

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
“OSCAR LUCERO MOYA”
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS SECUNDARIOS DE
CLIMATIZACIÓN CENTRALIZADA POR AGUA FRÍA**

Tesis presentada en opción al título de Master en CAD/CAM

RUBIER SANTOS GONZÁLEZ

Holguín

2010

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
“OSCAR LUCERO MOYA”
FACULTAD DE INGENIERÍA**



Tesis en opción del título de Master en CAD/CAM

**PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS SECUNDARIOS DE
CLIMATIZACIÓN CENTRALIZADA POR AGUA FRÍA**

Autor: Ing. RUBIER SANTOS GONZÁLEZ

Tutores: Dr.C. Ing. Jesús Rafael Hechavarría Hernández, Prof. Tit.

MSc. Ing. Reinieris Montero Laurencio, Prof. Aux.

Holguín

2011

AGRADECIMIENTOS

- A mi madre, mi esposa y mi hermano por todas las noches de desvelo y su apoyo en todo momento.
- A mi familia y mis amigos, que confiaron en mí y me ayudaron incondicionalmente.
- A mis amigos de Trasantur, Gicell, Robertico, Octavio, Luisito, Tania, Arturo, Rolando que me dieron fuerzas en los momentos críticos de la maestría.
- A Danilo y Ramón, que siguieron minuto a minuto el resultado de este trabajo
- Al claustro de profesores del centro de estudios CAD/CAM y de la Facultad de Ingeniería.
- A los especialistas de Vertice: Onell, Morera y Senaida
- A Arnoldo por aportar el primer grano de arena para empezar la maestría.
- En especial a mi tutor Jesus, por ser guía y amigo, y su familia que me acogió tantas tardes en su casa para llevar a cabo esta tesis.

RESUMEN

La climatización en los países tropicales como Cuba, es una de las principales causas del alto consumo energético en las instalaciones hoteleras. El creciente desarrollo de este sector obliga a los proyectistas incrementar la calidad del diseño y disminuir el tiempo de elaboración de los mismos. Hoy en día la tendencia son los sistemas de climatización centralizada por agua fría por las ventajas que ofrece, sin embargo la complejidad de su diseño requiere de un mayor esfuerzo y genera un gran volumen de información. Es por ello que surge la necesidad de desarrollar un procedimiento que integre las etapas que conforman el proceso de diseño de los sistemas secundarios de climatización centralizada por agua fría, teniendo en cuenta factores técnicos y económicos que, relacionados en conjunto, conformen los criterios generales del proyecto.

En la presente tesis se describe un Procedimiento para el diseño de Sistemas Secundarios de Climatización Centralizada por Agua Fría, bajo criterios múltiples y un enfoque sistémico que permitirá con el uso de tecnologías informáticas propias del CAD integrar los procesos de análisis y diseño conceptual, automatización de métodos y procedimientos de cálculo.

La investigación desarrollada es fruto de la colaboración del Centro de Estudios CAD/CAM de la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”, y la Empresa de Ingeniería y Diseño de Holguín, VERTICE.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, para todos los diseñadores, ya sea en el campo de la mecánica, la electrónica, la hidráulica, arquitectura, entre otros, es de suma importancia el uso de tecnologías informáticas y de diseño asistido por ordenadores (CAD). Estas herramientas han revolucionado significativamente la existencia del hombre y su desarrollo político, social y económico, convirtiéndose, en la actualidad, en un pilar fundamental en la realización de toda actividad humana.

El uso del CAD aporta numerosas ventajas, que vienen dadas de acuerdo a sus características fundamentales, como son: Visualización, Generación en 3D, Simulación, Escalabilidad, Innovación, elevados parámetros de calidad organizativa y estructural de los proyectos y tareas de cualquier orden que se desea lograr.

Los niveles de aplicación del diseño asistido por computadoras CAD que hoy se experimentan a escala internacional no tienen precedentes en la historia. Es difícil encontrar un sector de la industria y de la sociedad que no perciba los beneficios de la utilización de esta novedosa técnica. Sin embargo, para todas las tareas de ingeniería no es necesario utilizar las mismas bondades que proporciona el CAD.

El proceso de diseño en la empresa cubana, ha planteado el desarrollo de sistemas informáticos que faciliten la gestión de información, así como la informatización de procesos para lograr un mejor funcionamiento y rendimiento de estas instituciones de acuerdo a las necesidades de la actualidad.

Por otra parte, aunque en Cuba existe claridad de la importancia de dotar a la industria cubana de avances tecnológicos con base informática, el elevado precio de estas tecnologías en el

mercado internacional impide su adquisición ya que la situación económica actual del país obliga a invertir sólo en los sectores de máxima prioridad.

Las empresas de diseño y proyectos de ingeniería cubanas no cuentan con softwares integrales para el diseño de instalaciones hidráulicas para sistemas centralizados de aire acondicionado por agua fría. En algunos casos cuentan con programas para el cálculo de carga térmica pero no se integra el cálculo hidráulico y el dimensionado de la red de tuberías, lo cual dificulta el proceso de análisis de las variantes de diseño. De forma tal que el **problema** consiste en, ¿Cómo favorecer el proceso de diseño de los sistemas secundarios de climatización centralizada por agua fría?

De esta forma surge la **necesidad** de mejorar el proceso de diseño por la alta demanda de proyectos de diversas instalaciones que requieren este tipo de redes hidráulicas, sobre todo en el turismo.

Surge así como **objeto** de esta investigación el proceso de diseño de redes hidráulicas, siendo el **campo de acción**, el proceso de diseño de los sistemas secundarios de climatización centralizada por agua fría con el uso de herramientas CAD.

El **objetivo** de la investigación consiste en desarrollar un procedimiento que permita el diseño de sistemas secundarios de climatización centralizada por agua fría bajo un enfoque sistémico.

La **hipótesis** del trabajo plantea que: Establecer un procedimiento que integre el proceso para la determinación de carga térmica y el dimensionado de la red hidráulica bajo criterios técnico-económicos, permitirá favorecer el proceso de diseño de los sistemas secundarios de climatización centralizada por agua fría.

En el estudio de la bibliografía relacionada con el tema no se han encontrado trabajos en el país donde se aplique esta concepción sobre el proceso de diseño de los sistemas secundarios de climatización centralizada por agua fría. Tampoco se conocen programas implementados sobre la base de estos conceptos de integración. Precisamente en esto radica el valor teórico de la investigación.

Para dar solución a esta tarea se establecieron los siguientes **objetivos específicos**:

1. Evaluar la evolución de los sistemas automatizados para el diseño de centralizados de agua fría y su estado actual de aplicación en Cuba y en el exterior.
2. Estudiar los fundamentos científico-técnicos que permitan concebir la integración de las distintas etapas de ejecución del diseño de sistemas secundarios de climatización centralizada por agua fría.
3. Desarrollar el modelo matemático para el cálculo de la carga térmica.
4. Desarrollar el modelo matemático para el cálculo de las redes hidráulicas.
5. Concebir el modelo de la aplicación CAD de modo sistémico.

Se considera **aporte práctico**: el procedimiento para el diseño de sistemas secundarios de climatización centralizada por agua fría.

Los **métodos** utilizados con el objetivo de la interpretación de la información empírica obtenida y el análisis de las fuentes impresas para el establecimiento de generalizaciones y las regularidades fueron los siguientes:

- ✓ Método Histórico - Lógico: se empleó en el estudio del estado del arte, como marco teórico referencial, en función de la teoría de intervención y su relación con otras ciencias.
- ✓ Método de Inducción - Deducción: a partir de situaciones concretas se recopiló información para analizarla en un marco teórico general, que permitió la valoración de la actividad del diseño de redes hidráulicas de sistemas secundarios de climatización centralizada por agua fría en el ámbito nacional y en particular deducir regularidades en el procedimiento de esta actividad y en los métodos para su evaluación y selección.
- ✓ Método de Análisis y Síntesis: se empleó para determinar los factores claves que influyen en el fenómeno, interrelacionar los efectos presentados que constituyen explicaciones al problema, analizar los nexos internos y las dependencias recíprocas, para la Preparación y Toma de Decisiones bajo Criterios Múltiples, definir la composición de variables que intervienen y la estructura adecuada del sistema completo de preferencias.

- ✓ Método de Observación: se acudió al conocimiento del problema para mantener el vínculo con el personal en relación con el objeto, a través de encuestas, entrevistas, estudios de casos, investigaciones precedentes, análisis de la experiencia acumulada, por lo que se adquirió conocimiento en la investigación.

Durante todo el desarrollo del trabajo se manifiesta un enfoque sistémico de la solución de la tarea en estudio, partiendo de la concepción misma de integración de las diferentes etapas de diseño de una red hidráulica de centralizados de agua fría en un sistema CAD.

La investigación comprende el análisis del estado del arte del proceso de diseño para estos sistemas, que abarca desde la revisión de los últimos avances en la temática, la búsqueda y consulta de programas computacionales destinados a resolver parcial o totalmente la tarea de diseño de sistemas de climatización centralizada por agua fría, hasta la definición de un procedimiento que permita desarrollar una aplicación CAD.

El trabajo está dividido en dos capítulos. Los aspectos más relevantes abordados en cada uno de ellos se exponen brevemente a continuación:

En el capítulo 1 se enuncian los principales elementos que caracterizan la actividad de proyecto en el sector empresarial, su situación actual en Cuba y la necesidad de desarrollar un procedimiento que permita integrar la actividad de diseño de modo sistémico.

En el capítulo 2 se muestra la concepción del procedimiento a seguir para efectuar el proceso de diseño de sistemas de climatización centralizados de agua fría, integrando en el método el cálculo de carga térmica y los cálculos hidráulicos incluyendo el equilibrado a través de elementos especiales en el sistema.

Definiciones y términos utilizados en climatización.

A/C: Aire Acondicionado.

C/T: Carga Térmica.

Frío: El frío, por definición no existe. Es simplemente la ausencia del calor

Caloría: Una caloría es la cantidad de calor que debemos añadir a 1 kg de agua a 15 °C de temperatura para aumentar esta temperatura en 1 °C. Es equivalente a 4 BTU.

Frigoría: Una frigoría es la cantidad de calor que debemos sustraer a 1 kg de agua a 15 °C de temperatura para disminuir esta temperatura en 1 °C. Es equivalente a 4 BTU.

BTU: Unidad térmica inglesa. Es la cantidad de calor que debemos sustraer a 1 lb de agua a 1 °F de temperatura para disminuir esta temperatura en 1 °F. Es equivalente a 0.252 kcal.

Salto Térmico: Es toda diferencia de temperatura. Se suele emplear para definir la diferencia en la temperatura del aire de entrada a un acondicionador y la de la salida del mismo, y también para definir la diferencia entre la temperatura del aire exterior y la del interior.

Zona de confort: Son unas condiciones dadas de temperatura y humedad relativa, bajo las que se encuentran confortables la mayor parte de los seres humanos. Estas condiciones oscilan entre los 22 y 27 °C (71 - 80 °F) de temperatura y del 40 al 60% de humedad relativa.

Temperatura de bulbo húmedo: Es la temperatura indicada por un termómetro, cuyo depósito está envuelto en una gasa o algodón empapado en agua, expuestos a una corriente de aire intensa.

Temperatura de bulbo seco: Es la temperatura de aire, indicada por un termómetro ordinario.

Temperatura de punto de rocío: Es la temperatura a la que debe ascender el aire para que se produzca la condensación de la humedad contenida en el mismo.

Humedad: Es la cantidad de aire con respecto a la cantidad de vapor que contiene.

Calor sensible: Es el calor empleado en la variación de temperatura de una sustancia cuando se comunica o sustrae calor.

Calor latente: Es el calor que sin afectar la temperatura, es necesario adicionar o sustraer a una sustancia para el cambio de estado físico. Específicamente en psicrometría, el calor latente de difusión del hierro es $h_r = 79.92$ (kcal/kg).

Calor total (Entalpía): Es la suma del calor sensible y el latente en kcal/kg de una sustancia, entre un punto arbitrario de referencia y la temperatura y estado considerado.

COP (Coefficient to Performance): Coeficiente entre la potencia calórica total disipada en vatios y la potencia eléctrica total consumida, durante un período de utilización.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pag.
INTRODUCCIÓN	1
1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO DE SISTEMAS SECUNDARIOS DE CLIMATIZACIÓN CENTRALIZADA POR AGUA FRIA.	5
1.1 Mecánica de los fluidos.	5
1.2 Ecuación de energía.	5
1.2.1 Ecuación de Bernoulli.	7
1.2.2 Pérdidas de energía en flujos a presión.	8
1.2.2.1 Ecuación fundamental de pérdidas de carga.	8
1.2.2.2 Pérdidas locales.	11
1.3 Sistemas de acondicionamiento de aire.	11
1.3.1 Bases fisiológicas del acondicionamiento de aire.	12
1.3.2 Clasificación y comparación de algunos sistemas de aire acondicionado.	15
1.3.3 Clasificación de sistemas de tuberías de sistemas de acondicionamiento de aire.	17
1.3.4 Sistemas abiertos y sistemas cerrados.	17
1.3.5 Sistemas de retorno de agua.	17
1.4 Estimación de la carga térmica.	20
1.5 Parámetros de diseño para la determinación de la carga térmica.	21
1.5.1 Características de los locales y fuentes de carga térmica.	21
1.6 Estado actual en el uso de metodologías de cálculo de carga térmica.	22
1.7 Criterios de diseño de redes hidráulicas para SSCCAF.	24
1.7.1 Diseño del sistema de tuberías.	24
1.7.2 Caudal y velocidad del agua.	24
1.7.3 Longitud equivalente.	26
1.7.4 Variación del caudal. Factor de diversidad.	26
1.7.5 Equilibrado hidráulico.	27
1.7.6 Selección de la bomba.	29
1.7.7 Selección de los accesorios del sistema.	29
1.8 Sistemas CAD para el diseño de SSCCAF.	31
1.9 Análisis de la situación y perspectivas de proyectos de SSCCAF.	32

2.	PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS SECUNDARIOS DE CLIMATIZACIÓN CENTRALIZADA POR AGUA FRÍA.	33
2.1	Preparación y Toma de Decisiones bajo Criterios Múltiples.	33
2.1.1	Análisis externo.	35
2.1.2	Indicadores de eficiencia.	35
2.1.3	Variables de decisión	37
2.1.4	Variables intermedias	38
2.1.5	Datos de entrada al sistema	38
2.2	Análisis interno de la tarea de diseño	39
2.2.1	Declaración del procedimiento	39
2.3	Determinación de la carga térmica.	42
2.3.1	Caracterización de los locales.	43
2.3.2	Cálculo de la carga requerida.	44
2.3.2.1	Ganancia de calor por insolación de las superficies de vidrio	44
2.3.2.2	Ganancia por transmisión de calor a través de las estructuras del edificio.	45
2.3.2.3	Ganancia de calor por infiltración de aire.	47
2.3.2.4	Ganancia de calor por la ocupación.	48
2.3.2.5	Ganancia de calor por alumbrado.	48
2.3.2.6	Ganancia de calor por equipos eléctricos.	49
2.3.2.7	Ganancia de calor por almacenaje	50
2.3.2.8	Carga térmica total del local	50
2.4	Diseño del sistema hidráulico.	51
2.4.1	Cálculo de los caudales	51
2.4.2	Selección de las unidades terminales.	52
2.4.3	Determinación de las pérdidas en las unidades terminales.	53
2.4.4	Definición espacial de la red hidráulica.	53
2.4.4.1	Definición de los nodos.	54
2.4.4.2	Codificación de los nodos.	54
2.4.4.3	Trazado de las tuberías.	54
2.4.5	Propuesta de diámetros bajo criterios técnicos económicos.	56
2.4.6	Análisis técnico-económico en el uso de válvulas especiales.	56
2.5	Modelación hidráulica.	58

2.5.1	Método del gradiente.	58
2.6	Propuesta de la unidad de bombeo.	62
2.7	Elaboración de la información técnica requerida.	63
CONCLUSIONES		64
RECOMENDACIONES		65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		66
ANEXOS		

1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO DE SISTEMAS SECUNDARIOS DE CLIMATIZACIÓN CENTRALIZADA POR AGUA FRÍA.

1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO DE SISTEMAS SECUNDARIOS DE CLIMATIZACIÓN CENTRALIZADA POR AGUA FRÍA.

En el presente capítulo se exponen las leyes fundamentales que permiten el estudio del proceso de diseño de redes hidráulicas para sistemas secundarios de climatización centralizada por agua fría (SSCCAF), los fundamentos del diseño, métodos clásicos actualmente utilizados y la necesidad de aplicar técnicas informáticas como ayuda al proceso de Preparación y Toma de Decisiones bajo criterios múltiples. Además, se muestra la importancia de favorecer mediante un sistema CAD la actividad de proyecto.

1.1 Mecánica de los fluidos.

La mecánica de los fluidos se ha desarrollado gracias al entendimiento de las propiedades de los fluidos, a la aplicación de las leyes básicas de la mecánica y la termodinámica y a una experimentación ordenada. Sin importar su naturaleza, todas las situaciones de flujo pueden expresarse en forma analítica a partir de las relaciones siguientes (Ravinovich, 1986; Nekrasov, 1990; Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007): las leyes de movimiento de Newton, la relación de continuidad. La conservación de la masa aplicada a mezclas de componentes dentro del fluido, la primera y segunda leyes de la termodinámica, las condiciones de frontera. También pueden tenerse en consideración otras relaciones y ecuaciones, tales como una ecuación de estado o la ley de viscosidad de Newton (Hechavarría, 2009).

1.2 Ecuación de energía.

La energía que aparece en todos los ámbitos de la física: mecánica, electricidad, fisicoquímica, hidráulica, entre otros, es un nexo de unión entre estos y otros campos como la economía y el medio ambiente (Hechavarría, 2009). La primera ley de la termodinámica establece que el calor Q_H añadido a un sistema, menos el trabajo W hecho por el sistema, depende únicamente de los estados inicial y final del sistema. La diferencia en el estado del sistema, siendo independiente de

la trayectoria desde el estado inicial al final, debe ser una propiedad del sistema (Streeter et al., 2000; Faires, 2006). En cualquier sistema cerrado, la variación de la energía es igual a la transferencia de calor entregado al sistema y el trabajo realizado, durante un cierto intervalo de tiempo.

La hidráulica es la rama de la física que estudia el comportamiento de los líquidos en reposo o en movimiento (Streeter et al., 2000). Para las aplicaciones hidráulicas, la energía es expresada en unidades de energía por unidad de peso, donde se obtiene como resultado, unidades de longitud. La utilización de estas “longitudes equivalentes” permite una representación gráfica más simple de la situación en cuestión. La energía, en un punto cualquiera de un sistema hidráulico, está definida por tres componentes (Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007; Hechavarría, 2009):

- Elevación (z).
- Altura de presión (p/γ).
- Altura de velocidad ($v^2/2g$).

Donde:

z - elevación o cota (m).

p - presión (N/m^2).

γ - peso específico (N/m^3).

v - velocidad del fluido (m/s)

g - aceleración de la gravedad (m/s^2).

La Segunda Ley de la Termodinámica establece la forma más importante de la ecuación de energía. En general, las pérdidas deben determinarse mediante experimentación. Esto implica que parte de la energía disponible se convierte en energía intrínseca durante un proceso irreversible. Las pérdidas ocurren cuando parte de la energía disponible durante el flujo de un fluido se convierte en energía térmica a través de esfuerzo cortante viscoso o turbulencia (Streeter et al., 2000; Faires, 2006).

A un sistema hidráulico se le puede entregar o quitar energía, ya sea a través de la incorporación de bombas o bien mediante pérdidas por roce y singularidades respectivamente. Si se aplica el principio de la energía a un sistema hidráulico, en dos instantes distintos de tiempo, se tendrá que

igualar la ecuación en ambos instantes, donde se compensan las pérdidas o ganancias de energía (Hechavarría, 2009). La ecuación de la energía se puede expresar como:

$$E_1 - E_2 + \Delta^+_E - \Delta^-_E = 0 \quad (1.1)$$

Donde:

E_1 - Energía inicial del sistema

E_2 - Energía final del sistema

Δ^+_E - Ganancia de energía del sistema (uso de bombas)

Δ^-_E - Pérdidas de energía a través del roce o las singularidades.

1.2.1 Ecuación de Bernoulli.

En la ecuación *Bernoulli* se aplica el principio de conservación de la energía a un volumen de control atravesado por un fluido incompresible. La variación de energía total en el volumen de control es igual al trabajo aportado al mismo menos la energía cedida en forma de calor por el volumen de control. El trabajo aportado al volumen de control puede ser debido a las fuerzas de presión que actúan sobre la superficie de control, y a las fuerzas de arrastre sobre el fluido, por ejemplo: un pistón que actúa en un émbolo, o al par aplicado en un eje de rotación, como el caso de bombas centrífugas. El calor disipado a través de la superficie de control engloba las pérdidas de carga por fricción y la variación de la energía interna del fluido (aumento de la temperatura del mismo) (Aguirre et al., 1996a). De modo que la ecuación de *Bernoulli* puede expresarse en su forma más general como (Ravinovich, 1986; Nekrasov, 1990; Kuttz, 1995; Aguirre et al., 1996a; Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007):

$$H_b - h_p = \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \right) - \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \right) \quad (1.2)$$

Los términos que aparecen en esta ecuación representan energía por unidad de peso de fluido, expresada en metros de columna de fluido y tienen la interpretación siguiente (Aguirre et al., 1996a):

- Energía de presión, p/γ , es el trabajo realizado por las fuerzas a que da lugar la existencia

de una determinada presión, la cual actúa sobre una determinada superficie.

- Energía cinética, $v^2/2g$, debido a la velocidad que lleva el fluido.
- Energía potencial, z , debido a la cota, a la que está situada una partícula de fluido.
- Pérdidas de carga, h_p , es la energía perdida por unidad de peso entre los puntos 1 y 2 del sistema. Incluye los términos de pérdidas por fricción y pérdidas menores, y es irrecuperable.
- Trabajo aportado, H_b , energía por unidad de peso aportada al sistema por una bomba ($H_b > 0$) o disipada por una turbina ($H_b < 0$).

1.2.2 Pérdidas de energía en flujos a presión.

Para la resolución de sistemas de distribución de agua es necesario utilizar, además de las ecuaciones básicas, otras ecuaciones que permitan relacionar las pérdidas de carga continuas con las características del flujo y el caudal circulante, así como ecuaciones para determinar las pérdidas localizadas.

1.2.2.1 Ecuación fundamental de pérdidas de carga.

Para un movimiento permanente y uniforme de un fluido incompresible, la pérdida de carga unitaria j [metros columna de agua (m.c.a.) / metros de tubería (m)] está relacionada con varios parámetros:

- Geométricos: la pérdida de energía será directamente proporcional a la rugosidad de la tubería, ε , e inversamente proporcional al diámetro interior de la misma, D y a su vez proporcional a la longitud total de la conducción, L .
- Cinemáticos: a mayor velocidad de circulación del fluido, v (mayor caudal Q transportado), mayor será la pérdida de energía unitaria del sistema.
- Propiedades del fluido: la pérdida de energía también será función de la viscosidad del fluido, ν , siendo la potencia disipada, directamente proporcional a la densidad del mismo, ρ .

La ecuación fundamental para las pérdidas de carga puede determinarse por Análisis Dimensional al relacionar todos los parámetros. La ecuación de Darcy-Weisbach expresa

(Aguirre et al., 1996a; R.C., 1998; Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007):

$$j = \frac{f}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (1.3)$$

El parámetro f se denomina factor de fricción y es función de dos parámetros adimensionales:

- Número de Reynolds (Re), que expresa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas. Está en función de la velocidad del fluido, el diámetro de la tubería y la viscosidad cinemática, que a su vez, está en función del tipo de fluido y la temperatura, ver tabla 1 del anexo 1 (propiedades físicas del agua).
- Rugosidad equivalente, está en función del diámetro y la rugosidad del material de la tubería.

Existen otras ecuaciones para determinar las pérdidas por fricción, asociadas al flujo de un líquido a través de una tubería a presión. Las más utilizadas son las ecuaciones de Hazen-Williams y Manning. Sin embargo, la ecuación de Darcy-Weisbach es aplicable a una amplia gama de fluidos incompresibles sin importar su temperatura, mientras que las ecuaciones de Hazen-Williams y Manning están basadas en un trabajo empírico y solamente son aplicables a sistemas de conducción de agua. En todos los casos el cálculo de las pérdidas por fricción es función de la velocidad del fluido y de la resistencia que presentan las paredes de la tubería al paso del flujo (rugosidad).

Debido a los orígenes no empíricos, la ecuación de Darcy-Weisbach es considerada por muchos ingenieros como el método más preciso para modelar pérdidas de fricción. Se describe comúnmente de la manera siguiente (Aguirre et al., 1996a; R.C., 1998; Streeter et al., 2000; Haestad, 2003; Martínez et al., 2007; Hechavarría, 2009):

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (1.4)$$

Donde:

h_f - pérdida de carga del tramo (m).

f - factor de fricción de Darcy-Weisbach (adimensional).

D - diámetro de la tubería (m).

L - longitud de la tubería (m).

v - velocidad del flujo (m/s).

g - aceleración de la gravedad (m/s^2).

Colebrook & White combinaron las expresiones de Von Karman-Prandtl para conductos lisos y rugosos y obtuvieron una buena aproximación para el régimen turbulento de transición en tuberías comerciales, lo cual permite calcular el valor del factor de fricción de Darcy-Weisbach para cualquier régimen turbulento. (Aguirre et al., 1996a; R.C., 1998; Streeter et al., 2000; Haestad, 2003; Martínez et al., 2007; Hechavarría, 2009). La ecuación de Colebrook & White expresa:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (1.5)$$

Donde:

f - factor de fricción de Darcy-Weisbach (adimensional).

ε - coeficiente de rugosidad de la tubería (m).

D - diámetro de la tubería (m).

El factor de fricción está en función del número de Reynolds del flujo, el cual depende de la velocidad del fluido y esta a su vez de la descarga. La ecuación de Colebrook & White, implícita para f , se resuelve iterativamente por ensayo y error, con la aplicación de algún método de aproximaciones sucesivas.

Como primera aproximación para determinar el factor de fricción de Darcy-Weisbach puede utilizarse la ecuación de Swamee & Jain (Haestad, 2003; Hechavarría, 2009).

$$f = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (1.6)$$

1.2.2.2 Pérdidas locales.

Las pérdidas de energía locales pueden surgir en áreas de turbulencia por variaciones en la sección transversal de las tuberías o por la presencia de elementos singulares tales como:

válvulas, cambios bruscos de dirección, entre otros, ver figura 1, anexo 2 (accesorios típicos). En ocasiones se consideran despreciables, en comparación a las pérdidas por fricción, por lo que serían descartadas del análisis. Cuando en un sistema de tuberías las pérdidas locales son numerosas, con relación a la longitud de estas, las caídas singulares de energía tendrían un impacto significativo en las pérdidas totales del sistema.

Se expresan generalmente como una fracción de altura de velocidad a diámetro nominal (caso válvulas y codos) aunque en secciones de diámetro variable (estrechamientos y ensanchamientos) casi siempre se especifica el diámetro a que está referida dicha fracción (Ravinovich, 1986; Nekrasov, 1990; Kuttz, 1995; Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007).

$$h_l = k \frac{v^2}{2g} \quad (1.7)$$

Donde:

h_l - pérdida de energía local (m).

k - coeficiente adimensional en función del Re y los parámetros del elemento.

v - velocidad del flujo (m/s).

g - aceleración de la gravedad (m/s^2).

1.3 Sistemas de acondicionamiento de aire.

En el mundo industrial el acondicionamiento de aire gana cada día mucho más campo. Hoy son innumerables y diversos los equipos que se utilizan con este fin. Los países tropicales como Cuba son muy beneficiados con esta herramienta tecnológica. El control de la temperatura y la humedad no solo son favorables para el confort sino también para el control ambiental en la producción de alimentos, medicinas, materiales, entre otros. Muchos son los avances obtenidos en este aspecto, cada día se encuentran nuevas soluciones para hacer más eficientes estos equipos, una solución es la instalación de sistemas centralizados, que brindan una mejor operación y control, además la sustitución de aires acondicionados de ventanas, consolas y splits, que ofrecen mejoras estéticas y de aplicación por su diversidad y usos. (Santos, 2004).

El sector donde más se aplica el acondicionamiento de aire en nuestro país es en la industria del turismo. La climatización es un eslabón fundamental dentro del funcionamiento de cualquier instalación turística. Estudios realizados por especialista del campo de la energía y el

mantenimiento demuestran que los equipos de aire acondicionado son uno de los mayores consumidores de electricidad en las instalaciones hoteleras. Ello se debe fundamentalmente a la elevada potencia de los motores eléctricos, errores de diseño en cuanto a carga térmica de los locales y errores cometidos durante el proceso de diseño de las redes hidráulicas de los sistemas centralizados de agua fría. (Santos, 2004). Es cuestión entonces en el mundo ingenieril favorecer el diseño y optimización de estos sistemas, lograr una mayor eficiencia, una correcta explotación y un menor consumo energético. (Santos, 2004).

1.3.1 Bases fisiológicas del acondicionamiento de aire.

La función principal del acondicionamiento de aire es mantener dentro de un espacio determinado, condiciones de confort, o bien las necesarias para la conservación de un producto determinado o para un proceso de fabricación.

Para conseguirlo debe instalarse un equipo acondicionador de capacidad adecuada y mantener el control de su funcionamiento durante todo el año. La capacidad del equipo se determina de acuerdo con las exigencias instantáneas de carga real o efectiva. Generalmente es imposible medir las cargas reales del local debido a que no se puede predecir con exactitud cómo pueden variar las cargas climáticas en el exterior, o la variación de las cargas sensibles dentro de la habitación, no siendo así para determinar la carga máxima o parcial de un espacio dado. (Carrier, 1972)

La mayoría de las personas pasan más del 85% de su tiempo en interiores; trabajando, durmiendo, descansando, o simplemente relacionándose con sus semejantes. La sensación de comodidad y capacidad física e intelectual están asociadas estrechamente a la calidad del confort térmico. (Tabora, 2004).

Es importante conocer los parámetros que inciden sobre el clima interior y sobre cómo controlarlo para obtener un óptimo confort. El acondicionamiento de aire implica mucho más que el mero control de la temperatura. Son cuatro las condiciones atmosféricas que afectan el confort humano:

a) Temperatura: Puesto que no es posible la conservación de la vida por si misma sin el mantenimiento de la temperatura propia del cuerpo humano, la calefacción artificial dentro de los recintos fue el intento más remoto, hecho con miras a la modificación de algunos de estos factores. La regulación de la temperatura con límites propiamente dichos y considerados como óptimos, mediante una calefacción o refrigeración perfectamente reguladas, se obtuvo en épocas relativamente reciente.

El adecuado control de la temperatura del medio ambiente que circula al cuerpo humano elimina el esfuerzo fisiológico de acomodación obteniendo con ello un mayor confort y la consiguiente mejora del bienestar físico y de las condiciones de salubridad.

b) Humedad: Una gran parte del calor que posee el cuerpo humano se disipa por evaporación a través de la piel. Como quiera que la evaporación se favorece con una humedad relativa del aire baja, y se retarda si esta es alta, de ello se deduce que la regulación de la humedad no solo da como resultado reacciones fisiológicas perjudiciales, sino que también afectan (por lo común de forma perjudicial) las cualidades de muchas de las sustancias contenidas en el lugar de que se trate y muy particularmente sobre los vestidos y muebles.

c) Movimiento de aire: El movimiento de aire sobre el cuerpo humano incrementa la proporción de humedad y calor disipado con respecto a lo que correspondiera a un aire en reposo, dando ello lugar a que la sensación de calor o frío experimente variación. Por razones de más difícil comprensión, también es causa de otras alteraciones, que pueden ser agradables según su intensidad.

El aire debe circular libremente en la habitación, de manera que pueda absorber uniformemente el calor y la humedad a través de toda la habitación. Al mismo tiempo el movimiento de aire debe ser suave, de lo contrario su presencia se sentirá como un tiro desagradable. Los mejores sistemas de acondicionamiento de aire son aquellos que mantienen condiciones tales que los ocupantes de la habitación no perciban la artificialidad de las condiciones atmosféricas interiores. Es muy fácil escribir que el acondicionamiento de aire consiste en el mantenimiento de las temperaturas y humedades adecuadas para proporcionar bienestar. Pero no es fácil definir exactamente las combinaciones de temperatura de bulbo seco y humedad bajo las cuales la

persona promedio se sentirá más cómoda. (Trane, 1979).

d) Pureza del aire: La comparación física y química del aire comprenden un determinado número de elementos diversos. La dimensión de la proporción de oxígeno contenido, así como el aumento del anhídrido carbónico, debido a la combustión fisiológica, son factores realmente importantes a causa de las pequeñas ventilaciones que se requieren para anular sus efectos. La dilución de los olores humanos exige una gran ventilación y otros medios de eliminación de olores.

La eliminación de partículas sólidas en suspensión en el aire introducido en el recinto, es importante no solo para lo que concierne a la salud, sino también por lo que tienen de molestos, así como por el detrimento que frecuentemente representa la suciedad depositado en los mobiliarios o demás objetos.

El humo, ya sea producido en el interior de la habitación o en el exterior de la misma, debe ser evacuado a causa de lo pernicioso que resulta para la vista y el aparato respiratorio en el ser humano. La mayoría de los médicos convienen en que la expulsión del polvo de heno de aire es en un extremo beneficioso para los atacados de la fiebre heno o del asma.

La regulación de la proporción de iones contenidos en el aire puede resultar de importancia en el futuro, en la actualidad son muy escasos los conocimientos que se poseen sobre el particular para poder deducir conclusiones. Sin embargo, es posible que la esterilización del aire para la destrucción de las bacterias pueda llegar a revestir la mayor importancia. (Tabora, 2004).

1.3.2 Clasificación y comparación de algunos sistemas de aire acondicionado.

El aire acondicionado es un sistema capaz de extraer el calor y la humedad. Muchas son las marcas registradas y países que fabrican estos equipos, pero todos tienen en sí el mismo principio de funcionamiento y solo se diferencian en dependencia de la función que van a realizar y las condiciones de explotación a que serán sometidos.

Clasificación y comparación de algunos de los sistemas de aire acondicionado (Oganesian, 1987; Miranda, 1996).

a) Sistemas centralizados. Compuestos por:

- Unidades ventilo-convectoras tipo fan-coil.
- Unidades manejadoras de aire.
- Unidades enfriadoras de agua.
- Sistemas de bombeo.

b) Sistema por expansión directa del refrigerante que pueden ser de los siguientes tipos:

- Unidades de ventanas o de muros.
- Equipos divididos (Split).
- Consolas compactas.
- Equipos semintegrales.

Los sistemas de aire acondicionados, tanto los unitarios como los centralizados, se basan en conjuntos totalmente montados y probados en fábricas que incorporan circuitos de refrigeración completo, provistos de la totalidad de los electos y controles necesarios para el manejo, protección y regulación de su funcionamiento.

Estos sistemas de refrigeración se utilizan para enfriar y deshumidificar el aire que queremos tratar o para enfriar el agua que enviaremos a las unidades de manejo de aire que se utilizan en una instalación centralizada.

El diseño y manejo de estos sistemas de refrigeración gira alrededor de un fluido refrigerante, al cual mediante una serie de dispositivos se hace realizar el trabajo fundamental de absorber calor en el lugar, transportarlo y ceder el calor en otro lugar. La utilización de uno u otro sistema ofrece ventajas y desventajas en dependencia de la finalidad del equipo y la aplicación para la cual va a estar destinada.

Tabla 1.1 Comparación entre los sistemas centralizados y los de expansión directa.	
Sistema por expansión directa	Sistema centralizado
Costos iniciales más bajos	Costos iniciales más altos

Mayor gasto de explotación, más consumo de electricidad por tonelada de refrigeración	Menores gastos de explotación y mantenimiento, es más eficiente
La distancia entre la unidad interior y exterior está limitada (15-20 m) al aumentar esta se pierde en eficiencia	La distancia entre las unidades enfriadoras y los locales a climatizar no está limitada
No se puede recuperar calor	Permite recuperar calor para calentamiento de agua
Es más propenso a sufrir averías, es menos confiable	Es más seguro las averías son mínimas, siempre se garantiza el servicio
El nivel de ruido es más alto cerca de zonas climatizadas	Permite ubicar el foco emisor de ruido lejos de la zona climatizada
Necesita de un estudio minucioso para ocultar unidades exteriores en fachadas y techos	No necesita este estudio, no afecta la expresión arquitectónica de los edificios
Menos durabilidad (entre 5 y 10 años)	Es más duradero (25 años)
Necesita un sistema para cada local a climatizar	Con un solo sistema se logra climatizar una instalación completa

Un sistema de refrigeración estará compuesto por los elementos siguientes:

- Compresor.
- Condensador.
- Elementos de control de flujo.
- Evaporador.

Estos elementos, incorporados en un circuito cerrado que se completa por medio de tuberías de interconexión permiten hacer circular de forma continua el fluido refrigerante durante el ciclo. A medida que el refrigerante circula no sufre cambios químicos, pero está constantemente cambiando su estado físico. El mismo puede ser líquido, gas o mezcla de los dos, dependiendo de donde se encuentre durante el ciclo.

1.3.3 Clasificación de sistemas de tuberías de sistemas de acondicionamiento de aire.

Los sistemas de tuberías para centralizados de aire acondicionado se dividen en dos tipos: de agua que circula una sola vez y de agua recirculada. En el primero, el agua pasa a través del aparato solamente una vez y es descargada. En el segundo, el agua no se descarga, sino que circula en un circuito repetidor desde el cambiador de calor hasta el aparato de refrigeración, volviendo nuevamente al intercambiador de calor.

1.3.4 Sistemas abiertos y sistemas cerrados.

Ambos sistemas, el de agua que circula una sola vez, y el de agua recirculada, se dividen en sistemas Abiertos o Cerrados. El sistema abierto es aquel en el que el agua circula por el interior de un depósito en comunicación con la atmósfera, como ocurre en las torres de enfriamiento y en los lavadores de aire. El sistema cerrado por su parte, es aquel donde el caudal de agua no está expuesto a la atmósfera en ningún punto. Este sistema contiene normalmente un vaso de expansión en comunicación con la atmósfera, siendo insignificante la superficie de agua en contacto con ella. (Carrier, 1972; Interclisa, 1993)

1.3.5 Sistemas de retorno de agua.

La instalación de agua recirculada se clasifica de acuerdo con el sistema empleado para el retorno de agua. Cuando dos o más unidades están conectadas entre sí, puede usarse uno de los sistemas siguientes:

Tubería de retorno inverso:

- Colector de retorno inverso, con tramos verticales de retorno directo.
- Tubería de retorno directo.

Si las unidades tienen la misma, o casi la misma caída de presión entre ellas, se recomienda uno de los sistemas de retorno inverso. Sin embargo, si las unidades tienen diferentes caídas de presión, o necesitan válvulas auxiliares, entonces generalmente es más eficiente usar un sistema de retorno directo.

La tubería de retorno inverso es recomendable en la mayoría de las instalaciones de sistemas cerrados; en cambio, no puede usarse en sistemas abiertos, siendo generalmente el más económico en las nuevas construcciones. La longitud del circuito de agua en las tuberías de suministro y de retorno, es la misma para todas las unidades, figura 1.1. Como los circuitos de agua son iguales para cada unidad, la mayor ventaja de un sistema de retorno inverso consiste en que raras veces es necesario equilibrarlo. En la figura 1.2 se muestra un sistema de retorno

directo con unidades conectadas de forma vertical o de forma horizontal. Hay instalaciones en las que, además de no ser conveniente, es antieconómico usar un sistema de tubería de agua de retorno inverso completo. (Carrier, 1972)

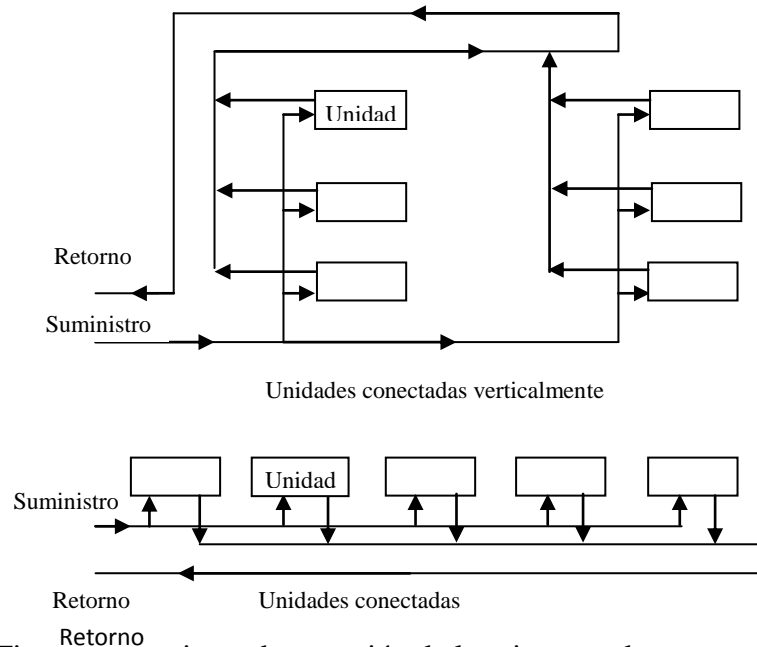


Figura 1.1 Variante de conexión de los sistemas de retorno inverso.

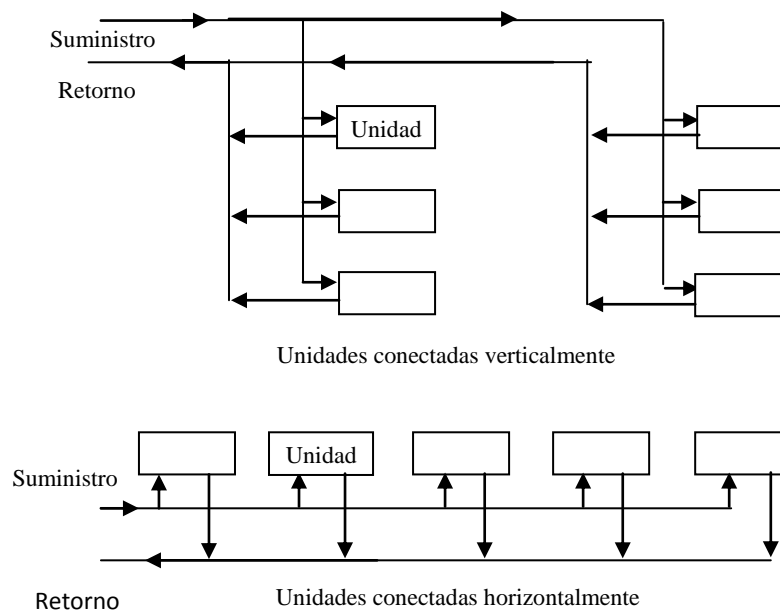


Figura 1.2. Variante de conexión de los sistemas de retorno directo.

La figura 1.3 ilustra un sistema de tuberías con colector de retorno inverso y tramo vertical de retorno directo. En este sistema, el caudal no es el mismo en todas las unidades en un montante

(tramo o sección de unidades) de retorno directo. La diferencia de caudales depende de la caída de presión de las tuberías de suministro y del montante retorno. Esta diferencia puede ser reducida a límites aceptables.

La caída de presión en el tramo de tuberías se debe a tres causas fundamentales:

1. La pérdida a través de las tuberías de suministro y retorno.
2. La pérdida a través de la propia unidad.
3. La pérdida en válvulas y acoplamientos.

El desequilibrio excesivo en la parte de suministro y retorno directo del sistema de tuberías puede dictar la necesidad de válvulas auxiliares u orificios calibrados. Para eliminar las válvulas auxiliares debe proyectarse la caída de presión de suministro y de retorno igual a $\frac{1}{4}$ de la suma de la caída de presión en el tramo de tuberías.

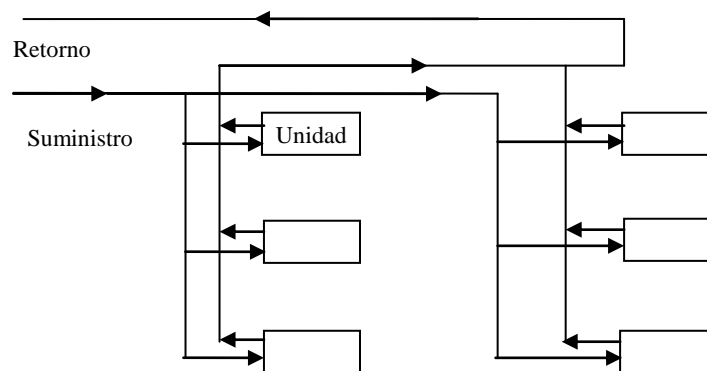


Figura 1.3. Sistema de Retorno Inverso con montantes de Retorno Directo.

Se recomienda un retorno directo para un sistema de circulación cerrado donde todas las unidades requieren válvulas auxiliares y tienen diferentes caídas de presión. Un ejemplo de este tipo de sistema es el de varias unidades Fan-Coil (Ventilador-Serpentín) interconectadas y que necesitan diferentes caudales de agua, con capacidades y caídas de presión diferentes. El sistema de tuberías de retorno directo siempre es desequilibrado y exigen válvulas auxiliares o bocas y elementos para medir la caída de presión al objeto de poder medir el caudal de agua. (Carrier,

1972). No obstante, hoy en día existen una gran variedad de válvulas para el equilibrado hidráulico y de control automático de los sistemas, de modo que la tendencia es disminuir los sistemas de retorno inverso que exceden las longitudes de tuberías y aumentar los sistemas de retorno directo con equilibrado automático.

1.4 Estimación de la carga térmica.

Desde el surgimiento del aire acondicionado los métodos para calcular carga térmica (C/T) han sido una tarea para muchos. Debido a la diversidad de factores que influyen para estos cálculos y los distintos métodos por los cuales se pueden obtener los resultados, varias compañías del mundo del aire acondicionado han creado sus propias metodologías. La diferencia entre estas se basa fundamentalmente en cuantos factores tengan en cuenta y hasta que límite lo consideren importante. (Miranda, 1996)

En Cuba existen varias empresas destinadas a diseñar sistemas de climatización de aire acondicionado. En la provincia Holguín, radican la ECME (Empresa de Construcción y Montaje especializado), IPROYAZ (Empresa de Proyectos de Ministerio del Azúcar), EMPA (Empresa de Proyectos del Ministerio de la Agricultura), EMPIFAR (Empresa de proyectos de la Unión de Constructoras Militares), y VÉRTICE (Empresa de Ingeniería y Diseño), esta última sin dudas líder en el diseño de sistemas de refrigeración y climatización, además es la encargada del diseño de estos sistemas para las obras del turismo en la provincia.

1.5 Parámetros de diseño para la determinación de la carga térmica.

La norma cubana (45-7, 1999), recomienda el cálculo de la carga térmica de aire acondicionado, usando la metodología hecha por Carrier. Esta metodología realizada por uno de los mayores productores de equipos de refrigeración y clima del mundo, con una vasta experiencia y elevada reputación, es una de las más completas y precisas de las metodologías que actualmente se utilizan.

El diseño del sistema de aire acondicionado depende del tipo de estructura en la que se va a instalar, la cantidad de espacio a refrigerar, el número de ocupantes y del tipo de actividad que

realicen, una habitación con grandes ventanales expuestos al sol, o una oficina interior con muchos focos o bombillas que generan mucho calor, requieren un sistema con capacidad refrigeradora mucho mayor que una habitación sin ventanas iluminada con tubos fluorescentes.

En la norma cubana se especifican los detalles para la elaboración de los proyectos. Se rigen las condiciones climatológicas del lugar (o próximo), condiciones de confort según las exigencias de la instalación, condiciones de temperatura y humedad en el interior de los locales, la ventilación y calidad del aire, y niveles de ruido.

1.5.1 Características de los locales y fuentes de carga térmica.

Para una estimación realista de la (C/T) es requisito fundamental el estudio riguroso de los componentes de carga en el espacio que va a ser acondicionado, es indispensable en la estimación que el estudio sea preciso y completo, no debiendo subestimarse la importancia de cada uno de los factores. Forman parte del estudio los planos de detalles mecánicos y arquitectónicos. En todo caso deben considerarse todos los aspectos físicos que puedan influir en un aporte de energía al local. (Carrier, 1972)

1.6 Estado actual en el uso de metodologías de cálculo de carga térmica.

Una de las primeras etapas en el diseño de una instalación de aire acondicionado es el cálculo de cargas térmicas del edificio, permitiendo el dimensionado de las máquinas generadoras de calor o frío. Existen en el mercado varios programas informáticos que permiten calcular la carga térmica de los locales y edificios, basados en modelos matemáticos que calculan con más o menos precisión el consumo energético de los mismos. Dada la importancia que presenta esta etapa en la calidad energética del edificio, es necesario elegir un buen método de cálculo. Determinar el método de cálculo no es una tarea fácil, cada uno cuenta en sí con especificaciones que lo caracterizan. Muchos autores han realizado estudios comparativos entre metodologías en los que se determinan las diferencias, e incluso se calculan estos valores en cada método. Pero lo más importante es tener en cuenta en qué destino de servicio se va a utilizar el método. Es por ello que en este trabajo se utilizará la metodología de Carrier para la determinación de la carga

térmica, la misma es usada por las empresas de proyectos cubanas en los cálculos de instalaciones hoteleras.

El cálculo de la (C/T) mediante Carrier sin algún programa informático requiere de un alto nivel de especialización debido a que se especifican hasta los más mínimos detalles de las instalaciones para asegurar la exactitud del cálculo, esto se torna engorroso cuando hay que realizar este mismo cálculo varias veces para locales similares o parecidos por lo que requiere entonces de mucho tiempo para realizar un proyecto. Es por ello que algunos diseñadores de experiencia cuando consideran un proyecto de baja envergadura, optan por estimar la (C/T) a través de métodos empíricos basados en las áreas de los locales o en los volúmenes de los mismos. Entre los sistemas informáticos más utilizados se encuentran: ROCA (INTERCLISA), Programa de Cálculo de Cargas de Saunier Duval, DP-AIRE de la Universidad Politécnica de Valencia, Programa de Cálculo de Cargas E20 de CARRIER, Estimación de Cargas E53 de CARRIER, Análisis Horario HAP de CARRIER, y Block Load u otras ediciones anteriores como AAP.

La empresa VÉRTICE cuenta con la versión 4.04 de CARRIER HAP, un software avanzado para el cálculo de la (C/T) el cual es una actualización de E20, es muy práctico y de elevada fiabilidad. Este tiene algunas ventajas sobre su más cercano competidor, CLTD/CLF de ASRAE.

- Genera perfiles climáticos de cada ciudad con los parámetros de diseño.
- Permite definir cargas internas variables a través del día.
- Analiza espacios complejos con varios tipos de cristales, muros, sombras, etc.
- Permite definir varias zonas en el edificio, cada una con diversos espacios.
- Calcula la carga a cada hora y mes, determina la máxima carga en un periodo de tiempo, sea para un espacio, zona, o el conjunto de varias zonas, así como el caudal de aire necesario para combatir la carga.
- Cálculos de tuberías y conductos necesarios en la instalación.

Indiscutiblemente este sistema ofrece facilidades para el diseño, pero ello no soluciona todo el problema. Este software es concebido para estimar la (C/T) en cualquier lugar o región del mundo, hecho que además de ser muy abarcador implica que el diseñador utilice mucho tiempo

para registrar muchos valores y parámetros que para ciertas localidades se pueden estandarizar, y otras cuestiones desde el punto de vista de los locales que están normadas o estandarizadas. Por esta razón, en ocasiones los diseñadores utilizan los métodos convencionales de cálculo a través de gráficos, tablas y cálculos manuales para proyectos pequeños o de poca complejidad. Lo ideal sería la creación de un procedimiento soportado con una herramienta CAD basado en la metodología Carrier que omita pasos reiterativos en el proceso de cálculo, zonificando territorios, codificando y registrando tipos y características de locales, y fundamentalmente, tenga la posibilidad de interactuar de forma integral con otras etapas del diseño, como los cálculos de tuberías para centralizados de agua fría. (F.J Rey, 2001)

1.7 Criterios de diseño de redes hidráulicas para SSCAF.

El método comúnmente utilizado en las empresas cubanas para el diseño de las redes de tuberías de SSCAF esta descrito en la metodología de Carrier y las especificaciones técnicas y parámetros de diseño se especifican en la norma cubana (NC 45-7, 1999).

1.7.1 Diseño del sistema de tuberías.

En cualquier conducto por el que circule agua, hay una pérdida de presión. Esta pérdida depende de los factores siguientes:

- Velocidad del agua.
- Diámetro de la tubería.
- Rugosidad de la superficie interior de la tubería.
- Longitud de la tubería.

La presión que se utiliza no tiene efecto sobre la pérdida total de carga a lo largo del sistema. Sin embargo, las presiones más altas que las normales pueden determinar el tipo de tubería a emplear, así como acoplamientos y válvulas más robustas y elementos especiales. Para proyectar correctamente un sistema de tubería, el ingeniero debe evaluar no solo las pérdidas por rozamiento en la instalación, sino también la pérdida a través de las válvulas, acoplamientos y demás elementos. Además de estas pérdidas por rozamiento, debe considerarse un factor de diversidad en cuanto afecte a la reducción de cantidad de agua y dimensiones de las tuberías.

(Carrier, 1972)

1.7.2 Caudal y velocidad del agua.

Desde el punto de vista topológico, una red se compone de nodos y líneas. Los nodos corresponden a los puntos del sistema donde físicamente se produce una aportación o un consumo de caudal, o pueden ser simplemente puntos de conexión donde confluyen varias tuberías. Los nodos están unidos entre sí mediante líneas, que identifican elementos de transporte (tuberías) o cualquier elemento singular que provoque cambios en la energía específica del fluido (por ejemplo: bombas y/o válvulas), (Hechavarría, 2009).

Cada línea queda caracterizada hidráulicamente por una serie de variables; en el caso de una línea que corresponde a una tubería, las cuatro variables hidráulicas fundamentales son: velocidad v , caudal Q , diámetro D , y pérdida de carga h_f . Existen dos ecuaciones básicas que ligán obligatoriamente estos cuatro parámetros en cada línea, la ecuación de continuidad y la ecuación de pérdidas (Ravinovich, 1986; Pérez, 1986; Nekrasov, 1990; Kuttz, 1995; Aguirre et al., 1996a; R.C., 1998; Streeter et al., 2000; Haestad, 2003; Martínez et al., 2007; Hechavarría, 2009):

Ecuación de continuidad:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v \quad (1.8)$$

Donde:

Q - caudal del líquido (l/s).

D - diámetro de la tubería (m).

v - velocidad del flujo (m/s).

La ecuación de continuidad se plantea como la relación $Q = f(v, D)$ para el caso de conductos de sección circular. En el caso de la ecuación de pérdidas se recomienda utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach porque es consistente dimensionalmente y es la más utilizada con este fin.

El caudal necesario depende de la carga de acondicionamiento de aire, y la velocidad se determina mediante datos prácticos. Estos dos factores se utilizan para establecer el tamaño de la

tubería y el régimen de pérdida de carga.

Las velocidades recomendadas para la tubería de agua dependen de dos condiciones:

- *El servicio para el que se va a utilizar la tubería.*
- *Los efectos de la erosión*

Los valores máximos indicados se basan en los niveles de sonido permisibles establecidos para agua en movimiento y el aire arrastrado, así como los efectos de la erosión. La erosión en los sistemas de tuberías de agua la produce el choque del agua que se mueve rápidamente conteniendo burbujas de aire, arena u otras materias sólidas con la superficie interior la tubería. En algunos casos esto puede significar el deterioro completo de las paredes de la tubería, particularmente en las tuberías de menor diámetro y en los codos. (Carrier, 1979)

Como la erosión es un efecto del tiempo, de la velocidad del agua y de los materiales en suspensión en el agua, la elección de la velocidad del agua en un proyecto es cuestión de criterio. (Carrier, 1979)

1.7.3 Longitud equivalente.

Para determinar la pérdida por rozamiento en un sistema de tubería de agua, el proyectista debe considerar los tramos rectos de tubería y las longitudes equivalentes adicionales de tubería debidas a acoplamientos, derivaciones y otros elementos intercalados en el sistema. Ver Tablas 1 y 2 del Anexo 3. La longitud recta de la tubería se mide hasta la línea media de todos los acoplamientos y válvulas. La longitud equivalente de los componentes debe sumarse a esta longitud recta de tubería.

1.7.4 Variación del caudal. Factor de diversidad.

Cuando se calcula la carga de acondicionamiento de aire para cada orientación de un edificio, se supone que se considera el caso de carga máxima. Como en un momento dado la carga solar máxima corresponde a una orientación, no todas las unidades correspondientes a las otras

orientaciones necesitan el máximo caudal de agua al mismo tiempo para aportar la carga de refrigeración. Las unidades correspondientes a una misma orientación normalmente necesitan un caudal máximo simultáneamente, pero no las unidades que se hallen en las zonas adyacentes u opuestas. Por lo tanto, si las unidades individuales son controladas automáticamente para variar el caudal de agua, la cantidad de agua que realmente se necesita en el sistema, durante el funcionamiento normal, es inferior a la total que se requiere en las condiciones de proyecto máximas para todas las orientaciones. Al proyectar, debe tenerse en cuenta que la tubería de agua y la bomba se dimensionen para esta cantidad reducida de agua. El factor de diversidad permite al proyectista evaluar y dimensionar la cantidad reducida de agua. Sobre el empleo de dicho factor debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- El caudal de agua de las unidades debe ser controlado automáticamente para compensar la variación de las cargas.
- El factor de diversidad solo debe aplicarse a la tubería que surte a unidades con más de una orientación.

En todos los sistemas de tubería de agua con unidades controladas automáticamente, los caudales de agua y presión exigidos a la bomba varían, se haya empleado o no el factor de diversidad en su cálculo. Sin embargo, los caudales y presión de la bomba sufren variaciones más amplias en un sistema en el cual no se ha tenido en cuenta el factor de diversidad. En los sistemas calculados sin considerar las variaciones de caudal se necesita poner mayor cuidado en los controles de la bomba para evitar que se cree un ruido excesivo por las válvulas de estrangulación o las velocidades de agua superiores a las normales. Además, como el sistema generalmente no necesita el total de agua para el que se ha proyectado, el caudal entregado por la bomba debe ser continuamente regulado, desviado o reducido. En el proyecto debe considerarse, cuando sea posible, el factor de diversidad para reducir el diámetro de la tubería y la capacidad de la bomba. Otra forma para lograr estos fines sería a través del equilibrado hidráulico por medio del uso de válvulas de equilibrado, de regulación y de control, así como estaciones de bombeo de caudal variable.

1.7.5 Equilibrado hidráulico.

En muchas instalaciones donde se emplean los sistemas centralizados de climatización se derrocha energía significativa y enormes cantidades de dinero tratando de solucionar las quejas recibidas por una climatización deficiente. Esto ocurre incluso en los más modernos y dotados sistemas avanzados de control del confort.

Entre los problemas más comunes, pueden citarse los siguientes (Petitjean, 2003):

- Imposibilidad de obtener la temperatura ambiente deseada en ciertas zonas y, en especial, después de variaciones de carga.
- Oscilación permanente de la temperatura ambiente de zonas donde esta se consigue, especialmente a carga parcial, a pesar de que los terminales estén dotados de reguladores sofisticados.
- Imposibilidad de transmitir toda la potencia instalada, aunque esta sea más que suficiente.

En la mayoría de los casos, estos problemas son debidos a que no se obtienen en la instalación los caudales que se proyectaron, hecho que además impide a los reguladores trabajar en las condiciones adecuadas. La única manera de conseguirlo consiste en equilibrar la instalación, es decir ajustar los caudales a los valores de diseño mediante válvulas juiciosamente repartidas en su red hidráulica de instalación. En la realidad ocurre que, en las zonas próximas a las unidades de climatización, la temperatura es demasiado baja, mientras que en las alejadas la refrigeración es insuficiente. Un grado por encima o por debajo de la temperatura de diseño en un determinado local apenas afecta el confort humano y los costes energéticos. Pero una permanente é incorrecta temperatura ambiente media en todo el edificio, puede costar mucho dinero, (Petitjean, 2003).

El objetivo de la instalación de las válvulas de equilibrado es conseguir una gran precisión en el control del clima interior mediante ajustes del caudal deseado. Otros beneficios que se obtienen son el ahorro de energía y mejoras en la operación de los sistemas de climatización.

Existen tres tipos de válvulas fundamentales para el equilibrado hidráulico, (Petitjean, 2003):

- Válvulas de equilibrado.
- Válvulas de control.
- Válvulas de regulación.

Los métodos para el equilibrado dependerán de las características propias del sistema hidráulico. Los bucles de control podrán tener caudales primarios y secundarios constantes, primario variable y secundario constante, primario constante y secundario variable o ambos variables. Ello definirá la autoridad en la distribución de las válvulas. La manera ideal para un equilibrado sería dotando de válvulas a todas las unidades patinejos y secciones, pero no siempre es posible debido al alto precio de estos elementos especiales. Es por tanto que deberán tenerse en cuenta diversos criterios técnicos-económicos para lograr una correcta instalación y un equilibrado eficiente con el uso de los métodos y la ayuda de herramientas informáticas.

1.7.6 Selección de la bomba.

Las bombas se seleccionan para inyectar la energía necesaria al sistema, y un requisito indispensable es evitar que no se produzca una elevada presión manométrica a su salida cuando se estrangule el caudal de agua. En los sistemas con estrangulamiento considerable debe seleccionarse la bomba de forma que trabaje en la parte plena de su curva característica presión-caudal.

Normalmente, la tubería instalada produce pérdidas de presión inferiores a las supuestas en el proyecto, por lo tanto, la bomba proporciona un caudal superior al demandado, necesitando ser accionada por un motor de mayor potencia. Por esta razón, se selecciona siempre una bomba centrífuga para la altura manométrica calculada sin la adición de factores de seguridad. Si se selecciona la bomba para la altura calculada más los factores de seguridad, la bomba producirá un mayor caudal, y si no se toman medidas para estrangular o desviar el exceso de caudal de agua, existe la posibilidad de sobrecarga del motor de la bomba. Asimismo, si se selecciona la bomba para una cantidad de agua máxima sin tener en cuenta el factor de diversidad, el caudal de agua debe estrangularse, lo que incrementará la altura manométrica de la bomba.

1.7.7 Selección de los accesorios del sistema.

Los SSCCAF hacen uso de elementos especiales como los vasos de expansión, en aras de mantener constante la presión del sistema, al permitir que se expanda el agua cuando aumenta la temperatura, además proporciona un método para añadir agua al sistema. Normalmente es necesario en un sistema cerrado, pero no en un sistema abierto. El depósito de un sistema abierto actúa como vaso de expansión.

Los vasos de expansión abiertos y cerrados son los dos tipos usados en los sistemas de tuberías. Los vasos de expansión abiertos están en comunicación con la atmósfera y situados en el lado de aspiración de la bomba, y a un nivel superior al de la bomba más elevada de la instalación. En este punto el vaso proporciona la presión necesaria para vencer la resistencia de la tubería de aspiración de la bomba, evitando así la posible introducción de aire en el sistema. Puede seguirse el procedimiento para determinar la capacidad de un vaso de expansión abierto:

- Calcular el volumen de agua en la tubería.
- Calcular el volumen de agua en los serpentines e intercambiadores de calor.
- Determinar mediante la tabla 1 el porcentaje de aumento en el volumen de agua debido a la temperatura.
- La capacidad del vaso de expansión es igual al aumento total de volumen del agua del sistema deducido de la tabla 1, anexo 4.

El vaso de expansión cerrado se utiliza en las pequeñas instalaciones de calefacción por agua caliente y en los sistemas de agua a temperatura elevada. Los vasos de expansión cerrados no están en comunicación con la atmósfera y funcionan por encima de la presión atmosférica. También deben instalarse en el sistema, purgadores para vaciar el aire. Los vasos de expansión cerrados se hallan situados en el lado de aspiración de la bomba para conseguir que la bomba funcione a una presión prácticamente constante. Colocar el vaso de expansión en la descarga de la bomba no es generalmente aconsejable.

Las variaciones de presión que pudiese producir el funcionamiento de la bomba se restan de la presión estática original. Si la caída de presión por debajo de la estática original es lo suficientemente elevada, la presión del sistema puede disminuir hasta el punto de ebullición,

causando una circulación de agua inestable y una posible cavitación de la bomba. Si la presión del sistema llegase a ser inferior a la atmósfera, el aire aspirado por las juntas puede acumularse en bolsas y detener la circulación del agua.

La capacidad de un vaso de expansión cerrado es mayor que la de un vaso de expansión abierto, funcionando en las mismas condiciones. ASME ha metodizado el cálculo de la capacidad de los vasos de expansión cerrados. La capacidad depende de que el sistema funcione por encima o por debajo de 70 °C de temperatura de agua. (Carrier, 1972)

1.8 Sistemas CAD para el diseño de SSCAF.

El programa de Hidráulica, utilizando el tratamiento de Darcy-Colebrook y Darcy-Weisback, permite calcular las secciones de tuberías para redes hidráulicas de tubería de cobre, hierro, PVC y polietileno de alta densidad (PEAD, 2006) para agua fría y caliente. El programa calcula además de los diámetros internos y comerciales de cada tramo, la velocidad del fluido, la pérdida de carga de la instalación, la potencia teórica y real de las bombas de circulación, así como los rendimientos mecánicos e hidráulicos de las bombas. El programa incorpora curvas de simultaneidad dependiendo del tipo de local o vivienda, para puntos de consumo o zonas húmedas. El programa de Hidráulica es adecuado para redes ramificadas: alimentación de agua en edificios, hoteles, viviendas, urbanizaciones, sistemas contra incendios, redes de calefacción, aire acondicionado distribuido por Fan-Coils.

HIDRO FLOW, programa para ingenieros o estudiantes de ingeniería, sirve para el diseño de sistemas de tuberías con todos sus accesorios (válvulas, codos, tanques, bombas, etc.) y lo más potente de este software es que permite hacer arreglos en serie de varias bombas para la selección de la bomba correcta. PUMP BASE, esta es una aplicación del programa que permite llevar los datos del diseño del sistema de tuberías a otra aplicación para la selección de bombas industriales de marca reconocida y propone cuáles son las bombas que puedes utilizar para el sistema escogido. Muestra la curva característica de la bomba, el caudal requerido y los diámetros de impeler disponibles para dicha bomba. HCALC, es una aplicación que permite seleccionar el diámetro requerido para seleccionar el tipo de tubería correcto en el diseño del sistema de tuberías. PLOT PUMA, es una opción que muestra la curva característica de la bomba

en el arreglo de bombas escogido, además tiene una opción que entrega un reporte detallado de la bomba industrial seleccionada, con las especificaciones de la misma, que tipo de caudal trabaja, las presiones, temperaturas, revoluciones, entre otros (Hidráulica, 2010). Estos programas sin dudas ofrecen ventajas al proceso de diseño, pero lamentablemente no es posible adquirirlos por las empresas de diseño cubanas. Además, no se implementa la integración de las etapas de diseño en ninguna de estas variantes.

1.9 Análisis de la situación y perspectivas de proyectos de SSCCAF.

En la práctica, los diseñadores deben desarrollar durante el análisis de la tarea de proyecto, todo un proceso de evaluación de opciones que dependen del caso particular de cada sistema centralizado de agua fría. Durante este proceso se debe considerar y evaluar aspectos formalizables y subjetivos referentes a: condiciones climáticas, ubicación geográfica, materiales de construcción, fuentes de calor adicionales, características termohidráulicas de la instalación, tuberías, tipos de sistemas y complejidad de los mismos, accesorios, factores de diversidad, costos de inversión y fundamentalmente, métodos y estrategias para el ahorro de energía durante la explotación del sistema.

Una de las tendencias para la resolución de este problema lo constituye la metodología de “Análisis y Síntesis de Sistemas de Ingeniería” (Arzola, 2000), la cual ha demostrado su validez en: clasificar la información asociada a cada tarea, formular adecuadamente las tareas de ingeniería asociadas y sintetizar debidamente el sistema adecuado para la solución práctica. Lo cual ha sido ratificado por múltiples trabajos científicos de diversas especialidades (Arzola, 1982; Santana, 1996; Casals, 1997; Castillo, 1998; Ávila, 1999; Cordovés, 1999; Simeón, 1999; Morejón, 2003; Simeón and Arzola, 2003; Cordovés et al., 2005; Morejón y Arzola, 2002, 2005; González et al, 2005a, 2006a, 2006b, 2007; Navas, 2007; Martínez y Arzola, 2008; Carbonell, 2008; Fiol, 2009; Hechavarría, 2009). En el capítulo 2 se desarrolla el procedimiento para el diseño de los SSCCAF bajo este enfoque.

2. PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS SECUNDARIOS DE CLIMATIZACIÓN CENTRALIZADA POR AGUA FRÍA.

2. PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS SECUNDARIOS DE CLIMATIZACIÓN CENTRALIZADA POR AGUA FRÍA.

En la actualidad, los diseñadores se enfrentan ante una infinidad de problemas en los que no basta el esfuerzo y el sentido común para obtener los resultados. Para enfrentar el problema se requiere la toma de decisiones y se hace necesario acudir a la aplicación de métodos científicos. Una categoría importante y compleja de estos problemas son aquellos en que se desea maximizar o minimizar una cantidad específica, que puede ser llamada objetivo, y que depende de un número finito de variables de entrada. Estas variables pueden ser independientes unas de otras o pueden estar relacionadas por una o más restricciones (Hechavarria, 2009).

El presente capítulo tiene como objetivo la descripción del procedimiento para el diseño de los SSCCAF con el apoyo de tecnologías CAD. Siendo la etapa de diseño durante la preparación de la información y propuestas de soluciones ingenieriles en el proceso de Toma de Decisiones bajo Criterios Múltiples. También se describen las particularidades de los métodos aplicados y la concepción de la aplicación CAD de modo sistémico.

1.10 Preparación y Toma de Decisiones bajo Criterios Múltiples.

Como primer paso a realizar en la tarea de diseño se define el análisis de la tarea de toma de decisiones asociadas, el cual consta de dos partes interrelacionadas: el *Análisis Externo*, que consiste en la clasificación de la información involucrada y el *Análisis Interno*, que abarca el conjunto de trabajos de modelación matemática y organización racional de los procedimientos de cálculo para determinar los indicadores de eficiencia del diseño (Arzola, 2000; Hechavarria, 2009).

El diseño de los SSCCAF cuenta con dos etapas fundamentales. La primera consiste en la determinación de las cargas térmicas y la segunda en la definición de los parámetros técnicos que

permitan modelar el comportamiento hidráulico así como garantizar el confort ambiental de las habitaciones. Existen varios métodos por los cuales se pueden obtener estos resultados, incluso existen algunos programas informáticos para el cálculo de la carga térmica requerida, así como sistemas para la modelación hidráulica de redes hidráulicas, pero no existe un Sistema CAD que integre las dos etapas, por lo que dificulta los procesos de análisis y toma de decisiones asistido por computador.

En las empresas de proyecto de Cuba el fundamento del diseño para la determinación de la carga térmica y modelación hidráulica se realiza teniendo en cuenta la metodología Carrier. La misma ha demostrado ser muy efectiva en la realización de proyectos. Sin embargo, asume que estos sistemas harán uso de todos los elementos técnicos que permitirán posteriormente garantizar el equilibrado hidráulico a través de válvulas de regulación y de compensación, aspecto que en la práctica no se cumple a totalidad por los altos costos de estos elementos especiales.

El diseño de un SSCCAF puede formularse a partir del diámetro que debe tener cada una de las tuberías de la red para satisfacer un caudal demandado en cada uno de los locales y de este modo garantizar el confort. También se deben seleccionar adecuadamente las válvulas de control, de regulación y compensación según lo demande los caudales de diseño de cada unidad terminal y los requerimientos de velocidad y presión que impone la norma de Carrier. El diseño se considera una tarea combinatoria donde se clasifican como variables de decisión, los diámetros de cada una de las tuberías. El problema consiste en determinar un conjunto de diámetros tal, que se minimice el costo (basado en la longitud, diámetro y costo de las tuberías) sujeta a restricciones hidráulicas, comerciales, entre otras. Sin embargo, el conjunto de diámetros escogidos tendrá una influencia importante en las pérdidas de energía como resultado del equilibrio hidráulico del sistema. Por lo que se hace necesario el uso de técnicas que permitan encontrar aquellas soluciones que sean factibles bajo múltiples criterios.

Por otra parte, el procedimiento debe ser capaz de satisfacer las necesidades y requerimientos del *Sistema de Mayor Envergadura*, el que impone a la tarea de diseño aspectos tales como: carga térmica de los locales, factor de diversidad para sistemas de caudal constante, velocidades y presiones admisibles, construcción civil, entre otros.

2.1.1 Análisis externo.

Estas redes están destinadas a satisfacer ciertas necesidades establecidas por su destino de servicio; por lo cual, un procedimiento para el diseño de SSCCAF dependerá de un conjunto de factores y condiciones desde el punto de vista de la concepción del diseño, teniendo en cuenta las perspectivas del diseñador y del proceso de instalación, considerando también las restricciones de presupuesto y características del proyecto; por tanto, el sistema se subordina a un “Sistema Mayor” con todos sus elementos componentes.

De esta forma se pueden considerar como variables de coordinación:

- Ubicación geográfica.
- Condiciones climáticas.
- Materiales de las habitaciones.
- Aportaciones de calor adicionales.
- Clasificación según el tipo de local.
- Ubicación espacial de los nodos de la red.
- Tipo de nodo (Suministro, Conexión).
- Topología de la red.

De tal forma, el CAD objeto de estudio debe recibir, en calidad de información directiva, todo el conjunto de datos que pueda influir en la toma de decisiones durante el proceso de diseño.

2.1.2 Indicadores de eficiencia.

El proceso de optimización se concibe como herramienta de ayuda al ingeniero, donde la lógica y la experiencia, serán necesarias para garantizar una solución factible. Por estas razones se consideran como *Indicadores de Eficiencia* de carácter formalizable en los siguientes:

- ✓ Minimización de los Costos de Inversión (C) del SSCCAF.
- ✓ Minimización del Consumo de Energía (E) del SSCCAF.

La pérdida de energía a considerar incluye las pérdidas por fricción y las pérdidas locales en los accesorios y las unidades terminales (Fan-Coil), las cuales determinarán si el rendimiento del sistema, en un estado particular, puede ser bueno porque haya poca pérdida de la energía disponible; o no tan bueno, debido a una gran pérdida de la energía disponible (Faires, 2006; Hechavarria, 2009). La disminución de las pérdidas de energía en un sistema, es proporcional a la garantía de altura de presión en los nodos; por lo tanto, la minimización de este indicador está encaminada a maximizar la eficiencia energética en la explotación de los SSCCAF.

Al proyectar el SSCCAF debe tenerse presente las pérdidas de presión por rozamiento y accesorios así como garantizar, a través de las unidades de bombeo, la energía necesaria para vencer las presiones diferenciales producidas en el sistema. Los sistemas que utilizan agua suministrada por la red general, deben de estar calculados para proporcionar el caudal requerido con una pérdida de presión inferior a la presión disponible en la línea principal. Esta pérdida de presión total está formada por las distintas pérdidas que se producen en el sistema, tales como las que ocasionan los equipos, la tubería y los acoplamientos (Carrier, 1972).

El sistema de recirculación se dimensiona para proporcionar un equilibrio razonable entre la mayor potencia necesaria para el bombeo debido a la pérdida por rozamiento, y el aumento del coste inicial requerido por ser necesario tubos de gran diámetro. En las grandes instalaciones de acondicionamiento de aire, este punto de equilibrio se toma frecuentemente para una pérdida de carga correspondiente a 1 metro de columna de agua por 10 metros de longitud equivalente de tubería.

En las instalaciones normales de acondicionamiento de aire el costo de la tubería de agua predomina sobre el costo de las bombas de agua y motores. El aumento del costo producido al aumentar el diámetro de una tubería pequeña, para reducir la pérdida de carga, normalmente no es demasiado grande, mientras que, por el contrario, aumenta rápidamente cuando se aumenta el tamaño de una tubería grande (de aproximadamente 4 pulgadas, 100 mm, y mayores). En la mayoría de las instalaciones, las consideraciones económicas exigen que la tubería de mayor diámetro sea dimensionada para caudales y caídas de presión, más elevadas que la tubería pequeña, diámetro que esta dimensionado para caídas de presión y caudales más bajos. (Carrier, 1972, Streeter et al., 2000)

A veces hay excepciones a esta norma general. Por ejemplo, la aparición de limitaciones físicas puede exigir el empleo de tuberías de pequeño diámetro. Esto se hace frecuente en tramos cortos que no afectan mucho a la caída de presión total. Cada sistema debe ser analizado separadamente para determinar el punto de equilibrio económico entre el costo inicial (tamaños de tubería, bomba y motor) y gasto de explotación (caída de presión y consumos de la bomba y motor)

2.1.3 Variables de decisión

Al conocer el valor del caudal, según la ecuación de continuidad expresada en (1.8), se puede proponer un valor de diámetro nominal, el cual debe ser ajustado hasta obtener los valores de la velocidad dentro del rango permisible lo cual trae consigo el planteamiento siguiente (Ravinovich, 1986; Nekrasov, 1990; Gerhart and Gross, 1992, 1995; Kuttz, 1995; Robert and McDonald, 1995; R.C. 1998, Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007; Hechavarria, 2009):

- ✓ La disminución del diámetro de las tuberías implica:
 - Aumento de la velocidad del fluido.
 - Disminución de los costos de las tuberías.
 - Incremento de las pérdidas energéticas, proporcional al cuadrado de la velocidad.
 - Incremento del nivel de ruido.
- ✓ El aumento del diámetro de las tuberías implica:
 - Disminución de la velocidad del fluido.
 - Incremento de los costos de las tuberías, instalaciones, entre otros.
 - Menores pérdidas energéticas, menores costos energéticos.
 - Posibilidad de decantación de partículas y la obstrucción de las tuberías.

A partir de la demanda de caudal en cada local, se pueden utilizar fórmulas empíricas que ayudan a encontrar valores de diámetros, al proponer un valor de velocidad recomendado dentro del rango de velocidades permisibles (Rojas, 1986; R.C., 1998; Driggs, 2006; Hechavarría, 2009). Para una segunda etapa, en la cual se tienen en cuenta válvulas de regulación y de compensación para lograr el equilibrado en los bucles de control (Petitjean, 1999, 2003), se hace necesario definir la utilización de estos elementos en determinados lugares del sistema, lo que

condiciona a reevaluar los valores de velocidad debido a un exceso de caudal en las unidades terminales. Es por ello que para obtener el mejor compromiso entre los *Indicadores de Eficiencia* planteados, se consideran como *Variables de Decisión*:

- ✓ Diámetro en cada tramo de tubería.
- ✓ Utilización de válvulas para el equilibrado los bucles de control.

2.1.4 Variables intermedias

Al tomar como variable de decisión el diámetro se modela el comportamiento hidráulico de la red cumpliendo con la ley de continuidad en cada nodo y ley de conservación de la energía en cada ciclo, para conocer, como resultados del cálculo hidráulico, las pérdidas energéticas y velocidades en cada tramo, así como los valores de presión en cada nodo. Resulta de interés, para el responsable del proceso de toma de decisiones, las *Variables Intermedias* siguientes:

- ✓ Velocidad del fluido en cada tramo de tubería.
- ✓ Altura de presión en cada nodo.

En función del destino de servicio del SSCCAF, el proceso de diseño debe cumplir con los requerimientos impuestos por el *Sistema de Mayor Envergadura*, lo cual condiciona valores de presión admisibles en cada uno de los nodos fundamentalmente en los relacionados con los elementos especiales que deben funcionar con un valor mínimo de 3 kpa. (Petitjean, 2000)

2.1.5 Datos de entrada al sistema

La ecuación fundamental de pérdidas de carga de Darcy-Weisbach, tiene en cuenta los cambios de temperatura del fluido, que a su vez influyen en la viscosidad cinemática al incluir en su expresión al número de Reynolds (Ravinovich, 1986; Nekrasov, 1990; Gerhart and Gross, 1992, 1995; Kuttz, 1995; Robert and McDonald, 1995; Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007; Hechavarria, 2009) por lo cual se hace necesario conocer los valores de los parámetros que influyen en su determinación. En la bibliografía consultada (Petitjean, 1999, 2000, 2003) se expresa la selección de las válvulas especiales en función de los requerimientos de carga térmica

y modelación hidráulica lo que condiciona conocer también los parámetros técnicos de estos elementos. De este modo se consideran *Datos de Entrada* los siguientes:

- ✓ Viscosidad cinemática (tipo de fluido y temperatura).
- ✓ Rugosidad equivalente (tipo de material de la tubería).
- ✓ Coeficiente de resistencia local (tipo de accesorio).
- ✓ Costos asociados al cálculo económico (materiales, operaciones, entre otros).
- ✓ Valores mínimo y máximo de *Velocidad y Presión* (destino de servicio).
- ✓ Parámetros técnicos de las válvulas de control.
- ✓ Parámetros técnicos de las válvulas de regulación.
- ✓ Parámetros técnicos de las válvulas de compensación.
- ✓ Parámetros técnicos de las unidades terminales (intercambiadores de calor).
- ✓ Parámetros técnicos de las unidades de bombeo.

2.2 Análisis interno de la tarea de diseño

La solución de la tarea de diseño está fundamentada sobre un conjunto de factores y conceptos que formulados constituyen el método para obtener los resultados de la tarea propuesta. Ello conlleva a la realización del análisis interno de la tarea de diseño, el mismo tiene como objetivo elaborar el procedimiento computacional para calcular las salidas (*Indicadores de Eficiencia*) en función de las entradas (Arzola, 2000; Hechavarría, 2009).

2.2.1 Declaración del procedimiento

Durante el proceso de generación de opciones de diseño (Preparación y Toma de Decisiones), una parte de los indicadores de eficiencia requieren ser minimizados, mientras otros serán evaluados subjetivamente, tales como la simetría, la estética, la correspondencia a planes de proyección futuros, así como el cuidado y protección del medio ambiente; lo cual se corresponde, con la conveniencia del sistema al *Sistema de Mayor Envergadura*. Es importante por ello contar con la ayuda de métodos gráficos que permitan seleccionar las opciones más prometedoras de las soluciones encontradas, para considerar los indicadores de carácter subjetivo. (Arzola, 2000; Hechavarría, 2009)

Para todos los casos será necesario contar con un sistema computacional que brinde al diseñador la posibilidad de evaluar aspectos subjetivos que permita evaluar la correcta inserción de la tarea en estudio al *Sistema de Mayor Envergadura*. Este análisis se realiza al seleccionar aquella solución que satisface de la mejor manera el criterio completo de preferencias de los proyectistas. El procedimiento ilustrado en la figura 2.1 cumple con estos requisitos.

El procedimiento comienza con la preparación del plano de trabajo en AutoCAD para garantizar la correcta clasificación de la información que servirá de consulta en el proceso de diseño. En el cálculo de la carga térmica de los locales y de la instalación hidráulica, se estiman las condiciones ambientales y las características técnicas y de explotación de los mismos, luego se calcularán cada una de las fuentes de energías, teniendo en cuenta todas las superficies y volúmenes incluidos en el local. Se plantea un balance de energía con las leyes fundamentales de transmisión de calor.

A partir de la carga térmica se obtienen los valores de caudales necesarios en cada unidad terminal para garantizar el confort de temperatura. Estos a su vez constituyen el punto de partida en la modelación hidráulica. Posteriormente, se seleccionan las unidades terminales Fan-Coils, manejadoras, entre otras, a partir de los parámetros entrados como datos, donde tendiendo al tipo de equipo a utilizar se podrán determinar las pérdidas energéticas en función de los caudales de diseño.

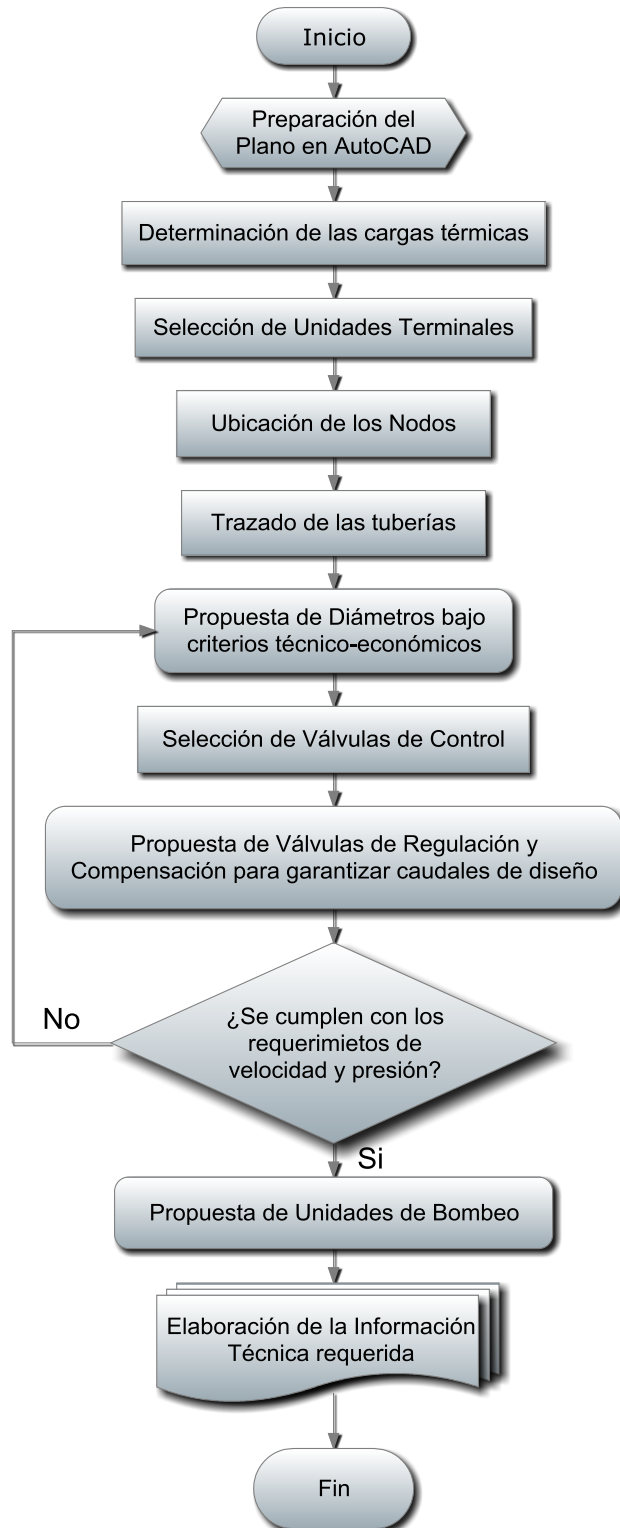


Figura 2.1. Esquema algorítmico general.

La definición de la trayectoria del sistema hidráulico se realiza en función de la topología concebida para la red donde se detalla en cada tramo de tubería: longitud, materiales y

coeficiente de pérdidas energéticas en función de la ecuación de pérdida a utilizar. Teniendo en cuenta los caudales demandados y las velocidades recomendadas, se determinan los diámetros normalizados para cada tramo de tuberías y con ello se determinan las pérdidas energéticas como resultado de la modelación hidráulica.

Ya obtenidos estos datos se realiza el proceso de Toma de Decisiones sobre la utilización de Válvulas de Regulación y Compensación para garantizar los caudales de diseño a partir de un proceso de equilibrado (Petitjean, 1999, 2000, 2003). Este análisis permitirá evaluar criterios técnicos en función de la eficiencia energética y criterios económicos en función de los costos de inversión. Por último se realiza la propuesta del sistema de bombeo, así como las posibles características de operación de la estación y se genera la documentación de proyecto.

Todo proceso de diseño debe estar acompañado por la documentación técnica que requiere la construcción del artículo o producto, en el caso de estas obras, se necesita elaborar toda la información técnica requerida: planos, informes y tablas de datos técnicos, los cuales deben ser procesados y confeccionados con la mayor garantía de su calidad (Baños, 2006; Peña y Martínez, 2007; Ricardo y Monzón, 2007; Hechavarría, 2009), por ser esta información, el único medio con el que cuentan las organizaciones constructoras encargadas de materializar el diseño. Un elemento importante para garantizar la calidad de la información técnica, es la integración de esta etapa a las demás etapas en el *Proceso Inversionista*, (Martínez y Baños, 2007; Hechavarria, 2009).

2.3 Determinación de la carga térmica.

Para la determinación de la carga térmica se hace necesario cumplir con la metodología Carrier, la cual constituye la norma a seguir para determinar cada uno de los parámetros necesarios en el proceso de diseño.

2.3.1 Caracterización de los locales.

Para la caracterización de los locales es necesario determinar una serie de aspectos físicos que influyen en el proceso de cálculo.

- Orientación del edificio, puntos cardinales, estructuras permanentes próximas y superficies refractantes.
- Destino del local.
- Dimensiones del local.
- Altura del techo.
- Columnas y vigas.
- Materiales de construcción.
- Condiciones de circunambiente.
- Ventanas.
- Escaleras y ascensores.
- Ocupantes.
- Alumbrado.
- Equipos eléctricos.
- Otros.

El destino de servicio del local y el número de ocupantes, son el punto de partida para la selección del coeficiente de diversidad, o coeficiente de simultaneidad para diferentes situaciones o lugares. Estos factores varían con el lugar, tamaño y tipo de instalación, aplicándose discrecionalmente según el criterio del proyectista. (Carrier, 1972)

Las cargas exteriores son:

- Ganancia de calor aportado por los rayos de sol que entran por las ventanas. (Kcal/h)
- Ganancia de calor aportado por los rayos de sol que inciden sobre las paredes y techo. (Kcal/h)
- Temperatura del aire exterior. ($^{\circ}\text{C}$)
- Presión del vapor de agua.
- Diferencia de temperatura por la variación de la velocidad del viento que sopla contra las paredes del edificio. ($^{\circ}\text{C}$)
- Volumen de aire exterior necesario para la ventilación del local. (m^3)

Las cargas internas quedarán expresadas en:

- Cantidad de personas.
- Potencia del alumbrado. (Kw)
- Potencia de las máquinas eléctricas. (Kw)
- Diversas Fuentes de calor. (Kw)

El aire suministrado al espacio acondicionado debe ser de baja entalpía y humedad para compensar las adiciones de calor y humedad procedentes de fuentes externas e internas. El calor sensible que entra en el local incluye el calor que entra por conducción a la estructura, el calor que entra por radiación a través de las ventanas y el calor sensible despedido por las fuentes internas, tales como: personas, luces, motores, entre otros. Las fuentes de calor latente son producidas por las personas, los aparatos que emiten vapor de agua, y la humedad que pasa a través de la estructura. Los valores de calor sensible Q_s y calor latente Q_l también incluyen los Q_s y Q_l del aire que se infiltra dentro de la habitación, no incluyen el calor que se añade al sistema por el aire de ventilación. (Stoecker, 1987; Miranda, 1996)

2.3.2 Cálculo de la carga requerida.

2.3.2.1 Ganancia de calor por insolación de las superficies de vidrio

La ganancia de calor a través de un vidrio ordinario depende de su situación geográfica (latitud), del instante considerado (hora, mes) y, finalmente de su orientación. La componente de radiación directa origina ganancia de calor en el espacio acondicionado solo cuando la ventana es atravesada por los rayos solares, mientras que la componente de radiación difusa origina más calor cualquiera que sea la posición de la ventana en relación con el sol. El cristal ordinario absorbe una débil proporción de la radiación solar (5 a 6 %) y refleja o transmite el resto. La magnitud de calor reflejada y/o transmitida depende del ángulo de incidencia del sol. La ganancia de calor por insolación comprenderá el calor transmitido más de un 40% aproximadamente del calor absorbido por el cristal. El proceso de insolación provoca en algunos casos de edificaciones, el almacenamiento de calor que genera variaciones de la carga del local.

La fórmula para determinar la ganancia de calor es la siguiente:

$$q_{ins} = m^2 * G * F_c * F_s \quad (2.1)$$

Donde:

q_{ins} - Carga por insolación. Kcal/h

m^2 - Área de la superficie acristalada.

G - Aportación solar, en funciones de la latitud, la hora solar, la orientación y la época del año, y además comprenden tanto la radiación directa y difusa, como el porcentaje de calor absorbido por el cristal y transmitido al local, ver. tabla 1 del anexo 5.

F_c - Factor de corrección, tiene en cuenta algunos factores colaterales de la ventana como son los defectos de limpieza, el valor del punto de rocío, la altitud y si tiene marco metálico ó ninguno, para hoteles de playa se estima un valor de 1.053.

F_s - Factor de sombra, depende del dispositivo usado, ver tabla 2 del anexo 5.

2.3.2.2 Ganancia por transmisión de calor a través de las estructuras del edificio.

Al existir una diferencia de temperatura entre dos puntos de un mismo cuerpo se establece un flujo de calor desde el punto caliente hacia el punto frío. Las ganancias por las paredes exteriores (muros y techumbres) se calculan a la hora de máximo flujo térmico, y se deben no solo a la diferencia entre la temperatura del aire que baña las caras interiores y exteriores, sino también al calor absorbido por las exteriores. La insolación y la diferencia de temperatura exterior e interior son esencialmente variables en el transcurso del día, por lo que la intensidad del flujo de calor a través de la estructura exterior es inestable. Por lo tanto, se ha recurrido al concepto empírico de "*diferencia de temperatura equivalente* ", definida como la diferencia entre la temperatura de aire interior y exterior capaz que resulta del flujo calorífico total a través de la estructura originada por la radiación solar variable y la temperatura exterior. Esta diferencia de temperatura equivalente debe tener en cuenta los diferentes tipos de construcción y orientación del edificio (latitud) y condiciones de proyecto.

La ganancia de calor se determina por:

$$q_{trans} = K * A * \Delta T_e \quad (2.2)$$

Donde:

q_{trans} - Carga por transmisión de calor por las estructuras. Kcal/h

K - Coeficiente global de transmisión de calor. Este valor depende del material, tipo de construcción, espesor y peso de la estructura, y los revestimientos. Para seleccionar este valor es necesario tener en cuenta la posición de la estructura, si esta al sol o en la sombra, ver tablas 3 y 4 del anexo 6.

A - Es la superficie considerada de la estructura.

T_e - Es la diferencia equivalente de temperatura. Tabla 1 y 2 del anexo 6.

Esta fórmula es válida para el cálculo de la ganancia de calor a través de las paredes, piso y techo. Los tabiques y las terrazas también transmiten calor por conducción hacia el interior del local. Si la habitación está al lado, encima o debajo de otra que este igualmente climatizada, la diferencia de temperatura entre ambas será menor que 5°C, por tanto este calor por conducción no se tendrá en cuenta. Si por el contrario, una habitación adyacente no está climatizada, la diferencia de temperatura podrá exceder los 10°C, para lo cual será significativo la conducción de calor, en este caso se determinará de la manera siguiente:

$$q_{trans} = K * A * (t_0 - t_1) \quad (2.3)$$

Siendo $(t_0 - t_1)$, diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (otro local).

2.3.2.3 Ganancia de calor por infiltración de aire.

Las infiltraciones, y en particular la entrada del vapor de agua que resulta de ellas al local acondicionado, constituyen con frecuencia un origen importante de ganancias o pérdidas de calor. El caudal de infiltración varía según la permeabilidad de las puertas y ventanas, la porosidad de las paredes del edificio, su altura, escaleras, ascensores, dirección y velocidad del

viento, y caudales relativos de aire de ventilación y de extracción. El aire caliente del exterior, que se filtra hacia el interior de un espacio acondicionado, aumenta sus cargas de calor sensible y latente. Al enfriarse, desde la temperatura exterior, hasta la temperatura del local, el aire pierde calor. Si se desea mantener una humedad y temperatura de bulbo seco conveniente, este calor tiene que ser absorbido por el aire frío suministrado al espacio acondicionado. Para determinar el caudal de infiltración es necesario tener en cuenta la velocidad del viento, los tipos de puertas y ventanas, así como sus dimensiones, designación y frecuencia de uso. Las tablas mostradas por Carrier muestran valores aproximados de caudales de infiltración en función de la velocidad del viento, la utilización, la designación y el tamaño de las puertas y ventanas. La ganancia de calor debido a la infiltración se calculará de la manera siguiente:

$$q_{inf} = I * (t_0 - t_1) * F_d \quad (2.4)$$

Donde:

- q_{inf} - Carga por infiltración de aire. (Kcal/h).
- I - Caudal de infiltración, (m³/h), ver tablas 1, 2, 3 y 4 del anexo 8.
- $(t_0 - t_1)$ - Diferencia de temperatura del aire.
- F_d - Factor de diversidad, ver anexo 7.

2.3.2.4 Ganancia de calor por la ocupación.

En el cuerpo humano se producen transformaciones exotérmicas cuya intensidad es variable según el individuo y la actividad desarrollada, la temperatura más favorable a estas transformaciones es de 37°C, con una tolerancia muy pequeña. El cuerpo humano es capaz de mantener esta temperatura dentro de variaciones bastante amplias de la temperatura ambiente, gracias a la facultad de expulsar al exterior una cantidad más o menos importante del calor desarrollado. El cuerpo pierde calor sensible por radiación, convección y conducción. Si la cantidad de calor liberado es insuficiente, se añade a la capacidad de transmisión de calor por enfriamiento evaporativo, al permitir a las glándulas sudoríparas liberar la humedad. El cuerpo humano, también libera humedad en el proceso de respiración. Por tanto, en un local refrigerado,

constituye una carga tanto de calor sensible como de calor latente, la cual se determina de la manera siguiente:

$$q_{ocu} = N * G * F_d \quad (2.5)$$

Donde:

q_{ocu} - Carga térmica aportada por las personas (Kcal/h).

N - Número aproximado de personas en el local.

G - Ganancia de calor en dependencia de la actividad, lugar de aplicación, metabolismo y temperatura ambiente del local. Estos valores están definidos en calor sensible y calor latente, ver tabla 1 del anexo 9.

F_d - Factor de diversidad, anexo 7.

2.3.2.5 Ganancia de calor por alumbrado.

Las luces, los motores y otros aparatos contribuyen a la carga de calentamiento. El alumbrado constituye una fuente de calor sensible. Este calor se emite por radiación convección y conducción. Un porcentaje del calor emitido por radiación es absorbido por los materiales que rodean el local, pudiendo también producirse estratificación del calor emitido por convección. Las lámparas de incandescencia transforman en luz un 10% de la energía absorbida, mientras que el resto se transforma en calor que se disipa por radiación, convección y conducción. Un 80% de la potencia absorbida se disipa por radiación y solo el 10% restante por convección y conducción. Los tubos fluorescentes transforman un 25 % de la energía absorbida en luz, mientras que otro 25 % se disipa por radiación hacia las paredes que rodean el local, el resto por conducción y convección. También debe tenerse en cuenta, el calor emitido por la reactancia o la resistencia limitadora, que representa un 25 % de la energía absorbida por la lámpara. La carga real de refrigeración podrá determinarse de la forma siguiente:

$$q_{alum} = P * 0.86 * F_d * F_a \quad (2.6)$$

Donde:

q_{alum} - Carga térmica aportada por el alumbrado. Kcal/h

P - Potencia eléctrica. (Kw)

0,86 - Factor de ganancia de alumbrado.

F_d - Factor de diversidad, ver tabla 1 del anexo 7.

F_a - Factor de almacenamiento, ver tabla 1 del anexo 10.

2.3.2.6 Ganancia de calor por equipos eléctricos.

La mayor parte de los aparatos emiten calor sensible y latente. Los eléctricos solo emiten calor latente en función de la utilización. La potencia en marcha continua, expresa el calor desarrollado cuando el aparato se mantiene a la temperatura de funcionamiento fuera de las horas de utilización.

La ganancia emitida por una utilización media, corresponde al calor desarrollado por los aparatos a causa de la utilización normal. El calor debido a los equipos eléctricos puede ser estimado de acuerdo con la capacidad indicada en la placa de los mismos. Siendo q_{elec} la carga térmica aportada por los equipos eléctricos.

2.3.2.7 Ganancia de calor por almacenaje

El almacenamiento de calor surge a consecuencia de la poca circulación de aire fresco en algunas partes del local, el uso de cortinas en paredes y ventanas, la posición donde se ubique el aparato acondicionador, y la aplicación del local. La ganancia de calor aportada por el almacenamiento se calcula de la forma siguiente:

$$q_{al} = A * F_{al} * \Delta T_b \quad (2.7)$$

Donde:

q_{al} - Carga térmica producida por el almacenamiento. Kcal/h

A - Área del local (m^2).

F_{al} - Factor de almacenamiento. Ver tabla 1 del anexo 10.

ΔT_b - Variación de temperatura (0C).

2.3.2.8 Carga térmica total del local

La sumatoria de todas las ganancias de calor dará como resultado la carga térmica estimada del local.

$$Q = q_{ins} + q_{trans} + q_{inf} + q_{ocu} + q_{alum} + q_{elec} + q_{al} \quad (2.8)$$

Donde:

Q - Carga térmica total del local (Kcal/h).

q_{ins} - Aportación de carga por insolación (Kcal/h).

q_{trans} - Aportación de carga por transmisión de calor por las estructuras (Kcal/h).

q_{inf} - Aportación de carga por infiltración de aire (Kcal/h).

q_{ocu} - Carga térmica aportada por las personas (Kcal/h).

q_{alum} - Carga térmica aportada por alumbrado (Kcal/h).

q_{elec} - Carga térmica aportada por los equipos eléctricos (Kcal/h).

q_{al} - Carga térmica producida por el almacenamiento (Kcal/h).

2.4 Diseño del sistema hidráulico.

2.4.1 Cálculo de los caudales

Luego de determinar la carga térmica de los locales se puede despejar el valor del caudal aplicando la primera ley de la termodinámica. La ecuación de transmisión de calor a presión constante. (Faires, 2006)

Donde:

$$Q = M \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2.9)$$

Entonces:

$$M = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T \cdot \rho} \quad (2.10)$$

Donde:

M - Flujo volumétrico de agua (m³/h).

C_p - Calor específico del agua (Kcal/kg °C).

Q - Carga térmica calculada del local (Kcal/h).

ΔT - Variación de temperatura (°C).

ρ - Densidad del agua (Kg/m³).

La variación de la temperatura se tendrá en cuenta en las condiciones de confort para estas instalaciones como un máximo de 5 °C. En la práctica, la temperatura puede variar hasta 7 °C en algunas de las instalaciones cuando el sistema no esté trabajado eficientemente. En Cuba la variación de la temperatura externa nunca excede los 12 °C debido a las características climatológicas de la región, es por ello que los requerimientos del diseño se puede reducir el rango de variaciones de temperatura interna del local. En las normas cubanas NC 45-7,1999, se hace referencia a las variaciones de temperatura y condiciones de circunambiente.

2.4.2 Selección de las unidades terminales.

Para la selección de las unidades terminales, el diseñador deberá remitirse a los catálogos y documentación existente sobre los productos de este tipo que se encuentran en el mercado. Estas deberán seleccionarse teniendo en cuenta el cumplimiento de las normas establecidas en el territorio para el diseño de sistemas de climatización, las mismas son: Norma Cubana NC 45-7-1999, y Procedimiento para la Ejecución de un Proyecto de Climatización del Ministerio de la Construcción, código: P 09-05-006 (45-7, 1999). Ambas especifican los tipos de unidades a emplear en los diferentes tipos de edificaciones; así como, sus características constructivas y de instalación. Entre las unidades terminales, mayormente empleadas en sistemas de climatización centralizada por agua fría se encuentran las unidades ventilo-convectoras, conocidas como Fan-Coil, y unidades manejadoras de aire o climatizadores. Ver figura 2.2 a) y b) respectivamente.



Figura 2.2. Unidades ventilo-convectoras.

La selección parte de la carga térmica requerida en el local, así como el volumen de aire frío a inyectar en el mismo para garantizar los parámetros de temperatura y humedad previstos en el diseño. Deberá escogerse siempre una unidad terminal con una carga térmica mayor o igual a la calculada. En los casos de locales voluminosos como: restaurantes, teatros, recepciones u otros, donde el volumen de aire a enfriar es elevado y la carga térmica excede las 5 toneladas de refrigeración, se recomienda el uso de manejadoras de aire, ver figura 2.2.

Existen catálogos emitidos por los diferentes fabricantes de equipos de climatización que muestran las características técnicas de los equipos, así como tablas y gráficos que puedan facilitar la selección por parte del proyectista. Puede citarse el ejemplo de algunas firmas reconocidas de fabricantes tales como: Carrier, Interclisa, y en el territorio nacional, Fríoclima.

2.4.3 Determinación de las pérdidas en las unidades terminales.

La determinación de las pérdidas de carga en función del caudal en cada unidad terminal se realiza a través de ecuaciones, ver figura 2.3, que sustituyen el uso de gráficos brindados por los fabricantes como Interclisa (Escribano, 1997).

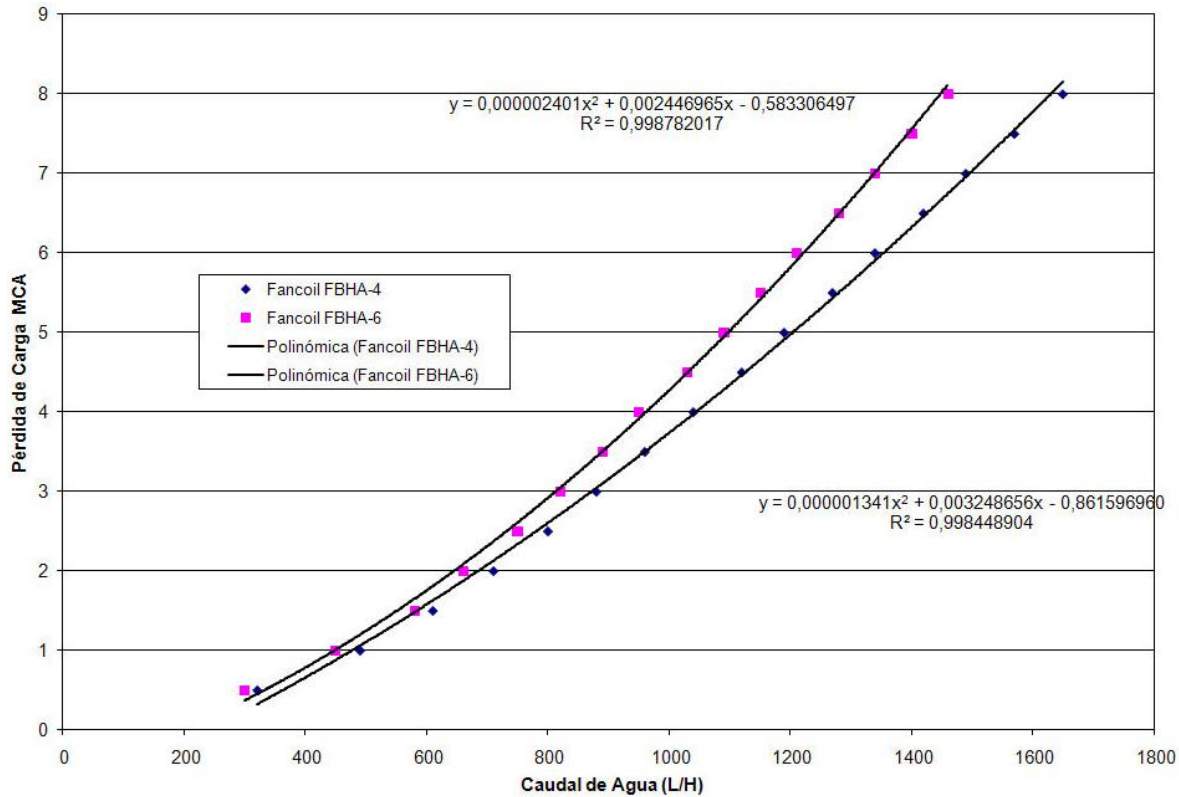


Figura 2.3. Curva Pérdida de Caudal-Caudal de Agua

2.4.4 Definición espacial de la red hidráulica.

La definición espacial de la red hidráulica abarca tanto la definición de las alturas en cada uno de los nodos así como la relación de conexión entre los tramos de tuberías describiendo de este modo la topología de la red.

2.4.4.1 Definición de los nodos.

Al analizar el SSCCAF al que pertenece la tarea de diseño, es necesario conocer: las coordenadas X, Y y Z de cada uno de los nodos. La definición de los nodos está determinada por el comportamiento espacial de la red. En redes para sistemas centralizados en complejos de edificios u hoteles, donde la perspectiva tridimensional es importante, será necesario que el proyectista indique la ubicación de los elementos que componen la red en tres dimensiones, aunque el análisis hidráulico se represente en dos dimensiones para una mejor comprensión.

2.4.4.2 Codificación de los nodos.

En los métodos convencionales, los nodos son identificados de forma regular. Cuando la tarea de diseño es parte de un sistema de mayor envergadura, deben tenerse en cuenta una serie de factores que permitan interrelacionar los puntos de demanda y el comportamiento espacial de la red. Es por ello que tiene especial importancia desarrollar la codificación de los nodos, ver anexos 11 y 12. Esta solución permite identificar, no solo la cota, sino que identifica las unidades terminales correspondientes y permite hacer variaciones de diseño durante todo el proceso. Además facilita el proceso de modelación y simulación hidráulica.

2.4.4.3 Trazado de las tuberías.

Teniendo en cuenta la experiencia obtenida en el trabajo conjunto con empresas que tienen como objeto social la proyección de SSCCAF, se ha considerado que la confección de las trayectorias, debe ser definida por los especialistas al considerar los planos arquitectónicos de la obra como elemento inicial, así como requisitos estéticos y técnicos para la explotación y el mantenimiento; además, se podrán tener en cuenta factores subjetivos que permitan integrar la tarea de diseño al *Sistema de Mayor Envergadura*.

En los SSCCAF, el trazado del sistema de retorno, se realiza junto al sistema de distribución. La selección de las tuberías y los accesorios está en función de los catálogos y manuales emitidos por los diferentes fabricantes, donde se ilustran los parámetros necesarios para calcular las pérdidas energéticas en la modelación hidráulica. En todos los casos el punto de partida es el fluido a trasegar y sus características. Además, debe tenerse en cuenta los costos de cada elemento para poder evaluar el presupuesto de la obra en estrecha coordinación con los inversionistas.

La tendencia en la actualidad es la utilización de tuberías plásticas para todo el tendido de tuberías, y de acero negro para las salas de máquinas, aunque ya algunos inversionistas solicitan la totalidad del uso del PVC, teniendo en cuenta el bajo nivel de pérdidas que le proporciona al sistema y su maniobrabilidad en la instalación, mantenimiento y operación.

En el caso de los accesorios, la tendencia es la misma, aunque existen algunos elementos que no varían con el material de la tubería. Ejemplo de ellos son los diferentes tipos de válvulas a emplear en el sistema, como válvulas de corte, cheques, de purga de aire, de corte de flujo, de globo, ver figura 1 anexo 2, y otras más complejas para el equilibrado hidráulico, las cuales constan con elementos mecánicos de precisión y aditamentos electrónicos para el control y la operación, ver figura 2.4.



Figura 2.4 Dispositivo CSI para lograr el equilibrado de los bucles de control.

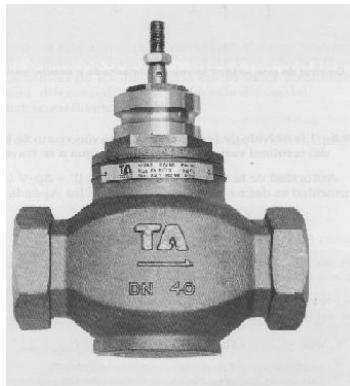
2.4.5 Propuesta de diámetros bajo criterios técnicos económicos.

La determinación de los diámetros en el proceso de diseño de los SSCAF está basada en dos criterios fundamentales. Minimizar los costos de inversión con diámetros que garanticen las velocidades mínimas permisibles o Maximizar la Eficiencia Energética durante la explotación de las instalaciones con el uso de diámetros que garanticen las velocidades máximas permisibles. Los rangos permisibles de velocidades en el proceso de diseño de estos sistemas deben estar entre 1 m/s y 2 m/s (NC.45-7, 1999). En los SSCAF se utiliza el fluido para extraer calor y brindar confort de modo que la cantidad de fluido enviado al sistema es la misma de retorno, esto hace que desde el punto de vista de envío y retorno la red se considere simétrica en longitudes y diámetros en las tuberías, lo que condiciona inicialmente evaluar la red como abierta. Sin embargo, el análisis del diseño debe realizarse con la ayuda de una herramienta CAD que permita modelar el comportamiento hidráulicamente de la red mallada.

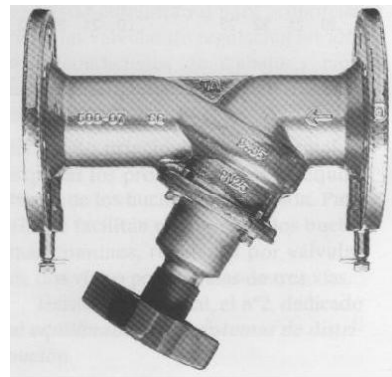
Conociendo los valores de caudal de diseño y el rango de velocidades permisibles se pueden determinar los diámetros para cada tramo de tubería a partir de la ecuación 1.8. Será necesario ajustar el cálculo a los valores normalizados de los diámetros.

2.4.6 Análisis técnico-económico en el uso de válvulas especiales.

Las válvulas especiales, ver figura 2.5, se emplean para garantizar los caudales de diseño donde su uso se ve limitado a los altos precios de estos elementos en el mercado internacional. Sin embargo, no emplear estos elementos conlleva a un alto consumo de energía producto al incremento de caudales en determinadas unidades terminales para garantizar los caudales de diseño en otras.



a) Válvula de control



b) Válvula de equilibrado

Figura 2.5. Válvulas especiales para garantizar el equilibrado de los bucles de control

En la figura 1 del anexo 11 se muestra un SSCCAF compuesto por 9 patinejos (bucles de control que agrupan habitaciones de dos a tres pisos) controlados por válvulas de regulación y compensación. Sin embargo, al no utilizar estas válvulas a la salida de cada unidad terminal (Fain-Coil) como se muestra en la figura 2.6, se hace necesario incrementar el caudal de diseño por patinejos hasta satisfacer la demanda de la habitación crítica, ver figuras y tablas del anexo 12.

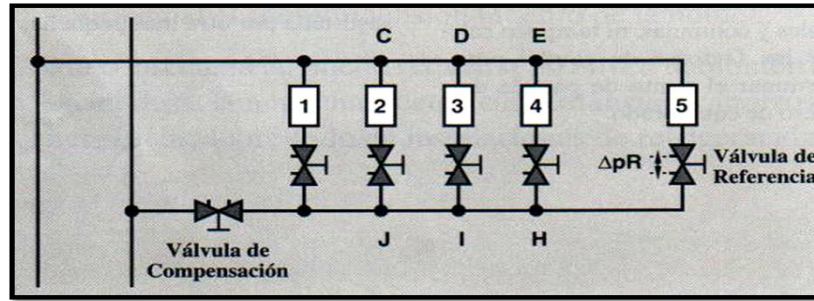


Figura 2.6 Distribución de válvulas para lograr el equilibrio de los bucles de control.

La manera ideal de solucionar el problema sería colocando en la salida de cada Fan-Coil una válvula de regulación y a la salida de cada bucle, una válvula de compensación. Pero esta solución resulta costosa, por lo que se deberá evaluar bajo criterios técnicos-económicos la disminución de la cantidad de válvulas, situándolas principalmente en la salida de los patinejos, secciones y al final de la tubería de retorno. En los casos que lo requiera, se ubicarían en las salidas de pisos y en cada salida de la unidad terminal, como se muestra en la figura 2.7.

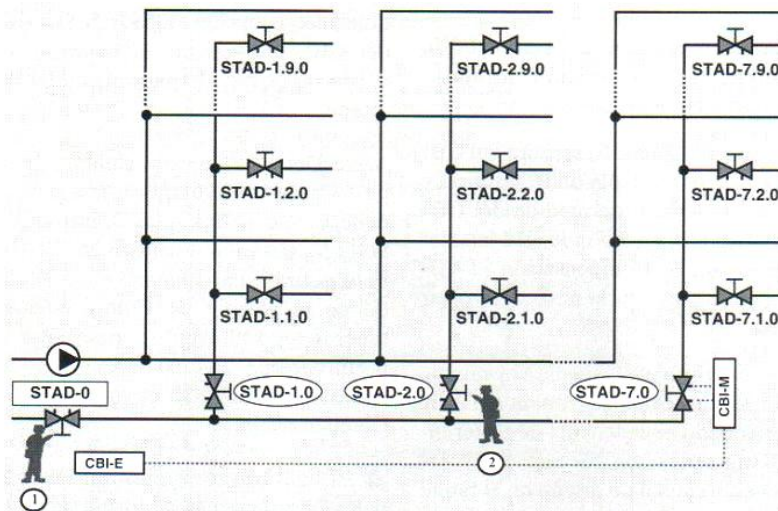


Figura 2.7 Esquema del proceso de equilibrado a partir de válvulas especiales.

2.5 Modelación hidráulica.

Para la modelación hidráulica se cuenta con una herramienta CAD que permite la modelación y simulación hidráulica. A través de la aplicación CAD se puede diseñar la red así como la modelación y simulación de los resultados. Para ello se implementó el método de gradiente como soporte matemático.

2.5.1 Método del gradiente.

El *Método del Gradiente* es un eficiente método de cálculo hidráulico que implementa un modelo para la resolución de sistemas de tuberías a presión, representado por un sistema de ecuaciones lineales expresadas en forma matricial, tiene como principal ventaja que evita el ensamblado de las matrices por lo que disminuye la cantidad de procesos a realizar en comparación con otros métodos. Aspecto muy importante durante los procedimientos de optimización (Hechavarria, 2009).

A continuación se enuncian algunas de las ventajas de la implementación computacional del *Método del Gradiente* aplicado a los sistemas de tuberías a presión:

1. Asegura solución única al no tener problemas de convergencia, debido a que la solución del sistema de ecuaciones a resolver, pasa por obtener la inversa de una matriz simétrica y definida positiva.
2. Permite expresar la topología de la red, las pérdidas de carga y la continuidad de caudales, en términos de ecuaciones matriciales.
3. Emplea un modelo real de redes, al incorporar el concepto de las matrices de conectividad.
4. No es necesario estimar una solución inicial cercana al valor real.
5. Se ingresa una cantidad mínima de datos relativos a los nodos y tramos de la red, y no ecuaciones explícitas.
6. Puede ser aplicado a redes malladas y/o ramificadas. Lo cual se considera ventajoso comparado con otros algoritmos iterativos, que requieren una reformulación de la red a un conjunto de circuitos equivalentes.
7. Permite implementar matrices huecas en la solución de sistemas de ecuaciones simultáneas, las que hacen el cálculo extremadamente rápido y seguro.

Descripción del Método del Gradiente

Sea una red de tuberías con N nodos y NF nodos de altura dada (embalses y depósitos). La relación entre la pérdida de carga para una tubería que va del nodo i al nodo j, y el caudal de paso Q_{ij} , puede escribirse como (Rossman, 2001):

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \quad (2.14)$$

Donde:

H_i – altura piezométrica en el nodo.

h – pérdida de carga.

r – coeficiente de resistencia.

Q – caudal.

n – exponente del caudal.

m – coeficiente de pérdidas menores.

El valor del coeficiente de resistencia depende de la fórmula utilizada para el cálculo de las pérdidas. Para las bombas, la pérdida puede representarse mediante una fórmula potencial del tipo:

$$h_{ij} = -\omega^2 \left(h_0 - r \left(\frac{Q_{ij}}{\omega} \right)^n \right) \quad (2.15)$$

Donde:

h_0 – altura a caudal nulo.

ω – velocidad relativa de giro.

r – coeficiente de la curva de la bomba.

n – coeficiente de la curva de la bomba.

Los términos reconocidos como, coeficiente de la curva de la bomba, r y n , son referenciados por otros autores como: coeficiente de resistencia y exponente del caudal respectivamente. En la práctica, al proporcionar la altura a válvula cerrada h_0 y otros dos puntos de la curva característica de una bomba, se pueden calcular estos valores (Hechavarria, 2009).

$$\sum_{i=1}^n Q_{ij} - D_i = 0 \quad (2.16)$$

El segundo sistema de ecuaciones a cumplir está configurado por la condición de equilibrio para los caudales en todos los nodos:

Donde:

D_i – caudal de demanda en el nodo i .

El cual por convención se toma como positivo cuando entra al nodo. Dados los valores de las alturas en los nodos de altura prefijada, se trata de encontrar una solución para las alturas H_i en los restantes nodos, y para los caudales Q_{ij} de todos los tramos de tuberías.

El método de resolución del Gradiente comienza con una estimación inicial del caudal por cada tubería, sin necesidad de cumplir la ecuación de continuidad. En cada iteración del método, se obtienen las alturas piezométricas en los nodos y se resuelve el sistema de ecuaciones:

$$AH = F \quad (2.17)$$

Donde:

A – matriz Jacobiana ($N \times N$).

H – vector de incógnitas nodales ($N \times 1$).

F – vector de términos independientes ($N \times 1$).

Los elementos de la diagonal principal de la matriz Jacobiana vienen dados por:

$$A_{ii} = \sum_j p_{ij} \quad (2.18)$$

y los elementos no nulos fuera de la diagonal principal, por:

$$A_{ij} = -p_{ij} \quad (2.19)$$

Donde:

p_{ij} – la inversa de la derivada respecto al caudal, de la pérdida de carga en la línea que va del nodo i al j . Su expresión para las tuberías es:

$$p_{ij} = \frac{1}{nr|Q_{ij}|^{n-1} + 2m|Q_{ij}|} \quad (2.20)$$

y para las bombas:

$$p_{ij} = \frac{1}{n\omega^2 r \left(\frac{Q_{ij}}{\omega}\right)^{n-1}} \quad (2.21)$$

Los términos independientes están constituidos por el caudal residual en el nodo no equilibrado, más un factor de corrección dado por:

$$F_i = \left(\sum_j Q_{ij} - D_i \right) + \sum_j y_{ij} + \sum_f p_{if} H_f \quad (2.25)$$

Donde:

$p_{if} H_f$ – sólo para tuberías que conectan el nodo i con un nodo de altura conocida f .

y_{if} – factor de corrección del caudal y_{if} .

La expresión del factor de corrección del caudal y_{if} para las tuberías donde:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{Si } x > 0 \\ -1, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

se define como:

$$y_{ij} = p_{ij} \left(r |Q_{ij}|^n + m |Q_{ij}|^2 \right) \text{sgn}(Q_{ij}) \quad (2.26)$$

para las bombas

$$y_{ij} = -p_{ij} \omega^2 \left(h_0 - r \left(\frac{Q_{ij}}{\omega} \right)^n \right) \quad (2.27)$$

Donde:

Q_{ij} – siempre es positivo.

Una vez calculadas las nuevas alturas, se resuelven las ecuaciones (2.18), los nuevos caudales se obtienen mediante la expresión:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - \left(y_{ij} - p_{ij} (H_i - H_j) \right) \quad (2.28)$$

Si la suma, extendida a todas las líneas, del valor absoluto de la variación relativa del caudal respecto al caudal total en la línea, es mayor que una cierta tolerancia (p. ej. 0,001), las

ecuaciones (2.10) y (2.18) se resuelven de nuevo. Obsérvese que la fórmula de actualización (2.18) conduce al equilibrio de los caudales en los nodos, tras la primera iteración. La descripción del método así como la implementación pueden ser consultadas en (Rossman, 2001; Hechavarria, 2009).

2.6 Propuesta de la unidad de bombeo.

El primer criterio a tenerse en cuenta a la hora de seleccionar las unidades de bombeo, es que siempre debe cumplirse los valores de presión de 3 kPcal mínimos en cada una de la válvulas de equilibrado, los que comprende, desde el inicio de la tubería, hasta el final del retorno.

A partir de los caudales reales demandados en cada sección se podrá determinar el caudal total de demanda de la bomba, cuando existan más de una ramificación para una unidad de bombeo, o el caudal real demandado, si es una sola sección para la unidad de bombeo. Para ello es preciso tener en cuenta el tipo de sistema que se seleccionó en las características iniciales del proyecto, en cuanto a, sistema de caudal variable y sistemas de caudal constante. Siendo el punto de partida para determinar, según los catálogos emitidos por los fabricantes y las posibilidades de la inversión, cuantas bombas se emplearán de velocidades y caudal variables y/o de caudales constante, para la compensación y trabajo eficiente de la unidad de bombeo.

Las particiones en las unidades de bombeo se definirán a partir del tipo de instalación. En los hoteles de playa, la primera partición para las habitaciones de la línea de playa, estas serán las de más ocupación durante todo el año. Luego, particiones para las que rodean la piscina, y otras para las que estarán de frente a otras edificaciones, bosques, entre otros. En el caso de los hospitales, la concepción es diferente. Deberá solo definirse los locales que trabajarán 24 horas al día y cuales en otros horarios, definiendo de este modo las particiones de la estación. Igualmente sucede para centros comerciales, teatros y otros edificios públicos, donde los horarios influirán directamente en la selección. De esta forma, a partir del criterio y la experticia del diseñador se define calidad el diseño de la instalación a proyectar.

2.7 Elaboración de la información técnica requerida.

Para cumplir los procesos sucesivos de aprobación e implementación de un proyecto de SSCCAF, se precisa de la entrega de planos ejecutivos y de la información tabulada de datos técnicos. Con el uso de las herramientas CAD desarrolladas, se generan automáticamente los documentos gráficos e informes que acompañan a proyectos de este tipo. Esto permite liberar al equipo de trabajo de la laboriosa tarea de confeccionar los planos definitivos, para lo cual se debe procesar una gran cantidad de información.

La creación de tablas e informes se realiza bajo la filosofía Windows (Microsoft, 2009), donde se logra la comunicación entre los programas AutoCAD (AutoDesk, 2008a) y Microsoft Excel (Microsoft, 2007). Al ejecutar una macro en Excel programada en Visual Basic (AutoDesk, 2008d), se realiza una búsqueda en los objetos entidades de dibujo de AutoCAD y se obtiene la información necesaria a mostrar en la hoja de cálculo. Esto garantiza la toma directa de la información almacenada en las entidades gráficas de AutoCAD y evita que se cometan errores durante el trasiego de los datos hacia el completamiento de las tablas y la elaboración de informes técnicos (Hechavarría, 2009).

CONCLUSIONES

1. Las investigaciones realizadas sobre el proceso de diseño de sistemas de climatización centralizada por agua fría, demuestran la carencia de un procedimiento que permita integrar las etapas de modelación térmica e hidráulica durante el proceso de toma de decisiones bajo criterios múltiples, así como, la salida gráfica y de textos requerida en los proyectos de este tipo de actividad ingenieril.
2. A través de los métodos convencionales de diseño de estos sistemas, no es posible obtener la solución precisa, ya que no incluye un análisis técnico-económico a través de la modelación y simulación de sistemas, teniendo en cuenta la utilización de válvulas especiales necesarias para garantizar el proceso de equilibrado.
3. El procedimiento planteado favorece la actividad metodológica del diseño de sistemas secundarios de climatización centralizada por agua fría, al concebir este proceso de modo sistémico lo cual constituye la base para la aplicación de métodos de optimización heurísticas, aplicando la metodología de *Análisis y Síntesis de Sistemas de Ingeniería* (Arzola, 2000, Hechavarría, 2009).

RECOMENDACIONES

1. Implementar el procedimiento concebido en una aplicación CAD.
2. Implementar el procedimiento en el sistema empresarial.
3. Desarrollar la aplicación multiobjetivo del proceso de diseño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguirre, A. et al. (1996a): "Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua", Vol. I, eds. U.D. Mecánica de Fluidos - Universidad Politécnica de Valencia - Aguas de Valencia S.A., Valencia, España.
2. Arzola, J. (1982): "El método de Selección de Propuestas y algunas de sus aplicaciones en la Industria Metalúrgica", UDM, ISPJAE, La Habana, Cuba
3. Arzola, J. (2000): "Sistemas de Ingeniería", Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba.
4. Arzola, J. (2002): "Classical and Generalized Selection of Proposal Tasks in the solution of the Augmented Tchebycheff Program", Proceeding de la XI Conferencia Latino - Iberoamericana de Investigación Operativa, Santiago de Chile.
5. Arzola, J. (2003): "La tarea de Selección de Propuestas bajo Criterios Múltiples. Métodos de Solución", Revista de Matemática, Vol. XI, No. 1, Costa Rica.
6. Arzola, J. (2004): "Búsqueda Aleatoria del Extremo de una Función de un Código Variable", Proceeding de la XII Conferencia Latino Ibero Americana de Investigación de Operaciones, La Habana, Cuba.
7. Arzola, J., Simeón, R. y Maceo, A. (2003): "El método de Integración de Variables: una generalización de los Algoritmos Genéticos", Proceeding Intensive Workshop: Optimal Design of Materials and Structures, Paris, Francia.
8. Ashby, W.R. (1956): "Introduction to Cybernetics", Methuen, London.
9. ASHRAE. (2001): "Improving the quality of life", The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer, USA.
10. Ávila, R. (1999): "Generación de Tecnología para Máquinas Herramienta con Control Numérico Computarizado", Tesis Doctoral, Universidad de Holguín, Cuba.
11. Carbonell, T. (2008): "Modelación de la operación de ruedas desecantes razón 3:1 con silica gel en climas tropicales", Tesis Doctoral, Centro Universitario "José Antonio Echeverría", Cuba.
12. Cardona, S. y Clos, D. (2001): "Teoría de Máquinas", ed. Universidad Politécnica de Cataluña, UPC, Barcelona, España, pp 231-220.
13. Casals, B. (1997): "Soldadura por explosión del Ti con el acero k20", Tesis Doctoral, Instituto Superior Metalúrgico, Moa, Cuba.

14. Carrier Air Conditioning Company. (1972): "Manual de Aire Acondicionado", Publicación Mc Graw Hill Company, p. 848, España.
15. Carrier Corporation Syracuse. (1989): "Dealer Products and Systems Catalog", United Technologies, New York, USA
16. Carrier Corporation Syracuse. (1994-1995): "Commercial Products and Systems Catalog", United Technologies, New York, USA.
17. Castillo, H. (2002): "Diseño automatizado de redes de hidráulica interior", Tesis de Maestría en CAD/CAM, Universidad de Holguín, Cuba.
18. Castillo, R. (1998): "Tratamiento hidrometalúrgico de las minas polimetálicas del yacimiento Santa Lucía", Tesis Doctoral, Centro Universitario "José Antonio Echeverría", Cuba.
19. Colectivo de autores. (1983): "Técnica y teoría del aire acondicionado VVII", Dinámica del fluido en climatización Ambiental, Vol. Febrero No 114, pp 19-127, España
20. Colectivo de autores. (1983): "Técnica y teoría del aire acondicionado IX", Climatización y Bienestar, Vol. Agosto No 150, pp 71-79, España.
21. Colectivo de autores. (2001): "Cuaderno de gestión energética mundial", Optimización energéticade los resultados de aire acondicionado, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, pp 112-167, Madrid, España.
22. Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Murcia. (1993): "Nuevo curso de Ingeniería (o de ingenieros no se que dice) del frío", Madrid.
23. Cordovés A., Lastres, A.M. y Arzola, J. (2005): "Diseño óptimo multiobjetivo de conductos de climatización", Proceeding 1er. Seminario Euro Latinoamericano de Sistemas de Ingeniería, SELASI, Trujillo, Perú.
24. Cordovés, A. (1999): "Diseño óptimo multiobjetivo para la fabricación (CAD/CAPP) de redes de conducto de climatización", Tesis Doctoral, Universidad de Holguín, Cuba.
25. Cordovés, A. y Hechavarría, J.R. (1998): "Sistema CAD/CAPP para canales y tuberías", Metalurgia y Electricidad, No. 707, Madrid, España.
26. Daellenback, H.G. (1994): "Systems and Decision Making – A Management Science Approach", John Wiley & Sons, Chichester.
27. Diccionario Técnico. (1988): "Técnica de la refrigeración y de la climatización en español, ingles, alemán, francés y ruso", editora Científico-Técnica, p. 587, La Habana, Cuba.

28. Donald, Kern. (1969): "Procesos de transferencia de calor", Edición Revolucionaria, La Habana, Cuba.
29. Dyson, R.G. and O'Brien, F.A. (1998): "Strategic Development Methods and Models", John Wiley & Sons, Chichester.
30. Escribano, Andrés. (1997): "Ideas varias sobre acondicionamiento de aire", Interclisa/carrier S.A., p. 12, Madrid.
31. Faires, V. (2006): "Termodinámica", Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba.
32. Fiol, A. (2009): "Conciliación de secuencias de trabajo de talleres de la Industria Mecánica", Tesis Doctoral, Centro Universitario "José Antonio Echeverría", Cuba
33. Galeana C, Terina. (1998): "El creyó que el mundo sería mejor y lo hizo", México, Consulta 21 de marzo 2004, <http://www.mx.carrier.es>.
34. Gerhart, M. and Gross J. (1992): "Fundamentos de la Mecánica de los Fluidos", eds. Addison-Wesley Iberoamericana, España.
35. Gerhart, M. and Gross J. (1995): "Fundamentos de la Mecánica de los Fluidos", Hochstein, 2 ed, eds. Addison-Wesley, USA
36. González, I., Arzola, J., Marrero, S. y Legrá, A. (2005a): "Operación bajo criterios múltiples de redes de suministro eléctrico industriales", Proceeding 1er. SELASI, Trujillo, Perú.
37. González, I., Arzola, J., Marrero, S. y Legrá, A. (2006a): "Optimización de la Compensación de la Potencia Reactiva en Redes de Suministro Eléctrico Industriales", Parte I. Revista Energética, v. 2, La Habana, Cuba
38. González, I., Arzola, J., Marrero, S. y Legrá, A. (2006b): "Optimización de la Compensación de la Potencia Reactiva en Redes de Suministro Eléctrico Industriales", Parte I. Revista Energética, v. 3, La Habana, Cuba
39. González, I., Arzola, J., Marrero, S. y Legrá, A. (2007): "Búsqueda Aleatoria del Extremo de una Función de un Código Variable: Un caso particular del método de integración de variables", COMPUMAT 2007, Proceeding del X Congreso Nacional de Matemática y Computación, Holguín, Cuba.
40. González, J. (2007): "Trabajos en la rehabilitación de redes y conductoras", Revista Aguas de La Habana, Cuba, No. 10 enero-junio, pp. 16-17.
41. Haestad (2003): "WaterGEMS for GIS User's Guide", Geospatial Water Distribution Modeling Software, Haestad Methods. <http://www.haestad.com>

42. Hechavarría, J.R. (2000): “Diseño automatizado de redes de acueducto”, Tesis de Maestría en CAD/CAM, Universidad de Holguín, Cuba.
43. Hechavarría, J.R. (2008c): “Estado actual del diseño de redes hidráulicas energética y económicamente racionales”, Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín, Cuba, Registro Literario: 1994-2008, CENDA.
44. Hechavarría, J.R. et al. (2007b): “Diseño óptimo de redes hidráulicas bajo criterios múltiples”, III Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín, Centro de Estudios CAD/CAM - CETER, CUJAE, Ciudad de Holguín, Cuba.
45. Hechavarría, J.R. y Cordovés, A. (2000): “Sistema para el diseño de redes de acueducto”, Revista Respuestas, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.
46. Hechavarría, J.R. y Cordovés, A. (2001): “Concepción de un Sistema CAD para el diseño de redes de Acueducto”, Revista de Ingeniería Hidráulica, ISPJAE, La Habana, Cuba.
47. Hernández Fuentes, M. (1995): “Refrigeración”, Instituto Cubano del Libro, p. 32, La Habana, Cuba.
48. Herrera Martínez, Omar. (2003) “Análisis de la ganancia de calor a través de las ventanas solares”, Instituto S. Pedagógico Julio A. Echevarría, Ciudad de la Habana, Consulta 21 de marzo 2004, <http://www.cubasolar.cu>.
49. Hidráulica. (2010): “Programa para seleccion de bombas y sistemas de tuberías”, MercadoLibre Venezuela s.a. rif: j-30684267-5, consulta 17 de mayo 2004, <http://www.mercadolibrevenezuela.com>.
50. Jaacalec. (1999-2000): “Cálculo de la carga térmica”, España, Consulta 13 de mayo 2004, <http://www.frigarista.com>.
51. Kuttz, M. (1995): “Enciclopedia de la Mecánica Ingeniería y Técnica”, Vol. 6, ed. Océano, España.
52. Lastre, A.M. (2004): “PAINT-PIPE. Sistema para el diseño automatizado de redes de tuberías”, Manual de Usuario, Versión 2.2, CE-CAD/CAM, Universidad de Holguín, Cuba.
53. Luhmann, N. (1984): “Soziale Systeme”, Grundriss einer allgemeinen Theorie, Frankfurt, Suhrkamp.
54. Marakas, G. (2003): “Decision support systems in the 21st century”, Second Edition. Prentice-Hall, Inc.

55. Marks, B. (1982): "Manual del Ingeniero Mecánico", Vol. 1, Ed. Mc Graw- Hill, México.
56. Martínez, J.C. y Baños, E. (2007): "Indicaciones para el Proceso Inversionista: Resolución. 91-2006", Grupo Empresarial de Investigación, Proyecto e Ingeniería, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Centro de Investigaciones de Tecnologías Avanzadas, Camagüey, Cuba.
57. Martínez, O. y Arzola, J. (2008): "Diseño óptimo bajo criterios múltiples de paredes refractarias y aislantes", IV Seminario Latinoamericano de Sistemas de Ingeniería, La Habana, Cuba
58. Matos, E. (2004): "Aproximaciones metodológicas a la construcción de un texto científico", CeeS Manuel F. Gran, Universidad de Oriente, Cuba.
59. Mayoral, M. (2009): "Eficiencia energética y ahorro: mucho por hacer", 12 de junio 2009 06:30:32 GMT, Periódico Nacional, Cuba. <http://www.granma.cubaweb.cu>
60. Miranda, A. y Jutglar, L. (1996): "Montaje e instalaciones", Técnica y teoría de aires acondicionados VIII –Cálculo de la carga térmica, Vol. Mayo No 147, pp 87-97, España.
61. McNaughton, K. (1994): "Bombas, Selección Uso y Mantenimiento", México.
62. Mc Quay. (2001): "Catálogo de selección de unidades enfriadoras", Italia.
63. Mesarovic, M.D., Macko, D. and Takahara, Y. (1970): "Theory of hierarchical, multilevel systems", Academic Press, New York-London.
64. Meyer, J. and Scott, W. (1983): "Organizational Environments: Ritual and Rationality", Beverly Hills, USA.
65. Morejón, G. (2003): "Prototipos virtuales de motores hidráulicos de alto par", Tesis Doctoral, Centro Universitario "José Antonio Echeverría", Cuba.
66. Navas, E. (2007): "Utilización del mineral de Mn en sustitución de ferroaleaciones en hornos de fundición por arco eléctrico", Tesis Doctoral, Universidad de Holguín. Cuba.
67. NC.45-7. (1999): "Bases de diseños para el turismo", Parte 7, Oficina nacional de normalización, p. 95, Ciudad de la Habana.
68. Nekrasov, B. (1990): "Hidráulica", ed. Mir, Moscú, Rusia.
69. Oganessian, L. (1987): "Refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire", Universidad de Camagüey, p. 187, Cuba.
70. PEAD (2006): "Instructivo de PEAD 3ra Versión", Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH).

71. Pérez, D. (1986): "Introducción al estudio de los sistemas de tuberías", ed. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.
72. Pérez, R. (1993): "Dimensionado óptimo de redes de distribución de agua ramificadas considerando los elementos de regulación", Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.
73. Petitjean, R. (1999): "Equilibrado de los bucles de control" Manual 1. M-011 GB 1999.10. Tour & Anderson AB Ljung, Suecia.
74. Petitjean, R. (2000): "Equilibrado de los sistemas de distribución" Manual 2. M-012 ES 2000.03. Tour & Anderson AB Ljung, Suecia.
75. Petitjean, R. (2003): "Equilibrado hidráulico con colondrales de presión diferencial" Manual 4. M-015 ES 2003.05. Tour & Anderson AB Ljung, Suecia. www.tourandersson.com
76. Polaina de los Santos, L. (1997): "Instalaciones de climatización", ISPJAE, Ciudad de la Habana, Cuba.
77. R.C. (1998): "Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico", Republica de Colombia.
78. Ravinovich, E.Z. (1986): "Hidráulica", Editorial Mir, Moscú, Rusia.
79. Robert, W. and McDonald, A. (1995): "Introducción a la Mecánica de Fluidos", Cuarta Edición, ed. McGraw Hill, Interamericana S. A., USA.
80. Rodríguez Calzadilla, E. (2002): "Análisis de los sistemas de climatización en hoteles para el turismo internacional", p 58, Holguín, Cuba.
81. Santana, R. (1996): "Diseño de herramientas de forja en estampas", Tesis Doctoral, Universidad de Holguín, Cuba.
82. Shim, J.P., Warkentin, M., Courtney, J, Power, D, Sharda, R. and Carlsson, C (2002): "Past, present, and future of decision support technology", Decis. Support Syst., 33(2):111–126
83. Simeón, R.E. (1999): "Diseño óptimo multiobjetivo de troqueles de corte y punzado simples y progresivos", Tesis Doctoral, Universidad de Holguín, Cuba.
84. Simeón, R.E. and Arzola, J. (2003): "Aplicación de los Algoritmos Genéticos al Diseño Óptimo Multiobjetivo de Troqueles de Corte y Punzonado Simples y Progresivos", Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, Vol. 22, No. 2, Caracas, Venezuela.

85. Stoecker, K. (1987): “Refrigeración y acondicionamiento de aire”, Edición Revolucionaria, La Habana, Cuba.
86. Streeter, V., Benjamin, E. and Bedford, K. (2000): “Mecánica de Fluidos”, Novena Edición. McGraw-Hill. Best Seller International, S.A., Santafé de Bogotá, Colombia.
<http://www.mhhe.com>
87. Tábor, Ricardo. (2003): “Filtración de aire”, Alemania, Consulta 17 de mayo 2004, <http://www.ingelmc.com>.
88. Trane. (1979): “Manual de aire acondicionado”, Ciencia y Técnica, La Habana, Cuba.
89. Vansem, L. (2003): “Climatizar equipos electrónicos vrs. Climatizar seres humanos”, Alemania, Consulta 17 de mayo 2004, <http://www.ingelmec.com>.
90. Von Bertalanffy, L. (1968): “General System Theory: Foundations, Development, Applications”, New York, George Braziller.
91. Weinberg, G.M. (2002): “An Introduction to General Systems Thinking”, Dorset House Publishing.
92. Wiener, N. (1949): “Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and Machine”, Willey, New York. USA.

ANEXO 1

Tabla 1. Propiedades físicas del agua en unidades SI.			
Temperatura (°C)	Peso específico γ , (N/m ³)	Densidad ρ , (kg/m ³)	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^{-6}$, (m ² /s)
0	9806	999,9	1,792
5	9807	1000,0	1,519
10	9804	999,7	1,308
15	9798	999,1	1,141
20	9789	998,2	1,007
25	9778	997,1	0,897
30	9764	995,7	0,804
35	9749	994,1	0,727
40	9730	992,2	0,661
45	9711	990,2	0,605
50	9690	988,1	0,556
55	9666	985,7	0,513
60	9642	983,2	0,477
65	9616	980,6	0,444
70	9589	977,8	0,415
75	9560	974,9	0,390
80	9530	971,8	0,367
85	9499	968,6	0,347
90	9466	965,3	0,328
95	9433	961,9	0,311
100	9399	958,4	0,296

ANEXO 2

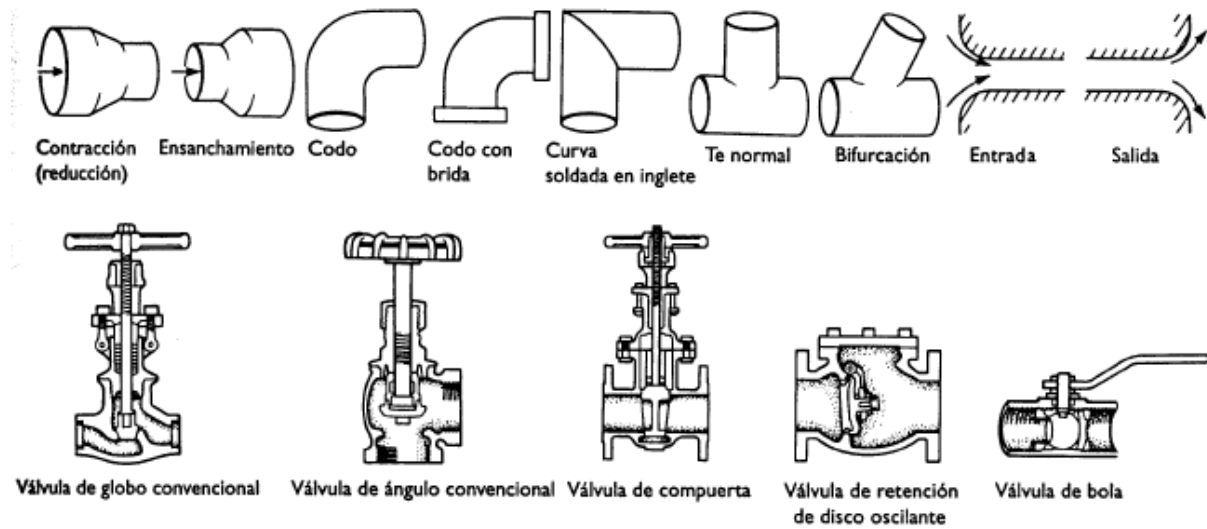


Figura 1. Accesorios típicos que producen pérdidas singulares o locales.

ANEXO 3

Tabla 1. Pérdidas de Carga de los Codos expresados en Longitud Equivalente.











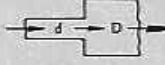





DIÁMETRO EXTERIOR		CODOS						Cambio de dirección	T		
		Radio pequeño 90° *	Radio grande 90° **	Macho Hembra 90° *	Radio pequeño 45° *	Macho Hembra 45° *	Radio pequeño 180° *		PASO DIRECTO		
Acero	Cobre										
17,2	1/2	0,42	0,27	0,70	0,21	0,33	0,70	0,82	0,27	0,36	0,42
21,3	5/8	0,48	0,30	0,76	0,24	0,40	0,76	0,91	0,30	0,43	0,48
26,9	7/8	0,61	0,42	0,98	0,27	0,49	0,98	1,2	0,42	0,58	0,61
33,7	1 1/8	0,79	0,51	1,2	0,39	0,64	1,2	1,5	0,51	0,70	0,79
42,4	1 3/8	1,0	0,70	1,7	0,51	0,91	1,7	2,1	0,70	0,95	1,0
48,3	1 5/8	1,2	0,80	1,9	0,64	1,0	1,9	2,4	0,80	1,1	1,2
60,3	2 1/8	1,5	1,0	2,5	0,79	1,4	2,5	3,0	1,0	1,4	1,5
73	2 5/8	1,8	1,2	3,0	0,98	1,6	3,0	3,6	1,2	1,7	1,8
88,9	3 1/8	2,3	1,5	3,6	1,2	2,0	3,6	4,6	1,5	2,1	2,3
101,6	3 5/8	2,7	1,8	4,6	1,4	2,2	4,6	5,4	1,8	2,4	2,7
114,3	4 1/8	3,0	2,0	5,1	1,6	2,6	5,1	6,4	2,0	2,7	3,0
141,3	5 1/8	4,0	2,5	6,4	2,0	3,3	6,4	7,6	2,5	3,6	4,0
168,3	6 1/8	4,9	3,0	7,6	2,4	4,0	7,6	9,1	3,0	4,2	4,8
219,1	8 1/8	6,1	4,0	-	3,0	-	10,4	10,7	4,0	5,4	6,1
273	-	7,7	4,9	-	4,0	-	12,8	15,2	4,9	7,0	7,6
323,9	-	9,1	5,8	-	4,9	-	15,3	18,3	5,8	7,9	9,1
355,6	-	10,4	7,0	-	5,4	-	16,8	20,7	7,0	9,1	10,4
406,4	-	11,6	7,9	-	6,1	-	18,9	23,8	7,9	10,7	11,6
457,2	-	12,8	8,8	-	7,0	-	21,4	26,0	8,8	12,2	12,8
508	-	15,3	10,4	-	7,9	-	24,7	30,5	10,4	13,4	15,2
609,6	-	18,3	12,2	-	9,1	-	28,8	35,0	12,2	15,2	18,3

Tabla 2. Pérdidas de Carga en los Cambios de Sección expresados en Longitud Equivalente.

DIÁMETRO EXTERIOR		Ensanchamiento brusco d/D *			Contracción brusca d/D *			Aristas vivas *		Orificio entrante *	
		1/4	1/2	3/4	1/4	1/2	3/4	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Acero	Cobre										
17,2	1/2	0,42	0,24	0,09	0,21	0,15	0,09	0,46	0,24	0,45	0,34
21,3	5/8	0,54	0,33	0,12	0,27	0,21	0,12	0,54	0,30	0,54	0,46
26,9	7/8	0,79	0,46	0,15	0,36	0,30	0,15	0,85	0,42	0,85	0,67
33,7	1 1/8	0,98	0,61	0,21	0,49	0,36	0,21	1,1	0,54	1,1	0,82
42,4	1 3/8	1,4	0,91	0,30	0,70	0,54	0,30	1,6	0,79	1,6	1,3
48,3	1 5/8	1,8	1,1	0,36	0,88	0,66	0,36	2,0	1,0	2,0	1,5
60,3	2 1/8	2,4	1,5	0,49	1,2	0,91	0,49	2,7	1,3	2,7	2,0
73	2 5/8	3,0	1,9	0,61	1,5	1,2	0,61	3,6	1,7	3,6	2,6
88,9	3 1/8	4,0	2,4	0,79	2,0	1,5	0,79	4,3	2,2	4,2	3,3
101,6	3 5/8	4,6	2,8	0,91	2,3	1,8	0,91	5,2	2,6	5,2	3,9
114,3	4 1/8	5,2	3,3	1,2	2,7	2,1	1,2	6,1	3,0	6,1	4,9
141,3	5 1/8	7,3	4,6	1,5	3,6	2,7	1,5	8,2	4,2	8,2	6,1
168,3	6 1/8	8,8	6,7	1,8	4,6	3,3	1,8	10,1	5,8	10,1	7,6
219,1	8 1/8	-	7,6	2,6	-	4,6	2,6	14,3	7,3	14,3	10,7
273	-	-	9,8	3,3	-	6,1	3,3	18,3	8,8	18,3	14,0
323,9	-	-	12,5	3,9	-	7,6	3,9	22,2	11,3	22,2	17,4
355,6	-	-	-	4,9	-	-	4,9	26,2	13,7	26,2	20,0
406,4	-	-	-	5,5	-	-	5,5	29,3	15,3	29,2	23,4
457,2	-	-	-	6,1	-	-	6,1	35,0	17,7	35,0	27,4
508	-	-	-	-	-	-	-	43,4	21,4	43,2	32,0
609,6	-	-	-	-	-	-	-	49,8	25,3	49,6	39,6

ANEXO 4

Tabla 1. Dilatación del Agua.
(Por encima de 4 °C)

TEMPERATURA (°C)	AUMENTO DE VOLUMEN (%)	TEMP (°C)	AUMENTO DE VOLUMEN (%)
30	0,5	135	6,6
45	0,9	150	8,3
60	1,5	165	10
75	2,5	180	12
90	3,4	195	14,2
105	3,9	210	15,2
120	5,2		

ANEXO 5

Tabla 1 Máximas aportaciones solares a través del cristal sencillo.
(Kcal/h m²)

LATITUD NORTE	MES	ORIENTACIÓN (LATITUD NORTE)									MES	LATITUD SUR
		N°	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horiz.		
0°	Junio	160	423	398	113	38	113	398	423	612	Diciembre	0°
	Julio y Mayo	130	414	412	141	38	141	412	414	631	Nov. y Enero	
	Agosto y Abril	67	382	442	214	38	214	442	382	664	Oct. y Febrero	
	Sept. y Marzo	27	320	452	320	38	320	452	320	678	Sept. y Marzo	
	Oct. y Febrero	27	214	442	382	92	382	442	214	664	Agosto y Abril	
	Nov. y Enero	27	141	412	414	181	414	412	141	631	Julio y Mayo	
	Diciembre	27	113	398	423	222	423	398	113	612	Junio	
10°	Junio	108	414	420	149	38	149	420	414	659	Diciembre	10°
	Julio y Mayo	81	401	428	179	38	179	428	401	669	Nov. y Enero	
	Agosto y Abril	35	352	442	254	38	254	442	352	678	Oct. y Febrero	
	Sept. y Marzo	27	279	444	344	75	344	444	279	669	Sept. y Marzo	
	Oct. y Febrero	27	179	420	404	198	404	420	179	623	Agosto y Abril	
	Nov. y Enero	24	100	387	436	287	273	387	100	569	Julio y Mayo	
	Diciembre	24	75	371	442	324	442	371	75	547	Junio	
20°	Junio	70	417	433	198	38	198	433	417	678	Diciembre	20°
	Julio y Mayo	51	374	442	230	38	230	442	374	680	Nov. y Enero	
	Agosto y Abril	29	320	447	306	70	306	447	320	669	Oct. y Febrero	
	Sept. y Marzo	27	235	442	379	176	379	442	235	631	Sept. y Marzo	
	Oct. y Febrero	24	141	398	433	301	433	398	141	564	Agosto y Abril	
	Nov. y Enero	21	70	347	444	382	444	347	70	488	Julio y Mayo	
	Diciembre	21	48	328	452	404	452	328	48	461	Junio	
30°	Junio	54	377	436	244	57	244	436	377	678	Diciembre	30°
	Julio y Mayo	43	355	444	271	81	271	444	355	667	Nov. y Enero	
	Agosto y Abril	29	292	447	349	170	349	447	292	637	Oct. y Febrero	
	Sept. y Marzo	24	244	428	412	284	412	428	244	574	Sept. y Marzo	
	Oct. y Febrero	21	105	366	442	393	442	366	105	485	Agosto y Abril	
	Nov. y Enero	19	43	314	439	431	439	314	43	393	Julio y Mayo	
	Diciembre	16	32	284	439	442	439	284	32	355	Junio	
40°	Junio	46	360	439	301	146	301	439	360	642	Diciembre	40°
	Julio y Mayo	40	344	444	339	187	339	444	344	631	Nov. y Enero	
	Agosto y Abril	29	276	439	395	276	396	439	276	580	Oct. y Febrero	
	Sept. y Marzo	24	157	404	439	379	439	404	157	496	Sept. y Marzo	
	Oct. y Febrero	19	94	330	442	439	442	330	94	349	Agosto y Abril	
	Nov. y Enero	13	32	271	423	450	423	271	32	279	Julio y Mayo	
	Diciembre	13	27	233	401	447	401	233	27	230	Junio	
50°	Junio	43	341	444	366	252	366	444	341	596	Diciembre	50°
	Julio y Mayo	38	317	442	387	287	387	442	317	572	Nov. y Enero	
	Agosto y Abril	29	254	428	425	374	425	428	254	501	Oct. y Febrero	
	Sept. y Marzo	21	157	374	442	428	442	374	157	401	Sept. y Marzo	
	Oct. y Febrero	13	78	284	425	452	425	284	78	254	Agosto y Abril	
	Nov. y Enero	10	24	173	344	414	344	173	24	143	Julio y Mayo	
	Diciembre	8	19	127	314	382	314	127	19	108	Junio	
		S	SE	E	NE	N	NO	O	SO	Horiz.		
ORIENTACIÓN (LATITUD SUR)												
Coeficiente de corrección	Marco metálico o ningún marco × 1/0,85 ó 1,17	Limpidez - 15 % máx.		Altitud + 0,7 % por 300 m		Punto de rocío superior a 19,5° C - 5 % por 4° C		Punto de rocío inferior a 19,5° C + 5 % por 14° C		Latitud Sur Dic. o Enero + 7 %		

ANEXO 5

Tabla 2. Factores de sombra.

Coeficientes globales de sombra, con o sin dispositivo de sombra.

[illegible]

ANEXO 6

Tabla 1 Diferencia equivalente de temperatura.

Muros soleados o en sombra.

ORIENTACIÓN	PESO DEL MURO *** (kg/m²)	HORA SOLAR																												
		MAÑANA												TARDE												MAÑANA				
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5					
NE	100	2,8	8,3	12,2	12,8	13,3	10,6	7,8	7,2	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-1,1	-1,7	-2,2	-1,1					
	300	-0,5	-1,1	-1,1	2,8	13,3	12,2	11,1	8,3	5,5	6,1	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	-0,5					
	500	2,2	1,7	2,2	2,2	2,2	5,5	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	6,1	6,7	6,7	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	3,9	3,3	3,3	2,8	2,8					
	700	2,8	2,8	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	5,5	7,8	8,9	7,8	6,7	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9	3,9					
E	100	0,5	9,4	16,7	18,3	20,0	19,4	17,8	11,1	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-1,1	-1,7	-1,7					
	300	-0,5	-0,5	0	11,7	16,7	17,2	17,2	10,6	7,8	7,2	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	2,8	2,2	1,7	0,5	0,5	0					
	500	2,8	2,8	3,3	4,4	7,8	11,1	13,3	13,9	13,3	11,1	10,0	8,9	7,8	7,8	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	3,9	3,9	3,3					
	700	6,1	5,5	5,5	5,0	4,4	5,0	5,5	8,3	10,0	10,6	10,0	9,4	8,9	7,8	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	7,2	7,2	6,7	6,7	6,7					
SE	100	5,5	3,3	7,2	10,6	14,4	15,0	15,6	14,4	13,3	10,6	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1					
	300	0,5	0,5	0	7,2	11,1	13,3	15,6	14,4	13,9	11,7	10,0	8,3	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,8	2,2	1,7	1,7	1,1					
	500	3,9	3,9	3,3	3,3	3,3	6,1	8,9	9,4	10,0	10,6	10,0	9,4	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	4,4	3,9					
	700	5,0	4,4	4,4	4,4	4,4	3,9	3,3	6,1	7,8	8,3	8,9	10,0	8,9	8,3	7,8	7,2	6,7	6,7	6,7	6,1	6,1	5,5	5,5	5,0					
S	100	-0,5	-1,1	-2,2	0,5	2,2	7,8	12,2	15,0	16,7	15,6	14,4	11,1	8,9	6,7	5,5	3,9	3,3	1,7	1,1	0,5	0,5	0	0	-0,5					
	300	-0,5	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	3,9	6,7	11,1	13,3	13,9	14,4	12,8	11,1	8,3	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0,5	0	-0,5					
	500	2,2	2,2	1,1	1,1	1,1	1,7	2,2	4,4	6,7	8,3	8,9	10,0	10,0	8,3	7,8	6,1	5,5	5,0	4,4	4,4	3,9	3,3	3,3	2,8					
	700	3,9	3,3	3,3	2,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	3,9	5,5	7,2	7,8	8,3	8,9	8,9	7,8	6,7	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9					
SO	100	-1,1	-2,2	-2,2	-1,1	0	2,2	3,3	10,6	14,4	18,9	22,2	22,8	23,3	16,7	13,3	6,7	3,3	2,2	1,1	0,5	0,5	0	-0,5	-0,5					
	300	1,1	0,5	0	0	0	0,5	1,1	4,4	6,7	13,3	17,8	19,4	20,0	19,4	18,9	11,1	5,5	3,9	3,3	2,8	2,2	2,2	1,7	1,7					
	500	3,9	2,8	3,3	2,8	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	6,7	7,8	10,6	12,2	12,8	13,3	12,8	12,2	8,3	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9					
	700	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	3,9	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5	6,1	6,7	7,8	8,9	10,6	11,1	7,2	4,4	4,4	4,4	4,4					
O	100	-1,1	-1,7	-2,2	-1,1	0	1,7	3,3	7,8	11,1	17,8	22,2	25,0	26,7	18,9	12,2	7,8	4,4	2,8	1,1	0,5	0	0	-0,5	-0,5					
	300	1,1	0,5	0	0	0	1,1	2,2	3,9	5,5	10,6	14,4	18,9	22,2	22,8	20,0	15,6	6,9	5,5	3,3	2,8	2,2	1,7	1,7	1,1					
	500	3,9	3,9	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,5	6,7	9,4	11,1	13,9	15,6	15,0	14,4	10,6	7,8	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4					
	700	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	4,4	4,4	5,5	5,5	5,5	6,1	6,7	7,8	8,9	11,7	12,2	12,8	12,2	11,1	10,0	8,9	8,3	7,2	7,2					
NO	100	-1,7	-2,2	-2,2	-1,1	0	1,7	3,3	5,5	6,7	10,6	13,3	18,3	22,2	20,6	18,9	10,0	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1					
	300	-1,1	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	0	1,1	3,3	4,4	5,5	6,7	11,7	16,7	17,2	17,8	11,7	6,7	4,4	3,3	2,2	1,7	0,5	0	-0,5					
	500	2,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,8	3,3	5,0	6,7	9,4	11,1	11,7	12,2	7,8	4,4	3,9	3,9	3,3	3,3	2,8					
	700	4,4	3,9	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5	7,8	10,0	10,6	11,1	8,9	7,2	6,1	5,5	5,0					
N (en la sombra)	100	-1,7	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	0,5	2,2	4,4	5,5	6,7	7,8	7,2	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1					
	300	-1,7	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	-0,5	0	1,7	3,3	4,4	5,5	6,1	6,7	6,7	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	-0,5	-1,1					
	500	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0,5	1,1	1,7	2,2	2,8	2,8	2,8	2,8	4,4	3,9	3,3	2,8	2,2	1,7	1,7	1,1	0,5					
	700	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	3,9	3,3	2,2	1,7	1,1	1,1	0,5					
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5					
		MAÑANA												TARDE												MAÑANA				
		HORA SOLAR																												

ANEXO 6



Tabla 2. Diferencia equivalente de temperatura.

Techos soleados o en sombra.

CONDICIONES	PESO DEL TECHO *** (kg/m²)	HORA SOLAR																												
		MAÑANA								TARDE																MAÑANA				
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5					
Soleado	50	-2,2	-3,3	-3,9	-2,8	-0,5	3,9	8,3	13,3	17,8	21,1	23,9	25,6	25,0	22,8	19,4	15,6	12,2	8,9	5,5	3,9	1,7	0,5	-0,5	-1,7					
	100	0	-0,5	-1,1	-0,5	1,1	5,0	8,9	12,8	16,7	20,0	22,8	23,9	23,9	22,2	19,4	16,7	13,9	11,1	8,3	6,7	4,4	3,3	2,2	1,1					
	200	2,2	1,7	1,1	1,7	3,3	5,5	8,9	12,8	15,6	18,3	21,1	22,2	22,8	21,7	19,4	17,8	15,6	13,3	11,1	9,4	7,2	6,1	5,0	3,3					
	300	5,0	4,4	3,3	3,9	4,4	6,1	8,9	12,2	15,0	17,2	19,4	21,1	21,7	21,1	20,0	18,9	17,2	15,6	13,9	12,2	10,0	8,9	7,2	6,1					
	400	7,2	6,7	6,1	6,1	6,7	7,2	8,9	12,2	14,4	15,6	17,8	19,4	20,6	20,6	19,4	18,9	18,9	17,8	16,7	15,0	12,8	11,1	10,0	7,8					
Cubierto de agua	100	-2,8	-1,1	0	1,1	2,2	5,5	8,9	10,6	12,2	11,1	10,0	8,9	7,8	6,7	5,5	3,3	1,1	0,5	0,5	-0,5	-1,1	-1,7	-2,2	-2,8					
	200	-1,7	-1,1	-0,5	-0,5	0	2,8	5,5	7,2	8,3	8,3	8,9	8,3	8,3	7,8	6,7	5,5	3,9	2,8	1,7	0,5	-0,5	-1,1	-1,7	-1,1					
	300	-0,5	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	1,1	2,8	3,9	5,5	6,7	7,8	8,3	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,7	1,1	0,5	0					
Rociado	100	-2,2	-1,1	0	1,1	2,2	4,4	6,7	8,3	10,0	9,4	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	3,3	1,1	0,5	0	-0,5	-1,1	-1,1	-1,7	-1,7					
	200	-1,1	-1,1	-0,5	-0,5	0	1,1	2,8	5,0	7,2	7,8	7,8	7,8	7,8	7,2	6,7	5,0	3,9	2,8	1,7	0,5	0	0	-0,5	-0,5					
	300	-0,5	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	0	1,1	2,8	4,4	5,5	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	-0,5					
(en la sombra)	100	-2,8	-2,8	-2,2	-1,1	0	1,1	3,3	5,0	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	5,5	4,4	2,8	1,1	0,5	0	-0,5	-1,7	-2,2	-2,8	-2,8					
	200	-2,8	-2,8	-2,2	-1,7	-1,1	0	1,1	2,8	4,4	5,5	6,7	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-1,7	-2,2	-2,8					
	300	-1,7	-1,7	-1,1	-1,1	-1,1	-0,5	0	1,1	2,2	3,3	4,4	5,0	5,5	5,5	5,5	5,0	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	-0,5	-1,1					
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5					
		MAÑANA								TARDE																MAÑANA				
		HORA SOLAR																												

ANEXO 6

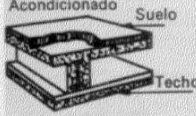
Tabla 3. Coeficiente global de transmisión de calor K.
Muros de albañilería con paramento. (Kcal/h m² °C).

CONSTITUCIÓN DEL PARAMENTO	CONSTITUCIÓN DEL MURO	ESPESOR (cm) y peso (kg/m³)	REVESTIMIENTO INTERIOR									
			Ninguno	Yeso (10)	Enlucido 15 mm		Entramado metálico sobre forro		Yeso 10 mm o entramado de madera sobre forro		Paneles aislantes sin enlucido o con enlucido sobre forro	
					De arena (30)	Ligero (15)	Enlucido de arena 20 mm (35)	Enlucido ligero 20 mm (15)	Enlucido de arena 12 mm (35)	Enlucido ligero 12 mm (10)	Panel de 12 mm (10)	Panel de 25 mm (20)
	Aglomerado (escorias)	10 (97)	2,00	1,81	1,90	1,71	1,37	1,27	1,27	1,22	1,02	0,78
		20 (180)	1,61	1,46	1,56	1,42	1,17	1,07	1,12	1,02	0,88	0,68
		30 (258)	1,51	1,42	1,46	1,37	1,12	1,02	1,07	1,02	0,88	0,63
	(Ligero)	10 (83)	1,71	1,56	1,66	1,51	1,22	1,12	1,17	1,07	0,93	0,73
		20 (156)	1,46	1,37	1,42	1,32	1,12	1,02	1,02	0,98	0,83	0,68
		30 (209)	1,37	1,27	1,32	1,22	1,02	0,98	0,98	0,93	0,83	0,63
	(Arena y grava)	10 (112)	2,39	2,15	2,25	2,00	1,56	1,42	1,42	1,32	1,07	0,83
		20 (209)	2,00	1,81	1,90	1,71	1,37	1,27	1,27	1,22	1,02	0,78
		30 (307)	1,85	1,71	1,81	1,61	1,32	1,22	1,22	1,17	0,98	0,73
	Ladrillo hueco de paramento 10 cm (215)	10 (78)	2,00	1,81	1,90	1,71	1,37	1,27	1,27	1,22	1,02	0,78
		20 (146)	1,51	1,42	1,46	1,37	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68
		30 (195)	1,27	1,22	1,22	1,17	0,98	0,93	0,93	0,88	0,78	0,63
	Adoquín 10 cm (250)	10 (126)	1,71	1,51	1,66	1,51	1,22	1,12	1,17	1,07	0,93	0,73
		15 (195)	1,32	1,22	1,32	1,22	1,02	0,98	0,98	0,93	0,78	0,63
		20 (263)	1,07	1,02	1,07	1,02	0,88	0,83	0,83	0,78	0,68	0,59
	Paneles prefabricados (hormigón o arena) 10 y 15 cm (190) y (290)	10 (229)	2,93	2,59	2,73	2,39	1,76	1,56	1,61	1,51	1,22	0,88
		15 (341)	2,68	2,39	2,54	2,20	1,66	1,51	1,56	1,42	1,17	0,83
		20 (463)	2,49	2,20	2,34	2,05	1,56	1,42	1,46	1,37	1,12	0,83
	Ladrillo ordinario 10 cm (200)	10 (195)	2,39	2,05	2,25	2,00	1,56	1,42	1,42	1,32	1,07	0,78
		20 (390)	1,71	1,51	1,66	1,51	1,22	1,12	1,17	1,07	0,93	0,73
		30 (258)	1,37	1,27	1,32	1,22	1,02	0,98	0,98	0,93	0,83	0,63
	(Ligero)	10 (83)	1,56	1,42	1,46	1,37	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68
		20 (156)	1,32	1,27	1,27	1,22	1,02	0,98	0,98	0,93	0,83	0,63
		30 (209)	1,22	1,17	1,22	1,12	0,98	0,93	0,93	0,88	0,78	0,63
	(Arena y grava)	10 (112)	2,05	1,85	1,95	1,76	1,42	1,27	1,32	1,22	1,02	0,78
		20 (209)	1,76	1,61	1,71	1,56	1,27	1,17	1,17	1,12	0,93	0,73
		30 (307)	1,66	1,56	1,61	1,46	1,22	1,12	1,12	1,07	0,93	0,73
	Ladrillo hueco	10 (78)	1,76	1,61	1,71	1,56	1,27	1,17	1,17	1,12	0,93	0,73
		20 (146)	1,37	1,32	1,37	1,27	1,07	0,98	0,98	0,93	0,83	0,63
		30 (195)	1,17	1,12	1,12	1,07	0,93	0,88	0,88	0,83	0,73	0,59
	Hormigón ligero 1300 kg/m³	10 (126)	1,56	1,42	1,46	1,37	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68
		15 (195)	1,22	1,12	1,22	1,12	0,98	0,88	0,93	0,88	0,73	0,63
		20 (263)	1,02	0,98	0,98	0,93	0,83	0,78	0,78	0,78	0,68	0,54
	(Arena y grava)	10 (112)	2,44	2,20	2,34	2,05	1,56	1,42	1,46	1,37	1,12	0,83
		15 (209)	2,29	2,05	2,15	1,90	1,51	1,37	1,42	1,32	1,07	0,83
		20 (307)	2,10	1,95	2,00	1,81	1,42	1,32	1,37	1,27	1,02	0,78
	Adoquín 20 cm (500)	10 (195)	2,05	1,81	1,95	1,76	1,42	1,27	1,32	1,27	1,02	0,78
		20 (390)	1,56	1,42	1,46	1,37	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68

ANEXO 6

Tabla 4. Coeficiente global de transmisión de calor K.

Techos y pavimento. (Kcal/h m² °C).

<div></div> <div>No acondicionado</div>		ESPESOR (cm) y peso (kg/m²)	CONSTRUCCIÓN DEL TECHO											
			Sin forro						Suspendido o con forros					
			Desnudo o enlucido arena 12 mm	Enlucido ligero 12 mm	Losas acústicas pegadas		Entramado metálico enlucido		Yeso 10 mm o entramado madera enlucido		Panel aislante desnudo o con enlucido de arena 12 mm		Losas acústicas sobre forro o yeso 10 mm	
					Losas de 12 mm	Losas de 20 mm	Enlucido de arena 20 mm	Enlucido ligero 20 mm	Enlucido de arena 12 mm	Enlucido ligero 12 mm	Panel de 12 mm	Panel de 25 mm	Losas de 12 mm	Losas de 20 mm
NATURALEZA DEL SUELO	PAVIMENTO DE HORMIGÓN		(25)	(15)	(5)	(5)	(35)	(15)	(25)	(10)	(10)	(20)	(5)	(5)
Desnudo o linóleo 3 mm o embaldosado	Enlucido de arena	5 (92)	2,34	2,10	1,51	1,27	1,56	1,42	1,46	1,37	1,12	0,83	1,12	0,98
		10 (190)	2,15	1,95	1,46	1,22	1,51	1,37	1,37	1,32	1,07	0,83	1,07	0,98
		15 (288)	2,00	1,81	1,37	1,17	1,42	1,32	1,32	1,27	1,02	0,78	1,07	0,93
		20 (385)	1,90	1,71	1,32	1,12	1,37	1,27	1,27	1,22	1,02	0,78	1,02	0,93
		25 (483)	1,76	1,66	1,27	1,07	1,32	1,22	1,22	1,17	0,98	0,73	0,98	0,88
Parquet sobre superficie de cemento	Enlucido de arena	5 (73)	1,76	1,66	1,27	1,07	1,32	1,22	1,22	1,17	0,98	0,73	0,98	0,88
		10 (136)	1,42	1,27	1,02	0,93	1,07	1,02	1,02	0,98	0,83	0,68	0,83	0,78
		15 (200)	1,12	1,07	0,88	0,83	0,93	0,88	0,88	0,83	0,73	0,63	0,73	0,68
		20 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		25 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
Embaldosado o linóleo 3 mm sobre contrapla- cado 16 mm entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (78)	1,42	1,32	1,07	0,93	1,07	1,02	1,02	0,98	0,83	0,68	0,83	0,78
		10 (141)	1,12	1,07	0,93	0,83	0,93	0,88	0,88	0,83	0,73	0,63	0,73	0,68
		15 (205)	0,98	0,93	0,78	0,73	0,78	0,78	0,78	0,73	0,68	0,54	0,68	0,63
		20 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		25 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
Parquet madera dura sobre tabillas de cubierta entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (92)	1,37	1,27	1,02	0,93	1,02	0,98	0,98	0,93	0,83	0,63	0,83	0,73
		10 (151)	1,07	1,02	0,88	0,78	0,88	0,83	0,83	0,83	0,73	0,59	0,73	0,68
		15 (214)	0,93	0,88	0,78	0,68	0,78	0,73	0,73	0,73	0,63	0,54	0,68	0,63
		20 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		25 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
Embaldosado o linóleo 3 mm sobre contrapla- cado 16 mm entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (97)	1,76	1,61	1,22	1,07	1,27	1,17	1,17	1,12	0,98	0,73	0,98	0,88
		10 (195)	1,61	1,51	1,17	1,02	1,22	1,12	1,12	1,07	0,93	0,73	0,93	0,83
		15 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		20 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
		25 (488)	1,42	1,32	1,07	0,93	1,07	1,02	1,02	0,98	0,83	0,68	0,83	0,78
Embaldosado o linóleo 3 mm sobre contrapla- cado 16 mm entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (92)	1,37	1,27	1,02	0,93	1,02	0,98	0,98	0,93	0,83	0,63	0,83	0,73
		10 (151)	1,07	1,02	0,88	0,78	0,88	0,83	0,83	0,83	0,73	0,59	0,73	0,68
		15 (214)	0,93	0,88	0,78	0,68	0,78	0,73	0,73	0,73	0,63	0,54	0,68	0,63
		20 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		25 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
Parquet madera dura sobre tabillas de cubierta entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (97)	1,76	1,61	1,22	1,07	1,27	1,17	1,17	1,12	0,98	0,73	0,98	0,88
		10 (195)	1,61	1,51	1,17	1,02	1,22	1,12	1,12	1,07	0,93	0,73	0,93	0,83
		15 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		20 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
		25 (488)	1,42	1,32	1,07	0,93	1,07	1,02	1,02	0,98	0,83	0,68	0,83	0,78
Embaldosado o linóleo 3 mm sobre contrapla- cado 16 mm entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (92)	1,37	1,27	1,02	0,93	1,02	0,98	0,98	0,93	0,83	0,63	0,83	0,73
		10 (151)	1,07	1,02	0,88	0,78	0,88	0,83	0,83	0,83	0,73	0,59	0,73	0,68
		15 (214)	0,93	0,88	0,78	0,68	0,78	0,73	0,73	0,73	0,63	0,54	0,68	0,63
		20 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		25 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
Parquet madera dura sobre tabillas de cubierta entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (97)	1,76	1,61	1,22	1,07	1,27	1,17	1,17	1,12	0,98	0,73	0,98	0,88
		10 (195)	1,61	1,51	1,17	1,02	1,22	1,12	1,12	1,07	0,93	0,73	0,93	0,83
		15 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		20 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
		25 (488)	1,42	1,32	1,07	0,93	1,07	1,02	1,02	0,98	0,83	0,68	0,83	0,78
Embaldosado o linóleo 3 mm sobre contrapla- cado 16 mm entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (92)	1,37	1,27	1,02	0,93	1,02	0,98	0,98	0,93	0,83	0,63	0,83	0,73
		10 (151)	1,07	1,02	0,88	0,78	0,88	0,83	0,83	0,83	0,73	0,59	0,73	0,68
		15 (214)	0,93	0,88	0,78	0,68	0,78	0,73	0,73	0,73	0,63	0,54	0,68	0,63
		20 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		25 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
Parquet madera dura sobre tabillas de cubierta entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (97)	1,76	1,61	1,22	1,07	1,27	1,17	1,17	1,12	0,98	0,73	0,98	0,88
		10 (195)	1,61	1,51	1,17	1,02	1,22	1,12	1,12	1,07	0,93	0,73	0,93	0,83
		15 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		20 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
		25 (488)	1,42	1,32	1,07	0,93	1,07	1,02	1,02	0,98	0,83	0,68	0,83	0,78
Embaldosado o linóleo 3 mm sobre contrapla- cado 16 mm entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (92)	1,37	1,27	1,02	0,93	1,02	0,98	0,98	0,93	0,83	0,63	0,83	0,73
		10 (151)	1,07	1,02	0,88	0,78	0,88	0,83	0,83	0,83	0,73	0,59	0,73	0,68
		15 (214)	0,93	0,88	0,78	0,68	0,78	0,73	0,73	0,73	0,63	0,54	0,68	0,63
		20 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		25 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
Parquet madera dura sobre tabillas de cubierta entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (97)	1,76	1,61	1,22	1,07	1,27	1,17	1,17	1,12	0,98	0,73	0,98	0,88
		10 (195)	1,61	1,51	1,17	1,02	1,22	1,12	1,12	1,07	0,93	0,73	0,93	0,83
		15 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		20 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
		25 (488)	1,42	1,32	1,07	0,93	1,07	1,02	1,02	0,98	0,83	0,68	0,83	0,78
Embaldosado o linóleo 3 mm sobre contrapla- cado 16 mm entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (92)	1,37	1,27	1,02	0,93	1,02	0,98	0,98	0,93	0,83	0,63	0,83	0,73
		10 (151)	1,07	1,02	0,88	0,78	0,88	0,83	0,83	0,83	0,73	0,59	0,73	0,68
		15 (214)	0,93	0,88	0,78	0,68	0,78	0,73	0,73	0,73	0,63	0,54	0,68	0,63
		20 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		25 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
Parquet madera dura sobre tabillas de cubierta entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (97)	1,76	1,61	1,22	1,07	1,27	1,17	1,17	1,12	0,98	0,73	0,98	0,88
		10 (195)	1,61	1,51	1,17	1,02	1,22	1,12	1,12	1,07	0,93	0,73	0,93	0,83
		15 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		20 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
		25 (488)	1,42	1,32	1,07	0,93	1,07	1,02	1,02	0,98	0,83	0,68	0,83	0,78
Embaldosado o linóleo 3 mm sobre contrapla- cado 16 mm entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (92)	1,37	1,27	1,02	0,93	1,02	0,98	0,98	0,93	0,83	0,63	0,83	0,73
		10 (151)	1,07	1,02	0,88	0,78	0,88	0,83	0,83	0,83	0,73	0,59	0,73	0,68
		15 (214)	0,93	0,88	0,78	0,68	0,78	0,73	0,73	0,73	0,63	0,54	0,68	0,63
		20 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		25 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
Parquet madera dura sobre tabillas de cubierta entre vigas	Enlucido ligero (1300 kg/m³)	5 (97)	1,76	1,61	1,22	1,07	1,27	1,17	1,17	1,12	0,98	0,73	0,98	0,88
		10 (195)	1,61	1,51	1,17	1,02	1,22	1,12	1,12	1,07	0,93	0,73	0,93	0,83
		15 (292)	1,56	1,42	1,12	1,02	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,73	0,88	0,83
		20 (390)	1,46	1,37	1,12	0,98	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	0,88	0,78
		25 (488)	1,42	1,32	1,07	0,93	1,07	1,02	1,02	0,98	0,83	0,68	0,83	0,78
Embaldosado o linóleo 3 mm sobre contrapla- cado 16 mm entre vigas	Enlucido ligero (130													

ANEXO 7

Tabla 1. Factores de diversidad o coeficiente de simultaneidad para edificios grandes.

Aplicable a la infiltración y a la capacidad de refrigeración.

TIPO DE APLICACIÓN	FACTOR DE DIVERSIDAD	
	Ocupantes	Luces
Oficinas	0,75 a 0,90	0,70 a 0,85
Apartamento, Hotel	0,40 a 0,60	0,30 a 0,50
Grandes almacenes	0,80 a 0,90	0,90 a 1,0
Industrial *	0,85 a 0,95	0,80 a 0,90

ANEXO 8

Tabla 1. Infiltraciones por ventanas. (m³/h).

Ventanas a batientes. Velocidad promedio, 12 km/h.

DESIGNACIÓN	m ³ /h POR m ² DE ABERTURA									
	Porcentaje de la superficie que puede ser abierta									
	0 %	25 %	33 %	40 %	45 %	50 %	60 %	66 %	75 %	100 %
Ventana tipo A	6,0	13,2	-	18,0	-	-	-	26,5	-	47,4
Ventana tipo B	-	7,1	-	-	-	10,0	13,5	-	-	-
Ventana tipo C	-	-	5,1	-	-	9,0	-	-	-	11,5
Ventana tipo D	-	-	-	-	4,2	-	-	5,9	7,1	-
Ventana tipo E	5,0	10,6	-	15,0	-	-	-	22,0	-	40,0

Tipos de ventanas batientes.

Vista desde afuera.

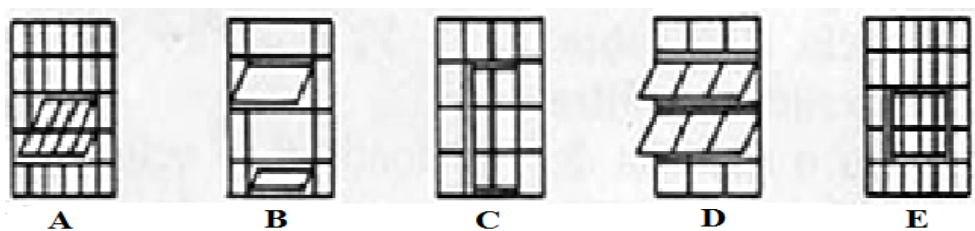


Tabla 2. Infiltraciones por ventanas (m³/h).

Ventanas a guillotina. Velocidad promedio, 12 km/h.

DESIGNACIÓN	m ³ /h POR m ² DE ABERTURA					
	Pequeña 75 × 180 cm			Grande 140 × 245 cm		
	Sin burlete de estanqueidad	Con burlete de estanqueidad	Doble ventana	Sin burlete de estanqueidad	Con burlete de estanqueidad	Doble ventana
Marco madera	7,8	4,8	4,0	5,0	3,1	2,6
Marco madera mal ajustado	22,0	6,8	11,0	14,0	4,4	7,0
Marco metálico	14,6	6,4	7,3	9,3	4,0	4,6

ANEXO 8

Tabla 3. Infiltraciones por puertas (m³/h).

Puertas en una fachada o en dos fachadas adyacentes.

Velocidad promedio del aire, 12 km/h.

DESIGNACIÓN	m ³ /h por m ² de superficie ****		m ³ /h	
	No utilizada	Utilización media	Constantemente abierta	
			Sin vestíbulo	Con vestíbulo
Puerta giratoria - funcionamiento normal	14,5	95	-	-
paneles abiertos	-	-	2040	1530
Puerta de cristal - Rendija 5 mm	82,0	183	1190	850
Puerta de madera (2,1 × 0,9 m)	18,0	119	1190	850
Pequeña puerta de fábrica	14,0	119	-	-
Puerta de garage o de carga	36,5	82	-	-
Rampa de garage	36,5	124	-	-

Tabla 4 Infiltraciones por puertas (m³/h)

Puertas por aplicación.

Velocidad promedio del aire, 12 km/h.

APLICACIÓN	m ³ /h POR OCUPANTE Y POR PUERTA		
	Puerta giratoria de 180 cm	Puerta con un batiente	
		Sin vestíbulo	Con vestíbulo
Banco	11,0	13,6	10,2
Barbería	6,8	8,5	6,5
Confitería	9,3	11,9	9,0
Tienda de tabaco o estanco	34,0	51,0	38,2
Tienda « precio único »	11,0	13,6	10,2
Tienda de confección (mujeres)	3,4	4,2	3,2
Farmacia	9,3	11,9	9,0
Sala de hospital		5,9	4,4
Salón de té	6,8	8,5	6,5
Tienda de confección (hombres)	4,6	6,3	4,8
Restaurante	3,4	4,2	3,2
Zapatería	4,6	5,9	4,4

ANEXO 9

Tabla 1. Ganancias debidas a los ocupantes.

(Kcal /h)

GRADO DE ACTIVIDAD	TIPO DE APLICACIÓN	Metabo- lismo hombre adulto (kcal/h)	Metabo- lismo medio * (kcal/h)	TEMPERATURA SECA DEL LÒCAL (°C)									
				28		27		26		24		21	
				kcal/h		kcal/h		kcal/h		kcal/h		kcal/h	
				Sensibles	Latentes	Sensibles	Latentes	Sensibles	Latentes	Sensibles	Latentes	Sensibles	Latentes
Sentados, en reposo	Teatro, escuela primaria	98	88	44	44	49	39	53	35	58	30	65	23
Sentados, trabajo muy ligero	Escuela secundaria	113	100	45	55	48	52	54	46	60	40	68	32
Empleado de oficina	Oficina, hotel, apartamento, escuela superior	120	113	45	68	50	63	54	59	61	52	71	42
De pie, marcha lenta	Almacenes, tienda	139											
Sentado, de pie	Farmacia	139	126	45	81	50	76	55	71	64	62	73	53
De pie, marcha lenta	Banco	139											
Sentado	Restaurante **	126	139	48	91	55	84	61	78	71	68	81	58
Trabajo ligero en el banco de taller	Fábrica, trabajo ligero	202	189	48	141	55	134	62	127	74	115	92	97
Baile o danza	Sala de baile	227	214	55	159	62	152	69	145	82	132	101	113
Marcha, 5 km/h	Fábrica, trabajo bastante penoso	252	252	58	184	76	176	83	169	96	156	116	136
Trabajo penoso	Pista de bowling *** Fábrica	378	365	113	252	117	246	122	240	132	238	152	213

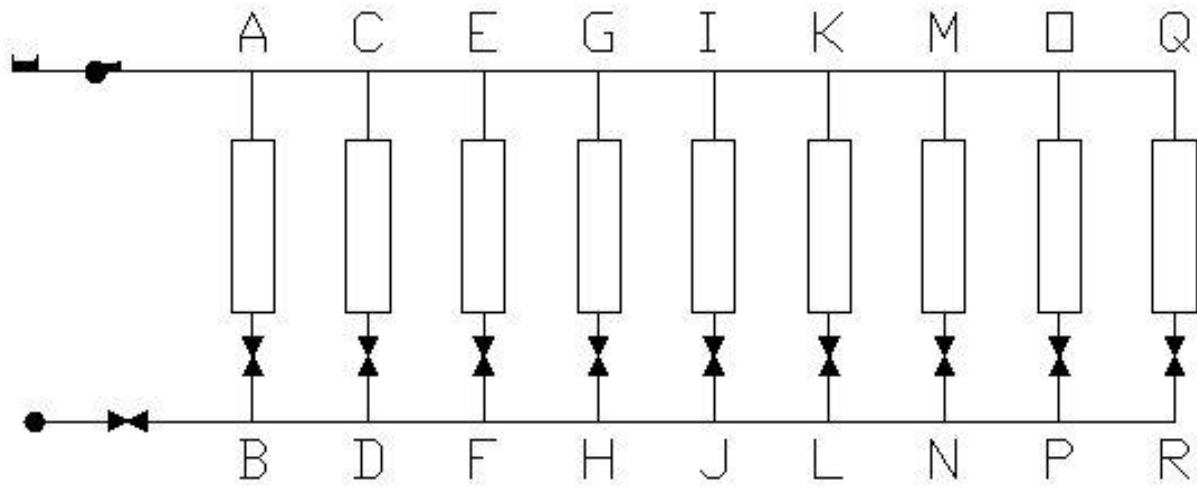
ANEXO 10

Tabla2.13 Factores de almacenamiento de carga térmica.

ORIENTACIÓN (Latitud Norte)	PESO(***) (kgporm ² de superf de suelo)	HORA SOLAR																								ORIENTACIÓN (Latitud Sur)					
		MAÑANA												TARDE													MAÑANA				
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5						
NE	750 y más	0,47	0,58	0,54	0,42	0,27	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,14	0,12	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	SE					
	500	0,48	0,60	0,57	0,46	0,30	0,24	0,20	0,19	0,17	0,16	0,15	0,13	0,11	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02						
	150	0,55	0,76	0,73	0,58	0,36	0,24	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0						
E	750 y más	0,39	0,56	0,62	0,59	0,49	0,33	0,23	0,21	0,20	0,18	0,17	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	E					
	500	0,40	0,58	0,65	0,63	0,52	0,35	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02						
	150	0,46	0,70	0,80	0,79	0,64	0,42	0,25	0,19	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0						
SE	750 y más	0,04	0,28	0,47	0,59	0,64	0,62	0,53	0,41	0,27	0,24	0,21	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	NE					
	500	0,03	0,28	0,47	0,61	0,67	0,65	0,57	0,44	0,29	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03						
	150	0	0,30	0,57	0,75	0,84	0,81	0,69	0,50	0,30	0,20	0,17	0,13	0,09	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0	0	0	0	0	0						
S	750 y más	0,06	0,06	0,23	0,38	0,51	0,60	0,66	0,67	0,64	0,59	0,42	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	N					
	500	0,04	0,04	0,22	0,38	0,52	0,63	0,70	0,71	0,69	0,59	0,45	0,26	0,22	0,18	0,16	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05						
	150	0,10	0,21	0,43	0,63	0,77	0,86	0,88	0,82	0,56	0,50	0,24	0,16	0,11	0,08	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0	0	0	0						
SO	750 y más	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,24	0,39	0,53	0,63	0,66	0,61	0,47	0,23	0,19	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	NO					
	500	0,07	0,08	0,08	0,08	0,10	0,24	0,40	0,55	0,66	0,70	0,64	0,50	0,26	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05						
	150	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,23	0,47	0,67	0,81	0,86	0,79	0,60	0,26	0,17	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0	0						
O	750 y más	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,18	0,36	0,52	0,63	0,65	0,55	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	O					
	500	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,18	0,36	0,54	0,66	0,68	0,60	0,25	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05						
	150	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,19	0,42	0,65	0,81	0,85	0,74	0,30	0,19	0,13	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0						
NO	750 y más	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,16	0,33	0,49	0,61	0,60	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	SO					
	500	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,16	0,34	0,52	0,65	0,64	0,23	0,18	0,15	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05						
	150	0,03	0,05	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,17	0,39	0,63	0,80	0,79	0,28	0,18	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0						
N y sombra	750 y más	0,08	0,37	0,67	0,71	0,74	0,76	0,79	0,81	0,83	0,84	0,86	0,87	0,88	0,29	0,26	0,23	0,20	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	S y sombra					
	500	0,06	0,31	0,67	0,72	0,76	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,88	0,90	0,91	0,30	0,26	0,22	0,19	0,16	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08						
	150	0	0,25	0,74	0,83	0,88	0,91	0,94	0,96	0,96	0,98	0,98	0,99	0,99	0,26	0,17	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01						

ANEXO 11

Figura 1. Esquema general de un sistema de 9 patinejos.



ANEXO 12

Tabla 1. Resultados de la modelación térmico-hidráulica del patinejo 1						
Habitación	Código	Carga Térmica (BTU/h)	Carga Térmica (kW)	Caudal Diseño (l/s)	Caudal Confort (l/s)	ΔQ (l/s)
59	A32B32	10032,72	2,940	0,18	0,18	0,00
58	A33B33	8364,40	2,451	0,15	0,15	0,00
41	A22B22	6754,95	1,979	0,12	0,17	0,05
40	A23B23	5135,05	1,505	0,09	0,15	0,06
19	A12B12	6782,04	1,987	0,12	0,16	0,04
18	A13B13	5149,83	1,509	0,09	0,14	0,05
Total		42219,00	12,371	0,74	0,95	0,21

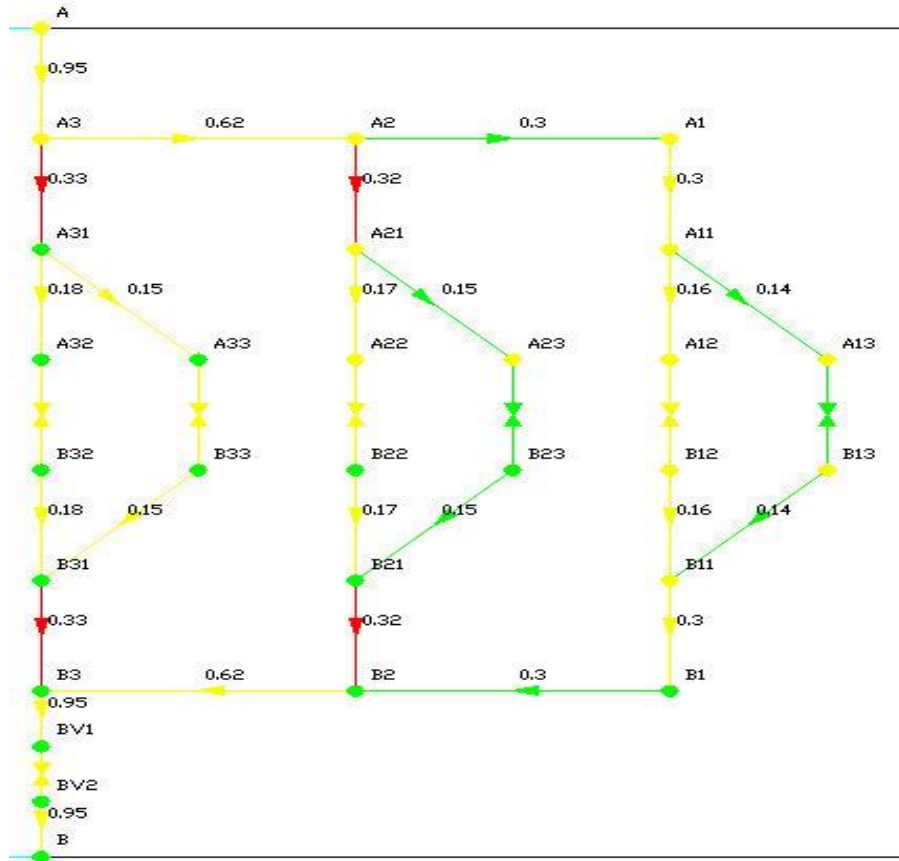


Figura 1. Modelación hidráulica del patinejo 1

ANEXO 12

Tabla 2. Resultados de la modelación térmico-hidráulica del patinejo 2						
Habitación	Código	Carga Térmica (BTU/h)	Carga Térmica (kW)	Caudal Diseño (l/s)	Caudal Confort (l/s)	ΔQ (l/s)
57	C32D32	10325,61	3,026	0,18	0,20	0,02
56	C33D33	10325,61	3,026	0,18	0,18	0,00
39	C22D22	4514,04	1,323	0,08	0,19	0,11
38	C23D23	4514,04	1,323	0,08	0,17	0,09
17	C12D12	4581,09	1,342	0,08	0,18	0,10
16	C13D13	4581,09	1,342	0,08	0,16	0,08
Total		38841,48	11,381	0,68	1,08	0,40

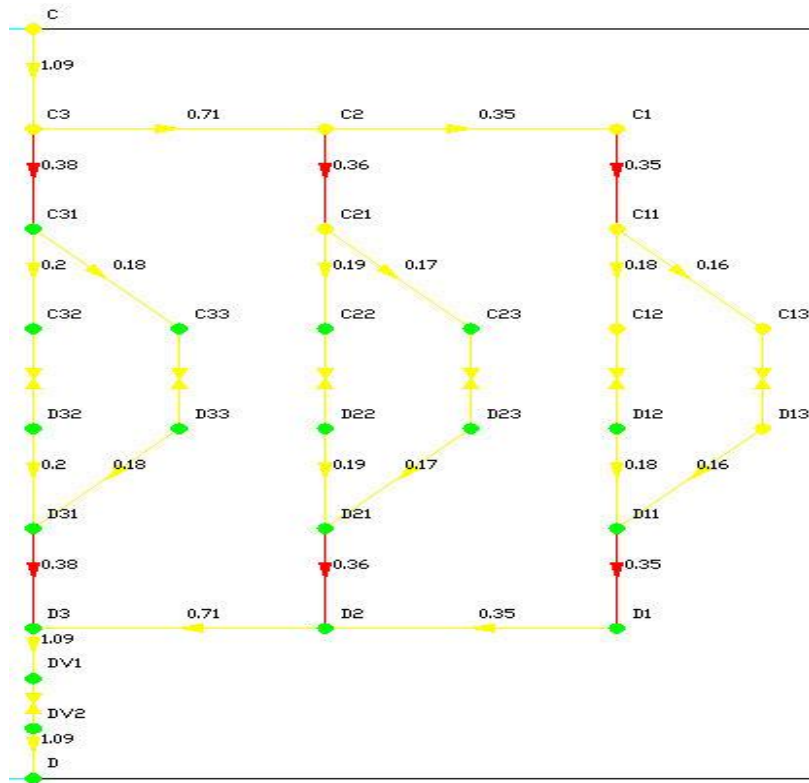


Figura 2. Modelación hidráulica del patinejo 2

ANEXO 12

Tabla 3. Resultados de la modelación térmico-hidráulica del patinejo 3						
Habitación	Código	Carga Térmica (BTU/h)	Carga Térmica (kW)	Caudal Diseño (l/s)	Caudal Confort (l/s)	ΔQ (l/s)
55	E32F32	8364,40	2,451	0,15	0,17	0,02
54	E33F33	8364,40	2,451	0,15	0,15	0,00
37	E22F22	5135,05	1,505	0,09	0,16	0,07
36	E23F23	5135,05	1,505	0,09	0,14	0,05
15	E11F11	5149,83	1,509	0,09	0,19	0,10
Total		32148,74	9,420	0,56	0,81	0,25

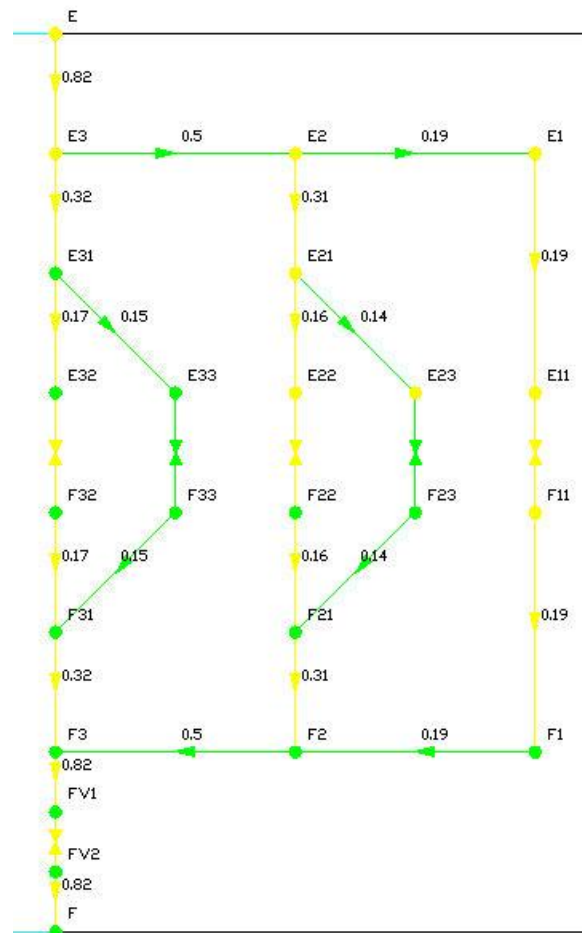


Figura 3. Modelación hidráulica del patinejo 3

ANEXO 12

Tabla 4. Resultados de la modelación térmico-hidráulica del patinejo 4						
Habitación	Código	Carga Térmica (BTU/h)	Carga Térmica (kW)	Caudal Diseño (l/s)	Caudal Confort (l/s)	ΔQ (l/s)
53	G32H32	10325,61	3,026	0,18	0,84	0,66
52	G33H33	12298,71	3,604	0,21	0,71	0,50
35	G22H22	5847,64	1,713	0,10	0,57	0,47
34	G23H23	5149,83	1,509	0,09	0,49	0,40
33	G24H24	12326,61	3,612	0,22	0,26	0,04
32	G25H25	12642,87	3,705	0,22	0,23	0,01
14	G12H12	5942,55	1,741	0,10	0,54	0,44
13	G13H13	4581,09	1,342	0,08	0,46	0,38
12	G14H14	7011,89	2,055	0,12	0,25	0,13
11	G15H15	7292,20	2,137	0,13	0,21	0,08
Total		83419,02	24,444	1,46	4,56	3,10

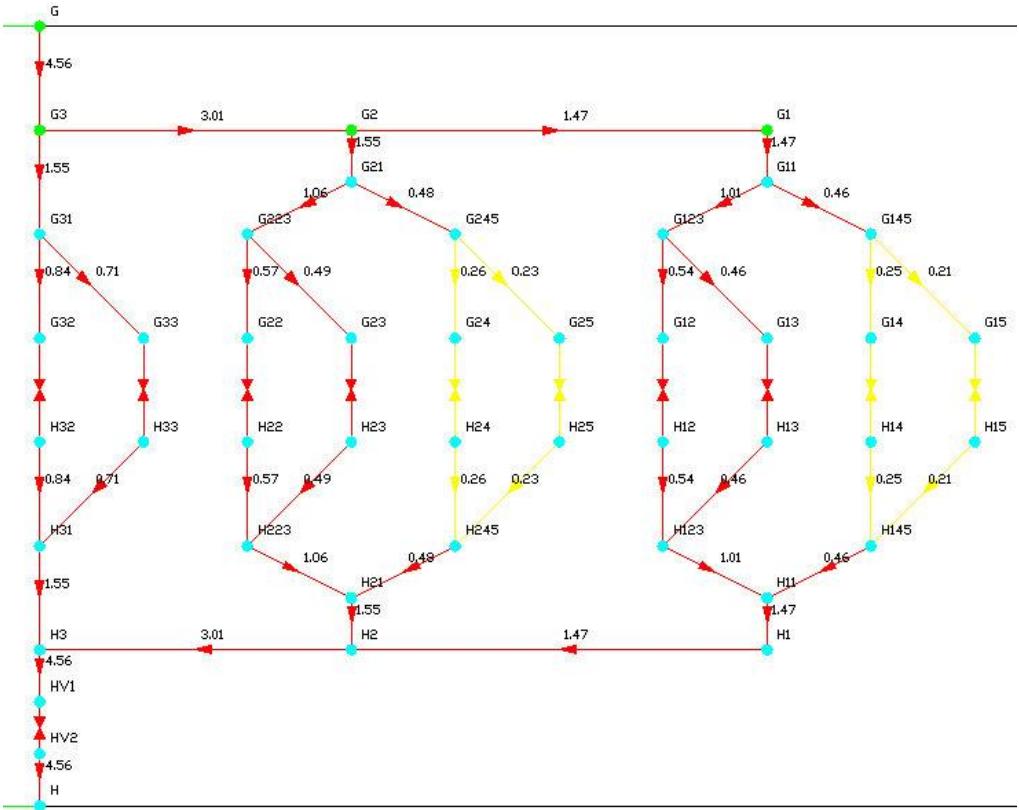


Figura 4. Modelación hidráulica del patinejo 4

ANEXO 12

Tabla 5. Resultados de la modelación térmico-hidráulica del patinejo 5						
Habitación	Código	Carga Térmica (BTU/h)	Carga Térmica (kW)	Caudal Diseño (l/s)	Caudal Confort (l/s)	ΔQ (l/s)
51	I32J32	10513,21	3,081	0,18	0,72	0,54
50	I33J33	8576,74	2,513	0,15	0,61	0,46
31	I22J22	11235,36	3,292	0,20	0,22	0,02
30	I23J23	11420,43	3,346	0,20	0,20	0,00
29	I24J24	5676,80	1,663	0,10	0,49	0,39
28	I25J25	5500,14	1,612	0,10	0,42	0,32
10	I12J12	6172,68	1,809	0,11	0,21	0,10
9	I13J13	6977,97	2,045	0,12	0,19	0,07
8	I14J14	4625,87	1,355	0,08	0,47	0,39
7	I15J15	5731,20	1,679	0,10	0,40	0,30
Total		76430,40	22,396	1,34	3,93	2,59

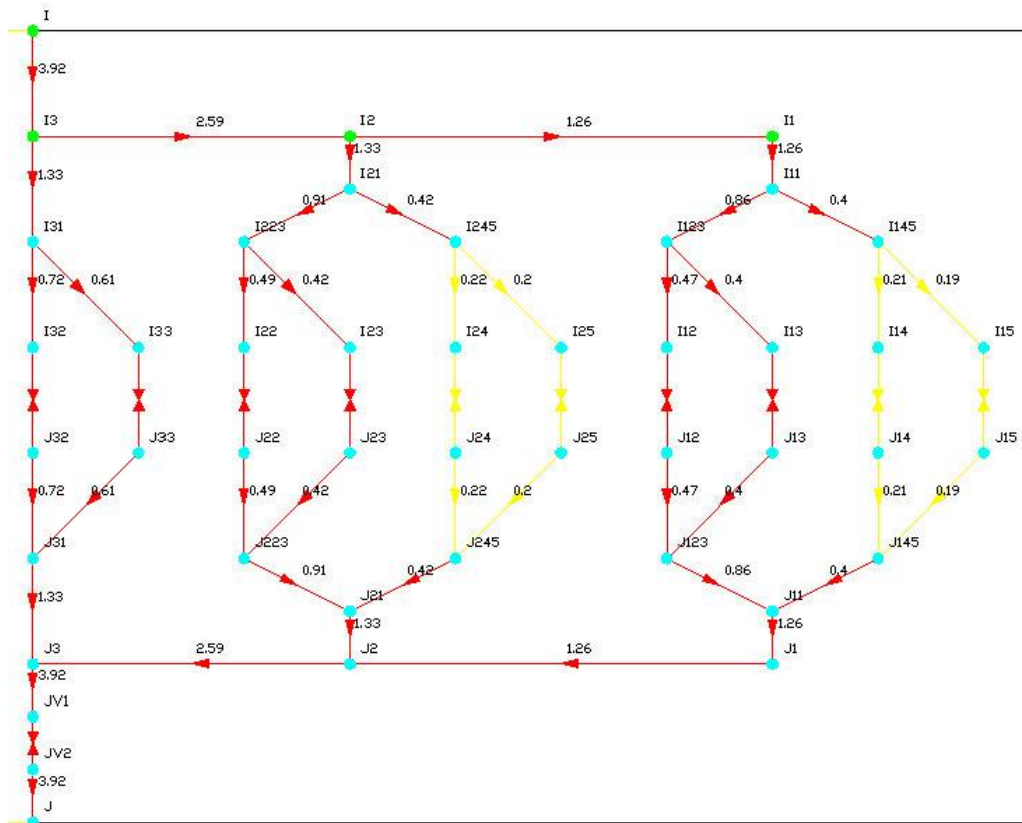


Figura 5. Modelación hidráulica del patinejo 5

ANEXO 12

Tabla 6. Resultados de la modelación térmico-hidráulica del patinejo 6						
Habitación	Código	Carga Térmica (BTU/h)	Carga Térmica (kW)	Caudal Diseño (l/s)	Caudal Confort (l/s)	ΔQ (l/s)
49	K32L32	8576,74	2,513	0,15	0,17	0,02
48	K33L33	8576,74	2,513	0,15	0,15	0,00
27	K22L22	4547,08	1,332	0,08	0,17	0,09
26	K23L23	4547,08	1,332	0,08	0,15	0,07
Total		26247,63	7,691	0,46	0,64	0,18

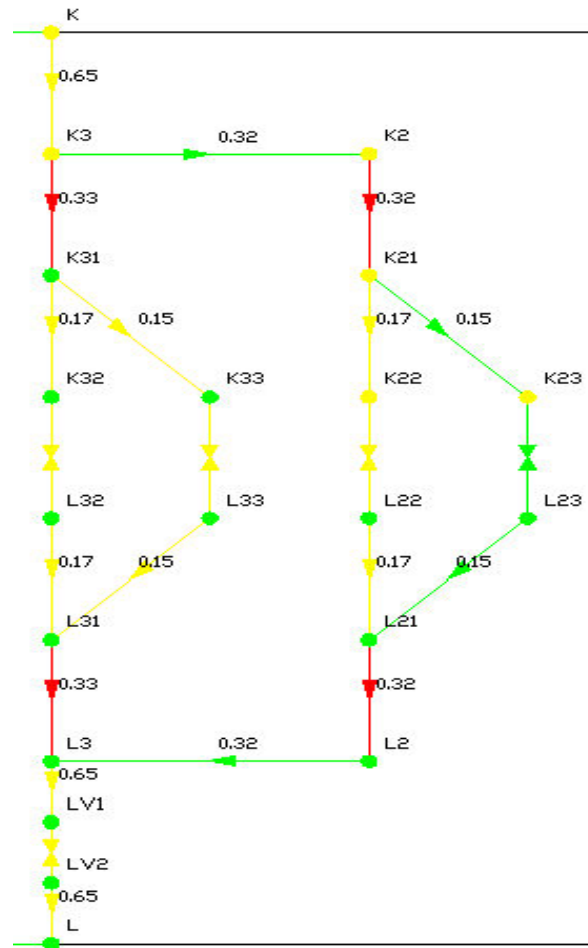


Figura 6. Modelación hidráulica del patinejo 6

ANEXO 12

Tabla 7. Resultados de la modelación térmico-hidráulica del patinejo 7						
Habitación	Código	Carga Térmica (BTU/h)	Carga Térmica (kW)	Caudal Diseño (l/s)	Caudal Confort (l/s)	ΔQ (l/s)
47	M32N32	8144,18	2,386	0,14	0,17	0,03
46	M33N33	8144,18	2,386	0,14	0,15	0,01
25	M22N22	5500,14	1,612	0,10	0,16	0,06
24	M23N23	5500,14	1,612	0,10	0,14	0,04
6	M12N12	6786,92	1,989	0,12	0,15	0,03
5	M13N13	5676,80	1,663	0,10	0,14	0,04
Total		39752,36	11,648	0,69	0,91	0,22

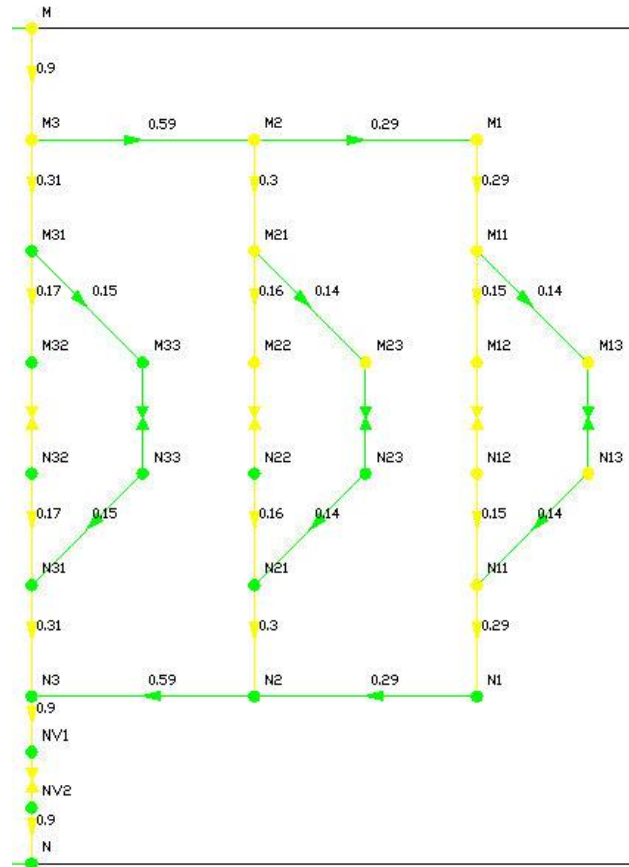


Figura 7. Modelación hidráulica del patinejo 7

ANEXO 12

Tabla 8. Resultados de la modelación térmico-hidráulica del patinejo 8						
Habitación	Código	Carga Térmica (BTU/h)	Carga Térmica (kW)	Caudal Diseño (l/s)	Caudal Confort (l/s)	ΔQ (l/s)
45	O32P32	8576,74	2,513	0,15	0,17	0,02
44	O33P33	8576,74	2,513	0,15	0,15	0,00
23	O22P22	4547,08	1,332	0,08	0,16	0,08
22	O23P23	4547,08	1,332	0,08	0,14	0,06
4	O12P12	4625,87	1,355	0,08	0,15	0,07
3	O13P13	4625,87	1,355	0,08	0,14	0,06
Total		35499,38	10,402	0,62	0,91	0,29

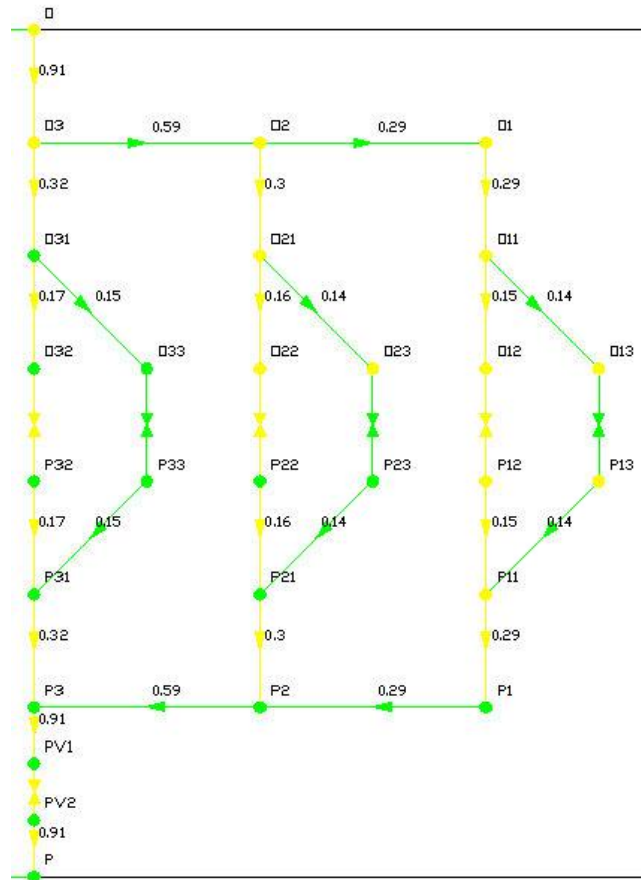


Figura 8. Modelación hidráulica del patinejo 8

ANEXO 12

Tabla 9. Resultados de la modelación térmico-hidráulica del patinejo 9						
Habitación	Código	Carga Térmica (BTU/h)	Carga Térmica (kW)	Caudal Diseño (l/s)	Caudal Confort (l/s)	ΔQ (l/s)
43	Q32R32	8144,18	2,386	0,14	0,20	0,06
42	Q33R33	9812,50	2,875	0,17	0,18	0,01
21	Q23R23	5500,14	1,612	0,10	0,19	0,09
20	Q12R12	6676,56	1,956	0,12	0,17	0,05
2	Q12R12	5676,80	1,663	0,10	0,18	0,08
1	Q13R13	6802,29	1,993	0,12	0,16	0,04
Total		42612,47	12,486	0,74	1,08	0,34

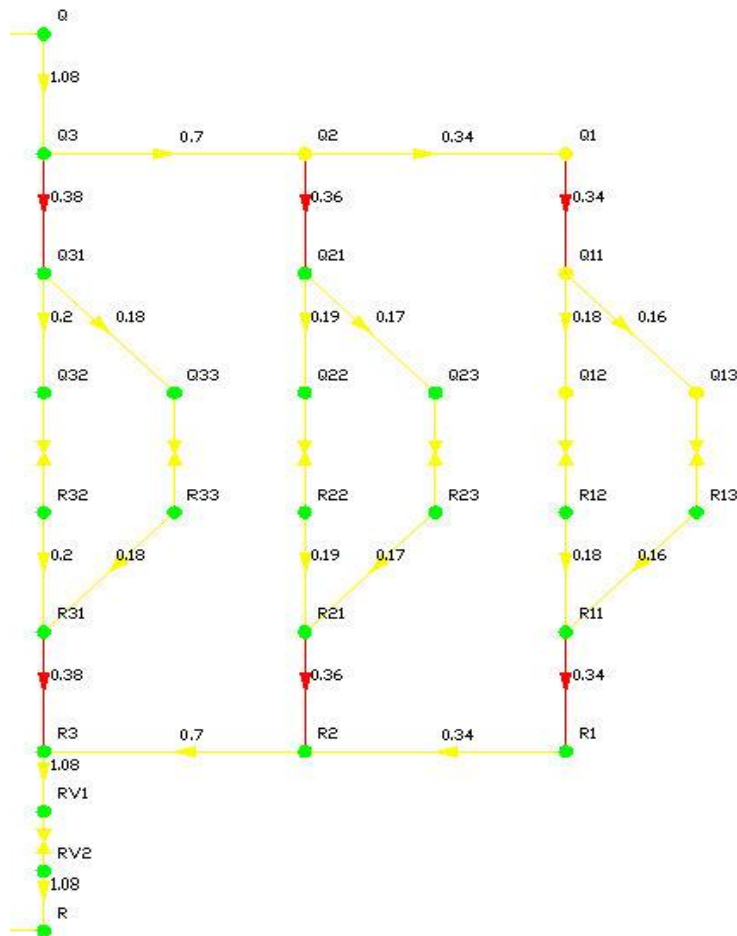


Figura 9. Modelación hidráulica del patinejo 9

ANEXO 12

Tabla 10. Resultados de la modelación térmico-hidráulica del SSCCAF					
Patinejos	Nodos	Habitaciones	Caudal Diseño (l/s)	Caudal Confort (l/s)	ΔQ (l/s)
1	A-B	6	0,74	0,95	0,21
2	C-D	6	0,68	1,08	0,40
3	E-F	5	0,56	0,81	0,25
4	G-H	10	1,46	4,56	3,10
5	I-J	10	1,34	3,93	2,59
6	K-L	4	0,46	0,64	0,18
7	M-N	6	0,69	0,91	0,22
8	O-P	6	0,62	0,91	0,29
9	Q-R	6	0,74	1,08	0,34
Total		59	7,29	14,87	7,58