16	17	19	20	21	22	23	23
<i>E</i>	16	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26
<i>ENE</i>	16	15	15	15	16	18	20	21	23	24	25	26
<i>NE</i>	16	15	14	14	15	16	18	20	21	23	24	25
<i>NNE</i>	15	14	13	13	13	14	15	16	18	19	21	22
<i>N</i>	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19
<i>NNO</i>	17	16	14	13	13	13	12	13	14	15	17	20
<i>NO</i>	19	18	16	15	14	14	13	13	14	15	17	20
<i>ONO</i>	20	19	17	16	15	15	14	14	14	15	17	20
<i>O</i>	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19
<i>OSO</i>	19	17	16	15	14	14	13	13	13	14	15	17
<i>SO</i>	17	15	14	13	12	12	12	11	12	12	13	15
<i>SSO</i>	14	13	12	11	11	10	11	10	11	11	12	14

- Paredes tipo “C” en un periodo comprendido entre 07:00 y 18:00.

<i>Orientación</i>	<i>Hora de análisis</i>											
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>S</i>	9	8	8	7	7	8	8	9	10	12	13	14
<i>SSE</i>	9,5	9	9,5	10	11	13	14	15	16	17	18	19
<i>SE</i>	10	10	11	13	15	17	19	20	21	22	22	23
<i>ESE</i>	11	11	13	15	17	20	22	24	25	26	26	27
<i>E</i>	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30
<i>ENE</i>	12	12	13	15	18	21	24	26	28	29	30	30
<i>NE</i>	12	12	12	13	16	19	22	24	26	28	29	29
<i>NNE</i>	12	11	11	11	13	15	17	19	22	24	26	27
<i>N</i>	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24
<i>NNO</i>	14	13	11	11	10	11	11	14	16	19	22	25
<i>NO</i>	16	15	13	12	11	11	11	13	15	18	22	26
<i>ONO</i>	17	16	14	13	12	12	12	13	15	17	21	25
<i>O</i>	18	16	14	13	12	12	12	13	14	16	20	24
<i>OSO</i>	16	15	13	12	11	11	11	12	13	15	18	21
<i>SO</i>	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18
<i>SSO</i>	12	11	9,5	8,5	8,5	9	9	10	11	13	14	16

- Paredes tipo “D” en un periodo comprendido entre 07:00 y 18:00.

<i>Orientación</i>	<i>Hora de análisis</i>											
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>S</i>	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17
<i>SSE</i>	6,5	7	8	10	12	14	15	17	18	19	20	21
<i>SE</i>	7	8	10	14	17	20	22	23	23	24	24	25
<i>ESE</i>	7,5	8,5	11	16	20	24	26	28	28	29	28	29
<i>E</i>	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32
<i>ENE</i>	8	8,5	11	15	20	25	28	31	32	33	32	32
<i>NE</i>	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32
<i>NNE</i>	8	7,5	8	9,5	12	16	19	23	26	28	30	31
<i>N</i>	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29
<i>NNO</i>	10	8,5	8	7	7,5	8,5	11	14	18	23	27	31
<i>NO</i>	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32
<i>ONO</i>	13	11	10	8,5	8,5	8,5	10	12	15	20	26	31
<i>O</i>	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30
<i>OSO</i>	12	10	9	8	8	8,5	10	11	13	16	21	26
<i>SO</i>	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22
<i>SSO</i>	8	7,5	7	6,5	6,5	7,5	9	10	12	14	17	20

- Paredes tipo “E” en un periodo comprendido entre 07:00 y 18:00.

<i>Orientación</i>	<i>Hora de análisis</i>											
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>S</i>	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20
<i>SSE</i>	4	7	10	13	16	17	18	20	21	22	23	23
<i>SE</i>	5	9	15	20	24	25	25	26	26	26	26	26
<i>ESE</i>	6	10	17	23	29	31	32	32	31	30	30	29
<i>E</i>	6	11	18	26	33	36	38	37	36	34	33	32
<i>ENE</i>	6	10	15	23	29	34	37	37	37	35	34	33
<i>NE</i>	5	8	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33
<i>NNE</i>	5	6	8	12	17	22	27	31	33	34	34	33
<i>N</i>	4	3	4	5	9	13	19	24	29	32	34	33
<i>NNO</i>	5	4	4,5	5,5	8	11	16	21	27	32	36	38
<i>NO</i>	6	5	5	6	7	9	12	18	24	32	38	43
<i>ONO</i>	7	6	5,5	6	7	9	12	16	22	30	37	43
<i>O</i>	7	6	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43
<i>OSO</i>	7	6	5,5	5,5	6,5	8,5	11	14	18	24	31	38
<i>SO</i>	6	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32
<i>SSO</i>	5	5	5	5,5	6,5	8,5	11	13	16	19	23	26

- Paredes tipo “F” en un periodo comprendido entre 07:00 y 18:00.

<i>Orientación</i>	<i>Hora de análisis</i>											
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>S</i>	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23
<i>SSE</i>	4	9	15	18	20	20	21	22	23	24	25	25
<i>SE</i>	5	14	23	28	30	29	28	27	27	27	27	26
<i>ESE</i>	6	16	26	33	37	37	36	33	32	31	30	28
<i>E</i>	6	17	28	38	44	45	43	39	36	34	32	30
<i>ENE</i>	5	14	24	33	40	43	43	41	38	35	33	31
<i>NE</i>	4	10	19	28	36	41	43	42	39	36	34	31
<i>NNE</i>	3	5,5	11	18	25	31	35	38	39	38	36	33
<i>N</i>	1	1	3	7	13	20	27	34	38	39	38	35
<i>NNO</i>	2	1,5	3,5	6	11	16	22	30	37	42	44	44
<i>NO</i>	2	2	4	5	8	11	17	26	35	44	50	53
<i>ONO</i>	3	2,5	4	5,5	8	11	16	23	32	42	50	55
<i>O</i>	3	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57
<i>OSO</i>	3	2,5	3,5	5,5	8	11	14	18	25	33	42	50
<i>SO</i>	2	2	3	5	8	10	13	15	21	27	35	42
<i>SSO</i>	2	3	4,5	6	8,5	11	14	16	20	24	29	33

- Techos en un periodo comprendido entre 07:00 y 18:00.

<i>Material</i>	<i>Hora de análisis</i>											
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>Acero, aislante 2,5[cm]</i>	6	19	34	49	61	71	78	79	77	70	59	45
<i>Acero, aislante 5[cm]</i>	6	19	34	49	61	71	78	79	77	70	59	45
<i>Madera 2,5[cm], aislante 2,5[cm]</i>	-2	4	14	27	39	52	62	70	74	74	70	62
<i>Techo con viga estructural</i>	1	1	3	7	15	23	33	43	51	58	62	64
<i>Concreto 5 [cm], aislante 2,5 [cm]</i>	-1	3	11	20	30	41	51	59	65	66	66	62
<i>Madera 2,5[cm], aislante 5[cm]</i>	-6	-3	5	16	27	39	49	57	63	64	62	57
<i>Concreto 15 [cm]</i>	1	1	3	7	15	23	33	43	51	58	62	64
<i>Madera 6,4[cm], aislante 2.5[cm]</i>	7	6	6	9	13	20	27	34	42	48	53	55
<i>Concreto 20[cm]</i>	11	9	7	7	9	13	19	25	33	39	46	50
<i>Concreto 10[cm], aislante 2,5[cm]</i>	8	8	10	14	20	26	33	40	46	50	53	53
<i>Madera 6,4[cm], aislante 5[cm]</i>	10	9	8	9	13	17	23	29	36	41	46	49
<i>Sistema de terraza</i>	16	14	13	13	15	18	22	26	31	36	40	44
<i>Concreto 15 [cm], aislante 2,5 [cm]</i>	15	14	14	16	18	22	26	31	36	40	43	45
<i>Madera 10[cm], aislante 2,5[cm]</i>	22	20	18	17	16	17	18	21	24	28	32	36
<i>Madera 10[cm], aislante 5 [cm]</i>	22	20	18	17	16	17	18	21	24	28	32	36
<i>Concreto 30[cm] baja densidad.</i>	8	8	10	14	20	26	33	40	46	50	53	53

### Anexo A-3: CLTD corregido.

- LM para latitudes Sur a 0°.

<i>Mes</i>	<i>Orientación de análisis</i>																
	<i>S</i>	<i>SSE</i>	<i>SSO</i>	<i>SE</i>	<i>SO</i>	<i>ESE</i>	<i>OSO</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>ENE</i>	<i>ONO</i>	<i>NE</i>	<i>NO</i>	<i>NNE</i>	<i>NNO</i>	<i>N</i>	<i>HOR</i>
<i>Ene</i>	10	7	7	5	5	0	0	-3	-3	-7	-7	-8	-8	-9	-9	-8	-4
<i>Feb</i>	5	4	4	3	3	0	0	-2	-2	-5	-5	-6	-6	-8	-8	-8	-2
<i>Mar</i>	-3	0	0	1	1	-1	-1	-1	-1	-3	-3	-3	-3	-5	-5	-8	0
<i>Abr</i>	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0
<i>May</i>	-3	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-1	-1	0	0	2	2	4	4	7	-1
<i>Jun</i>	-3	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-2	-2	0	0	3	3	6	6	9	-1
<i>Jul</i>	-3	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-1	-1	0	0	2	2	4	4	7	-1
<i>Ago</i>	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0
<i>Sept</i>	-3	0	0	1	1	-1	-1	-1	-1	-3	-3	-3	-3	-5	-5	-8	0
<i>Oct</i>	5	4	4	3	3	0	0	-2	-2	-5	-5	-6	-6	-8	-8	-8	-2
<i>Nov</i>	10	7	7	5	5	0	0	-3	-3	-7	-7	-8	-8	-9	-9	-8	-4
<i>Dic</i>	12	9	9	5	5	0	0	-3	-3	-7	-7	-9	9	-10	-10	-8	-5

- LM para latitudes Sur a 8°.

<i>Orientación de análisis</i>																	
<i>Mes</i>	<i>S</i>	<i>SSE</i>	<i>SSO</i>	<i>SE</i>	<i>SO</i>	<i>ESE</i>	<i>OSO</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>ENE</i>	<i>ONO</i>	<i>NE</i>	<i>NO</i>	<i>NNE</i>	<i>NNO</i>	<i>N</i>	<i>HOR</i>
<i>Ene</i>	9	6	6	4	4	0	0	-2	-2	-6	-6	-8	-8	-9	-9	-7	-2
<i>Feb</i>	2	2	2	2	2	0	0	-1	-1	-4	-4	-5	-5	-7	-7	-7	-1
<i>Mar</i>	-3	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-4	0
<i>Abr</i>	-3	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-1	-1	-1	-1	1	1	2	2	4	-1
<i>May</i>	-3	-5	-5	-6	-6	-5	-5	-2	-2	0	0	3	3	6	6	10	-4
<i>Jun</i>	-4	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-3	-3	0	0	4	4	8	8	12	-5
<i>Jul</i>	-3	-5	-5	-6	-6	-5	-5	-2	-2	0	0	3	3	6	6	10	-4
<i>Ago</i>	-3	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-1	-1	-1	-1	1	1	2	2	4	-1
<i>Sept</i>	-3	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-4	0
<i>Oct</i>	2	2	2	2	2	0	0	-1	-1	-4	-4	-5	-5	-7	-7	-7	-1
<i>Nov</i>	7	5	5	4	4	0	0	-2	-2	-5	-5	-7	-7	-9	-9	-7	-2
<i>Dic</i>	7	5	5	4	4	0	0	-2	-2	-5	-5	-7	-7	-9	-9	-7	-2

**Anexo A-4:** CLTD para superficies transparentes externas en conducción.

<i>Hora</i>	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>CLTD</i>	-2	0	2	4	7	9	12	13	14	14	13	12

**Anexo A-5:** SHGF para superficies transparentes externas en radiación.

- SHGF para latitudes Sur a 0°.

<i>Orientación de análisis</i>																	
<i>Mes</i>	<i>S</i>	<i>SSE</i>	<i>SSO</i>	<i>SE</i>	<i>SO</i>	<i>ESE</i>	<i>OSO</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>ENE</i>	<i>ONO</i>	<i>NE</i>	<i>NO</i>	<i>NNE</i>	<i>NNO</i>	<i>N</i>	<i>HOR</i>
<i>Ene</i>	115	164	164	201	201	213	213	195	195	149	149	77	77	38	38	38	260
<i>Feb</i>	75	134	134	187	187	216	216	212	212	175	175	112	112	39	39	38	276
<i>Mar</i>	40	84	84	163	163	213	213	231	231	213	213	163	163	84	84	40	293
<i>Abr</i>	37	40	40	129	129	199	199	236	236	238	238	202	202	135	135	66	299
<i>May</i>	35	35	35	88	88	175	175	230	230	250	250	230	230	179	179	117	293
<i>Jun</i>	34	34	34	71	71	164	164	226	226	253	253	240	240	196	196	138	288
<i>Jul</i>	34	34	34	88	88	177	177	234	234	254	254	235	235	182	182	118	296
<i>Ago</i>	36	39	39	132	132	205	205	245	245	247	247	210	210	141	141	67	306
<i>Sept</i>	38	87	87	170	170	223	223	242	242	223	223	170	170	87	87	38	303
<i>Oct</i>	71	134	134	193	193	224	224	221	221	184	184	118	118	38	38	37	284
<i>Nov</i>	113	164	164	203	203	218	218	201	201	154	154	80	80	37	37	37	265
<i>Dic</i>	129	173	173	206	206	212	212	191	191	140	140	66	66	37	37	37	255

- SHGF para latitudes Sur a 4°.

<i>Orientación de análisis</i>																	
<i>Mes</i>	<i>S</i>	<i>SSE</i>	<i>SSO</i>	<i>SE</i>	<i>SO</i>	<i>ESE</i>	<i>OSO</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>ENE</i>	<i>ONO</i>	<i>NE</i>	<i>NO</i>	<i>NNE</i>	<i>NNO</i>	<i>N</i>	<i>HOR</i>
<i>Ene</i>	96	154	154	197	197	215	215	200	200	156	156	85	85	39	39	38	267
<i>Feb</i>	59	124	124	184	184	215	215	214	214	181	181	120	120	42	42	40	279
<i>Mar</i>	39	75	75	156	156	209	209	231	231	216	216	170	170	93	93	44	293
<i>Abr</i>	36	36	36	120	120	193	193	234	234	239	239	207	207	148	148	86	294
<i>May</i>	34	34	34	79	79	168	168	226	226	248	248	232	232	190	190	139	284
<i>Jun</i>	33	33	33	62	62	157	157	221	221	250	250	242	242	206	206	160	277
<i>Jul</i>	33	33	33	79	79	170	170	229	229	252	252	237	237	193	193	141	286
<i>Ago</i>	35	35	35	123	123	199	199	242	242	248	248	215	215	152	152	88	301
<i>Sept</i>	38	77	77	163	163	219	219	242	242	227	227	177	177	96	96	43	302
<i>Oct</i>	55	125	125	189	189	223	223	223	223	190	190	126	126	43	43	38	287
<i>Nov</i>	93	154	154	200	200	220	220	206	206	161	161	89	89	38	38	38	272
<i>Dic</i>	110	164	164	202	202	215	215	196	196	147	147	73	73	38	38	38	263

- SHGF para latitudes Sur a 8°.

<i>Orientación de análisis</i>																	
<i>Mes</i>	<i>S</i>	<i>SSE</i>	<i>SSO</i>	<i>SE</i>	<i>SO</i>	<i>ESE</i>	<i>OSO</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>ENE</i>	<i>ONO</i>	<i>NE</i>	<i>NO</i>	<i>NNE</i>	<i>NNO</i>	<i>N</i>	<i>HOR</i>
<i>Ene</i>	77	145	145	195	195	215	215	204	204	162	162	93	93	40	40	39	272
<i>Feb</i>	47	117	117	179	179	214	214	216	216	186	186	128	128	51	51	41	282
<i>Mar</i>	38	66	66	149	149	205	205	230	230	219	219	176	176	107	107	56	290
<i>Abr</i>	35	35	35	112	112	187	187	231	231	239	239	211	211	160	160	108	288
<i>May</i>	33	33	33	71	71	161	161	220	220	245	245	233	233	200	200	160	273
<i>Jun</i>	31	31	31	55	55	149	149	215	215	246	246	247	247	215	215	179	265
<i>Jul</i>	32	32	32	71	71	163	163	224	224	250	250	242	242	203	203	162	275
<i>Ago</i>	34	34	34	114	114	193	193	239	239	248	248	219	219	165	165	110	294
<i>Sept</i>	37	67	67	156	156	215	215	241	241	230	230	184	184	110	110	55	300
<i>Oct</i>	44	117	117	184	184	221	221	225	225	195	195	134	134	53	53	39	289
<i>Nov</i>	74	146	146	198	198	220	220	209	209	167	167	97	97	39	39	38	277
<i>Dic</i>	90	155	155	200	200	217	217	200	200	141	141	82	82	39	39	39	269

**Anexo A-6:** SC para superficies transparentes externas en radiación.

<i>Material</i>	<i>SC de acuerdo al tipo de sombra interior</i>					<i>Sin sombra</i>
	<i>Persiana</i>		<i>Cortina</i>	<i>Persiana interna</i>		
	<i>Claro</i>	<i>Opaco</i>		<i>Claro</i>	<i>Opaco</i>	
<i>Acrílico 3[mm]</i>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,98
<i>Acrílico 6[mm]</i>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,98
<i>Vidrio simple hasta 6 [mm]</i>	0,55	0,64	0,6	N/A	N/A	1
<i>Vidrio doble 3[mm], separados 6[mm]</i>	0,51	0,57	0,52	0,33	0,36	0,88
<i>Vidrio doble 6[mm], separados 12 [mm]</i>	0,51	0,57	0,52	0,33	0,36	0,88

**Anexo A-7:** CLF para superficies transparentes externas en radiación.

- CLF para superficies cristalinas con sombra interior.

<i>Orientación</i>	<i>Hora de análisis</i>											
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>S</i>	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9
<i>SSE</i>	0,8	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
<i>SE</i>	0,8	0,7	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
<i>ESE</i>	0,8	0,8	0,7	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
<i>E</i>	0,7	0,8	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
<i>ENE</i>	0,7	0,8	0,8	0,7	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
<i>NE</i>	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1
<i>NNE</i>	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
<i>N</i>	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2
<i>NNO</i>	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,5	0,3
<i>NO</i>	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,5
<i>ONO</i>	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	0,8	0,6
<i>O</i>	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8	0,6
<i>OSO</i>	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,7	0,8	0,8	0,7
<i>SO</i>	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,7
<i>SSO</i>	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8	0,8
<i>HOR</i>	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,3

- CLF para superficies cristalinas sin sombra interior.

<i>ORIENTACIÓN</i>	<i>Hora de análisis</i>											
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>S</i>	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
<i>SSE</i>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
<i>SE</i>	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
<i>ESE</i>	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
<i>E</i>	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
<i>ENE</i>	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
<i>NE</i>	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
<i>NNE</i>	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
<i>N</i>	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4
<i>NNO</i>	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4
<i>NO</i>	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
<i>ONO</i>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
<i>O</i>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6
<i>OSO</i>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,6
<i>SO</i>	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5
<i>SSO</i>	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
<i>HOR</i>	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5

**Anexo A-8:** Factor para fluorescentes.

<i>Pot. Lámpara</i>	<i>Lamp/base</i>	<i>F<sub>s</sub></i>
35	1	1,3
40		
35	2	1,2
40		
60	1	1,3
75		
60	2	1,2
75		
110	1	1,25
110	2	1,07
160	1	1,15
160	2	1,08
185	1	1,08
215		
185	2	1,06
215		

## ANEXO B

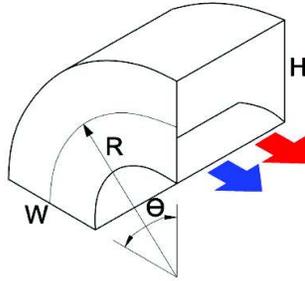
### COEFICIENTES DE FRICCIÓN PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDAS DINÁMICAS DE PRESIÓN EN ACCESORIOS DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN.

Nota: Para el uso de las tablas presentadas a continuación se tiene que:  $R$  es radio,  $H$  es alto,  $W$  es ancho,  $A$  es área,  $Q$  es caudal,  $V$  es velocidad,  $c$  o  $s$  son la entrada o salida principal del accesorio mientras que  $b$  representa el ramal.

Los datos tabulados corresponden a los accesorios que se ha considerado para este proyecto, todos tienen sección rectangular y han sido adaptados de (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association, Inc., 2006, págs. A.16, A.20, A.23, A.26, A.28, A.36. )

**Anexo B-1:** Coeficiente de pérdida de presión en accesorios  $c$  en codos.

- Codo de 90°.



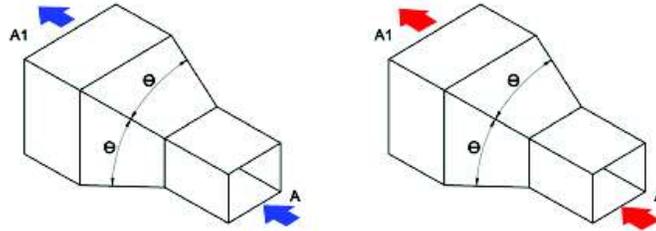
$R/W$	$H/W$										
	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2	3	4	5	6	8
0,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2
0,75	0,57	0,52	0,48	0,44	0,40	0,39	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44
1,0	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,18	0,19	0,20	0,27	0,21
1,5	0,22	0,2	0,19	0,17	0,15	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17
2,0	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15

- Factor de corrección para el  $c$  en codos de 90°.

$R/W$	$Re * 10^4$								
	1	2	3	4	6	8	10	14	$\geq 20$
0,5	1,4	1,26	1,19	1,14	1,09	1,06	1,04	1,0	1,0
$\geq 0,75$	2,0	1,77	1,64	1,56	1,46	1,38	1,3	1,15	1,0

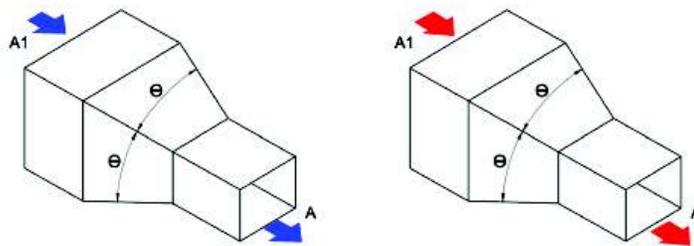
**Anexo B-2:** Coeficiente de pérdida de presión en accesorios  $c$  en transiciones.

- Transición (ampliación).



$A1/A$	$\theta$							
	$16^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$	$180^\circ$
2	0,18	0,22	0,25	0,29	0,31	0,32	0,33	0,30
4	0,36	0,43	0,50	0,56	0,61	0,63	0,63	0,63
6	0,42	0,47	0,58	0,68	0,72	0,76	0,76	0,75
$\geq 10$	0,42	0,49	0,59	0,70	0,80	0,87	0,85	0,86

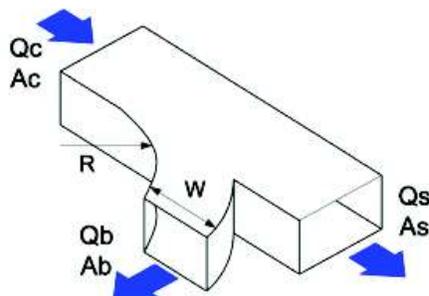
- Contracción.



$A1/A$	$\theta$						
	$10^\circ$	$15^\circ-40^\circ$	$50^\circ-60^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$	$150^\circ$	$180^\circ$
2	0,05	0,05	0,06	0,12	0,18	0,24	0,26
4	0,05	0,04	0,07	0,17	0,27	0,35	0,41
6	0,05	0,04	0,07	0,18	0,28	0,36	0,42
$\geq 10$	0,05	0,05	0,08	0,19	0,29	0,37	0,43

**Anexo B-3:** Coeficiente de pérdida de presión en accesorios *c* en derivaciones.

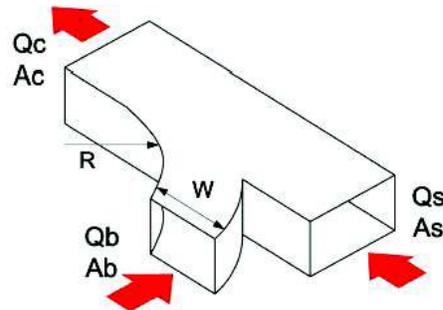
- Y de suministro.



<i>DIRECCIÓN DEL FLUJO POR LA SALIDA PRINCIPAL</i>										
<i>As/Ac</i>	<i>Ab/Ac</i>	<i>Qb/Qc</i>								
		<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,5</i>	<i>0,6</i>	<i>0,7</i>	<i>0,8</i>	<i>0,9</i>
<i>0,25</i>	<i>0,25</i>	-0,01	-0,03	-0,01	0,05	0,13	0,21	0,29	0,38	0,46
<i>0,33</i>	<i>0,25</i>	0,08	0	-0,02	-0,01	0,02	0,08	0,16	0,24	0,34
<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	-0,03	-0,06	-0,05	0	0,06	0,12	0,19	0,27	0,35
<i>0,67</i>	<i>0,5</i>	0,04	-0,02	-0,04	-0,03	-0,01	0,04	0,12	0,23	0,37
<i>1,0</i>	<i>0,5</i>	0,72	0,48	0,28	0,13	0,05	0,04	0,09	0,18	0,3
<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	-0,02	-0,04	-0,04	-0,01	0,06	0,13	0,22	0,3	0,38
<i>1,33</i>	<i>1,0</i>	0,1	0	0,01	-0,03	-0,01	0,03	0,1	0,2	0,3
<i>2,0</i>	<i>1,0</i>	0,62	0,38	0,23	0,13	0,08	0,05	0,06	0,1	0,2

<i>DIRECCIÓN DEL FLUJO POR LA SALIDA RAMAL</i>										
<i>Ab/As</i>	<i>Ab/Ac</i>	<i>Qb/Qc</i>								
		<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,5</i>	<i>0,6</i>	<i>0,7</i>	<i>0,8</i>	<i>0,9</i>
<i>0,25</i>	<i>0,25</i>	0,55	0,5	0,6	0,85	1,2	1,8	3,1	4,4	6
<i>0,33</i>	<i>0,25</i>	0,35	0,35	0,5	0,8	1,3	2	2,8	3,8	5
<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	0,62	0,48	0,4	0,4	0,48	0,6	0,78	1,1	1,5
<i>0,67</i>	<i>0,5</i>	0,52	0,4	0,32	0,3	0,34	0,44	0,62	0,92	1,4
<i>1,0</i>	<i>0,5</i>	0,44	0,38	0,38	0,41	0,52	0,68	0,92	1,2	1,6
<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	0,67	0,55	0,46	0,37	0,32	0,29	0,29	0,3	0,37
<i>1,33</i>	<i>1,0</i>	0,70	0,6	0,51	0,42	0,34	0,28	0,26	0,26	0,29
<i>2,0</i>	<i>1,0</i>	0,60	0,52	0,43	0,33	0,24	0,17	0,15	0,17	0,21

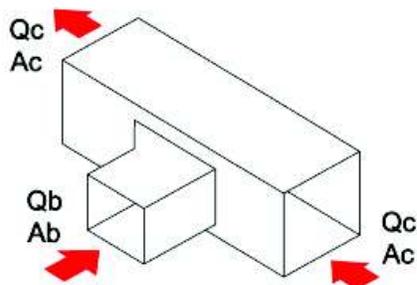
- Y de extracción.



INGRESO DEL FLUJO POR LA ENTRADA PRINCIPAL										
$A_s/A_c$	$A_b/A_c$	$Q_b/Q_c$								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,75	0,25	0,30	0,30	0,20	-0,10	-0,45	-0,92	-1,50	-2,00	-2,6
1,0	0,5	0,17	0,16	0,10	0	-0,08	-0,2	-0,27	-0,37	-0,46
0,75	0,5	0,27	0,35	0,32	0,25	0,12	-0,03	-0,23	-0,42	-0,58
0,5	0,5	1,2	1,1	0,90	0,65	0,35	0	-0,40	-0,80	-1,3
1,0	1,0	0,18	0,24	0,27	0,26	0,23	0,18	0,10	0	-0,12
0,75	1,0	0,75	0,36	0,38	0,35	0,27	0,18	0,05	-0,08	-0,22
0,5	1,0	0,80	0,87	0,80	0,68	0,55	0,40	0,25	0,08	-0,10

INGRESO DEL FLUJO POR LA ENTRADA RAMAL										
$A_b/A_s$	$A_b/A_c$	$Q_b/Q_c$								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,25	0,25	-0,50	0	0,50	1,2	2,2	3,7	5,8	8,4	11
0,33	0,25	-1,2	-0,40	0,40	1,6	3,0	4,8	6,8	8,9	11
0,5	0,5	-0,50	-0,20	0	0,25	0,45	0,70	1,0	1,5	2,0
0,67	0,5	-1,00	-0,60	-0,20	0,10	0,30	0,60	1,0	1,5	2,0
1,0	0,5	-2,2	-1,5	-0,95	-0,50	0	0,40	0,80	1,3	1,9
1,0	1,0	-0,60	-0,30	-0,10	-0,04	0,13	0,21	0,29	0,36	0,42
1,33	1,0	-1,2	-0,80	-0,40	-0,20	0	0,16	0,24	0,32	0,38
2,0	1,0	-2,1	-1,4	-0,90	-0,50	-0,20	0	0,20	0,25	0,30

- T de extracción.



<i>INGRESO DEL FLUJO POR LA ENTRADA PRINCIPAL</i>										
<i><math>Q_b/Q_c</math></i>										
	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,5</i>	<i>0,6</i>	<i>0,7</i>	<i>0,8</i>	<i>0,9</i>	<i>1,0</i>
<i>c</i>	0,16	0,27	0,38	0,46	0,53	0,57	0,59	0,60	0,59	0,55

<i>INGRESO DEL FLUJO POR LA ENTRADA RAMAL</i>										
<i>V_c</i>	<i><math>Q_b/Q_c</math></i>									
<i>[fpm]</i>	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,5</i>	<i>0,6</i>	<i>0,7</i>	<i>0,8</i>	<i>0,9</i>	<i>1,0</i>
<i>&lt;1200</i>	-0,83	-0,68	-0,30	0,28	0,55	1,03	1,50	1,93	2,50	3,03
<i>&gt;1200</i>	-0,72	-0,52	-0,23	0,34	0,76	1,14	1,83	2,01	2,90	3,63

## **ANEXO C**

**MANUAL DEL USUARIO**

**SOFTWARE DE VENTILACIÓN MECÁNICA**

## CONTENIDO

Contenido.....	1
Contenido de figuras.....	2
<b>1 Manual del Usuario.....</b>	<b>3</b>
1.1 Implementación del sistema.....	3
1.2 Ingreso al programa.....	3
1.3 Dimensionamiento de ductos de ventilación mecánica.....	4
1.3.1 Ingreso de parámetros y cálculo de opciones de ductos rectangulares.....	4
1.3.2 Ingreso al sistema ducto rectangular de interés.....	5
1.3.3 Descartar registro de ducto rectangular ingresado.....	6
1.4 Cálculo de caída de presión en ductos de ventilación mecánica.....	7
1.4.1 Adición de accesorio en diagrama unifilar AutoCAD.....	7
1.4.2 Descartar accesorio en diagrama unifilar AutoCAD.....	8
1.4.3 Selección de línea crítica de análisis en diagrama unifilar AutoCAD.....	8

## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>1</b>	<b>Manual del Usuario.....</b>	<b>3</b>
	Figura C1.1: Ingreso de comando en ventana AutoCAD.....	3
	Figura C1.2: Ventana de ensamble .NET.....	3
	Figura C1.3: Ingreso de datos generales.....	4
	Figura C1.4: Selección de ducto en diagrama unifilar AutoCAD.....	4
	Figura C1.5: Alternativas de ductos rectangulares disponibles.....	5
	Figura C1.6: Ubicación de descripción en diagrama unifilar AutoCAD.....	5
	Figura C1.7: Detalle de # Tramo dentro de diagrama unifilar AutoCAD.....	6
	Figura C1.8: Opción Eliminar Registro de pantalla de ductos seleccionados.....	6
	Figura C1.9: Detalle de selección de descripción para eliminación de registro.....	6
	Figura C1.10: Opción Agregar Accesorio de pantalla de ductos seleccionados.....	7
	Figura C1.11: Selección de accesorio desde pantalla de accesorios.....	7
	Figura C1.12: Ubicación de accesorio en diagrama unifilar AutoCAD.....	8
	Figura C1.13: Descarte de accesorio desde pantalla de accesorios.....	8
	Figura C1.14: Selección de accesorio a ser descartado.....	8
	Figura C1.15: Opción Caída de Presión de pantalla de ductos seleccionados.....	9
	Figura C1.16: Selección de ductos y accesorios en diagrama unifilar AutoCAD.....	9
	Figura C1.17: Edición de elemento no registrado.....	10
	Figura C1.18: Ingreso de parámetros de elemento a registrar.....	10
	Figura C1.19: Ingreso de difusor o rejilla a la línea de análisis.....	11
	Figura C1.20: Almacenamiento de caídas de presión calculadas.....	11

# 1 MANUAL DEL USUARIO

## 1.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Contar con:

- Sistema operativo Windows 7
- AutoCAD 2012 64 bits
- Net framework 4.0

## 1.2 INGRESO AL PROGRAMA

El software al ser creado como una biblioteca para AutoCAD, debe ser ejecutado de la siguiente manera:

- Ejecutar aplicación AutoCAD 2012
- Digitar comando NETLOAD ingresado en la línea de comando como se aprecia en la Figura C1.1.

```
Comando: *Cancelar*
Comando: *Cancelar*
Comando: *Cancelar*
Comando: NETLOAD
```

Figura C1.1: Ingreso de comando en ventana AutoCAD.

Abrir la carpeta Debug y seleccionar la biblioteca Ductulador\_A\_E.dll, como en la Figura C1.2.

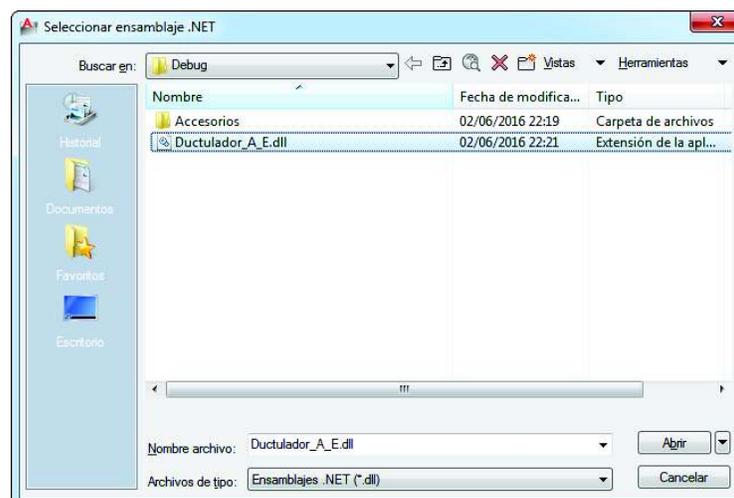


Figura C1.2: Ventana de ensamble .NET.

- Digitar comando DUCTULADOR ingresado en la línea de comando.

### 1.3 DIMENSIONAMIENTO DE DUCTOS DE VENTILACIÓN MECÁNICA

#### 1.3.1 INGRESO DE PARÁMETROS Y CÁLCULO DE OPCIONES DE DUCTOS RECTANGULARES

Una vez que se ha ejecutado la biblioteca dentro de AutoCAD, es de vital importancia llenar todos los parámetros establecidos en la pantalla de ingreso de datos generales del software, tal como en la Figura C1.3.

Figura C1.3: Ingreso de datos generales.

A continuación, se ingresa el tipo de ducto de ventilación, flujo de aire, longitud de tramo y la descripción del tramo; para ubicar la longitud del tramo se presiona sobre el botón Seleccionar Tramo, con el mouse sobre el diagrama unifilar se ubica el tramo de interés, ver Figura C1.4.

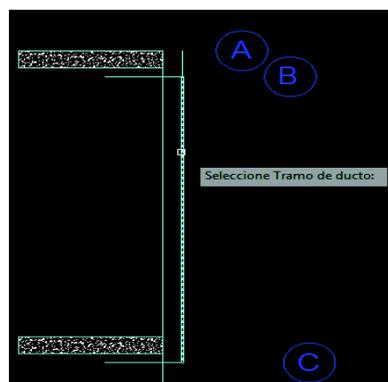


Figura C1.4: Selección de ducto en diagrama unifilar AutoCAD.

Finalmente, se presiona el botón Calcular dando las opciones de ductos rectangulares disponibles, como se indica en la Figura C1.5.

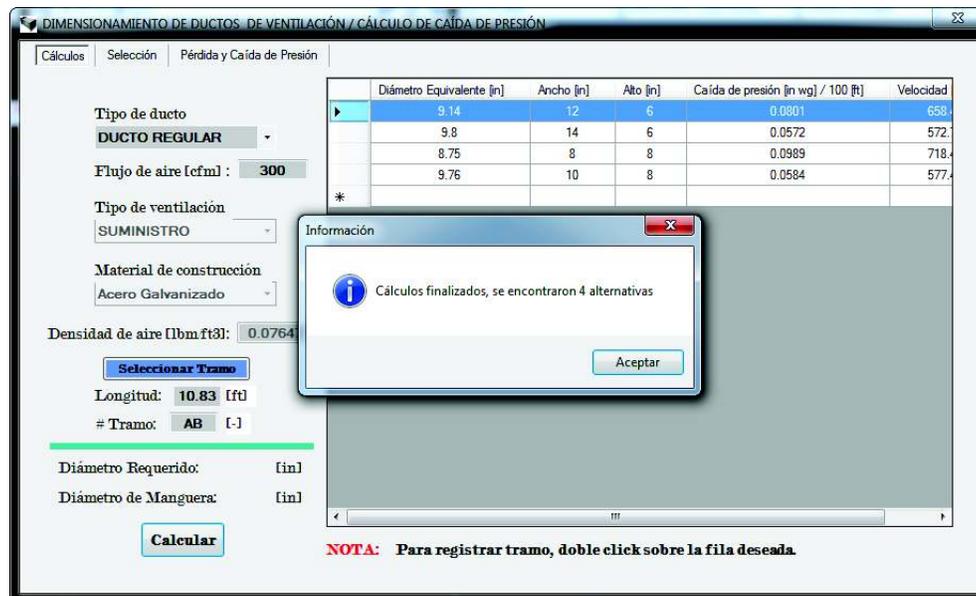


Figura C1.5: Alternativas de ductos rectangulares disponibles.

### 1.3.2 INGRESO AL SISTEMA DUCTO RECTANGULAR DE INTERÉS.

Para seleccionar una alternativa de ducto rectangular, con el mouse se da doble clic sobre la fila que contenga el ducto que se desea, seguido de la ubicación donde el usuario desee colocar una descripción en el espacio papel AutoCAD dado por el parámetro # Tramo, como se ve en la Figura C1.6 y en la Figura C1.7.

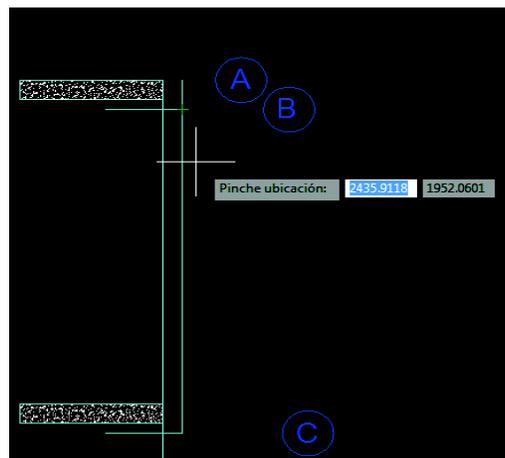


Figura C1.6: Ubicación de descripción en diagrama unifilar AutoCAD.

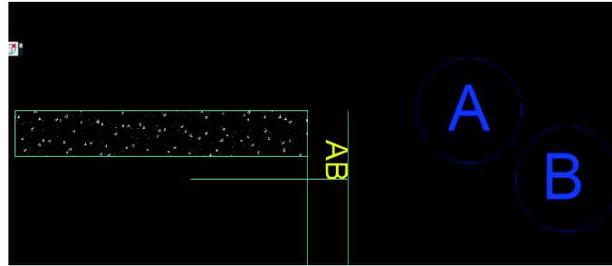


Figura C1.7: Detalle de # Tramo dentro de diagrama unifilar AutoCAD.

Si se desea visualizar la cantidad de ductos ingresados, seleccionar la opción Selección de la pantalla actual.

*Nota:* No se puede ingresar el mismo # Tramo, ni seleccionar más de una vez el tramo esquematizado en AutoCAD.

### 1.3.3 DESCARTAR REGISTRO DE DUCTO RECTANGULAR INGRESADO

Seleccione la opción Eliminar Registro (Figura C1.8), a continuación seleccione la descripción del tramo a eliminar como se ve en la Figura C1.9, finalmente a la pregunta elija la opción Si.



Figura C1.8: Opción Eliminar Registro de pantalla de ductos seleccionados.

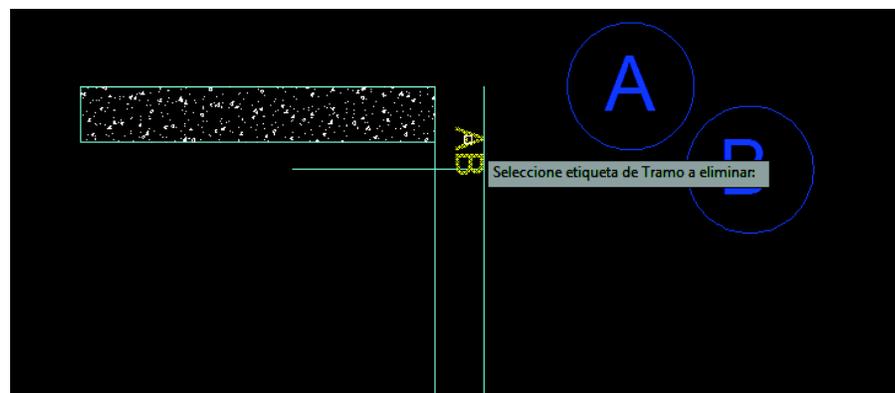


Figura C1.9: Detalle de selección de descripción para eliminación de registro.

## 1.4 CÁLCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN EN DUCTOS DE VENTILACIÓN MECÁNICA

El cálculo de la caída de presión se realiza a lo largo de una línea o líneas críticas, tomando en consideración accesorios y ductos rectangulares, el cálculo se lo puede realizar en suministro de extracción de aire.

### 1.4.1 ADICIÓN DE ACCESORIO EN DIAGRAMA UNIFILAR AUTOCAD.

Una vez que todos los ductos han sido ingresados, la adición de accesorio comprende ubicar bloques ya esquematizados en el diagrama unifilar de AutoCAD, de la siguiente manera:

- Escoger la opción Agregar Accesorios, ubicada en la pantalla de ductos seleccionados Figura C1.10.



Figura C1.10: Opción Agregar Accesorio de pantalla de ductos seleccionados

- Seleccione el accesorio a insertar, Figura C1.11

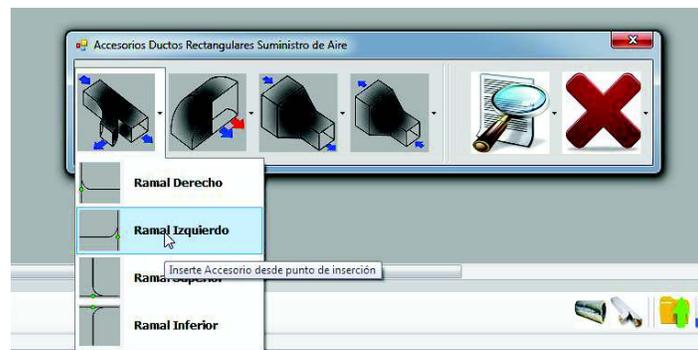


Figura C1.11: Selección de accesorio desde pantalla de accesorios.

- Ubique el accesorio tomando como referencia el punto de inserción (Figura C1.12).

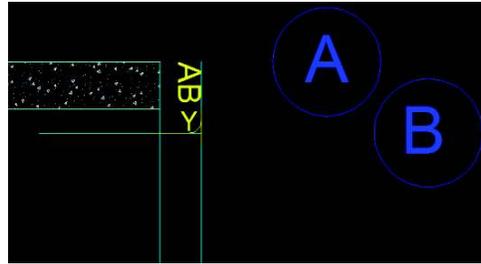


Figura C1.12: Ubicación de accesorio en diagrama unifilar AutoCAD.

#### 1.4.2 DESCARTAR ACCESORIO EN DIAGRAMA UNIFILAR AUTOCAD.

Seleccione la opción Eliminar Accesorio (Figura C1.13), a continuación pinche sobre el accesorio a ser removido (Figura C1.14), finalmente a la pregunta elija la opción Si.

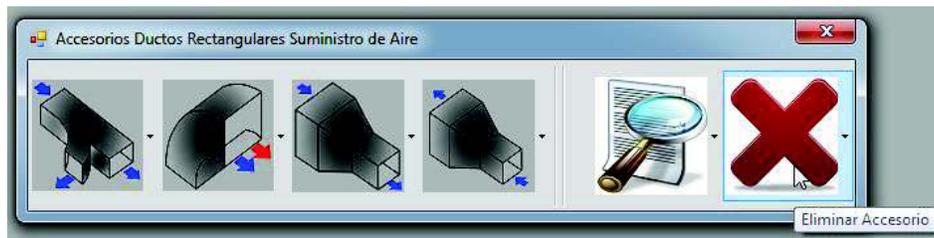


Figura C1.13: Descarte de accesorio desde pantalla de accesorios.

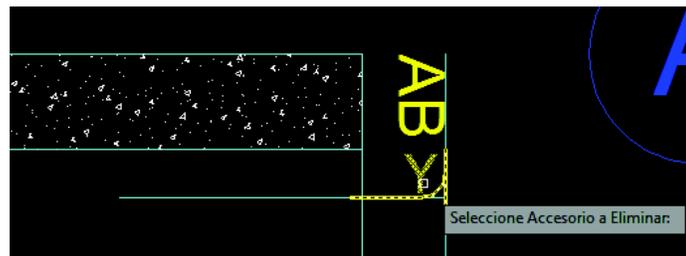


Figura C1.14: Selección de accesorio a ser descartado.

#### 1.4.3 SELECCIÓN DE LÍNEA CRÍTICA DE ANÁLISIS EN DIAGRAMA UNIFILAR AUTOCAD.

Para el análisis de la línea crítica del sistema de ventilación, los ductos de interés deben estar registrados y los accesorios insertados a lo largo del sistema, este análisis comprende lo siguiente los siguientes pasos:

- Escoja la opción Caída de Presión, a continuación a la pregunta elija ACEPTAR, Figura C1.15.



Figura C1.15: Opción Caída de Presión de pantalla de ductos seleccionados.

- Dentro de la sección Esquema Nodal, ubique la opción SELECCIONAR.
- Seleccione uno a uno los accesorios (bloques) y ductos (esquema unifilar) de forma ordena y consecutiva, tomando en consideración que la selección para el caso de suministro de aire se da desde el ducto saliente del ventilador hacia la manguera flexible, mientras que para extracción de aire se lo realiza de forma contraria, Figura C1.16.

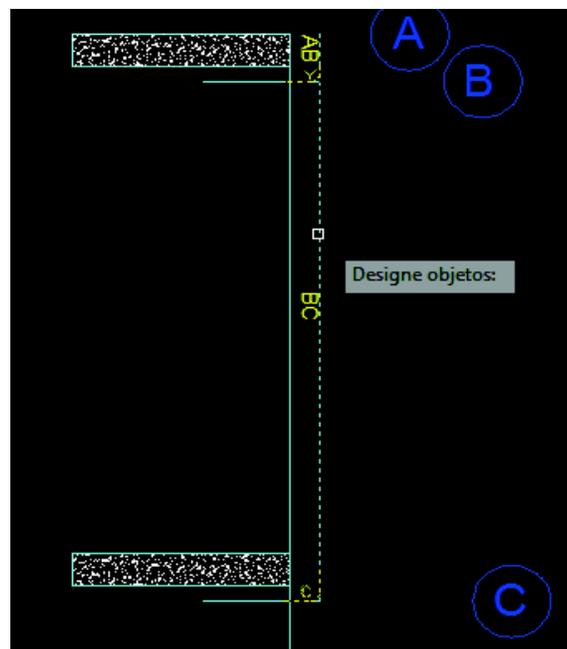


Figura C1.16: Selección de ductos y accesorios en diagrama unifilar AutoCAD.

- Para registrar elementos aun no ingresados en la tabla Resultados, elija el componente no pintado y con un clic derecho seleccione la opción Editar (Figura C1.17), a continuación llene los parámetros del elemento a ser ingresado (Figura C1.18), finalmente agregue el accesorio.

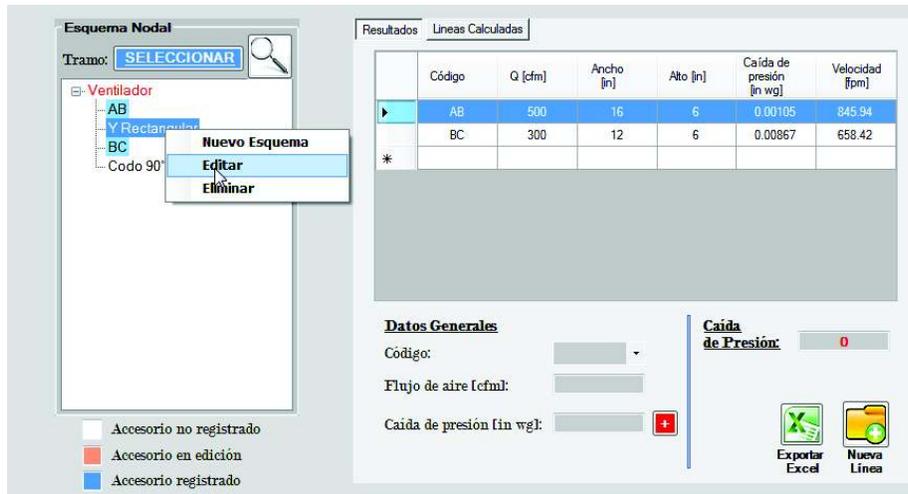


Figura C1.17: Edición de elemento no registrado.

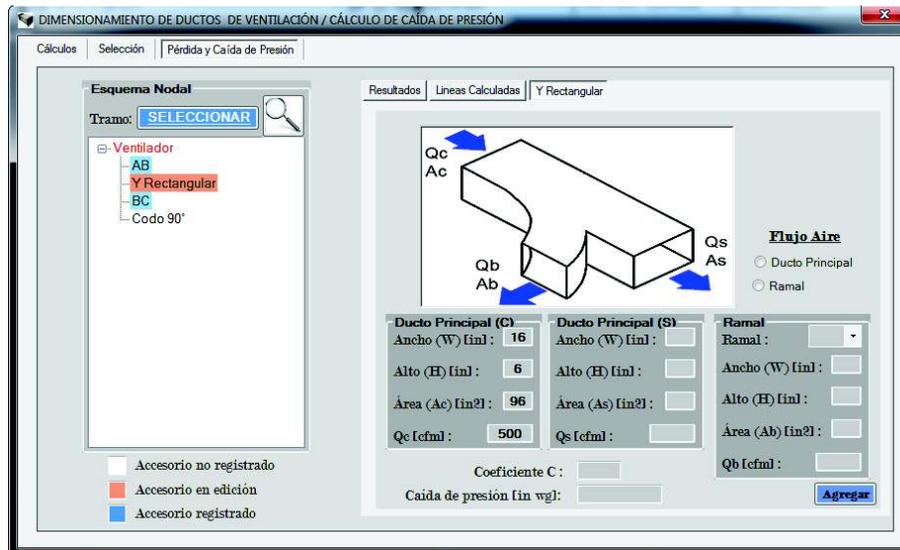


Figura C1.18: Ingreso de parámetros de elemento a registrar.

- Agregue difusor o rejilla según sea el caso, Figura C1.19.

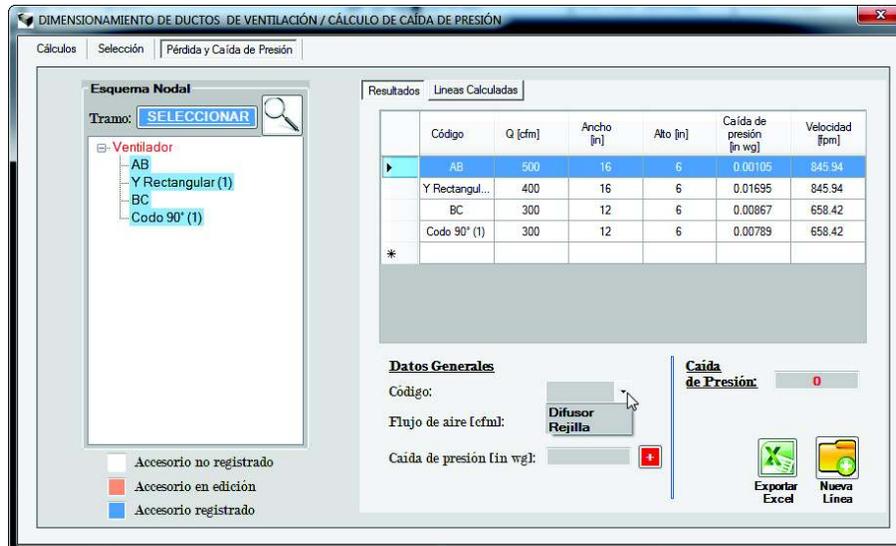


Figura C1.19: Ingreso de difusor o rejilla a la línea de análisis.

- Obtenga el total de caída de presión arrastrando el cursor del mouse por el cuadro de Caída de Presión.
- Para analizar más de una caída de presión, guarde la línea actual presionando la opción Nueva Línea, para visualizar las caídas de presión calculadas seleccione la opción Líneas Calculadas, Figura C1.20.

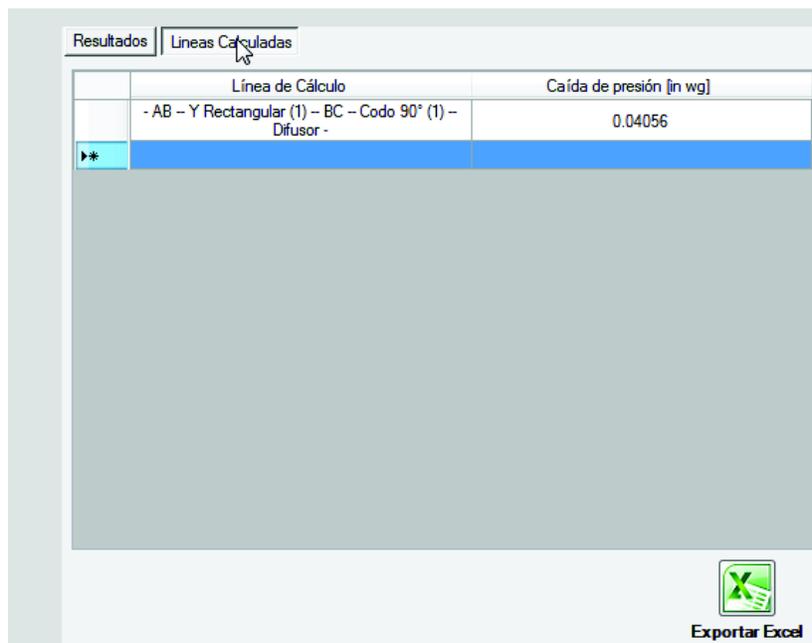


Figura C1.20: Almacenamiento de caídas de presión calculadas.

## **ANEXO D**

**MANUAL DEL USUARIO**

**SOFTWARE DE CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS DE ENFRIAMIENTO**

## CONTENIDO

Contenido.....	1
Contenido de figuras.....	2
<b>1 Manual del Usuario.....</b>	<b>4</b>
1.1 Implementación del sistema.....	4
1.2 Proceso de instalación de software.....	4
1.3 Cálculo de cargas de enfriamiento.....	7
1.3.1 Ingreso de condiciones iniciales de análisis.....	7
1.3.2 Ingreso de cargas de enfriamiento según procedencia.....	8
1.3.3 Ver resultados de carga total de enfriamiento.....	10
1.4 Resultados numéricos.....	10
1.5 Resultados gráficos.....	12
1.6 Cálculo de cargas de enfriamiento a otras condiciones.....	14
1.7 Cálculo de orientación óptima.....	15
1.7.1 Resultados numéricos.....	16
1.7.2 Resultados gráficos.....	17
1.8 Guardar proyecto.....	19
1.9 Abrir proyecto.....	20

## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>1</b>	<b>Manual del Usuario.....</b>	<b>4</b>
	Figura D1.1: Carpeta de instaladores del software de cargas de enfriamiento.....	4
	Figura D1.2: Ejecución de ejecutable del software de cargas de enfriamiento.....	5
	Figura D1.3: Asistente de instalación del software de cargas de enfriamiento.....	5
	Figura D1.4: Ubicación de instalación del software de cargas de enfriamiento.....	6
	Figura D1.5: Proceso de instalación del software de cargas de enfriamiento.....	6
	Figura D1.6: Instalación exitosa del software de cargas de enfriamiento. ....	6
	Figura D1.7: Inicio de nuevo proyecto en software de cargas de enfriamiento.....	7
	Figura D1.8: Detalle de condiciones de entrada en software de cargas de enfriamiento.....	7
	Figura D1.9: Ingreso de condiciones geográficas mediante la opción Registro.....	8
	Figura D1.10: Ingreso de opciones edificio, planta y zona.....	9
	Figura D1.11: Ingreso de carga de enfriamiento al sistema.....	9
	Figura D1.12: Opción Resultados de la barra de menú Ver. ....	10
	Figura D1.13: Selección del sitio de interés a visualizar resultados.....	10
	Figura D1.14: Resultados por planta y zona.....	11
	Figura D1.15: Resultados por conjunto de zona de acuerdo a una planta. ....	11
	Figura D1.16: Opción exportar resultados a Excel. ....	11
	Figura D1.17: Resultados exportados en Excel. ....	12
	Figura D1.18: Opción crear gráfico.....	12
	Figura D1.19: Carga total de enfriamiento hora a hora. ....	12
	Figura D1.20: Carga total de enfriamiento en conjunto con otras ganancias de interés. ....	13
	Figura D1.21: Opción Guardar Gráfico.....	13
	Figura D1.22: Pantalla de diálogo guardar imagen creada. ....	14
	Figura D1.23: Opción Comparación a otras condiciones de la barra de menú Ver. ....	14
	Figura D1.24: Recálculo de la carga de enfriamiento a otras condiciones. ....	15
	Figura D1.25: Opción Orientación óptima de la barra de menú Ver. ....	15
	Figura D1.26: Selección del sitio de interés a realizar el cálculo de orientación óptima.....	16
	Figura D1.27: Opción Análisis de Ganancia de la barra de menú. ....	16
	Figura D1.28: Resultados obtenidos del Análisis de Ganancia.....	17
	Figura D1.29: Opción crear gráfico de orientación óptima.....	18
	Figura D1.30: Carga total de enfriamiento óptimo e ingresado por el usuario.....	18
	Figura D1.31: Opción Guardar como de la barra de menú Archivo.....	19
	Figura D1.32: Pantalla de diálogo guardar archivo. ....	19
	Figura D1.33: Proyecto guardado en base de datos Access. ....	20

Figura D1.34: Pantalla de diálogo abrir archivo. ....	20
Figura D1.35: Datos cargados con éxito en el software. ....	21

# 1 MANUAL DEL USUARIO

## 1.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Contar con:

- Sistema operativo Windows 7
- Net framework 4.0

## 1.2 PROCESO DE INSTALACIÓN DE SOFTWARE

El proceso de instalación se da mediante los siguientes pasos:

- Ingrese a la carpeta Cálculo de Cargas Térmicas → Instaladores, Figura D1.1.

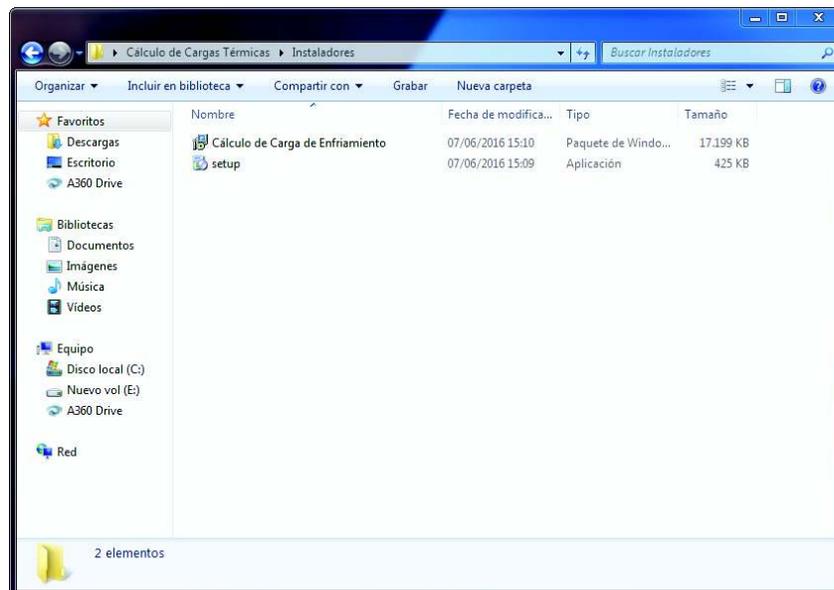


Figura D1.1: Carpeta de instaladores del software de cargas de enfriamiento.

- Seleccione la opción setup → Ejecutar como administrador, Figura D1.2.

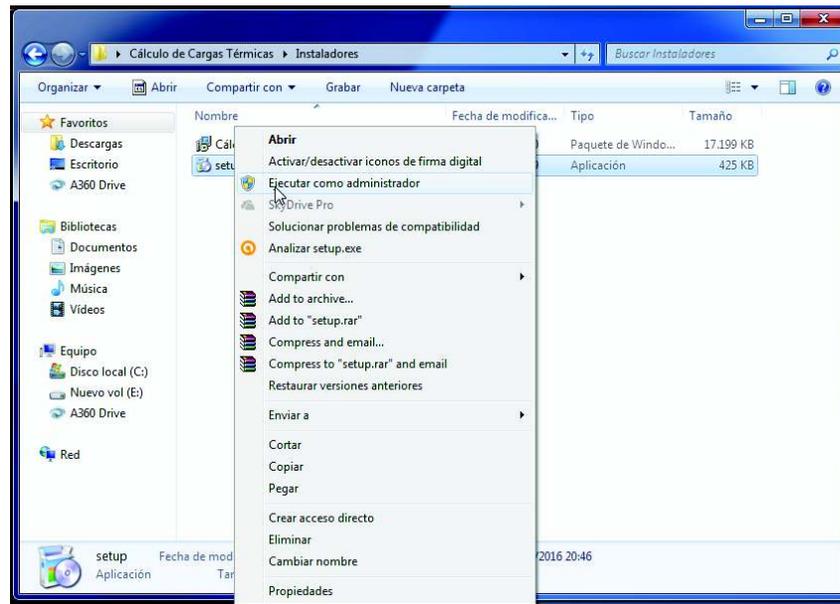


Figura D1.2: Ejecución de ejecutable del software de cargas de enfriamiento.

- En el cuadro de diálogo de asistencia de instalación, presione Siguiente (Figura D1.3), a continuación especifique el lugar de instalación del software en la carpeta “mis documentos” (Figura D1.4), finalmente el proceso de instalación empezará y el software estará listo para su uso, Figura D1.5. y Figura D1.6.

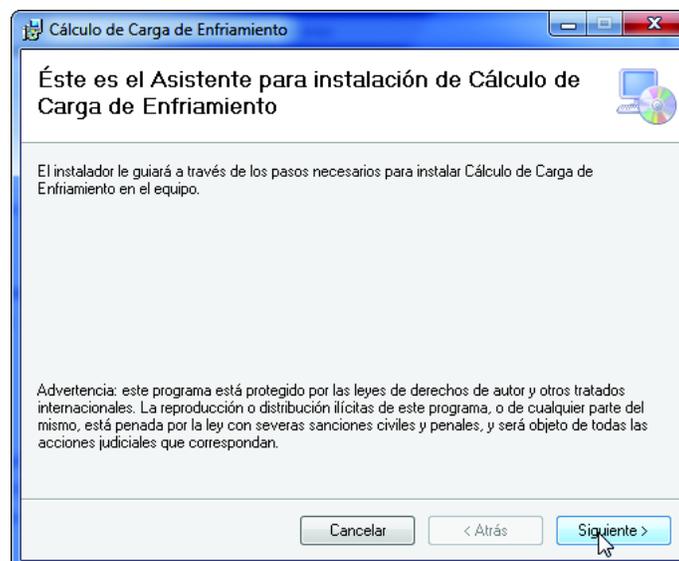


Figura D1.3: Asistente de instalación del software de cargas de enfriamiento.



Figura D1.4: Ubicación de instalación del software de cargas de enfriamiento.

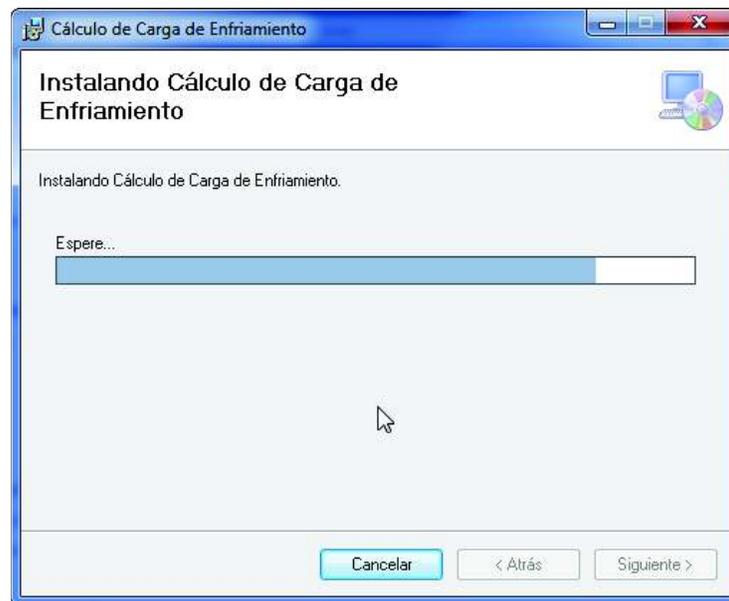


Figura D1.5: Proceso de instalación del software de cargas de enfriamiento.



Figura D1.6: Instalación exitosa del software de cargas de enfriamiento.

## 1.3 CÁLCULO DE CARGAS DE ENFRIAMIENTO

### 1.3.1 INGRESO DE CONDICIONES INICIALES DE ANÁLISIS.

Para iniciar un nuevo proyecto, ejecute el programa y seleccione de la barra de menú la opción Nuevo, tal como se observa en la Figura D1.7.

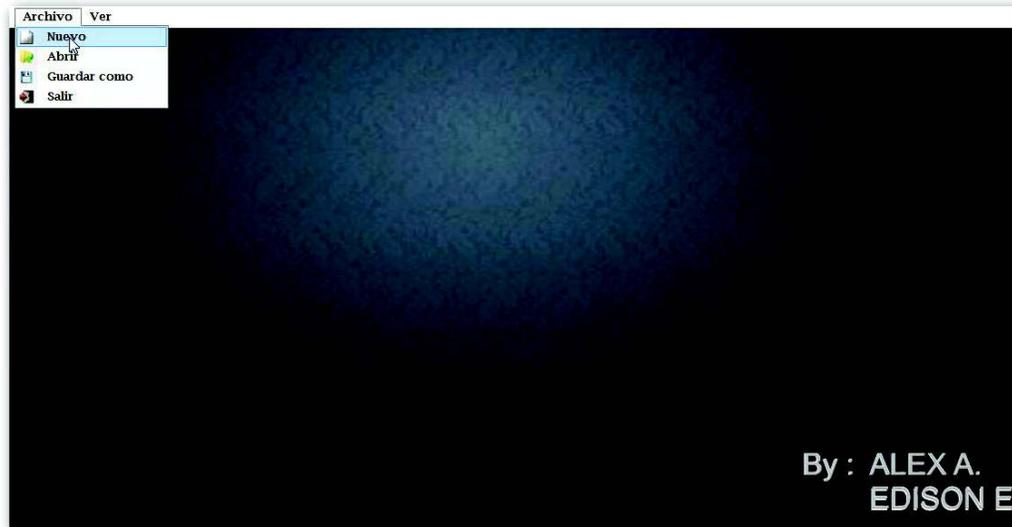


Figura D1.7: Inicio de nuevo proyecto en software de cargas de enfriamiento.

A continuación, ingrese los valores y datos de análisis para las condiciones geográficas y condiciones de diseño, esquematizado en la Figura D1.8. Finalmente presione la opción EMPEZAR.

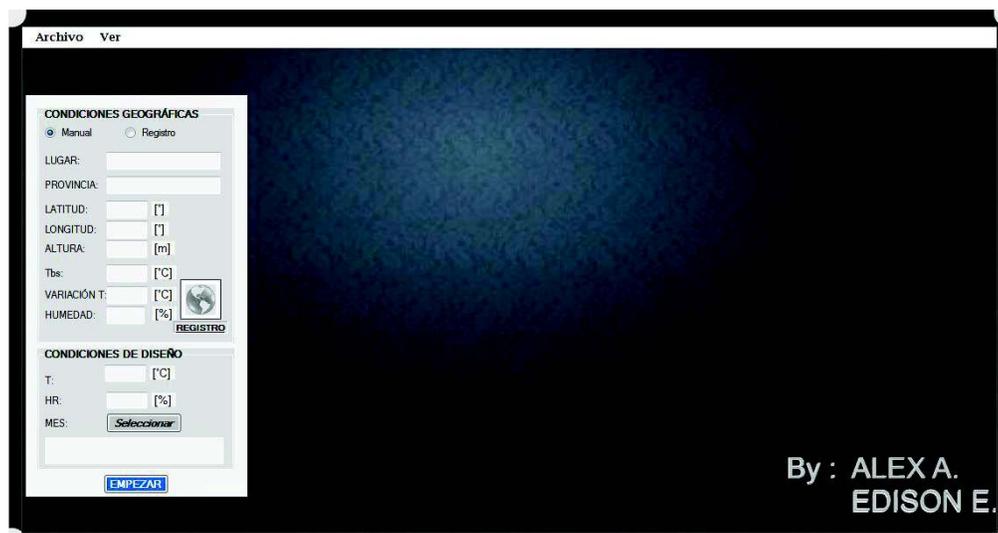


Figura D1.8: Detalle de condiciones de entrada en software de cargas de enfriamiento.

*Nota.-* Si el usuario desea hacer uso de los registros<sup>1</sup> que posee el software, seleccione la opción Registro, a continuación cliquee sobre el botón REGISTRO y seleccione el lugar de interés con un clic sobre la celda deseada, como se observa en la Figura D1.9.

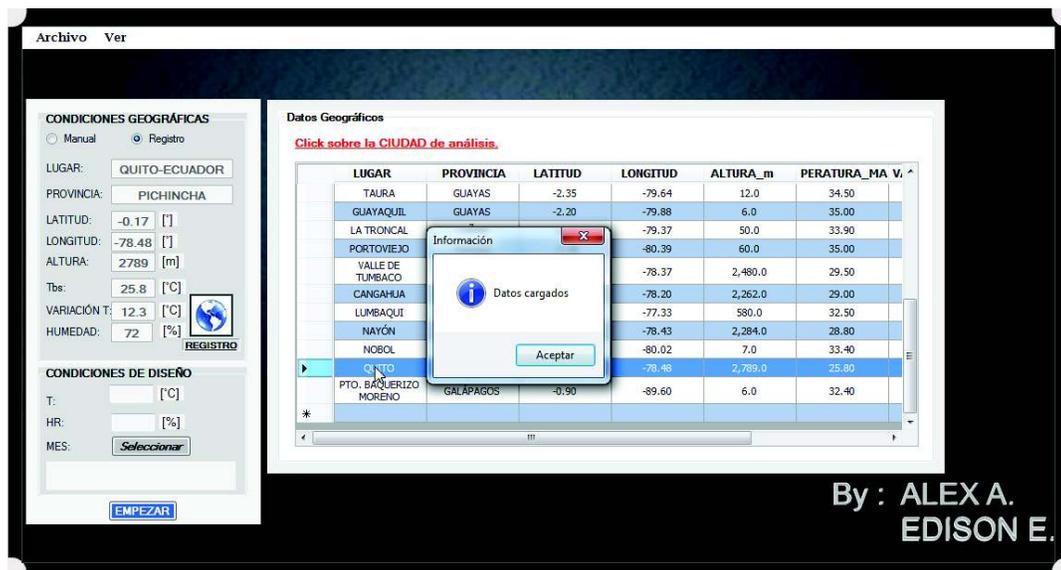


Figura D1.9: Ingreso de condiciones geográficas mediante la opción Registro.

### 1.3.2 INGRESO DE CARGAS DE ENFRIAMIENTO SEGÚN PROCEDENCIA.

La barra de procedencia ubicada en la parte central del software, permite el ingreso de cada una de las cargas de enfriamiento, detalladas a continuación:

- Ingrese las opciones Agregar Edificio → Agregar Planta → Agregar Zona, ilustradas en la Figura D1.10. Las opciones Agregar Planta y Agregar Zona permiten incorporar una identificación a la planta y zona respectivamente.

<sup>1</sup> Datos tomados del Anuario Meteorológico 2014

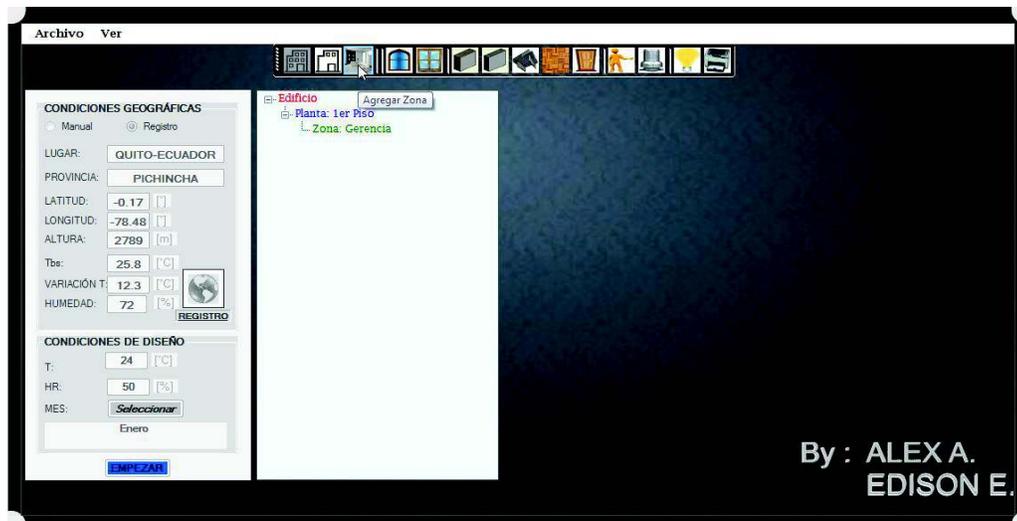


Figura D1.10: Ingreso de opciones edificio, planta y zona.

*Nota.*- La identificación es única para cada una de las opciones, si el ingreso presenta un nombre repetido, el software no registrará dicha opción hasta que sea diferente.

- Para el ingreso de una procedencia de carga de enfriamiento, seleccione la procedencia de interés de la barra e ingrese los valores asignados a dicha carga, visualizado en la Figura D1.11. Finalmente presione la opción AGREGAR para registrar la carga o CANCELAR para anular la acción de registro.

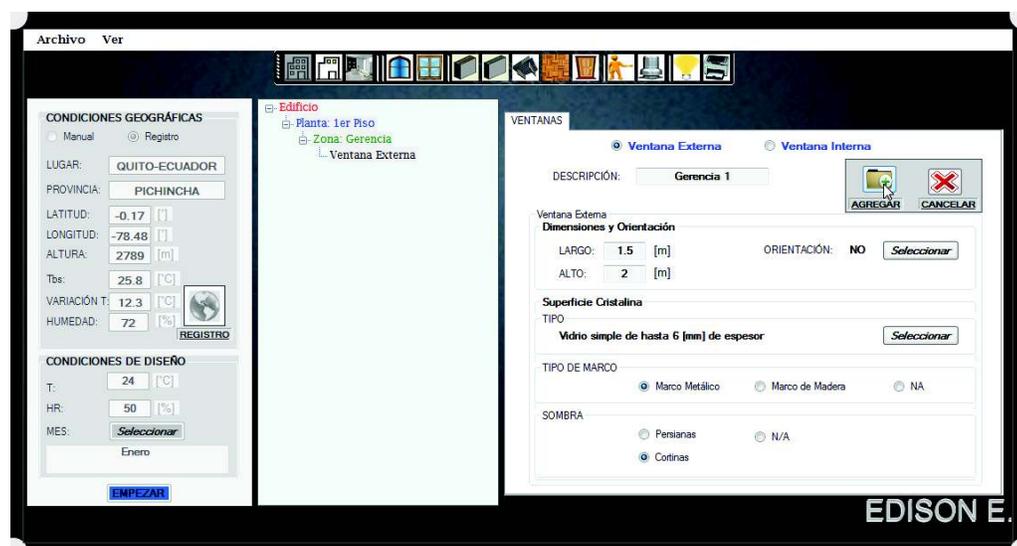


Figura D1.11: Ingreso de carga de enfriamiento al sistema.

### 1.3.3 VER RESULTADOS DE CARGA TOTAL DE ENFRIAMIENTO.

Los resultados pueden ser representados de forma numérica presentada en una tabla o de forma gráfica visualizado en una figura.

Para visualizar los resultados, de la barra de menú seleccione la opción Resultados y escoja el lugar interés, como se observa en la Figura D1.12 y Figura D1.13.



Figura D1.12: Opción Resultados de la barra de menú Ver.



Figura D1.13: Selección del sitio de interés a visualizar resultados.

## 1.4 RESULTADOS NUMÉRICOS.

Los resultados de forma numérica, conllevan la selección del mes, planta y zona, representados en la Figura D1.14; si se desea ver los resultados como un conjunto de plantas o zonas, escoja la opción Conjunto, como se presenta en la Figura D1.15.

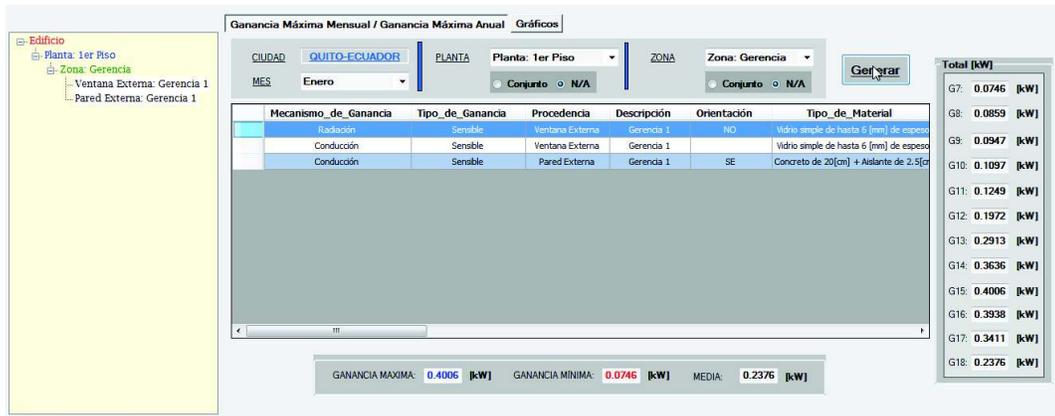


Figura D1.14: Resultados por planta y zona.

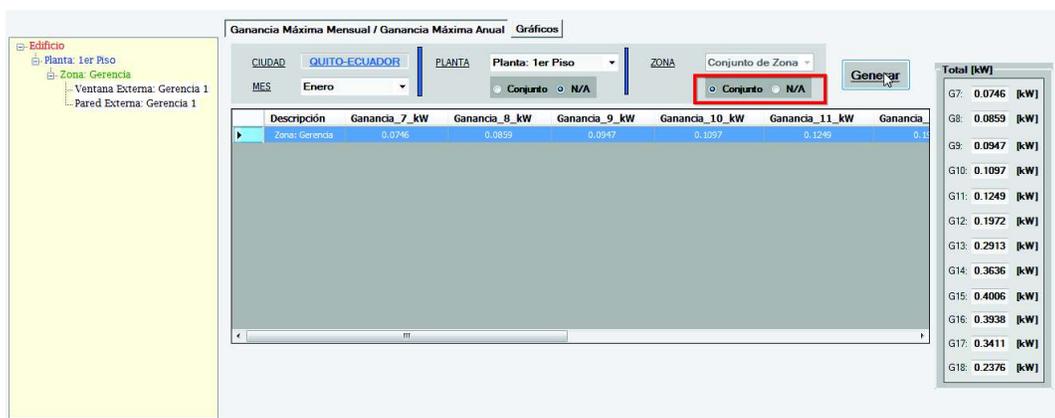


Figura D1.15: Resultados por conjunto de zona de acuerdo a una planta.

*Nota.* - Si se desea exportar los resultados hacia un archivo Excel, cliquee sobre la tabla y escoja la opción Exportar a Excel, ilustrados en la Figura D1.16 y Figura D1.17.

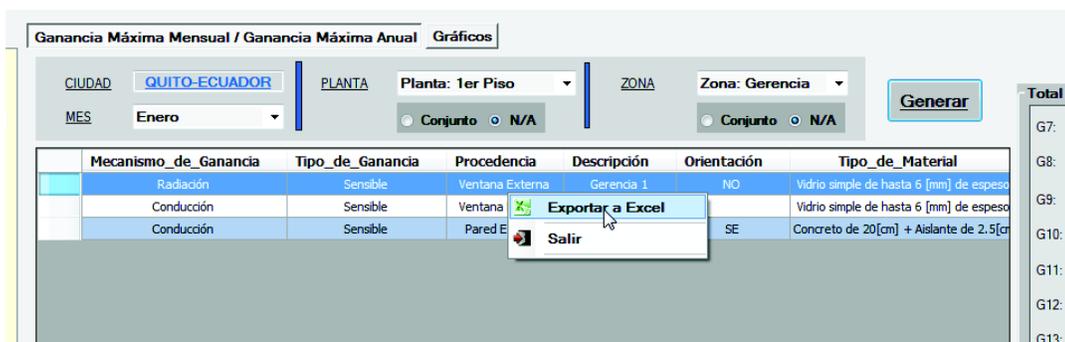


Figura D1.16: Opción exportar resultados a Excel.

Id Edificio	Planta	Zona	Nombre_Nodo	Mes	Mecanismo_de_Ganancia	Tipo_de_Ganancia	Procedencia	Descripción	Largo_m	Alto_m	Area_m2	Volumen_m3	Orientación
1	Edificio	Planta: 1er Piso	Zona: Gerencia	Ventana Externa: Gerencia 1	Enero	Radiación	Sensible	Ventana Externa	Gerencia 1	1,5	2	3	NO
2	Edificio	Planta: 1er Piso	Zona: Gerencia	Ventana Externa: Gerencia 1	Enero	Conducción	Sensible	Ventana Externa	Gerencia 1	1,5	2	3	
3	Edificio	Planta: 1er Piso	Zona: Gerencia	Pared Externa: Gerencia 1	Enero	Conducción	Sensible	Pared Externa	Gerencia 1	2	2	4	SE

Figura D1.17: Resultados exportados en Excel.

## 1.5 RESULTADOS GRÁFICOS.

Para crear un gráfico que represente las cargas totales hora a hora, ingrese el tipo de gráfico a realizar sea Anual o Mensual, a continuación seleccione la planta, zona, mes y tipo de gráfico a efectuarse. Finalmente de la barra de menú ubicada en la parte inferior escoja Crear Gráfico, como se observa en la Figura D1.18 y Figura D1.19.

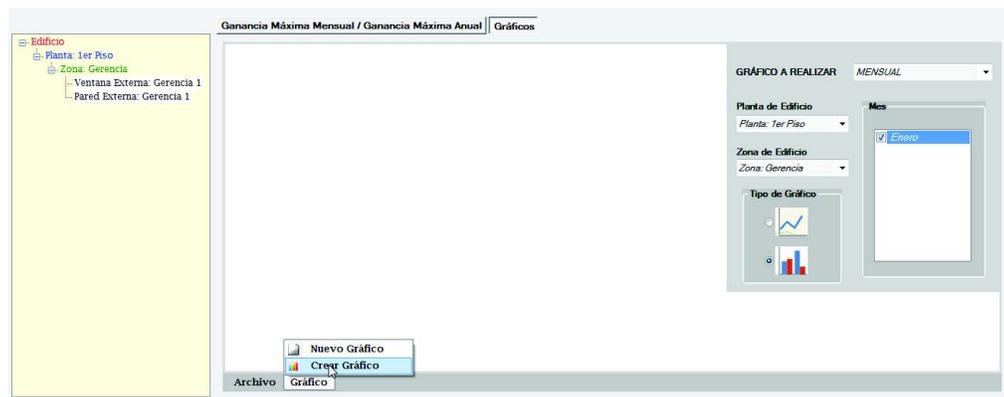


Figura D1.18: Opción crear gráfico.

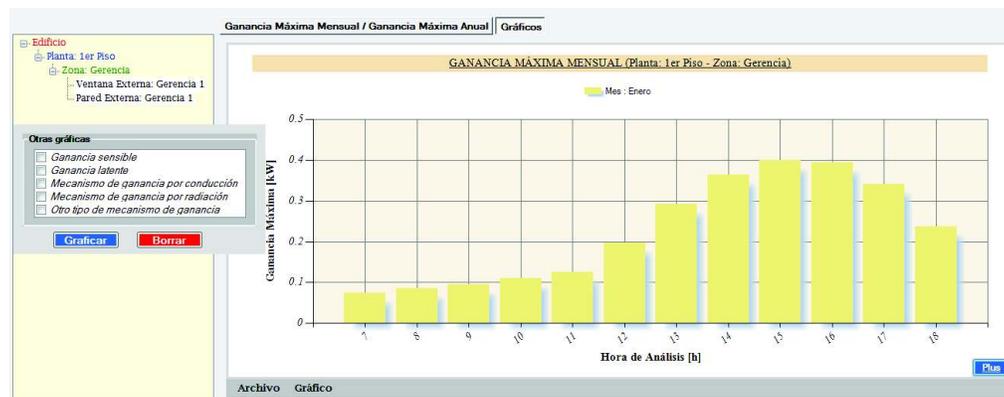


Figura D1.19: Carga total de enfriamiento hora a hora.

Si se desea conocer la influencia de las cargas de acuerdo a su mecanismo de ganancia o tipo de ganancia en la carga total de enfriamiento, de la ventana Otras Gráficas selecciona la opción de interés y presione Graficar, representados en la Figura D1.20.



Figura D1.20: Carga total de enfriamiento en conjunto con otras ganancias de interés.

*Nota.*- Si se desea guardar el gráfico creado, cliquee sobre la imagen y seleccione la opción Guardar Gráfico, a continuación en el cuadro de diálogo indique el nombre y ubicación de la imagen, Figura D1.21 y Figura D1.22.



Figura D1.21: Opción Guardar Gráfico.

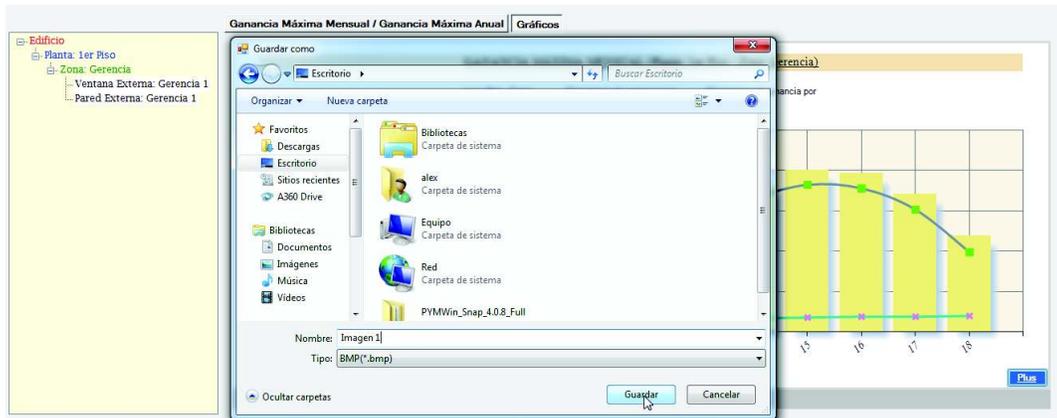


Figura D1.22: Pantalla de diálogo guardar imagen creada.

## 1.6 CÁLCULO DE CARGAS DE ENFRIAMIENTO A OTRAS CONDICIONES.

Esta opción conlleva el análisis de las cargas ya ingresadas, a diferentes condiciones geográficas y de diseño; para ello seleccione la opción Comparación a otras condiciones de la barra de menú Ver, a continuación ingrese nuevamente las condiciones de interés, finalmente presione el botón RECALCULAR. En la Figura D1.23 y Figura D1.24 se ilustra el procedimiento a seguir.



Figura D1.23: Opción Comparación a otras condiciones de la barra de menú Ver.

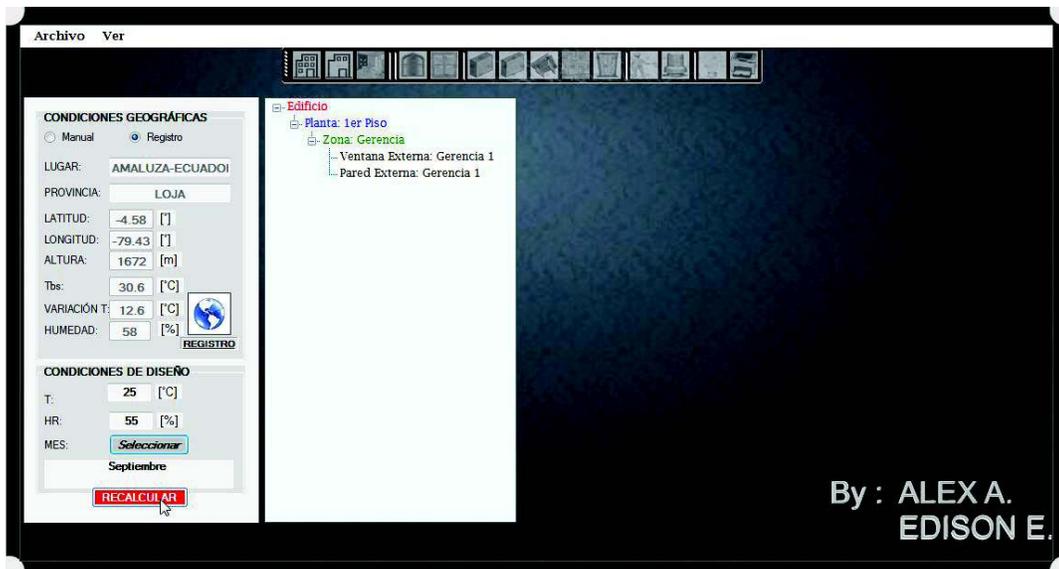


Figura D1.24: Recálculo de la carga de enfriamiento a otras condiciones.

Para visualizar los resultados, realice los mismos pasos del apartado cálculo de cargas de enfriamiento sección ver resultados de carga total de enfriamiento.

## 1.7 CÁLCULO DE ORIENTACIÓN ÓPTIMA.

Los resultados del análisis de orientación óptima pueden ser representados de forma numérica presentada en una tabla o de forma gráfica visualizado en una figura.

Para realizar el cálculo de orientación óptima, de la barra de menú seleccione la opción Orientación óptima y escoja el lugar interés, como se observa en la Figura D1.25 y Figura D1.26.



Figura D1.25: Opción Orientación óptima de la barra de menú Ver.



Figura D1.26: Selección del sitio de interés a realizar el cálculo de orientación óptima.

### 1.7.1 RESULTADOS NUMÉRICOS.

Para realizar este análisis, escoja la opción Análisis de Ganancia de la barra de menú inferior; finalmente para visualizar la mejor orientación, seleccione el mes de interés o la opción Anual si se tiene más de un mes de análisis, el resultado se puede visualizar en el cuadro de texto ubicado en la parte inferior; como se observa en la Figura D1.27 y Figura D1.28.



Figura D1.27: Opción Análisis de Ganancia de la barra de menú.

Mes	Orientación	TGanancia_7_kW	TGanancia_8_kW	TGanancia_9_kW	TGanancia_10_kW	TGanancia_11_kW	TGanancia_12_kW
Enero	NO SE	0.0746	0.0859	0.0947	0.1097	0.1249	0.1401
Enero	NNO SSE	0.0585	0.0652	0.0729	0.0846	0.1202	0.1249
Enero	N S	0.0667	0.0799	0.1103	0.1535	0.1901	0.2267
Enero	NNE SSO	0.0992	0.1460	0.1828	0.2013	0.2004	0.2004
Enero	NE SO	0.2845	0.3553	0.3840	0.3732	0.3230	0.2728
Enero	ENE OSO	0.5963	0.6941	0.7007	0.6309	0.4763	0.3220
Enero	E O	0.8245	0.9093	0.8630	0.7059	0.4711	0.3220
Enero	ESE ONO	0.9362	0.9817	0.8699	0.6380	0.3819	0.2267
Enero	SE NO	0.8794	0.8546	0.6682	0.4267	0.3336	0.2267
Enero	SSE NNO	0.7210	0.5798	0.3910	0.3437	0.3437	0.2267
Enero	S N	0.4309	0.4225	0.4734	0.5187	0.5577	0.5963
Enero	SSO NNE	0.1608	0.2052	0.2415	0.2787	0.2972	0.3157
Enero	SO NE	0.1322	0.1645	0.1968	0.2196	0.2329	0.2462
Enero	OSO ENE	0.1298	0.1520	0.1753	0.1995	0.2145	0.2295
Enero	O E	0.1164	0.1366	0.1588	0.1810	0.1960	0.2110
Enero	ONO ESE	0.1043	0.1193	0.1363	0.1541	0.1656	0.1771

MES DE ANÁLISIS: Enero

**ORIENTACIÓN DESEADA**  
Mes : Enero  
Orientación : NNE SSO

Archivo Análisis de Ganancia

Figura D1.28: Resultados obtenidos del Análisis de Ganancia.

## 1.7.2 RESULTADOS GRÁFICOS.

Para crear un gráfico que represente las cargas totales hora a hora de la orientación óptima y la ingresada por el usuario, ingrese el tipo de gráfico a realizar sea Anual, Mensual o Comparación Mensual, a continuación seleccione el mes y tipo de gráfico a efectuarse. Finalmente de la barra de menú ubicada en la parte inferior escoja Crear Gráfico, como se observa en la Figura D1.29 y Figura D1.30.

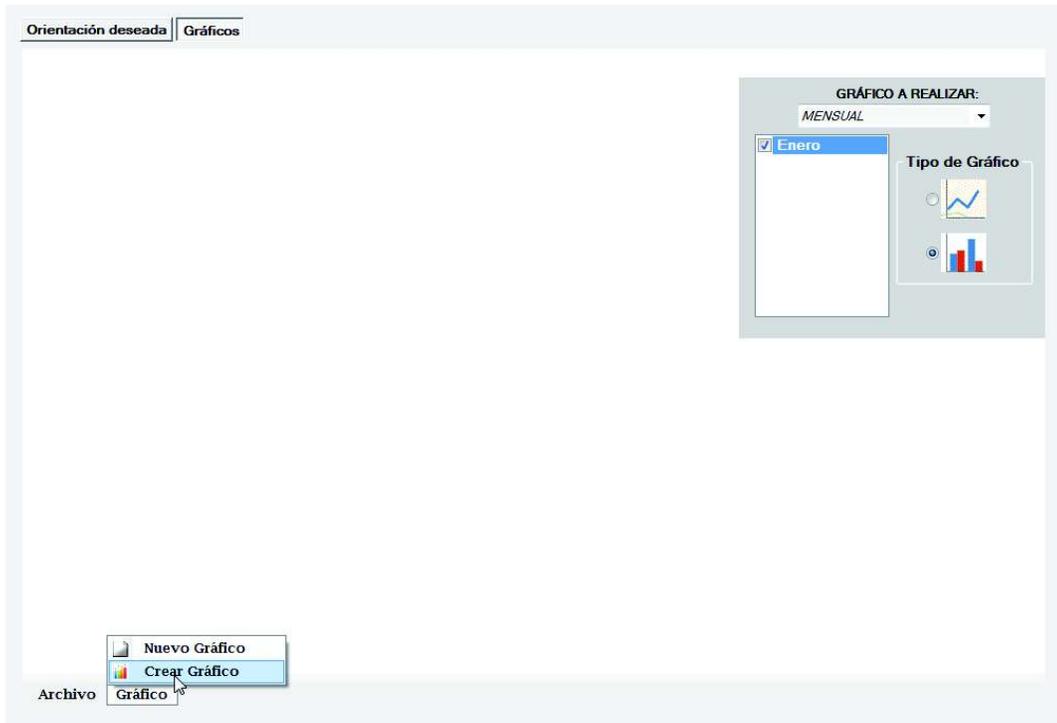


Figura D1.29: Opción crear gráfico de orientación óptima.



Figura D1.30: Carga total de enfriamiento óptimo e ingresado por el usuario.

*Nota.*- Si se desea guardar el gráfico creado, cliquee sobre la imagen y seleccione en la opción Guardar Gráfico, a continuación en el cuadro de diálogo indique el nombre y ubicación de la imagen.

## 1.8 GUARDAR PROYECTO

Una vez que el proyecto se ha desarrollado en su totalidad o se planea seguir desarrollándolo en otra instancia, el software ofrece la opción de guardarlo. Este proceso involucra la selección de la opción Guardar como de la barra de menú Archivo, a continuación en el cuadro de diálogo digite el nombre y seleccione la ubicación de guardado, como se detalla en la Figura D1.31, Figura D1.32 y Figura D1.33.



Figura D1.31: Opción Guardar como de la barra de menú Archivo.

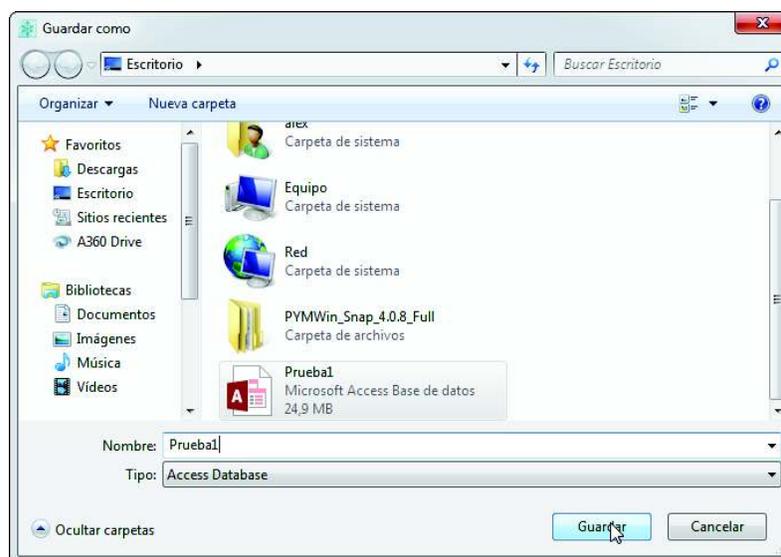


Figura D1.32: Pantalla de diálogo guardar archivo.



Figura D1.33: Proyecto guardado en base de datos Access.

## 1.9 ABRIR PROYECTO.

La opción Abrir de la barra de menú Archivo, permite al usuario cargar los datos de un proyecto ya elaborado, ya sea para visualizar los resultados o continuar con el desarrollo de la carga de enfriamiento.

Para cargar el archivo, seleccione de la barra de menú Archivo la opción Abrir y escoja el archivo a ser cargado en el software, ilustrados en la Figura D1.34 y Figura D1.35.

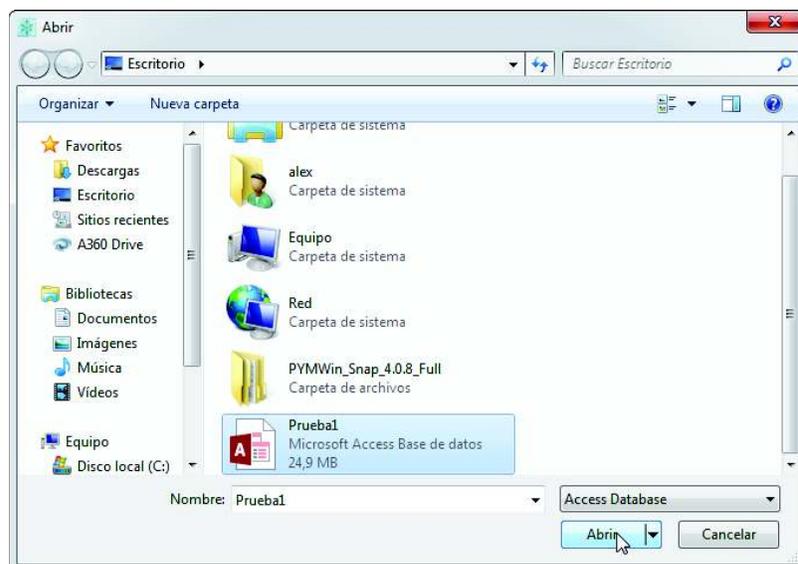


Figura D1.34: Pantalla de diálogo abrir archivo.

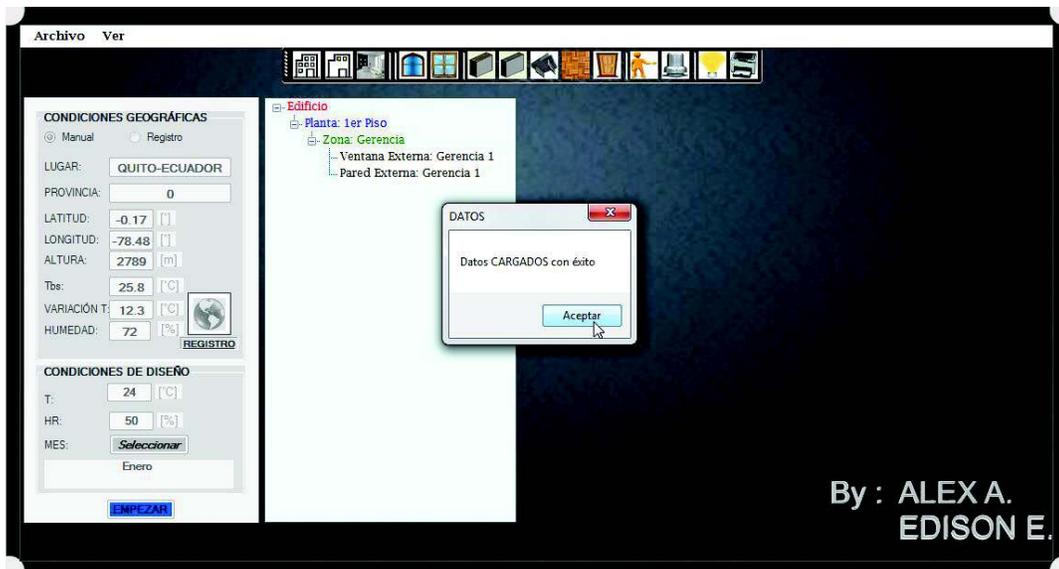


Figura D1.35: Datos cargados con éxito en el software.