

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería Industrial

CARACTERIZACIÓN DE RADIADORES DE CALEFACCIÓN.

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE PARÁMETROS DE DISEÑO EN LA POTENCIA DEL RADIADOR

Autor: Laura Azcona Sousa

Tutor: José Julio Guerra Macho

Dept. Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2014



AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer, en primer lugar, toda la ayuda recibida a lo largo de todos estos años de formación en la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. No quiero que se me quede nadie en el tintero, ya que sin ellos llegar al final de este camino no hubiese sido posible.

A mis padres y hermanos, por proporcionarme los medios y el apoyo necesario durante estos años. A ellos les dedico este trabajo.

A los profesores de la universidad de Padua que durante mi año de Erasmus me proporcionaron la idea y ayuda necesaria en el comienzo de este proyecto.

A mis compañeros de la escuela, especialmente a esos con los que tantas horas de clase, estudio, trabajos y prácticas he compartido, por su apoyo y comprensión en momentos de sacrificio y esfuerzo.

A los profesores que con paciencia y dedicación me han formado desde que era pequeña por proporcionarme los conocimientos que he adquiridos durante todos estos años.

A mis amigos que siempre han estado cerca para apoyarme y hacerme más ameno el sendero recorrido.

Gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE DE CONTENIDOS	5
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	7
1.1. OBJETIVO DEL PROYECTO	7
1.2. SISTEMAS DE CALEFACCIÓN	9
1.2.1. Introducción	9
1.2.2. Clasificación de los sistemas de calefacción	12
1.2.3. Instalaciones individuales, centralizadas y urbanas	12
1.2.4. Fuentes energéticas utilizadas	15
1.2.5. Tipos de emisores	19
1.2.6. Diseño de la instalación	20
1.2.7. Naturaleza del fluido caloportador	21
1.2.8. Componentes de una instalación de calefacción por agua caliente. sistemas. distribución. aplicaciones	22
1.3. ORGANIZACIÓN Y CONTENIDO	42
CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN	44
2.1. INTRODUCCIÓN	44
2.2. TIPOLOGÍAS DE RADIADORES	49
2.2.1. Radiadores de elementos	49
2.2.2. Paneles o placas calefactoras	56
2.3. INSTALACIÓN DE RADIADORES	58
2.3.1. Situación del radiador y revestimiento	59
2.3.2. Montaje hidráulico	62
2.3.3. Efecto de la altitud	64
2.3.4. Efecto de la masa	64
2.3.5. Accesorios	64
2.3.6. Rendimiento de la regulación	66
2.4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE UN RADIADOR	67
2.4.1. Potencia térmica nominal	68
2.4.2. Influencia de las condiciones de operación	70
2.5. NORMATIVA	76
CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO	78
3.1. INTRODUCCIÓN	78
3.1.1. Método de los elementos finitos y método de las diferencias finitas	79
3.2. PROGRAMAS DE SIMULACIÓN	81

3.2.1.	Heat2 4.0	81
3.2.2.	Comsol	83
3.3.	DESCRIPCIÓN DEL RADIADOR	85
3.4.	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE CÁLCULO	87
3.4.1.	Método de cálculo para tubo interno	90
3.4.2.	Método de cálculo para el modelo de tubo externo	97
3.5.	IMPLEMENTACIÓN EN LOS PROGRAMAS DE SIMULACIÓN	100
3.5.1.	Simulación para el caso interno	101
3.5.2.	Simulación para el caso externo	104
CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS		107
4.1.	INTRODUCCIÓN	107
4.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	108
4.3.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	111
4.3.1.	Resultados modelo tubo interno	111
4.3.2.	Resultados modelo tubo externo	121
4.3.3.	Comparación entre la tipología tubo interno y la tipología tubo externo	141
CAPÍTULO 5: RESUMEN Y CONCLUSIONES		150
5.1.	INTRODUCCIÓN	150
5.2.	RESUMEN	150
5.3.	CONCLUSIONES	151
BIBLIOGRAFÍA		152

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es determinar cómo influyen ciertos parámetros en la potencia calefactora transferida por elementos decorativos, caracterizados por formas muy diversas, a los que se le añade la función de calefacción.

Cuando a finales de los años 20 el radiador hizo su entrada en la vivienda como instalación permanente, su única función era la de calentar la vivienda. Sin duda había pocos que pensarán en aprovecharlo como elemento de diseño.

En la actualidad se vive un renacer del diseño que se refleja en todos los aspectos de nuestra vida, desde un edificio, pasando por un mueble, una página web, cualquier objeto. El diseño está ligado con la manera de agradar, con la utilidad de lo que se crea. Ya no nos sirve crear cualquier cosa, esa cosa debe tener “diseño”.

Aquellos antiguos radiadores de gran peso y poco discretos desde el punto de vista estético, son hoy mucho más ligeros, dimensionalmente más reducidos y excelente diseño, habiendo pasado incluso a ser, además de elementos altamente funcionales, objetos decorativos. Las instalaciones modernas de radiadores deben guardar cierta igualdad con muebles y revestimiento de techos y paredes en la vivienda.

Siendo los primeros radiadores grandes, pesados y difíciles de manejar e instalar, se colocaban normalmente en un lugar donde causaran un mínimo de molestia y donde estuvieran mejor escondidos y, si fuera posible, en un rincón donde no se viesen.

Más tarde se introdujo el revestimiento de los radiadores mediante cajas de maderas especialmente construidas, que sólo tenían por fin esconder el radiador, de aspecto poco atractivo, detrás de una hermosa rejilla de madera, logrando así que la instalación se presentara como una parte más uniforme de la vivienda. Pero tenía dos consecuencias: en primer lugar, las instalaciones resultaron mucho más caras de lo que se había pensado originalmente y, en segundo lugar, el rendimiento térmico de los radiadores fue reducido notablemente.

Hoy día va desapareciendo esta forma de revestir el radiador. Se han desarrollado muchísimos tipos de radiadores diferentes con el tiempo. Sin embargo, es un rasgo común de casi todos los fabricantes de radiadores que, por lo visto, no han pensado en el concepto de diseño, dejándose

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

guiar por simples consideraciones de carácter económico y de técnica de producción para desarrollar radiadores que sean optimizados en cuanto a precios. Esto significa que se venden los radiadores más baratos de fabricar, aunque este procedimiento no atiende de ningún modo al aspecto del diseño que, no obstante, desempeña un papel cada día más decisivo para las actividades de construcción moderna.

Los radiadores como elemento de diseño que se ven hoy día están limitados, en su gran mayoría, a los cuartos de baño, donde cumplen tres funciones distintas: parte como calefacción, parte como portatoallas y parte como elemento de decoración. Sin embargo, no tiene sentido limitar los radiadores de diseño al cuarto de baño, cuando la gente pasa más tiempo en las demás habitaciones.

Si se aplica el concepto de diseño a los radiadores convencionales, surge una nueva concepción de radiadores, estos se convierten en complementos decorativos que aportan estilo y elegancia a cualquier ambiente y tipo de decoración.

Por todas las razones fundamentadas anteriormente, se quiere añadir la función de calefacción a elementos decorativos contruidos en aluminio. Se necesita conocer con anterioridad a su fabricación la influencia de diversos parámetros en la potencia transferida por dichos elementos decorativos, caracterizados por formas muy diversas.

El problema surge cuando el fabricante necesita conocer cómo influyen diversos parámetros en la potencia emitida por dichos radiadores decorativos antes de construirlos, por lo que no puede ser determinada experimentalmente, mediante ensayos de acuerdo a la normativa de radiadores EN 442, la potencia calorífica para cada radiador.

No es válido usar para el cálculo de dicha potencia las tablas correspondientes a los modelos de radiadores ya existentes, determinadas experimentalmente puesto que no basta tener en cuenta la superficie radiante, sino que se tendrá que considerar también la forma del radiador empleado.

La solución que se plantea estudia la influencia de los parámetros en la potencia transferida por un modelo simple, obtenido a partir de la geometría inicial del radiador mediante la aplicación de las teorías “Métodos de elementos finitos” y “Método de diferencias finitas”. Para la obtención de dicha potencia será necesario el empleo de los programas de transmisión de calor Heat2 4.0 y Comsol.

1.2. SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

1.2.1. Introducción

Se denominan instalaciones de calefacción, a aquellas instalaciones térmicas destinadas a mantener la temperatura ambiente de un determinado recinto a un nivel superior al de la temperatura a la que se encuentra el entorno de dicho recinto. Reciben el nombre de instalaciones de refrigeración aquellas instalaciones cuyo objetivo fundamental es mantener un recinto a temperatura inferior a la del ambiente exterior. Si además del control de temperatura se realiza un control de la humedad del recinto, las instalaciones se denominan instalaciones de climatización.

A continuación, nos centraremos en las primeras de las instalaciones citadas, es decir, en las instalaciones de calefacción. Para ello se comenzará por plantear el esquema general de bloques de este tipo de instalaciones, esquema que puede considerarse integrado por tres grandes bloques o subsistemas: Producción de calor, Distribución y Emisión de calor, Fig. 1.1. Debe destacarse que en algún caso puede no existir el subsistema de distribución, como se verá en su momento.

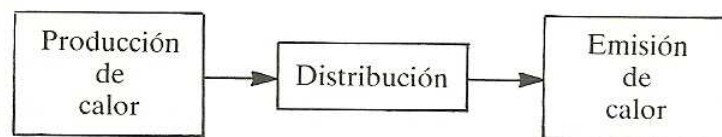


Fig.1.1.- Esquema general de bloques

Es evidente que la instalación de calefacción será en un principio distinta según el tamaño y tipo de construcción de los locales a calentar y según la climatología del lugar, por lo tanto, dos locales exactamente iguales, pero situados en condiciones ambientales distintas, tendrán que tener instalaciones diferentes; así pues, el sistema de calefacción estará íntimamente relacionado por una parte con el tamaño y tipo constructivo de los locales y por otra con el ambiente exterior.

Como puede observarse en la Fig. 1.2, es preciso realizar una aportación de energía exterior al subsistema de producción de calor, energía que en parte es transferida al subsistema de distribución y en parte es perdida hacia el ambiente exterior. De la energía transferida a subsistema de distribución, una parte llega al subsistema de emisión de calor, produciendo la

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

aportación de calor de los emisores a los locales, y otra parte es perdida en la distribución, transfiriéndose al ambiente exterior.

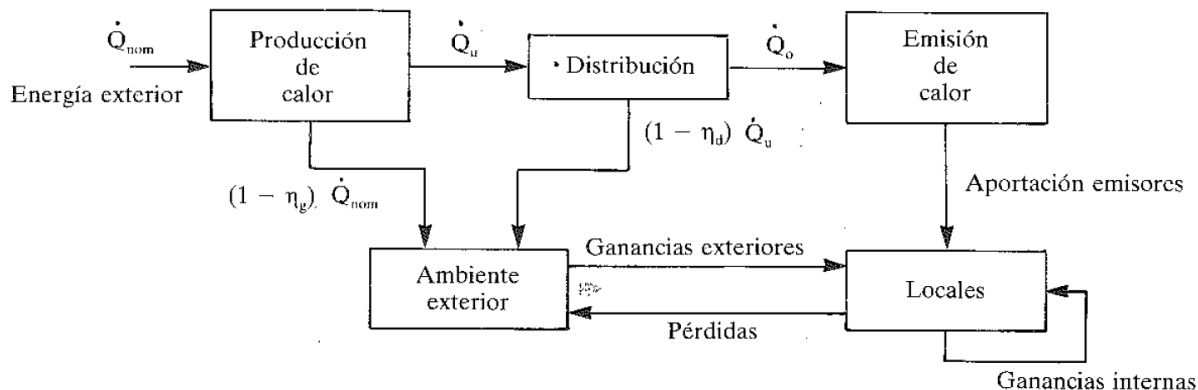


Fig. 1.2.- Esquema bloques con aportación energética y pérdidas

Por su parte, los locales y el ambiente exterior interactúan entre sí, produciéndose unas pérdidas de calor desde los locales al exterior por un lado, a la vez que pueden producirse aportaciones de calor desde el exterior a los locales, debido a la radiación solar, aportaciones que reciben el nombre de ganancias solares. Asimismo es posible que en el interior de los locales se produzcan aportaciones caloríficas que dan lugar a las denominadas ganancias internas de calor. Para terminar con el esquema general de las instalaciones de calefacción, debe hacerse notar que estas instalaciones deben “mantener” una temperatura interior, lo que conlleva la necesidad de incorporar el correspondiente control. El esquema completo, incorporando las líneas de control, se representa en la Fig. 1.3.

La primera condición que debe cumplir un sistema de calefacción, es que se pueda integrar en el edificio donde va a ser instalado, de una forma total adaptándose íntegramente a las formas constructivas del edificio y al régimen de utilización del mismo, dando respuesta a todas las demandas caloríficas que precise, siguiendo la evolución de sus pérdidas de calor.

Debe tener capacidad de respuesta suficiente, para proporcionar la carga instantánea máxima que se precise, sin que resulte una inercia térmica excesiva y disponer de los medios precisos de regulación, para evitar derroches energéticos y alteraciones del bienestar térmico de sus ocupantes, para lo cual podrá ser capaz de trabajar en condiciones de cargas parciales adecuadas a cada necesidad.

El dictamen general, antes de elegir un sistema debe considerar una serie de parámetros relacionados con:

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

- La inversión.
- El edificio.
- La carga térmica.
- Las condiciones externas.

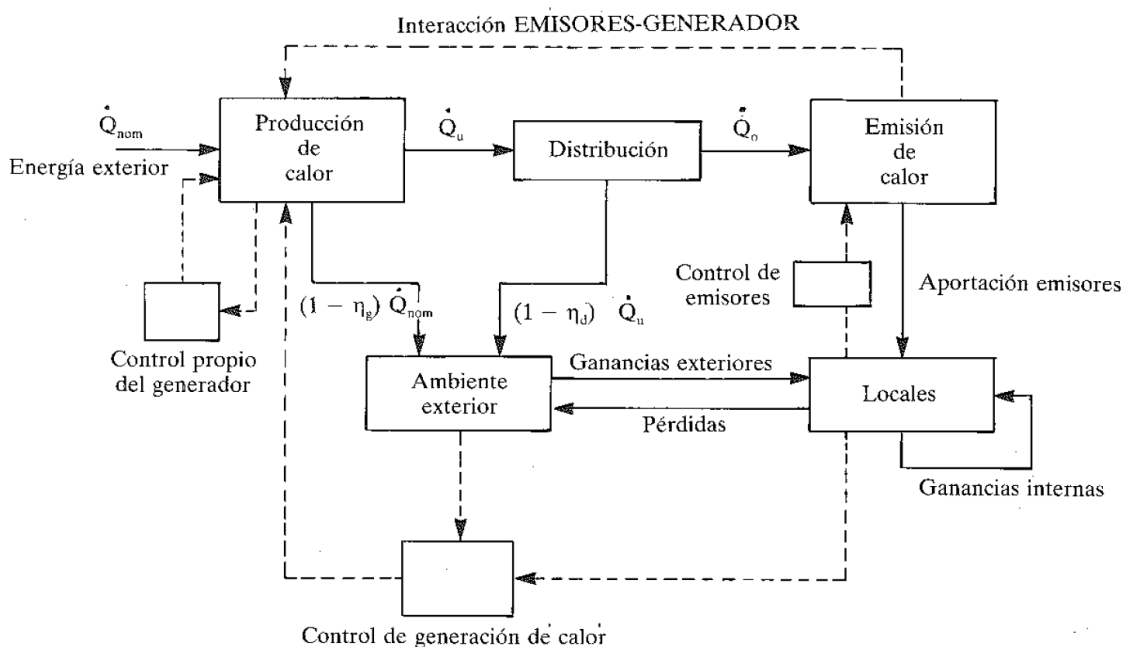


Fig. 1.3.- Esquema completo incorporando las líneas de control

Con respecto a la inversión, deberá realizarse un estudio previo de la amortización de la instalación, teniendo en cuenta no solamente los gastos iniciales de sus componentes básicos (caldera, radiadores, etc.) sino analizando también los gastos de explotación, según el tipo de combustible empleado, su evolución y previsiones futuras, etc. Y la rentabilidad de todo el conjunto, para el edificio en cuestión que se va a caldear

Requiere también, hacer un análisis del propio edificio atendiendo a consideraciones de su forma, el tipo de construcción, los espacios disponibles en su interior, su compartimentación, la orientación, como factor muy influyente, su situación geográfica y el uso del mismo que condiciona la evolución de la carga térmica precisa.

Esta carga térmica es el factor fundamental de la instalación de calefacción, por lo cual en su determinación, se hace necesario un estudio muy preciso de la misma y de todos los factores que en ella intervienen, como el aislamiento térmico de los cerramientos, la ocupación del edificio y las características de sus ocupantes, las pérdidas de calor y su evolución, y las aportaciones energéticas en caso de haberlas.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Por último, otro condicionante para elegir un sistema, deben ser las condiciones externas del lugar donde esté emplazado el edificio, entre éstas condiciones destacan la temperatura (factor decisivo), la mayor o menor exposición del edificio, y los vientos reinantes en la zona.

Con este análisis previo y un conocimiento de los sistemas y sus características fundamentales, se puede lograr la elección del sistema de calefacción a medida para cada edificio, teniendo en cuenta los factores que diferencian unos sistemas de otros.

1.2.2. Clasificación de los sistemas de calefacción

Las instalaciones de calefacción pueden clasificarse con arreglo a diversos criterios, siendo algunos de los más usuales los que se indican a continuación:

- **El grado de concentración:** individuales, centralizadas y urbanas.
- **La energía transformable en calor:** calefacción por bomba de calor, calefacción eléctrica, calefacción por energía solar o calefacción convencional.
- **El tipo de emisores de calor:** radiadores, convectores, fan-coils, aerotermos, etc.
- **Su trazado y diseño dentro del edificio:** monotubo, bitubo, retorno directo, retorno invertido, distribución superior, distribución inferior, etc.
- **La naturaleza del fluido caloportador:** calefacción por aire, agua, vapor o fluidos térmicos.

1.2.3. Instalaciones individuales, centralizadas y urbanas

La solución de los sistemas de caldeo para viviendas, se pueden resolver de dos formas distintas, que establecen los dos grandes sistemas de calefacción: individual y central.

La **calefacción individual** o local, es aquella en que cada vivienda o local tiene una fuente de calor y una instalación autónoma. Por el contrario, la **calefacción central** o colectiva, dispone de una fuente calorífica común para todo un edificio o conjunto de viviendas y mediante una instalación adecuada se reparte el calor por todas las dependencias y es transportado por medio de un fluido.

Desde un punto de vista general para el edificio, los sistemas colectivos, son siempre mejores que los individuales; el sistema colectivo concentra toda la problemática y las servidumbres de los sistemas de calefacción en un solo punto, resolviendo su situación, disposición, y funcionamiento de una forma más racional, para el propio edificio (situación de salas de calderas, almacenamiento de combustible, evacuación de humos, distribución, etc.) mientras que en los sistemas individuales se reparte toda esta problemática en muchos puntos, con lo cual

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

se multiplican las dificultades, el edificio sufre una mayor agresión y el uso de la energía es mayor con un menor aprovechamiento de los recursos energéticos. Los sistemas de funcionamiento, regulación y control, se deja en manos del usuario, con lo que pierde calidad y rigor, frente a un sistema centralizado, controlado desde un solo punto y en manos de personal cualificado y experto.

El calentamiento del edificio, con un sistema colectivo es uniforme y por igual, actuando como un único cuerpo caliente mientras que en los sistemas individualizados, su calentamiento es heterogéneo, a veces caprichoso y además las viviendas no ocupadas en invierno incrementan las pérdidas de calor por transmisión, en las instalaciones colindantes.

La utilización actual de los combustibles gaseosos, ha permitido la proliferación en los últimos años de los sistemas individuales, con la única ventaja por parte del usuario de poder utilizar su instalación de calefacción a su voluntad, pasando de ser una instalación de usos generales del edificio a ser una instalación individual privada para cada vivienda.

En los edificios de viviendas hay una tendencia clara hacia la total independización de las instalaciones de calefacción, tanto para su funcionamiento como para el control de sus costes de explotación, por lo que se utiliza mayoritariamente el sistema de calefacción individual, con una caldera por vivienda; caldera que puede ser sólo para calefacción, o bien mixta para calefacción y producción de agua caliente sanitaria.

Se ha extendido el concepto de que el verdadero confort, quien lo produce es la instalación individual, por las ventajas que presenta respecto a la centralizada de la independencia de uso en el período, horario y condiciones que el propietario estima oportuno, sin necesitar ponerse de acuerdo con los demás vecinos.

Sin embargo, en la práctica esta afirmación no es del todo cierta, puesto que el confort térmico de cada una de las viviendas que forman parte de un edificio, o de un conjunto de viviendas unifamiliares adosadas, depende también del de las viviendas que la rodean, ya que si éstas no están climatizadas, bien porque sus habitantes las usan en un horario reducido porque trabajan fuera, o se van de vacaciones, o simplemente porque están deshabitadas, sus condiciones térmicas van a influir en las de la vivienda que trata de estar confortable.

En este aspecto es importante resaltar que la legislación española no obliga a aislar los cerramientos entre viviendas, sino sólo los que dan al exterior (muros, cubiertas, y forjados al exterior) por lo que las pérdidas térmicas entre los pisos caldeados y los pisos sin caldear pueden llegar a ser considerables, hasta el punto de suponer un fuerte porcentaje de las pérdidas

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

de cada vivienda, ya que en el valor de las pérdidas por transmisión dado por el producto $U \times A \times \Delta T$, por bajo que sea el ΔT , dado que tanto el valor de U , como el de A , son altos, resultará un valor alto del producto.

Así pues, en el cálculo de las necesidades de calefacción de cada una de las viviendas, equiparadas con instalación de calefacción individual, hay que considerar estas pérdidas por los cerramientos de separación con otras viviendas. De ésta manera nos encontramos que tanto los emisores de calor, como las tuberías de distribución de agua, resultan sobredimensionados con respecto a los que resultarían en un edificio con instalación centralizada, donde no es necesario contemplar este tipo de pérdidas.

Cuando se habla de sistemas de calefacción, se deja implícito que esos son también sistemas de producción de agua caliente sanitaria. En el caso de las instalaciones individuales, dicha producción viene asignada a la propia caldera, pero en el caso de las instalaciones centralizadas requiere una instalación específica para ella.

En estos casos hay que disponer de una acumulación de agua caliente sanitaria, que se prepara o bien con un inter-acumulador, o bien con un depósito y un intercambiador.

Por otro lado, existe una fuerte tendencia, favorecida tanto por la Administración como por las compañías distribuidoras de gas, al uso del gas como fuente primaria para producción de calor. Respecto a este asunto hay que hacer notar que la factura de gas es desfavorable para las instalaciones individuales frente a las centralizadas, ya que su estructura consta de dos términos: el término fijo y el término de consumo.

La importancia de ambos términos se ve, por ejemplo en un edificio de 125 viviendas; el término fijo es del orden de 9 veces mayor si el edificio se realiza con calderas individuales a si se realiza con una centralización de calderas; y el término de consumo, dada la diferencia de precios del metro cúbico de gas para un pequeño y un gran consumidor, es del orden de 1,5 veces.

Por último tenemos la denominada **calefacción urbana** también llamada calefacción a distancia, en la cual, la central térmica se separa del edificio, ya que rebasa los límites del mismo, y es ubicada en sus proximidades, pero como edificación totalmente independiente de aquellas otras que habían de recibir el calor, en espacios abiertos, preparados y acondicionados exclusivamente para el servicio de la central, donde, de una forma generosa, se dispone del núcleo de sala de calderas, y alrededor de éstas los recintos anexos que completan su funcionamiento y gobierno, como son: sala de bombas, de distribución, generadores de energía

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

auxiliar de emergencia, salas de estancia para personal y empleados, talleres, despachos, etc., así como áreas grandes para el almacenamiento del combustible necesario y disposición de sistemas adecuados para la eliminación de humos y residuos de la combustión, que cumplan todos los requisitos a que obliga la higiene urbanística, que cada vez va siendo más exigente y controlada, en las grandes ciudades.

Una vez separada la central térmica de la edificación, la distancia de su emplazamiento a los centros de consumo depende fundamentalmente de su importancia y de la magnitud de su servicio, que puede abarcar desde un edificio de viviendas, a una urbanización completa, desde un hospital de mayor o menor número de camas, a una ciudad sanitaria, desde un centro comercial o industria, a un macrocentro, o un polígono industrial, pudiendo llegar a disponer una central principal de alimentación, con una serie de estaciones secundarias intermedias, que reparten la producción de calor a través de canalizaciones a distintos centros, urbanizaciones, polígonos, etc., que se alimentan de la misma, y que equivale a un servicio más, como puede ser el abastecimiento de agua, gas, o electricidad, que en este caso bien podemos llamar abastecimiento térmico.

Esta instalación es muy interesante, siempre que exista la suficiente densidad de edificación. Se considera que el límite inferior de rentabilidad está entre los 40 y 50 millones de kilocalorías por hora y kilómetro cuadrado de terreno. La rentabilidad de las empresas dedicadas a la calefacción a distancia radica en que el calor se obtiene en condiciones muy favorables, gracias al elevado rendimiento de las calderas modernas, a la disminución de costes marginales a medida que aumenta el tamaño de la instalación.

El servicio de calefacción a distancia puede estar perfectamente completado con el servicio de agua caliente sanitaria, con la consiguiente economía, al igual que en una calefacción central clásica.

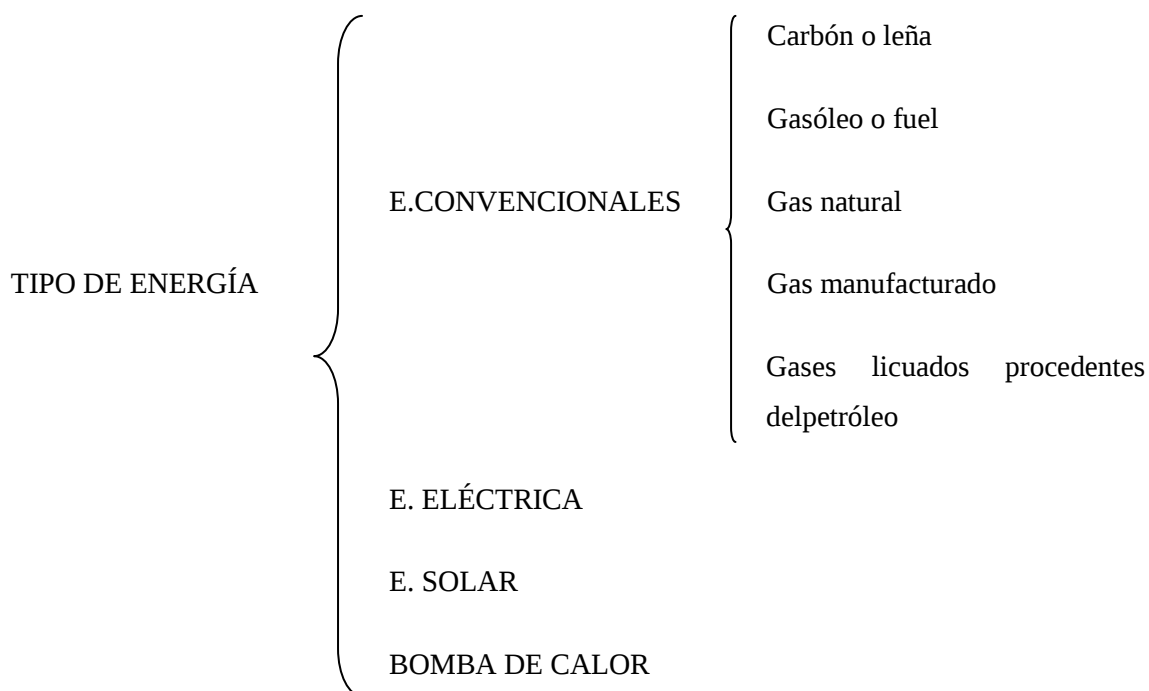
La calefacción a distancia, toma un gran incremento en toda Europa a partir de la segunda guerra mundial, en los grandes núcleos urbanos, y lo mismo sucede en EE.UU. Si bien en España, su evolución es algo lenta; se puede considerar un sistema de futuro.

1.2.4. Fuentes energéticas utilizadas

Como se indicó anteriormente, las instalaciones de calefacción se pueden clasificar atendiendo al tipo de la fuente energética empleada en el subsistema de producción de calor.

En los siguientes apartados se procederá brevemente a indicar las características de estos sistemas.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN



Calefacción convencional

Se suele designar con este nombre a los sistemas de calefacción que emplean como fuente energética el calor de combustión de un combustible orgánico, siendo las más usualmente utilizadas.

La utilización de estos combustibles es cambiante por razones políticas y económicas y a que suelen seguir los mandatos de los planes energéticos de los países a corto o largo plazo, impuesto también por el desarrollo económico que sufre el país, así se pasó del uso indiscriminado del combustible sólido (carbón y leña) a la utilización de los combustibles líquidos (fueloil y gasóleo) y en la actualidad podemos decir que impera la utilización de los combustibles gaseosos, fundamentalmente por la expansión del gas natural.

En este sistema de calefacción, un combustible determinado se introduce en un generador de calor o caldera, junto con el comburente preciso para realizar su oxidación o quemado, desprendiendo una cierta cantidad de calor, distinta para cada combustible y dependiente de su composición química, que es transferida a un fluido caloportador para su posterior utilización.

Dado que los combustibles orgánicos se encuentran en tres estados físicos distintos (sólidos, líquidos y gaseosos), los equipos precisos se diferencian básicamente unos de otros por lo que es usual hablar de *instalaciones de calefacción por gas*, ya sea gas ciudad, gas natural o G.L.P.; instalaciones de *calefacción de combustibles líquidos*, fundamentalmente gasóleo y fuelóleo, o instalaciones de *calefacción de combustibles sólidos*, generalmente carbón o leña.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El uso de estas energías convencionales, representa la mayor utilización energética en las instalaciones de calefacción y condiciona según el tipo elegido, la solución de los problemas de almacenamiento y acopio del combustible según los casos.

Calefacción eléctrica

Bajo la denominación de calefacción eléctrica se agrupan aquellos sistemas de calefacción donde la transformación energética de electricidad a calor sigue la Ley de Joule y define dos grandes sistemas:

- *La calefacción directa:* mediante estufas, calentadores, hilo radiante, convectores o radiadores eléctricos.
- *La calefacción por acumulación:* mediante acumuladores estáticos o dinámicos de calor que permiten utilizar la energía eléctrica en las horas de menor consumo (horas valle) a un coste inferior al normal.

Calefacción por energía solar

En este tipo de instalaciones la fuente térmica es directamente la radiación procedente del Sol que llega a la superficie terrestre, en la que mediante superficies captadoras de dicha energía, es transformada en energía térmica cedida a un fluido caloportador, generalmente agua y en ocasiones aire, que o bien a través de un sistema acumulador o bien directamente la transportan hasta los locales a calentar.

Representa en la mayoría de los casos un sistema de apoyo a una calefacción tradicional, ya que este sistema precisa una gran extensión superficial, donde instalar los paneles solares, lo cual sólo es posible salvo excepciones para instalaciones pequeñas, (viviendas unifamiliares, etc.) necesitando además una compleja instalación de regulación y acumulación del calor, por lo cual su utilización allí donde la climatología es propicia suele ser parcial, y como apoyo a otros sistemas.

Calefacción por bomba de calor

Conocida con el nombre teórico de *calefacción termodinámica*, está basada en la captación de energía de bajo nivel térmico, elevando posteriormente su temperatura mediante la utilización de ciclos termodinámicos hasta niveles que permitan su empleo en instalaciones térmicas.

La *bomba de calor*, consiste en un sistema de bombeo de energía, desde el exterior al interior del edificio a calentar, bomba (Aire-aire) tomando la energía de un nivel térmico inferior (aire exterior) al utilizado en la calefacción interior del local a calentar (aire interior).

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Los circuitos de fluido caloportador son semejantes a los empleados por instalaciones de calefacción que utilizan otras fuentes energéticas, por lo que se estudiarán conjuntamente.

El equipo consiste básicamente, en un compresor (movido por un motor eléctrico) un condensador y un evaporador, constituyendo un equipo productor de frío con un líquido refrigerante que cambia de estado y que circula por la acción del compresor, desde el condensador al evaporador y viceversa.

El evaporador situado en el medio de menor temperatura (foco frío) hace que el líquido se evapore a su paso por él y en ese cambio de estado absorbe calor del medio, donde está instalado (aire exterior) y lo cede posteriormente.

El compresor aspira y comprime el refrigerante en forma gaseosa y pasa al condensador situado en el medio a calentar o foco caliente, donde se condensa cediendo el calor al aire que pasa a través del condensador (aire interior recirculado).

A continuación el refrigerante en forma de líquido a alta presión, pasa a través de una válvula, que reduce la presión (válvula de expansión) y el ciclo se repite.

La bomba de calor, es un sistema reversible, y por ello también se utiliza en verano como equipo de aire acondicionado, para lo cual lleva una válvula que invierte el sentido de circulación del refrigerante, lo que permite, alternar el evaporador y el condensador según se trate de verano o de invierno.

La bomba de calor se designa, indicando en primer lugar el medio del que se absorbe el calor y en segundo lugar el medio al que se cede, existiendo los siguientes tipos:

- *Aire-Aire*: Es el tipo más difundido y el que más se utiliza en calefacción y climatización.
- *Aire-Agua*: Su utilización es adecuada para sistemas de calefacción por agua caliente. Es idónea su utilización, para el uso de ACS y también para sistemas de calentamiento de agua de piscinas.
- *Agua-Aire*: El evaporador absorbe el calor de una masa de agua, y el condensador cede el calor al aire. Es adecuada para calefacción por aire pero poco utilizada.
- *Agua-Agua*: El calor se toma de una masa de agua y se cede a otra. Se aplica en procesos de transformaciones industriales y en instalaciones de climatización condensados por agua.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La eficacia de una bomba de calor se mide por un coeficiente de rendimiento, pudiendo tomar valores superiores a 3. No obstante la bomba de calor, utilizada en calefacción, cuando no puede proporcionar la demanda calorífica que la instalación demanda, lo hace, aportando la energía eléctrica que recibe una resistencia y en estos casos, baja notablemente su rendimiento.

1.2.5. Tipos de emisores

Otra clasificación de los sistemas de calefacción es atendiendo a los emisores de calor, es decir a la unidad terminal que cede el calor a la habitación o local a calentar, dando de esta manera el nombre a la instalación de calefacción. (Por ejemplo calefacción por radiadores, por paneles, etc.). Los emisores de calor más utilizados son:

EMISORES DE CALOR	- RADIADORES
	- CONVECTORES
	- PANELES
	- TUBOS DE ALETAS
	- FAN-COILS
	- AEROTERMOS

El **radiador** es el emisor de calor más utilizado, aunque solamente emite un 20% aproximadamente de su calor por radiación y el resto básicamente por convección, por ello como mejor trabaja es aislado y libre. Su concepción es a base de elementos y columnas que definen su longitud y profundidad, siendo fabricados en materiales diversos; acero, hierro fundido y aluminio. Este elemento se tratará con mayor profundidad en los apartados posteriores.

El **convector** cede todo su calor por convección al aire que se hace circular a través de sus superficies calientes (serpientes, placas, radiadores o tubos) dándole forma a su cubrición para canalizar el aire del local y hacerle pasar forzosamente a través del foco de calor de una forma natural (convección natural) o forzada (convección forzada).

Los **paneles**, son placas huecas de muy poco espesor, por cuyo interior circula el fluido caloportador, presentando una gran superficie de cesión del calor por radiación (paneles radiantes) y también parte por convección del aire que circula entre las placas y la pared. Presentan muy poco espesor, y por su forma plana tienen una fácil limpieza.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Los **tubos de aletas**, son tubos de hierro fundido o de acero rodeados de unas aletas metálicas cuya sección disminuye hacia el exterior, que se calientan en su contacto con el tubo y ceden su calor al aire por convección y radiación. Se suelen combinar en una o varias filas y su utilización más corriente es en grandes locales.

El **Fan-coil**, es un serpentín formando un radiador (batería) por cuyo interior circula el agua de la calefacción, y lleva incorporado un ventilador eléctrico que fuerza a pasar el aire recirculado de la habitación a caldear a través del citado radiador o batería robándole su calor. Este elemento se utiliza como unidad terminal en instalaciones de climatización, llevando en éstos casos también otra batería de agua fría para enfriar el aire en verano. El ventilador, suele tener varias velocidades.

El **aerotermino o termoventilador**, es un elemento similar al fancoil, pero con un acabado más rústico y de menor calidad, utilizándose en instalaciones menos rigurosas como las industriales, (caldeo de naves, talleres grandes, locales de factorías, etc.).

1.2.6. Diseño de la instalación

Lo mismo sucede con los sistemas de trazado y diseño dentro del edificio, que se describirán posteriormente y que ahora simplemente enumeramos, porque también sirven para definir la particularidad del sistema de calefacción. Según el diseño de la instalación ésta puede ser:

- Distribución superior
- Distribución inferior
- Sistema bitubular
- Sistema monotubular
- Retornos directos
- Retornos invertidos

La disposición y el número de tuberías que integran la calefacción por agua caliente, dentro del edificio, ofrece varias posibilidades, en cuanto a la ubicación de las tuberías que llevan el agua hasta los emisores de calor, así como la compensación de distancias a estas superficies, lo que determina, las condiciones de funcionamiento de la instalación así como su utilización más racional, teniendo muy en cuenta, la inversión de primera instalación, acorde con la tipología del edificio.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.2.7. Naturaleza del fluido caloportador

Por último, la naturaleza del fluido caloportador, el que transporta la energía calorífica, es un factor determinante para definir la calefacción. El fluido condiciona toda la instalación y así tenemos que según este fluido caloportador las instalaciones de calefacción pueden ser:

- Calefacción por aire
- Calefacción por agua
- Calefacción por vapor
- Calefacción por fluidos térmicos

El **aire** como fluido caloportador, tiene sus ventajas y sus inconvenientes.

Como ventajas podemos citar, el bajo costo que la instalación precisa para el calentamiento del aire, así como la poca importancia que puede presentar una fuga del mismo en el transporte hacia los locales a calentar (repercusión secundaria).

Como inconveniente fundamental su baja entalpía, ya que el calor específico del aire seco es muy bajo ($0,29 \text{ Kcal/m}^3\text{C}$) lo que precisa un volumen de desplazamiento muy grande para conseguir transportar una energía térmica considerable, obligando a diseñar conductos muy voluminosos, que limitan su utilización a zonas de grandes espacios disponibles. Además el aire es insuflado directamente al local a calentar, lo que obliga a controlar su velocidad para que no sea molesto ($<0,25 \text{ m/s}$ en la zona ocupada) y ello disminuye el caudal, teniendo que aumentar la sección del conducto.

El **agua** por el contrario tiene un mayor calor específico que el aire (valor medio de $1 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$), lo que permite mayor transporte de energía térmica, con caudales más pequeños que se pueden lograr con tuberías. Como además el agua se mantiene dentro de los circuitos estancos de la calefacción, solamente limita su velocidad por efecto de los ruidos ($<55 \text{ dB}$).

Las fugas de agua en el sistema, sí pueden originar repercusiones secundarias de largo alcance, por ello su estanqueidad debe ser más precisa.

Es importante subrayar que el agua es una de las sustancias que tiene mayor calor específico, lo cual la hace idónea para acumular energía y para transportarla.

El **vapor** se puede considerar como el mejor fluido caloportador, debido a su elevada entalpía.

No olvidemos que la entalpía o calor total de vapor, es la suma del calor sensible (cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de 1 litro de agua desde 0°C a la temperatura de

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

ebullición), más el calor latente de vaporización (cantidad de calor necesaria para vaporizar completamente 1 litro de agua a la temperatura de ebullición, en una atmósfera de vapor saturado seco, que se encuentra a igual temperatura), siendo el primero a la presión atmosférica de un valor aproximado de unos 100 Kcal, y el segundo de unos 540 Kcal, resultando la entalpía total de vapor de unos 640 Kcal, aproximadamente, sin olvidar, que al aumentar la presión absoluta del vapor aumenta esta entalpía.

Esta es la ventaja de este fluido, pues al ceder el vapor de su calor latente a las superficies de calefacción, está devolviendo unas 540 Kcal, por cada litro de agua, obteniéndose un alto rendimiento como fluido caloportador.

Los fluidos térmicos, son líquidos especiales (aceites que pueden trabajar a temperaturas muy elevadas: 300°C) a la presión atmosférica normal sin el riesgo de que el líquido cambie de estado. Ahora bien en determinados casos se pueden utilizar también en la fase vapor, como en la fase líquida.

Sus ventajas como fluidos caloportadores, son su excelente comportamiento como tales, ya que se fabrican para este fin, y mantienen su temperatura con precisión y no atacan a las tuberías ni recipientes, eliminándose cualquier tratamiento de desmineralización o desgasificación.

Su utilización, es en instalaciones de calefacción de plantas industriales, por medio de intercambiadores sucesivos y en el sector industrial, como proceso productivo donde se necesitan temperaturas de ese orden y también en instalaciones urbanas.

A continuación se describirá más detalladamente los sistemas de calefacción por agua caliente dado que, como se ha mencionado anteriormente el objetivo de este proyecto es el estudio de la potencia en radiadores con agua como fluido caloportador.

1.2.8. Componentes de una instalación de calefacción por agua caliente. Sistemas. Distribución. Aplicaciones

Generalidades

En el estudio de los sistemas de calefacción que utilizan el agua como fluido caloportador, se distinguirá, a efectos de ejecución práctica y de magnitud entre, el sistema de *calefacción individual* (a nivel de viviendas o para potencias muy pequeñas) y la *calefacción centralizada* (a nivel de edificio completo) con potencias consideradas medianas o grandes, ya que aunque el principio de funcionamiento es el mismo, el estudio lógicamente es diferente en cuanto a importancia y magnitud del mismo, este punto se referirá siempre a los sistemas centralizados, que resuelven la calefacción de todo un edificio completo, bien sea éste para uso de vivienda,

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

oficinas, comerciales, etc., ya que todas las consideraciones que se hagan, siempre será a nivel global del edificio, así como sus convenientes disposiciones de distribución, teniendo en cuenta lo que mejor conviene siempre, para el edificio.

La primera consideración que se hace es con arreglo a la temperatura de calentamiento del agua, pudiendo hacer una primera clasificación como:

- Calefacciones de baja temperatura.
- Calefacciones de media temperatura.
- Calefacciones de alta temperatura.

Esta no es una clasificación que difiera mucho en su funcionamiento unas de otras pero si fija algunas peculiaridades importantes como el hecho de que la temperatura del fluido sea diferente, como se irá viendo.

La calefacción a baja temperatura se considera cuando el agua no sobrepasa los 50°C y se utiliza en la calefacción por radiación, por razones obvias que se estudiarán más adelante al hacer referencia a éste tipo de calefacción.

La calefacción, considerada de media temperatura, es aquella en que el agua calienta por debajo de los 95°C como máximo, que han sido los sistemas más convencionales utilizados hasta los últimos años, generalmente acordes con el uso de combustibles, fundamentalmente sólidos (carbón, leña, etc.), sin excluir lógicamente a otros líquidos o gases.

Por último *la calefacción, denominada de alta temperatura*, rebasa los 100°C y puede llegar a alcanzar hasta los 150°C, obligando a utilizar, en la instalación elementos presurizados, de tecnologías más modernas tanto en las calderas y hogares de las mismas, como en los propios emisores y elementos auxiliares de la instalación, estando muy ligados al uso actual de combustibles líquido o gaseosos. Estas calefacciones también se denominan de agua sobrecalentada.

La utilización del agua a altas temperaturas, presenta sus ventajas e inconvenientes, entre las ventajas destacaremos que pueden experimentar entre las idas y los retornos, saltos térmicos mayores, lo que permite circular un caudal menor, para las mismas necesidades caloríficas, reduciendo los diámetros de las tuberías y en consecuencia, reduciendo costos de instalación.

Por el contrario al trabajar a más temperatura tanto la caldera como las tuberías se ven sometidas a mayores presiones, lo que obliga a una mayor selección del material y además aumenta el posible riesgo de averías.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Calefacción por agua caliente

Es el sistema más utilizado y preferido para edificios medios y pequeños, así como para viviendas reducidas. Sus ventajas fundamentales son su sencillez de funcionamiento, su gran seguridad y su fácil regulación térmica, mediante la variación de la temperatura de la caldera.

La disposición de la instalación establece dos sistemas diferenciales, básicamente, cuyos esquemas se representan en las Fig. 1.4 y 1.5.

Sistemas	{	Instalación abierta
	{	Instalación cerrada

La calefacción abierta, es aquella en que la instalación está comunicada con la atmósfera, por su parte superior (depósito de expansión), alcanzando una temperatura máxima en el agua, de unos $90 \div 95$ °C, admitiendo que en los retornos alcanza unos 70°C de temperatura media.

Por el contrario, *la instalación cerrada*, es aquella en la que el agua no está en comunicación con la atmósfera, puede alcanzar temperaturas por encima de los 100°C, y mantiene una determinada presión interior, teniendo un rendimiento térmico superior, denominándose calefacción por agua sobrecalentada. Para su funcionamiento precisa calderas presurizadas.

La instalación de calefacción por agua caliente, consta de las siguientes partes:

Elementos fundamentales	{	Calderas
	{	Tuberías
	{	Superficies de calefacción (emisores)
	{	Elementos auxiliares

Elementos auxiliares:

- Bombas.
- Depósito de expansión.
- Dispositivos de seguridad.
- Elementos de regulación.
- Quemadores.
- Termómetros.
- Etc.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

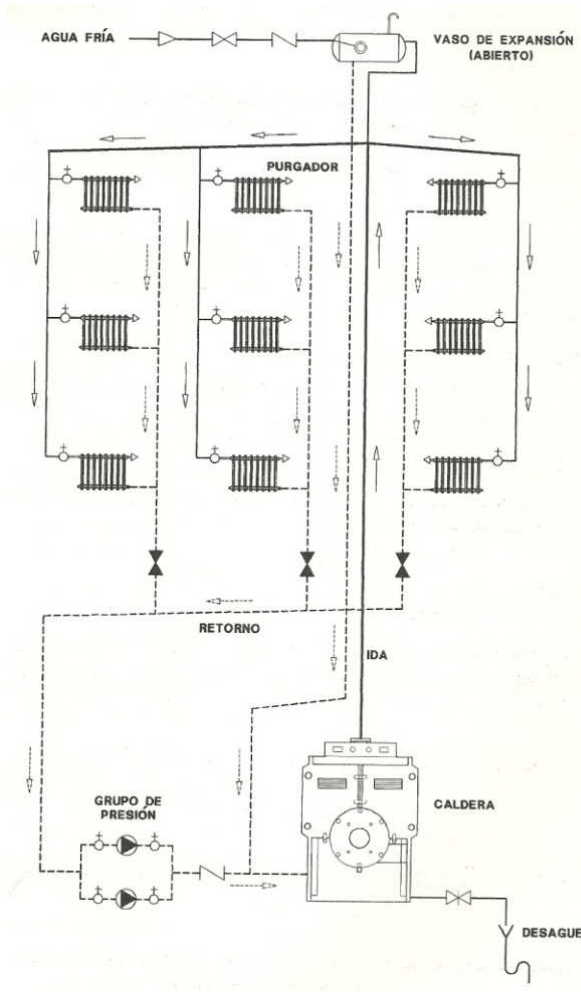


Fig. 1.4.- Instalación de calefacción abierta

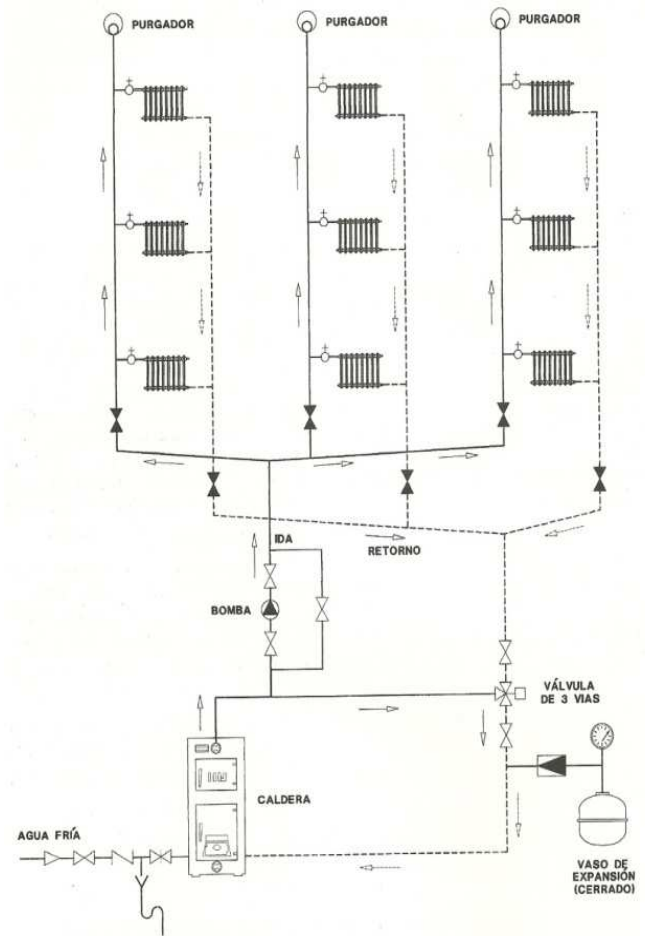


Fig. 1.5.- Instalación de calefacción cerrada

A continuación se muestra el esquema anterior ampliado especificando los diversos tipos existentes de los elementos de las instalaciones de calefacción por agua caliente para viviendas:

1. Sistema de producción de calor, compuesto por:
 - Canalización o almacenamiento de combustible.
 - Calderas y quemadores.
 - Chimeneas.
2. Sistema de transporte de calor. Red de tuberías y sus aislamientos, pueden ser:
 - Monotubular.
 - Bitubular, con sistema de retorno directo o invertido.
3. Sistema de emisión de calor, puede estar formado por:
 - 3.1.1. Radiadores, que pueden ser:
 - De elementos de chapa de acero.
 - De elementos de fundición de hierro.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

- De elementos de fundición de aluminio.
- 3.1.2. Paneles convectores:
 - De chapa de acero.
 - De fundición de hierro.
 - De fundición de aluminio
- 3.1.3. Suelos o techos radiantes por agua, con tuberías de:
 - Polietileno reticulado.
 - Polipropileno.
 - Acero.
 - Cobre.
- 4. Elementos auxiliares, como pueden ser los:
 - Grupos motobombas.
 - Elementos de regulación.
 - Depósitos de expansión.

Los vasos de expansión, que tienen la función de absorber las variaciones de volumen del agua del circuito, se dimensionan según la norma UNE 100.155-88.

Funcionamiento

El agua de la caldera se calienta hasta una temperatura aproximada a los 95°C, no debiéndose enfriar a menos de 30°C, si no es para apagarla. Con la instalación llena completamente de agua y alcanzada esta temperatura en la caldera, el fluido calefactor, transporta una cantidad de calor determinada hasta las superficies de calefacción (radiadores) donde ceden su calor al medio, produciendo un descenso de la temperatura, que suele ser de un salto térmico de unos 20°C.

El movimiento del agua se puede conseguir por termosifón (diferencia de densidad entre el agua a distinta temperatura) o por bomba. Por el primer procedimiento, la diferencia efectiva de presiones es muy pequeña (entre 50 y 500 mm.c.a.), según la altura del edificio, teniendo en las instalaciones de gran extensión horizontal, unas pérdidas de carga muy elevadas, lo que obliga a disponer de tuberías de gran sección, que hacen que el sistema sea antieconómico, consiguiendo además una circulación muy lenta y poco homogénea.

Por todo ello, hoy día, todas las instalaciones disponen de circulación forzada, cuya misión es vencer las resistencias pasivas a la circulación del agua, imprimiéndole una mayor velocidad de circulación y adaptando su presión a la pérdida de carga de la instalación, admitiendo la utilización de tuberías de menor sección, con el consiguiente ahorro económico, y además,

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

permite una circulación del agua totalmente homogénea. La instalación de las bombas, se puede hacer indistintamente en el circuito de ida o en el retorno.

Debe destacarse que, a pesar de lo dicho anteriormente, en instalaciones de combustibles sólidos con alimentación manual o en aquellas instalaciones de alimentación mecánica en la que se mantenga una cantidad de combustible apreciable en el hogar de la caldera, es imprescindible una parada accidental de las bombas de circulación de agua, ya que de no hacerse así, puede producirse una vaporización, en la caldera, de consecuencias imprevisibles.

Lo mismo en la instalación abierta, que en la cerrada, los incrementos de volumen debidos a la elevación de temperatura del agua, son absorbidos por el depósito de expansión y la eliminación del aire de la instalación se hace por medio de purgadores manuales o automáticos.

Se dispondrá a los pies de cada columna o montante una llave de paso con grifo de vaciado y a la entrada de cada radiador una válvula de regulación, termostática.

Sistemas de distribución

Según la disposición de las tuberías que enlazan las distintas superficies de calefacción con la caldera, hay que distinguir entre los siguientes sistemas:

- Sistema bitubular.
- Sistema monotubular.
- Distribución superior.
- Distribución inferior.
- Retornos directos.
- Retornos invertidos.

Tal como se indicó anteriormente, el diseño de la red de tuberías, permite realizar toda una clasificación de las instalaciones de calefacción. Seguidamente se procede a representar una serie de esquemas de instalaciones diferentes, destacando que no se representan todos los accesorios imprescindibles de la instalación (bombas, válvulas, purgadores, etc.), por lo que estos esquemas son simplemente orientativos o explicativos de las disposiciones relativas de los elementos fundamentales (caldera, emisores y tuberías) exclusivamente.

- Sistema bitubular (Fig.1.7)

Es el sistema normalmente utilizado, que consiste en que el agua sale de la caldera a través de un tubo que se constituye en la ida repartiendo el agua a través de los distribuidores y montantes, para que llegue a todos y cada uno de los radiadores de la instalación, representando

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

todo este conjunto de tuberías el circuito de ida y después de las salidas de los radiadores se constituye otro conjunto de tuberías que forman el circuito de retornos, que devuelven el agua a la caldera, después de haber cedido parte de su calor en las superficies de calefacción. La Fig. 1.6 muestra esta disposición. El sistema así constituido, funciona con total independencia y se forma un circuito cerrado entre cada radiador y la caldera, sin producir interferencia ninguna en su funcionamiento.

En la Fig.1.7 se aprecia el circuito de seguridad que une la caldera con el depósito de expansión, este circuito debe estar siempre abierto, por lo que no debe incorporarse ninguna válvula, que por inadvertencia o avería pueda quedar en situación cerrada.

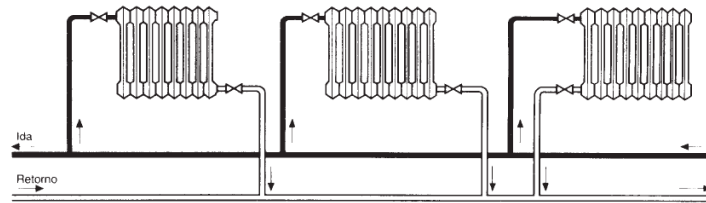


Fig.1.6.- Colocación de radiadores en sistema bitubular

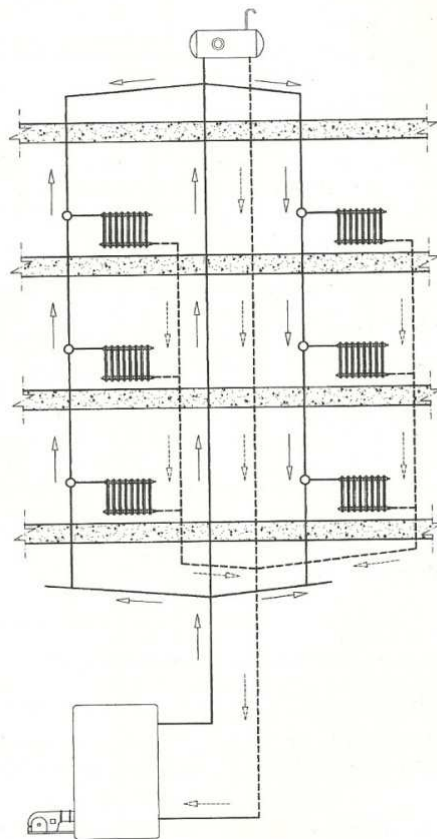


Fig. 1. 7.- Sistema bitubular

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

- Sistema monotubular(Fig. 1.10)

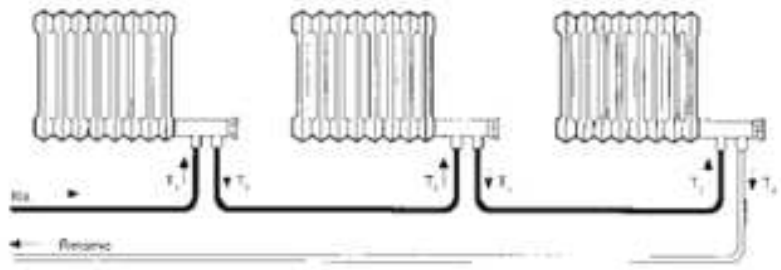


Fig.1.8- Instalación de radiadores en sistema monotubo

Como su propio nombre indica, utiliza un solo tubo (Fig.1.8) estando colocados los radiadores en serie, y la salida o retorno del agua de un radiador alimenta al siguiente y así sucesivamente.

El sistema precisa de unas válvulas especiales, que regulan el caudal de paso hacia el radiador, haciendo que una parte, variable, pase a éste y desviando el resto del caudal, junto al retorno del radiador, hacia el cuerpo emisor siguiente. Esta válvula se ve en el detalle de la Fig. 1.9.

Este sistema, se suele utilizar en edificios de gran altura y en instalaciones realizadas en viviendas ya construidas, que no se habían dotado de instalaciones de calefacción (rehabilitaciones).

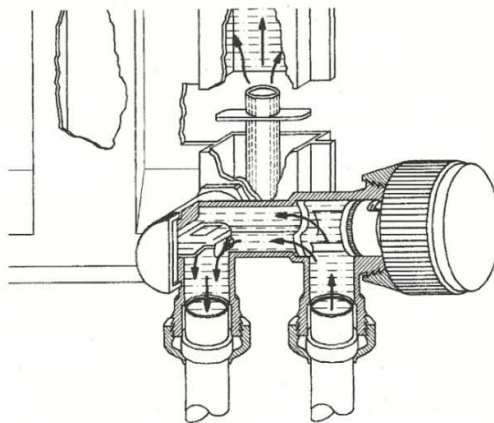


Fig. I.9.- Válvula monotubo

Fundamentalmente se utiliza en instalaciones de alta temperatura ya que como acaba de verse el agua se va enfriando al pasar sucesivamente por los distintos calefactores y al no ir a alta temperatura se produciría un enfriamiento inaceptable para las instalaciones de media o baja temperatura, que podría llegar a provocar graves averías en el generador de calor.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El sistema presenta las siguientes ventajas:

- Sencillez y economía, que se pueden cifrar en un ahorro del 30% en material y de un 50% en mano de obra.
- Posibilidad de dispersión de radiadores.
- Posibilidad de colocación de anillos independientes para un radiador o grupo de radiadores. Cada anillo tendrá una limitación de 15.000 Kcal/h y no más de 7 radiadores.

Como inconvenientes del sistema se pueden destacar los siguientes:

- Dificultad para un reparto uniforme del calor, lo que obliga a corregir la potencia calorífica de los emisores, para compensar que los que están colocados los primeros (próximos a la caldera), emitan más calor que los últimos, a los que les llega el agua más fría.
- Un cálculo más riguroso de las pérdidas de carga de la instalación, para que el agua circule sin interferencias en todos los circuitos, sin que unos estén en posición más ventajosa que otros desde el punto de vista térmico.

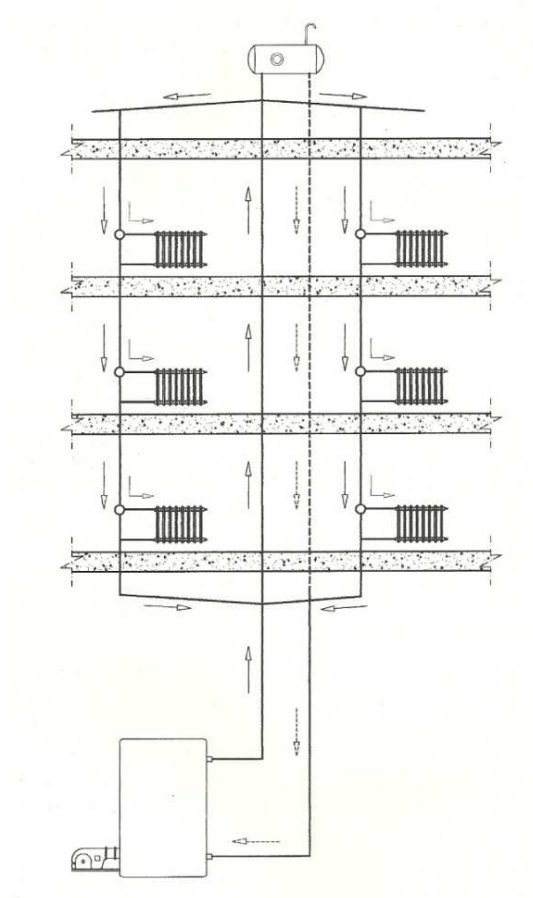


Fig. 1.10.- Sistema monotubular

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

- *Distribución superior*

En este sistema el distribuidor principal, está situado en la parte más alta de la instalación, teniendo un montante principal ascendente, que eleva el agua desde la caldera hasta el distribuidor, el cual reparte el agua hasta las columnas, que alimentan a los radiadores, las cuales son todos descendentes. Esta distribución puede observarse en la Fig. 1.7.

El sistema permite una circulación del agua muy activa y rápida, siendo muy adecuado para instalaciones de gran extensión horizontal y para la circulación por gravedad. Sin embargo, la ubicación del distribuidor en la parte superior del inmueble, origina problemas de instalación y por lo general, tiene más pérdidas caloríficas.

- *Distribución inferior*

Con esta distribución, como muestra la Fig.1.11, se dispone el distribuidor principal en la parte baja de la instalación, desde donde parten los montantes ascendentes hasta los radiadores. Los extremos superiores de los montantes, se suelen conectar al depósito de expansión sirviendo como tuberías de purga para la eliminación del aire de la instalación.

Este sistema es el más utilizado cuando la caldera va colocada en los sótanos del edificio, teniendo una disposición y un montaje totalmente racionales, es menos costosa y la ubicación del distribuidor en las zonas próximas a la caldera origina menos pérdidas de calor.

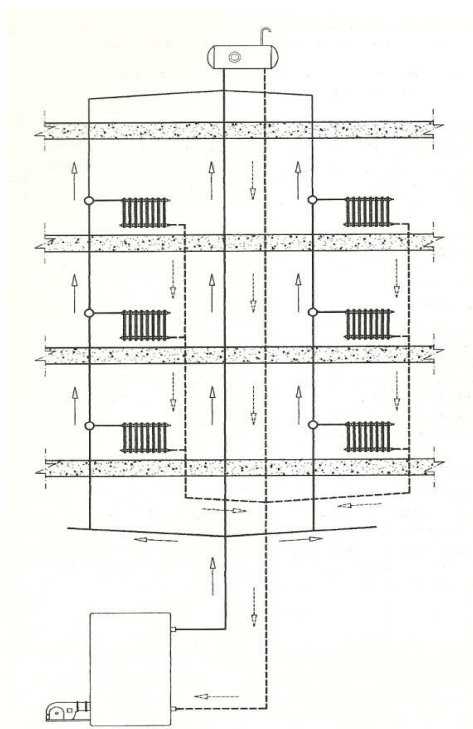


Fig. 1.11.- Distribución inferior.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

- Distribución horizontal

La Instrucción Técnica Complementaria IT.IC.04, del Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria, indica que, para el caso de las instalaciones colectivas de viviendas, deberá existir siempre la posibilidad de interrupción del servicio a cada vivienda, dejándose prevista, en todo caso, su colocación.

Ambos puntos, para poder ser cumplidos, exigen que la distribución sea en cada vivienda en horizontal, dejando en desuso, para instalaciones colectivas de viviendas, la tradicional distribución en vertical por columnas, representándose en la Fig.1.12 un esquema de distribución horizontal.

Como puede observarse en dicha figura, la instalación consiste en una o varias columnas ascendentes, que actúan como distribuidoras a la red horizontal de cada una de las distintas viviendas; estas columnas pueden ir conectadas al vaso de expansión de la instalación, en el caso de instalaciones abiertas, siempre y cuando no exista ninguna válvula que pueda cerrar el circuito de seguridad; los retornos de cada vivienda se unen a las columnas descendentes que actúan de colector cerrando el circuito.

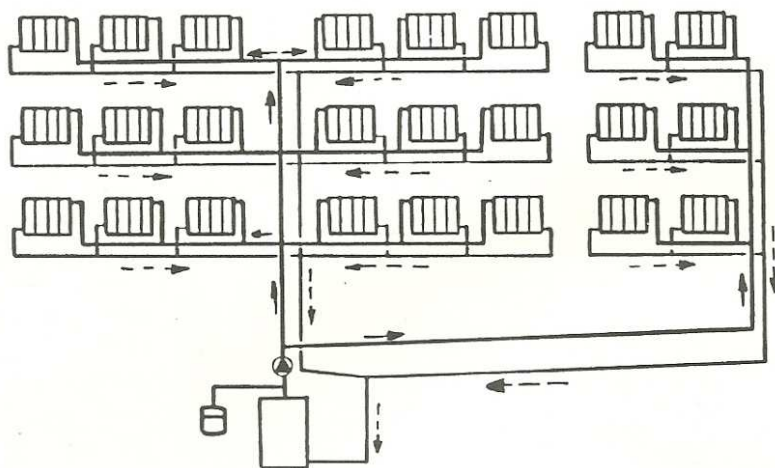


Fig. 1.12.- Distribución horizontal

- Retornos directos

Son aquellos en que la longitud de la tubería de ida y la de los retornos de cada radiador es sensiblemente igual (Fig.1.13), siendo en cambio los recorridos de tubería de un radiador con respecto a otro muy distintos, con lo que, para un mismo diámetro de tubería, las pérdidas de presión serán tanto mayores cuanto más alejado de la caldera se encuentre el radiador, con lo que el primero de ellos (respecto a su situación relativa con la caldera), recibirá mayor cantidad

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

de agua y a mayor temperatura que el siguiente, y así sucesivamente, dando como resultado una desigualdad importante en las emisiones caloríficas.

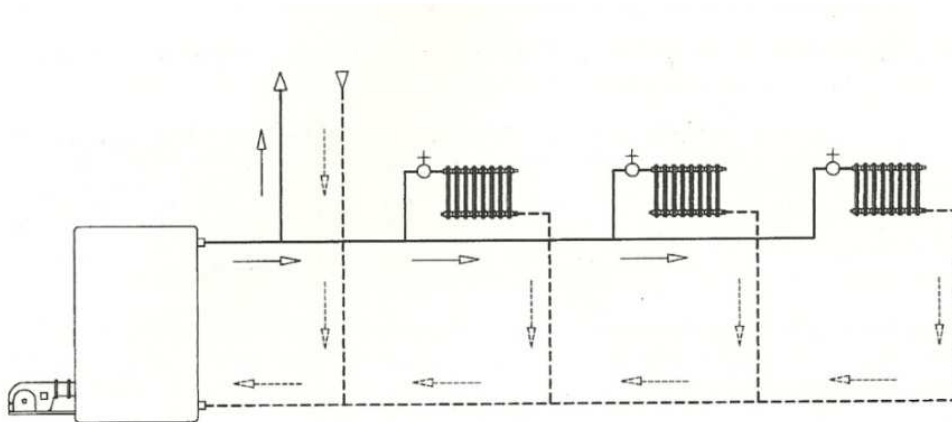


Fig. 1.13.- Retornos directos

- Retornos invertidos

Para paliar esta desigualdad en el funcionamiento de los radiadores, se disponen los retornos invertidos (Fig.1.14), consiguiendo que el recorrido de agua en la alimentación y en el retorno a la caldera, sea aproximadamente el mismo para todos los radiadores, compensando la corta longitud en las idas con las más largas de los retornos, de esta forma, las pérdidas de carga en las tuberías, para las mismas secciones se igualan, recibiendo todos los radiadores la misma cantidad de agua, y por tanto de calor, en tiempos sensiblemente iguales.

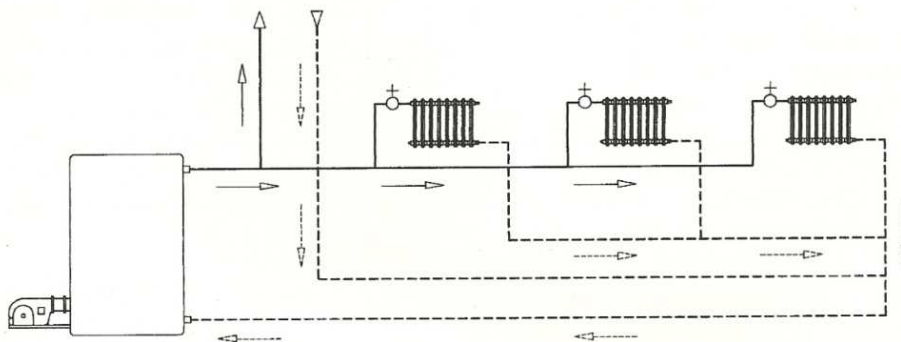


Fig. 1.14.-Retornos invertidos

Los retornos invertidos se pueden realizar con independencia, por planta (derivación) o por columnas, tal y como se representa en la Fig.1.14.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En los sistemas centralizados las distribuciones a viviendas, se pueden realizar por columnas o por anillos.

La distribución por columnas (Fig.1.15), significa el aprovechamiento vertical de los montantes, que en cada planta sirven a los radiadores, más próximos al montante, con distancias no superiores a 8 o 10 m del mismo; este sistema implica una repercusión de las averías de este montante en varias viviendas (en cada planta) y en determinadas zonas de la misma vivienda (zonificación de los montantes), sin embargo tiene un buen aprovechamiento hidráulico de la red.

La distribución por anillos, representa un sistema totalmente distinto al anterior y se refleja en la Fig. 1.16; en este caso con un mismo montante (ida y retorno) se sirve a un anillo de radiadores, que incluso puede abarcar los de una vivienda completa con lo cual se consigue una independencia total del anillo y la posibilidad de aislar la vivienda con independencia del resto, servido por el mismo montante. Esto permite la colocación en cada anillo de un contador energético y poder tarifar el consumo de la calefacción con la independencia del uso de cada vivienda y se acepta con cierto agrado, por parte de las comunidades de vecinos en los edificios de viviendas.

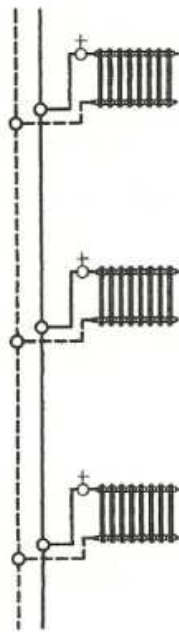


Fig. 1.15.- Distribución por columnas

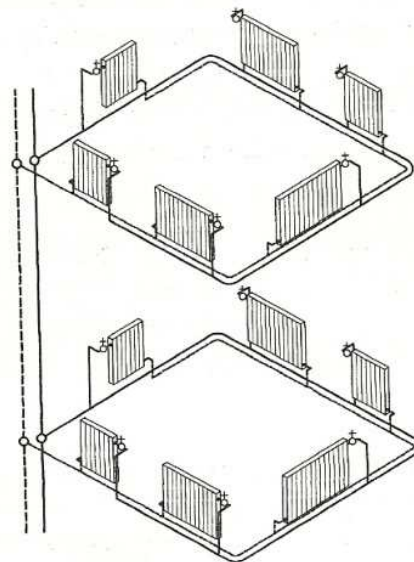


Fig.1.16.-Distribución en anillo

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Concretando: al definir una instalación de calefacción por agua caliente, es preciso indicar los siguientes sistemas:

- Tubería doble o única.
- Distribución superior o inferior.
- Retornos directos o invertidos.
- Circulación natural o forzada.

Antes de proyectar la instalación, es preciso, por tanto, definir qué sistemas se va a disponer, sopesando toda una serie de condicionantes, tipos de edificación, disposición, utilización, características de los locales, energía a emplear, etc.

Por último, se presenta una breve descripción de los sistemas de calefacción por agua cuando se trata de calefacción individual por pisos en edificios de viviendas, calefacción individual para viviendas unifamiliares y calefacciones centralizadas por edificio.

Calefacción individual por pisos en edificios de viviendas

La producción de calor se realiza mediante calderas murales mixtas para calefacción y producción instantánea de agua caliente sanitaria, o mediante calderas de las denominadas “de un solo servicio”, y con producción de agua caliente sanitaria por acumulación. Estas últimas se utilizan, en los casos en que interesa usar varios grifos de agua caliente simultáneamente.

Tanto unas como otras pueden ser tanto de tiro natural, como de tiro forzado, o estancas. La distribución se realiza mediante tuberías de cobre o acero, con sistema de distribución monotubular o bitubular, dependiendo de la calidad de la instalación, y de la superficie de la vivienda y del número de radiadores que tenga.

En las instalaciones monotubulares, cada circuito debe alimentar a cinco emisores como máximo, y cuando exista más de un anillo, se debe disponer una llave de corte en cada uno de ellos.

Las instalaciones bitubulares pueden ser de retorno directo y de retorno invertido. El segundo tiene la ventaja sobre el primero de que la red de tuberías queda siempre equilibrada, debido a que los caminos que tiene que recorrer el agua para llegar a cualquier radiador son iguales. Es recomendable usar ese sistema siempre que la diferencia de presión máxima entre dos radiadores supere el 10% del total.

Los emisores son del tipo de los expuestos anteriormente, siendo los más utilizados los de panel convector de chapa de acero, debido a su menor coste.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El combustible suele ser gas natural o gas propano y la evacuación de humos de combustión se realiza mediante chimeneas tipo shunt hasta la cubierta del edificio, salvo para las calderas estancas que pueden estar embocadas directamente a las fachadas.

En la Instrucción Técnica ITE 09 se fijan las condiciones particulares que deben cumplir las instalaciones individuales para viviendas, que son de potencia térmica nominal menor que 70 Kw; en ella se hace hincapié en que los generadores mixtos tendrán dos niveles de potencia, uno para cada servicio, y que su selección debe ajustarse en su nivel de potencia de calefacción a la demanda de dicho servicio.

En la acometida de reposición del circuito de calefacción debe colocarse un dispositivo de retención con la red de agua potable. Las tuberías empotradas deben protegerse con vainas que permiten su libre dilatación.

Estas instalaciones deben estar dotadas de un dispositivo de regulación, con un termostato o con un regulador actuado por la señal de una sonda de temperatura situado en el local más característico.

En la Fig. 1.17 se representa una instalación individual de calefacción en una vivienda. En la Fig.1.18 se representa una instalación individual de calefacción y producción instantánea de agua caliente sanitaria. En la figura 1.19 se representa una instalación de calefacción y producción de agua caliente sanitaria por acumulación.

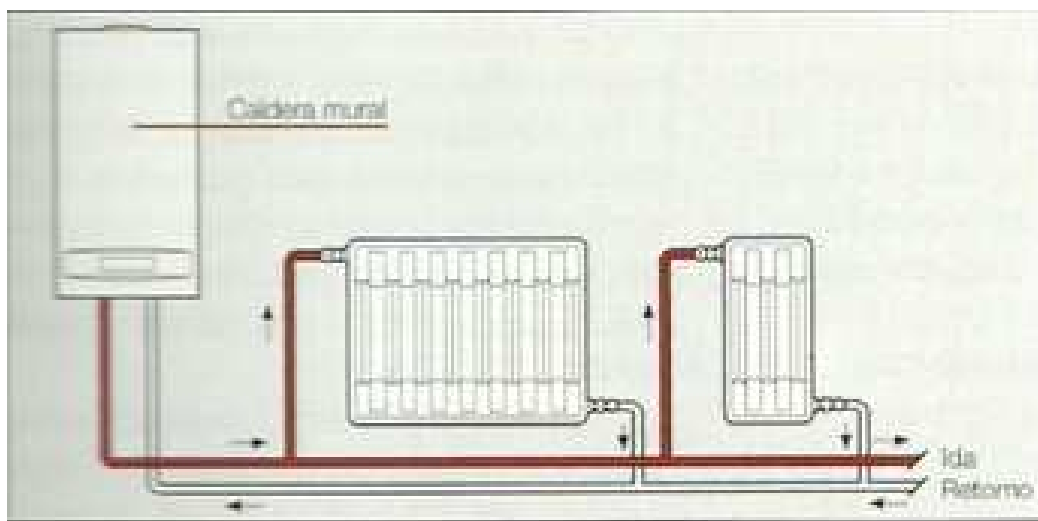


Fig. 1.17. – Calefacción individual en viviendas

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

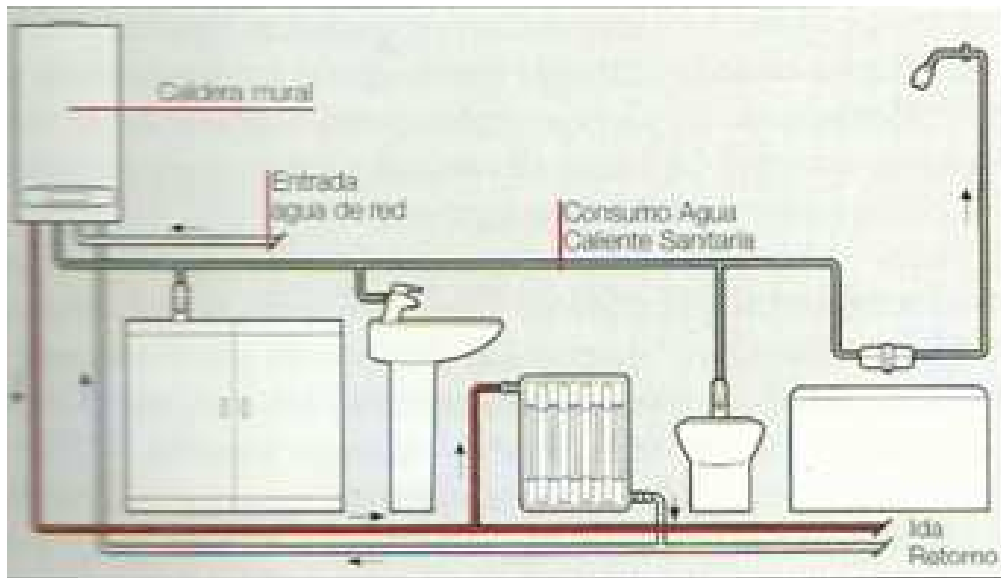


Fig.1.18.- Calefacción individual y producción A.C.S. instantánea en viviendas

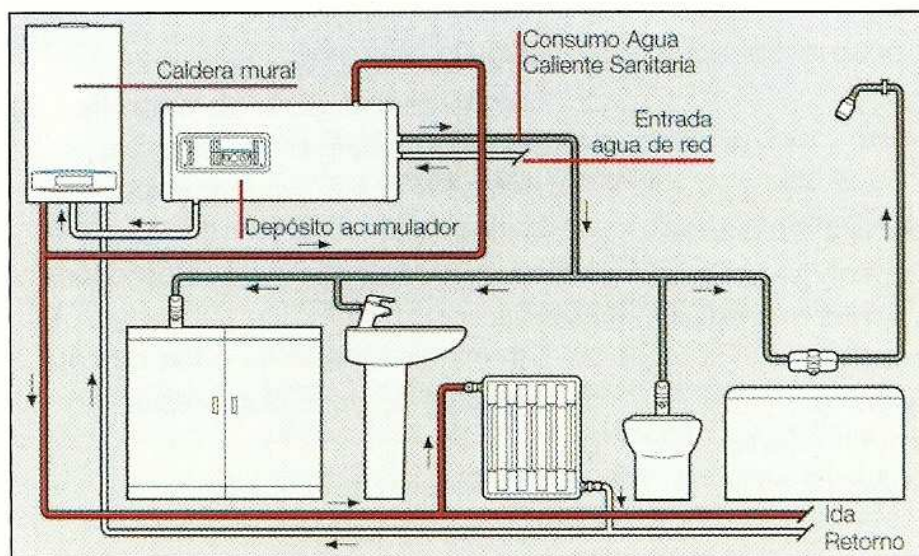


Fig. 1. 19.- Calefacción individual y producción A.C.S. por acumulación en viviendas

Calefacción individual para viviendas unifamiliares

Si la vivienda unifamiliar es de pequeñas dimensiones, se utilizan sistemas iguales a los de los pisos de un edificio de viviendas. Si es de dimensiones mayores, ya hay que pensar en la utilización de grupos térmicos con producción de agua caliente sanitaria por acumulación.

En las viviendas unifamiliares, el combustible suele ser, o bien gas que puede venir canalizado o de un tanque de almacenamiento, o bien gasóleo que proviene de un tanque de almacenamiento enterrado en la parcela de la vivienda.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Otro tipo de instalación que se hace en estas viviendas es la de Suelo Radiante por Agua. La alimentación de agua caliente para el suelo radiante hay que hacerla a baja temperatura, por lo que para poder utilizarlo hay que utilizar válvulas mezcladoras o intercambiadores de calor.

En estas instalaciones, y dada la gran inercia térmica que consiguen, hay que utilizar un control predictivo, que tenga en cuenta las variaciones de la temperatura ambiente para actuar. Esta inercia es un inconveniente para la puesta en marcha de las vivienda que utilizan este tipo de instalación, ya que desde que se pone en marcha la caldera hay que calentar la masa del forjado antes de que el calor pase al ambiente, por lo que no es recomendable en viviendas de fin de semana, ni en las que no tenga un uso continuado, porque no hay posibilidad de realizar una rápida puesta a régimen.

Otro aspecto a considerar en las instalaciones de suelo radiante es que, en climas fríos, si la vivienda no está bien aislada, existe el riesgo de que no sea suficiente el calor que emite para vencer las necesidades de calefacción, ya que su capacidad de emisión está limitada.

También existe la posibilidad de utilizar una instalación convencional por radiadores, o por suelo radiante, pero apoyada por algunas unidades de fan-coils que se encarguen de hacer una rápida puesta a régimen de la vivienda, o de suplementar la emisión de calor en días fríos.

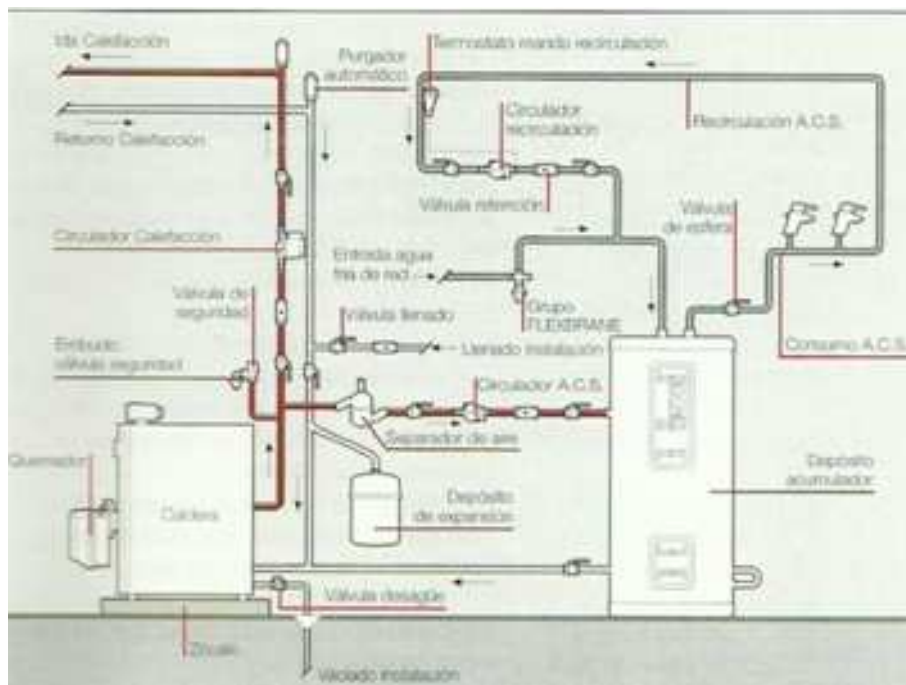


Fig. 1.20.- Calefacción y producción de A.C.S. por acumulación en viviendas unifamiliares

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Calefacciones centralizadas por edificio

En ella se dispone de una central de producción de calor por bloque, que se encarga tanto de la calefacción como de la producción del agua caliente sanitaria por acumulación, para todo el edificio, distribuyéndose ambas a los diferentes pisos mediante las correspondientes redes de tuberías, y con un sistema de control centralizado para la medición individual de consumos.

En los edificios de apartamentos, además de éste esquema existe también el que utiliza como unidades terminales fan-coils de apartamento sin toma de aire exterior, y con red de conductos de impulsión con una salida de aire por habitación. Otro esquema para estas instalaciones centralizadas, es que la producción de A.C.S. se realice mediante intercambiadores por vivienda.

En la Instrucción Técnica ITE 02 se fijan las condiciones particulares que deben cumplirse en el diseño de las instalaciones de calefacción y producción de agua caliente sanitaria para este tipo de usos. En particular se hace referencia a las condiciones de seguridad y a las correspondientes a la generación y distribución de calor, el fraccionamiento de potencia en las centrales de producción de calor, las salas de máquinas en las que se hace referencia a la norma UNE 60601, y las condiciones de preparación centralizada del agua caliente sanitaria.

En particular la ITE 02.11.2.2 Instalaciones colectivas para edificios de viviendas, especifica que las instalaciones de calefacción dotadas de radiadores o convectores tengan, para cada circuito de zona del edificio, un sistema centralizado para control de la temperatura del agua en función de la temperatura exterior y válvulas termostáticas en todos los radiadores situados en los locales de la vivienda, exceptuando locales como aseos, cuartos de baño, cocinas, vestíbulos y pasillos. Asimismo deben disponerse los controles siguientes:

1. Para instalaciones de agua caliente en instalaciones equipadas de calderas de alto rendimiento: un control de temperatura en función de la temperatura exterior en el agua que circula en las calderas.
2. Para instalaciones de agua caliente en instalaciones equipadas de calderas convencionales: un control de temperatura en función de la temperatura exterior solamente en los circuitos secundarios.
3. Para instalaciones de agua caliente en instalaciones equipadas de bombas de calor: un control de temperatura fija o variable en función de la temperatura exterior.
4. Para agua de circuitos cerrados del foco frío y caliente de las bombas de calor agua-aire: un control de temperatura mantenida entre dos límites establecidos en el proyecto.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Para repartir los gastos correspondientes los consumos de calor para calefacción, y para producción de agua caliente sanitaria, se prevé lo siguiente:

En los tramos de acometida de las instalaciones de calefacción se instalará un dispositivo de regulación del tipo todo-nada, controlado por un termostato, y un contador de consumo de energía térmica, que permita la medida del consumo de cada vivienda.

Asimismo las instalaciones de producción centralizada de agua caliente para usos sanitarios deberán estar equipadas con un contador por cada vivienda o unidad de consumo susceptible de individualizarse.

Estos han de estar precedidos por un filtro y válvulas de corte, una de ellas precintable, que permita la interrupción del servicio a cada vivienda desde el exterior de la misma.

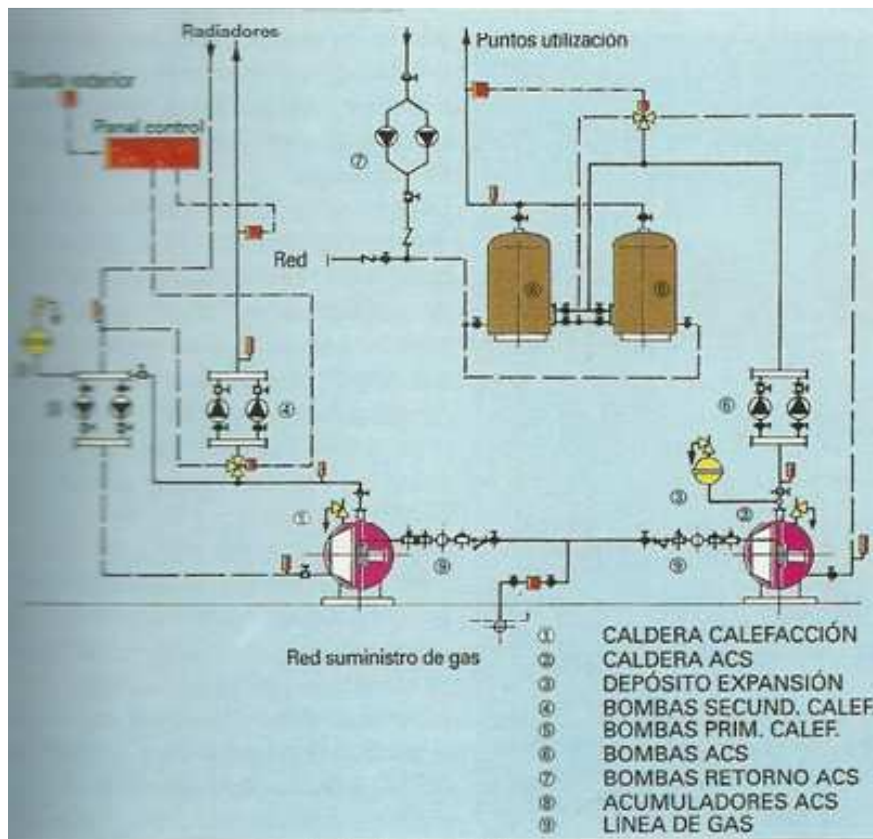


Fig. 1.21.- Calefacción y producción de A.C.S. centralizada en un edificio: combustible gas

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

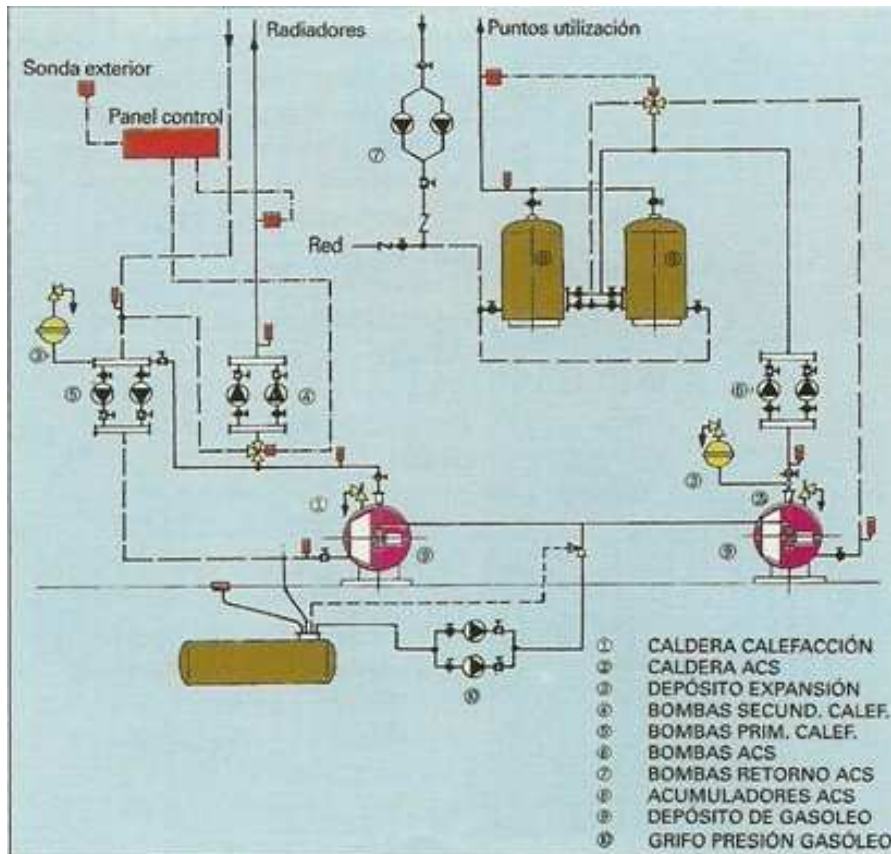


Fig. 1.22.- Calefacción y producción de A.C.S. en un edificio: combustible gasóleo

Calefacciones centralizadas urbanas

En ellas se dispone de una gran central de producción de calor para el conjunto de edificios que compone la zona urbana a calentar. Estas centrales se encargan normalmente solo de la calefacción, estando la producción de agua caliente sanitaria encomendada a calentadores individuales por vivienda, distribuyéndose a los diferentes edificios mediante unas redes de tuberías, que discurren por el exterior, generalmente en unos anillos de distribución enterrados en zanjas, o por el interior de galerías de servicios que permiten su distribución y conservación. Y por supuesto, con un sistema de control centralizado para la medición individual de consumos.

En la entrada a cada edificio se dispone de una acometida con un sistema de bombeo, que se encarga de tomar el agua caliente del anillo y recircularla por el interior de aquél, de la misma forma que hemos visto en las calefacciones centralizadas por edificio.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.3. ORGANIZACIÓN Y CONTENIDO

Este proyecto se estructura en cinco grandes capítulos. El primer capítulo, en el que nos encontramos, sirve de introducción; seguido por el capítulo 2, Radiadores de calefacción, en el que se desarrollan conceptos básicos de los radiadores de calefacción; a continuación se encuentra el capítulo 3, Método de cálculo, capítulo muy interesante en el que se define el procedimiento llevado a cabo para el cálculo de la potencia transferida; seguido por el capítulo 4, Estudio de casos, en esta parte del proyecto se muestran los resultados obtenidos en los casos estudiados; y finalmente, el capítulo 5, Resumen y conclusiones, reflexión del trabajo realizado.

El presente Capítulo 1, pretende hacer una breve introducción al objeto del proyecto y situar al lector en el contexto de realización del mismo. En primer lugar se ha explicado la necesidad que pretende cubrir los objetos que se quieren fabricar teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este proyecto. A continuación se han visto las distintas clasificaciones de los sistemas de calefacción y se han definido cada una de las tipologías. Los sistemas de calefacción se han clasificado en función del grado de concentración, de la energía transformable en calor, del tipo de emisor de calor, del trazado y diseño dentro del edificio y de la naturaleza del fluido caloportador. Finalmente se centra el análisis en los sistemas de calefacción por agua caliente, se estudian los componentes de las instalaciones, los sistemas de distribución y su funcionamiento.

El segundo capítulo describe los radiadores de calefacción. Este capítulo es necesario para conocer cómo se calcula la potencia en los radiadores convencionales. En primer lugar se definen los radiadores de calefacción, se analiza la evolución histórica partiendo de los radiadores poco estéticos hasta llegar a los radiadores de diseño actuales y se introducen todos los conceptos que se van a ver a lo largo de este capítulo. Posteriormente se definen los distintos tipos de radiadores. Se distingue entre los radiadores de elementos y paneles o placas calefactoras y también se clasifican en función del material en radiadores de fundición de hierro, radiadores de aluminio y radiadores de chapa de acero. A continuación se mencionan algunos aspectos a tener en cuenta en la instalación de radiadores, muchos de los cuales afectan a la potencia transferida por el radiador. Seguidamente se definen algunos parámetros característicos de un radiador. Se define cómo se calcula la potencia en los radiadores comerciales y algunos parámetros que deben tenerse en cuenta a la hora de calcular la potencia proporcionada. Finalmente se describe la normativa que fija las condiciones de los ensayos en los que se determina la potencia proporcionada por los radiadores.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El tercer capítulo trata de explicar el método de cálculo llevado a cabo para la obtención de los resultados de este proyecto. Se comienza con una breve descripción de los métodos matemáticos empleados para la obtención de los modelos simples de estudio, Método de los elementos finitos y Método de las diferencias finitas. El capítulo continúa con una descripción de los programas de simulación empleados, Heat2 4.0 y Comsol. A continuación se presenta el modelo de simulación usado para la tipología de tubo interno y para la tipología de tubo externo. Posteriormente se describe el método de cálculo, se cuenta detalladamente los pasos seguidos para la obtención de los parámetros que son necesarios conocer para simular los modelos de estudio. El capítulo finaliza describiendo los pasos seguidos para la implementación de los programas de simulación.

El cuarto capítulo muestra los resultados obtenidos en las simulaciones de todos los casos estudiados. Este capítulo comienza definiendo los casos estudiados para cada modelo de estudio. A continuación se muestran los resultados obtenidos en las simulaciones de los modelos de estudio. En primer lugar, se estudia cómo influyen los parámetros variables en la potencia transferida en la tipología de tubo interno y de tubo externo. El capítulo finaliza con el análisis de la influencia en la potencia transferida de la variación de la tipología.

En el capítulo 5 se hace un resumen de todo el trabajo realizado en este proyecto y se valoran los resultados obtenidos.

2. RADIADORES DE CALEFACCIÓN

2.1. INTRODUCCIÓN

De todos los emisores de calor descritos en el apartado anterior, este capítulo se centra en el estudio de los radiadores de calefacción puesto que se pretende que los elementos decorativos cumpla la función asignada a los radiadores convencionales.

Dentro del servicio de calefacción los emisores de calor son los equipos que, recibiendo como fluido caloportador agua caliente, tienen como misión transferir la energía en él contenida al local en que se encuentran instalados, de modo que se alcancen las condiciones ambientales de confort.

El radiador es, por excelencia, el emisor de calor más conocido e instalado en los espacios que requieren calefacción. Los radiadores de una instalación de calefacción por agua caliente son superficies emisoras destinadas a proporcionar, al ambiente de los locales, el calor suficiente para obtener y mantener la temperatura de confort elegida, siendo el calor total cedido la suma de la convección y la radiación. Sin embargo, aunque se mantenga el nombre de radiador a efectos comerciales, técnicamente sería más adecuado llamarles convectores, puesto que solamente emite un 20% aproximadamente de su calor por radiación y el resto básicamente por convección.

La transferencia de calor desde el agua caliente que circula por el interior del emisor de calor al local depende de las temperaturas del agua y del local. Recordemos que el calor se transmite por convección, conducción y radiación y que las tres formas tienen lugar en la transmisión de calor de los emisores. En primer lugar el agua que circula en su interior transfiere su calor a la pared metálica por convección. Una vez que el calor ha llegado a la pared metálica debe atravesarla y lo hace por conducción. Desde la superficie metálica exterior el calor pasa al local por convección y radiación.

En la Fig.2.1 se puede observar la transmisión de calor del radiador mediante los mecanismos de convección y radiación. En la transmisión de calor por convección queda reflejado el movimiento del aire en la habitación; al entrar en contacto con la superficie caliente del radiador se calienta, aumenta de volumen, disminuye su densidad y asciende, desplazando el fluido que se encuentra en la parte superior y que está a menor temperatura.

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

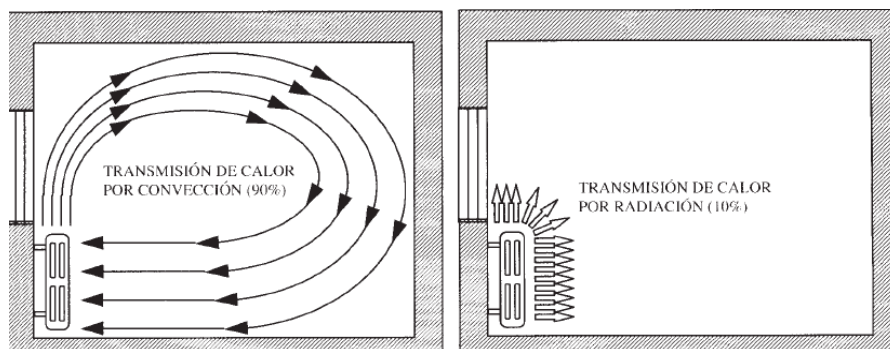


Fig. 2.1.- Representación transmisión de calor en radiadores

Es conveniente situar los radiadores en las zonas más frías del local; bajo ventanas, en la parte inferior de muros exteriores, etc., para conseguir una temperatura de confort homogénea en todo el local a calentar. Este tema será más ampliamente tratado en el apartado dedicado a los criterios a tener en cuenta para mejorar el rendimiento térmico de los radiadores.

El sector de los radiadores en España está evolucionando hacia unos requisitos mayores de calidad y diseño. En la actualidad, la oferta de radiadores es muy amplia, incluyendo desde los clásicos radiadores de hierro fundido hasta los toalleros para el cuarto de baño.

El radiador tiene su origen en el hierro fundido, material con el que todavía se fabrican modelos que tienen una magnífica aceptación gracias a su durabilidad e inercia térmica. Además, existe una oferta de radiadores de hierro fundido con estética “retro”.



Fig. 2.2.- Radiador de hierro

Los radiadores también han sufrido evoluciones, tanto estéticas como tecnológicas, avanzando hacia materiales más ligeros y económicos. Tal es el caso de los radiadores de aluminio, muy

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

difundidos durante la última década. Fabricados en aluminio extrusionado o expandido, son más ligeros y ofrecen una estética más moderna.

La gama de radiadores de aluminio es muy extensa, permitiendo adaptar el tamaño del radiador a cualquier espacio donde se requiera calefacción. La oferta de radiadores de aluminio abarca diversas alturas y longitudes. El radiador se ofrece montado en baterías de varios elementos que marcan la longitud del radiador así como la potencia térmica del mismo.

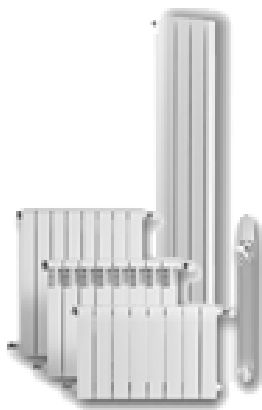


Fig. 2.3.- Radiador de aluminio



Fig.2.4.- Radiador de panel

Además, existe una oferta de paneles fabricados en acero, los cuales poseen un estilo compacto, elegante, un acabado en color blanco, y un fácil montaje.

La oferta de paneles de acero abarca alturas desde 300 hasta 800 mm y longitudes desde 300 a 3000 mm, siendo adaptables a cualquier espacio.

Otro tipo de radiadores son los radiadores toalleros para cuarto de baño, diseñados especialmente para esta estancia de la vivienda. Su funcionalidad y elegancia hacen de este tipo de radiador uno de los más solicitados por el usuario.

La oferta de radiadores para cuarto de baño es muy variada. Paneles de acero y radiadores tubulares con distintas estéticas y dimensiones; estos radiadores pueden combinar con diversos estilos de decoración y proporcionan un ambiente confortable, además del seco y cálido tacto de la toalla.

Posteriormente en el apartado dedicado a la clasificación de radiadores se profundizará sobre las propiedades que caracterizan los diversos tipos de radiadores arriba citados.



Fig. 2.5. Radiador toallero

Aquellos antiguos radiadores de gran peso, mucha capacidad de agua y elevada inercia térmica, difíciles de regular y de equilibrar y poco discretos desde el punto de vista estético, son hoy mucho más ligeros, dimensionalmente más reducidos, de poca capacidad de agua, escasa inercia térmica, excelente diseño y equipados con eficaces y fiables dispositivos de regulación y equilibrado, habiendo pasado incluso a ser, además de elementos altamente funcionales, objetos decorativos.

Por otra parte, cada vez es más frecuente su alimentación por agua a baja temperatura (inferior a los 60°C), lo que les confiere nuevas posibilidades, destacando entre otras:

- Mejor recuperación de los aportes solares e internos.
- Disminución de la estratificación térmica de los locales.
- Mejora del rendimiento de emisión.
- Disminución del consumo de energía.
- Sensible aumento del confort térmico.
- Mejora de la seguridad de utilización.

A continuación, se hace referencia a los datos de un estudio publicado en el año 2002, en el que ya queda reflejado el cambio del sector de los radiadores en España. Los datos del estudio muestran como el año anterior se había registrado un aumento del 8% en la demanda de radiadores tubulares (tubos de acero) y de diseño mientras disminuía entre un 12 y un 15% en radiadores tradicionales (de aluminio y chapa).

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

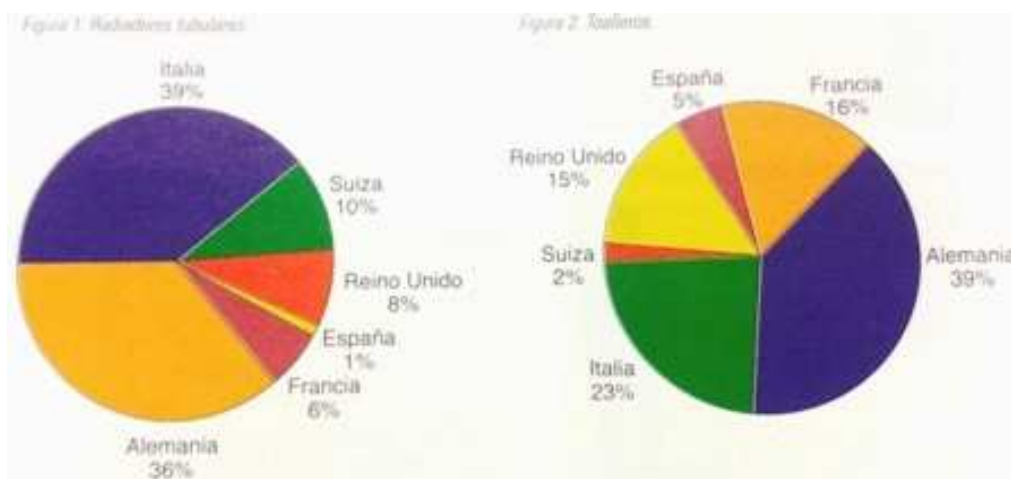


Fig.2.6.-Consumo radiadores tubulares y toalleros en Europa

España todavía lideraba el mercado europeo de radiadores de aluminio con un 57%. Le seguía Italia con un 31% y Francia con el 9%. En los demás países la presencia de radiadores de aluminio era insignificante.

En cambio, en radiadores tubulares (tubos de acero), los porcentajes eran muy diferentes (gráfico situado en la izquierda en la Fig.2.6). España ocupaba el último lugar con sólo un 1%. Italia era el país con más radiadores tubulares con un 39%, Alemania un 36% y le seguían a distancia Suiza (10%), Reino Unido (8%) y Francia (6%).

Se puede observar que era Italia, el país con una mayor preocupación por el diseño, el que tenía la mayor cuota de mercado en radiadores tubulares. Le seguía de cerca Alemania con una fuerte cultura de calidad. En España la tendencia era hacia un claro aumento de la demanda de este tipo de radiadores en detrimento de los tradicionales, gracias a una mayor cultura del confort y a una tradicional inquietud por el diseño.

Pese a las similitudes climatológicas, en Francia la situación era diferente. Se trataba del país de la UE con mayor número de radiadores eléctricos, prácticamente un 50% (2.900.000 unidades). Este modelo de calefacción era muy minoritario en el resto de países, pero el bajo precio de la energía eléctrica en el mercado galo ha facilitado su gran implantación.

El caso de los radiadores toalleros era muy similar (gráfico situado en la derecha en la Fig.2.6). Se trataba de un producto en plena expansión en España que en el último año había registrado un aumento del 15% en su demanda. Pese a este incremento, todavía se situaba en posiciones muy minoritarias respecto a otros países de Europa, nuestra participación en el mercado de toalleros es tan sólo un 5%, todavía lejos de otros países como Alemania (39%), Italia (23%) o

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

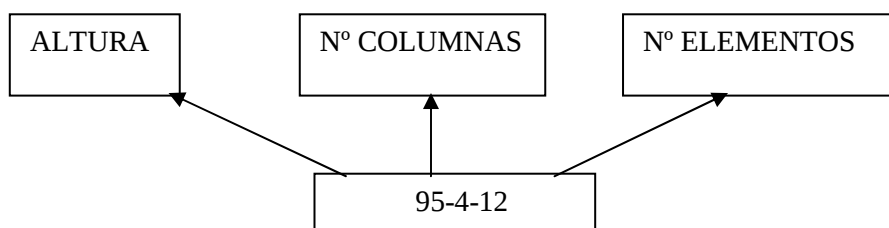
Francia (16%). La previsión para los años siguientes era una consolidación de los radiadores-toalleros en el mercado español.

Los aspectos que caracterizan un radiador son la potencia calorífica, el tipo de material utilizado en su fabricación y la estética, además de la facilidad de montaje. La forma de suministro toma especial importancia ya que debe garantizar un producto en perfecto estado una vez instalado.

Se fabrican de hierro fundido con una gran duración, de chapa de acero estampada con menor inercia térmica y menor duración, y también aluminio, que son muy decorativos y además vienen totalmente acabados, incluso pintados de fábrica.

Los radiadores se denominan por su material y la superficie total de radiación, designándose para el caso de radiadores de elementos por su altura, el número de columnas y el número de elementos, disponiéndose de la siguiente forma:

Altura (en cm) núm. columnas núm. Elementos. Ejemplo:



2.2. TIPOLOGÍAS DE RADIADORES

De acuerdo con su forma constructiva, pueden clasificarse en *radiadores de elementos* y *radiadores planos* (paneles o placas calefactoras). Según el tipo considerado y la situación del aparato en el local, pueden emitir entre un 10% y un 30% de su potencia calorífica mediante el mecanismo de radiación.

Aunque por tradición relacionamos el término radiador con el construido en hierro fundido, bajo la misma denominación se encuentran los elementos de tubos, los de tubos aleteados, los paneles y los radiadores.

2.2.1. Radiadores de elementos

Estos emisores han sido y siguen siendo los más utilizados en la calefacción por generación indirecta mediante agua o vapor. Reciben este nombre por estar constituido por un conjunto de varios elementos iguales entre sí, ensamblados por procedimientos mecánicos o bien por

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

soldadura. El radiador en su conjunto se obtiene, por tanto, como superposición repetitiva de un elemento unidad como se ve en las Fig. 2.7 y 2.8.

Cada elemento está formado por una pieza de fundición o de chapa de acero hueca, con un colector superior y otro inferior en los que se encuentran las conexiones, y ambas uniones por unas columnas en número variable (2, 3, 4, 5, ó 6), según el tipo de radiador.

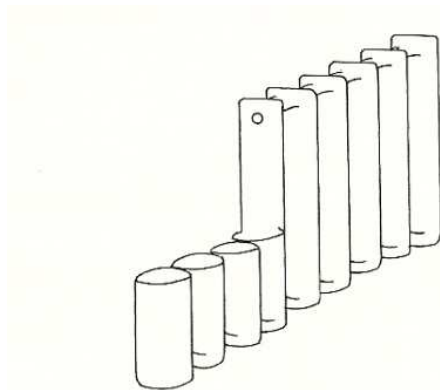


Fig.2.7.- Elementos de radiador

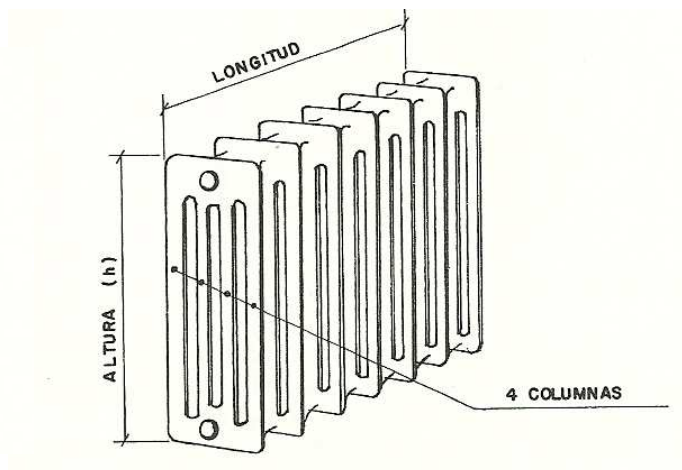


Fig.2.8- Variables radiador por elementos

Lo más frecuente es que los elementos se ensamblen entre sí a través de un manguito roscado y una junta de unión (Fig.2.9). El elemento final se cierra con un tapón igualmente roscado.

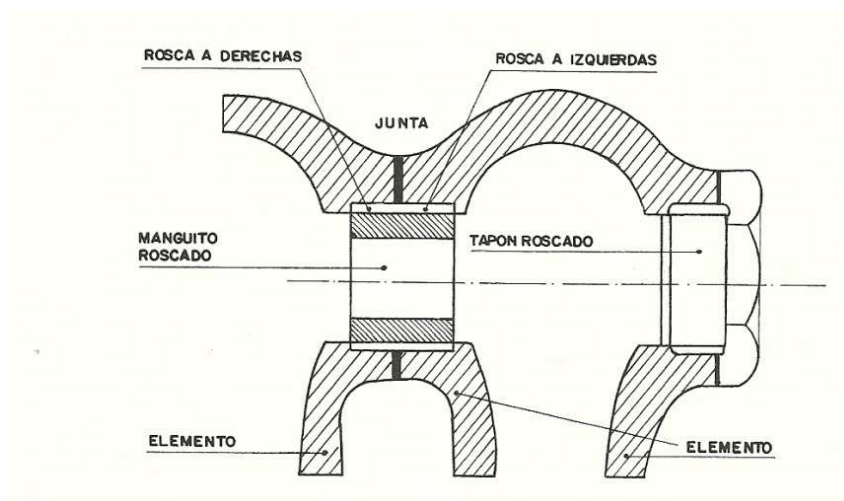


Fig.2.9- Unión de elementos de radiador

La unión de los elementos forma el conjunto cuyo aspecto frontal lo refleja la Fig. 2.10.

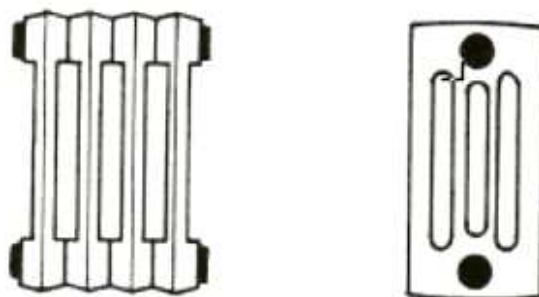


Fig.2.10.- Aspecto radiador por elementos

Como se ha visto en la introducción con un ejemplo, los radiadores por elementos se definen por:

- Su número de columnas.
- Su altura.
- Su número de elementos.
- Su longitud.

Es conveniente mayor nº de elementos y menor nº de columnas con lo que se obtiene una mayor dispersión del calor.

Los radiadores de elementos existentes en el mercado se construyen, principalmente, con hierro fundido, aluminio o plancha de acero. La forma del elemento, dentro de la configuración típica, presenta ligeras variantes según el fabricante.

Elementos de tubos y tubos aleteados:

Los elementos de tubos lisos, en ejecución en acero o en aluminio, están contruidos por dos colectores entre los que se intercalan los tubos. Los radiadores de tubos aleteados están contruidos por tubos a los que para aumentar su superficie se les ha dotado de aletas y están prácticamente en desuso.

- *Radiadores tubulares:*

Los radiadores fabricados con tubos de acero soldado tienen un espesor constante en los tubos y colectores de hasta 6 mm de espesor. La soldadura de los tubos es controlada en su totalidad por campos magnéticos de inducción. Se forman los radiadores cortando los tubos a medida y soldándolos. Se realiza la prueba de presión uno por uno.

En menor contenido en agua (hasta un 60% menos) aumenta la velocidad de respuesta del radiador, optimizando la inercia térmica y consiguiendo un calentamiento casi instantáneo.

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

Formar un radiador soldando tubos permite acoplar cualquier número de tubos con cualquier longitud. Así, el usuario dispone de cualquier potencia en cualquier espacio. Disponer de radiadores de mayor superficie a igualdad de potencia permite ganar un mayor porcentaje de radiación y disfrutar de una mejor calidad de calor.

El espesor constante de los tubos reduce las diferencias de dilatación del radiador y elimina, casi en su totalidad, los molestos crujidos de calentamiento y enfriamiento en los radiadores sin aletas.

La diversidad de modelos de este tipo de radiadores permite adaptar la estética de cada radiador al ambiente deseado. El radiador se adapta al proyecto, no el proyecto al radiador.

Otro factor importante es la durabilidad. El usuario quiere unos radiadores “para toda la vida”. Esto se consigue, además de con la calidad de fabricación y el soldado de los tubos, con los tratamientos antioxidación que permiten, además de un acabado perfecto, una garantía de por vida.

- Radiadores de tubos aleteados:

Los radiadores formados por tubos de aletas, utilizan principalmente el principio de la transmisión de calor por convección, ya que su aspecto estético obliga a ocultarlos tras una envolvente apropiada que impide la radiación.

Radiadores de hierro fundido

Aparecen en Estados Unidos en 1899, utilizándose desde entonces para instalaciones de agua caliente, sobrecalentada y vapor a baja presión. Tiene excelente resistencia a la corrosión y están constituidos por elementos (de dos, tres y hasta seis columnas) que se acoplan entre sí mediante manguitos roscados y juntas de estanqueidad. El número de elementos puede ampliarse o reducirse para adoptarlos a la potencia calorífica deseada. Los diseños actuales ofrecen grandes superficies, buena circulación de aire, resistencia mecánica, agradable estética, etc., de forma que su empleo se ha generalizado en el sector residencial. En el interior del radiador el flujo de agua se dirige desde el cubo o colector superior al cubo inferior por dos, tres y hasta seis columnas o ramas.

Este tipo de radiadores, empleados con profusión desde hace muchos años son los más duraderos y fiables, presentando como posible inconveniente el poseer una gran inercia térmica, que conlleva unos períodos de puesta a régimen más largos que los de otros tipos de radiadores, lo que puede invalidarlos en determinadas ocasiones, tales como en el caso de segundas viviendas, en las que una puesta a régimen corta es fundamental.

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

Una de sus mayores ventajas es la de poder ampliar sus elementos, a base de su fácil unión entre ellos, con lo cual se consigue aumentar la superficie de calefacción.

En cuanto a las dimensiones constructivas la altura de montaje está relacionada con la altura de la repisa de las ventanas mientras que el fondo más estrecho está relacionado con la colocación del radiador detrás de las puertas.

La distancia entre colectores, la altura y la profundidad de montaje se encuentran normalizados en DIN 4720, pero no siempre siguen los fabricantes esta norma y hay que elegir de su catálogo las dimensiones adecuadas que satisfaciendo las necesidades de potencia se acomoden a la solución arquitectónica del local.

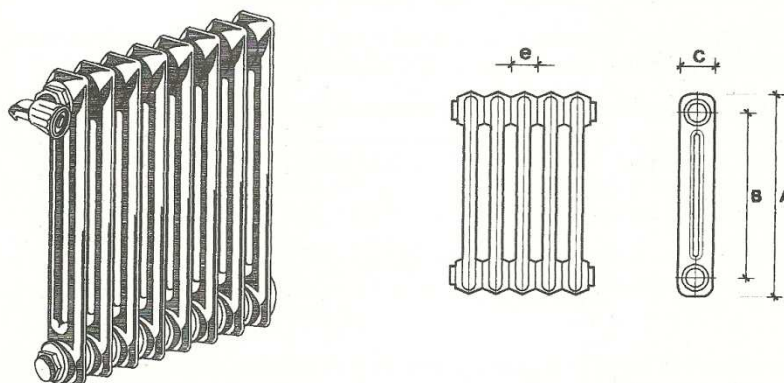


Fig.2.11.- Radiador de hierro fundido

Aunque la norma citada contiene dimensiones constructivas se construyen de los más variados tamaños. Así mismo también figuran en las normas las presiones de prueba: en la ejecución normal la máxima presión de trabajo, estática más bomba, es de 40 mca; la máxima temperatura de trabajo es de 110°C; la presión de prueba en taller, con agua fría, es de 700 KPa (7 kg/cm²); en la ejecución especial la máxima presión de trabajo, estática más bomba, es de 60 mca; la máxima temperatura de trabajo es de 140°C; la presión de prueba en taller, con agua fría, es de 1400 kPa (14 kg/cm²). Sin embargo los fabricantes someten a sus productos, en el taller, a diferentes presiones de prueba que no coinciden con esta norma; así, un conocido fabricante los somete a una doble prueba de presión, la primera con los elementos sueltos y la segunda con los elementos acoplados a la presión de 12 kg/cm².

Radiadores de chapa de acero

Se fabrican con chapa fina, calidad de embutición, sin cascarilla, de 1,25 mm de espesor. Por ello, son mucho más ligeros que los de fundición, teniendo por tanto menor masa y una menor

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

inercia térmica (permitiendo una puesta en régimen mucho más rápida), por el contrario, su resistencia a la corrosión es inferior a la fundición y en consecuencia también su duración es menor.

Según DIN 4722, el número de columnas es variable, según las gamas y modelos, así como las dimensiones de altura, de colectores y altura total. Se transportan montados en bloques completos de hasta 20 elementos que pueden unirse con otros bloques con el fin de adaptarlos a las necesidades caloríficas del local.

Entre su campo de aplicación destaca el empleo en las segundas viviendas, dada su baja inercia térmica, aunque en esta aplicación debe considerarse el posible riesgo de congelación del agua interior durante las paradas. Al efectuar la especificación de un determinado radiador, debe tenerse en cuenta la presión a que estará sometido por la columna de agua que gravita sobre él. Su inferior resistencia a la corrosión requiere ciertas precauciones frente a los restantes elementos metálicos de la instalación. Se emplean en instalaciones de calefacción por agua caliente con requisitos de presión inferiores a los que soportan los radiadores de hierro fundido. La temperatura máxima es de 110 °C.

La norma especifica las presiones de prueba y de trabajo, aunque cada fabricante expresa en sus catálogos la concerniente a sus productos.

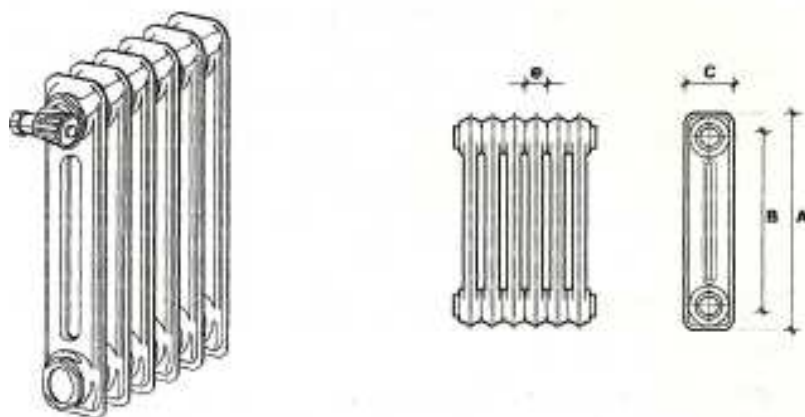


Fig.2.12.- Radiador de acero

Radiadores de aluminio

Son muchísimo más ligeros que los de acero y fundición, debido a la baja densidad de este metal respecto a los anteriores. Tienen muy poca inercia térmica, idóneos para calefacciones de

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

puesta en régimen rápidas, y son bastantes resistentes al agua pero no a las sales. Trabajan principalmente por convección ya que el aluminio tiene un coeficiente de radiación muy bajo.

Con frecuencia están constituidos por elementos aleteados longitudinalmente, lo que favorece la transmisión de calor por convección. Pueden encontrarse con los elementos soldados unos a otros, o bien unidos por manguitos roscados; en este último caso debe ponerse especial cuidado en que los manguitos de unión estén fabricados en aluminio, ya que de no ser así, caso bastante común, las diferencias entre los coeficientes de dilatación del elemento y del manguito pueden dar lugar a roturas de unos u otros y a posibles fugas del fluido caloportador.

Existen diseños estéticamente muy atractivos. Los fabricantes recomiendan la colocación de un purgador automático de boya en cada radiador para eliminar el peligro de rotura que la acumulación de hidrógeno procedente del agua de la instalación puede provocar cuando están cerrados.

Fabricados en aleaciones de aluminio y generalmente cobre en proporciones variables, según el procedimiento de obtención, que normalmente es mediante inyección o por extrusión, requiriéndose, en este último caso, efectuar soldaduras con los consiguientes riesgos.

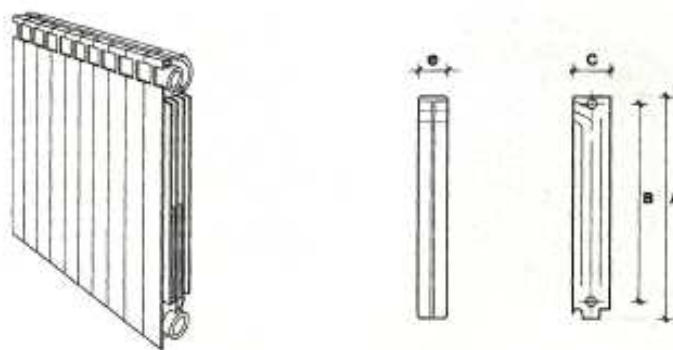


Fig.2.13. –Radiador de aluminio

Su resistencia a la corrosión es buena, ya que el aluminio se recubre de una película de óxido, Al_2O_3 (alúmina), altamente protectora. Las aguas que contienen bicarbonato cálcico, oxígeno, y trazas de cobre, que dificultan la formación de la película protectora, pueden producir el ataque, por picaduras, del aluminio.

Uno de los inconvenientes importantes del aluminio y sus aleaciones es que tienen baja resistencia al desgaste en las partes o componentes donde hay contacto de metal a metal.

2.2.2. Paneles o placas calefactoras

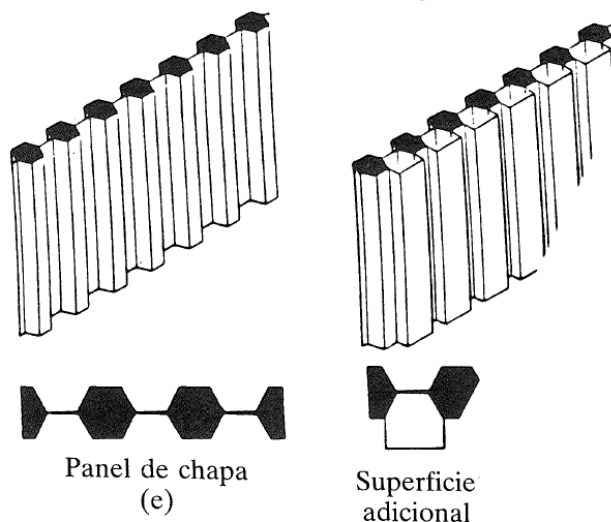


Fig.2.14- Radiadores planos de chapa o paneles

Los radiadores de panel (Fig.2.14.a) están formados por dos chapas de acero estampadas, soldadas eléctricamente por puntos, que al unirse forman unas columnas por las que circula el agua, determinando así una superficie calefactora de muy poca profundidad y de gran área. A veces, se añade una superficie adicional para aumentar la emisión de calor por convección al aire desde la cara posterior y en ese caso se suelen denominar paneles convectores (Fig.2.14.b)

Existen paneles simples, paneles convectores o dobles convectores, como se esquematiza en la Fig. 2.15. En este último caso, la unión de los dos paneles planos se hace por manguitos de unión roscados.

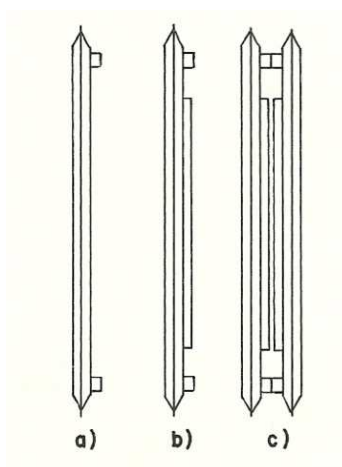


Fig.2.15.- Radiadores de panel simple (a), panel convector (b) y doble panel convector (c)

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

El aspecto frontal, variando según el fabricante, es el de la Fig. 2.16.

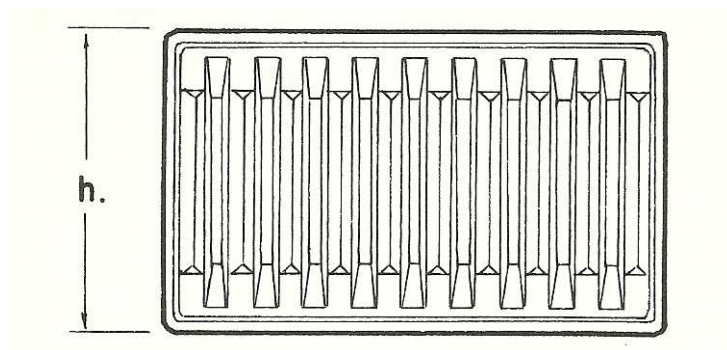


Fig.2.16.- Vista frontal de radiador de panel de chapa de acero

El relieve de la chapa corresponde a las columnas por las que circula el agua. Este tipo de radiador tiene la ventaja de ocupar menos espacio en profundidad. La Fig. 2.17 representa un esquema típico de colocación con las piezas de sujeción.

En ocasiones los paneles se construyen de doble cuerpo, con lo que se favorecen las corrientes convectivas, pero anulando la ventaja del poco volumen ocupado.

Estos radiadores se definen por su tipo (sencillo, sencillo convector, doble o doble convector) y por su altura y longitud.

En el mercado existe además una gran variedad de piezas de unión, purgadores, etc.

Su mayor ventaja consiste en que el panel proyecta el calor en la dirección en que se orienta y también en su gran facilidad de integración en el decorado.

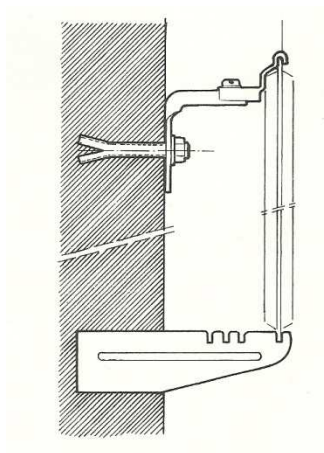


Fig.2.17.- Sujeción de un panel radiador sencilla

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

Mientras los radiadores clásicos por elementos o planos no trabajan a más de 90°C, los emisores a baja temperatura, suelo radiante o columnas calefactoras se alimentan a temperaturas no superiores a 50°C, lo que los hace apto para instalaciones de energía solar o de bomba de calor.

Hay otros modelos que consisten en unas baterías de tubos de mayor o menor diámetro, constituyéndose dentro de un panel de chapa y dispuesto para su instalación en el techo o en los paramentos verticales o suelos, constituyendo los paneles radiantes de paramento, muy utilizados en la calefacción de naves e industrias, auditorios, iglesias, gimnasios, etc.

Se caracterizan por tener grandes superficies de intercambio térmico planas, por lo que la mayor parte de la potencia calorífica es emitida por radiación. Se suelen instalar en hormacinas con la parte anterior a ras de pared, si bien pueden disponerse también delante de ella.

Los paneles radiantes, se definen por su forma, distinguiéndose tres clases fundamentales, *panel plano*, *panel convector* y *panel tubular*.

El panel plano presenta su cara exterior totalmente plana y se integra muy fácilmente con la decoración de las paredes.

El panel convector, consta de acanaladuras (chapas grecadas) y facilita la circulación del aire, proporcionando mayores rendimientos pudiendo ser simples o múltiples. Para mejorar su emisión calorífica sin perjudicar la estética, se suelen añadir en la parte posterior elementos ondulados; la parte frontal emite calor esencialmente por radiación, mientras que la parte posterior lo hace por convección.

El panel tubular, especialmente diseñado para grandes paramentos está constituido por tubos de gran longitud soldados a una chapa soporte.

En sucesivos apartados se adjunta la tabla que expresa la emisión calorífica de paneles radiante para diversos modelos, simples y con convector.

2.3. INSTALACIÓN DE RADIADORES

En su instalación se disponen (Fig.2.18) con una válvula de doble regulación (o termostática) en su entrada y salida directa a las tuberías, cediendo su calor el agua, al pasar por el interior de los elementos.

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

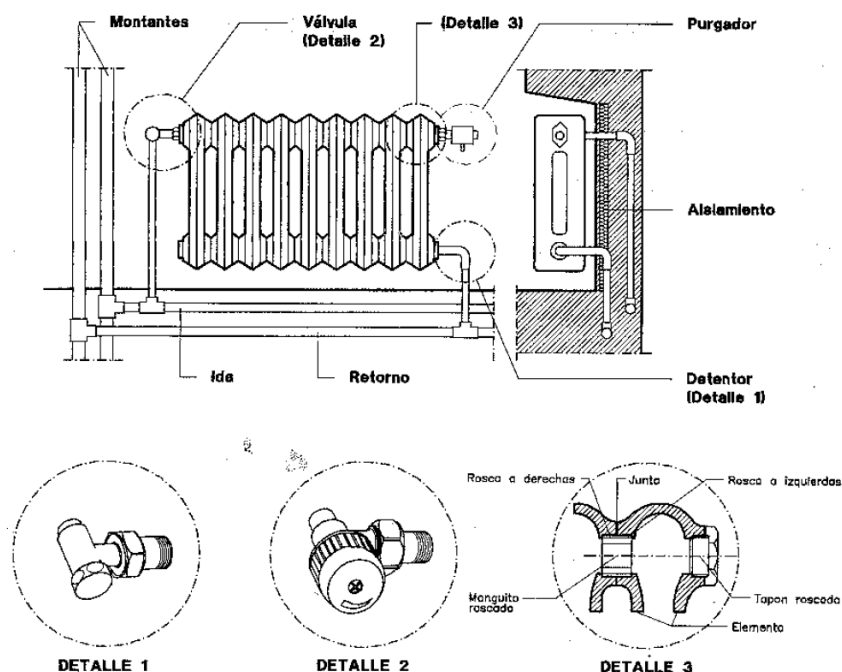


Fig.2.18.- Radiador montado

2.3.1. Situación del radiador y revestimiento

De acuerdo con la instrucción Técnica IT.IC.17 “Prescripciones específica de instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria”, el radiador permanecerá sensiblemente horizontal, apoyado sobre todas sus patas o apoyos, cualesquiera que sean las condiciones en que funcione. No ejercerá esfuerzo alguno sobre las canalizaciones.

Los radiadores de hasta 10 elementos o 50 cm de longitud tendrán como mínimo dos apoyos o cuelgues, disponiéndose otro elementos más de cuelgue o apoyo por cada 50 cm de longitud adicionales.

A ser posible, el emisor se instalará en la pared más fría, debajo de ventanas, con objeto de que la temperatura del local sea lo más uniforme posible. El aire caliente en contacto con el radiador asciende por la pared en la que está ubicado el radiador y desciende por la apuesta al mismo. Debe respetarse la distancia del emisor a la pared que recomienda el fabricante para permitir el paso de aire y evitarse repisas que dificulten la natural formación de estas corrientes de convección. Esta disposición es favorable, tanto desde el punto de vista de la eficacia de la calefacción de las piezas, como de la utilización de los espacios libres, consiguiéndose, además, una mayor uniformidad en la temperatura ambiente de dicho local. Los citados efectos son más notorios a medida que aumenta la temperatura media del radiador.

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

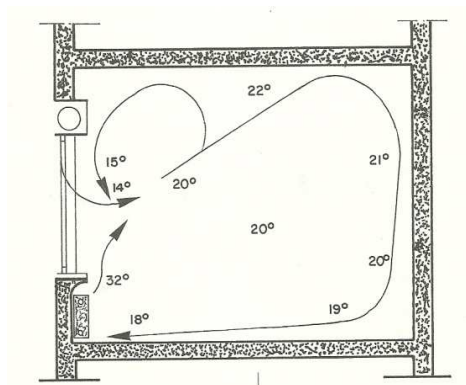


Fig.2.19.- Distribución de T^a con el radiador situado bajo ventana

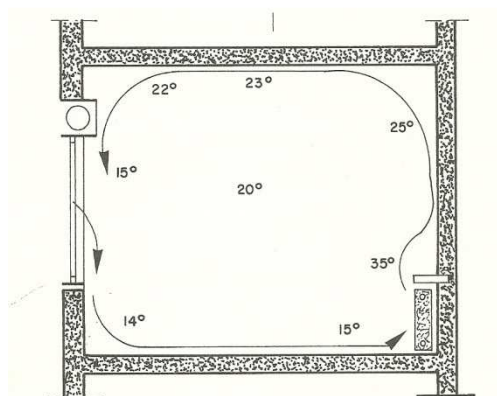


Fig.2.20.- Distribución de T^a con radiador colocado en pared opuesta a la fría

En la Fig.2.19, se muestra la situación de un radiador y el gradiente térmico de la habitación, observando la evolución del aire en el interior de la habitación, ayudado por las infiltraciones de aire frío a través de la ventana, quedando la temperatura de 20°C aproximadamente a la altura de la cabeza del usuario en la zona ocupada.

El radiador estándar se ha situado siempre correctamente a nivel del suelo. Situado correctamente abajo, del 80 al 85% de su emisión es por calentamiento del aire (convección). El aire caliente sube, circula por el techo, baja en el extremo opuesto y retorna por el suelo.

En un radiador vertical, el movimiento de aire es sólo del 50%. El resto de la emisión es por radiación, de esta forma la zona de confort es mucho mayor. Y al cubrir la pared desde el suelo, la zona fría es mínima, menor que en el radiador convencional.

Como hemos dicho anteriormente, debemos situar el radiador bajo ventana siempre que podamos, pero para conseguir realmente el máximo confort deberíamos eliminar al 100% las caídas de aire frío. Si los radiadores se colocan bajo ventanas, su altura está condicionada por la

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

del antepecho. A una potencia dada del radiador, corresponden distintas longitudes según la altura elegida. No es aconsejable escoger un modelo demasiado alto para reducir su longitud. Es mejor procurar cubrir toda, o la mayor parte de la longitud del antepecho, con un radiador bajo, lo que permitirá un adecuado calentamiento de las partes inferiores por radiación directa. Si el radiador tiene la misma longitud que la ventana, se consigue una emisión mucho más rápida y una suave cortina de aire caliente, ofreciendo el máximo confort. Debemos procurar también que la convección del aire caliente de la habitación no provoque una diferencia de temperatura entre el suelo y el techo superior a 5°C.

Si no podemos situar el radiador bajo ventana, la mejor solución es un radiador vertical que permite el 50% de convección y un 50% de radiación, ofreciendo la mejor relación radiación-convección y la mayor zona de confort.

La forma de colocar el radiador en la pared influye, pues, decisivamente en su rendimiento. Al realizar el ensayo de los emisores de calor según la norma UNE se montan los radiadores a 50 ± 5 mm de distancia de la pared y a 110 ± 10 mm del piso. Estas medidas son adecuadas tanto desde el punto de vista de la transferencia del calor al local como desde el punto de vista de su limpieza y con ellas se obtiene la potencia nominal del emisor; si se reducen esas distancias disminuye la potencia emitida. También disminuye la potencia emitida en los montajes en nicho. La emisión disminuye con el revestimiento, dándose en los catálogos la reducción ocasionada por montajes diferentes al standard.

Además, una parte de la potencia térmica, no es aprovechada por el local, sino que es cedida directamente a la pared exterior. La cara del muro enfrentada con la superficie posterior del aparato recibe calor de éste por radiación, el cual es evacuado por conducción hacia el exterior del local, determinándose así una pérdida de emisión calorífica útil del radiador. Por esta razón, cuando los emisores de calor están situados junto a un cerramiento externo, se recomienda incrementar su aislamiento térmico con una resistencia térmica mínima de $0,60 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$. En ningún caso se debilitará el aislamiento de un cerramiento exterior por la ubicación en hornacina del aparato. La colocación de radiadores en nichos habilitados en la propia pared, deberá efectuarse de tal forma que la cara superior de éste tenga inclinación ascendente hacia el local, con el fin de facilitar la convección.

Hay que evitar al máximo cubrir los radiadores, ya que se entorpece la emisión correcta del calor y hacen difícil la limpieza del radiador, de la pared y del suelo.

Los datos de potencia de los fabricantes se refieren al radiador sin revestimiento y con pintura no metálica. El revestimiento es particularmente grave en el caso de los radiadores de placas, ya

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

que se impide la transferencia de calor por radiación y si el revestimiento está muy cerca de la placa también se dificultan las corrientes de convección. Las pinturas metálicas (como el bronce de metal) reducen la emisión de los radiadores en un 10%.

El pintado (sin suspensiones metálicas de cobre o aluminio) de los radiadores tiene poco efecto sobre la emisión total de calor, siendo incluso conveniente que los fabricantes entreguen los radiadores para agua caliente a baja presión o para vapor a baja presión, con una primera capa de pintura antioxidante compatible con la pintura que se utilizará luego, para evitar la formación de desconchados. Para temperaturas elevadas del fluido calefactor, es preferible renunciar a esta primera imprimación, o, si ya la lleva, quitarla antes de la pintura definitiva.

2.3.2. Montaje hidráulico

La conexión del radiador al circuito, en redes bitubo, debe hacerse preferentemente del modo indicado en la Fig. 2.21, alimentando el radiador por la parte superior y evacuando el agua fría por la parte inferior y del lado opuesto. Las tuberías de alimentación y retorno deben tener la pendiente adecuada para favorecer la purga del aire hacia la red, evitando así su acumulación en el radiador.

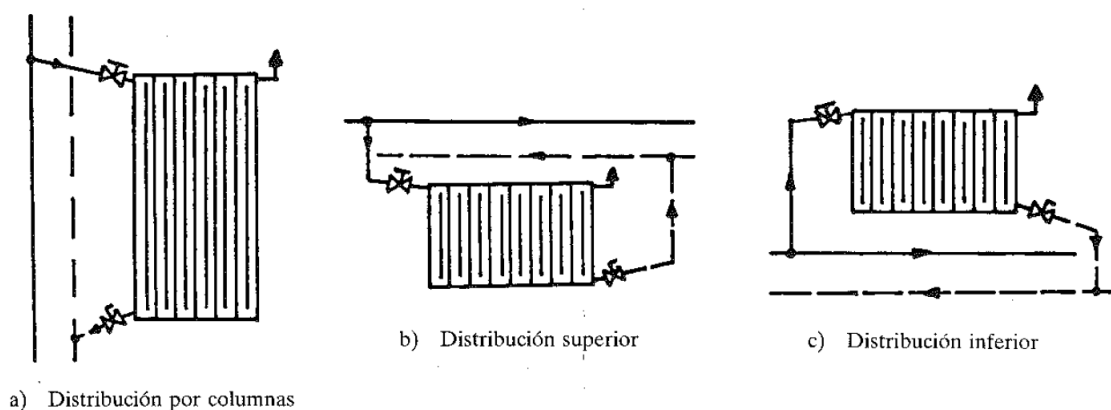


Fig.2.21.- Conexión del radiador

Cuando el radiador es muy esbelto, pocos elementos muy altos, es admisible efectuar la alimentación y el retorno por el mismo lado. También puede admitirse la conexión inferior, cuando entre el primer elemento y el segundo se haya dispuesto una unión ciega; si no fuese así, el colector inferior constituiría un cortocircuito (“bypass”) y el radiador no funcionaría.

En redes monotubo (Fig. 2.22) la conexión del radiador requiere el disponer un estrangulamiento en el conducto principal, a fin de equilibrar la pérdida de carga en éste con la

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

del circuito del radiador. Esta solución es poco recomendable, ya que determina un importante aumento en la resistencia total del circuito.

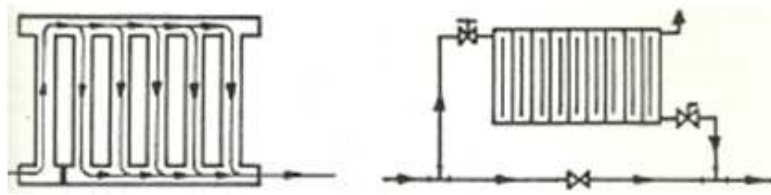


Fig.2.22.- Conexión radiador monotubo

Otra solución posible, es el empleo de una válvula de tres vías (Fig. 2.23) bien sea desviadora o mezcladora. En el primer caso se instala en la alimentación del radiador y en el segundo en el retorno.

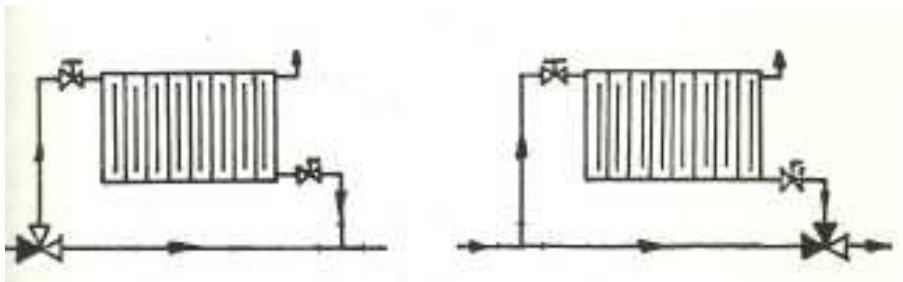


Fig.2.23.- conexión radiador válvula tres vías

Finalmente, cabe decir que también es posible conectar el radiador mediante una válvula de cuatro vías, especial para redes monotubo, cuyo esquema de principio se indica en la Fig. 2.24.

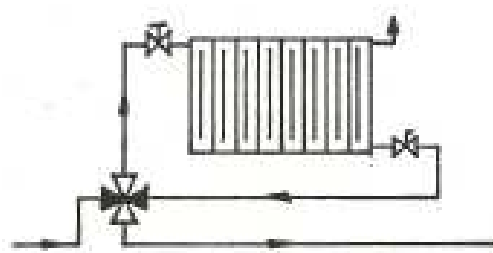


Fig.2.24.- Conexión válvula cuatro vías

La forma en que el radiador esté conectado a la red general de tuberías de distribución puede influir en el rendimiento del mismo. Si un radiador está conectado de forma que la entrada se realice por la parte superior y la salida por la parte inferior del lado opuesto, su rendimiento será el indicado en las tablas de los fabricantes. Asimismo, tampoco varía la potencia calorífica, respecto a las indicaciones de los fabricantes, cuando el radiador es conectado a la entrada por el punto superior y la salida por el punto inferior del mismo lado. Solamente, en este último caso,

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

si el radiador tiene una gran longitud (superior a los 30 elementos), convendrá subdividirlo en dos radiadores, a fin de evitar la pérdida de rendimiento consiguiente. Si el radiador está conectado a la entrada por la parte inferior y salida por la parte inferior también del lado opuesto, el rendimiento puede decrecer aproximadamente en un 15%, por lo que esta circunstancia conviene tenerla en cuenta para sobredimensionar el tamaño de la superficie de calefacción. No es conveniente situar la salida del radiador por sus puntos superiores.

En el montaje monotubo, el agua entra en la válvula monotubo del primer radiador a la temperatura t_s ; una parte (que es del orden del 35% en los paneles y del 40% en los radiadores) entra en el radiador y sale de ella a la temperatura t_{s1} . El caudal a la temperatura t_{s1} se mezcla con el 60% $\approx$ 65% que no ha entrado y se obtiene a la salida de la llave todo el caudal del anillo a la temperatura t_{s2} que es la entrada al siguiente. La emisión térmica queda afectada, tanto por la variación del caudal como por la disminución de la temperatura de entrada del agua caliente al segundo emisor, siendo debida esta nueva temperatura a la mezcla de caudales propios de la llave monotubo.

2.3.3. Efecto de la altitud

Con la altitud se reduce la densidad del aire y queda por ello afectada la convección natural. La capacidad de un radiador es reducida ligeramente por la altura sobre el nivel del mar. A 1000 metros la reducción es del 4%; a 1500 metros es del 7%.

2.3.4. Efecto de la masa

El único efecto es la velocidad con la que los locales alcanzan la temperatura de régimen. Puesto que el agua debe calentar las masas metálicas de los emisores de calor el tiempo de espera hasta alcanzarla es mayor cuanto más pesadas son.

2.3.5. Accesorios

Los emisores deben poderse aislar para poderlos desmontar en caso de reparaciones sin necesidad de desmontar alguna parte de la red de tuberías y en el montaje inicial se deben dejar ajustados al caudal de diseño. Durante la operación deben responder a las condiciones climáticas cambiantes, o al deseo de los usuarios, regulando la potencia térmica que entregan. Además, el circuito hidráulico que las alimenta debe estar equilibrado de modo que cada emisor de calor esté en igualdad de condiciones que el resto para recibir el caudal de diseño que le corresponde.

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

En lo que se refiere a los radiadores la válvula de entrada puede tener como función aislar el radiador, regular el caudal que lo atraviesa o ambas cosas. La llave de doble reglaje, que es de dos vías para la instalación bitubo y de cuatro vías para la instalación monotubo, va montada en la entrada del radiador. Esta válvula permite el paso del agua al radiador y posee una doble regulación. La primera la efectúa el instalador ajustando el caudal al valor del diseño y la segunda la efectúa el usuario abriendo o cerrando el paso; ambas regulaciones son independientes.

Cuando la válvula de entrada se usa sólo para cerrar el emisor, el denominado detentor, que se monta en la salida del radiador, permite limitar el caudal al valor del diseño. La colocación de la válvula de reglaje y enlace detentor se muestra en Fig.2.25.

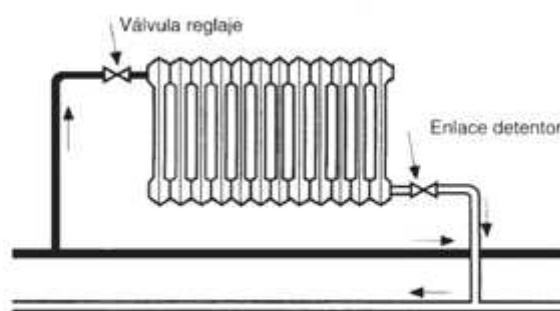


Fig.2.25.- Colocación válvula y enlace detentor

La instalación del radiador y su unión con la red de tuberías se efectuará de modo que se pueda purgar el aire hacia la red sin que queden bolsas que eviten el completo llenado del radiador o impidan la buena circulación del agua a través del mismo; en caso contrario el radiador dispondrá de un purgador de aire, automático o manual. Su finalidad es evitar el efecto aislante del aire y los ruidos que le acompañan.

Los fabricantes de radiadores suministran generalmente los accesorios necesarios para su sustentación en muros o suelo. Estos soportes podrán ser colocados durante la realización de la obra, siempre que se conozca previamente el tamaño del radiador que debe acoplarse.

Los modelos de radiador cuyas superficies anterior y posterior no son simétricas (convectores con aletas, radiadores de hierro fundido con aletas), si se tiene en cuenta las razones antedichas, sólo podrán ser colocados en una sola posición. Es muy interesante, pues, prever en los pedidos los tapones y reducciones, de forma que correspondan a los puntos donde deberán ser conectados a las tuberías.

2.3.6. Rendimiento de la regulación

Se define el rendimiento de la regulación de la instalación como la relación entre el calor que es necesario aportar al ambiente, para mantener la temperatura de confort fijada y el que realmente se suministra, descontando el exceso por desequilibrio de redes o columnas. Los requerimientos de calor son, según la climatología exterior variables a lo largo del tiempo. Si se mantiene constante la aportación de calor, habrá algún momento de máxima demanda en que ambos, aportación y requerimiento, coincidan. Fuera de ese momento, tendremos siempre un exceso de suministro que sobrecalentará los locales y tendrá como consecuencia un innecesario consumo energético.

La potencia puede regularse por variación del caudal suministrado, por variación de la temperatura de suministro o por ambas cosas a la vez.

Con combustibles líquidos y gaseosos, la temperatura del agua de entrada a los emisores de calor se mantiene constante, la del ambiente se va incrementando y la de retorno va también aumentando, disminuyendo la emisión de calor del aparato calefactor por lo que, en definitiva, el quemador temporalmente dejará de funcionar.

Los sistemas posibles para llevar a cabo esta regulación pueden ser muy diferentes; pero en definitiva, la variable independiente de esta función es o la temperatura exterior, o la interior de confort o ambas a la vez.

Con excepción de la actuación de las llaves de reglaje y de las válvulas termostáticas que estrangulan el caudal de paso del radiador, o de las válvulas de tres vías que pueden reducir el caudal de paso al anillo haciendo de by-pass, en los demás casos la regulación se efectúa sobre la temperatura del agua. El motivo de que la regulación deba hacerse actuando sobre la temperatura del fluido caloportador y no sobre el caudal o gasto de éste se encuentra en la misma ley de emisión calorífica de un radiador.

Mientras que la temperatura de entrada al emisor puede regularse tan finamente como se quiera con una válvula de tres vías y trabajar casi linealmente, la regulación del caudal trae consigo enormes problemas de desequilibrio en la distribución, peligrosas reducciones de caudal que dejarían emisores sin circulación, válvulas casi cerradas, etc.; por ello, habitualmente y en lo posible, se recurre a mantener el caudal constante en los emisores y variar la temperatura del fluido caloportador.

No obstante, haciendo referencia a los medios de regulación que actúan exclusivamente sobre el propio emisor, se dispone de procedimientos automáticos (válvulas termostáticas) y manuales

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

(llaves de radiador de doble reglaje). Las primeras regulan, debido a la fuerza ocasionada por la dilatación del fluido que contiene, el caudal del fluido calefactor que pasa a través del emisor en función de la temperatura ambiente del local en que está instalado. El elemento termosensible, situado sobre el cabezal, debe instalarse en posición horizontal con el fin de que pueda captar correctamente la temperatura ambiente y evitarse su colocación detrás de las cortinas u otros elementos decorativos que impidan un contacto directo con el ambiente. La válvula termostática debe seleccionarse para obtener el caudal de diseño cuando su apertura es el 75%. Las llaves de doble reglaje ofrecen la posibilidad de fijar la apertura máxima del paso del agua hacia el emisor, lo que permite ajustar de antemano cada uno de los emisores de la instalación de forma que no existan diferencias significativas con los valores preestablecidos en el cálculo. Una vez fijada la regulación primaria por el profesional, durante la puesta a punto de la instalación, el usuario puede variar a voluntad el calor cedido por el emisor, actuando sobre ella.

En el funcionamiento a temperatura de suministro constante y caudal variable, en la zona de bajas temperaturas exteriores, una disminución del 50% en el caudal que atraviesa el emisor de calor ocasiona una disminución de la potencia en un 30%, mientras que en la zona de temperaturas exteriores intermedias una disminución de caudal de un 10% ocasiona una disminución de potencia del 20%. En estas condiciones la estrangulación debe ir acompañada de un control central, por ejemplo la centralita de regulación con válvula de tres vías, que regule la temperatura del agua de suministro en función de la temperatura exterior o de la temperatura del local más significativo, local este último que no deberá llevar dispositivos de estrangulamiento. Finalmente indicamos que se recomienda una precisión del $\pm 10\%$ del caudal y de ± 1 a $\pm 1,5$ °C en la temperatura del agua de suministro.

2.4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE UN RADIADOR

Calculada la potencia calorífica necesaria para caldear el local a una temperatura ambiente preestablecida, debemos proceder al dimensionado de los radiadores necesarios de acuerdo con esos cálculos. Para ello es necesario conocer la temperatura media del agua contenida en un radiador (para la mayoría de los casos prácticos puede considerarse la semisuma de temperaturas de entrada y salida del mismo), la temperatura ambiente deseada (t_{amb}), las formas y lugares de instalación previstas para los radiadores, así como la geometría de la red de distribución del caloportador.

Se denomina salto térmico la diferencia entre la temperatura media del radiador y la temperatura ambiente. Los fabricantes de radiadores facilitan tablas para la elección del tamaño adecuado de los mismos en función de dicho salto térmico.

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

Conocidas todas las características anteriores, la elección de uno u otro modelo vendrá determinada por una serie de circunstancias particulares.

Si la anchura del radiador crea un obstáculo para su colocación, deberán instalarse radiadores de panel o bien radiadores de fundición o aluminio de poco espesor (tipo dos columnas).

Si la superficie ocupada en la pared por el radiador interesa que sea la mínima posible, deberá evitarse la colocación de radiadores de plancha de acero.

Si lo que interesa es que el precio de instalación sea el más bajo posible, deberán escogerse radiadores de plancha de acero.

2.4.1. Potencia térmica nominal

La potencia calorífica emitida por un radiador se expresa:

$$Q = U \cdot A_e \cdot \text{DTLM}$$

Donde

Q: emisión calorífica (Kcal/h).

U: coeficiente global de transferencia (Kcal/h.°C.m²).

DTLM: Diferencia de temperatura logarítmica media (°C).

A_e: superficie exterior del radiador(m²)

Siendo

$$\text{DTLM} = \frac{\Delta t_e - \Delta t_s}{\ln \frac{\Delta t_e}{\Delta t_s}} = \frac{(t_e - t_{\text{amb}}) - (t_s - t_{\text{amb}})}{\ln \frac{\Delta t_e}{\Delta t_s}} = \frac{t_e - t_s}{\ln \frac{\Delta t_e}{\Delta t_s}}$$

t_e: temperatura de entrada del fluido al radiador (°C)

t_s: temperatura de salida del fluido del radiador (°C)

t_{mm}: temperatura media de masa (°C)

t_{amb}: temperatura del aire ambiente (°C)

No obstante, cuando $\ln \frac{\Delta t_e}{\Delta t_s} < 4$ o, lo que es igual, cuando $\frac{\Delta t_s}{\Delta t_e} \geq 0,72$, la DTLM puede aproximarse, con error despreciable mediante la expresión:

$$\text{DTLM} = \frac{\Delta t_e + \Delta t_s}{2} = \frac{(t_e - t_{\text{amb}}) + (t_s - t_{\text{amb}})}{2} = \frac{t_e + t_s}{2} - t_{\text{amb}} = t_{\text{mm}} - t_{\text{amb}}$$

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

Por lo que en estas condiciones:

$$Q = U \cdot A_e \cdot (t_{mm} - t_{amb})$$

El coeficiente global de transferencia es función del coeficiente de película h_i del agua hacia la superficie interior del radiador, de la resistencia de conducción desde la superficie interior en contacto con el fluido caloportador a la superficie exterior y del coeficiente convectivo-radiante h_{cv+rad} de la superficie exterior del mismo, función de la convección y de la radiación. A título cualitativo se aproxima nuestro modelo de estudio a una placa plana y la expresión del coeficiente global de transferencia queda:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{K} + \frac{1}{h_{cv+rad}}$$

Para la mayoría de los radiadores, que tiene por lo general formas complicadas, la potencia se determina por vía experimental en las condiciones de intercambio térmico que son próximas a las de trabajo, y sus desviaciones, si estas condiciones cambian, se toman en consideración por medio de los coeficientes de corrección.

Los fabricantes expresan la emisión calorífica total para una diferencia de temperaturas Δt entre el emisor y la temperatura ambiental de 60°C, a la que se denomina Q_{60} , o emisión calorífica nominal, expresándose en Kcal/h por elemento, en el caso de los radiadores de hierro fundido, de aluminio y de chapa de acero, y en Kcal/h por metro para el caso de los paneles.

La potencia de los radiadores proporcionados por los fabricantes en sus catálogos se calcula, como se ha visto anteriormente, para $t_{mm} = \frac{90+70}{2}$ y $t_{amb}=20^\circ\text{C}$; por tanto, $Q = U \cdot A_e \cdot 60$

La emisión específica por m² de superficie para ese salto de 60°C varía según el tipo de radiador. En radiadores por elementos es más pequeña a medida que los elementos son de más columnas y más altos, variando para los radiadores de chapa entre 350 y 450 kcal/m².

En los radiadores de panel va disminuyendo conforme más alto es el panel como consecuencia, igual que en los de elemento, del efecto de las partes inferiores sobre las superiores.

- En panel simple varía entre 540 y 490 Kcal/m².
- En panel doble varía entre 435 y 375 Kcal/m².
- En panel simple convector varía entre 420 y 325 Kcal/m².
- En panel doble convector varía entre 366 y 260 Kcal/m².

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

En las Tablas 2.1 y 2.2 se encuentran estos valores tabulados, para un salto térmico de 60°C y la tabla 2.3 expresa la emisión calorífica de paneles radiantes para diversos modelos, simples y con convector.

La tabla 2.1 muestra la potencia emitida por radiadores de hierro fundido en Kcal/h para un salto térmico de 60°C, en función del número de elementos y de la geometría del radiador.

En la tabla 2.2 aparecen las potencias que proporcionan radiadores de chapa de acero en Kcal/h y en W para un salto térmico de 60°C, caracterizados por el número de elementos y la geometría de la sección.

En la tabla 2.5 queda reflejada la emisión calorífica de paneles radiantes para diversos modelos, caracterizados cada uno de ellos con distintas dimensiones, usando agua caliente hasta 6 bar y 110°C.

2.4.2. Influencia de las condiciones de operación

Salto térmico

Al comienzo de este apartado se ha definido el salto térmico como la diferencia entre la temperatura media del radiador y la temperatura ambiente.

Como se ha visto en el apartado 2.4.1, los fabricantes de radiadores normalmente especifican en sus catálogos las emisiones caloríficas para saltos térmicos de 60°C. La emisión calorífica para saltos de temperaturas distintos viene dada con la siguiente expresión:

$$Q_{\Delta t} = Q_{60} \cdot \left[\frac{\Delta t}{60} \right]^n$$

En la que Δt es el nuevo salto térmico y n el llamado exponente de la curva característica del emisor, obtenida por ensayo en laboratorio. El exponente de la curva característica del emisor n , en el caso de radiadores toma el valor 1,3.

El coeficiente global de transferencia U de un radiador no permanece constante al variar el salto térmico Δt . En lo que respecta a la emisión por convección y radiación, un aumento de Δt repercute en un aumento de h_{cv+rad} , y por tanto, de U .

Ensayos térmicos realizados según norma UNE-EN 442 han permitido confeccionar las tablas de emisión en función del salto térmico para cada modelo de radiador.

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

En otros casos el fabricante proporciona la potencia calorífica por elemento y para distintas temperaturas interiores (como en la Tabla 2.3- radiadores de aluminio), considerando en este caso cuatro saltos térmicos diferentes. La tabla 2.3 expresa la emisión calorífica para dos tipos de radiadores de aluminio, con diferentes dimensiones en su geometría, en función del número de elementos para cada geometría del radiador y de la temperatura ambiente.

Recubrimiento de radiadores

El calor emitido por un radiador puede verse afectado por los recubrimientos que se hagan del mismo, debido a que estos modifican de forma notable las corrientes convectivas alrededor del radiador (aumentando o disminuyendo la transmisión por convección) y en cualquier caso actúan como pantallas de radiación, reduciendo notablemente la emisión radiador. En estos casos hay que multiplicar por un coeficiente los valores de las tablas normales del fabricante.

Dicho coeficiente podrá ser inferior o superior a la unidad, según se favorezca o no las corrientes de convección del aire caliente; en la Tabla 2.4 se indican algunos valores de estos coeficientes, para casos concretos.

En el caso de montaje en hornacina, debe dejarse en la suficiente holgura para poder asegurar la limpieza, pues el polvo acumulado sobre la superficie del radiador aumenta su resistencia térmica y dificulta la convección del aire, disminuyendo así su eficacia. Las hornacinas suelen reducir un 10% la eficacia del radiador.

De todo esto se desprende, que es importante la colocación del radiador y su recubrimiento, para que su instalación sea correcta y funcione con el máximo rendimiento.

Forma del radiador

La potencia de un radiador aumenta al disminuir su altura y a igualdad de salto térmico, con respecto a la temperatura ambiente, y demás parámetros que intervienen, se obtendrá una emisión por metro cuadrado, superior con un radiador de poca altura que con otro de altura mayor. Por consiguiente, al calcular una instalación no basta tener en cuenta la superficie radiante, sino que se tendrá que considerar también la forma del radiador empleado, consultando para ello las tablas correspondientes a cada modelo de radiador, determinadas experimentalmente.

El suponer una proporcionalidad directa entre la superficie emisora y el calor transferido, sin tener en cuenta la geometría del radiador, puede resultar en un subdimensionamiento de la instalación con su correspondiente calefacción insuficiente o un sobredimensionamiento de la misma, lo que supone un coste superior al estrictamente necesario.

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

Emisión calorífica en K _{cal} /H Para $\Delta_t = 60^\circ \text{C}$ $\Delta_t = (T. \text{ medida radiador} - T. \text{ Ambiente}) \text{ en } ^\circ\text{C}$													
ELEMENTOS	Tipos												
													
1	39	50	64	44	66	92	121	147	67	87	80	106	133
2	78	100	128	88	132	184	242	294	134	174	160	212	266
3	117	150	192	132	198	276	363	441	201	261	240	318	399
4	156	200	256	176	264	368	484	588	268	348	320	424	532
5	195	250	320	220	330	460	605	735	335	435	400	530	665
6	234	300	384	264	396	552	726	882	402	522	480	636	798
7	273	350	448	308	462	644	847	1029	469	609	560	742	931
8	312	400	512	352	528	736	968	1176	536	696	640	848	1064
9	351	450	576	396	594	828	1089	1323	603	783	720	954	1197
10	390	500	640	440	660	920	1210	1470	670	870	800	1060	1330
11	429	550	704	484	726	1012	1331	1617	737	957	880	1166	1436
12	468	600	768	528	792	1104	1452	1764	804	1044	960	1272	1596
13	507	650	832	572	858	1196	1573	1911	871	1131	1040	1378	1729
14	546	700	896	616	924	1288	1694	2068	938	1218	1120	1484	1862
15	585	750	960	660	990	1380	1815	2205	1005	1305	1200	1590	1995
16	624	800	1024	704	1056	1472	1936	2352	1072	1392	1280	1696	2128
17	663	850	1088	748	1122	1564	2057	2499	1139	1479	1360	1802	2261
18	702	900	1152	792	1188	1656	2178	2646	1206	1566	1440	1908	2394
19	741	950	1216	836	1254	1748	2299	2793	1273	1653	1520	2014	2527
20	780	1000	1280	880	1320	1840	2420	2940	1340	1740	1600	2120	2660
21	819	1050	1344	924	1386	1932	2541	3087	1407	1827	1680	2226	2793
22	858	1100	1408	968	1452	2024	2662	3234	1474	1914	1760	2332	2926
23	897	1150	1472	1012	1518	2116	2783	3381	1541	2001	1840	2438	3069
24	936	1200	1536	1056	1584	2208	2904	3528	1608	2088	1920	2544	3192
25	975	1250	1600	1100	1650	2300	3025	3675	1675	2175	2000	2650	3325
26	1014	1300	1664	1144	1716	2392	3146	3822	1742	2262	2080	2756	3458
27	1053	1350	1728	1188	1782	2484	3267	3969	1809	2349	2160	2862	3691
28	1092	1400	1792	1232	1848	2576	3388	4116	1876	2436	2240	2968	3724
29	1131	1450	1956	1276	1914	2668	3509	4263	1943	2523	2320	3074	3867
30	1170	1500	1920	1320	1980	2760	3630	4410	2010	2610	2400	3180	3990

TABLA 2.1. Emisión calorífica nominal de radiadores de hierro

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

Sección	45.2	60.2	75.2	32.3	45.3	60.3	75.3	90.3
Núm. Ebo	Núm. Ebo	Núm. Ebo	Núm. Ebo	Núm. Ebo	Núm. Ebo	Núm. Ebo	Núm. Ebo	Núm. Ebo
1	50.0	58.1	67.7	135.4	157.4	186.8	217.2	250.9
2	99.9	116.2	135.4	203.0	236.1	280.2	325.8	384.8
3	149.9	174.3	203.0	270.7	314.8	373.6	434.4	511.1
4	199.9	232.4	270.7	338.4	393.5	467.0	543.0	629.2
5	249.8	290.5	338.4	406.1	472.2	560.4	651.6	766.5
6	299.8	348.6	406.1	473.8	550.9	653.8	762.2	893.8
7	349.8	406.7	541.5	541.5	629.6	747.2	885.8	1045.8
8	399.7	464.8	609.1	609.1	708.3	840.6	997.4	1177.5
9	449.7	522.9	676.8	676.8	787.0	934.0	1096.6	1284.0
10	499.7	581.0	744.5	744.5	865.7	1027.4	1206.6	1400.0
11	549.6	639.1	812.2	812.2	938.3	1107.4	1296.6	1500.0
12	599.6	697.2	879.9	879.9	1011.8	1194.6	1396.6	1600.0
13	649.6	755.3	947.5	947.5	1085.2	1279.5	1496.6	1700.0
14	699.5	813.4	1015.2	1015.2	1156.6	1364.8	1596.6	1800.0
15	749.5	871.5	1082.9	1082.9	1228.0	1450.1	1696.6	1900.0
16	799.5	929.6	1150.6	1150.6	1303.2	1535.4	1796.6	2000.0
17	849.4	987.7	1218.3	1218.3	1384.8	1620.7	1896.6	2100.0
18	899.4	1045.8	1286.0	1286.0	1466.2	1706.0	1996.6	2200.0
19	949.4	1103.9	1353.6	1353.6	1551.5	1791.3	2096.6	2300.0
20	999.3	1162.0	1421.3	1421.3	1636.8	1876.6	2196.6	2400.0
21	1049.3	1220.1	1489.0	1489.0	1722.1	1961.9	2296.6	2500.0
22	1099.3	1278.2	1556.7	1556.7	1807.4	2047.2	2396.6	2600.0
23	1149.2	1336.3	1624.4	1624.4	1892.7	2132.5	2496.6	2700.0
24	1199.2	1394.4	1692.0	1692.0	1978.0	2217.8	2596.6	2800.0
25	1249.1	1452.5	1759.7	1759.7	2063.3	2303.1	2696.6	2900.0
26	1299.1	1510.6	1827.4	1827.4	2148.6	2388.4	2796.6	3000.0
27	1349.1	1568.7	1895.1	1895.1	2234.0	2473.7	2896.6	3100.0
28	1399.0	1626.8	1962.8	1962.8	2319.3	2559.0	2996.6	3200.0
29	1449.0	1684.9	2030.5	2030.5	2404.6	2644.3	3096.6	3300.0
30	1499.0	1743.0	2100.0	2100.0	2489.9	2729.6	3196.6	3400.0

Tabla 2.2.- Emisión calorífica acero

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

			Distancia entre ejes		mm		400			
			Altura total		mm		480			
			Profundidad		mm		100			
			Ancho		mm		75			
			Temperatura ambiente en °C							
Elementos núm.	Ancho mm.	Peso Kg	16		18		20		22	
			Wat	K _a /h	Wat	K _a /h	Wat	K _a /h	Wat	K _a /h
1	75	1,450	152	131	145	125	139	120	133	114
2	150	2,900	304	261	290	250	278	240	266	228
3	225	4,350	456	393	435	375	417	360	399	342
4	300	5,800	608	524	580	500	556	480	532	456
5	375	7,250	760	655	725	625	695	600	665	570
6	450	8,700	912	786	870	750	834	720	798	684
7	525	10,150	1064	917	1015	875	973	840	931	798
8	600	11,600	1216	1048	1160	1000	1112	960	1064	912
9	675	13,050	1368	1179	1305	1125	1251	1080	1197	1026
10	750	14,500	1520	1310	1450	1250	1390	1200	1330	1140
11	825	15,950	1672	1441	1595	1375	1529	1320	1463	1254
12	900	17,400	1824	1572	1740	1500	1668	1440	1596	1368

			Distancia entre ejes		A	mm	600			
			Altura total		B	mm	680			
			Profundidad		C	mm	100			
			Ancho		D	mm	75			
			Contenido de agua				0,58			
			Temperatura ambiente en °C							
Elementos núm.	Ancho mm.	Peso Kg	16		18		20		22	
			Wat	K _a /h	Wat	K _a /h	Wat	K _a /h	Wat	K _a /h
1	75	1,950	202	175	194	168	185	160	176	152
2	150	3,900	404	350	388	336	370	320	352	304
3	225	5,850	606	525	582	504	555	480	528	456
4	300	7,800	808	700	776	672	740	640	704	608
5	375	9,750	1010	875	970	840	925	800	880	760
6	450	11,700	1212	1050	1164	1008	1110	960	1056	912
7	525	13,650	1414	1225	1358	1176	1295	1120	1232	1064
8	600	15,600	1616	1400	1552	1344	1480	1280	1408	1216
9	675	17,550	1818	1575	1746	1512	1665	1440	1584	1368
10	750	19,500	2020	1750	1940	1680	1850	1600	1760	1520
11	825	21,450	2222	1925	2134	1848	2035	1760	1936	1672
12	900	23,400	2424	2100	2328	2016	2220	1920	2112	1824

Tabla 2.3.- Emisión calorífica de radiadores de aluminio

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

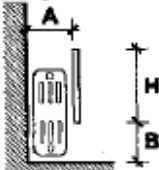
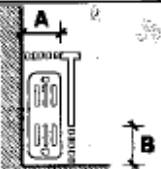
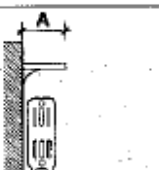
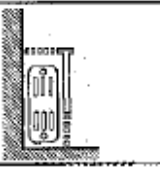
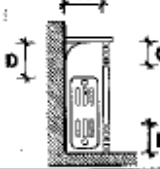
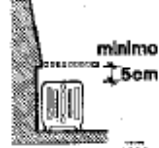
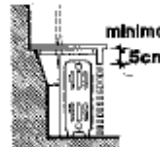
Tipo de recubrimiento	NOTAS	Coefficiente
	El coeficiente depende de la altura H, con relación a la altura del radiador. Para H = altura del radiador; B igual o mayor que 0,8 A.	1,10
	B igual o mayor que 0,8 A.	1,05
	A = mitad del ancho del radiador + 5 cm. A = ancho del radiador + 5 cm. A = 1,5 veces el ancho del radiador	0,90 0,80 0,65
	Depende mucho de que el enrejado frontal sea más o menos claro. Para enrejado muy libre.	0,80
	Solamente interviene la resistencia del enrejado: Enrejado muy libre Enrejado poco libre	0,95 0,85
	A = D; B = 0,8 A; C = 1,5 A.	1,0
	Hay que redondear la esquina: H = 0,40 a 0,45 m.	1,0
	Como mínimo una superficie igual a la superficie libre de la toma.	0,88

Tabla 2.4.- Coeficientes para corregir el calor emitido por radiadores según el recubrimiento

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

Agua caliente hasta 6 bar y 110 °C								
Datos por metro lineal								
Modelo	Dimensiones en mm			Capacidad agua l	Peso aprox. kg	Emisión calorífica por metro lineal (*)		Exponente n de la curva característica
	A	B	C			kcal/h	W	
P Pc PccP	300	240	De 300 mm	2,60	6,00	377	438	1,23
			a	2,60	7,80	628	730	1,26
			3000 mm	5,20	15,50	1220	1418	1,26
P Pc PccP	500	440	De 300 mm	3,80	10,00	625	727	1,31
			a	3,80	13,80	1004	1167	1,26
			3000 mm	7,60	27,60	1863	2167	1,26
P Pc PccP	600	540	De 300 mm	4,40	12,00	741	862	1,31
			a	4,40	16,80	1192	1386	1,31
			3000 mm	8,80	33,70	2202	2560	1,28
P Pc PccP	800	740	De 300 mm	5,60	16,00	972	1130	1,31
			a	5,60	22,90	1532	1782	1,30
			3000 mm	11,20	45,80	2684	3121	1,28

Tabla 2.5. – Emisión calorífica de paneles radiantes

2.5. NORMATIVA

La norma técnica europea EN 442 entró en vigor en nuestro país el 28 de Diciembre de 2000, publicada en el B.O.E. del 28/06/2000, la Orden Ministerial del 21 de Junio de 2000.

La norma técnica UNE-EN 442 afecta a todos los radiadores de calefacción por agua caliente.

Las principales diferencias respecto a la norma española UNE 9-015-86, derogada al entrar en vigor la EN 442, son:

- Las condiciones, procedimientos e instrumentación de los ensayos que determinan la potencia del radiador.
- La definición de potencia nominal.

En la norma técnica EN 442, la potencia nominal se define como emisión del radiador con salto térmico de 50°C, mientras que la UNE 9-015-86 se definía con salto térmico de 60°C.

Por otra parte, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.I.T.E.) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (I.T.E.), aprobado por Real Decreto 1751/1998, de 31

CAPÍTULO 2: RADIADORES DE CALEFACCIÓN

de julio I.T.E. 02.4.41 Unidades Emisoras, obliga a que su temperatura no sea superior a 80°C o a estar adecuadamente protegidos para que no pueda haber contactos accidentales.

La conjunción de norma EN 442 con R.I.T.E. observa que, si no se protegen los radiadores para evitar los contactos accidentales, nunca podrán trabajar con salto térmico 60°C como antaño se hacía. Esto implica un sobredimensionamiento de los radiadores además de un ahorro energético, resultado de disminuir las pérdidas al trabajar a menor temperatura el radiador.

Para un mismo radiador, la potencia según la norma UNE-EN 442 y según la UNE 9-015-86 es distinta: en primer lugar, debido al distinto salto térmico que cada norma contempla; y ensegundo lugar, por las distintas condiciones, procedimientos e instrumentación de los ensayos para determinar la potencia para una y otra norma. Esto queda reflejado en la Fig. 2.32.

Para ilustrar esta conclusión, analizamos el procedimiento de medida de la temperatura del agua. No es lo mismo medir la temperatura del agua de una tubería con un termómetro encima del tubo que dentro del tubo en contacto directo con el líquido; sin embargo, la temperatura del líquido es la misma.

Estas distintas formas de medición determinan una diferencia que repercute en los resultados del ensayo.

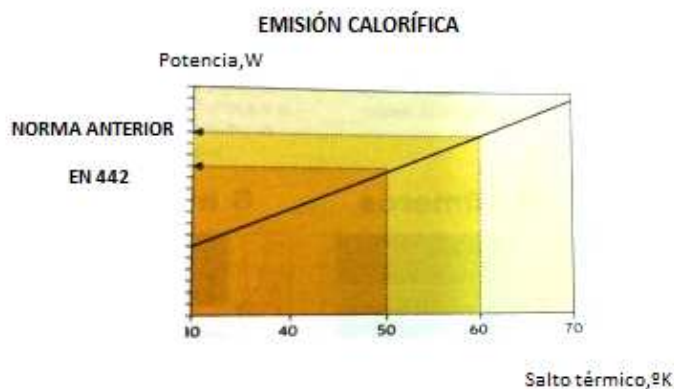


Gráfico 2.32- Comparativa de la norma anterior y norma EN 442

Las condiciones de ensayo de la potencia nominal según la nueva norma europea EN 442 son:

- Temperatura de entrada al radiador, 75°C.
- Temperatura de salida de 65°C.
- Temperatura ambiente 20°C, con lo cual el salto térmico es de 50 K.

3. MÉTODO DE CÁLCULO

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe detalladamente el procedimiento llevado a cabo para determinar la influencia de distintos parámetros en un modelo simple de estudio.

Como se ha mencionado anteriormente este proyecto surge de la idea de ampliar la oferta de elementos decorativos constituidos en aluminio dotando a dichos elementos decorativos de la función de radiador.

Es necesario conocer, por tanto, cómo influyen determinados parámetros en la potencia proporcionada por el radiador antes de construir dichos radiadores.

En el capítulo 2 se ha indicado que los fabricantes de radiadores proporcionan en sus catálogos la potencia nominal calculada con experimentos que cumplen las reglas de la normativa vigente para radiadores, EN 442. Dicha norma determina las condiciones, procedimientos e instrumentación de los ensayos que determinan la potencia del radiador así como la definición de la potencia nominal del mismo.

La obtención de la potencia siguiendo las pautas de la norma EN 442 no es factible puesto que necesitamos conocer la influencia de determinados parámetros en la potencia antes de construir los radiadores.

Por ello, se considerará que la geometría inicial del radiador será dividida a uno de los dos modelos simples que estudiaremos mediante la aplicación de los métodos matemáticos, “Método de los elementos finitos” y “Método de las diferencias finitas”.

Este proyecto se centrará en dos modelos simples rectangulares, uno caracterizado por disponer del tubo de acero, por el que circula el fluido caloportador, internamente a la lámina de aluminio mientras en el otro modelo simple el tubo es externo.

Para cada uno de los modelos simples se estudiarán mediante los programas de simulación, Heat2 4.0 y Comsol, diversos casos caracterizados por unas dimensiones concretas. Los programas de simulación permiten determinar la potencia proporcionada por el modelo en estudio antes de que exista físicamente el objeto.

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

Del estudio de cada caso se obtendrá la resistencia existente para la transferencia de calor entre el agua que circula por el interior de los tubos del radiador y el aire ambiente. Este dato permitirá al fabricante conocer la potencia cedida por dicho modelo simple a partir del valor de la temperatura del agua en el interior de los tubos. Conocida la potencia cedida por el modelo se puede obtener la potencia cedida por el radiador completo.

En primer lugar se hace referencia a los conceptos teóricos que sirven de base para la obtención del modelo simple y del método de cálculo, seguido de una breve definición de los programas utilizados para ello. A continuación aparece una descripción del radiador objeto de estudio seguida de una explicación del modelo de cálculo llevado a cabo en este proyecto. Finalmente se detalla los pasos seguidos para la implementación de dicho modelo de cálculo en los programas de simulación usados.

3.1.1. Método de los Elementos Finitos y Método de las Diferencias Finitas

Como se ha mencionado en el apartado 1.1, las formas complejas de los radiadores quedarán reducidas a modelos simples mediante la aplicación de los métodos numéricos “Método de los elementos finitos” y “Método de las diferencias finitas”.

Estos métodos numéricos, han constituido la gran alternativa, sobre todo con la aparición del ordenador, para dar soluciones aproximadas de problemas cuya formulación y/o geometría no permiten encontrar una solución analítica.

Método de los Elementos Finitos

El Método de los Elementos Finitos, desde el punto de vista ingenieril, tiene como novedad más importante el concepto de discretización del dominio en estudio. Esta discretización llevará consigo obtener una solución discreta aproximada.

El MEF permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones diferenciales, en forma débil o integral, que caracterizan el comportamiento físico del problema dividiéndolo en un número elevado de subdominios no-intersectantes entre sí denominados «elementos finitos». El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados «nodos». Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito; además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama «malla».

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

Los cálculos se realizan sobre una malla de puntos (llamados nodos), que sirven a su vez de base para discretización del dominio en elementos finitos. La generación de la malla se realiza usualmente con programas especiales. De acuerdo con estas relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales (o linealizadas). La matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos.

Método de las Diferencias Finitas

Ha sido aplicado para resolver diferentes ecuaciones diferenciales. La idea básica consiste en aproximar la derivada de la función en un punto por los valores de la función en puntos próximos. Extendiendo esta idea a todas las derivadas que aparecen en la ecuación diferencial, se consigue transformar ésta en un sistema de ecuaciones algebraicas cuyas incógnitas son los valores de la función en distintos puntos del dominio.

Es de una gran sencillez conceptual y constituye un procedimiento muy adecuado para la resolución de una ecuación bidimensional como la que se presenta como ejemplo.

El primer paso para la aplicación del método consiste en discretizar el recinto del plano en el que se quiere resolver la ecuación con una malla, en nuestro caso cuadrada. Los puntos de la malla están separados una distancia h en ambas direcciones x e y .

Podemos desarrollar $T(x,y)$ en serie de Taylor alrededor de un punto:

$$T(x + h, y) \cong T(x, y) + \frac{\partial T(x, y)}{\partial x} \cdot h + \frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial x^2} \cdot \frac{h^2}{2} + o(h^3) \quad (3.1.1.1)$$

$$T(x - h, y) \cong T(x, y) - \frac{\partial T(x, y)}{\partial x} \cdot h + \frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial x^2} \cdot \frac{h^2}{2} + o(h^3) \quad (3.1.1.2)$$

Sumando miembro a miembro (1) y (2), agrupando, despreciando los términos $o(h^3)$ y despejando el término de la derivada segunda resulta:

$$\frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial x^2} = \frac{T(x - h, y) - 2T(x, y) + T(x + h, y)}{h^2}$$

De forma similar se obtiene la expresión equivalente:

$$\frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial y^2} = \frac{T(x, y - h) - 2T(x, y) + T(x, y + h)}{h^2}$$

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

Usando la ecuación de Laplace:

$$\frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial y^2} = 0$$

Por lo tanto

$$T(x, y) = \frac{T(x - h, y) + T(x + h, y) + T(x, y + h) + T(x, y - h)}{4}$$

Lo que significa que el valor de la temperatura en un punto se puede escribir como la media de las temperaturas de los 4 puntos vecinos.

3.2. PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

La simulación por ordenador se ha convertido en una parte esencial de la ciencia y la ingeniería. El análisis digital de los componentes, en particular, es importante en el desarrollo de nuevos productos o diseños de optimización. Hoy en día hay disponible un amplio espectro de opciones para la simulación; investigadores utilizan todo, desde los lenguajes de programación básicos a paquetes de alto nivel en la aplicación de métodos avanzados.

Para considerar si lo que hace el software es fiable, es útil recordar el objetivo: quieres un modelo que describa con precisión lo que sucede en el mundo real. Una ambiental simulación por ordenador es simplemente una traducción de las leyes de la física del mundo real en su forma virtual.

Como se ha mencionado anteriormente los programas de simulación empleados en este proyecto son Heat2 4.0 para los casos de tubo interno y Comsol para los casos de tubo externo.

Para la aplicación de dichos programas de simulación, primero debíamos diseñar el modelo de nuestro caso. Esto es posible hacerlo en el mismo programa Heat2 4.0 mientras que para el empleo de Comsol es necesario dibujar antes el modelo con el programa Autocad.

3.2.1. Heat2 4.0

El programa Heat2 es un programa informático para la transferencia de calor en dos dimensiones. Existen dos versiones Heat2 versión 4.0 y Heat2W versión 1.02. En este proyecto se usará la versión Heat2 4.0.

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

Aplicaciones

Heat2 es un programa informático para la conducción de calor entre objetos en dos dimensiones en estado transitorio y estado estacionario.

Pertenece a la nueva generación de modelos informáticos de la Lund Group for Computational Building Physics. Se adapta bien a las siguientes aplicaciones dentro de la física de construcción:

- Análisis de los puentes térmicos.
- Cálculo de los valores de U de las piezas de construcción de un edificio.
- Estimación de la temperatura de una superficie (riesgo de condensación de la superficie).
- Cálculo de las pérdidas de calor en el suelo de una casa.
- Optimización del adecuado aislamiento.
- Análisis de los sistemas de calefacción por suelo radiante.
- Análisis del marco ventana.

También hay dos programas relacionados con la conducción de calor en tres dimensiones HEAT3 (Blomberg, 1998) y en coordenadas cilíndricas HEAT2R (Blomberg, 1994).

Características

- Amplias capacidades gráficas: figuras muestran geometría, materiales, mallas numéricas, condiciones de contorno, campo de temperaturas, isotermas. Características: zoom, panorámica, rotación, color/ escala de grises, alta resolución de impresión. Los flujos de calor y temperaturas arbitrarios pueden ser registrados y mostrados durante la simulación.
- Cualquier estructura que consta de rectángulos adyacentes o superpuestos con cualquier combinación de materiales puede ser simulado. Hasta 62500 (250.250) nodos puede utilizarse.
- Las condiciones de contorno pueden ser un flujo de calor dado, o una temperatura con una resistencia superficial. Las temperaturas y flujos de calor pueden variar en el tiempo por una de las siguientes funciones: sinusoidal, paso a paso, constante o lineal (datos pueden ser importados/exportados desde/a programas como Excel).
- Modificaciones disponibles: fuentes/sumideros de calor, límites internos de temperaturas prescritas, regiones internas que contienen aire o líquido a una sola temperatura, resistencias internas y la radiación en el interior de las cavidades.

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

Coordenadas cartesianas

Heat2 resuelve la mayoría de los problemas de conducción de calor que pueden ser descritos en coordenadas cartesianas. Las coordenadas rectangulares pueden ser una limitación en algunos casos, pero permite reducir la cantidad de entradas necesarias que debe introducir el usuario.

Método numérico

Heat2 resuelve la ecuación de conducción de calor por el método de las diferencias finitas explícitas. El usuario elige la malla computacional, y el tiempo de paso estable es calculado automáticamente.

El tiempo requerido para resolver un problema de estado estacionario razonablemente complicado con 10.000 nodos computacionales es usualmente menos de un minuto en un Pentium.

3.2.2. Cmsol

Cmsol Multiphysics es un paquete de software de análisis y resolución por elementos finitos para varias aplicaciones físicas y de ingeniería, especialmente fenómenos acoplados, o multifísicos.

Cmsol Multiphysics es una herramienta de modelado y análisis para la creación de prototipos virtuales de fenómenos físicos. Puede modelar virtualmente cualquier fenómeno físico que un ingeniero o científico pueda describir con ecuaciones diferenciales parciales (PDE), incluyendo transferencia de calor, movimiento de fluidos, electromagnetismo y mecánica estructural, soportando la integración de problemas de diferentes campos (Multifísica).

Las prestaciones de multifísica integradas en Cmsol Multiphysics capacitan al usuario para simultáneamente modelar cualquier combinación de fenómenos. A través de estas prestaciones, Cmsol Multiphysics integra las dos formas posibles de modelar (a través de aplicaciones predefinidas que permiten crear el modelo fijando las cantidades físicas que caracterizan el problema, y a través de las ecuaciones que modelan el problema) y permite combinarlas.

La estructura sobre la que Cmsol trabaja es un sistema de Ecuaciones Diferenciales Parciales (PDEs), una descripción matemática de varios fenómenos físicos basados en las leyes de la ciencia. Cualquier experto en su campo, que sepa cómo crear simulaciones usando PDEs puede ampliar aquellos sistemas modelando explícitamente en términos de estos tipos de ecuaciones.

Cmsol Mph. simplifica el desarrollo de aplicaciones a través del uso de la Biblioteca de Modelos, que incorpora ejemplos de diversas áreas de aplicación. A través de ellos, los

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

usuarios, sin necesidad de poseer profundos conocimientos en matemáticas o análisis numéricos, podrán construir sus modelos.

Características

- Interfaz gráfica “amigable” e interactiva para todas las etapas del proceso de modelado.
- Ilimitadas prestaciones de multifísica.
- Formulación general para un modelo rápido y sencillo de sistemas arbitrarios de PDEs.
- Multifísica multidimensional para modelado simultáneo de sistemas en 1D, 2D y 3D.
- Incorpora herramientas CAD para modelado sólido en 1D, 2D y 3D.
- Permite importar y reparar la geometría de archivos CAD en formato DXF y IGES. En particular, permite la importación de archivos creados en AUTOCAD Y CATIA.
- Generación automática y adaptativa de mallas, con un control explícito e interactivo sobre su tamaño.
- Extensa biblioteca de modelos que documentan y muestran más de 80 ejemplos resueltos.
- Disponibles los “solvers” más novedosos; entre ellos destacan, “solvers” iterativos para problemas estacionales lineales y no lineales, dependientes del tiempo y de valores propios.
- Postprocesado interactivo que permite visualizar cualquier función de la solución.
- Integración total con MATLAB y sus toolboxes.

Sectores

- Las prestaciones de modelización y simulación de Comsol, junto con las librerías disponibles para él, lo convierten en una herramienta aplicable en amplio abanico de áreas, entre las que destacamos:
- Acústica, electromagnetismo, sistemas microelectromecánicos (MEMS), Ingeniería de microondas, componentes de radiofrecuencia, dispositivos semiconductores, dispositivos semiconductores, propagación de ondas.
- Reacciones químicas, difusión, dinámica de fluidos, fluidos en medios porosos, transferencia del calor, fenómenos de transporte.
- Mecánica de estructuras.
- Física, geofísica, óptica, fotónica, mecánica cuántica.
- Sistemas de control.
- Modelización de componentes.
- Matemática aplicada.

3.3. DESCRIPCIÓN DEL RADIADOR

Los radiadores serán fabricados en aluminio mientras que el tubo, por el que circula el agua caliente, será de acero. La geometría inicial del radiador es desconocida, puesto que se trata de objetos decorativos de diversas formas a los que se le añade la función de radiador. Por este motivo, en este proyecto se estudiará la potencia proporcionada mediante dos modelos simples a los que queda reducida la geometría inicial de dichos radiadores mediante los métodos matemáticos definidos en el apartado 3.1.1, “Método de los elementos finitos” y “Método de las diferencias finitas”.

Modelo tubo interno

A la izquierda de la Fig. 3.2 aparece el modelo mediante el cual se estudia la tipología de radiadores denominada en este proyecto de tubo interno y a la derecha de dicha figura podemos ver la geometría inicial del radiador.

La dimensión horizontal del modelo está determinada por el paso entre tubos, C , del radiador original mientras la dimensión vertical, A , corresponde al espesor del radiador. Por último, para cada caso serán determinados los diámetros interior y exterior del tubo de acero, por el que circula el fluido caloportador, agua caliente en todos los casos de estudio en este proyecto. En todos los casos se supondrá que el tubo de acero se encuentra centrado en la lámina de aluminio.

Para este modelo de estudio se analizará la influencia en la potencia transmitida de variaciones en el paso entre tubos C , el espesor A y los diámetros interior y exterior del tubo de acero. Se simula el modelo para obtener la potencia transmitida variando los parámetros citados anteriormente entre los siguientes valores:

$$80 \text{ mm} < C < 200 \text{ mm}$$

$$10 \text{ mm} < A < 20 \text{ mm}$$

$$\frac{d_i}{d_e} = \left[\frac{6}{8}, \frac{8}{10} \right]$$

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

La combinación de estos parámetros origina un total de 20 casos caracterizados con distintas dimensiones.

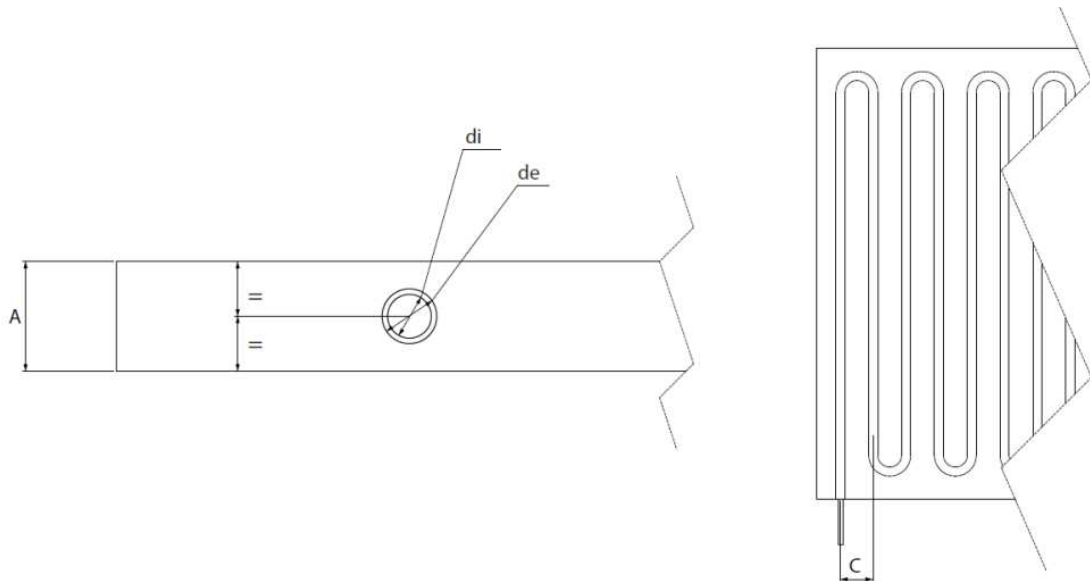


Fig.3.2.-Modelo tubo interno

Modelo de tubo externo

En la Fig. 3.3 aparece el modelo simple que será estudiado para la tipología de radiadores denominada en este proyecto de tubo externo, cuya repetición origina la geometría inicial del radiador representado a la derecha.

Para cada uno de los casos estudiados, la dimensión vertical del modelo será caracterizado por el espesor del radiador, A , mientras que la longitud en el eje horizontal corresponde al paso entre tubos, C . También será necesario definir en cada caso la distancia B existente entre el tubo de acero y la parte superior del modelo. El modelo se considera construido en aluminio y el tubo por el interior del cual circula el agua caliente fabricado en acero y caracterizado por las dimensiones del diámetro interior y exterior. En todos los casos se supondrá que el tubo de acero se encuentra centrado respecto a la dimensión horizontal del modelo.

Al igual que para el caso de tubo interno el modelo de tubo externo se simula para obtener la potencia proporcionada variando el espesor A de la lámina de aluminio, el diámetro interior y exterior del tubo de acero y el paso entre tubos. En cada caso simulado los parámetros mencionados adquieren un valor distinto que varía dentro de los siguientes intervalos:

$$80 \text{ mm} < C < 200 \text{ mm}$$

$$6 \text{ mm} < A < 20 \text{ mm}$$

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

$$\frac{d_i}{d_e} = \left[\frac{6}{8}, \frac{12}{15} \right]$$

La combinación de estas dimensiones que caracterizan el modelo origina un total de 72 modelos distintos que se deben simular.

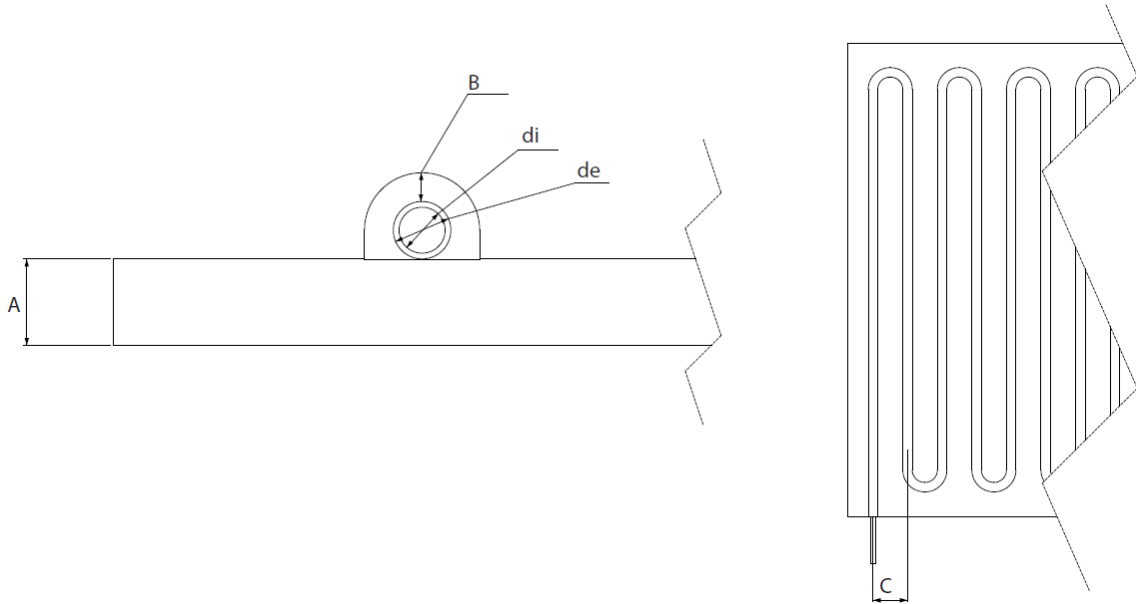


Fig.3.3. – Modelo tubo externo

3.4. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE CÁLCULO

Como se ha mencionado en anteriores ocasiones, el objetivo de este proyecto será analizar la influencia en la potencia proporcionada por el modelo en estudio de los parámetros que se van a variar en los distintos casos a simular.

El flujo de calor existente entre la superficie del modelo en estudio y el aire ambiente que la rodea se obtendrá con la ayuda del programa Heat2 4.0 para el modelo tubo interno y con el programa Comsol para el modelo tubo externo. La temperatura del agua podrá ser de 70°C o 50°C mientras que la del aire ambiente se considera 20°C para todos los casos.

En el caso en estudio el calor se transmite por convección desde el agua caliente a la superficie interior del tubo A_i , caracterizada dicha transmisión por un coeficiente de convección h_i . De la superficie interna del tubo, por el que circula el agua caliente, a la superficie exterior del radiador, el calor se transmite por conducción. El calor de la superficie exterior del radiador A_e al ambiente se transmite por convección debido al contacto entre la superficie metálica y el aire que lo rodea y además por radiación, intercambiándose los flujos radiantes con los objetos circundantes, predominando, la mayoría de las veces, la transferencia convectiva, a pesar de que

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

el nombre de “radiadores” induce a pensar, como ya se ha señalado, en una mayor importancia de la radiación.

Se expresa el flujo térmico intercambiado por los dos fluidos con la fórmula:

$$q = \frac{(t_{agua} - t_{amb})}{\frac{1}{hiAi} + R_{CD} + \frac{1}{h_{cv+rad}Ae}} = \frac{(t_{agua} - t_{amb})}{Rg}$$

El término predominante de la resistencia a la transmisión de calor es h_{cv+rad} . Mientras el coeficiente de convección para líquidos en convección forzada es del orden de 1.000, para gases en convección libre es del orden de 5, lo que induce a despreciar la convección en el interior del tubo sin errores significativos. Por este motivo, en este proyecto se considerará que el área interior del tubo se encuentra a la misma temperatura que el agua caliente que circula por su interior.

La resistencia de conducción entre el área interior del tubo y la exterior del radiador es también despreciable frente a la convectiva, como quedará reflejado en los valores de las resistencias calculadas.

El intercambio de calor se caracteriza, en nuestro caso, por el coeficiente total de traspaso de calor:

$$h = h_{conv} + h_{rad}$$

Siendo el flujo de calor total la suma de los flujos de calor por convección y por radiación:

$$Q = Q_{conv} + Q_{rad}$$

El flujo calorífico por convección se determina considerando la conductividad térmica y la viscosidad cinemática del aire, así como el número de Nusselt “Nu”, el número de Prandtl “Pr” y el número de Grashof “Gr”.

$$Q_{conv} = h_{conv} \cdot A_e \cdot \Delta t \quad (3.4.1)$$

El calor transmitido por convección viene dado mediante la expresión 3.4.1 en la que A_e hace referencia a la superficie exterior del radiador y Δt es la diferencia media de temperaturas entre la citada superficie y el fluido en contacto con ella.

El valor del coeficiente de convección depende del tipo de fluidos (aire, agua...) y del tipo de movimiento del fluido respecto a la superficie, el cual depende de temperaturas, presiones, etc.

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

$$h_{conv} = \frac{Nu \cdot k}{L_c} \quad (3.4.2)$$

En la anterior expresión queda reflejado que el valor de h_{conv} depende de la conductividad térmica del fluido k , la longitud característica del elemento en estudio L_c y del número adimensional Nusselt. Todas las propiedades serán determinadas para el aire a la temperatura media de película, definida como la media entre la temperatura del aire y la temperatura de la superficie exterior del radiador en contacto con dicho fluido.

El valor de Nusselt se obtiene con el empleo de las correlaciones de convección. Para determinar la correlación adecuada es necesario determinar si en este caso se produce convección libre o convección forzada. Si el flujo es interno o externo y, por último, si es laminar o turbulento.

La transmisión de calor entre el aire ambiente y la superficie exterior del radiador se considera convección libre porque el fluido se mueve libremente debido a la diferencia de densidades y el flujo externo puesto que el movimiento del aire al bañar la superficie exterior del radiador no está confinado. El flujo puede ser laminar o turbulento, dicha característica es determinada en convección libre por el valor del Rayleigh.

Por último, para determinar la correcta correlación es necesario conocer la geometría del elemento en estudio. En este proyecto se considerará una placa plana, la cual ha sido representada en el apartado 3.3. La placa plana se puede colocar en posición horizontal y vertical, para cada una de estas posiciones se usará una correlación diferente.

Las correlaciones empleadas para convección libre, flujo externo, placa plana vertical y horizontal son las correlaciones McAdams, que aparecen expuestas en la tabla 3.1 para placa horizontal y en la tabla 3.2 para placa vertical.

Correlaciones conv. Libre, flujo externo y placa plana horizontal	
Condiciones de aplicación	Correlación
Superficie superior de placa caliente flujo laminar	$Nu=0,54 \cdot Ra_L^{1/4}$
Superficie superior de placa caliente flujo turbulento	$Nu=0,15 \cdot Ra_L^{1/3}$
Superficie inferior de placa caliente	$Nu=0,27 \cdot Ra_L^{1/4}$

Tabla 3.1.- Correlaciones para placa plana horizontal

Para placa plana horizontal se considera flujo laminar para valores del Ra_L pertenecientes al intervalo 10^4 - 10^7 , sin embargo, el flujo es laminar cuando el Ra_L se encuentra en el rango 10^7 - 10^{11} .

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

Correlaciones conv. Libre, flujo externo y placa plana vertical	
Condiciones de aplicación	Correlación
Flujo laminar	$Nu=0,59 \cdot Ra_L^{1/4}$
Flujo turbulento	$Nu=0,10 \cdot Ra_L^{1/3}$

Tabla 3.2.- Correlaciones para placa plana vertical

Para placa plana vertical el flujo se considera laminar cuando el Ra_L tiene un valor perteneciente al intervalo 10^4 - 10^9 y el flujo es turbulento cuando el valor el Ra_L se encuentra entre 10^9 y 10^{13} .

Para el caso que nos ocupa, en que la superficie de intercambio de calor se encuentra en el interior de otra y entre ambas hay un gran espacio y además la superficie del emisor es mucho más pequeña que la superficie que le rodea, se tiene que el flujo de calor transmitido por radiación de un cuerpo caliente a otro frío es directamente proporcional a la superficie del cuerpo caliente, al coeficiente de emisividad del emisor y a la diferencia entre las temperaturas absolutas a la cuarta potencia de los cuerpos:

$$Q_{rad} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A_e \cdot (T_{sup}^4 - T_{rm}^4)$$

Donde

σ : constante de Stefan-Boltzmann, cuyo valor es $5,67 \cdot 10^{-8} (W/m^2 \cdot K^4)$

ε : emisividad

A_e : área exterior del radiador (m^2)

T_{sup} : Temperatura de la superficie del radiador en contacto con el aire ambiente (K)

T_{rm} : Temperatura radiante media (K)

Se considera como hipótesis que las paredes se encuentran a la misma temperatura que el aire ambiente y, por tanto, T_{rm} es igual a la T_{amb} .

Conocido Q_{rad} se puede obtener h_{rad} con la siguiente expresión:

$$h_{rad} = \frac{Q_{rad}}{A_e (T_{sup} - T_{amb})}$$

3.4.1. Método de cálculo para tubo interno

Se observa en la Fig. 3.4 las temperaturas significativas para este cálculo.

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

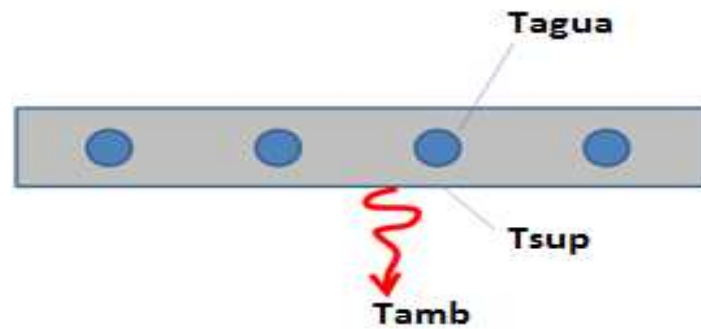


Fig.3.4.- Temperaturas significativas para el estudio

Como se ha mencionado anteriormente la resistencia de convección en el interior de los tubos se supone despreciable, por tanto, se considera que la superficie de los tubos en contacto con el agua se encuentra a la misma temperatura del agua.

Los datos de entrada que se necesita conocer son los siguientes:

- Geometría: paso entre tubos C , diámetro interior del tubo d_i , diámetro exterior del tubo d_e , espesor A y L_c del radiador.
- Operacionales: T^a agua y T^a ambiente.
- Propiedades físicas: conductividad de los materiales k_{acero} y k_{aluminio} , propiedades del fluido aire y la emisividad de la superficie.

Los programas de simulación proporcionan los flujos de calor existentes entre la superficie superior del modelo y el ambiente y entre la superficie inferior del modelo y el ambiente. El flujo de calor de calor que transmite el modelo de simulación por cada superficie es denominado Φ_{sp} .

Como se ha mencionado anteriormente, se considera que la geometría del radiador se puede crear de la sucesión de dicho modelo de estudio y, por tanto, se puede concluir que el modelo no transmite calor en sus superficies laterales, colindantes con otros modelos a la misma temperatura. En cada caso de estudio será necesario obtener el calor que proporciona la superficie superior e inferior del modelo.

El programa Heat2 4.0 proporciona el calor que transmite el modelo por la superficie superior y por la superficie inferior. Este dato permite conocer cómo influyen determinados parámetros en la potencia emitida por el modelo de tubo interno. Esta se obtiene como suma del flujo de calor transmitido por la superficie superior e inferior del modelo en cada posición.

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

La analogía eléctrica del caso que se está estudiando queda representada en la Fig. 3.5.

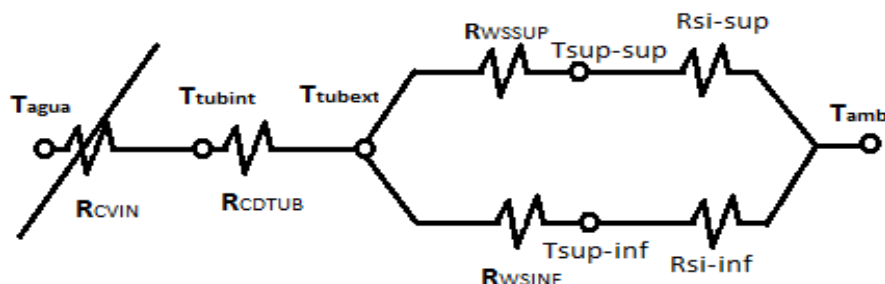


Fig 3.5.- Analogía eléctrica

En la analogía eléctrica se observa en primer lugar la resistencia de convección existente entre el agua caliente y la superficie interna del tubo por el que circula, denominada R_{CVIN} , que será despreciada como se razonó al comienzo de este apartado. Le sigue la resistencia de conducción existente entre la parte interior y exterior del tubo. Entre la superficie exterior del tubo y la superficie exterior del modelo en contacto con el ambiente aparece una resistencia para el lado superior y otra para el inferior, llamadas R_{wssup} y R_{wsinf} . Por último, la resistencia denominada R_{si-sup} es la que aparece entre la superficie superior del modelo y el aire ambiente y la denominada R_{si-inf} es la que aparece entre la superficie inferior del modelo y el aire ambiente.

Como se ha mencionado en otras ocasiones a lo largo de este proyecto, el objetivo de este método de cálculo es obtener el valor de la potencia proporcionada por el borde superior e inferior en distintas simulaciones realizadas para cada caso de estudio. También se obtiene el resultado de la suma de las resistencias $R_{wssup} + R_{si}$ para el lado superior y $R_{wsinf} + R_{si}$ para el lado inferior para cada simulación.

Los bordes laterales del modelo son considerados adiabáticos y, por tanto, no existe flujo de calor entre ellos y el entorno. Para obtener, mediante el programa de simulación, el calor intercambiado por los bordes superior e inferior del modelo con el ambiente es necesario conocer la resistencia R_{si} . La resistencia R_{si} depende de la T_{sup} , cuyo valor es desconocido. Es necesario realizar un proceso iterativo en el que se supone una T_{sup} , se calcula el valor de R_{si} correspondiente y el programa proporciona el valor del flujo de calor existente entre la superficie y el ambiente, que se usa para calcular nuevamente la T_{sup} y así sucesivamente hasta cerrar el proceso iterativo.

Para obtener el valor de R_{si} es necesario el empleo de las correlaciones de convección definidas anteriormente. El valor de R_{si} depende de la posición del modelo que se simula, para el caso horizontal se obtendrá un valor para la superficie superior y otro para la inferior mientras que

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

para el caso vertical la resistencia para la transferencia de calor desde la superficie al ambiente es la misma para ambas superficies.

En primer lugar se supone una T_{sup} , cuyo valor inicial se considera igual a la a $T_{agua}-5^{\circ}C$.

Supuesta una temperatura superficial, se puede determinar la temperatura media de película a la que tenemos que calcular las propiedades del aire que forman parte de la expresión de la correlación:

$$T_{mp} = \frac{T_{amb} + T_{sup}}{2}$$

Conocida la temperatura media de película se puede conocer los valores de las propiedades que intervienen en la determinación de los números adimensionales Grashof, Rayleigh y Nusselt.

$$\begin{aligned} Gr &= \frac{lc^3 \rho^2 \beta g \Delta t}{\mu^2} \\ Ra = GrPr &= \frac{g \beta (T_{sup} - T_{amb}) L_c^3}{\alpha \nu} \end{aligned} \quad (3.4.3)$$

$$Nu = \frac{h_{conv} \cdot L_c}{K}$$

Todas las propiedades son valores determinados experimentalmente excepto los valores de β y Δt que se calculan con las siguientes expresiones:

$$\beta = \frac{1}{T_{mp}}$$

$$\Delta t = T_{sup} - T_{amb}$$

Las correlaciones empleadas para el cálculo de Nusselt son las definidas anteriormente, en las que se distinguía entre si el modelo estaba en posición horizontal o vertical y, en cada una de las posiciones, si el flujo era laminar o turbulento.

Como se ha visto en la tabla 3.1, las correlaciones de McAdams para placa plana horizontal son distintas en función de si se trata de la superficie superior o inferior de la placa caliente, por tanto, en la posición horizontal se tendrá una correlación diferente para la parte superior e inferior del modelo.

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

La correlación correspondiente a la superficie superior de placa plana horizontal es diferente en función de que el flujo se encuentre en régimen laminar o turbulento. Se considera régimen laminar para valores de Ra comprendidos entre 10^4 y 10^7 , mientras que el flujo es turbulento para 10^7 - 10^{11} .

- *Modelo en posición horizontal, superficie superior y flujo laminar:*

$$Nu = 0,54 \cdot Ra_L^{1/4}$$

La L_c en esta correlación se obtiene dividiendo el área de la placa en contacto con el aire ambiente por el perímetro de la placa. La dependencia de la L_c supone un problema puesto que este dato no es conocido. Además se pretende que los resultados obtenidos puedan ser aplicados a radiadores de diversas dimensiones cuya geometría inicialmente desconocida queda reducida a los modelos simples que se estudian.

Para el caso laminar, en el que la correlación es dependiente de la L_c , se supondrá las dimensiones típicas de un radiador convencional ($1 \times 1 \text{ m}^2$) y se aplica la siguiente expresión:

$$L_c = \frac{A_{sup}}{\text{Perímetro}} \quad (3.4.4)$$

Conocido Nusselt, se calcula h_{conv} con la expresión 3.4.2.

- *Modelo en posición horizontal, superficie superior, flujo turbulento:*

$$Nu = 0,15 \cdot Ra_L^{1/3}$$

En este caso, h_{conv} es independiente de L_c , por ello, se calcula directamente h_{conv} sin determinar el Nu para evitar posibles errores al considerar dimensiones de un radiador convencional.

$$\overline{Nu}_L = 0,15 \left(\frac{g\beta(T_{sup} - T_{amb})}{\alpha\nu} \right)^{1/3} \cdot L_c$$

$$h_{conv} = \frac{0,15 \left(\frac{g\beta(T_{sup} - T_{amb})}{\alpha\nu} \right)^{1/3} \cdot L_c \cdot k}{L_c} = 0,15 \left(\frac{g\beta(T_{sup} - T_{amb})}{\alpha\nu} \right)^{1/3} \cdot k$$

- *Modelo en posición horizontal, superficie inferior:*

$$Nu = 0,27 Ra_L^{1/4}$$

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

Como en el caso de superficie superior, flujo laminar esta expresión no es independiente de la L_c , porque el Ra_L está elevado a $1/4$, por tanto, para el cálculo de ésta se considera las dimensiones propias de un radiador convencional $1 \times 1 \text{ m}^2$.

Para obtener el Nusselt se calcula la L_c con la expresión 3.4.4. Con el valor obtenido de Nusselt, se calcula h_{conv} con la expresión 3.4.2.

En posición vertical hay que diferenciar si el flujo se encuentra en régimen laminar o turbulento. El flujo es laminar para valores de Ra comprendidos entre 10^4 - 10^9 , y se considera turbulento para Ra perteneciente al intervalo 10^9 - 10^{13} .

- Modelo en posición vertical, flujo laminar:

$$Nu = 0,59 \cdot Ra_L^{1/4}$$

Para el cálculo de Ra , se considera la L_c con la expresión 3.4.4 con las dimensiones $1 \times 1 \text{ m}^2$. Conocido Nusselt, se calcula h_{conv} con la expresión 3.4.2.

- Modelo en posición vertical, flujo turbulento:

$$Nu = 0,10 \cdot Ra_L^{1/3}$$

Al estar el Ra_L elevado a $1/3$, h_{conv} también es independiente de L_c , por tanto, calculamos directamente h_{conv} sin calcular previamente Nu para evitar los posibles errores.

$$h_{\text{conv}} = \frac{0,10 \left(\frac{g\beta(T_{\text{sup}} - T_{\text{amb}})}{\alpha\nu} \right)^{1/3} \cdot L_c \cdot k}{L_c} = 0,10 \left(\frac{g\beta(T_{\text{sup}} - T_{\text{amb}})}{\alpha\nu} \right)^{1/3} \cdot k$$

En cada iteración también se calcula el h_{rad} correspondiente a la T_{sup} . El h_{rad} se obtiene a partir de calor de radiación, considerando ε igual a 0,9, la temperatura ambiente igual a 20°C y las dimensiones propias de un radiador convencional $1 \times 1 \text{ m}^2$ para el cálculo de A_e .

Se obtiene la resistencia de la superficie con el ambiente mediante la siguiente fórmula:

$$R_{\text{si}} = \frac{1}{h_{\text{rad}} + h_{\text{conv}}}$$

El programa de simulación proporciona el valor de Φ_{sp} en los bordes superior e inferior del modelo, puesto que se considera que los bordes laterales delimitan elementos isotermos. Con la

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

aplicación de la siguiente igualdad puede obtenerse el nuevo valor de T_{sup} para los bordes superior e inferior y, por tanto, continuar con el proceso iterativo:

$$\Delta T = T_{agua} - T_{sup} = T_{agua} - T_{amb} - (T_{sup} - T_{amb}) = T_{agua} - T_{amb} - \Phi_{sp} \cdot R_{si} \rightarrow T_{sup}$$

Esta igualdad se obtiene sabiendo que $\Phi_{sp} = \frac{T_{sup} - T_{amb}}{R_{si}}$

En los casos de modelo tubo interno, al ser este simétrico, sólo será necesario llevar a cabo dos simulaciones del programa. En la primera de ellas se obtendrá la misma $\Phi_{sp-vertical}$ en ambos bordes cuando el modelo está en posición vertical. En la segunda se considerará el modelo en posición horizontal y el borde superior proporcionará los valores $\Phi_{sp-alto}$ mientras que el inferior proporciona $\Phi_{sp-bajo}$.

Los tres valores distintos de Φ_{sp} se obtienen definiendo los bordes del modelo con un coeficiente de convección distinto para cada posición. La $\Phi_{sp-vertical}$ se obtiene cuando se simula el modelo definiendo los bordes con un coeficiente de convección calculado con la correlación de placa plana vertical, la $\Phi_{sp-alto}$ se obtiene en el borde simulado con un coeficiente de convección calculado con la correlación correspondiente a superficie superior placa caliente y la $\Phi_{sp-bajo}$ la proporciona el borde caracterizado con un coeficiente de convección calculado usando la correlación para superficie inferior placa caliente.

Para cada Φ_{sp} , terminado el proceso iterativo, se obtiene R_{ws} para la posición correspondiente, alto, bajo o vertical.

$$\Phi_{sp} = \frac{T_{agua} - T_{sup}}{R_{ws}} \rightarrow R_{ws} = \frac{T_{agua} - T_{sup}}{\Phi_{sp}}$$

Posteriormente calculamos $\overline{R_{ws}}$ como media de R_{ws} para las distintas posiciones.

Con los resultados obtenidos el fabricante podrá obtener el valor de $(R_{si} + \overline{R_{ws}})$ para cualquier temperatura del agua que se encuentre entre 50°C y 70 °C, únicamente interpolando entre los valores de $(R_{si} + \overline{R_{ws}})$ obtenidos para las temperaturas de 50°C y 70 °C para cada uno de los casos caracterizados por las dimensiones geométricas.

Por último, se calcula la potencia transmitida en las distintas posiciones en las que se puede encontrar el modelo, sumando la potencia transferida por el borde superior e inferior, dato proporcionado por el programa de simulación.

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

$$\phi_i = \phi_{sp-alto} + \phi_{sp-bajo}$$

Si la temperatura del agua se encuentra entre 50 °C y 70°C, la potencia proporcionada por el elemento se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\Phi_i = \frac{T_{agua} - T_{amb}}{(R_{si} + R_{ws})}$$

3.4.2. Método de cálculo para el modelo de tubo externo

En la figura 3.6 aparecen las temperaturas significativas para los modelo de tubo externo.

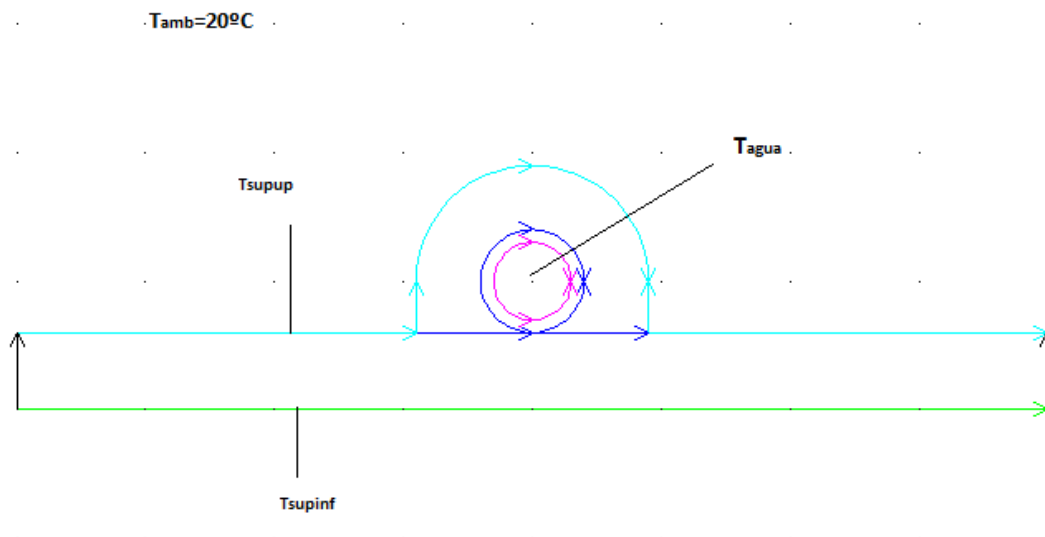


Fig.3.6.- Temperaturas importantes para el cálculo

Como se ha mencionado otras veces a lo largo de este proyecto se considera que la superficie interna del tubo se encuentra a la misma temperatura del agua debido a que la resistencia de convección en el interior de los tubos se supone despreciable.

Los datos de entrada que se necesita conocer son los siguientes:

- Geometría: paso entre tubos C, diámetro interior del tubo d_i , diámetro exterior del tubo d_e , distancia entre la parte exterior del tubo y la exterior de la semicircunferencia del modelo B, espesor A y L_c del radiador.
- Operacionales: T^a agua y T^a ambiente.
- Propiedades físicas: conductividad de los materiales k_{acero} y $k_{aluminio}$, propiedades del fluido aire y la emisividad de la superficie.

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

Los datos de salida del programa de simulación usado para este modelo, Comsol, son los flujos de calor existentes entre la superficie superior del modelo y el ambiente y entre la superficie inferior del modelo y el ambiente. El flujo de calor de cada superficie proporcionado por el programa es denominado Φ_{sp} .

Al igual que para el caso interno, se considera que la sucesión del modelo de estudio crea la geometría del radiador. Se puede concluir que el modelo no transmite calor en sus superficies laterales, las cuales delimitan modelos a la misma temperatura. En cada caso de estudio será necesario obtener el calor que proporciona la superficie superior e inferior del modelo.

En los casos de modelo de tubo externo, al no ser simétrico, serán necesarias tres simulaciones. En la primera se considera el modelo en posición vertical, se obtiene una $\Phi_{sp-vertical}$ para el borde superior y otra para el inferior. En la segunda simulación se obtiene $\Phi_{sp-alto}$ para el borde superior y $\Phi_{sp-bajo}$ para el borde inferior. En la última simulación se obtiene $\Phi_{sp-bajo}$ para el borde superior y $\Phi_{sp-alto}$ para el borde inferior.

Los seis valores distintos de Φ_{sp} se obtienen definiendo los bordes del modelo con un coeficiente de convección variable con la posición en la que se encuentre el modelo. La $\Phi_{sp-vertical}$ se determina al simular el modelo caracterizando los bordes con un coeficiente de convección calculado con la correlación de placa plana vertical, la $\Phi_{sp-alto}$ se obtiene en el borde caracterizado con el coeficiente de convección obtenido con la correlación de superficie superior placa caliente y la $\Phi_{sp-bajo}$ es la correspondiente en la simulación del modelo al borde caracterizado con el coeficiente de convección calculado con la correlación de superficie inferior placa caliente.

El programa Comsol proporciona el calor que transmite el modelo por la superficie superior y por la superficie inferior. Este dato permite conocer la potencia proporcionada por el modelo y las resistencias existentes por dichos lados entre el agua caliente y el ambiente.

La analogía eléctrica del caso que se está estudiando es idéntica a la característica para el caso de modelo de tubo interno representada en la Fig.3.5.

En primer lugar aparece la resistencia de convección existente entre el agua caliente y la superficie interna del tubo por el que circula, denominada R_{CVIN} , que será despreciada. Le sigue la resistencia de conducción existente entre la parte interior y exterior del tubo. Entre la superficie exterior del tubo y la superficie exterior del modelo en contacto con el ambiente aparece una resistencia para el lado superior y otra para el inferior, llamadas R_{wssup} y R_{wsinf} . Por

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

último, la resistencia denominada R_{si-sup} es la que aparece entre la superficie superior del modelo y ambiente y la resistencia R_{si-inf} es la que aparece entre la superficie inferior del modelo y el ambiente.

También se determina el valor de la suma de las resistencias $R_{wssup}+R_{si-sup}$ para el lado superior y $R_{wsinf}+R_{si-inf}$ para el lado inferior en las distintas posiciones en las que se puede encontrar el modelo de estudio.

Para simular el modelo, los bordes izquierdo y derecho son considerados adiabáticos mientras que los bordes superior e inferior del modelo se caracterizan por la suma $h_{conv}+h_{rad}$.

Para calcular $h_{conv}+h_{rad}$ se emplea el mismo procedimiento descrito en el método de cálculo para tubo interno. Los coeficientes h_{conv} y h_{rad} son dependientes de la T_{sup} , cuyo valor es desconocido. Es necesario realizar un proceso iterativo en el que se supone una T_{sup} , se calcula el valor de $h_{conv}+h_{rad}$ correspondiente y el programa proporciona el valor del flujo de calor existente entre la superficie y el ambiente, que se usa para calcular nuevamente la T_{sup} y así sucesivamente hasta cerrar el proceso iterativo.

El programa de simulación proporciona el valor de Φ_{sp} (W/m) en los bordes superior e inferior del modelo, puesto que se considera que los bordes laterales delimitan elementos isoterms. Para obtener el valor de Φ_{sp} (W/m²) se divide el valor proporcionado por el programa entre la longitud del borde. Con la aplicación de la siguiente igualdad puede obtenerse el nuevo valor de T_{sup} para los bordes superior e inferior y, por tanto, continuar con el proceso iterativo:

$$\Delta T = T_{agua} - T_{sup} = T_{agua} - T_{amb} - (T_{sup} - T_{amb}) = T_{agua} - T_{amb} - \Phi_{sp} \cdot R_{si} \rightarrow T_{sup}$$

Esta igualdad se obtiene sabiendo que $\Phi_{sp} = \frac{T_{sup}-T_{amb}}{R_{si}}$

En los casos de modelo de tubo externo, al no ser simétrico, serán necesarias tres simulaciones. En la primera se considera el modelo en posición vertical, se obtiene una Φ_{sp} para el borde superior y otra para el inferior. La segunda simulación se obtiene $\Phi_{sp-alto}$ para el borde superior y $\Phi_{sp-bajo}$ para el borde inferior, esta posición del modelo es llamada horizontal1. En la última simulación se obtiene $\Phi_{sp-bajo}$ para el borde superior y $\Phi_{sp-alto}$ para el borde inferior, en este texto esta posición del modelo es denominada horizontal2. La posición horizontal2 se obtiene al girar el modelo 180° respecto a la posición representada en la figura 3.3.

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

Una vez dado por concluido el proceso iterativo se obtiene R_{ws} para cada una de las posiciones posibles alto, bajo y vertical.

Como se ha mencionado anteriormente, al no ser simétrico, serán necesarias tres simulaciones. En la primera se considera el modelo en posición vertical, se obtiene una R_{ws} para el borde superior y otra para el inferior. La segunda simulación se obtiene $R_{ws\text{-alto}}$ para el borde superior y $R_{ws\text{-bajo}}$ para el borde inferior. En la última simulación se obtiene $R_{ws\text{-bajo}}$ para el borde superior y $R_{ws\text{-alto}}$ para el borde inferior.

$$\Phi_{sp} = \frac{T_{agua} - T_{sup}}{R_{ws}} \rightarrow R_{ws} = \frac{T_{agua} - T_{sup}}{\Phi_{sp}}$$

Posteriormente calculamos $\overline{R_{ws}}$ como media de R_{ws} para las distintas posiciones.

Con los resultados obtenidos el fabricante podrá obtener el valor de $(R_{si} + \overline{R_{ws1}})$ y $(R_{si} + \overline{R_{ws2}})$ para cualquier temperatura del agua que se encuentre entre 50°C y 70 °C, únicamente interpolando entre los valores de $(R_{si} + \overline{R_{ws}})$ obtenidos para las temperaturas de 50°C y 70 °C para cada uno de los casos caracterizados por las dimensiones geométricas. El subíndice 1 hace referencia al borde superior del modelo mientras el subíndice 2 hace referencia al borde inferior del modelo.

Al igual que en el caso interno, la potencia calorífica transmitida por el modelo se puede obtener como suma de la potencia proporcionada por el programa de simulación para el borde superior e inferior.

$$\Phi_i = \Phi_{sp\text{-alto}} + \Phi_{sp\text{-bajo}}$$

Será fácilmente calculable la potencia producida por uno de los elementos finitos en los que se ha dividido el radiador para cualquier temperatura comprendida entre 50 °C y 70 °C aplicando la siguiente fórmula:

$$\Phi_i = \frac{T_{agua} - T_{amb}}{(R_{si} + R_{ws})}$$

3.5. IMPLEMENTACIÓN EN LOS PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

El objetivo de la simulación del modelo de estudio es obtener la influencia en la potencia de parámetros como el espesor de la lámina de aluminio, el paso entre tubos, el diámetro interior y

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

exterior del tubo de acero, la temperatura del agua y la posición del modelo. El programa de simulación empleado para el caso de tubo interno es el programa Heat2 4.0 mientras que para el caso de tubo externo se usa el programa Comsol.

3.5.1. Simulación para el caso interno

Los datos de entrada que se necesita conocer para la ejecución del programa son los siguientes:

- Geometría: paso entre tubos C , diámetro interior del tubo d_i , diámetro exterior del tubo d_e , espesor A y L_c del radiador.
- Operacionales: T^a agua y T^a ambiente.
- Propiedades físicas: conductividad de los materiales k_{acero} y k_{aluminio} .

Los datos de salida del programa son los flujos de calor existentes entre la superficie superior del modelo y el ambiente y entre la superficie inferior del modelo y el ambiente. El flujo de calor de cada superficie proporcionado por el programa es denominado Φ_{sp} .

El programa Heat2 4.0 proporciona el calor que transmite el modelo por la superficie superior y por la superficie inferior. Este dato permite conocer la potencia calorífica transmitida por el modelo de estudio en cada caso.

Los pasos necesarios para la ejecución del programa Heat2 4.0 se enumeran a continuación:

- 1) Dibujar el modelo con las dimensiones concretas del caso de estudio en el programa Heat2 4.0.

Puesto que el programa no permite dibujar círculos, es necesario calcular el diámetro equivalente correspondiente a la cuadratura del círculo que se realiza igualando el área del cuadrado con lado igual al diámetro equivalente al área del círculo exterior del tubo.

La Fig.3.6 representa la cuadratura del círculo necesaria para el dibujo del modelo con este programa, como se mencionó anteriormente dicha cuadratura proporciona el diámetro equivalente mediante la fórmula (3.5.1.1.).

$$D_{eq}^2 = \pi \cdot R_{ext}^2 \rightarrow D_{eq} = \sqrt{\pi} \cdot R_{ext} \quad (3.5.1.1)$$

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

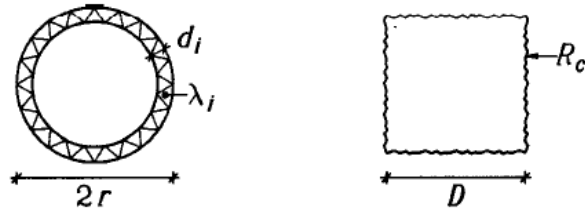


Fig.3.6.- Cuadratura círculo

Conocido el Deq se define el número de puntos característicos del modelo en las direcciones X e Y, en este caso de estudio son 3 puntos por cada dirección. Se definen las coordenadas de dichos puntos considerando que para el eje X, entre los puntos 0 y 3 hay una distancia igual al paso entre tubos C mientras que entre los puntos 1 y 2 la distancia es igual al Deq. En el eje Y la distancia entre los puntos 0 y 3 es igual al espesor de la lámina A y la distancia entre los puntos 1 y 2 es igual al Deq.

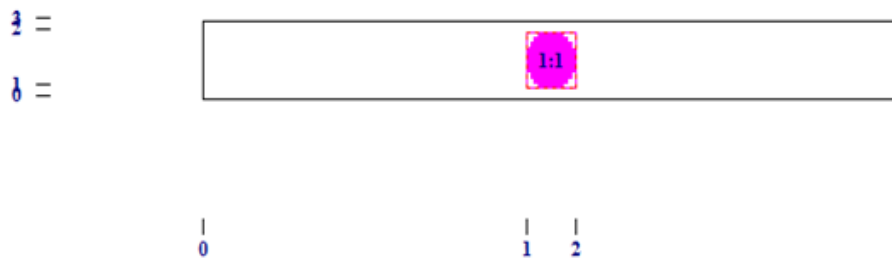


Fig.3.7.- Modelo con puntos característicos

- 2) Introducir en el programa las propiedades de operación.

Se enumeran los bordes como muestra la Fig.3.8 y se caracterizan cada uno de ellos.

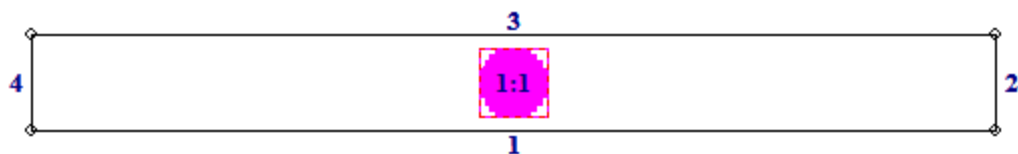


Fig.3.8- Numeración de bordes

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

Los bordes 4 y 2 son considerados adiabáticos y, por tanto, caracterizados por $Q=0$, mientras que los bordes 1 y 3 son caracterizados por la $T_{amb}=20^{\circ}\text{C}$ y R_{si} . La resistencia R_{si} depende de la T_{sup} , cuyo valor es desconocido. Es necesario realizar un proceso iterativo en el que se supone una T_{sup} , se calcula el valor de R_{si} correspondiente y el programa proporciona el valor del flujo de calor existente entre la superficie y el ambiente, que se usa para calcular nuevamente la T_{sup} y así sucesivamente hasta cerrar el proceso iterativo. El procedimiento de cálculo de R_{si} a partir de T_{sup} ha sido definido en el apartado 3.4.1.

Se define la T^a del tubo caliente igual a la del agua y la resistencia de conducción existente en el tubo. La fórmula para la obtención de la resistencia de conducción que hay que introducir en el programa, después de aplicar la cuadratura del círculo, viene proporcionada por el manual del programa Heat2 4.0:

$$R_c = \frac{2 \cdot D \cdot \ln\left(\frac{r}{r-d_i}\right)}{\pi \cdot k_p}$$

Una vez realizada la representación gráfica del caso en estudio se indicará en el programa Heat2 4.0 que el material empleado para la lámina es aluminio, caracterizado con una conductividad térmica de 160 W/mk mientras que el tubo es realizado en acero cuya conductividad térmica es 50 w/mk.

- 3) Se define el mallado usado en la ejecución del programa.

Para todos los casos simulados se ha definido el mismo mallado. En la Fig. 3.9 aparece el número de celdas en cada uno de los tramos de los ejes. En el eje X, existen 36 celdas en el tramo 0-1, 12 celdas en el trozo 1-2 y 36 celdas nuevamente en el tramo 2-3. El mallado en el eje Y queda definido con 48 celdas para los tramos 0-1 y 2-3 y 72 celdas en el tramo 1-2.

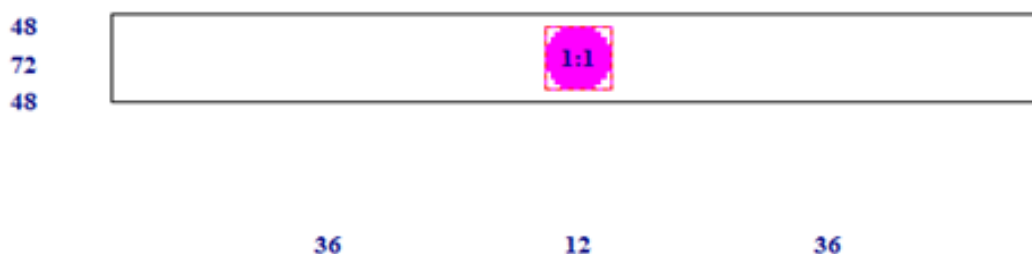


Fig.3.9- Mallado

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

- 4) Se introduce en el programa todos los datos mencionados en los pasos anteriores y se ejecuta el programa Heat2 4.0.

El programa proporciona el valor de $\Phi_{sp}(w/m^2)$ en los bordes superior e inferior del modelo, puesto que se considera que los bordes laterales delimitan elementos isotermos.

Al ser el modelo para tubo interno simétrico respecto al eje horizontal, sólo será necesario llevar a cabo dos simulaciones del programa. En la primera de ellas se obtendrá la misma Φ_{sp} en ambos bordes cuando el modelo está en posición vertical. En la segunda se considerará el modelo en posición horizontal y el borde superior proporcionará los valores $\Phi_{sp-alto}$ mientras que el inferior proporcionará $\Phi_{sp-bajo}$.

Se representa una simulación realizada para un caso concreto de este estudio con el programa Heat2 4.0 para modelo tubo interno.

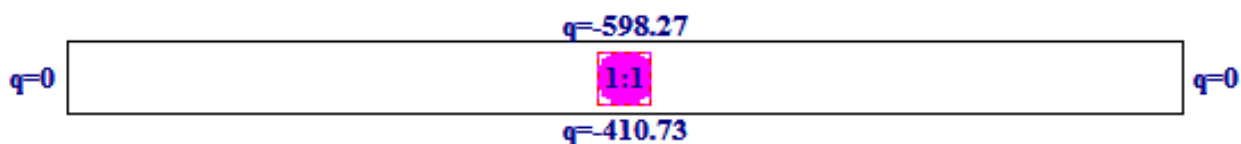


Fig.3.10.- Simulación caso interno con HEAT2 4.0

El calor proporcionado por el modelo en cada caso se obtiene como la suma de los valores obtenidos para el borde superior e inferior.

3.5.2. Simulación para el caso externo

Para la simulación de modelos de tubo externo se usará el programa Comsol. Los datos de entrada que se necesita conocer para la ejecución del programa son los siguientes:

- Geometría: paso entre tubos C , diámetro interior del tubo d_i , diámetro exterior del tubo d_e , distancia entre la parte exterior del tubo y la exterior de la semicircunferencia del modelo B , espesor A y L_c del radiador.
- Operacionales: T^a agua y T^a ambiente.
- Propiedades físicas: conductividad de los materiales k_{acero} y $k_{aluminio}$.

Los datos de salida del programa son los flujos de calor existentes entre la superficie superior del modelo y el ambiente y entre la superficie inferior del modelo y el ambiente. El flujo de calor de cada superficie proporcionado por el programa es denominado Φ_{sp} .

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

Como se ha mencionado anteriormente, se considera que el modelo no transmite calor en sus superficies laterales, en contacto con otros modelos a la misma temperatura. En cada caso de estudio se obtendrá el calor que proporciona la superficie superior e inferior del modelo.

El programa Comsol proporciona el calor que transmite el modelo por la superficie superior y por la superficie inferior. Este dato permite conocer la potencia proporcionada por el modelo de estudio en cada caso simulado.

Los pasos necesarios para la simulación del modelo con el programa son los siguientes:

- 1) Dibujar el modelo con el programa Autocad.

Se dibuja con el programa Autocad los 72 modelos correspondientes a cada uno de los casos de tubo externo. Dibujado el modelo, se abre el archivo de Autocad con el programa Comsol y se caracteriza como un sólido. Después se divide el sólido en tres objetos, el tubo que será acero, la parte correspondiente al interior del tubo por la que circula el agua, que será caracterizada como vacío al no estar fabricada de ningún material y el resto del elemento, considerado de aluminio.

- 2) Se introducen las propiedades de operación.

Se caracterizan las partes fabricadas en aluminio con una conductividad de 160 W/mK y las formadas por acero con una conductividad de 50 W/mK.

Para caracterizar los bordes, al igual que sucede en el caso para tubo interno, los bordes izquierdo y derecho son considerados adiabáticos. Los bordes superior e inferior del modelo se caracterizan por una T_{amb} igual a 293,15 K y la suma $h_{conv}+h_{rad}$, obtenida con el método de cálculo definido en el apartado 3.4.2.

La parte interna del tubo se caracteriza por una T^a igual a la del agua que circula por su interior.

Se pulsa el botón de mallado y la malla se genera automáticamente en Comsol sin necesidad de definir el número de celdas en cada tramo.

Se introduce en el programa todos los datos mencionados en los pasos anteriores y se ejecuta el programa Comsol.

Dicho programa proporciona el valor de Φ_{sp} (W/m) en los bordes superior e inferior del modelo, puesto que se considera que los bordes laterales delimitan elementos isoterms. Para obtener el valor de Φ_{sp} (W/m²) se divide el valor proporcionado por el programa entre la longitud del borde.

CAPÍTULO 3: MÉTODO DE CÁLCULO

En los casos de modelo de tubo externo, al no ser simétrico, serán necesarias tres simulaciones. En la primera se considera el modelo en posición vertical, se obtiene una Φ_{sp} para el borde superior y otra para el inferior. En la segunda simulación se obtiene $\Phi_{sp-alto}$ para el borde superior y $\Phi_{sp-bajo}$ para el borde inferior, cuya suma es la potencia transferida por el modelo en la posición horizontal 1. En la última simulación se obtiene $\Phi_{sp-bajo}$ para el borde superior y $\Phi_{sp-alto}$ para el borde inferior, cuya suma es la potencia transferida en la posición horizontal 2.

Se representa una simulación realizada para un caso concreto de este estudio con el programa Comsol para modelo tubo externo en la Fig.3.12.

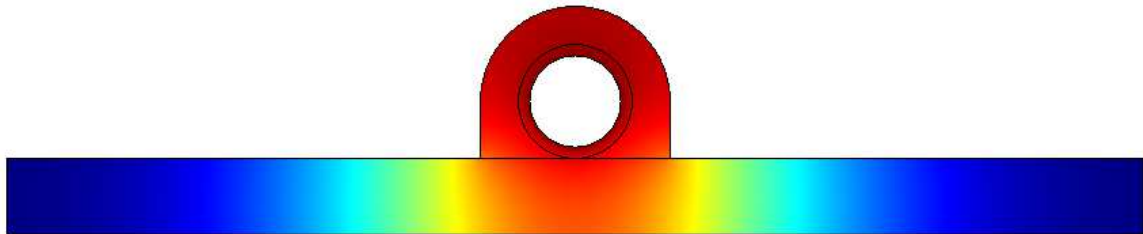


Fig.3.12.- Simulación caso externo con COMSOL

Como para el caso de tubo interno, el calor proporcionado por el modelo en cada caso se obtiene como la suma de los valores obtenidos para el borde superior e inferior.

4. ESTUDIO DE CASOS

4.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se presentan los resultados obtenidos aplicando el método de cálculo definido en el capítulo anterior para todos los casos de modelos simples de tubo interno y tubo externo caracterizados con distintas dimensiones.

Para ejecutar la idea de añadir la función de radiador a cualquier elemento decorativo es necesario estudiar la influencia de diversos parámetros en la potencia transmitida para tener en cuenta dichos resultados a la hora de construir estos radiadores.

Con los resultados obtenidos en este proyecto se pretende conocer cómo variaría la potencia transmitida por radiadores cuando cambiamos las dimensiones del espesor del aluminio, de los diámetros interior y exterior del tubo de acero por el que circula el fluido caloportador y de la distancia entre tubos. También se estudia cómo influiría la temperatura del fluido caloportador y la posición en la que se encuentra el modelo de estudio.

En primer lugar, se definen los casos que se van a estudiar y el valor de los parámetros en cada uno de ellos. Se analizan 20 casos para el modelo de tubo interno y 72 casos para el modelo de tubo externo, cada uno de ellos caracterizado por unas dimensiones del espesor de la lámina de aluminio, de los diámetros interno y externo del tubo de acero y del paso entre tubos. Cada caso se simula dos veces, considerando que el agua se encuentra a 50°C y 70°C. Además el modelo se simula distintas veces en función de la posición en la que se encuentre, vertical, horizontal1 y horizontal2.

Del estudio de cada caso se obtendrá la potencia cedida por dicho modelo simple a partir del valor de la temperatura del agua en el interior de los tubos. Conocida la potencia cedida por el modelo se puede obtener la potencia cedida por el radiador completo. También se obtendrá la resistencia existente para la transferencia de calor entre el agua que circula por el interior de los tubos del radiador y el aire ambiente, lo que permitiría conocer mediante interpolación lineal la potencia transmitida por el modelo simple a cualquier temperatura que se encuentre entre las dos temperaturas estudiadas.

A continuación se presentan las gráficas de los resultados obtenidos para el caso de tubo interno y el caso de tubo externo. Se representa la influencia en el calor adimensional de la variación de los parámetros estudiados.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Se define un caso base para el caso de tubo interno y un caso base para el caso de tubo externo. El calor adimensional se obtiene como la potencia proporcionada por un caso dividido por la potencia proporcionada por el caso base correspondiente a su tipología.

En primer lugar se muestran cuatro gráficas de resultados para el caso de tubo interno. Estas gráficas muestran el calor adimensional para diferentes casos en los que se varía uno de los parámetros permaneciendo el resto iguales a los del caso base.

Las cuatro gráficas que aparecen a continuación referidas al caso de tubo externo muestra la misma información que para el caso de tubo interno.

A continuación se representa la influencia de la posición en la potencia en dos gráficas, una referida al caso de tubo interno y la otra al caso de tubo externo. En dichas gráficas se representa el calor adimensional de la posición vertical frente a la horizontal.

En la última gráfica se analiza si el calor adimensional manteniendo constante los parámetros variables es mayor para el modelo de tubo interno o de tubo externo.

4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Para cada uno de los modelos presentados en el apartado 3.3 se estudiarán diferentes casos caracterizado por un espesor de la lámina de aluminio (A), diámetro interior y exterior de los tubos de acero (d_i/d_e) y paso entre los tubos (C).

La combinación de diferentes dimensiones para estas variables origina un total de 20 modelos de tubo interno y 72 modelos de tubo externo. Las dimensiones concretas de los 92 modelos se muestran en las tablas que aparecen en este apartado.

Cada uno de los modelos definidos será estudiado para dos casos diferentes en función de la T^a de agua, 50°C y 70°C. A su vez, en cada uno de estos casos habrá que tener en cuenta la posición del modelo, vertical u horizontal.

Puesto que el modelo de tubo interno presenta simetría respecto al plano horizontal, sólo será necesaria una simulación para el caso horizontal en la que se obtendrán los valores para la parte superior e inferior del modelo. Sin embargo, el modelo de tubo externo no presenta simetría respecto al plano horizontal, por lo que serán necesarias dos iteraciones para el caso horizontal, una correspondiente a la disposición mostrada en la Fig. 3.3 y la otra correspondiente a la disposición que se obtiene al girar ésta 180°.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Lo dicho anteriormente supone un total de 80 simulaciones para el caso de tubo interno y 432 para el caso de tubo de tubo externo.

Casos estudiados para la tipología de tubo interno

Casos	A(mm)	di/de(mm)	C(mm)
Caso 1	10	6/8	80
Caso 2	10	6/8	100
Caso 3	10	6/8	150
Caso 4	10	6/8	200
Caso 5	12	6/8	80
Caso 6	12	6/8	100
Caso 7	12	6/8	150
Caso 8	12	6/8	200
Caso 9	15	6/8	80
Caso 10	15	6/8	100
Caso 11	15	6/8	150
Caso 12	15	6/8	200
Caso 13	20	6/8	80
Caso 14	20	6/8	100
Caso 15	20	6/8	150
Caso 16	20	6/8	200
Caso 17	20	8/10	80
Caso 18	20	8/10	100
Caso 19	20	8/10	150
Caso 20	20	8/10	200

Tabla 4.1.- Casos tipología tubo interno

Casos estudiados para la tipología de tubo externo

Casos	A (mm)	di/de (mm)	B (mm)	C (mm)
Caso 1	6	6/8	5	80
Caso 2	6	6/8	5	100
Caso 3	6	6/8	5	150
Caso 4	6	6/8	5	200
Caso 5	6	8/10	5	80
Caso 6	6	8/10	5	100
Caso 7	6	8/10	5	150
Caso 8	6	8/10	5	200
Caso 9	6	12/15	5	80
Caso 10	6	12/15	5	100
Caso 11	6	12/15	5	150
Caso 12	6	12/15	5	200
Caso 13	8	6/8	5	80

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Casos	A (mm)	di/de (mm)	B (mm)	C (mm)
Caso 14	8	6/8	5	100
Caso 15	8	6/8	5	150
Caso 16	8	6/8	5	200
Caso 17	8	8/10	5	80
Caso 18	8	8/10	5	100
Caso 19	8	8/10	5	150
Caso 20	8	8/10	5	200
Caso 21	8	12/15	5	80
Caso 22	8	12/15	5	100
Caso 23	8	12/15	5	150
Caso 24	8	12/15	5	200
Caso 25	10	6/8	5	80
Caso 26	10	6/8	5	100
Caso 27	10	6/8	5	150
Caso 28	10	6/8	5	200
Caso 29	10	8/10	5	80
Caso 30	10	8/10	5	100
Caso 31	10	8/10	5	150
Caso 32	10	8/10	5	200
Caso 33	10	12/15	5	80
Caso 34	10	12/15	5	100
Caso 35	10	12/15	5	150
Caso 36	10	12/15	5	200
Caso 37	12	6/8	5	80
Caso 38	12	6/8	5	100
Caso 39	12	6/8	5	150
Caso 40	12	6/8	5	200
Caso 41	12	8/10	5	80
Caso 42	12	8/10	5	100
Caso 43	12	8/10	5	150
Caso 44	12	8/10	5	200
Caso 45	12	12/15	5	80
Caso 46	12	12/15	5	100
Caso 47	12	12/15	5	150
Caso 48	12	12/15	5	200
Caso 49	15	6/8	5	80
Caso 50	15	6/8	5	100
Caso 51	15	6/8	5	150
Caso 52	15	6/8	5	200
Caso 53	15	8/10	5	80
Caso 54	15	8/10	5	100
Caso 55	15	8/10	5	150
Caso 56	15	8/10	5	200

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Casos	A (mm)	di/de (mm)	B (mm)	C (mm)
Caso 57	15	12/15	5	80
Caso 58	15	12/15	5	100
Caso 59	15	12/15	5	150
Caso 60	15	12/15	5	200
Caso 61	20	6/8	5	80
Caso 62	20	6/8	5	100
Caso 63	20	6/8	5	150
Caso 64	20	6/8	5	200
Caso 65	20	8/10	5	80
Caso 66	20	8/10	5	100
Caso 67	20	8/10	5	150
Caso 68	20	8/10	5	200
Caso 69	20	12/15	5	80
Caso 70	20	12/15	5	100
Caso 71	20	12/15	5	150
Caso 72	20	12/15	5	200

Tabla 4.2.- Casos tipología tubo externo

4.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Las gráficas que aparecen en este capítulo muestran cómo varía el calor adimensional cuando se cambia el espesor del modelo de estudio, el paso entre tubos, los diámetros interior y exterior del tubo, la temperatura y la posición. Se muestran los resultados obtenidos variando los parámetros mencionados para el modelo de estudio de la tipología de tubo interno y para el modelo de estudio de la tipología de tubo externo.

En la última gráfica se muestra para todos los casos estudiados para tubo interno y tubo externo en los que los parámetros variables tienen los mismos valores, el calor adimensional obtenido para la tipología de tubo interno frente a la tipología de tubo externo.

4.3.1. Resultados modelo tubo interno

Se ha definido el calor adimensional como la relación entre la potencia proporcionada por un caso y la potencia proporcionada por el caso base correspondiente a su tipología.

El calor proporcionado por el programa Heat2 4.0 cuando se simula el caso base es 615,28 W/m².

El caso base de la tipología de tubo interno está caracterizado por los siguientes valores de los parámetros variables:

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

CASO BASE TUBO INTERNO

A=20 mm
C=200 mm
Di/de=6/8
Temperatura=50 °C
Posición= vertical

Variación con el espesor (A)

En la Fig.4.1 se muestra cómo influye en la potencia transmitida por el modelo la variación del espesor, manteniendo constantes el resto de los parámetros.

Se puede observar como el calor adimensional es mayor cuando aumenta el espesor del modelo de estudio. Para los casos caracterizados con espesores menores de 15 mm, dicho aumento es más significativo que para el resto de casos. Por ejemplo, un aumento del espesor de 10 mm a 14 mm, provoca un aumento en el calor adimensional de 0,015 mientras que si aumentas el espesor de 15 mm a 20mm, el aumento del calor adimensional es 0.008.

El aumento de la potencia transferida al aumentar el espesor del modelo, al contrario de lo que se puede pensar inicialmente, puesto que implica un aumento de la resistencia de conducción del modelo, permite identificar el comportamiento del modelo de estudio con el comportamiento de aletas.

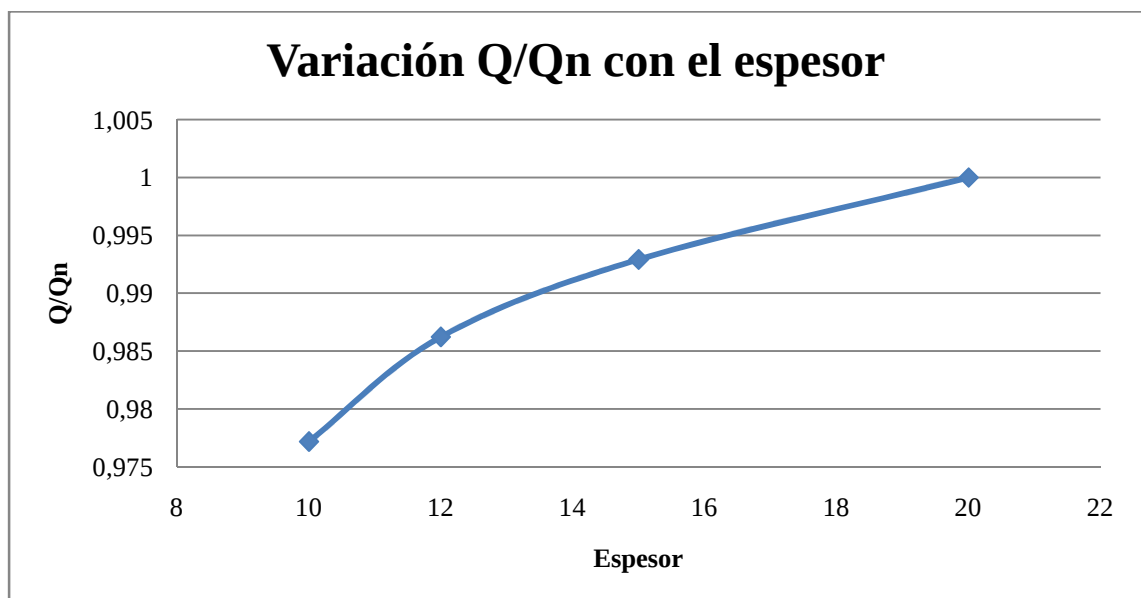


Figura 4.1.- Influencia en el calor adimensional del espesor caso tubo interno

Como queda reflejado en la Fig.4.2, el comportamiento puede asemejarse al de una aleta rectangular de sección transversal uniforme en la que el espesor A es mucho menor que la

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

longitud H . El gradiente de temperaturas del modelo de estudio alcanza el mínimo en el punto correspondiente a $C/2$, respecto al cuál además es simétrico. Por ello, se considera la longitud de la aleta con la que se explica el comportamiento del modelo igual a $C/2$.

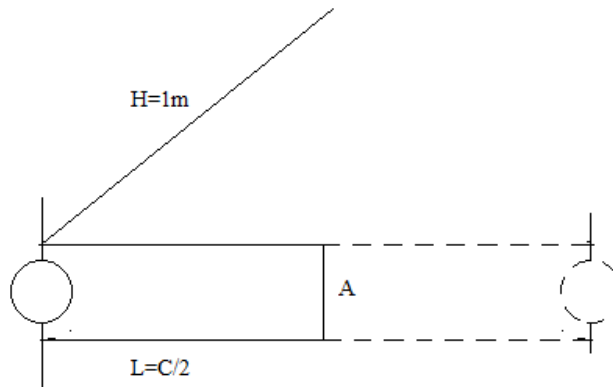


Fig.4.2.- Identificación modelo de estudio con aleta

La Fig. 4.3 muestra la curva de rendimiento que presentan las aletas rectangulares rectas de sección transversal uniforme.

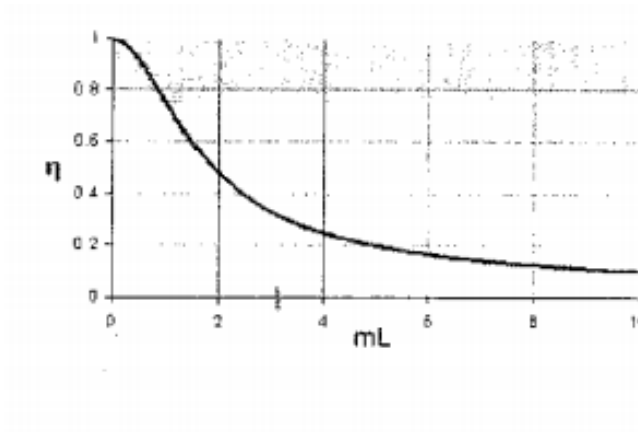


Fig. 4.3.- rendimiento de aleta recta de perfil rectangular

En aletas, el parámetro m se define de la siguiente forma:

$$m = \sqrt{\frac{h \cdot P}{k A_c}}$$

Donde

P : perímetro

A_c : área transversal

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Si se sustituye en la definición del parámetro m los valores correspondientes al perímetro y área transversal del modelo de estudio, este quedaría proporcional a:

$$\frac{P}{A_c} = \frac{2(A + H)}{A \cdot H}$$

Puesto que el ancho del modelo es mucho mayor que su espesor, $H \gg A$, el perímetro se puede aproximar como $P = 2 \cdot H$, y

$$\frac{P}{A_c} \cong \frac{2 \cdot H}{A \cdot H} = \frac{2}{A}$$

De las fórmulas anteriormente expuestas puede deducirse que un aumento de A implica un aumento de la potencia transferida como ocurre en los casos simulados.

Al aumentar A , disminuye $\frac{P}{A_c}$ y, por tanto, m . En la figura 4.3 se puede observar que cuando mL disminuye, el rendimiento aumenta y, un aumento del rendimiento conlleva un aumento de la potencia transferida.

Variación con el paso (C)

Se mantienen el resto de variables iguales a los del caso base y se observa cómo influye en la potencia transferida por el modelo una variación del paso entre tubos.

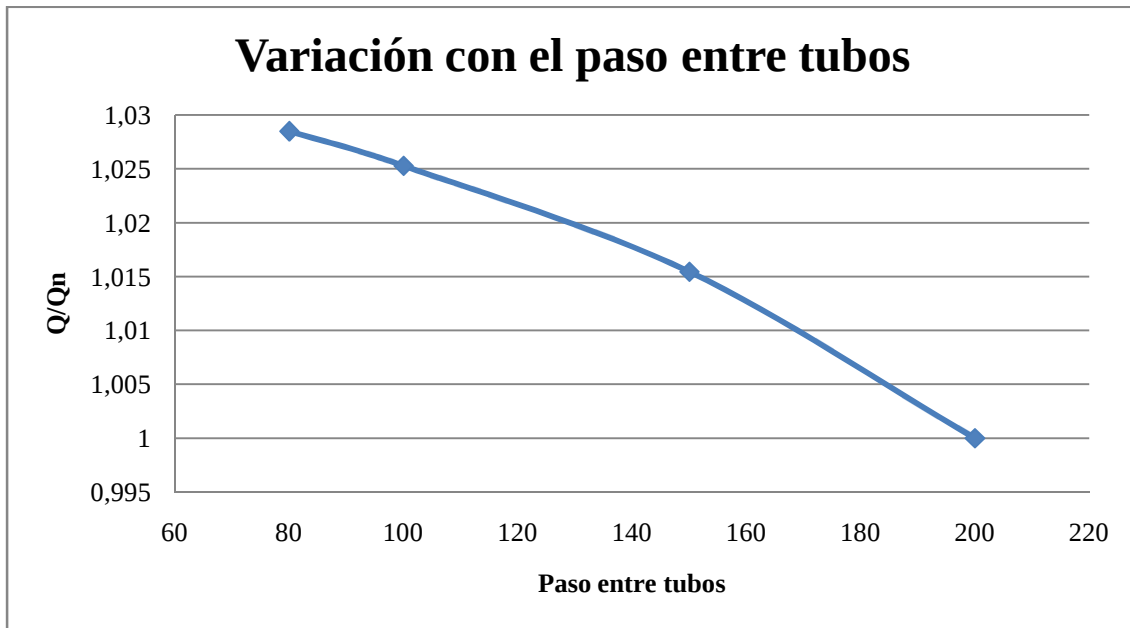


Fig.4.4.- Influencia en el calor adimensional del paso entre tubos caso tubo interno

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

En esta Fig.4.4 queda reflejado que el calor adimensional disminuye en los casos en los que el paso entre tubos adquiere valores mayores. Como se observa en la gráfica la relación entre la potencia proporcionada y el paso entre tubos es prácticamente lineal.

Al igual que al estudiar la variación con el espesor, la explicación del comportamiento del modelo al simular los distintos casos se obtiene asemejándolo al comportamiento de una aleta.

En la Fig.4.2 queda reflejado como la L de nuestro modelo de estudio es igual a $C/2$ y, por tanto, al aumentar el paso entre tubos aumentas L . La curva de rendimiento de aletas que aparece en la Fig.4.3 muestra como un aumento de mL implica una disminución del rendimiento con la consiguiente disminución de potencia transferida.

Por tanto, al igual que al estudiar la variación con el espesor, los resultados obtenidos al simular los distintos casos se justifican al considerar que el modelo de estudio actúa como una aleta.

Variación con el diámetro (d_i/d_e)

Se mantienen el resto de variables iguales a las del caso base y se observa la influencia en la potencia transferida de una variación del diámetro del tubo por el que circula el fluido caloportador.

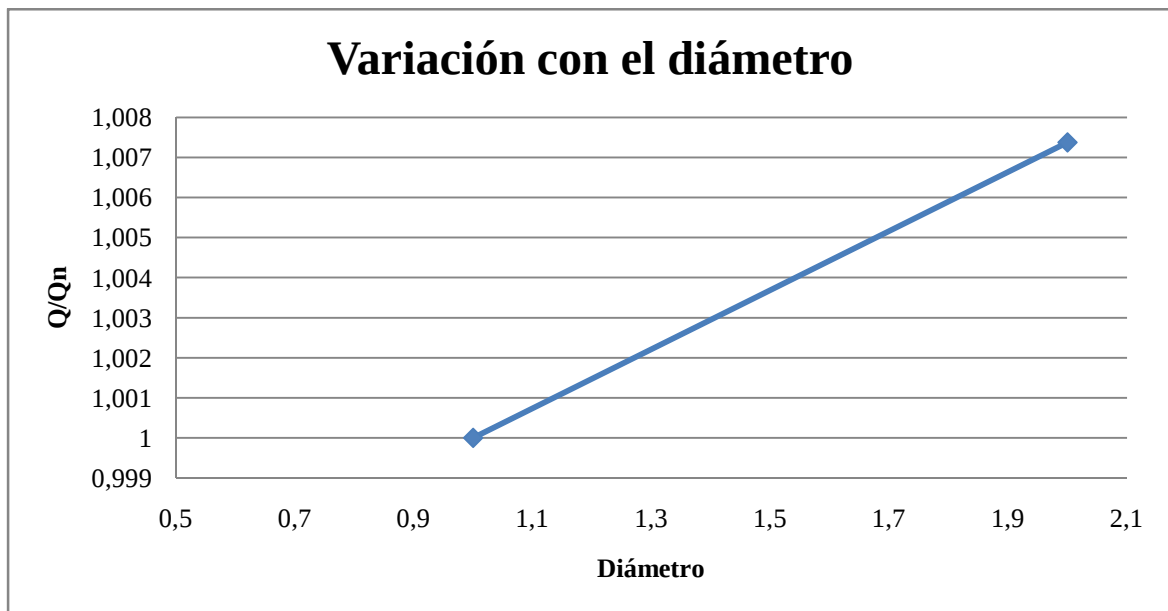


Fig. 4.5.- Influencia en el calor adimensional del diámetro del tubo

Para el modelo caracterizado con un espesor igual a 20 mm se estudia cómo influye en la potencia proporcionada una variación del diámetro del tubo por donde circula el fluido caloportador mediante la simulación de dos casos. En el primero de ellos el diámetro interior del

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

tubo mide 6 mm y el exterior 8 mm, mientras que en el segundo el diámetro interior mide 8 mm y el exterior 10 mm. Los resultados representados en la gráfica muestran que el calor adimensional aumenta 0,7 % cuando di/de pasa de 6/8 a 8/10.

En teoría, una variación del diámetro del tubo implica un cambio en el caudal de fluido, esto influye en la resistencia convectiva interior y, por tanto, en la potencia transmitida por el modelo. Sin embargo, en este proyecto la resistencia convectiva interior ha sido despreciada, como quedó justificado en el capítulo 3, y ni el caudal de agua del fluido caloportador ni su velocidad influyen en el estudio de la transferencia de calor del modelo.

Un aumento del diámetro sólo implica un aumento de la superficie caliente. Se considera que el diámetro interior del tubo se encuentra a la misma temperatura del fluido caloportador cuando se simula el modelo y, por tanto, un aumento de dicho diámetro provoca un aumento de la potencia transferida por el modelo, como ocurre en los casos estudiados.

Variación con la temperatura del fluido caloportador

El resto de parámetros permanecen con los mismos valores que para el caso base mientras que la temperatura del fluido caloportador aumenta de 50°C a 70°C.

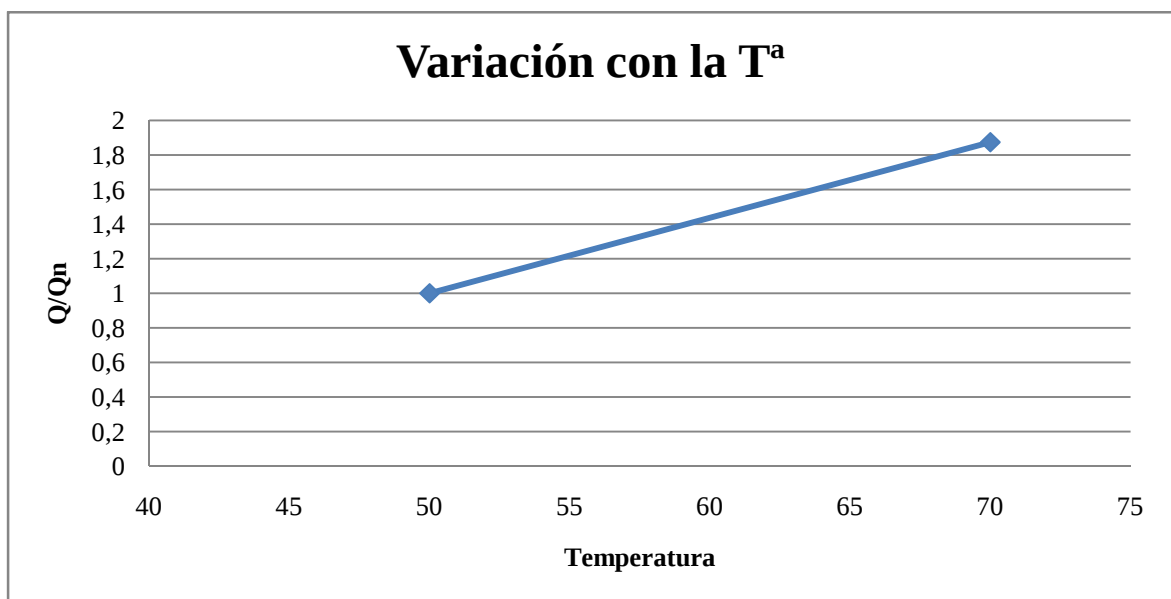


Fig. 4.6.- Influencia en el calor adimensional de la temperatura caso tubo interno

Se puede observar en la gráfica que cuando se simula el caso base con una temperatura del fluido caloportador igual a 50 °C, el calor adimensional que se obtiene es igual a 1 mientras que si la temperatura es igual a 70 °C, el calor adimensional toma el valor 1,85. Por tanto, cuando la

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

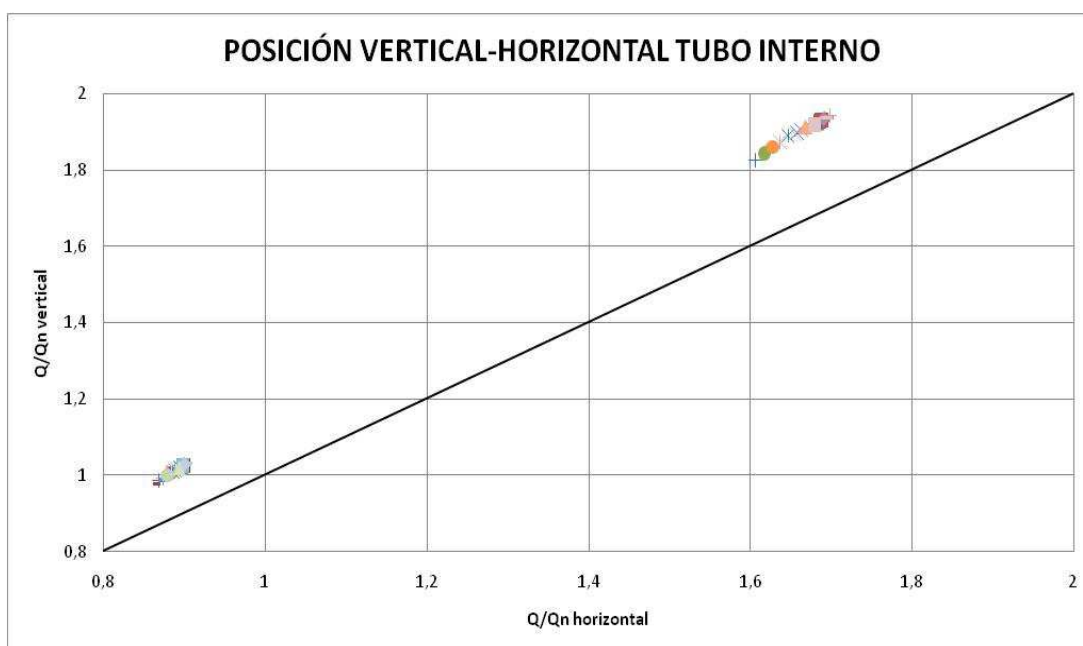
temperatura del fluido caloportador aumenta 20 °C, el calor adimensional obtenido aumenta un 85%.

Es evidente que un aumento de temperatura del fluido caloportador implica un aumento de la potencia transferida pero este gráfico sirve para cuantificar dicho aumento.

Variación con la posición

Cada caso estudiado para la tipología de tubo interno, se simula considerando que el modelo se encuentra en posición vertical y en posición horizontal.

En la Fig.4.7 aparece representado mediante una nube de puntos el calor adimensional obtenido para la posición vertical frente a la horizontal de todos los casos estudiados para la tipología de tubo interno.



4.7.- Influencia en el calor adimensional de la posición del modelo tubo interno

Se puede observar como en todos los casos el calor adimensional correspondiente a la posición vertical es mayor al de la posición horizontal puesto que todos los puntos se encuentran por encima de la línea trazada a 45 °. Se traza una línea a 45° para identificar la región del espacio donde se encontrarían los puntos si el calor adimensional transmitido por el modelo en posición vertical fuera igual al transmitido por el modelo en posición horizontal.

Además pueden identificarse dos grandes grupos claramente diferenciados. Los puntos situados en la parte superior-derecha del gráfico representan los resultados obtenidos para los casos

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

simulados con una temperatura del agua igual a 70 °C mientras que los puntos situados en la parte inferior-izquierda representan los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas considerando que el agua se encuentra a 50°C.

Los resultados obtenidos para la posición vertical y horizontal se razonan considerando el modelo como una placa plana, como ya se hizo en el método de cálculo desarrollado en el capítulo 3 de este proyecto. Para una placa vertical caliente con respecto a un fluido ambiental, la placa se alinea con el vector gravedad, y la fuerza de empuje actúa exclusivamente para inducir el movimiento del fluido en la dirección ascendente. Sin embargo, si la placa está inclinada con respecto a la gravedad, la fuerza de empuje tiene una componente normal y una componente paralela a la superficie de la placa. Con una reducción en la fuerza de empuje paralela a la superficie, hay una reducción en las velocidades del fluido a lo largo de la placa y se podría esperar una reducción en la transferencia de calor por convección.

En la Fig.4.8 se representa los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas considerando que el agua se encuentra a 70 °C mientras que en la Fig.4.9 se representan los correspondientes a 50 °C para poder distinguir los distintos casos puesto que en la Fig.4.7 muchos puntos se superponen.

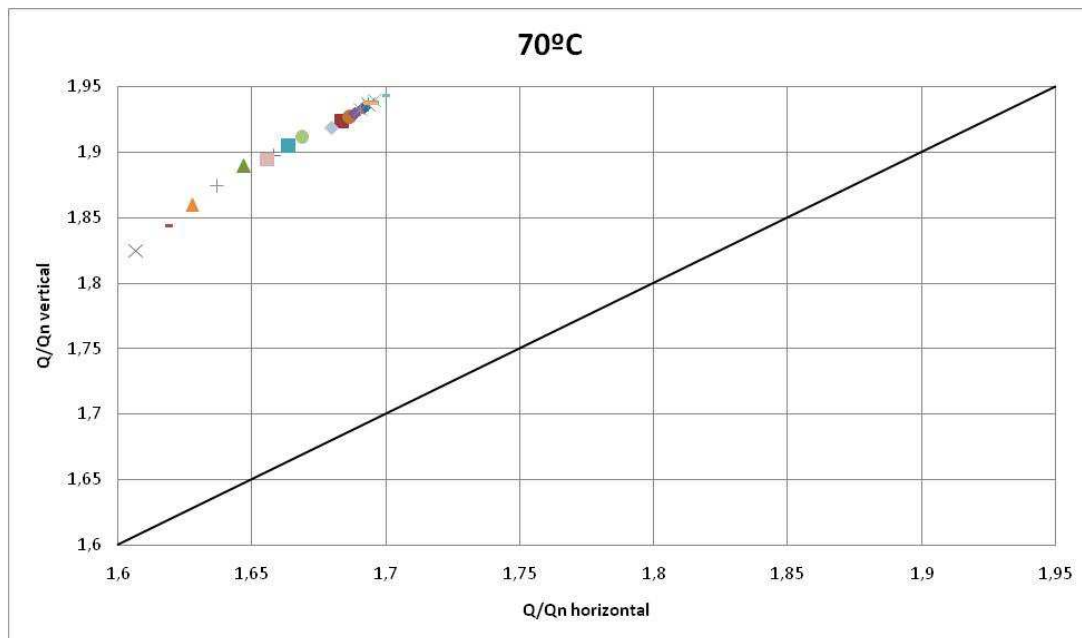


Fig.4.8.- Influencia en el calor adimensional de la posición del modelo tubo interno 70 °C

En la Fig. 4.8 queda reflejado como la relación entre el calor adimensional obtenido para la posición vertical y horizontal presenta la misma tendencia para todos los casos simulados con el

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

agua a 70°C. Todos los casos estudiados se encuentran, como se ha visto en la Fig.4.7, arriba de la línea situada a 45° en el gráfico

En la tabla 4.3 aparece la distancia existente entre los puntos reales obtenidos de la simulación y la línea trazada a 45°, lo que permite identificar el incremento del calor adimensional transmitido por el modelo en posición vertical frente al modelo en posición horizontal.

La primera columna que aparece en la tabla identifica cada caso simulado con un número. Posteriormente se expresan las dimensiones del espesor, diámetros interior y exterior del tubo y paso entre tubos asignadas al modelo de simulación en dicho caso de estudio. La columna que aparece a continuación muestra la distancia existente entre cada punto y la línea trazada a 45°, dicha distancia se calcula como la diferencia entre el calor adimensional transmitido por el modelo en posición vertical y el transmitido en posición horizontal. La última columna muestra el incremento que supone el calor adimensional transmitido en posición vertical frente al horizontal. Dicho incremento se calcula como la distancia expresada en la columna anterior dividida por el calor adimensional transmitido en posición horizontal.

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h	Distancia	ΔQ(%)
1	10	6/8	80	70	1,93	1,69	0,24	14,31%
2	10	6/8	100	70	1,92	1,68	0,24	14,23%
3	10	6/8	150	70	1,89	1,65	0,24	14,73%
4	10	6/8	200	70	1,82	1,61	0,22	13,54%
5	12	6/8	80	70	1,94	1,69	0,24	14,33%
6	12	6/8	100	70	1,93	1,69	0,24	14,26%
7	12	6/8	150	70	1,90	1,66	0,24	14,43%
8	12	6/8	200	70	1,84	1,62	0,23	13,93%
9	15	6/8	80	70	1,94	1,69	0,24	14,34%
10	15	6/8	100	70	1,93	1,69	0,24	14,28%
11	15	6/8	150	70	1,90	1,66	0,24	14,48%
12	15	6/8	200	70	1,86	1,63	0,23	14,24%
13	20	6/8	80	70	1,94	1,70	0,24	14,35%
14	20	6/8	100	70	1,93	1,69	0,24	14,30%
15	20	6/8	150	70	1,91	1,67	0,24	14,53%
16	20	6/8	200	70	1,87	1,64	0,24	14,49%
17	20	8/10	80	70	1,94	1,70	0,24	14,38%
18	20	8/10	100	70	1,94	1,69	0,24	14,34%
19	20	8/10	150	70	1,92	1,68	0,24	14,20%
20	20	8/10	200	70	1,89	1,66	0,24	14,40%

Tabla 4.3.- Errores casos tubo interno 70 °C

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Como se observó en la gráfica, todos los casos estudiados muestran la misma tendencia. El calor adimensional transmitido por el modelo en posición vertical es igual al transmitido en posición horizontal aumentado un 14%.

A partir de los resultados que aparecen en la columna llamada distancia de la tabla 4.3 se puede afirmar que todos los puntos se encuentran a una distancia muy similar de la línea trazada a 45°, diferenciándose a partir del segundo decimal. No existe, por tanto, ningún punto más alejado que el resto de la línea trazada a 45°

La figura 4.9 muestra la relación entre el calor adimensional proporcionado por el modelo en posición vertical y en posición horizontal en los casos simulados considerando que el agua se encuentra a 50°C.

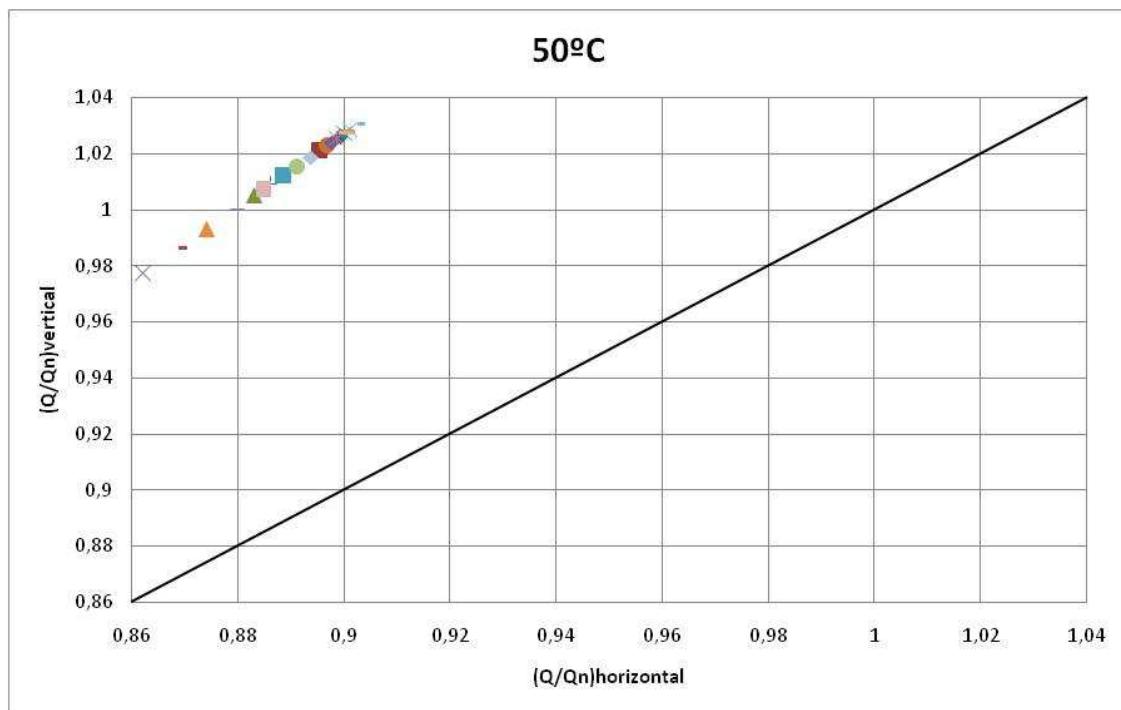


Fig.4.9.- Influencia en el calor adimensional de la posición del modelo tubo interno 50 °C

En la Fig.4.9 se observa como la relación entre el calor adimensional transmitido por el modelo en posición vertical y en posición horizontal presenta la misma tendencia para todos los casos estudiados considerando que el agua se encuentra a 50°C.

En la Fig.4.7 los puntos que representan los casos estudiados para 50°C se encuentran más próximos a la línea trazada a 45° que los casos que consideran el agua a 70°C. Con la tabla 4.4 se puede comprobar analíticamente lo observado en el gráfico porque muestra la distancia existente entre los puntos y la línea trazada a 45°.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h	Distancia	ΔQ(%)
1	10	6/8	80	50	1,03	0,90	0,13	14,10%
2	10	6/8	100	50	1,02	0,90	0,13	14,03%
3	10	6/8	150	50	1,01	0,88	0,12	13,81%
4	10	6/8	200	50	0,98	0,86	0,12	13,35%
5	12	6/8	80	50	1,03	0,90	0,13	14,11%
6	12	6/8	100	50	1,02	0,90	0,13	14,05%
7	12	6/8	150	50	1,01	0,89	0,12	13,86%
8	12	6/8	200	50	0,99	0,87	0,12	13,49%
9	15	6/8	80	50	1,03	0,90	0,13	14,12%
10	15	6/8	100	50	1,02	0,90	0,13	14,07%
11	15	6/8	150	50	1,01	0,89	0,12	13,90%
12	15	6/8	200	50	0,99	0,87	0,12	13,58%
13	20	6/8	80	50	1,03	0,90	0,13	14,13%
14	20	6/8	100	50	1,03	0,90	0,13	14,09%
15	20	6/8	150	50	1,02	0,89	0,12	13,95%
16	20	6/8	200	50	1,00	0,88	0,12	13,64%
17	20	8/10	80	50	1,03	0,90	0,13	14,16%
18	20	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	14,12%
19	20	8/10	150	50	1,02	0,89	0,13	13,99%
20	20	8/10	200	50	1,01	0,88	0,12	13,84%

Tabla 4.4.- Errores casos tubo interno 50 °C

Con los resultados que aparecen en la tabla 4.4 se puede observar que el calor adimensional transmitido por el modelo en posición vertical es igual al transmitido en posición horizontal incrementado en un 14% aproximadamente, como ocurría en la tabla 4.3.

Mientras que la columna denominada distancia en la tabla 4.3 presentaba valores del orden de 0,2, en la tabla 4.4 presenta valores del orden de 0,1. Se comprueba con ello lo observado en la Fig.4.7, que la distancia de los puntos simulados a la línea a 45° es menor para los casos con el agua a 50°C que para los casos con el agua a 70°C. No se identifica ningún punto en el que la distancia a la línea trazada a 45° sea significativamente mayor que para el resto.

4.3.2. Resultados modelo tubo externo

El calor proporcionado por el programa Comsol cuando se simula el caso base es 609,5006 W/m². El calor adimensional se obtiene al dividir el calor proporcionado por cada caso por el calor obtenido al simular el caso base.

El caso base de la tipología de tubo externo está caracterizado por los siguientes valores de los parámetros variables:

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

CASO BASE TUBO EXTERNO

A=20 mm
C=200 mm
B=5 mm
 $D_i/d_e=6/8$
Temperatura=50 °C
Posición= vertical

Variación con el espesor (A)

Se estudia cómo influye en la potencia transmitida por el modelo una variación del espesor, manteniendo el resto de los parámetros iguales a los del caso base. Los resultados obtenidos se representan en la figura 4.10.

La variación con el espesor para la tipología de tubo externo presenta la misma tendencia que para el tubo interno. Se puede observar como el calor adimensional también es mayor cuando aumenta el espesor del modelo de estudio. La Fig.4.10 muestra que el calor adimensional aumenta 0,035 cuando el espesor aumenta de 6 a 10 mm mientras que aumenta 0,005 cuando el espesor aumenta de 10 a 15 mm. Por tanto, se puede afirmar que para casos caracterizados con un espesor menor, el aumento de la potencia cuando aumentas el espesor es más significativo.

El aumento de la potencia transferida por el modelo al aumentar el espesor se justifica, al igual que para el caso de tubo interno, asemejando el comportamiento del modelo al de una aleta.

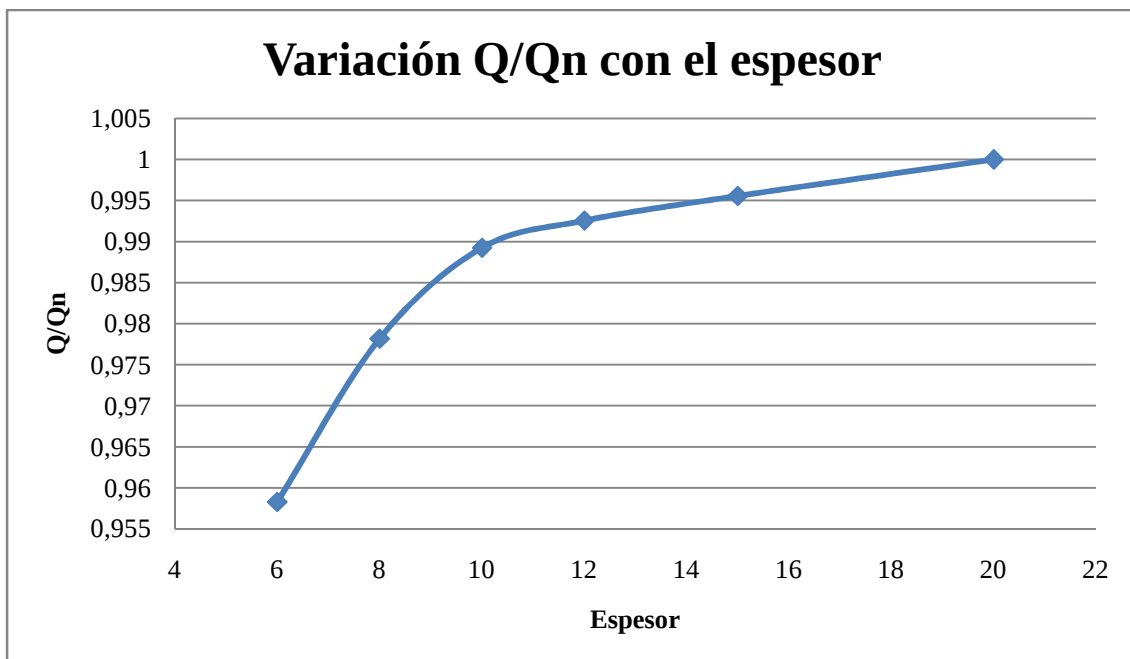


Fig.4.10.- Influencia en el calor adimensional del espesor caso tubo externo

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Como se indicó para la tipología de tubo interno, antes de simular los casos pueda pensarse que un aumento del espesor implicará un aumento de la resistencia de conducción y, por tanto, una disminución de la potencia transferida. Sin embargo, al aumentar el espesor también aumenta el área de superficie a través de la cuál ocurre la convección, como ocurre con el uso de aletas.

El razonamiento de los resultados obtenidos es igual al realizado en el apartado 4.3.1 para la variación con el espesor del modelo de tubo interno puesto que el comportamiento del modelo de tubo externo también puede asemejarse al de una aleta.

Variación con el paso (C)

Se mantienen el resto de variables iguales a los del caso base y se observa cómo influye en la potencia transferida por el modelo una variación del paso entre tubos.

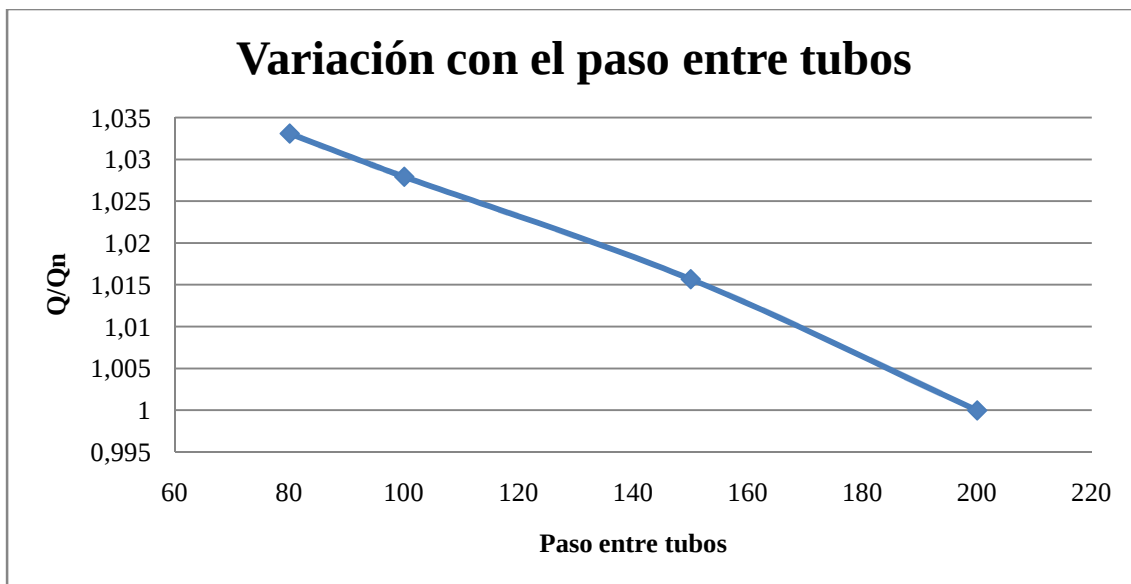


Fig.4.11.- Influencia en el calor adimensional del paso entre tubos caso tubo externo

En la Fig.4.11 queda reflejado que el calor adimensional disminuye en los casos en los que el paso entre tubos adquiere valores mayores. La Fig.4.11 muestra que la relación entre el calor adimensional y el paso entre tubos es prácticamente lineal.

Al igual que al estudiar la variación con el espesor, la explicación del comportamiento del modelo al simular los distintos casos se obtiene identificando dicho modelo con una aleta. La mitad del paso entre tubos del modelo de estudio es el equivalente a la L de las aletas y, por tanto, un aumento del paso entre tubos implica un aumento del factor mL .

Se sigue el mismo procedimiento que para el caso de tubo interno y se observa en la figura 4.3 que un aumento de mL implica una disminución del rendimiento con la consiguiente disminución de la potencia transferida.

Variación con el diámetro (di/de)

Se mantienen el resto de variables iguales a las del caso base y se observa la influencia en la potencia transferida de una variación del diámetro del tubo por el que circula el fluido caloportador

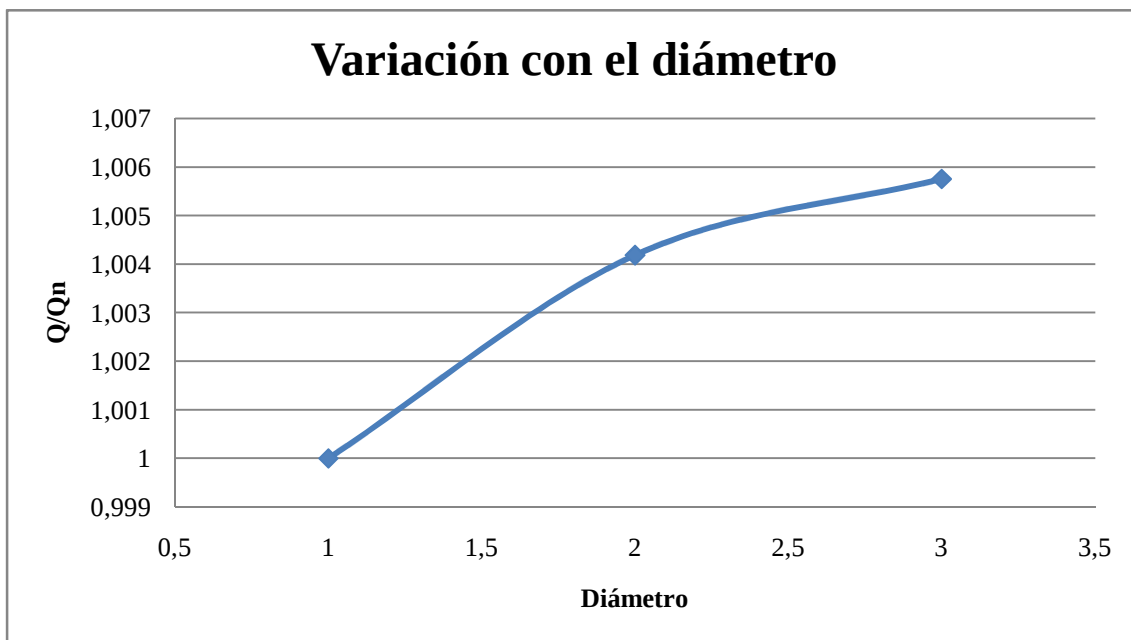


Fig. 4.12.- Influencia en el calor adimensional del diámetro del tubo

Se puede observar en la Fig.4.12 como el calor adimensional aumenta al aumentar el diámetro interior y exterior del tubo.

Para determinar la influencia del diámetro en la potencia se simula el caso base tres veces. En cada una de ellas con unos valores distintos de diámetros interior y exterior. La primera vez, el diámetro interior mide 6 mm y el exterior mide 8 mm. En la segunda simulación, el diámetro interior mide 8 mm y el exterior 10 mm. Por último, se simula el caso base con un diámetro interior igual a 12 mm y un exterior igual a 15 mm.

Se puede observar en el gráfico que cuando se simula el caso base la segunda vez, el calor adimensional obtenido vale 1,004 mientras que en la primera simulación del caso base, se obtiene un calor adimensional igual a 1. El calor adimensional obtenido con la tercera

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

simulación del caso base vale 1,006. Por tanto, el aumento de la potencia al aumentar los diámetros no es lineal.

Como ocurría para el caso de tubo interno, la resistencia convectiva interior ha sido despreciada y, por tanto, la variación del caudal de fluido caloportador derivada de la variación del diámetro interior no influye en la potencia transmitida por el modelo.

Un aumento del diámetro sólo implica un aumento de la superficie caliente puesto que se considera que el diámetro interior del tubo se encuentra a la misma temperatura del fluido. Cuando se simula el modelo con mayor superficie caliente, éste transmite mayor potencia, como ocurre en los casos estudiados.

Variación con la temperatura del fluido caloportador

El resto de parámetros permanecen con los mismos valores que para el caso base mientras que la temperatura del fluido caloportador aumenta de 50°C a 70°C.

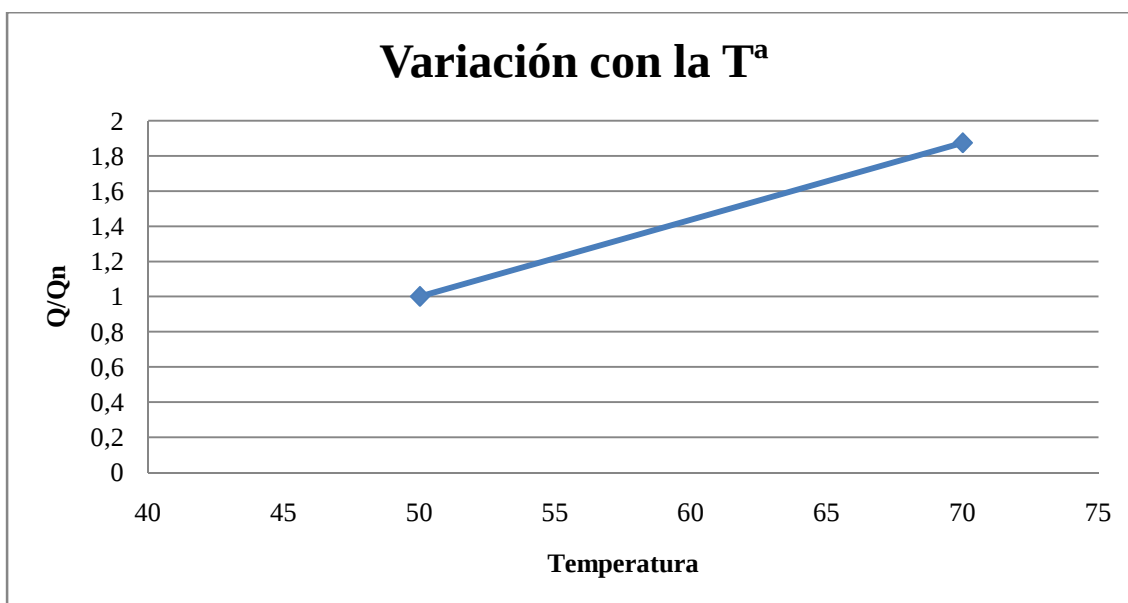


Fig. 4.13.- Influencia en el calor adimensional de la temperatura caso tubo externo

La variación del calor adimensional para la tipología de tubo externo presenta unos resultados muy similares a los obtenidos para la tipología de tubo interno. Se puede observar que las figuras 4.13 y 4.6 son prácticamente iguales.

En ambas tipologías cuando la temperatura del fluido caloportador es 70 °C, en lugar de 50 °C, el calor adimensional obtenido es aproximadamente 1,85 en lugar de 1. Por tanto, cuando la

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

temperatura del fluido caloportador aumenta 20 °C, el calor adimensional obtenido aumenta un 85%.

Como para el modelo de tubo interno, es evidente que un aumento de temperatura del fluido caloportador implica un aumento de la potencia transferida pero este gráfico sirve para cuantificar dicho aumento.

Variación con la posición

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, para la tipología de tubo externo se realizan 3 simulaciones para cada caso de estudio. En una de ellas se considera que el modelo se encuentra en posición vertical mientras que en las otras dos se considera que el modelo se encuentra en posición horizontal. En la posición denominada horizontal1 el modelo se encuentra como aparece dibujado en la Fig. 3.3 mientras que en la posición horizontal2 el modelo se encuentra girado 180° respecto a la horizontal1.

En la Fig.4.14 se representa la relación entre el calor adimensional obtenido en la posición vertical y en la posición horizontal1 para cada caso simulado.

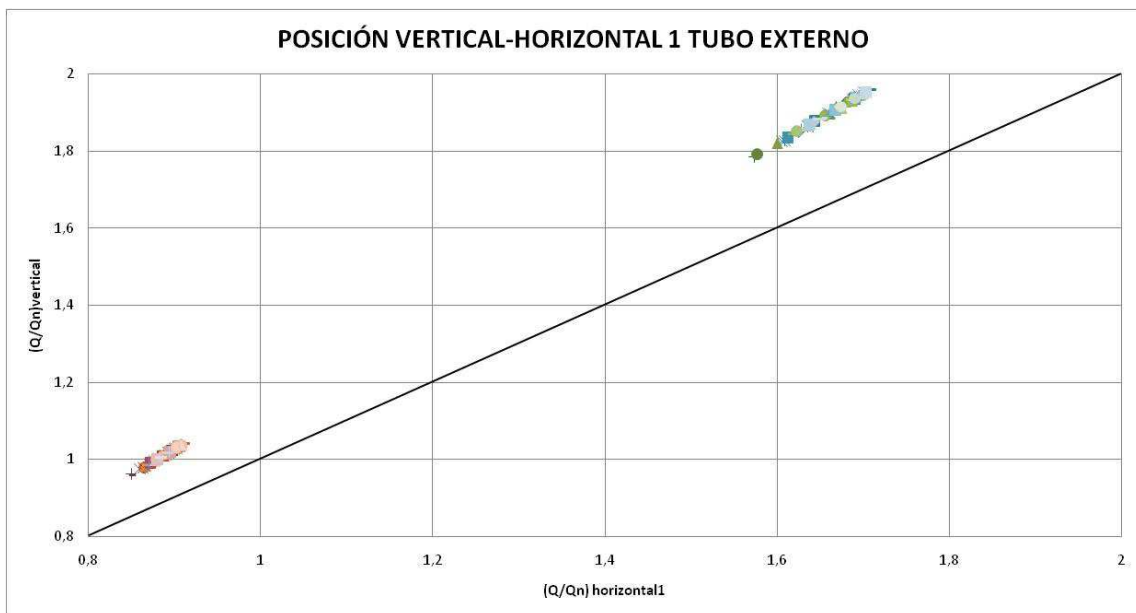


Fig. 4.14.- Calor adimensional de la posición vertical frente a horizontal1 modelo tubo externo

La representación de los resultados obtenidos en las simulaciones de los casos estudiados para tubo externo presenta una tendencia muy similar a la obtenida en la Fig. 4.7 para los casos de tubo interno.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Se puede observar como en todos los casos el calor adimensional correspondiente a la posición vertical es mayor al de la posición horizontal¹ puesto que todos los puntos se encuentran por encima de la línea trazada a 45° .

En la Fig. 4.14 pueden distinguirse dos grandes grupos, los puntos situados en la parte superior-derecha del gráfico representan los resultados obtenidos para los casos simulados con una temperatura del agua igual a 70°C mientras que los puntos situados en la parte inferior-izquierda representa los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas considerando que el agua se encuentra a 50°C .

Los resultados obtenidos para el modelo de tubo externo tienen una explicación muy similar a la obtenida para el modelo de tubo interno, identificando el modelo con una placa plana. Es esperable que la transferencia de calor por convección a lo largo de la placa sea inferior cuando la placa se encuentra en posición horizontal respecto a la vertical al reducirse la fuerza de empuje paralela a la superficie y, por tanto, la velocidad del fluido a lo largo de la placa. La reducción de la fuerza de empuje paralela a la superficie en la posición horizontal, se debe a la división de ésta en una componente normal y una paralela a la superficie de la placa.

En la Fig. 4.15 se representan los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas considerando que el agua se encuentra a 70°C mientras que en la Fig. 4.16 se representan los correspondientes a 50°C , ya que en la Fig. 4.14 muchos puntos se superponen.

También se realizan unas tablas que muestran los resultados analíticos de calcular la distancia de cada punto a la línea a 45° y el incremento de calor adimensional que se produce cuando se coloca el modelo en posición vertical frente a la horizontal.

En la Fig. 4.15 se puede observar que todos los puntos estudiados muestran la misma tendencia, por tanto, puede afirmarse que la relación entre el calor adimensional obtenido al simular el modelo en posición vertical y horizontal¹ en todos los casos toma valores muy parecidos.

A partir de la Fig. 4.15 se puede intuir que la distancia de los puntos a la línea trazada a 45° toma valores muy parecidos en todos los casos. La tabla 4.5 muestra dicha distancia y el incremento de calor adimensional que se produce cuando se coloca el modelo en posición vertical frente al horizontal.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

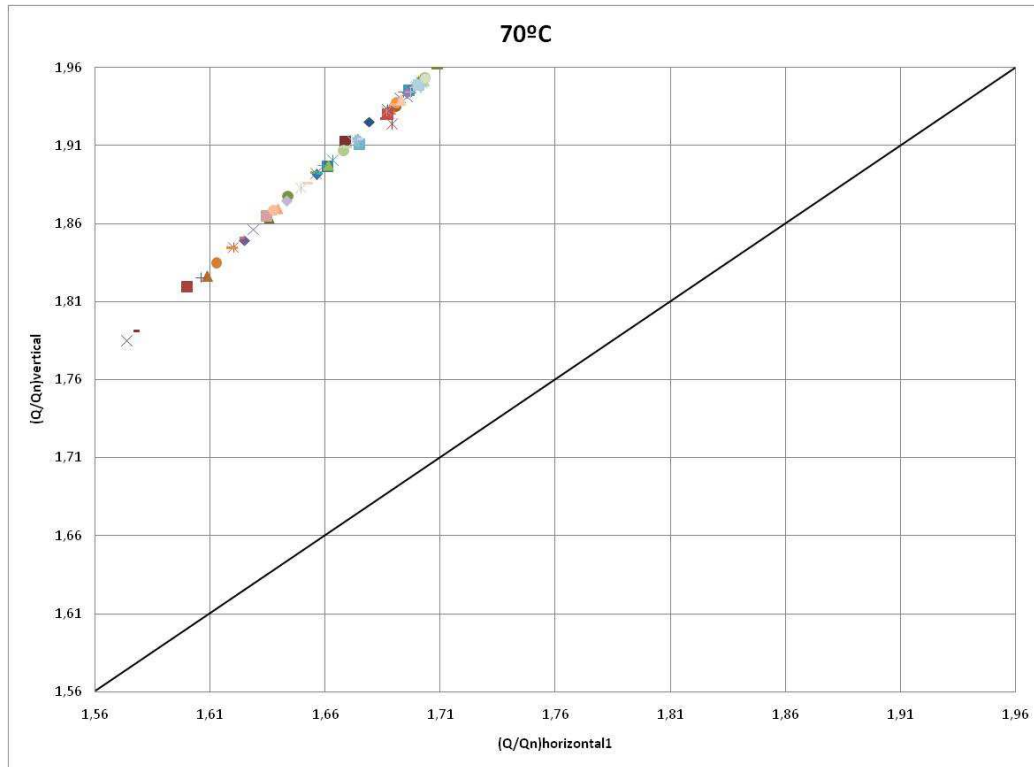


Fig.4.15.- Calor adimensional posición vertical frente horizontal 1 70°C

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h1	Distancia	ΔQ(%)
1	6	6/8	80	70	1,93	1,68	0,25	12,78%
2	6	6/8	100	70	1,91	1,67	0,24	12,75%
3	6	6/8	150	70	1,86	1,64	0,23	12,24%
4	6	6/8	200	70	1,78	1,57	0,21	11,81%
5	6	8/10	80	70	1,93	1,69	0,25	12,70%
6	6	8/10	100	70	1,93	1,69	0,24	12,62%
7	6	8/10	150	70	1,87	1,64	0,23	12,30%
8	6	8/10	200	70	1,79	1,58	0,21	11,95%
9	6	12/15	80	70	1,96	1,71	0,25	12,81%
10	6	12/15	100	70	1,94	1,70	0,25	12,71%
11	6	12/15	150	70	1,90	1,66	0,24	12,41%
12	6	12/15	200	70	1,83	1,61	0,22	11,90%
13	8	6/8	80	70	1,94	1,69	0,25	12,78%
14	8	6/8	100	70	1,92	1,69	0,23	12,18%
15	8	6/8	150	70	1,88	1,64	0,23	12,45%
16	8	6/8	200	70	1,83	1,61	0,22	12,02%
17	8	8/10	80	70	1,95	1,70	0,25	12,81%
18	8	8/10	100	70	1,94	1,69	0,25	12,66%
19	8	8/10	150	70	1,89	1,66	0,23	12,42%
20	8	8/10	200	70	1,82	1,60	0,22	12,05%

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h1	Distancia	ΔQ(%)
21	8	12/15	80	70	1,95	1,70	0,25	12,83%
22	8	12/15	100	70	1,94	1,70	0,25	12,64%
23	8	12/15	150	70	1,90	1,66	0,24	12,48%
24	8	12/15	200	70	1,83	1,61	0,22	12,10%
25	10	6/8	80	70	1,94	1,69	0,25	12,85%
26	10	6/8	100	70	1,93	1,68	0,24	12,62%
27	10	6/8	150	70	1,89	1,66	0,24	12,49%
28	10	6/8	200	70	1,85	1,62	0,22	12,13%
29	10	8/10	80	70	1,95	1,70	0,25	12,78%
30	10	8/10	100	70	1,93	1,69	0,24	12,67%
31	10	8/10	150	70	1,89	1,66	0,24	12,47%
32	10	8/10	200	70	1,84	1,62	0,22	12,17%
33	10	12/15	80	70	1,95	1,70	0,25	12,78%
34	10	12/15	100	70	1,93	1,69	0,25	12,67%
35	10	12/15	150	70	1,89	1,66	0,24	12,45%
36	10	12/15	200	70	1,84	1,62	0,22	12,19%
37	12	6/8	80	70	1,95	1,70	0,25	12,78%
38	12	6/8	100	70	1,93	1,69	0,24	12,59%
39	12	6/8	150	70	1,90	1,66	0,24	12,43%
40	12	6/8	200	70	1,86	1,63	0,23	12,24%
41	12	8/10	80	70	1,95	1,70	0,25	12,74%
42	12	8/10	100	70	1,94	1,69	0,25	12,71%
43	12	8/10	150	70	1,90	1,66	0,24	12,57%
44	12	8/10	200	70	1,85	1,62	0,23	12,31%
45	12	12/15	80	70	1,95	1,70	0,25	12,72%
46	12	12/15	100	70	1,94	1,70	0,25	12,76%
47	12	12/15	150	70	1,91	1,67	0,24	12,34%
48	12	12/15	200	70	1,87	1,64	0,23	12,31%
49	15	6/8	80	70	1,95	1,70	0,25	12,72%
50	15	6/8	100	70	1,93	1,69	0,24	12,68%
51	15	6/8	150	70	1,91	1,67	0,24	12,52%
52	15	6/8	200	70	1,87	1,64	0,23	12,26%
53	15	8/10	80	70	1,95	1,70	0,25	12,73%
54	15	8/10	100	70	1,94	1,69	0,25	12,69%
55	15	8/10	150	70	1,91	1,67	0,24	12,55%
56	15	8/10	200	70	1,86	1,63	0,23	12,34%
57	15	12/15	80	70	1,95	1,70	0,25	12,73%
58	15	12/15	100	70	1,95	1,70	0,25	12,72%
59	15	12/15	150	70	1,91	1,67	0,24	12,57%
60	15	12/15	200	70	1,87	1,64	0,23	12,36%
61	20	6/8	80	70	1,95	1,70	0,25	12,75%

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h1	Distancia	ΔQ(%)
62	20	6/8	100	70	1,94	1,69	0,25	12,68%
63	20	6/8	150	70	1,91	1,67	0,24	12,56%
64	20	6/8	200	70	1,87	1,64	0,23	12,32%
65	20	8/10	80	70	1,95	1,70	0,25	12,73%
66	20	8/10	100	70	1,94	1,69	0,25	12,70%
67	20	8/10	150	70	1,91	1,67	0,24	12,55%
68	20	8/10	200	70	1,88	1,65	0,23	12,38%
69	20	12/15	80	70	1,95	1,70	0,25	12,76%
70	20	12/15	100	70	1,94	1,70	0,25	12,70%
71	20	12/15	150	70	1,91	1,67	0,24	12,55%
72	20	12/15	200	70	1,89	1,65	0,23	12,38%

Tabla 4.5.- Errores vertical –horizontal1 modelo tubo externo 70 °C

Con la tabla 4.5 se afirma lo que se había observado en la Fig.4.15, todos los puntos se encuentran a una distancia muy parecida de la línea trazada a 45°, variando la distancia de cada punto a partir del segundo decimal.

Al observar la Fig. 4.15 y la tabla 4.5 se puede afirmar que la relación entre los resultados obtenidos para la posición vertical y para la posición horizontal1 en todos los casos simulados para la tipología de tubo externo considerando el agua a 70 °C presenta la misma tendencia. El incremento del calor adimensional transmitido en posición vertical respecto al horizontal en todos los casos es del 12%.

Los resultados obtenidos al simular los casos para la tipología de tubo externo considerando el agua a 50 °C se representan en la Fig.4.16.

En la Fig.4.16 queda reflejado que todos los puntos obtenidos considerando el agua a 50°C muestran la misma tendencia al relacionar el calor adimensional transmitido en posición vertical frente al transmitido en posición horizontal1.

En la tabla 4.6 se muestran los resultados obtenidos al calcular analíticamente la distancia de cada punto a la línea trazada a 45° y el aumento del calor adimensional transmitido por el modelo en posición vertical frente al transmitido en posición horizontal. Esta tabla, al igual que en los casos anteriores, se realiza para identificar si existe algún caso en el que el incremento de calor transmitido en posición vertical frente al horizontal sea significativamente distinto respecto al resto, aunque viendo la Fig.4.16 se puede intuir que todos los casos estudiados presentarán valores muy próximos.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

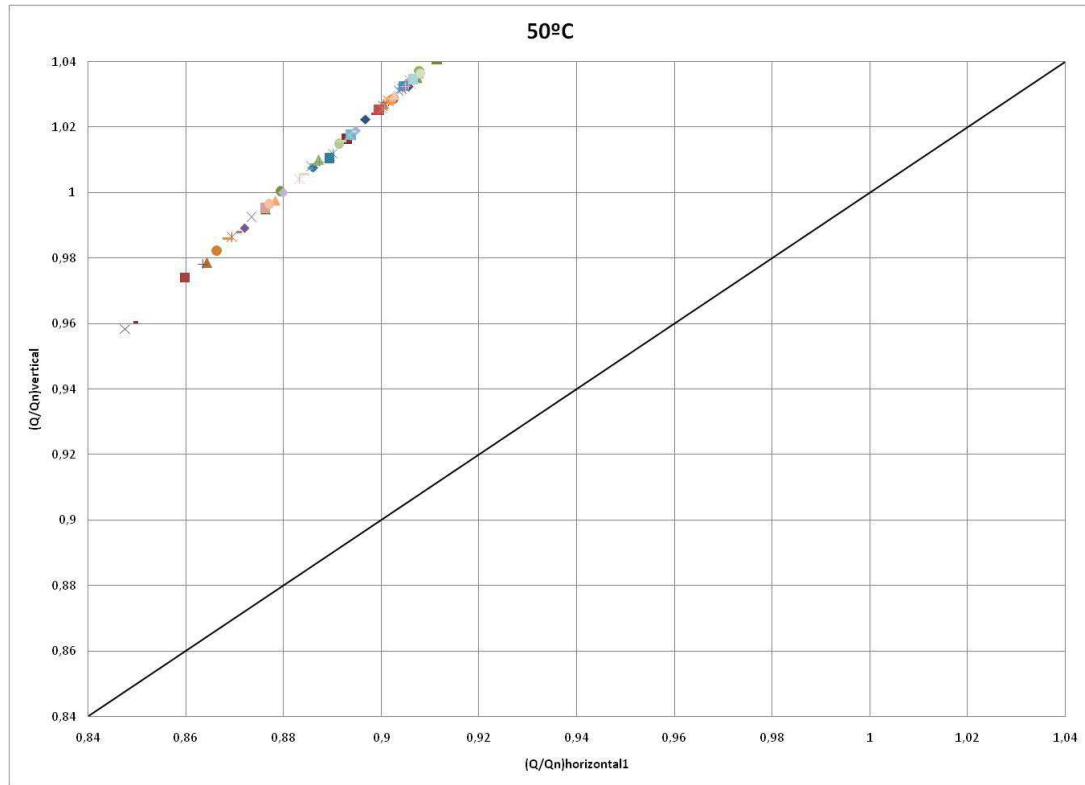


Fig.4.16.- Calor adimensional posición vertical frente horizontal 1 50°C

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h	Distancia	ΔQ(%)
1	6	6/8	80	50	1,02	0,90	0,13	12,29%
2	6	6/8	100	50	1,02	0,89	0,12	12,14%
3	6	6/8	150	50	0,99	0,88	0,12	11,91%
4	6	6/8	200	50	0,96	0,85	0,11	11,56%
5	6	8/10	80	50	1,03	0,90	0,13	12,29%
6	6	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	12,26%
7	6	8/10	150	50	1,00	0,88	0,12	11,98%
8	6	8/10	200	50	0,96	0,85	0,11	11,58%
9	6	12/15	80	50	1,04	0,91	0,13	12,33%
10	6	12/15	100	50	1,03	0,91	0,13	12,28%
11	6	12/15	150	50	1,01	0,89	0,12	11,98%
12	6	12/15	200	50	0,98	0,86	0,11	11,67%
13	8	6/8	80	50	1,03	0,90	0,13	12,37%
14	8	6/8	100	50	1,03	0,90	0,13	12,29%
15	8	6/8	150	50	1,00	0,88	0,12	12,11%
16	8	6/8	200	50	0,98	0,86	0,11	11,73%
17	8	8/10	80	50	1,04	0,91	0,13	12,33%
18	8	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	12,29%
19	8	8/10	150	50	1,01	0,89	0,12	12,07%
20	8	8/10	200	50	0,97	0,86	0,11	11,72%

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h	Distancia	ΔQ(%)
21	8	12/15	80	50	1,04	0,91	0,13	12,34%
22	8	12/15	100	50	1,03	0,90	0,13	12,34%
23	8	12/15	150	50	1,01	0,89	0,12	12,04%
24	8	12/15	200	50	0,98	0,87	0,12	11,81%
25	10	6/8	80	50	1,03	0,90	0,13	12,37%
26	10	6/8	100	50	1,02	0,90	0,13	12,30%
27	10	6/8	150	50	1,01	0,89	0,12	12,09%
28	10	6/8	200	50	0,99	0,87	0,12	11,85%
29	10	8/10	80	50	1,03	0,90	0,13	12,38%
30	10	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	12,31%
31	10	8/10	150	50	1,01	0,89	0,12	12,13%
32	10	8/10	200	50	0,99	0,87	0,12	11,86%
33	10	12/15	80	50	1,04	0,91	0,13	12,47%
34	10	12/15	100	50	1,03	0,90	0,13	12,31%
35	10	12/15	150	50	1,01	0,89	0,12	12,14%
36	10	12/15	200	50	0,99	0,87	0,12	11,90%
37	12	6/8	80	50	1,03	0,90	0,13	12,38%
38	12	6/8	100	50	1,03	0,90	0,13	12,26%
39	12	6/8	150	50	1,01	0,89	0,12	12,16%
40	12	6/8	200	50	0,99	0,87	0,12	12,00%
41	12	8/10	80	50	1,03	0,91	0,13	12,34%
42	12	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	12,27%
43	12	8/10	150	50	1,01	0,89	0,12	12,08%
44	12	8/10	200	50	0,99	0,87	0,12	11,90%
45	12	12/15	80	50	1,03	0,91	0,13	12,41%
46	12	12/15	100	50	1,03	0,90	0,13	12,36%
47	12	12/15	150	50	1,02	0,89	0,12	12,17%
48	12	12/15	200	50	1,00	0,88	0,12	11,96%
48	15	6/8	80	50	1,03	0,91	0,13	12,42%
50	15	6/8	100	50	1,03	0,90	0,13	12,22%
51	15	6/8	150	50	1,01	0,89	0,12	12,17%
52	15	6/8	200	50	1,00	0,88	0,12	11,92%
53	15	8/10	80	50	1,04	0,91	0,13	12,33%
54	15	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	12,34%
55	15	8/10	150	50	1,02	0,89	0,12	12,18%
56	15	8/10	200	50	1,00	0,88	0,12	11,96%
57	15	12/15	80	50	1,04	0,91	0,13	12,42%
58	15	12/15	100	50	1,03	0,91	0,13	12,30%
59	15	12/15	150	50	1,02	0,89	0,12	12,15%
60	15	12/15	200	50	1,00	0,88	0,12	11,99%
61	20	6/8	80	50	1,03	0,91	0,13	12,34%

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h	Distancia	ΔQ(%)
62	20	6/8	100	50	1,03	0,90	0,13	12,27%
63	20	6/8	150	50	1,02	0,89	0,12	12,19%
64	20	6/8	200	50	1,00	0,88	0,12	12,00%
65	20	8/10	80	50	1,03	0,91	0,13	12,38%
66	20	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	12,34%
67	20	8/10	150	50	1,02	0,89	0,12	12,21%
68	20	8/10	200	50	1,00	0,88	0,12	12,05%
69	20	12/15	80	50	1,04	0,91	0,13	12,39%
70	20	12/15	100	50	1,03	0,90	0,13	12,36%
71	20	12/15	150	50	1,02	0,89	0,12	12,24%
72	20	12/15	200	50	1,01	0,88	0,12	12,07%

Tabla 4.6.- Errores vertical –horizontal1 modelo tubo externo 50 °C

Con la tabla 4.6 se afirma lo que se había observado en la Fig.4.16, todos los puntos se encuentran a una distancia muy parecida de la línea trazada a 45°, variando la distancia de cada punto a partir del segundo decimal. La distancia entre el calor adimensional transmitido en posición vertical y el transmitido en posición horizontal es aproximadamente 0,12 en todos los casos simulados. No existe, por tanto, ningún punto en el que esa distancia sea significativamente distinta al resto.

Al observar la Fig. 4.16 y la tabla 4.6 se puede afirmar que la relación entre los resultados obtenidos para la posición vertical y para la posición horizontal1 en todos los casos simulados con el agua a 50 °C presenta la misma tendencia. El incremento del calor adimensional transmitido en posición vertical respecto al horizontal en todos los casos es entorno al 12%.

La distancia de los puntos simulados con el agua a 50°C a la línea trazada a 45° es menor que para los casos simulados con el agua a 70°C. Sin embargo, el incremento del calor adimensional transmitido en posición vertical frente al horizontal es alrededor del 12% en todos los casos estudiados en ambas situaciones.

La Fig. 4.17 muestra la relación entre el calor adimensional obtenido en la posición vertical y en la posición horizontal2. Como sucedió en la Fig.4.7 para la tipología de tubo interno y en la Fig.4.14 para la tipología de tubo externo pero para la posición vertical frente a horizontal1, todos los puntos se encuentran por encima de la línea trazada a 45° y, por tanto, se puede concluir que el modelo transmite mayor potencia en la posición vertical que en la horizontal. Dicho comportamiento tiene el mismo razonamiento que en los casos anteriores, al identificar el modelo con una placa plana.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

La Fig.4.14 y la Fig.4.17 son dos gráficas prácticamente iguales, por tanto, se puede deducir que no tiene una gran influencia en el calor adimensional distinguir entre la posición horizontal1 y horizontal2 del modelo porque la relación entre el calor adimensional transferido en la posición vertical y horizontal1 es prácticamente igual a la relación existente entre el calor adimensional transmitido en la posición vertical y horizontal2.

Al igual que se ha realizado con la Fig 4.14, la Fig.4.17 se divide en dos gráficas para poder distinguir los distintos puntos que se superponen, una correspondiente a los casos simulados para 70 °C y la otra a los casos simulados para 50°C. Se determina también la distancia entre los puntos a la línea trazada a 45° y el incremento en el calor adimensional transmitido que supone situar el modelo en posición vertical frente a la posición horizontal.

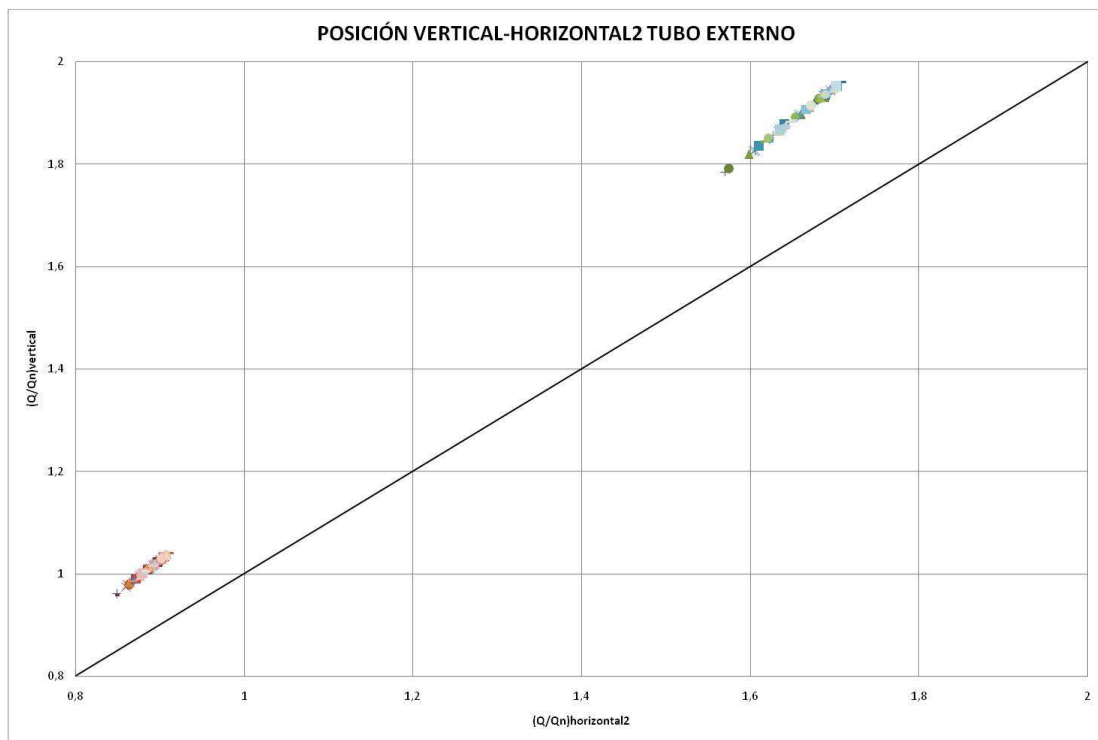


Fig.4.17.- Calor adimensional de la posición vertical frente a horizontal2 modelo tubo externo

La Fig 4.18 representa los resultados obtenidos en los casos simulados con el agua a 70°C para identificar si todos los puntos siguen la misma tendencia o alguno se encuentra más alejado de la línea a 45°. En la tabla 4.7 aparecen los resultados de calcular analíticamente la distancia de los puntos reales a la línea que representa la igualdad entre el calor adimensional transmitido en posición vertical frente al horizontal. También se muestra en dicha tabla el incremento del calor adimensional transmitido por el modelo en posición vertical frente al transmitido por el modelo en posición horizontal.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

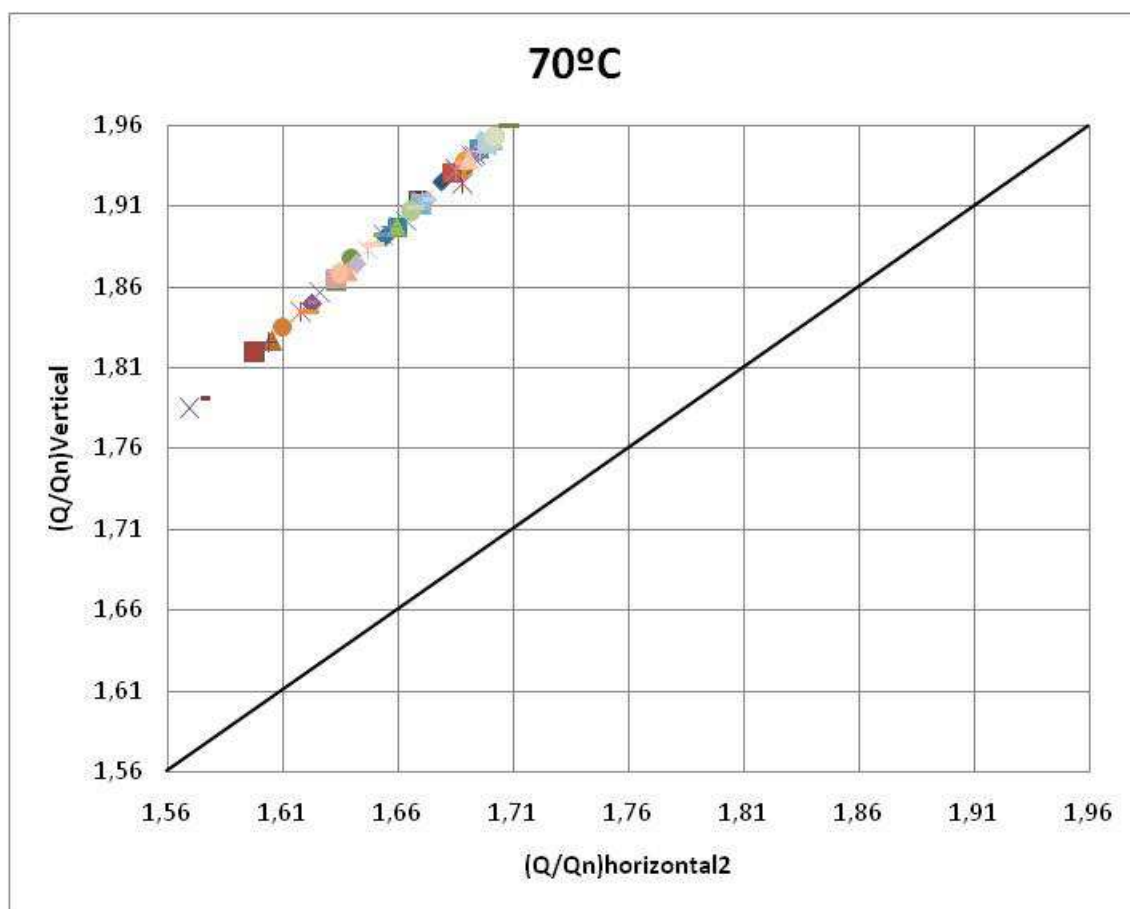


Fig.4.18.- Calor adimensional posición vertical frente a horizontal2 70°C

Todos los puntos representados en la Fig.4.18 se encuentran encima de la línea trazada a 45° y presentan una tendencia muy parecida. Mediante la tabla 4.7 se puede cuantificar la distancia de los puntos a la línea y el incremento del calor adimensional transmitido por el modelo en posición vertical frente al transmitido por el modelo en posición horizontal.

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h2	Distancia	ΔQ(%)
1	6	6/8	80	70	1,93	1,68	0,25	14,67%
2	6	6/8	100	70	1,91	1,67	0,24	14,59%
3	6	6/8	150	70	1,86	1,63	0,23	14,11%
4	6	6/8	200	70	1,78	1,57	0,21	13,69%
5	6	8/10	80	70	1,93	1,69	0,25	14,67%
6	6	8/10	100	70	1,93	1,69	0,25	14,57%
7	6	8/10	150	70	1,87	1,63	0,23	14,14%
8	6	8/10	200	70	1,79	1,57	0,22	13,73%
9	6	12/15	80	70	1,96	1,71	0,25	14,73%
10	6	12/15	100	70	1,94	1,70	0,25	14,64%
11	6	12/15	150	70	1,90	1,66	0,24	14,24%
12	6	12/15	200	70	1,83	1,61	0,22	13,74%

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h2	Distancia	ΔQ(%)
13	8	6/8	80	70	1,94	1,69	0,25	14,66%
14	8	6/8	100	70	1,92	1,69	0,24	13,96%
15	8	6/8	150	70	1,88	1,64	0,24	14,48%
16	8	6/8	200	70	1,83	1,60	0,22	13,81%
17	8	8/10	80	70	1,95	1,70	0,25	14,69%
18	8	8/10	100	70	1,94	1,69	0,25	14,59%
19	8	8/10	150	70	1,89	1,65	0,24	14,29%
20	8	8/10	200	70	1,82	1,60	0,22	13,85%
21	8	12/15	80	70	1,95	1,70	0,25	14,67%
22	8	12/15	100	70	1,94	1,69	0,25	14,61%
23	8	12/15	150	70	1,90	1,66	0,24	14,22%
24	8	12/15	200	70	1,83	1,61	0,22	13,96%
25	10	6/8	80	70	1,94	1,69	0,25	14,71%
26	10	6/8	100	70	1,93	1,68	0,25	14,63%
27	10	6/8	150	70	1,89	1,65	0,24	14,42%
28	10	6/8	200	70	1,85	1,62	0,23	13,96%
29	10	8/10	80	70	1,95	1,70	0,25	14,73%
30	10	8/10	100	70	1,93	1,69	0,25	14,64%
31	10	8/10	150	70	1,89	1,65	0,24	14,40%
32	10	8/10	200	70	1,84	1,62	0,23	14,00%
33	10	12/15	80	70	1,95	1,70	0,25	14,73%
34	10	12/15	100	70	1,93	1,69	0,25	14,61%
35	10	12/15	150	70	1,89	1,65	0,24	14,44%
36	10	12/15	200	70	1,84	1,62	0,22	13,74%
37	12	6/8	80	70	1,95	1,70	0,25	14,72%
38	12	6/8	100	70	1,93	1,68	0,25	14,64%
39	12	6/8	150	70	1,90	1,66	0,24	14,34%
40	12	6/8	200	70	1,86	1,63	0,23	14,11%
41	12	8/10	80	70	1,95	1,70	0,25	14,72%
42	12	8/10	100	70	1,94	1,69	0,25	14,69%
43	12	8/10	150	70	1,90	1,66	0,24	14,53%
44	12	8/10	200	70	1,85	1,62	0,23	14,16%
45	12	12/15	80	70	1,95	1,70	0,25	14,69%
46	12	12/15	100	70	1,94	1,70	0,25	14,66%
47	12	12/15	150	70	1,91	1,67	0,24	14,40%
48	12	12/15	200	70	1,87	1,64	0,23	14,13%
49	15	6/8	80	70	1,95	1,70	0,25	14,67%
50	15	6/8	100	70	1,93	1,69	0,25	14,63%
51	15	6/8	150	70	1,91	1,67	0,24	14,45%
52	15	6/8	200	70	1,87	1,63	0,23	14,11%
53	15	8/10	80	70	1,95	1,70	0,25	14,69%

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h2	Distancia	ΔQ(%)
54	15	8/10	100	70	1,94	1,69	0,25	14,64%
55	15	8/10	150	70	1,91	1,67	0,24	14,46%
56	15	8/10	200	70	1,86	1,63	0,23	14,17%
57	15	12/15	80	70	1,95	1,70	0,25	14,69%
58	15	12/15	100	70	1,95	1,70	0,25	14,67%
59	15	12/15	150	70	1,91	1,67	0,24	14,51%
60	15	12/15	200	70	1,87	1,63	0,23	14,28%
61	20	6/8	80	70	1,95	1,70	0,25	14,68%
62	20	6/8	100	70	1,94	1,69	0,25	14,63%
63	20	6/8	150	70	1,91	1,67	0,24	14,48%
64	20	6/8	200	70	1,87	1,64	0,23	14,16%
65	20	8/10	80	70	1,95	1,70	0,25	14,70%
66	20	8/10	100	70	1,94	1,69	0,25	14,68%
67	20	8/10	150	70	1,91	1,67	0,24	14,50%
68	20	8/10	200	70	1,88	1,65	0,24	14,29%
69	20	12/15	80	70	1,95	1,70	0,25	14,75%
70	20	12/15	100	70	1,94	1,70	0,25	14,65%
71	20	12/15	150	70	1,91	1,67	0,24	14,53%
72	20	12/15	200	70	1,89	1,65	0,24	14,31%

Tabla 4.7.- Errores vertical-horizontal2 modelo tubo externo 70°C

Todos los puntos se encuentran prácticamente a la misma distancia de la línea a 45°, diferenciadas dichas distancias a partir del segundo decimal. El calor adimensional transmitido en posición vertical es igual al transmitido en posición horizontal incrementado un 14%.

Si se compara la tabla 4.7 con la tabla 4.5, se puede observar que la distancia de los puntos a la línea trazada a 45° es muy similar, aproximadamente 0,2 en todos los puntos. Sin embargo, el calor adimensional transmitido por el modelo en posición vertical es un 12% mayor que el transmitido por el modelo en posición horizontal1 y un 14% mayor que el transmitido por el modelo en posición horizontal2.

En la Fig.4.19 se muestran los resultados obtenidos para 50°C junto a su línea a 45° y la tabla 4.8 muestra la distancia de los puntos a la recta y el incremento que supone en el calor adimensional colocar el modelo en posición vertical u horizontal2.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

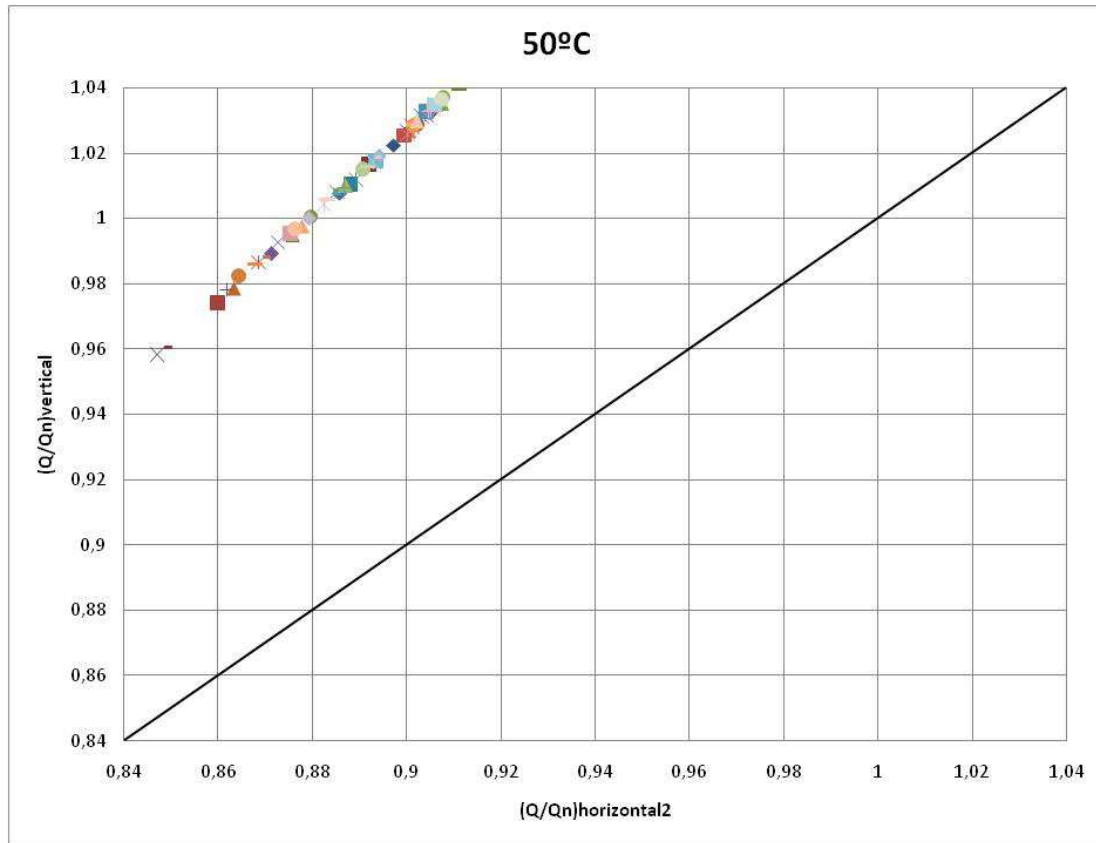


Fig.4.19.- Calor adimensional posición vertical frente a horizontal2 50°C

En la Fig. 4.19 se puede observar que todos los puntos se encuentran sobre la línea a 45° y presentan la misma tendencia, por tanto, el calor adimensional transmitido en la posición vertical es superior al transmitido en la posición horizontal2 en todos los puntos simulados con el agua a 50 °C. Esto mismo ocurriría en la Fig.4.16 que representaba el calor adimensional en la posición vertical frente a la horizontal1 para 50°C.

La distancia de cada punto a la línea a 45° y el incremento que supone en el calor adimensional la variación de la posición del modelo aparecen en la tabla 4.8.

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h2	Distancia	ΔQ(%)
1	6	6/8	80	50	1,02	0,90	0,13	13,95%
2	6	6/8	100	50	1,02	0,89	0,12	13,95%
3	6	6/8	150	50	0,99	0,88	0,12	13,62%
4	6	6/8	200	50	0,96	0,85	0,11	13,13%
5	6	8/10	80	50	1,03	0,90	0,13	14,01%
6	6	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	14,04%
7	6	8/10	150	50	1,00	0,88	0,12	13,65%
8	6	8/10	200	50	0,96	0,85	0,11	13,18%
9	6	12/15	80	50	1,04	0,91	0,13	14,10%

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h2	Distancia	ΔQ(%)
10	6	12/15	100	50	1,03	0,91	0,13	14,06%
11	6	12/15	150	50	1,01	0,89	0,12	13,77%
12	6	12/15	200	50	0,98	0,86	0,12	13,36%
13	8	6/8	80	50	1,03	0,90	0,13	14,17%
14	8	6/8	100	50	1,03	0,90	0,13	14,07%
15	8	6/8	150	50	1,00	0,88	0,12	13,74%
16	8	6/8	200	50	0,98	0,86	0,12	13,51%
17	8	8/10	80	50	1,04	0,91	0,13	14,12%
18	8	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	14,08%
19	8	8/10	150	50	1,01	0,89	0,12	13,75%
20	8	8/10	200	50	0,97	0,86	0,11	13,28%
21	8	12/15	80	50	1,04	0,91	0,13	14,08%
22	8	12/15	100	50	1,03	0,90	0,13	14,08%
23	8	12/15	150	50	1,01	0,89	0,12	13,79%
24	8	12/15	200	50	0,98	0,86	0,12	13,66%
25	10	6/8	80	50	1,03	0,90	0,13	14,18%
26	10	6/8	100	50	1,02	0,90	0,13	14,04%
27	10	6/8	150	50	1,01	0,89	0,12	13,84%
28	10	6/8	200	50	0,99	0,87	0,12	13,53%
29	10	8/10	80	50	1,03	0,90	0,13	14,20%
30	10	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	14,04%
31	10	8/10	150	50	1,01	0,89	0,12	13,88%
32	10	8/10	200	50	0,99	0,87	0,12	13,56%
33	10	12/15	80	50	1,04	0,91	0,13	14,25%
34	10	12/15	100	50	1,03	0,90	0,13	14,06%
35	10	12/15	150	50	1,01	0,88	0,12	13,90%
36	10	12/15	200	50	0,99	0,87	0,12	13,61%
37	12	6/8	80	50	1,03	0,90	0,13	14,19%
38	12	6/8	100	50	1,03	0,90	0,13	13,99%
39	12	6/8	150	50	1,01	0,89	0,12	13,86%
40	12	6/8	200	50	0,99	0,87	0,12	13,73%
41	12	8/10	80	50	1,03	0,91	0,13	14,20%
42	12	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	14,05%
43	12	8/10	150	50	1,01	0,89	0,12	13,84%
44	12	8/10	200	50	0,99	0,87	0,12	13,62%
45	12	12/15	80	50	1,03	0,91	0,13	14,21%
46	12	12/15	100	50	1,03	0,90	0,13	14,11%
47	12	12/15	150	50	1,02	0,89	0,12	13,90%
48	12	12/15	200	50	1,00	0,88	0,12	13,64%
49	15	6/8	80	50	1,03	0,91	0,13	14,19%
50	15	6/8	100	50	1,03	0,90	0,13	13,94%

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso entre tubos	Tª	Q/Qn v	Q/Qn h2	Distancia	ΔQ(%)
51	15	6/8	150	50	1,01	0,89	0,12	13,94%
52	15	6/8	200	50	1,00	0,88	0,12	13,63%
53	15	8/10	80	50	1,04	0,91	0,13	14,13%
54	15	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	14,12%
55	15	8/10	150	50	1,02	0,89	0,12	13,97%
56	15	8/10	200	50	1,00	0,88	0,12	13,71%
57	15	12/15	80	50	1,04	0,91	0,13	14,23%
58	15	12/15	100	50	1,03	0,91	0,13	14,08%
59	15	12/15	150	50	1,02	0,89	0,12	13,92%
60	15	12/15	200	50	1,00	0,88	0,12	13,73%
61	20	6/8	80	50	1,03	0,91	0,13	14,15%
62	20	6/8	100	50	1,03	0,90	0,13	14,07%
63	20	6/8	150	50	1,02	0,89	0,12	13,91%
64	20	6/8	200	50	1,00	0,88	0,12	13,74%
65	20	8/10	80	50	1,03	0,91	0,13	14,20%
66	20	8/10	100	50	1,03	0,90	0,13	14,16%
67	20	8/10	150	50	1,02	0,89	0,12	14,00%
68	20	8/10	200	50	1,00	0,88	0,12	13,80%
69	20	12/15	80	50	1,04	0,91	0,13	14,22%
70	20	12/15	100	50	1,03	0,90	0,13	14,12%
71	20	12/15	150	50	1,02	0,89	0,13	14,03%
72	20	12/15	200	50	1,01	0,88	0,12	13,86%

Tabla 4.8.- Errores posición vertical-horizontal2 modelo tubo externo 50°C

Si se compara la tabla 4.8 con la tabla 4.6, se puede observar que la distancia de los puntos a la línea trazada a 45° es muy similar, aproximadamente 0,12 en todos los puntos. Sin embargo, el calor adimensional transmitido por el modelo en posición vertical es un 12% mayor que el transmitido por el modelo en posición horizontal1 y un 14% mayor que el transmitido por el modelo en posición horizontal2.

Los resultados obtenidos de la relación entre el calor adimensional transmitido en la posición vertical y en la posición horizontal1 y la relación entre el calor adimensional transmitido en la posición vertical y en la posición horizontal2 presentan una tendencia similar para 70°C y para 50°C. La distancia de los puntos a la línea a 45° de la gráfica que estudia la posición vertical frente a la horizontal1 es muy similar a la que presenta la gráfica que estudia la posición vertical frente a la horizontal2. Sin embargo, el calor adimensional transmitido por el modelo en posición vertical es igual al transmitido por el modelo en posición horizontal1 incrementado un 12% e igual al transmitido por el modelo en posición horizontal2 incrementado en un 14%.

4.3.3. Comparación entre la tipología de tubo interno y la tipología de tubo externo

Para realizar la comparativa entre la tipología de tubo interno y de tubo externo, se selecciona un caso con unos valores concretos de los parámetros variables y se simula el modelo de estudio de la tipología de tubo interno para ese caso y el modelo de estudio de la tipología de tubo externo. Cuando el modelo se encuentra en posición vertical se representa el calor adimensional transmitido por el modelo tubo interno para la posición vertical frente al calor adimensional transmitido por el modelo de tubo externo para la posición vertical. Sin embargo, cuando se encuentra en posición horizontal hacen falta dos puntos, uno representa la relación entre el calor adimensional del modelo de tubo interno en posición horizontal y el calor adimensional del modelo de tubo externo en posición horizontal¹ y el otro la relación entre el calor adimensional del modelo de tubo interno en posición horizontal y el calor adimensional del modelo de tubo externo en posición horizontal². Los resultados obtenidos se representan en la Fig.4.20.

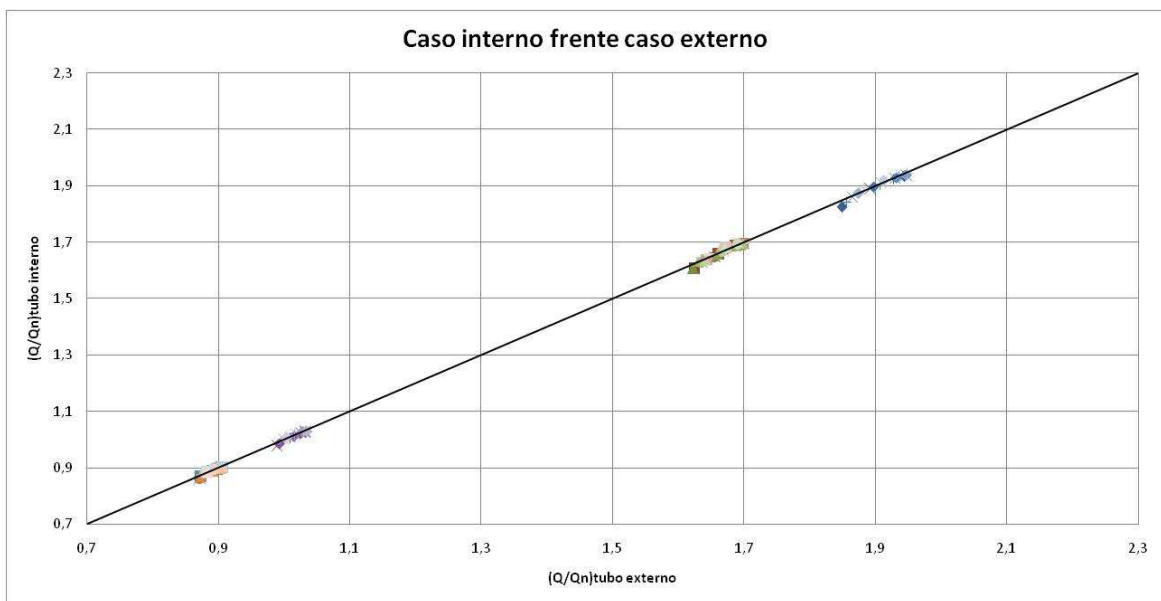


Fig.4.20.- Calor adimensional tubo interno frente a tubo externo

En la Fig. 4.20 se observa que todos los puntos se encuentran sobre la línea trazada a 45°, por tanto, se puede concluir que no tiene una gran influencia en el calor adimensional transmitido distinguir entre modelo de tubo interno y modelo de tubo externo.

Se distinguen cuatro grupos de puntos. El situado en la parte superior de la línea está constituido por puntos que representan los resultados obtenidos en los casos simulados con el modelo en posición vertical y el agua a 70°C. Los puntos que aparecen a continuación representan los casos simulados considerando que el modelo está en posición horizontal con el agua a 70°C. En este

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

grupo, se representan dos puntos por cada caso simulado, uno representa la relación considerando el modelo de tubo externo en posición horizontal1 y el otro considera el modelo de tubo externo en posición horizontal2. El tercer grupo de puntos que aparece representa los resultados obtenidos en los casos simulados considerando que el modelo se encuentra en posición vertical con el agua a 50°C. En el último grupo de puntos aparecen los resultados de los casos simulados considerando que el modelo se encuentra en posición horizontal con el agua a 50°C, en este grupo también aparecen dos puntos por cada caso simulado.

Para distinguir bien los puntos, se realiza un zoom para los casos simulados con el agua a 70°C, que será representado en la Fig.4.21 y un zoom para los casos simulados con el agua a 50°C, que será representado en la Fig.4.22.

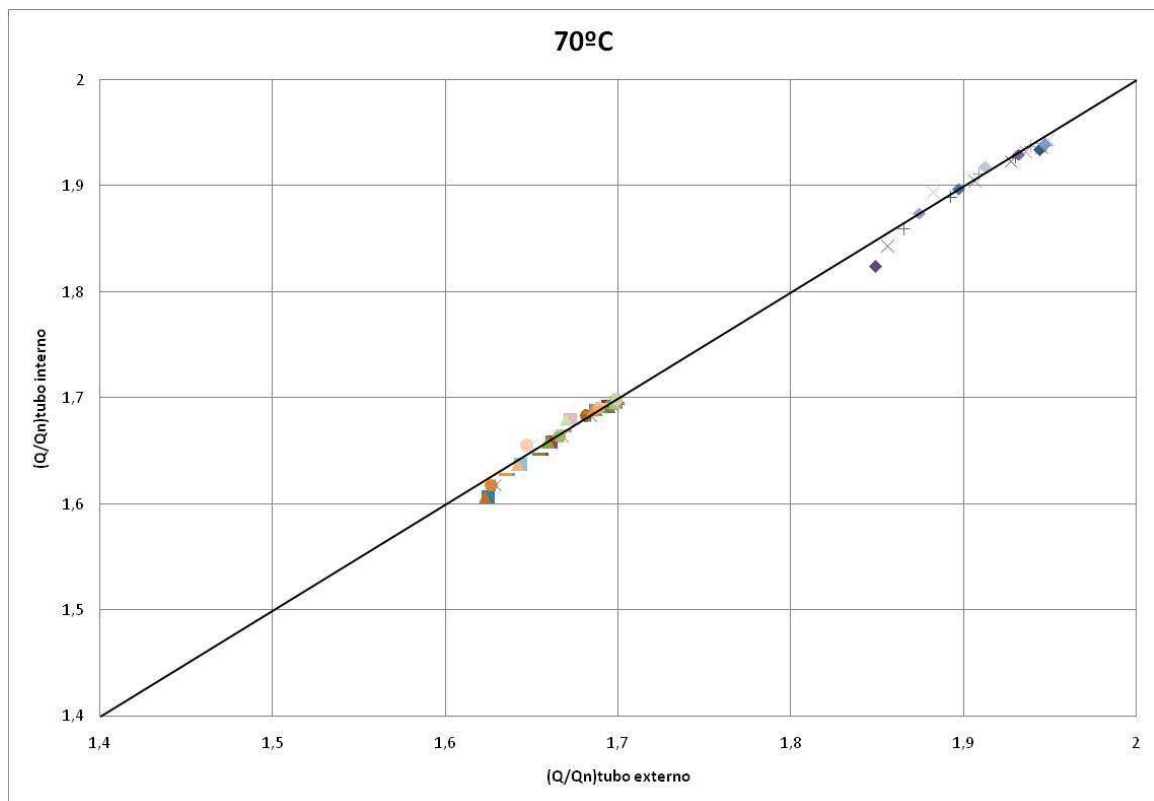


Fig.4.21.- Calor adimensional tubo interno frente a tubo externo 70°C

En la Fig.4.21 se puede observar que todos los puntos se encuentran sobre la línea trazada a 45° del gráfico o muy próximos a ella, por tanto, el calor adimensional transmitido para un caso concreto por el modelo de tubo interno y por el modelo de tubo externo con el agua a 70°C no varía significativamente. Se identifica un punto representado con un cuadrado de color morado más alejado de dicha línea y se analiza a que caso de estudio corresponde mediante la tabla 4.9.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

En la tabla 4.9 se cuantifica la diferencia entre el calor adimensional transmitido por el modelo de tubo interno y por el modelo de tubo externo para distinguir los casos más alejados de la línea trazada en el Fig. 4.21.

Caso	Espesor	di/de	Paso	Tipología	Posición	Q/Qn	Distancia	$\Delta(Q/Q_n) \%$
1	10	6/8	80	Tubo interno	vertical	1,93	-0,01	-0,52%
				Tubo externo	vertical	1,94		
	10	6/8	80	Tubo interno	horizontal	1,69	0,00	-0,13%
				Tubo externo	horizontal1	1,69		
					horizontal2	1,69	0,00	-0,17%
2	10	6/8	100	Tubo interno	vertical	1,92	0,00	-0,22%
				Tubo externo	vertical	1,93		
	10	6/8	100	Tubo interno	horizontal	1,68	0,00	-0,04%
				Tubo externo	horizontal1	1,68		
					horizontal2	1,68	0,00	0,13%
3	10	6/8	150	Tubo interno	vertical	1,89	0,00	-0,16%
				Tubo externo	vertical	1,89		
	10	6/8	150	Tubo interno	horizontal	1,65	-0,01	-0,56%
				Tubo externo	horizontal1	1,66		
					horizontal2	1,65	-0,01	-0,43%
4	10	6/8	200	Tubo interno	vertical	1,82	-0,02	-1,36%
				Tubo externo	vertical	1,85		
	10	6/8	200	Tubo interno	horizontal	1,61	-0,02	-1,13%
				Tubo externo	horizontal1	1,62		
					horizontal2	1,62	-0,02	-1,00%
5	12	6/8	80	Tubo interno	vertical	1,94	-0,01	-0,47%
				Tubo externo	vertical	1,95		
	12	6/8	80	Tubo interno	horizontal	1,69	0,00	-0,19%
				Tubo externo	horizontal1	1,70		
					horizontal2	1,70	0,00	-0,13%
6	12	6/8	100	Tubo interno	vertical	1,93	0,00	-0,17%
				Tubo externo	vertical	1,93		
	12	6/8	100	Tubo interno	horizontal	1,69	0,00	-0,04%
				Tubo externo	horizontal1	1,69		
					horizontal2	1,68	0,00	0,17%
7	12	6/8	150	Tubo interno	vertical	1,90	0,00	0,00%
				Tubo externo	vertical	1,90		
	12	6/8	150	Tubo interno	horizontal	1,66	0,00	-0,20%
				Tubo externo	horizontal1	1,66		
					horizontal2	1,66	0,00	-0,07%
8	12	6/8	200	Tubo interno	vertical	1,84		

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso	Tipología	Posición	Q/Qn	Distancia	$\Delta(Q/Qn) \%$
	12	6/8	200	Tubo externo	vertical	1,86	-0,01	-0,68%
				Tubo interno	horizontal	1,62	-0,01	-0,67%
				Tubo externo	horizontal1	1,63		-0,53%
					horizontal2	1,63	-0,01	
9	15	6/8	80	Tubo interno	vertical	1,94	-0,01	-0,50%
				Tubo externo	vertical	1,95		
	15	6/8	80	Tubo interno	horizontal	1,69	-0,01	-0,30%
				Tubo externo	horizontal1	1,70		-0,21%
					horizontal2	1,70	0,00	
10	15	6/8	100	Tubo interno	vertical	1,93	0,00	-0,11%
				Tubo externo	vertical	1,93		
	15	6/8	100	Tubo interno	horizontal	1,69	0,00	0,10%
				Tubo externo	horizontal1	1,69		0,19%
					horizontal2	1,69	0,00	
11	15	6/8	150	Tubo interno	vertical	1,90	0,00	-0,11%
				Tubo externo	vertical	1,91		
	15	6/8	150	Tubo interno	horizontal	1,66	0,00	-0,26%
				Tubo externo	horizontal1	1,67		-0,13%
					horizontal2	1,67	0,00	
12	15	6/8	200	Tubo interno	vertical	1,86	-0,01	-0,32%
				Tubo externo	vertical	1,87		
	15	6/8	200	Tubo interno	horizontal	1,63	-0,01	-0,55%
				Tubo externo	horizontal1	1,64		-0,43%
					horizontal2	1,63	-0,01	
13	20	6/8	80	Tubo interno	vertical	1,94	-0,01	-0,42%
				Tubo externo	vertical	1,95		
	20	6/8	80	Tubo interno	horizontal	1,70	0,00	-0,19%
				Tubo externo	horizontal1	1,70		-0,12%
					horizontal2	1,70	0,00	
14	20	6/8	100	Tubo interno	vertical	1,93	0,00	-0,19%
				Tubo externo	vertical	1,94		
	20	6/8	100	Tubo interno	horizontal	1,69	0,00	0,00%
				Tubo externo	horizontal1	1,69		0,10%
					horizontal2	1,69	0,00	
15	20	6/8	150	Tubo interno	vertical	1,91	0,00	0,12%
				Tubo externo	vertical	1,91		
	20	6/8	150	Tubo interno	horizontal	1,67	0,00	-0,03%
				Tubo externo	horizontal1	1,67		0,07%
					horizontal2	1,67	0,00	
16	20	6/8	200	Tubo interno	vertical	1,87		

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso	Tipología	Posición	Q/Qn	Distancia	Δ(Q/Qn) %
				Tubo externo	vertical	1,87	0,00	-0,01%
	20	6/8	200	Tubo interno	horizontal	1,64	-0,01	-0,39%
				Tubo externo	horizontal1	1,64		
					horizontal2	1,64	0,00	-0,29%
17	20	8/10	80	Tubo interno	vertical	1,94	-0,01	-0,28%
				Tubo externo	vertical	1,95		
	20	8/10	80	Tubo interno	horizontal	1,70	0,00	-0,11%
				Tubo externo	horizontal1	1,70		
					horizontal2	1,70	0,00	-0,01%
				18	20	8/10	100	Tubo interno
Tubo externo	vertical	1,94						
20	8/10	100	Tubo interno		horizontal	1,69	0,00	0,09%
			Tubo externo		horizontal1	1,69		
					horizontal2	1,69	0,00	0,21%
			19		20	8/10	150	Tubo interno
Tubo externo	vertical	1,91						
20	8/10	150		Tubo interno	horizontal	1,68	0,01	0,45%
				Tubo externo	horizontal1	1,67		
					horizontal2	1,67	0,01	0,58%
				20	20	8/10	200	Tubo interno
Tubo externo	vertical	1,88						
20	8/10	200	Tubo interno		horizontal	1,66	0,01	0,38%
			Tubo externo		horizontal1	1,65		
					horizontal2	1,65	0,01	0,51%

Tabla 4.9.- Diferencia entre calor adimensional modelo tubo interno y tubo externo 70°C

En la columna que aparece en la tabla 4.9 con el nombre distancia se muestran los valores obtenidos al restar el calor adimensional transmitido por el modelo de tubo interno menos el calor adimensional transmitido por el modelo de tubo externo y en la columna nombrada $\Delta(Q/Qn) \%$ aparece el valor obtenido al dividir los resultados de la columna situada a su izquierda por el calor adimensional transmitido por el modelo de tubo interno.

Se observa la tabla 4.9 y se identifica el mayor porcentaje de incremento (-1,36%), correspondiente al caso 4. Esto quiere decir que el calor adimensional transmitido por el modelo de tubo externo es igual al transmitido por el modelo de tubo interno incrementado un 1,36%.

En el caso 4, el modelo simulado tiene un espesor igual a 10 mm, el diámetro interior mide 6 mm y el exterior 8 mm, el paso entre tubos tiene una longitud de 200 mm, y se considera el

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

modelo en posición vertical. Dicho caso es el correspondiente al punto representado con un cuadrado morado que se observó en la Fig.4.21.

En la Fig.4.22 se representan los resultados de los casos simulados considerando que el agua se encuentra a 50°C. Se observa que todos los puntos se encuentran sobre la línea trazada a 45°, o muy próximos a ella, por tanto, también para los casos simulados a 50°C se puede concluir que el calor adimensional transmitido por el modelo de tubo interno y por el modelo de tubo externo toma valores muy parecidos.

Para identificar a que casos corresponden los puntos que se encuentran más alejados de la línea trazada en el gráfico se realiza la tabla 4.10. Dicha tabla representa los mismos datos que la tabla 4.9, pero esta vez para los casos simulados considerando que el agua se encuentra a 50°C.

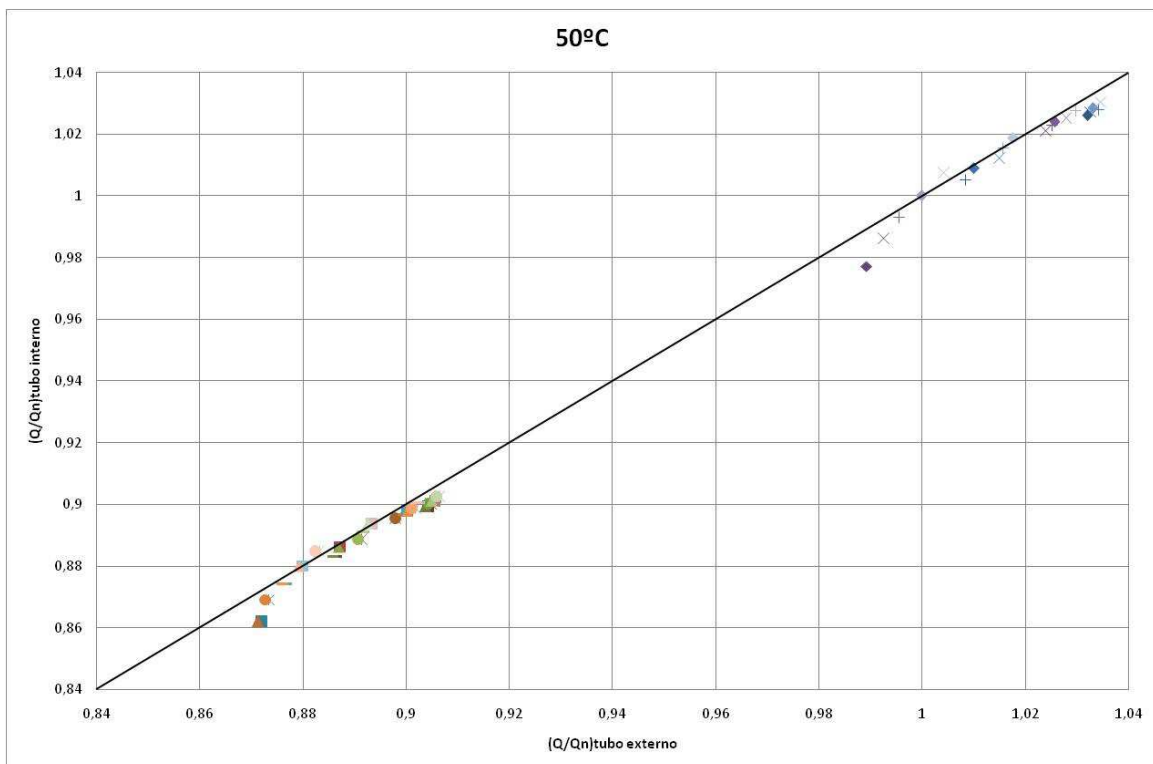


Fig.4.22.- Calor adimensional tubo interno frente a tubo externo 50°C

En la tabla 4.10 se definen los casos simulados y se cuantifica la diferencia entre el calor adimensional transmitido por el modelo de tubo interno y por el modelo de tubo externo para cada caso, lo que permite identificar los puntos que se encuentran más alejados de la línea trazada a 45° en la Fig.4.22.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

En la tabla 4.10 se observa que el mayor incremento porcentual del calor adimensional transmitido por el modelo de tubo interno frente al modelo de tubo externo aparece en el caso 4, siendo el mismo caso para el que se producía el mayor incremento en la tabla 4.9.

El mayor porcentaje de incremento (-1,24%) se identifica en el caso 4 para la posición vertical. Esto quiere decir que el calor adimensional transmitido por el modelo de tubo externo es igual al transmitido por el modelo de tubo interno incrementado en un 1,24%.

Caso	Espesor	di/de	Paso	Tipología	Posición	Q/Qn	Distancia	$\Delta(Q/Q_n) \%$
1	10	6/8	80	Tubo interno	vertical	1,03	-0,006	-0,58%
				Tubo externo	vertical	1,03		
	10	6/8	80	Tubo interno	horizontal	0,90	-0,005	-0,56%
				Tubo externo	horizontal1	0,90		
				Tubo externo	horizontal2	0,90		
2	10	6/8	100	Tubo interno	vertical	1,02	-0,003	-0,29%
				Tubo externo	vertical	1,02		
	10	6/8	100	Tubo interno	horizontal	0,90	-0,003	-0,29%
				Tubo externo	horizontal1	0,90		
				Tubo externo	horizontal2	0,90		
3	10	6/8	150	Tubo interno	vertical	1,01	-0,003	-0,33%
				Tubo externo	vertical	1,01		
	10	6/8	150	Tubo interno	horizontal	0,88	-0,003	-0,38%
				Tubo externo	horizontal1	0,89		
				Tubo externo	horizontal2	0,89		
4	10	6/8	200	Tubo interno	vertical	0,98	-0,012	-1,24%
				Tubo externo	vertical	0,99		
	10	6/8	200	Tubo interno	horizontal	0,86	-0,010	-1,15%
				Tubo externo	horizontal1	0,87		
				Tubo externo	horizontal2	0,87		
5	12	6/8	80	Tubo interno	vertical	1,03	-0,006	-0,54%
				Tubo externo	vertical	1,03		
	12	6/8	80	Tubo interno	horizontal	0,90	-0,005	-0,53%
				Tubo externo	horizontal1	0,90		
				Tubo externo	horizontal2	0,90		
6	12	6/8	100	Tubo interno	vertical	1,02	-0,003	-0,25%
				Tubo externo	vertical	1,03		
	12	6/8	100	Tubo interno	horizontal	0,90	-0,003	-0,31%
				Tubo externo	horizontal1	0,90		
				Tubo externo	horizontal2	0,90		
7	12	6/8	150	Tubo interno	vertical	1,01	-0,001	-0,10%
				Tubo externo	vertical	1,01		

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso	Tipología	Posición	Q/Qn	Distancia	$\Delta(Q/Qn) \%$
	12	6/8	150	Tubo interno	horizontal	0,89		
				Tubo externo	horizontal1	0,89	-0,001	-0,13%
				Tubo externo	horizontal2	0,89	-0,001	-0,11%
8	12	6/8	200	Tubo interno	vertical	0,99		
				Tubo externo	vertical	0,99	-0,006	-0,64%
	12	6/8	200	Tubo interno	horizontal	0,87		
				Tubo externo	horizontal1	0,87	-0,005	-0,52%
				Tubo externo	horizontal2	0,87	-0,004	-0,43%
9	15	6/8	80	Tubo interno	vertical	1,03		
				Tubo externo	vertical	1,03	-0,006	-0,62%
	15	6/8	80	Tubo interno	horizontal	0,90		
				Tubo externo	horizontal1	0,91	-0,005	-0,57%
				Tubo externo	horizontal2	0,91	-0,005	-0,56%
10	15	6/8	100	Tubo interno	vertical	1,02		
				Tubo externo	vertical	1,03	-0,002	-0,16%
	15	6/8	100	Tubo interno	horizontal	0,90		
				Tubo externo	horizontal1	0,90	-0,003	-0,29%
				Tubo externo	horizontal2	0,90	-0,002	-0,27%
11	15	6/8	150	Tubo interno	vertical	1,01		
				Tubo externo	vertical	1,01	-0,003	-0,28%
	15	6/8	150	Tubo interno	horizontal	0,89		
				Tubo externo	horizontal1	0,89	-0,003	-0,32%
				Tubo externo	horizontal2	0,89	-0,002	-0,25%
12	15	6/8	200	Tubo interno	vertical	0,99		
				Tubo externo	vertical	1,00	-0,003	-0,27%
	15	6/8	200	Tubo interno	horizontal	0,87		
				Tubo externo	horizontal1	0,88	-0,003	-0,31%
				Tubo externo	horizontal2	0,88	-0,002	-0,22%
13	20	6/8	80	Tubo interno	vertical	1,03		
				Tubo externo	vertical	1,03	-0,005	-0,45%
	20	6/8	80	Tubo interno	horizontal	0,90		
				Tubo externo	horizontal1	0,91	-0,005	-0,50%
				Tubo externo	horizontal2	0,91	-0,004	-0,43%
14	20	6/8	100	Tubo interno	vertical	1,03		
				Tubo externo	vertical	1,03	-0,003	-0,26%
	20	6/8	100	Tubo interno	horizontal	0,90		
				Tubo externo	horizontal1	0,90	-0,003	-0,35%
				Tubo externo	horizontal2	0,90	-0,002	-0,28%
15	20	6/8	150	Tubo interno	vertical	1,02		
				Tubo externo	vertical	1,02	0,000	-0,02%
	20	6/8	150	Tubo interno	horizontal	0,89		

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASOS

Caso	Espesor	di/de	Paso	Tipología	Posición	Q/Qn	Distancia	$\Delta(Q/Qn) \%$
				Tubo externo	horizontal1	0,89	-0,001	-0,09%
				Tubo externo	horizontal2	0,89	-0,001	-0,06%
16	20	6/8	200	Tubo interno	vertical	1,00	0,000	0,00%
				Tubo externo	vertical	1,00		
	20	6/8	200	Tubo interno	horizontal	0,88	0,000	-0,01%
				Tubo externo	horizontal1	0,88		
				Tubo externo	horizontal2	0,88		
						0,001		0,08%
17	20	8/10	80	Tubo interno	vertical	1,03	-0,004	-0,41%
				Tubo externo	vertical	1,03		
	20	8/10	80	Tubo interno	horizontal	0,90	-0,004	-0,44%
				Tubo externo	horizontal1	0,91		
				Tubo externo	horizontal2	0,91		
						-0,003		-0,37%
18	20	8/10	100	Tubo interno	vertical	1,03	-0,002	-0,21%
				Tubo externo	vertical	1,03		
	20	8/10	100	Tubo interno	horizontal	0,90	-0,002	-0,24%
				Tubo externo	horizontal1	0,90		
				Tubo externo	horizontal2	0,90		
						-0,002		-0,18%
19	20	8/10	150	Tubo interno	vertical	1,02	0,001	0,11%
				Tubo externo	vertical	1,02		
	20	8/10	150	Tubo interno	horizontal	0,89	0,000	0,03%
				Tubo externo	horizontal1	0,89		
				Tubo externo	horizontal2	0,89		
						0,001		0,11%
20	20	8/10	200	Tubo interno	vertical	1,01	0,003	0,32%
				Tubo externo	vertical	1,00		
	20	8/10	200	Tubo interno	horizontal	0,88	0,002	0,19%
				Tubo externo	horizontal1	0,88		
				Tubo externo	horizontal2	0,88		
						0,003		0,28%

Tabla 4.10.- Diferencia entre calor adimensional modelo tubo interno y tubo externo 50°C

Con los resultados presentados en las Fig.4.21 y 4.22 y en las tablas 4.9 y 4.10 se puede deducir que el calor adimensional transmitido por el modelo no varía significativamente al cambiar la tipología, de tubo interno o de tubo externo. Las distancias de todos los puntos simulados a la línea a 45° son insignificantes, al igual que el incremento en el calor adimensional que supone una tipología respecto a la otra.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

5.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo de cierre se hace una recapitulación de todo el trabajo realizado en este proyecto y se exponen las conclusiones finales que se han obtenido. En las conclusiones se valoran los resultados obtenidos con el trabajo realizado y se analiza si los estudios realizados han resultado ser relevantes para la consecución del objetivo del proyecto.

5.2. RESUMEN

Este proyecto surge con la necesidad de conocer la influencia de determinados parámetros en la potencia transferida por los radiadores. Se pretenden fabricar radiadores aprovechando objetos decorativos de diseño contruidos en aluminio, cuyas formas pueden variar mucho respecto a la de los radiadores convencionales.

Se comienza situando al lector en el contexto de realización del proyecto. Se analiza la importancia del diseño en la actualidad y cómo los fabricantes de radiadores convencionales no se han preocupado por la estética de sus productos. Continúa definiendo los distintos sistemas de calefacción existentes y, finalmente, se centra en el análisis de los sistemas de calefacción por agua caliente, los componentes de las instalaciones, los sistemas de distribución y su funcionamiento.

Posteriormente se describen los radiadores de calefacción puesto que se pretende que los objetos decorativos funcionen como radiadores. Se define el concepto de radiador y los distintos tipos existentes, con sus ventajas e inconvenientes. Seguidamente se explica cómo se calcula la potencia transmitida por radiadores convencionales. Dicha potencia se obtiene mediante ensayos cuyas condiciones son definidas en la norma UNE442 y se presentan en tablas que muestran la potencia proporcionada por diferentes radiadores y tablas con los coeficientes de corrección que deben aplicarse a dicha potencia cuando se varían determinados parámetros influyentes.

A continuación, se describe el método de cálculo usado para la obtención de los resultados. Se presentan los modelos de estudio y los programas de simulación empleados. Posteriormente se plantea el proceso necesario para la obtención del coeficiente de convección y el coeficiente

CAPÍTULO 5: RESUMEN Y CONCLUSIONES

radiante en cada caso simulado. Conocidos dichos coeficientes, se simulada el modelo con los programas usados y se obtiene la potencia transferida por el modelo en cada caso.

Finalmente se presentan los resultados obtenidos mediante gráficas que permiten visualizar la influencia de los parámetros estudiados en la potencia transmitida por el modelo.

5.3. CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto es analizar la influencia de diversos parámetros en la potencia transmitida para tener en cuenta dichos resultados a la hora de añadir la función de radiador a cualquier elemento decorativo.

En líneas generales, los resultados son satisfactorios puesto que la potencia transmitida por el modelo de estudio al variar los parámetros presenta la misma tendencia para todos los casos simulados. Por tanto, se puede extraer de los resultados obtenidos en este proyecto, la manera en la que influyen los parámetros estudiados en la potencia transmitida y la relevancia que tienen.

Se puede concluir, en base a los resultados proporcionados por la simulación de los modelos de estudio, que no tiene una influencia significativa en la potencia transferida distinguir entre la tipología de tubo interno y de tubo externo.

La potencia transferida aumenta al aumentar el espesor del modelo de simulación, disminuir el paso entre tubos, aumentar el diámetro interior y exterior del tubo y aumentar la temperatura del fluido caloportador.

Por último, cabe destacar que el modelo simulado transmite mayor potencia cuando se encuentra en posición vertical que cuando se encuentra en posición horizontal.

Lo dicho anteriormente deberá tenerse en cuenta a la hora de fabricar elementos decorativos con función de radiador, caracterizando los parámetros con unos valores que optimicen la potencia transferida por el radiador.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alarmán, A., de Benito, J., Espinosa, J.M. y Pozo, P., *Cuadernos de calefacción*: EL INSTALADOR, SA.
- [2] Amor Roca, J. (1999), *La nueva norma técnica europea de radiadores: EN442*. El Instalador, nº 352, p.43-55.
- [3] Andreu, X. (2003), *El radiador*. M.I. Montajes e Instalaciones, nº 377, p.89-91.
- [4] De Andres, J.A., Aroca, S. y Garcia, M., *Calefacción y agua caliente sanitaria*. Madrid: AMV EDICIONES, 1991
- [5] Hernandez, J.M. (1993), *Radiadores. Rendimiento y estética*. M.I. Montajes e instalaciones, nº 265, p.59-62.
- [6] Incropera, F.P. y De Witt, D., *Fundamentos de transferencia de calor* (4ªEd.). México: PRENTICE HALL, 1999
- [7] Manaut, S.A.(2005), *Consideraciones generales sobre la emisión de calor en los radiadores*. M.I. Montajes e instalaciones, nº 393, p. 63-68.
- [8] Marín, F., *Manual de Instalaciones de Calefacción por agua caliente*: A. MADRID VICENTE, EDICIONES Y EDICIONES MUNDI-PRENSA, 2000
- [9] Pancorbo, F.J. (1990), *Radiadores*. M. I. Montajes e instalaciones, nº 234, p.53-62.
- [10] Runtal Radiadores S.A.(2002), *Radiadores tubulares. Una opción inteligente*. M.I. Montajes e instalaciones,nº 366, p.75-76.