X.- CALEFACCIÓN MONOTUBULAR

pfernandezdiez.es

X.1.- INTRODUCCIÓN

La elevación de la temperatura del aire en un recinto determinado ha seguido distintos pasos a lo largo de la historia, desde el primitivo método de la leña, al brasero, calefacción por gas, calefacción por corriente eléctrica (comúnmente calor negro) y al sistema de calefacción individual a gas.

Los sistemas de leña y brasero se basaban en una elevación de la temperatura por radiación; presentaban los inconvenientes de secar el aire disminuyendo la humedad relativa, con la consiguiente incomodidad y el trabajo manual que acarreaban. El sistema de calefacción por gas introduce la mejora de un menor trabajo manual; no obstante adolece, al igual que los dos sistemas anteriores, del mismo defecto de resecamiento del ambiente. El sistema de calor negro si bien subsana estos inconvenientes, introduce el económico, debido a las grandes resistencias de que van provistos con el consiguiente consumo de energía eléctrica.

El aumento del nivel de vida y las exigencias de la actual sociedad de consumo han hecho de la calefacción una inevitable necesidad, cuando hasta hace poco era un verdadero articulo de lujo. Esto ha obligado a investigar, estudiar y seleccionar el sistema de calefacción más adecuado a las circunstancias actuales, como es la calefacción individual por viviendas, que ofrece muy importantes ventajas, a usuarios, constructores e instaladores.

Estas son algunas de ellas.

Al usuario

- La independencia de uso, permite utilizar la calefacción en cualquier momento del día o del año que se la precise

- Unos gastos definidos, puesto que cada usuario abona sólo lo que consume

- El confort regulable, ya que cada usuario puede seleccionar la temperatura ambiente que desee

- Una utilización racional, para evitar los despilfarros de energía

Al constructor

- La simplicidad de montaje, ya que pueden prefabricarse en taller partes importantes de los circuitos, para acoplar después en obra; todos los circuitos son iguales

- La racionalización del trabajo, al ser totalmente repetitivo

- La agilización de la marcha de la construcción

Aunque estas ventajas son idénticas a las que presenta el sistema de calor negro, debido al inconveniente económico que presenta, vamos a pasar a un estudio del sistema de calefacción individual de gas. El sistema consiste en calentar agua en el interior de una caldera por medio de unos quemadores de gas; una vez caliente el agua o vapor circula por un serpentín hasta su llegada a los radiadores, colocados en el lugar en que se desea la elevación de la temperatura.

Si no hubiese adición de agua, el cálculo del calor necesario es sencillo, ya que si V es el volumen de aire en m^3 inyectado por hora, T_e la temperatura exterior y T_i la temperatura interior, tendremos:

$$Q = G\,(i_i - i_e\,) = G\,c_p\,(T_i - T_e\,) = \gamma\ V\,c_p\,(T_i - T_e\,) = 1{,}293\ \frac{kg}{m^3}\ V\ \frac{m^3}{h}\ 0{,}24\ \frac{Kcal}{kg^oC}\ (T_i - T_e\,)^oC =$$

$$= 0{,}31032\ V\,(T_i - T_e\,)\ \frac{Kcal}{hora}$$

siendo G el numero de kg de aire seco inyectado por hora.

X.2.- ETAPAS DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA MURAL

Encendido.- Teniendo en cuenta la Fig X.1, accionando el mando 26 de la válvula de seguridad termoeléctrica 24 sale gas por el quemador piloto 32, que se enciende por la chispa que se origina entre la bujía 30 y el termopar 31 al pulsar el encendedor automático 21. La llama calienta el extremo del termopar 31, originándose una corriente termoeléctrica que activa el electroimán 25 del dispositivo de seguridad, manteniéndose abierta dicha válvula mientras la llama del piloto permanece encendida.

Puesta en marcha.- Se acciona nuevamente el mando 26 de la válvula termoeléctrica, pasando a la posición *abierto*. Mediante el acuastato 18, se selecciona la temperatura. del agua de calefacción en función del grado de calor deseado.

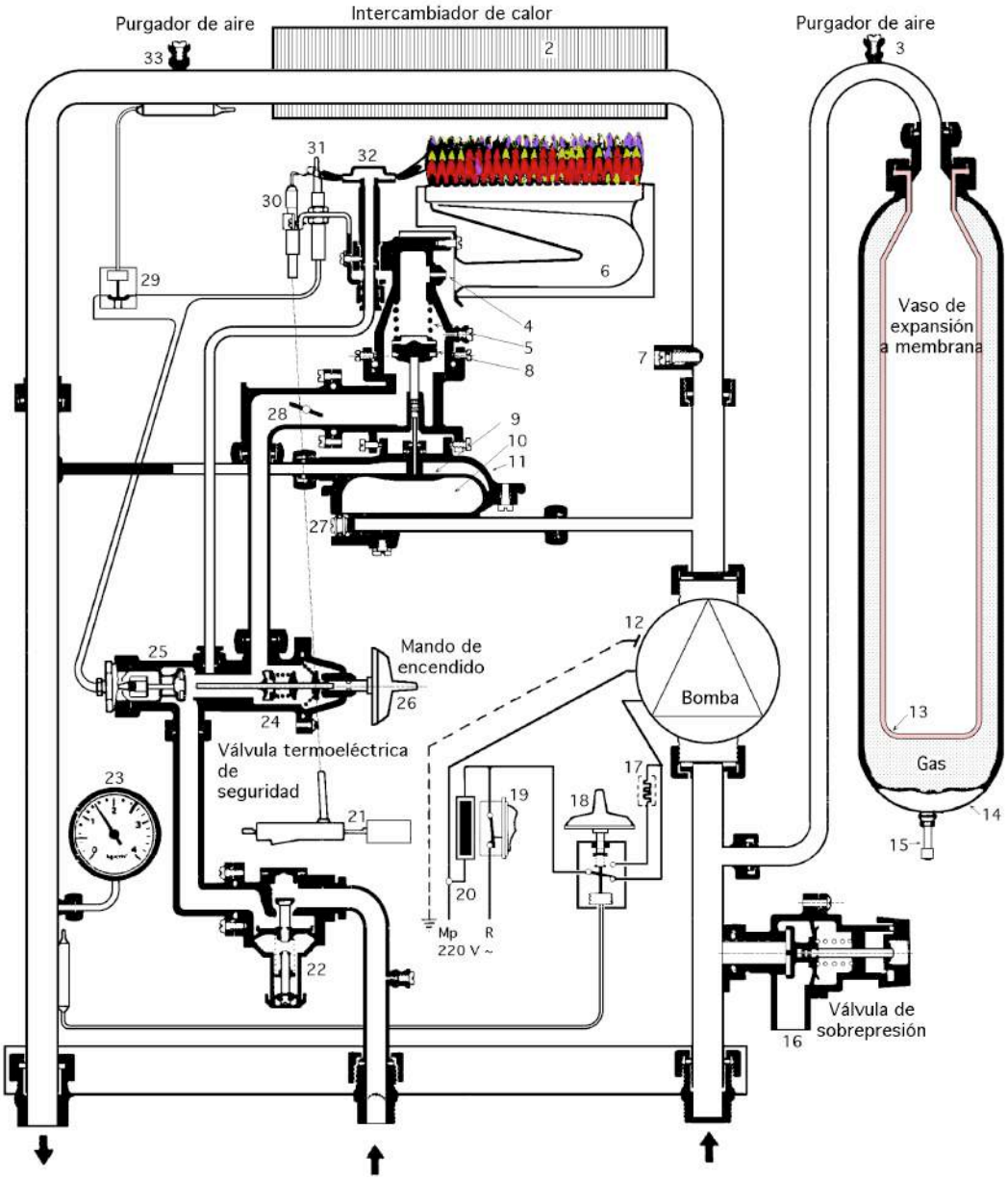


Fig X.1.- Caldera mural

Se acciona el interruptor eléctrico 19 para que la bomba 12 se ponga en funcionamiento, encendiéndose, al mismo tiempo, la lampara de control 20 que dicho interruptor lleva incorporada.

La diferencia de presión creada por la bomba entre las dos cámaras del cuerpo de agua 11 origina un desplazamiento hacia arriba de la membrana 10 de dicho cuerpo de agua, sobre la que se apoya un asiento con vástago 9, que comprimiendo verticalmente al muelle 5 abre el platillo 8 permitiendo la salida de gas por los inyectores 4 del quemador 6.

Como el piloto está ya encendido, este producirá la combustión del gas que afluye por el quemador, con lo cual la caldera quedará puesta en marcha.

Para que el encendido del quemador no sea violento, el cuerpo de agua 11 lleva en su parte in-

ferior un cartucho de encendido progresivo 27.

Funcionamiento normal.- Una vez situada la caldera en las condiciones descritas, está en funcionamiento.

El agua impulsada por la bomba 12, atraviesa de forma continua el cambiador de calor 2, absorbiendo las calorías producidas por la combustión del gas en el quemador 6 y elevando progresivamente su temperatura hasta el límite que previamente se haya establecido con el acuastato 18.

En este momento dicho acuastato, actuando como un conmutador eléctrico, intercala en el circuito una resistencia 17 que reduce las revoluciones de la bomba y con ello el caudal circulante por debajo del valor mínimo de apertura, por lo que se apaga el quemador.

El agua continua circulando para conseguir su enfriamiento homogéneo reducir los tiempos muertos y con ello acelerar la puesta en régimen de la instalación.

El caudal circulante en ese instante no produce la diferencia de presión suficiente entre las dos cámaras del cuerpo de agua para mantener abierta la válvula de gas.

Como consecuencia, el muelle 5 se recupera, cerrando dicha válvula y produciendo el apagado del quemador.

El piloto 32 permanece encendido.

Al enfriarse el agua lo suficiente, el acuastato 18 desconecta la resistencia 17 del circuito eléctrico con lo que la bomba 12 adquiere su potencia. normal, se alcanza nuevamente el caudal de apertura y los quemadores se encienden para que el agua recupere la temperatura que perdió al ceder calor los radiadores.

El quemador solo se enciende lo suficiente para que el agua alcance la temperatura ajustada en el acuastato y para mantener ésta durante el tiempo de funcionamiento.

Apagado.- Se desconecta la bomba 12 de la red, accionando el interruptor eléctrico 19. Al parar la bomba, se cierra la válvula de gas al establecerse el equilibrio de presiones entre las dos cámaras del e cuerpo de agua 11.

El piloto permanece encendido.

Para desconectar totalmente el aparato se ha de cerrar la llave de corte de gas, intercalada por el instalador en la tubería de alimentación a la caldera.

Vaso de expansión a membrana.- Las calderas llevan incorporado un vaso de expansión 14 para absorber la dilatación del agua. El gas contenido entre la membrana 13 y el vaso se introdujo a

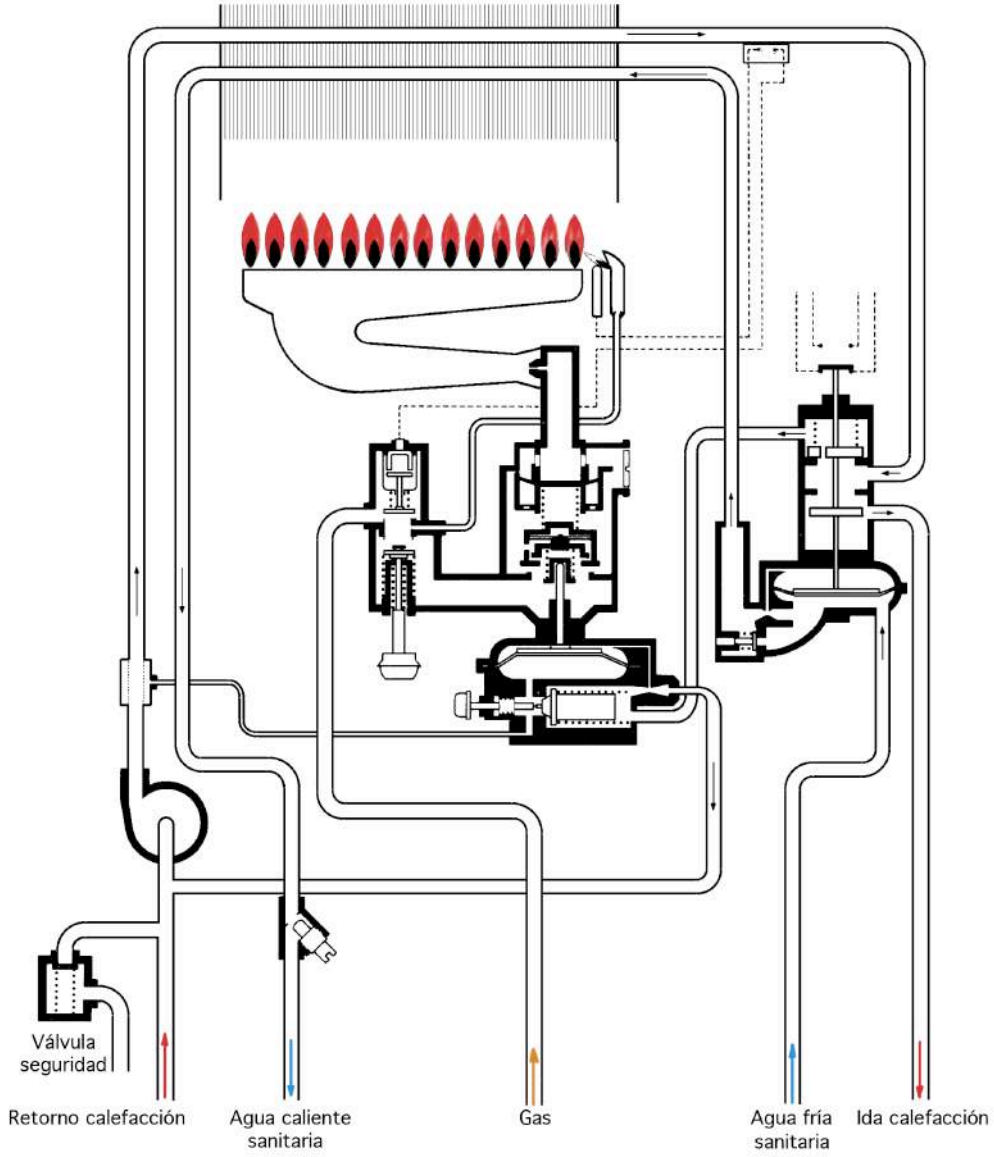


Fig X.2.- Caldera mural

través de la válvula 15, se encuentra a una presión de 0,5 kg/cm^2 y actúa como amortiguador, por lo que no se producen pérdidas de agua en el circuito de calefacción ni por evaporación.

Seguridad contra el exceso de temperatura del agua.- La temperatura máxima del agua esta limitada por un termostato 29 a un valor de 110ºC.

Este limitador está intercalado en el circuito termoeléctrico y caso de alcanzarse dicha temperatura corta la corriente y con ello desconecta totalmente el paso de gas a la caldera.

Este mecanismo proporciona al aparato una doble seguridad ante un eventual exceso de temperatura en el circuito de calefacción.

Seguridad contra el exceso de presión del agua.- La instalación se ha de llenar de agua hasta que el manómetro 23 indique una presión de 0,5 kg/cm^2.

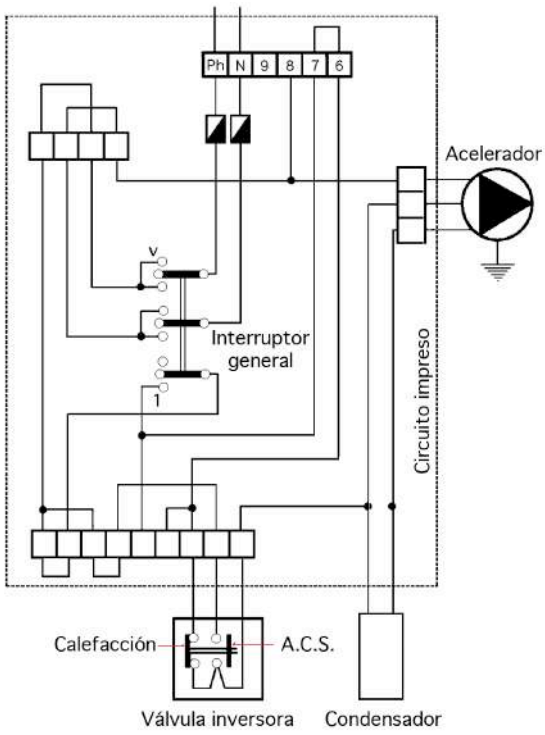


Fig X.3.- Circuito eléctrico de una caldera mural

Al calentarse el agua, su presión va aumentando proporcionalmente a la temperatura.

El vaso absorbe la dilatación, pero si por cualquier eventualidad la presión tiende a sobrepasar los 2,5 kg/cm^2, inmediatamente se abrirá la válvula de sobrepresión 16, evacuándose por ella la cantidad de agua precisa hasta conseguir disminuir la presión a límites tolerables. Durante el llenado se ha de extraer el aire contenido por la caldera mediante los purgadores 3 y 33.

Seguridad contra las variaciones de la potencia ajustada.- Cualquier variación de la presión de suministro de gas traería como consecuencia una alteración en el buen funcionamiento de la caldera. Mediante el regulador 28 se fija el consumo que permanece invariable por el regulador 22, incorporado solo en calderas para gas ciudad y natural. En propano-butano, por ser constante la presión de suministro, no es necesaria la incorporación del regulador.

Seguridad contra el funcionamiento por falta de agua.- Mediante el cuerpo de agua 11 y la válvula de gas se asegura que tan solo pueda pasar gas al quemador cuando circule un caudal no inferior al mínimo de apertura establecido en cada caldera.

X.3.- NORMAS DE INSTALACIÓN DE APARATOS CALENTADORES DE AGUA A GAS

- Ventilación de locales.- Los locales en los que hayan de instalarse calentadores de potencia igual o superior a 150 Kcal/min, obligatoriamente han de disponer de entrada y salida de aire.

- Las entradas y salidas de aire (gateras) tendrán cada una, como mínimo 150 cm^2

- Los calentadores deben de ser instalados en locales bien ventilados como, por ejemplo, en las cocinas, no siendo aconsejable instalarlos en los cuartos de baño

- Evacuación de gases de combustión de locales.- La instalación de calentadores de potencia igual o superior a 150 Kcal/min debe realizarse siempre con chimeneas de evacuación de gases, producidos por la combustión.

Esta condición no es exigible, dependiendo del tamaño del local para calentadores de potencia inferior a 150 Kcal/min

- Capacidad del local.- La potencia de los calentadores a instalar y su régimen de funciona-

miento queda condicionada a la capacidad en m3 del local.

Instalación de calentadores

- Se prohibe su colocación encima de cocinas, estufas, etc. La distancia mínima entre estos aparatos y calentadores ha de ser, en sentido horizontal de 40 cm

- Todo calentador que por su potencia o por la exigua capacidad del local requiera chimenea de salida de gases, se debe instalar como mínimo, a una altura de 1,40 m sobre el suelo

- Todo calentador que se instale sin chimenea de salida de gases debe disponer por encima del mismo de un espacio libre de 1 m como mínimo

Evacuación de los productos de la combustión

- Las chimeneas de salida de gases producto de la combustión no deberán empalmarse con otras chimeneas donde circulen gases procedentes de la combustión de otros combustibles sólidos

- Siempre que sea posible, el tubo de evacuación debe salir verticalmente sobre el calentador. Como excepción se admite una salida no vertical pero con una inclinación mínima de un 20% teniendo en cuenta que el codo necesario para conseguir esta inclinación, deberá quedar a una distancia mínima de 20 cm del calentador

- Si la chimenea de salida de gases ha de atravesar una pared de madera el del orificio de esta seré de 10 cm superior al del tubo, que deberé protegerse con material no inflamable.

X.4.- SISTEMAS EN LA CONDUCCIÓN DEL AGUA A LOS RADIADORES

Existen dos sistemas en la conducción del agua hasta los radiadores, monotubular Fig X.4a.b y bitubular Fig X.5. Por su menor complicación en los cálculos de tuberías, codos, etc trataremos solamente el primer sistema.

DISPOSICIÓN MONOTUBULAR.- El sistema monotubo es un modelo de instalación de calefacción ejecutado mediante la colocación de un sólo tubo; de esta forma, la salida o retorno del agua de un radiador (radiador) se aprovecha para alimentar al próximo (hace de ida) y así sucesivamente; el montaje radiadores-tubería, se hace en serie, Fig X.4 y 6.

El recorrido que se efectúa y que va desde la salida de la caldera (ida) hasta el retorno de la misma, se denomina anillo.

Generalmente, la mayoría de instalaciones monotubulares se realizan con la tubería empotrada en el forjado (suelo de la vivienda), Fig X.4b. En las instalaciones monotubulares se pueden conseguir los mismos rendimientos que en una instalación bitubular tradicional; las únicas diferencias importantes a considerar en el estudio son las siguientes:

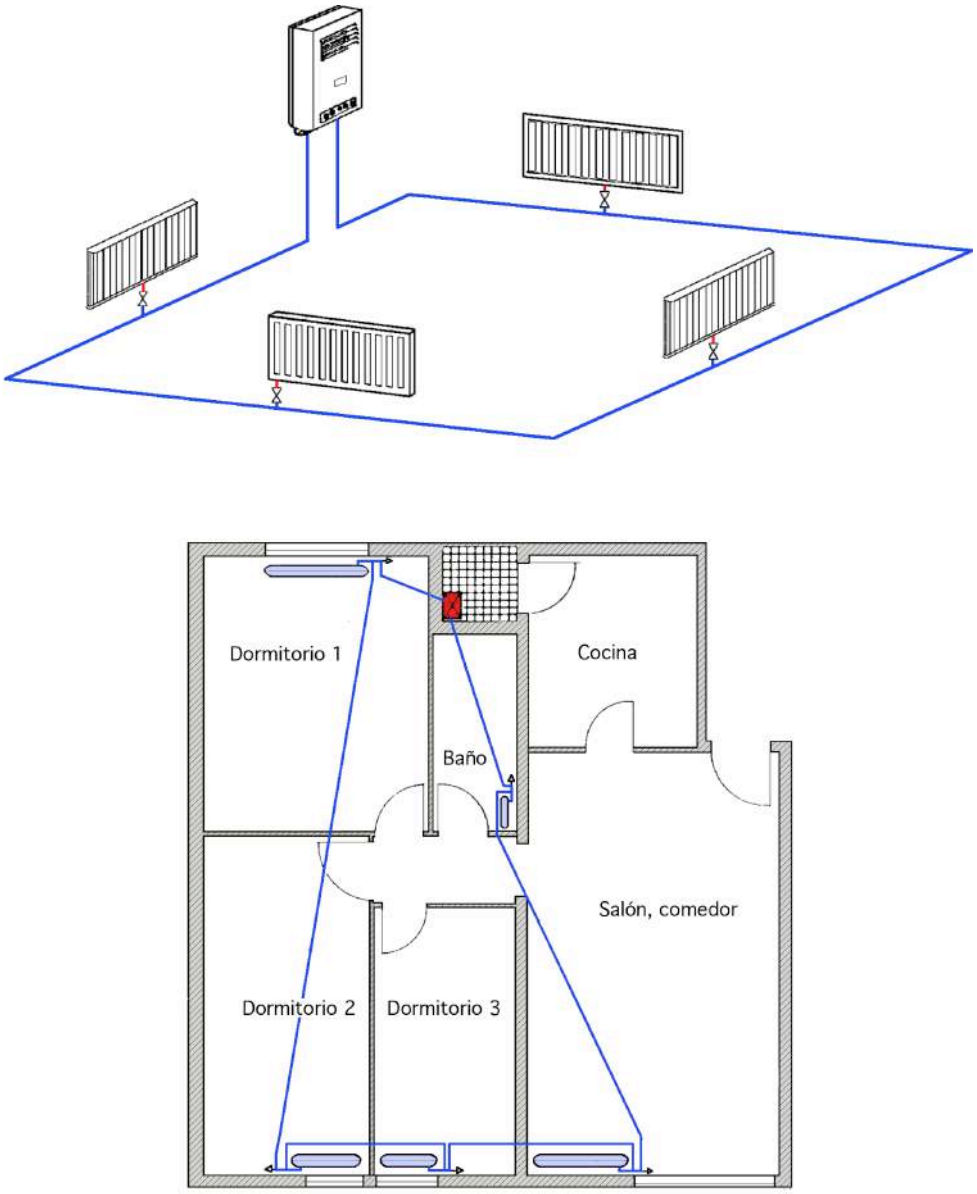


Fig X.4.- Disposiciones monotubulares

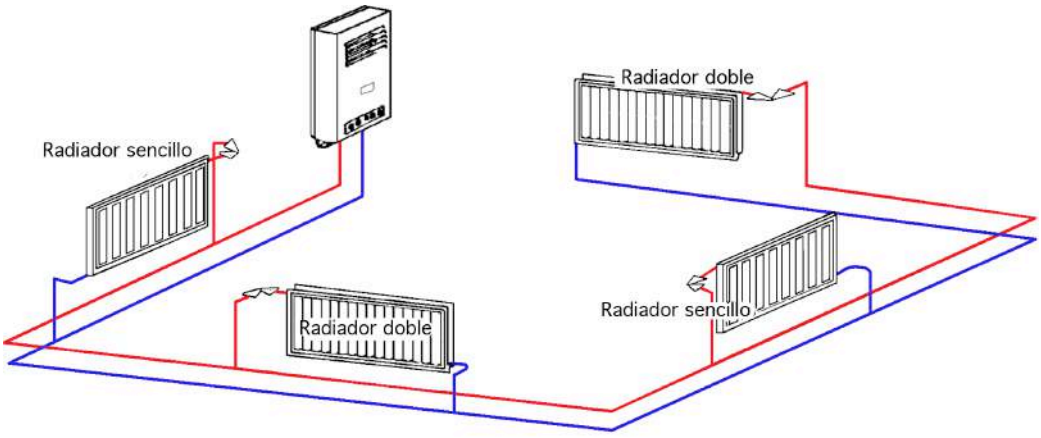


Fig X.5.- Disposición bitubular

- Hay que corregir la potencia calorífica de los emisores, para evitar que los primeros radiadores del anillo emitan más calor del previsto y viceversa con los últimos (entrada del agua caliente a baja temperatura)

- Hay que calcular con mayor rigurosidad la pérdida de carga total de la instalación para garantizar la circulación del agua y suministrar el caudal necesario para que la instalación proporcione el confort deseado

X.5.- RADIADORES

En una instalación de calefacción hay dos aspectos importantes que es preciso diferenciar:

- El calor que se produce en la caldera

- El calor que se transmite a cada recinto

La transmisión del calor se efectúa por medio de radiadores, Fig X.6.

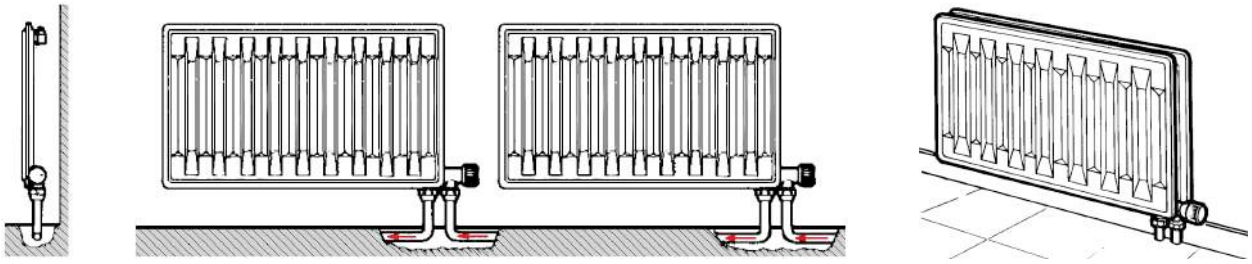
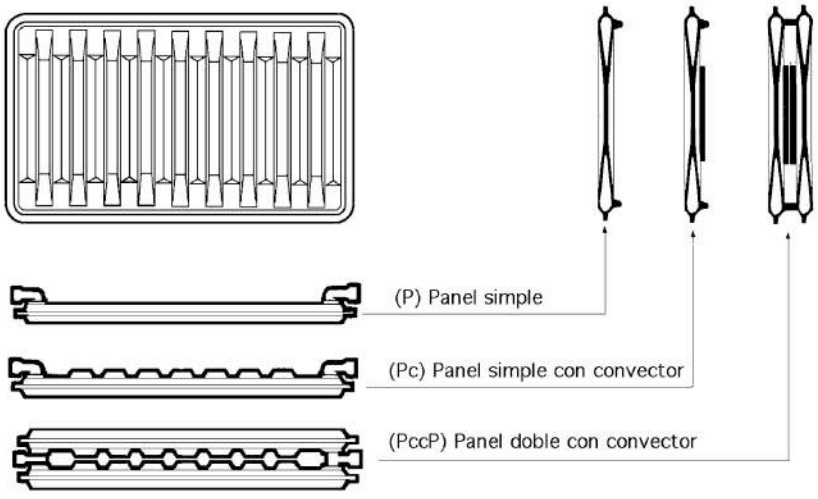


Fig X.6.- Radiadores



Ifg X.7.- Radiadores de paneles simples y dobles

Características de la llave monotubo para radiadores.- El sistema monotubo con radiadores, dispone de una llave específica para acoplarse a éstos con facilidad y rapidez, obteniendo al mismo tiempo un elevado rendimiento del conjunto. La llave monotubo, además de tener pocas pérdidas de carga, permite el poderse acoplar a la derecha o a la izquierda de los radiadores, facilitando notablemente su montaje, ventaja que hace que los radiadores puedan acoplarse próximos a las esquinas de las dependencias. La conexión de la llave se realiza por un sólo orificio del radiador

Composición del conjunto, llave + radiador.- Los radiadores para la versión monotubo, se suministran de varias formas.

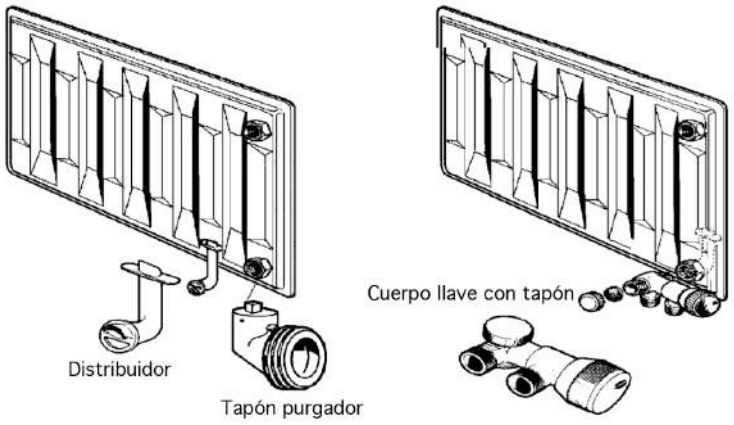
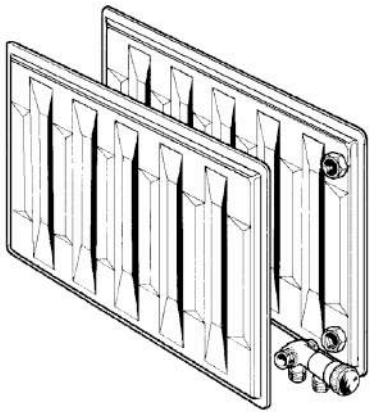


Fig X.8.- Radiadores simples con dos orificios



Fgg X.9.- Radiador doble con dos orificios

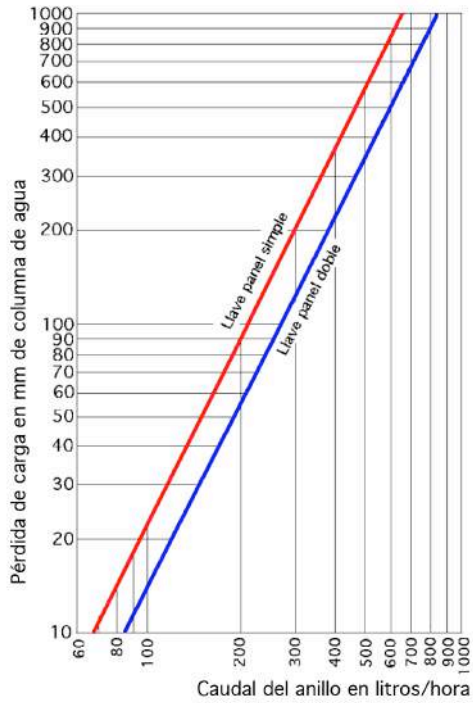


Fig X.10.- Pérdida de carga (llave + radiador)

- En los radiadores simples, Fig X.8, el agua entra al radiador a través del distribuidor retornando por la parte inferior, después de haberse repartido uniformemente por todo el radiador. Al cerrar la llave el caudal pasa directamente al retorno total o parcialmente, según reglaje

- En los radiadores dobles, Fig X.9, el agua entra por un radiador y retorna por el otro, repartiéndose uniformemente por todo el radiador incluso con los de dos orificios

Pérdida de carga.- En la gráfica de la Fig X.10, aparece la pérdida de carga de la (llave + radiador) en función de la posición de regulación, que como se puede apreciar, es prácticamente constante; según cual sea la regulación de la llave, pasa más o menos agua al radiador. Este caudal, en porcentaje con relación al caudal del anillo, viene indicado en la Tabla X.1.

En la llave monotubo se pasa de abierto a cerrado con un giro de 140º. Para el cálculo se recomienda trabajar con los caudales máximos reflejados.

Disponibilidad de los aceleradores de las calderas murales.- Cuando se utilizan calderas murales se debe tener en cuenta el garantizar un caudal mínimo de circulación para que se produzca el encendido. Las curvas características del acelerador son de la forma indicada en la Fig X.11; la zona en verde, corresponde a la de trabajo (funcionamiento).

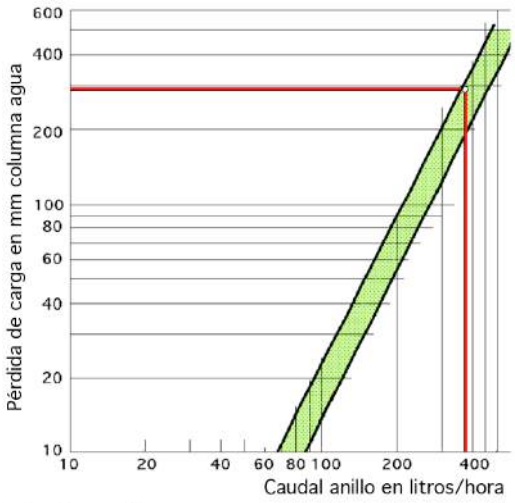


Fig X.11.- Curvas características del acelerador

Posición	*Caudal en %*	
CERRADO	*Llave radiadores simples*	*Llave radiadores dobles*
2	*7*	*3*
3	*15*	*13*
4	*23*	*23*
5	*27*	*32*
6	*27*	*37*
7	*33*	*42*
APERTURA MÁXIMA	*38*	*48*

X.6.- DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA EN UN RADIADOR DE UNA INSTALACIÓN MONOTUBULAR

Los circuitos monotubulares de instalaciones de calefacción individual, correctamente utilizados, son el sistema de calefacción que conjuga un mayor número de ventajas tanto al instalador como al usuario. Para lograr este objetivo es imprescindible tener en cuenta, tanto al realizar el proyecto como en la ejecución, todos los condicionantes que actúan sobre las instalaciones monotubulares, que de una forma u otra inciden sobre cualquier otro tipo de instalación y que siempre es preciso respetar.

Veamos algunas normas, de tipo general, cuya observancia asegura una instalación de calefacción monotubular sin problemas:

La instalación monotubular es función de la caldera que se utilice, por las siguientes circunstancias:

- *Influencia del caudal de agua en circulación.-* Para obtener un buen rendimiento, el caudal mínimo en circulación por el monotubo debe ser de 375 litros/hora y el máximo de 550 litros/hora. Cuando el caudal de agua rebase este último valor, la instalación monotubular deberá ser de doble anillo

- *Influencia de la temperatura del agua que circula.-* Se aconseja trabajar siempre como mínimo a 80ºC, y como máximo a 95ºC.

- *Influencia de la altura manométrica útil de la bomba.-* Los circuitos monotubulares tienen mayores pérdidas de carga que los bitubulares. En instalaciones monotubulares la bomba debe tener una altura manométrica útil comprendida entre 2÷3 m.c.a., que aseguren un caudal de agua com- prendido entre los valores indicados anteriormente.

- *Influencia del salto térmico o diferencia de temperaturas ΔT entre la ida y el retorno.-* En instalaciones monotubulares el *ΔT* máximo deberá ser igual o inferior a 16ºC, con el fin de no tener que sobredimensionar en exceso los últimos radiadores.

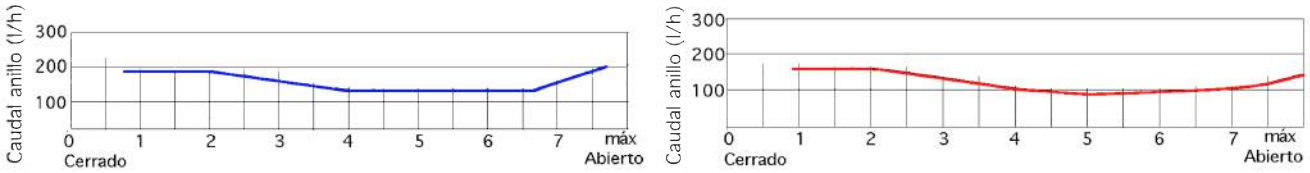


Fig X.12.- Regulación del caudal que pasa al radiador

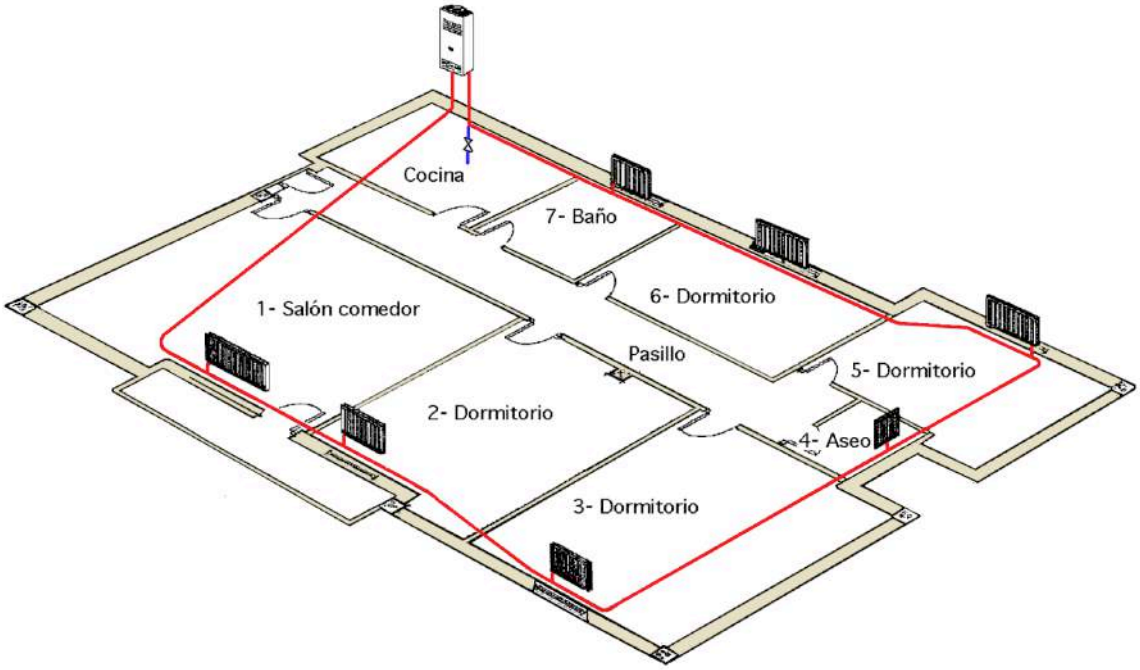


Fig X.13.- Disposición monotubular

La instalación monotubular es función del circuito de tuberías:

- El funcionamiento correcto de la instalación aconseja tuberías de 3/4" cuando se trata de hierro negro. En las tuberías de cobre, el diámetro recomendado es de (15 x 1) para longitudes de tubería de hasta 35 m, pasando a (22 x 1) para longitudes superiores.

- Hay que procurar que las instalaciones monotubulares no tengan un gran desarrollo en longitud para evitar al máximo las pérdidas de calor del agua entre radiadores. Se recomienda una longitud máxima de tuberías entre 50 y 60 m

MÉTODOS DE FUNCIONAMIENTO.- En una instalación de calefacción monotubular, Fig X.13, la temperatura de entrada del agua a cada radiador es diferente porque parte del caudal total que circula experimenta un enfriamiento previo en el radiador anterior a él, según el sentido de ida del agua.

Sólo el primer radiador recibe el agua a la temperatura en que ésta sale de la caldera.

Se aconseja una temperatura de salida del agua de la caldera T_{SC} = 90ºC

Para poder seleccionar los radiadores se pueden utilizar dos métodos: numérico y gráfico. En cualquier caso es preciso conocer la temperatura de entrada del agua en cada uno de los radiadores.

a) ***MÉTODO NUMÉRICO.-*** *Para una temperatura de salida del agua de la caldera T_{SC}, se tiene:*

$$\Delta = \frac{Q_t}{q_t} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + ... + Q_n}{q_t}$$

$$T_{E1} = T_{SC}$$

$$T_{E2} = T_{E1} - \frac{Q_1}{q_t} = T_{SC} - \frac{Q_1}{q_t}$$

$$T_{E3} = T_{E2} - \frac{Q_2}{q_t} = T_{SC} - \frac{Q_1 + Q_2}{q_t}$$

$$T_{E4} = T_{E3} - \frac{Q_3}{q_t} = T_{SC} - \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{q_t}$$

$$T_{En} = T_{En-1} - \frac{Q_{n-1}}{q_t} = T_{SC} - \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + ... + Q_{n-1}}{q_t}$$

siendo:

Δ el salto térmico o diferencia de temperaturas entre la ida y el retorno

T_{E1} la temperatura de entrada del agua en el primer radiador en ºC

T_{SC} la temperatura de salida del agua de la caldera en ºC

Q_1 la potencia calorífica a suministrar por el primer radiador en (Kcal/hora)

q_t el caudal total de agua en circulación (litros/hora)

T_{En} la temperatura de entrada del agua en un radiador cualquiera ºC

T_{En-1} la temperatura de entrada del agua en el radiador anterior ºC

Q_{n-1} la potencia calorífica a suministrar por el radiador anterior

SELECCIÓN DE RADIADORES.- Para la instalación presentada en la Fig X.13, se puede suponer que la temperatura de salida del agua de la caldera es de 85ºC y que la temperatura ambiente es de 20ºC.

Mediante el estudio de las cargas térmicas, que omitimos, se determinan las potencias caloríficas a aportar a cada una de las partes que componen la vivienda, que se indican en la Tabla X.2.

Radiador	*Potencia de cálculo Kcal/hora*	*Σ Potencia de cálculo Kcal/hora*	*Factor corrección F*	*Potencia corregida Kcal/hora*
1- Salón comedor	*1850*	*1850*	*1,044*	*1827*
2- Dormitorio	*750*	*2600*	*1,065*	*790*
3- Dormitorio	*990*	*3500*	*1,13*	*1017*
4- Aseo	*350*	*5000*	*1,23*	*1140*
5- Dormitorio	*1150*	*4650*	*1,24*	*360*
6- Dormitorio	*500*	*5500*	*1,29*	*484*
7 Baño	*350*	*5850*	*1,24*	*360*
				Σ = *5978*

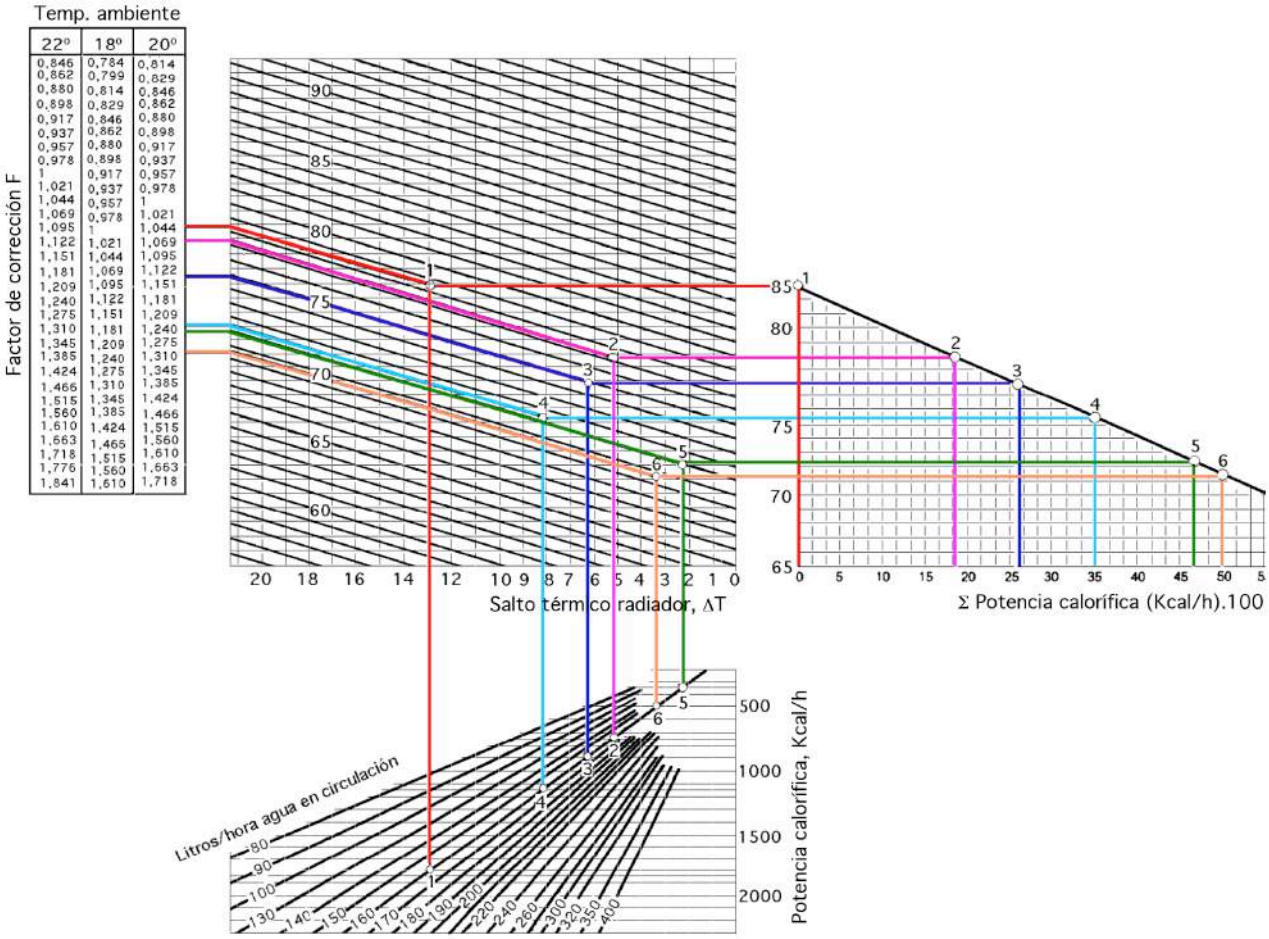


Fig X.14.- Selección de radiadores en función de la temperatura ambiente y de la temperatura de circulación del agua, y caída de temperatura del agua en radiadores sistema monotubular

Radiador R_1.- En este radiador, la temperatura de salida del agua de la caldera es $T_{sc} = 85ºC$. La temperatura de entrada del agua en el primer radiador es $T_{E1} = T_{sc} = 85ºC$.

Como la Tabla de selección de radiadores elegida, por ejemplo la presentada en la Fig X.14, viene referida para una temperatura del agua de la caldera de 80ºC y una temperatura ambiente de 20ºC, al salir el agua de la caldera a una temperatura superior, 85ºC, se aplica un coeficiente F de corrección.

Para 85ºC y 20ºC el coeficiente de corrección es 1,044 por lo que:

$$Q_{real1} = \frac{1850}{1,044} = 1772\ \frac{Kcal}{hora}$$

Para conseguir las 1850 Kcal/hora que precisa el Salón-comedor elegiremos un radiador que en las condiciones 80ºC-20ºC de la Tabla, proporcione 1772 Kcal/hora que se tienen que convertir en las 1850 Kcal/hora al funcionar a 85-20 que es la condición prevista.

El radiador más aproximado hay que tomarle de algún catálogo, en forma aproximada; si se elige uno cuya potencia calorífica a 80ºC-20ºC es de 1750 Kcal/hora, en las condiciones 85ºC-20ºC se tiene:

Potencia corregida: 1750 x 1,044 = 1827 Kcal / hora

La temperatura de entrada del agua en el radiador R_2 es la misma que la de salida del R_1:

$$T_{S1} = T_{F2} = T_{F1} - \frac{Q_1}{q_t} = 85ºC - \frac{1827}{400} = 80,43ºC$$

Radiador R_2.- Tiene que ser un radiador que en las condiciones (80,43ºC-20ºC) emita 750 Kcal/hora; operamos como en el caso precedente, el coeficiente para (80,43ºC-20ºC) es aproximadamente, 1,065:

$$Q_{real\ 2} = \frac{750}{1,065} = 704\ \frac{Kcal}{hora}$$

Seleccionamos del catálogo elegido un radiador cuya emisión calorífica a (80ºC-20ºC) es de 742 Kcal/hora, que en las condiciones (81,62ºC-20ºC) proporciona:

$$\text{Potencia corregida: } 742 \times 1,065 = 790\ Kcal \ \Rightarrow\ T_{S2} = T_{F3} = T_{F2} - \frac{Q_2}{q_t} = 80,43 - \frac{790}{400} = 78,45ºC$$

Radiador R_3.- Tiene que ser un radiador que en las condiciones (78,45ºC-20ºC) emita 990 Kcal/hora; el coeficiente para (78,45ºC-20ºC) es aproximadamente 1,13:

$$Q_{real\ 3} = \frac{990}{1,13} = 876\ \frac{Kcal}{hora}$$

Seleccionamos un radiador cuya emisión calorífica a (80ºC-20ºC) es de 900 Kcal/hora, y a

(78,45ºC-20ºC) es:

$$\textit{Potencia corregida: } 900 \times 1{,}13 = 1017\ Kcal \ \Rightarrow\ T_{S3} = T_{F4} = T_{F3} - \frac{Q_3}{q_t} = 78{,}45 - \frac{1017}{400} = 75{,}9ºC$$

Radiador R4.- Es un radiador que en las condiciones (75,9ºC-20ºC) debe emitir 350 Kcal/hora; el coeficiente para (75,9ºC-20ºC) es aproximadamente 1,24, luego:

$$Q_{real\ 4} = \frac{350}{1{,}24} = 282\ \frac{Kcal}{hora}$$

Seleccionamos un radiador cuya emisión calorífica a (80ºC-20ºC) es de 290 Kcal/hora y a (75,9ºC-20ºC) es:

$$\textit{Potencia corregida: } 290 \times 1{,}24 = 360\ Kcal \ \Rightarrow\ T_{S4} = T_{F5} = T_{F4} - \frac{Q_4}{q_t} = 75{,}9 - \frac{360}{400} = 75ºC$$

Radiador R_5.- Debe ser un radiador que en las condiciones (75ºC-20ºC) emita 1150 Kcal/hora; el coeficiente de corrección correspondiente es 1,23, luego:

$$Q_{real\ 5} = \frac{1150}{1{,}23} = 935\ \frac{Kcal}{hora}$$

Seleccionaremos un radiador cuya emisión calorífica a (80ºC-20ºC) es de 925 Kcal/hora y a (75ºC-20ºC) es:

$$\textit{Potencia corregida: } 935 \times 1{,}23 = 1150\ Kcal \ \Rightarrow\ T_{S5} = T_{F6} = T_{F5} - \frac{Q_5}{q_t} = 75 - \frac{1150}{400} = 72{,}15ºC$$

Radiador R_6.- Este radiador debe emitir una potencia calorífica de 500 Kcal/hora en las condiciones (72,15ºC-20ºC); en estas condiciones el coeficiente es 1,29, luego:

$$Q_{real\ 6} = \frac{500}{1{,}29} = 388\ \frac{Kcal}{hora}$$

Seleccionamos un radiador cuya emisión calorífica a (80ºC-20ºC) es de 375 Kcal/hora y a (72,15ºC-20ºC) es:

$$\textit{Potencia corregida: } 884 \times 0{,}89 = 787\ Kcal \ \Rightarrow\ T_{S6} = T_{F7} = T_{F6} - \frac{Q_6}{q_t} = 73{,}91 - \frac{787}{400} = 71{,}94ºC$$

Radiador R_7.- Debe emitir una potencia calorífica de 540 Kcal/hora en las condiciones (71,94ºC-20ºC). El coeficiente de corrección es 0,85, por lo que:

$$Q_{real\ 7} = \frac{350}{1{,}24} = 282\ \frac{Kcal}{hora}$$

Seleccionamos un radiador cuya emisión calorífica a (80ºC-20ºC) es de 290 Kcal/hora, y a (70,94ºC-20ºC) es:

$$\text{Potencia corregida: } 660 \times 0{,}85 = 561 \text{ Kcal} \Rightarrow T_{S7} = T_{F8} = T_{F7} - \frac{Q_7}{q_t} = 70{,}94 - \frac{360}{400} = 70^{\circ}C$$

Salto térmico total: $T_{SC} - T_{EC} = 85 - 70 = 15^{\circ}C$

$$Q_t = \sum_{i=1}^{i=7} Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 = 1827 + 790 + 1017 + 360 + 1140 + 484 + 360 = 5978 \frac{Kcal}{hora}$$

$$\Delta = \frac{Q_t}{q_t} = \frac{5978}{400} = 14{,}95^{\circ}C$$

b) MÉTODO GRÁFICO.- Consiste en realizar los cálculos de una forma gráfica en vez de numérica utilizando el diagrama de la Fig X.15. Este diagrama tiene unas escalas A que indican directamente la caída de temperatura del agua que circula por cualquier radiador para caudales comprendidos entre 350 litros/h y 600 litros/h. con indicación específica para los caudales de 400 litros/h y 550 litros/h que son los correspondientes a dos calderas tipo.

Dispone también de unas escalas B que permiten determinar la aportación calorífica de cualquier tipo de radiadores cuando varia la temperatura ambiente entre 16ºC y 24ºC y la temperatura del agua entre 60ºC y 100ºC partiendo de su aportación calorífica a 20ºC y 80ºC respectivamente. Partiremos de los mismos supuestos que en el método numérico, es decir, suponemos una temperatura de salida del agua de la caldera a 85ºC. Como la temperatura ambiente va a ser siempre de 20ºC, la señalamos en la escala correspondiente con el punto A y comenzamos la selección de radiadores.

Selección del radiador R_1

$$\text{Datos} \begin{cases} \text{Temperatura de entrada del agua: } 85^{\circ}C \text{ (Punto B)} \\ \text{Potencia calorífica teórica a suministrar: } 1850 \frac{Kcal}{hora}\text{, (punto C)} \end{cases}$$

Unimos los puntos A y C hasta que la recta corte en el punto D.

Unimos B y D hasta cortar a la escala de Kcal/hora nominales en el punto E; obteniéndose 1720 Kcal/hora y seleccionamos directamente en la Tabla un radiador de esta emisión calorífica o la más aproximada posible, siempre por exceso, con una emisión calorífica de 1750 Kcal/hora, en las condiciones (80-20).

Como estamos trabajando en (85-20) hay que determinar, (exactamente igual que se hizo en el ejemplo numérico), qué potencia calorífica real emite dicho radiador en estas últimas condiciones, para lo cual partimos de la nominal a (80-20) punto F que unido con el punto B nos da el punto G

que unido a su vez con el punto A permite obtener el punto H que indica la potencia calorífica real que emite el radiador elegido en las condiciones (85-20) y que resulta ser de 1980 Kcal/hora. En el ejemplo numérico obtuvimos el mismo tipo de radiador y potencia calorífica de 1827 Kcal/hora.

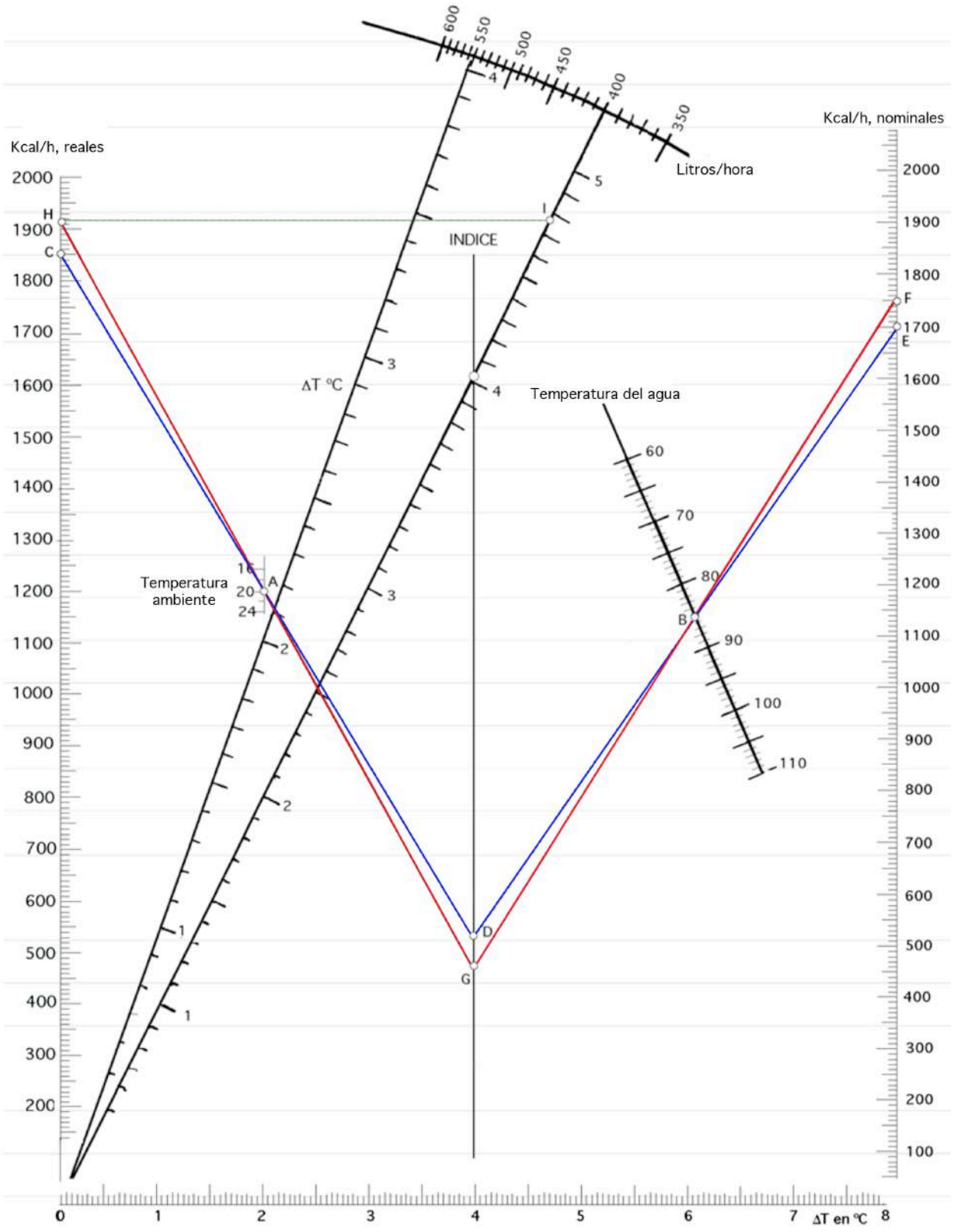


Fig X.15.- Abaco para el diseño gráfico de calefacción individual monotubular

Para calcular la temperatura de salida del agua, se traza a partir del punto H una línea horizontal hasta su intersección con la línea A correspondiente a 400 litros/hora, caudal de la caldera, obteniéndose el punto I que indica el enfriamiento del agua a su paso por el radiador que es 3,53ºC, que restado de la temperatura de entrada 85ºC, se obtiene 81,47ºC que es la temperatura de salida del radiador R_1 y la de entrada del radiador R_2. Marcando esta temperatura, punto J, en la escala correspondiente y repitiendo los pasos dados para el cálculo del radiador R_1 obtenemos el radiador R_2 y así, sucesivamente, todos los que componen el circuito.

Selección de la caldera.- En primer lugar se calcula el valor de Q_t que es la suma total de las potencias caloríficas de los radiadores:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 = 1300 + 750 + 990 + 240 + 520 + 760 + 540 = 5400 \ \frac{Kcal}{hora}$$

A continuación se calcula q_t que es el caudal de circulación por el monotubo y que depende del tipo de caldera que se instale. Habrá que comprobar, por ejemplo, si es suficiente una caldera de 8000 Kcal/hora de potencia útil; para ello hay que comprobar estos tres aspectos:

a) Que la suma de la potencia calorífica de los radiadores sea inferior a la potencia útil de la caldera.

$$Q_t < Q_{C(Potencia\ útil\ caldera)} \ \Rightarrow \ en\ nuestro\ caso: Q_t = 5400 \ \frac{Kcal}{hora} \ ; Q_C = 8000 \ \frac{Kcal}{hora} \ \ ; \ \ 5400 < 8000$$

por lo que según esta primera condición, podemos utilizar una caldera de 8000 Kcal/hora.

b) Que el salto térmico ΔT entre la ida y el retorno no sea superior a 16ºC: $\Delta T < 16ºC$

$$Como: \Delta = \frac{Q_t}{q_t} = \left\{ Q_t = 5400 \ \frac{Kcal}{hora} \ \ ; \ \ q_t = 400 \ \frac{litros}{hora} \ (dato\ tomado\ de\ catálogo) \right\} = 13{,}5ºC < 16ºC$$

por lo que dicha caldera cumple también la segunda condición.

c) La pérdida de carga del circuito debe ser inferior a la altura manométrica de la bomba, es decir:

$$P_{bomba} < P_{circuito}$$

Como $P_{bomba} = 2{,}5\ m.c.a.$, el valor de $P_{circuito}$ se calcula para un caudal de agua de 400 litros/hora que es el mínimo que suministra esta caldera y que entra dentro de los límites requeridos por la T_e especial de entrada y salida única.

Se compone de la suma de estos tres pérdidas de carga en: $\begin{cases} la\ tubería \\ accesorios \\ radiadores \end{cases}$

Si se supone un circuito de 45 m de longitud (en cada caso concreto se trata únicamente de medir los metros totales que tiene el circuito desde la salida de la caldera hasta el regreso a ella)

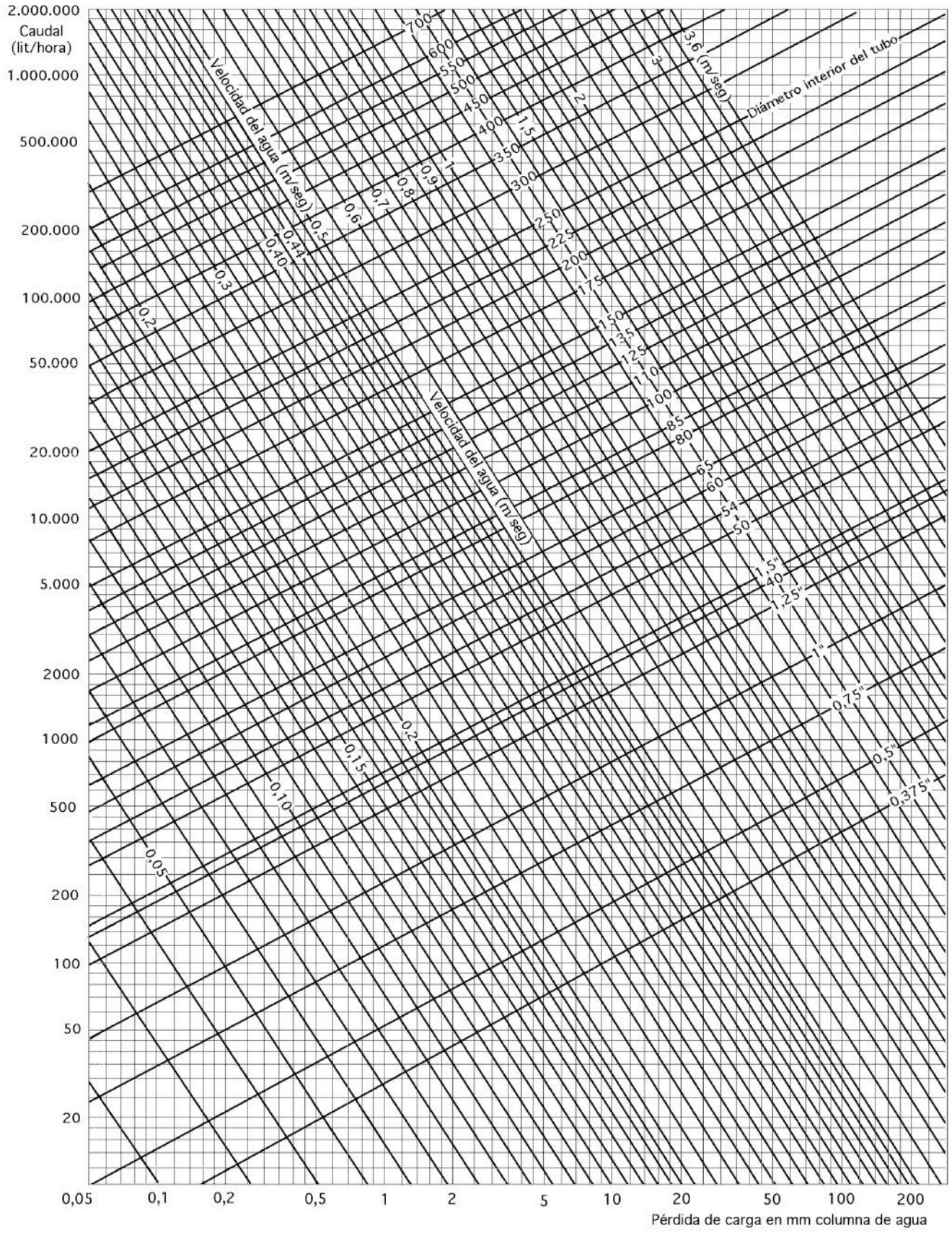


Fig X.16.- Diagrama de pérdidas de carga y velocidad del agua en tubos de acero para una temperatura del agua de 80°C

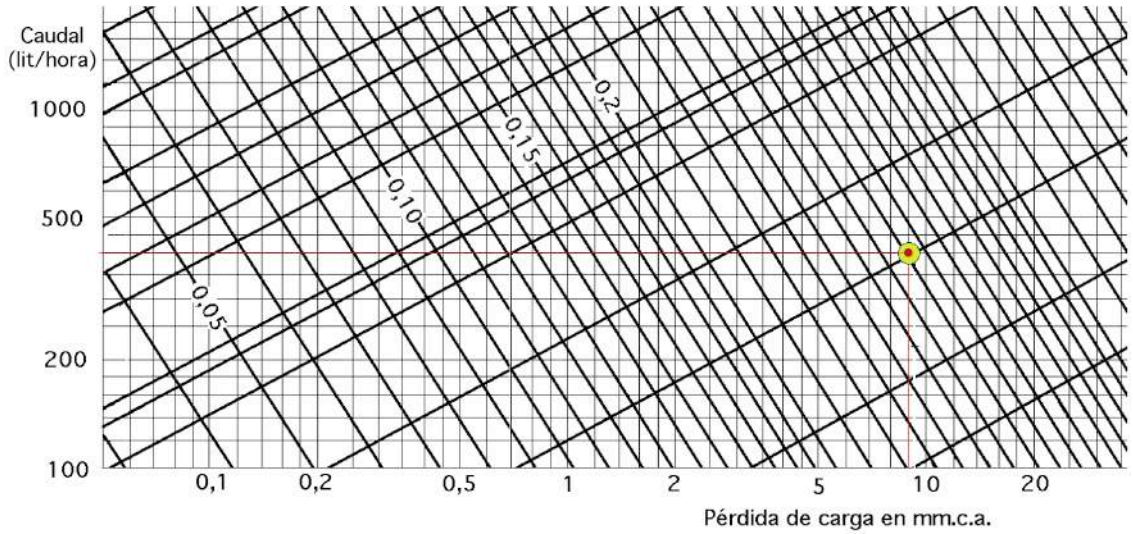


Fig X.17.- Diagrama de pérdidas de carga y velocidad del agua en tubos de acero para una temperatura del agua de 80ºC, tubería de 3/4" y caudal de 400 lit/seg

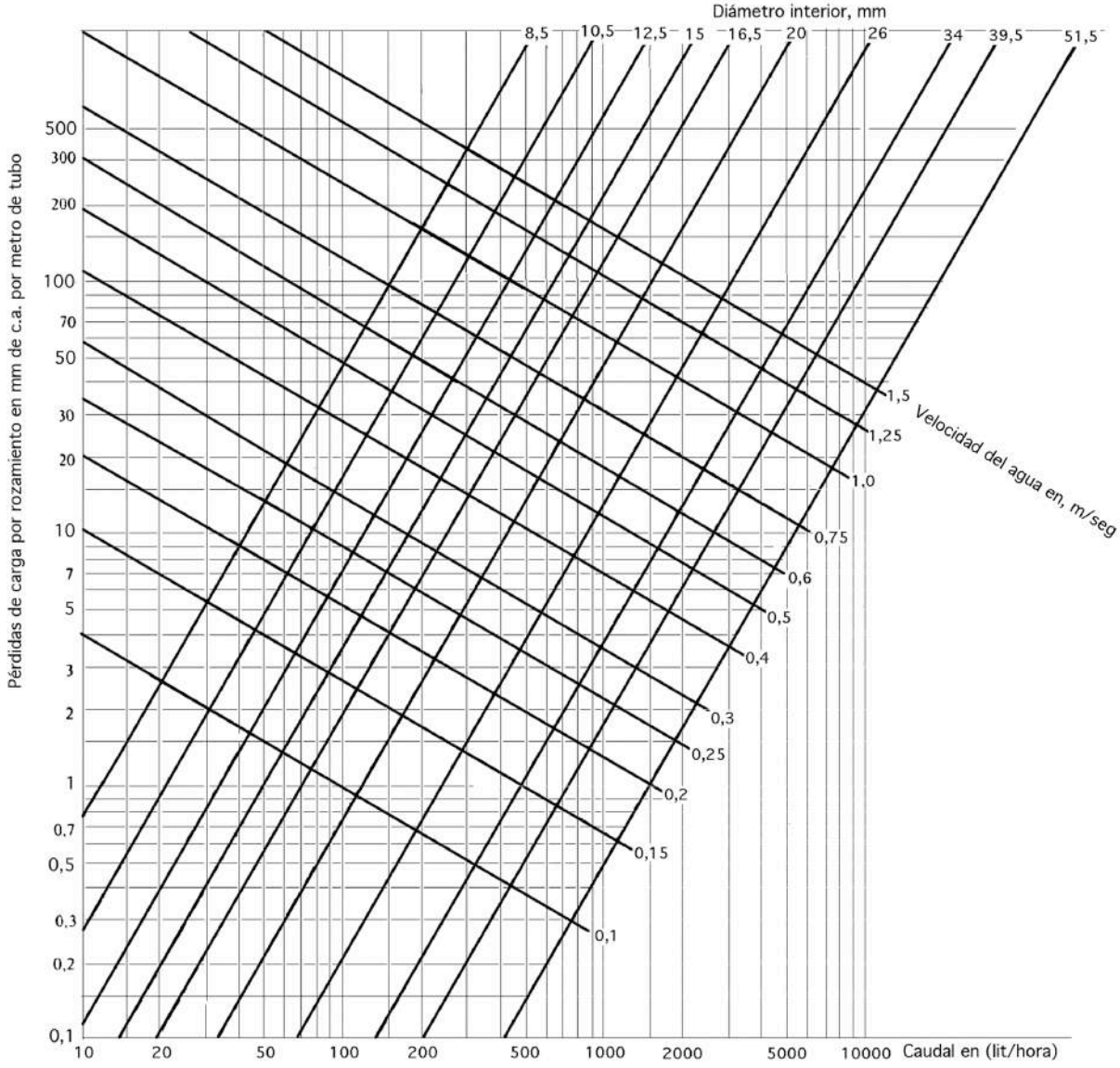


Fig X.18.- Diagrama de pérdidas de carga y velocidad del agua en tubos de cobre para una temperatura del agua de 80ºC

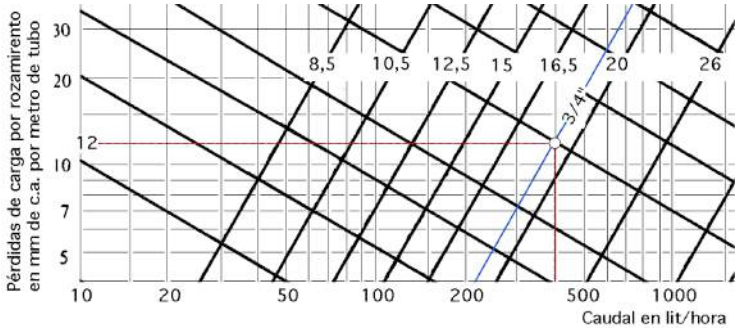


Fig X.19- Diagrama de pérdidas de carga y velocidad del agua en tubos de cobre para una temperatura del agua de 80°C, tubería de 3/4" y caudal de 400 lit/seg

Pérdida de carga en la tubería.- En tubería de hierro de 3/4", según la Fig X.17, se obtiene para un caudal de 400 litros/hora una pérdida de carga de 9 mm de c.a. por m de tubería, por lo que:

$$9\ \frac{mm.c.a.}{m}\ x\ 45\ m = 405\ mm.c.a.$$

En tubería de cobre de 18 x 1, según la Fig X.19, para un caudal de 400 litros/hora se tiene una pérdida de carga de 12 mm de c.a. por metro lineal de tubería, por lo que:

$$12\ \frac{mm.c.a}{m}\ x\ 45\ m = 540\ mm.c.a.$$

Pérdida de carga en los accesorios.- Se puede calcular unitariamente para cada tipo de accesorios de acuerdo con su forma, sección y velocidad de circulación o caudal de agua, Tablas X.3a.b; no obstante este cálculo es engorroso ya que ha de hacerse accesorio por accesorio. Con el fin de simplificar con una aproximación suficiente, se puede utilizar el método de longitud de tubería equivalente, y en este sentido se puede equiparar cada accesorio a 0,5 m de tubería recta, con lo cual, si se supone que el circuito objeto de este estudio tiene, por ejemplo, 28 curvas y 2 Tes, en total 30 accesorios, cada uno de los cuales equivale aproximadamente a 0,5 m de tubería, (más exacto sería tomarlo de las tablas o ábacos correspondientes), se obtiene:

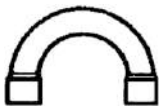
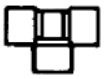
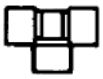
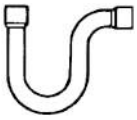
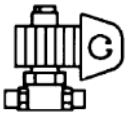
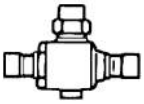
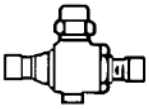
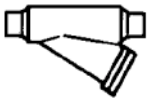
a) En hierro: $30\ x\ 0{,}5 = 15\ m \Rightarrow P = J\ L = 9{,}4\ mm.c.a.\ x\ 15\ m = 141\ mm.c.a.$

b) En cobre: $30\ x\ 0{,}5 = 15\ m \Rightarrow P = J\ L = 12\ mm.c.a.\ x\ 15\ m = 180\ mm.c.a.$

Tabla X.3a.- Pérdida de carga en accesorios en metros de longitud de tubería equivalente

RESISTENCIAS SIMPLES DE COBRE en m de longitud equivalente de tubería					
DIAMETRO DEL TUBO	*10/12*	*12/14*	*13/15*	*14/16*	*16/18*
CODO 90°	*0,45*	*0,5*	*0,5*	*0,6*	*0,7*
CURVA 45°	*0,3*	*0,35*	*0,4*	*0,4*	*0,5*
CURVA 90°	*0,4*	*0,45*	*0,5*	*0,5*	*0,55*
Te	*0,14*	*0,16*	*0,18*	*0,2*	*0,22*
Te	*0,65*	*0,75*	*0,8*	*0,9*	*11*
VALVULA PASO RECTO	*0,6*	*0,7*	*0,8*	*0,9*	*1,1*

Tabla X.3b.- Pérdidas de carga en accesorios en m de longitud de tubería equivalente

Diámetro nominal de la tubería		*Codo de 90º* 	*Curva ancha* 	*Curva angosta* 	*Curva de 45º* 	*Curva ancha 90º* 	*Curva angosta 90º* 
Pulg.	*mm*						
1/8	*10*	*2,8*	*0,28*	*0,4*	*0,2*	*0,45*	*0,85*
1/2	*12*	*2,5*	*0,35*	*0,5*	*0,25*	*0,53*	*0,75*
5/8	*16*	*2,7*	*0,38*	*0,55*	*0,27*	*0,6*	*0,85*
3/4	*18*	*3,8*	*0,42*	*0,6*	*0,3*	*0,87*	*0,95*
7/8	*22*	*3,5*	*0,49*	*0,7*	*0,35*	*0,77*	*1,1*
1.1/8	*28*	*4*	*0,58*	*0,8*	*0,45*	*0,92*	*1,3*
1.3/8	*35*	*6*	*0,84*	*1,2*	*0,6*	*1,25*	*1,8*
1.5/8	*42*	*7*	*0,98*	*1,4*	*0,7*	*1,5*	*2,2*
2.1/8	*54*	*7,5*	*1,1*	*1,5*	*0,75*	*1,85*	*2,4*
2.5/8	*65*	*9,5*	*1,3*	*1,9*	*0,95*	*2,1*	*3*
3.1/8	*80*	*12*	*1,7*	*2,4*	*1,2*	*2,7*	*3,9*
3.5/8	*90*	*14*	*1,9*	*2,8*	*1,4*	*3,2*	*4,5*
		T de paso 	*T de derivación* 	*Sifón* 	*Válv. retención uniones a 180º* 	*V.electromagnét 2 pasos a 180º* 	*Llave membrana uniones a 180º* 
Pulg	*mm*						
1/8	*10*	*0,2*	*0,6*	*0,8*	*3,3*	*1,18*	*5*
1/2	*12*	*0,25*	*0,7*	*0,95*	*3,8*	*2,1*	*5,5*
5/8	*16*	*0,28*	*0,8*	*1,1*	*4,3*	*2,4*	*6,1*
3/4	*18*	*0,32*	*0,9*	*1,2*	*4,9*	*2,7*	*6,8*
7/8	*22*	*0,3*	*1*	*1,4*	*5,8*	*3,2*	
1.1/8	*28*	*0,45*	*1,2*	*1,65*	*7,2*	*4*	
1.3/8	*35*	*0,6*	*1,5*	*2,3*	*9*	*5*	
1.5/8	*42*	*0,8*	*2,1*	*2,7*	*11,5*	*6,2*	
2.1/8	*54*	*0,9*	*2,5*	*3,1*	*13,8*	*7,4*	
2.5/8	*65*	*1,2*	*3,2*	*3,8*	*17*	*9,1*	
3.1/8	*80*	*1,5*	*4,2*	*4,7*	*19*	*11*	
3.5/8	*90*	*2*	*5*	*5,5*	*25,8*	*14,3*	
		Llave esférica compensación integral 	*Llave esférica compensación reducida* 	*Válvula de retención* 	*Filtro deshidratador* 	*Filtro mecánico atascam. normal* 	*Indicador de pasaje* 
Pulg	*mm*						
1/8	*10*		*0,18*	*1,6*	*3,6*	*3,9*	*1,8*
1/2	*12*		*0,2*	*1,9*	*4,2*	*4,8*	*2,1*
5/8	*16*	*0,05*	*0,24*	*2,1*	*4,8*	*5,4*	*2,4*
3/4	*18*	*0,06*	*0,25*	*2,4*	*5,4*	*6*	*2,7*
7/8	*22*	*0,065*	*0,26*	*2,8*	*6,4*	*7,2*	*3,2*
1.1/8	*28*	*0,08*	*0,35*	*3,3*	*8*	*9*	*4*
1.3/8	*35*	*0,1*	*0,4*	*4,5*	*10*	*11*	*5*
1.5/8	*42*	*0,11*	*0,5*	*5,5*	*12,4*	*14*	*6,2*
2.1/8	*54*	*0,13*	*0,6*	*6,8*	*14,8*	*18,4*	*7,4*
2.5/8	*65*	*0,15*	*0,7*	*7,8*	*18,2*	*20*	*9,1*
3.1/8	*80*	*0,19*	*0,8*	*9,1*	*22*	*24*	*11*
3.5/8	*90*	*0,23*	*0,9*	*10,7*	*28,6*	*30*	*14,3*

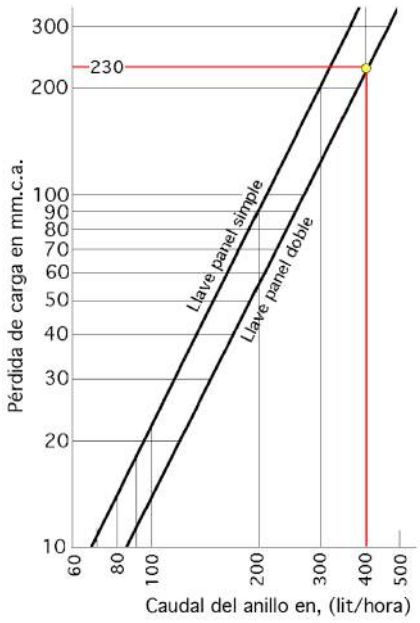


Fig X.20
Pérdida de carga (llave + radiador)

Pérdida de carga en radiadores.- La instalación tiene 7 radiadores; como la mayor pérdida de carga corresponde al radiador sencillo, supondremos que todos los radiadores son sencillos. En la gráfica de pérdidas de carga en radiadores se comprueba que la pérdida de carga de un radiador sencillo es de 230 mm de c.a., Fig X.20; como el circuito tiene 7 radiadores la pérdida de carga total es:

230 mm de c.a. x 7 radiadores = 1610 mm de c.a.

Como es lógico, esta pérdida de carga no depende de la tubería, siendo común para todo tipo de circuitos. Sumando las pérdidas de carga calculadas, se obtiene la pérdida de carga total del circuito que debe ser inferior a la altura manométrica de la bomba tal como se ha indicado anteriormente.

Tabla X.4.- Rendimiento térmico de radiadores monotubulares

Temp. ambiente	*Temperatura del agua*																				
	60	*61*	*62*	*63*	*64*	*65*	*66*	*67*	*68*	*69*	*70*	*71*	*72*	*73*	*74*	*75*	*76*	*77*	*78*	*79*	*80*
24°C	*0,60*	*0,61*	*0,63*	*0,64*	*0,65*	*0,67*	*0,68*	*0,70*	*0,71*	*0,72*	*0,74*	*0,76*	*0,78*	*0,80*	*0,82*	*0,83*	*0,85*	*0,87*	*0,89*	*0,91*	*0,93*
22	*0,63*	*0,64*	*0,66*	*0,67*	*0,69*	*0,70*	*0,72*	*0,73*	*0,75*	*0,76*	*0,78*	*0,80*	*0,82*	*0,84*	*0,86*	*0,87*	*0,89*	*0,91*	*0,93*	*0,95*	*0,97*
20	*0,66*	*0,67*	*0,69*	*0,70*	*0,72*	*0,73*	*0,75*	*0,76*	*0,78*	*0,79*	*0,81*	*0,83*	*0,85*	*0,87*	*0,89*	*0,90*	*0,92*	*0,94*	*0,96*	*0,98*	*1,00*
18	*0,69*	*0,70*	*0,72*	*0,74*	*0,75*	*0,77*	*0,78*	*0,80*	*0,83*	*0,94*	*0,85*	*0,87*	*0,89*	*0,90*	*0,92*	*0,94*	*0,96*	*0,98*	*0,99*	*1,01*	*1,03*
16	*0,72*	*0,74*	*0,75*	*0,77*	*0,79*	*0,80*	*0,82*	*0,84*	*0,86*	*0,87*	*0,89*	*0,91*	*0,93*	*0,94*	*0,96*	*0,98*	*1,00*	*1,02*	*1,03*	*1,05*	*1,07*

Ventajas del sistema monotubular

Facilita la realización del proyecto ya que los cálculos son más simples; se puede asegurar que realizar un estudio de calefacción monotubular cuesta un 30% menos de tiempo que cualquier otro sistema.

Minimiza el acopio de materiales, ya que sólo hay que acoplar tubería de un único diámetro, por lo que prácticamente no se necesitan accesorios.

Simplifica el montaje, por cuanto se pueden prefabricar partes importantes del circuito para su posterior ensamblaje en obra; ademas, todas estas partes se pueden hacer en serie para un conjunto de viviendas.

Agiliza la marcha de la construcción, ya que el tiempo de interferencia del calefactor con el resto de los oficios que normalmente intervienen en una obra es despreciable.

Permite racionalizar el trabajo, al ser íntegramente repetitivo.

No existen problemas de regulación, por cuanto cada radiador se autoregula, ya que toma de la red general un caudal de agua en función de sus propias pérdidas de carga; éste caudal es constante para cada caso en cada radiador y su valor absoluto no afecta al rendimiento de los demás radiadores.

Mayor rendimiento de la instalación, porque:

- Disminuye el salto térmico del agua en cada radiador, hasta un valor de 5ºC, e incluso menor

- Aumenta la velocidad de circulación del agua a través del radiador, con lo cual se produce un aumento en la transmisión del calor

Funcionamiento de la instalación más regular y homogéneo, ya que la velocidad de circulación del agua en el monotubo se mantiene constante al no existir variación de diámetros. La variación de temperatura de todos los radiadores de una instalación se mantiene dentro de un intervalo determinado.

Se obtiene una gran economía:

- De materiales, por cuanto no se necesitan prácticamente accesorios, ni válvulas de doble regulación, codos, racores, etc

- De instalación, ya que la mano de obra es muy reducida, al ser menor el número de operarios en obra, así como la preparación de partes del circuito en el taller

Tabla X.5.- Coeficientes de transmisión de calor totales en muros exteriores, en Kcal/hm²ºC

MURO BASE AL EXTERIOR		COMPLEMENTOS AL MURO BASE									
		Sólo el muro base	2 cm de yeso al interior	Enfoscado de cemento al exterior y de yeso al interior	Cámara aire de 2 a 12 cm		25 mm corcho		50 mm corcho	100 mm corcho	Capa de piedra al exterior de 4 cm
					+ tabicón 8 cm + yeso	dentro del muro base	+ yeso ó cemento 2 cm	+ rasilla de 3 cm + yeso o cemento	+ rasilla de 3 cm + yeso o cemento		
Ladrillo macizo	12	2,60	2,50	2,40	1,10	1,70	0,70	0,73	0,46	0,26	2,50
	25	1,80	1,70	16,00	0,90	1,40	0,69	0,65	0,43	0,25	1,75
	38	1,40	1,30	1,30	0,80	1,10	0,63	0,59	0,40	0,24	1,35
	51	1,10	1,10	1,00	0,70	0,90	0,56	0,53	0,37	0,23	1,08
Ladrillo hueco	12	1,65	1,50	1,45	0,89	1,24	0,67	0,62	0,41	0,25	1,58
	25	0,97	0,92	0,99	0,65	0,81	0,52	0,50	0,35	0,22	0,95
	38	0,68	0,65	0,65	0,50	0,60	0,42	0,40	0,30	0,20	0,67
	51	0,53	0,51	0,50	0,42	0,48	0,36	0,35	0,27	0,18	0,52
Piedras porosas	30	2,50	2,40	2,30	1,10	1,67	0,78	0,72	0,45	0,26	2,34
	40	2,10	2,00	2,00	1,00	1,47	0,73	0,69	0,64	0,26	1,98
	50	1,90	1,80	1,80	0,95	1,38	0,71	0,65	0,43	0,25	1,81
	60	1,70	1,60	1,60	0,90	1,27	0,67	0,65	0,42	0,25	1,63
Piedras compactas	30	3,00	2,90	2,80	1,20	1,88	0,82	0,76	0,47	0,26	2,78
	40	2,70	2,60	2,50	1,10	1,75	0,79	0,74	0,46	0,26	2,52
	50	2,50	2,40	2,30	1,10	1,67	0,77	0,72	0,45	0,26	2,34
	60	2,30	2,20	2,10	1,00	1,57	0,76	0,70	0,44	0,25	2,16
Hormigón	10	3,60	---	3,00	1,30	2,09	0,86	0,80	0,49	0,28	3,28
	15	3,10	---	2,70	1,20	1,75	0,82	0,77	0,47	0,27	2,86
	20	2,70	1,10	2,40	1,10	1,75	0,79	0,74	0,40	0,27	2,51
	30	2,20	---	2,00	1,00	1,52	0,74	0,89	0,44	0,26	2,07
Bloques de hormigón + áridos normales	20	2,75	2,55	2,14	1,13	1,75	0,80	0,74	0,46	0,27	2,51
	30	2,40	2,25	1,92	1,06	1,62	0,76	0,72	0,45	0,26	2,25
Bloques de hormigón + cenizas	20	2,00	1,90	1,66	0,98	1,43	0,72	0,68	0,43	0,25	1,90
	30	1,86	1,76	1,56	0,94	1,36	0,70	0,66	0,43	0,25	1,77
Bloques de hormigón + áridos de escorias	20	1,76	1,66	1,49	0,92	1,30	0,69	0,64	0,42	0,25	1,68
	30	1,66	1,60	1,42	0,89	1,25	0,67	0,63	0,42	0,25	1,59

Los coeficientes vienen expresados en Kcal/hm²ºC, teniendo en cuenta la diferencia de temperaturas entre el aire exterior y el interior

Las piedras porosas son de tipo arenisca, caliza blanda, caliza arenosa, etc., con densidad inferior a 2.800 kg/m³ y coeficientes globales de transmisión de calor de 1,50 Kcal/hm²ºC

Piedras compactas de granito, basalto, mármol, caliza dolomítica, etc, con densidad superior a 2.600 kg/m³ y coeficientes globales de transmisión de calor de 2,5 Kcal/hm²ºC

PAREDES EXTERIORES	*Espesor cm*	*Coeficiente total Kcal/hm²°C*
Piedra dura con revestimiento interior	*30*	*2,4*
	45	*2,06*
	60	*1,72*
Piedra semidura con revestimiento interior	*30*	*2,15*
	45	*1,97*
	60	*1,63*
Ladrillo macizo con revestimiento interior	*30*	*1,29*
	45	*1,03*
	60	*0,94*
Ladrillo hueco revestido por las dos caras	*15*	*1,54*
	20	*1,37*
	30	*0,94*
Hormigón composición normal	*12*	*1,97*
	20	*1,37*
	30	*1,11*
Ladrillos huecos de hormigón	*40*	*1,03*

PAREDES EXTERIORES COMPUESTAS Composición de la pared	*Espesor total cm*	*Coeficiente total Kcal/hm²°C*
Ladrilo macizo + cámara de aire de 5 cm + + pared interior de ladrillo hueco de 5 cm + + revestimiento de 2 cm	*20*	*1,37*
	35	*1,03*
	45	*0,86*
Idem, con aislante de 7 cm	*20*	*0,86*
	35	*0,77*
	45	*0,68*
Ladrillo hueco revestido + cámara de aire de 9 cm + + ladrillo hueco de 5 cm + revestimiento 2 cm	*25*	*1,1*
	30	*0,94*
	40	*0,77*
Idem, con aislante de 7 cm	*30*	*0,77*
	35	*0,68*
	40	*0,68*

PAREDES INTERIORES	*Espesor total cm*	*Coeficiente total Kcal/hm²°C*
Ladrillo macizo	*10*	*2,06*
	15	*1,89*
	25	*1,37*
	35	*1,03*
Ladrillo hueco	*10*	*1,72*
	15	*1,37*
	35	*1,03*
Hormigón	*25*	*1,8*
	40	*1,48*

Rendimiento óptimo, por cuanto el sistema monotubular es el único que se basa en caudales de agua constante y saltos térmicos variables, lo que significa que las válvulas de los radiadores no tienen por qué ser regulables y, por tanto, son más baratas y de pérdida de carga mínima y constante, obteniéndose además un mayor rendimiento global de la instalación al no limitar el caudal de agua en circulación por cada radiador.

Una vez terminada la obra no es preciso proceder a regular la válvula de cada radiador, lo que supone que no se presenten problemas de reglaje defectuosos.

Tabla X.6.- Coeficientes globales de transmisión de calor en PUERTAS, VENTANAS Y CLARABOYAS

PUERTAS	h_{global} $\frac{Kcal}{hm^2\,°C}$
Puerta exterior de hierro	5,8
Puerta exterior de madera de 25 mm	2,9
Puerta exterior de madera de 50 mm	2,25
Puerta exterior de madera de 75 mm	1,62
Puerta de balcón, con cristales, sencilla	5,6
Puerta de mirador, con cristal dentro y fuera	4,5
Puerta interior	3
VENTANAS (La variación del coeficiente de transmisión de calor debido al espesor del cristal es despreciable)	
Ventana sencilla al exterior	5,8
Ventana doble al exterior, con un espacio entre hojas de más de 2 cm	3,8
Ventana sencilla dando a un local interior	3
Ventana doble dando a un local interior	2
Claraboya sencilla al exterior	2,8
Claraboya sencilla dando a un desván	3,5
Claraboya doble dando a un desván	2
Vitrina de escaparate (con otro cristal o puerta de madera al interior)	2
Bloques de una cavidad en cubiertas de 20 x 20 x 10 cm	3,9
Bloques de una cavidad en pisos (transmisión de abajo a arriba)	2,5
Baldosas de una cavidad, muros exteriores	4,4
Baldosas de una cavidad, cerramientos interiores	3,2
Dobles baldosas de hormigón traslúcido de una cavidad, cámara de aire, muro exterior	2,3
Dobles baldosas de hormigón traslúcido de una cavidad, cámara de aire, cerramiento interior	1,9
Bloques norteamericanos de doble cavidad, cámara estanca de aire enrarecido, cerramientos interiores	1,5
Radiadores «termofan» con dos cristales y cámara de aire de 6 mm	3
Radiadores "termofan" con dos cristales y cámara de aire da 12 mm	2,8

PUERTAS Y VENTANAS	Coeficiente total Kcal/hm²°C
Ventana exterior de madera (30% madera, cristal simple)	4,98
Ventana exterior metálica	6,02
Ventana exterior de madera y cristal doble	3,18
Ventana exterior metálica y cristal doble	3,69
Ventana doble de madera	3,18
Ventana doble metálica	3,18
Ventanas interiores de madera	3,09
Ventanas interiores metálicas	3,61
Puerta madera	3,18
Puerta metálica	6,27
Puertas interiores de madera	2,49
Puertas interiores de madera de doble pared	1,97

AZOTEAS	Espesor total cm	Coeficiente total Kcal/hm²°C
Suelo de losetas cerámicas Vigas de hormigón armado Techo de yeso Zona entre suelo y techo cuñas cerámicas	30	Suelo y techo 1,4
Suelo de losetas cerámicas Vigas de hormigón armado Techo de yeso	20	Suelo y techo 2,4
Suelo de cemento	5	4,5
Vigas de madera	10 15	4 3,6
Pizarra con recubrimiento		5,8
Placas de uralita sobre madera		4,4

Tabla X.7.- Coeficientes globales de transmisión de calor.- Valores normales de uso más frecuente

TEJADOS:	h_{global} $\frac{Kcal}{hm^2\,°C}$
Para cubiertas donde se infiltra mucho aire, el coeficiente de transmisión de calor ya no es de transmisión pura, ya que abarca parte de la infiltración	
CUBIERTAS SIMPLES SIN REVESTIR:	
Teja, plancha ondulada o de cinc sobre listones o latas sin revestimiento ni cubrejuntas	10
Tejas corrientes o mecánicas sobre listones o latas con las juntas cerradas	5
Uralita, canaleta, eternit o cinc, tapadas las ondas que dan al exterior	8
CUBIERTAS CON REVESTIM. SIMPLE SOBRE LA CARA SUPERIOR DE LOS CABIOS (revestimiento continuo de madera machihembrada de 25 mm. de espesor)	
Con plancha de cinc, pizarra o cartón piedra	2,1
Con tejas o plancha ondulada sobre listones sin cubrejuntas	2,4

SUELOS, TECHOS Y TERRAZAS	Coeficiente global	
	Abajo / arriba	Arriba / abajo
Losa de hormigón armado sin revestimiento de 7,5 cm, con enlucido de cemento	3	2,2
Idem, espesor de la losa, 10 cm	2,8	2,1
Idem, espesor de la losa, 15 cm	2,4	1,9
Idem, espesor de la losa, 20 cm	2,2	1,8
Losa de hormigón armado de 10 cm, de espesor con revestimiento de 3 mm. de linoleum	2,6	2
Losa de hormigón armado de 10 cm de espesor, entarimado de madera de 3,5 cm de grueso sobre durmientes, con unos 10 cm de cámara de aire entre los mismos	1,2	1
Forjado de viguetas de hormigón o metálicas, con bovedillas de rasilla o piezas cerámicas, tendido inferior de yeso y pavimento superior de parquet	0,8	0,6
Viguetas de madera con entarimado simple de madera machihembrada, espesor de 2,5 cm	2,1	1,7
Idem, espesor de 3,5 cm	1,8	1,5
Idem, con entarimado doble, espesor de 6 cm	1,3	1,1
Terraza a la catalana (losa de hormigón de 10 cm, cámara aire de 15 cm, doble tablero de rasilla	1,4	
Idem, con una capa de lana de vidrio de 3 cm de espesor	0,6	
Idem, con una capa de hormigón poroso de 5 cm de espesor	0,8	
Idem, con una capa de hormigón poroso de 10 cm de espesor	0,6	
Cielo raso de escayola (2 cm) con una capa de lana de vidrio o corcho de 25 mm de espesor + una capa de hormigón poroso o de aglomerado de virutas de madera de 75 mm de espesor	0,85	
Cielo raso de escayola o cañizo de 2 cm de espesor	2,84	
Pavimento de madera sobre el terreno, con cámara de aire		0,8
Pavimento macizo sobre el terreno		1,4

CUBIERTAS CON REVESTIM. SIMPLE SOBRE LA CARA INFERIOR DE LOS CABIOS:	
Con tejas de pizarra, plancha ondulada, plancha de cinc, etc, sin cubrejuntas y con revestimiento continuo de madera de 2,5 cm de espesor	2,6
Idem, pero rellenando entre los cabios con 12 mm. de hormigón de escorias	1,4
Idem, pero rellenando entre los cabios con 12 mm. de hormigón hormigón de piedra pómez	1,3
CUBIERTAS CON AISLAMIENTO:	
Tejas, plancha ondulada, plancha de cinc, pizarra, etc., con 3 cm de lana de vidrio o corcho, o con 9 cm de hormigón ligero aglomerado de viruta de madera y cemento, sin revestimiento	0,9
Idem, pero sobre un revestimiento continuo de 2,5 cm de madera	0,7

Los valores dados en las tablas anteriores son para una construcción esmerada, por lo que es conveniente, si no se conoce el tipo de construcción, aumentar el coeficiente de transmisión en un 10% sobre el dado.

SUELOS Y TECHOS	Espesor total cm	Coeficiente total k_c (Kcal / hm°C
Suelo madera	20 a 25	Suelo: 1,63
Techo, vigas madera		Techo: 1,8
Suelo madera sobre ladrillo	20 a 25	Suelo: 0,86
Techo listones madera, con yeso, vigas madera, ladrillo		Techo: 0,94
Suelo madera sobre hormigón	20 a 25	Suelo: 0,86
Techo, yeso, vigas hierro, hormigón		Techo: 0,94
Suelo madera sobre bovedilla ladrillo	20 a 25	Suelo: 0,86
Techo, yeso, vigas hierro, bovedilla ladrillo		Techo: 0,94
Suelo vidrio	3	Suelo: 3,18
Techo, vigas hierro, vidrio		Techo: 3,87

Suelo madera sobre vigas de hormigón armado Techo, yeso, zona intermedia hormigón	25	Suelo: 0,04 Techo: 1,11
Suelo madera sobre cemento Techo, yeso, zona intermedia hormigón	25	Suelo: 1,97 Techo: 2,06
Suelo madera sobre vigas de hormigón armado Techo, yeso zona intermedia, cuña cerámica	25	Suelo: 0,86 Techo: 1,03

Tabla X.8.- Temperatura de edificios no calentados

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	Temperatura exterior de proyecto			
	+3°C	0°C	-4°C	-8°C
Locales no caldeados, rodeados de otros que lo están	12	10	8	5
Sótanos no calentados	13	13	10	7
Terreno, debajo del piso del sótano enterrado	12	10	8	7
Terreno contiguo a paredes exteriores debajo de la superficie de la tierra o de pisos a nivel del terreno	7	5	2	0
Sala de calderas	20	20	20	20
Desvanes sobre áticos	*	*	*	*
Atico no calentado, situado inmediatamente debajo del tejado				
Con tejado de doble revestimiento	13	10	8	5
Con tejado de revestimiento simple	10	8	5	0
Sin revestimiento del tejado, pero juntas calafateadas	10	8	5	0
Sin revestimiento del tejado, ni juntas calafateadas	7	5	0	-5

(*) Para el cálculo de las pérdidas de calor en el techo de áticos, se utiliza un coeficiente de transmisión de calor que abarca los del techo del ático, aire del desván y tejado, siendo la temperatura a tomar la exterior de proyecto

Tabla X.9.- Temperaturas exteriores para cálculos en calefacción, en °C

		TIPO DE CALEFACCIÓN		
LOCALIDAD	Altitud, (m)	De lujo	Normal	Reducida
Albacete	680	-8	-7	-6
Avila	1131	-8	-6	-5
Badajoz	185	-2	-1	0
Barajas (Madrid)	688	-6	-5	-4
Barcelona	5	1	2	3
Bilbao	9	-2	-1	0
Burgos	856	-7	-6	-5
Cáceres	439	-2	-1	0
Ciudad Real	635	-5	-4	-3
Cuenca	923	-8	-7	-6
Gerona	76	-4	-3	-1
Granada	689	-3	-2	-1
Guadalajara	-644	-5	-4	-3
Huesca	466	-6	-5	-4
Jerez de la Frontera	49	-1	0	0
La Coruña	1	1	2	3
León	823	-7	-6	-5
Logroño	384	-4	-3	-2
Madrid	688	-4	-3	-3
Murcia	43	-2	-1	0
Pamplona	445	-6	-5	-4
Salamanca	800	-9	-7	-6
Santander	7	1	2	2
San Sebastian	5	-3	-1	0
Sevilla	11	-1	1	2
Valencia	13	-1	0	1
Valladolid	692	-7	-5	-4
Zaragoza	209	-4	-3	-2

Tabla X.10.- Temperatura del aire interior para el cálculo de calefacción, en °C

TIPO DE HABITACIÓN	Calefacción de lujo	Calefacción normal	Calefacción reducida
Habitaciones de estar	21	20	18
Comedor privado	21	20	18
Comedor colectivo	20	18	18
Retretes, aseos, duchas	21	20	18
Dormitorios	21	20	18
Aulas con gran número de alumnos	20	18	17
Teatros y cines	20	18	17
Hospitales, salas de enfermos	23	22	20
Talleres y fábricas	20	18	17
Escaleras y portales	17	15	---
Garajes	7	5	5
Pasillos, entradas, circulación	20	18	15
Oficinas privadas	20	18	18
Tiendas	21	20	18
Gimnasios	15	15	15
Iglesias, locales públicos	20	18	18
Idem, conservando los abrigos	18	15	15

ORIENTACIÓN: En paredes orientadas al N, NE y NO aumentar un 10%

CLIMA: En zonas húmedas, en paredes exteriores aumentar un 10%

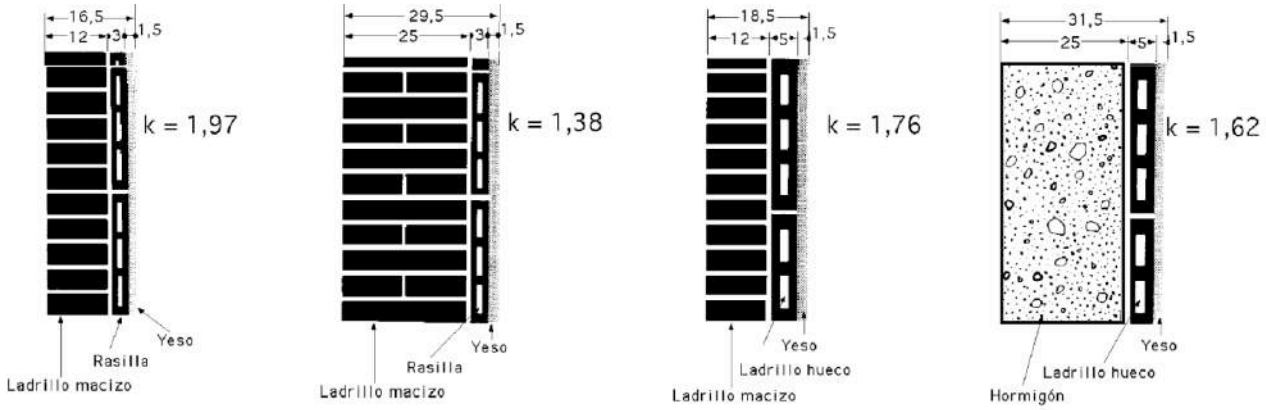
VIENTOS.- Para velocidades de
- *4 m/seg, aumentar un 5%*
- *8 m/seg, aumentar un 10%*
- *20 m/seg, aumentar un 15%*

PAREDES EXTERIORES: En
- *2 paredes contiguas en ángulo recto aumentar un 20%*
- *2 paredes opuestas entre sí aumentar un 30%*
- *3 paredes unidas entre sí aumentar un 40%*
- *4 paredes unidas entre sí aumentar un 50%*

ALTURAS:
- *Hasta 4 m aumentar 2%*
- *Para alturas superiores a 4 m aumentar un 4%, hasta un máximo del 20%*

VENTILACIÓN.- Salas comunes renovación de
- *25 m^3/h para locales de 0 ÷ 100 m^3*
- *20 m^3/h para locales de 100 ÷ 500 m^3*
- *15 m^3/h para locales de 500 ÷ 1000 m^3*

Tabla X.11.- Coeficientes globales de transmisión de calor en muros sin aislamiento



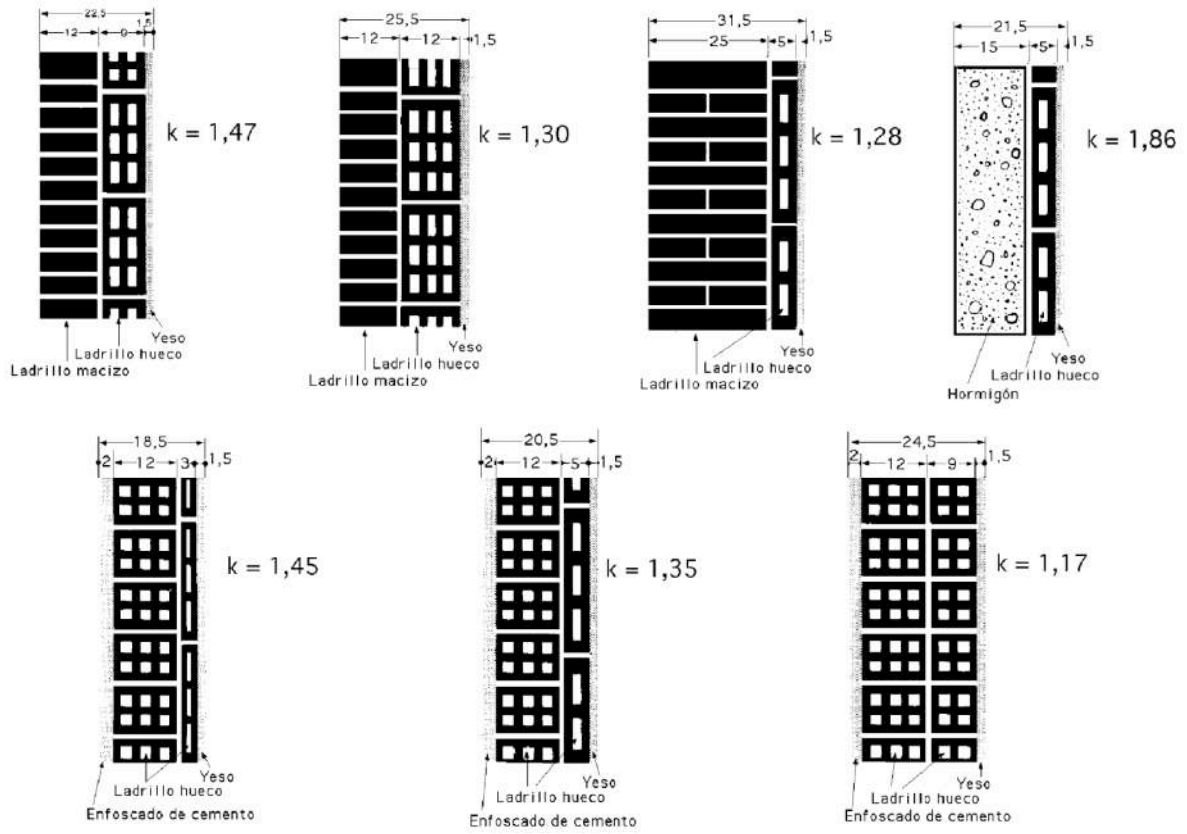
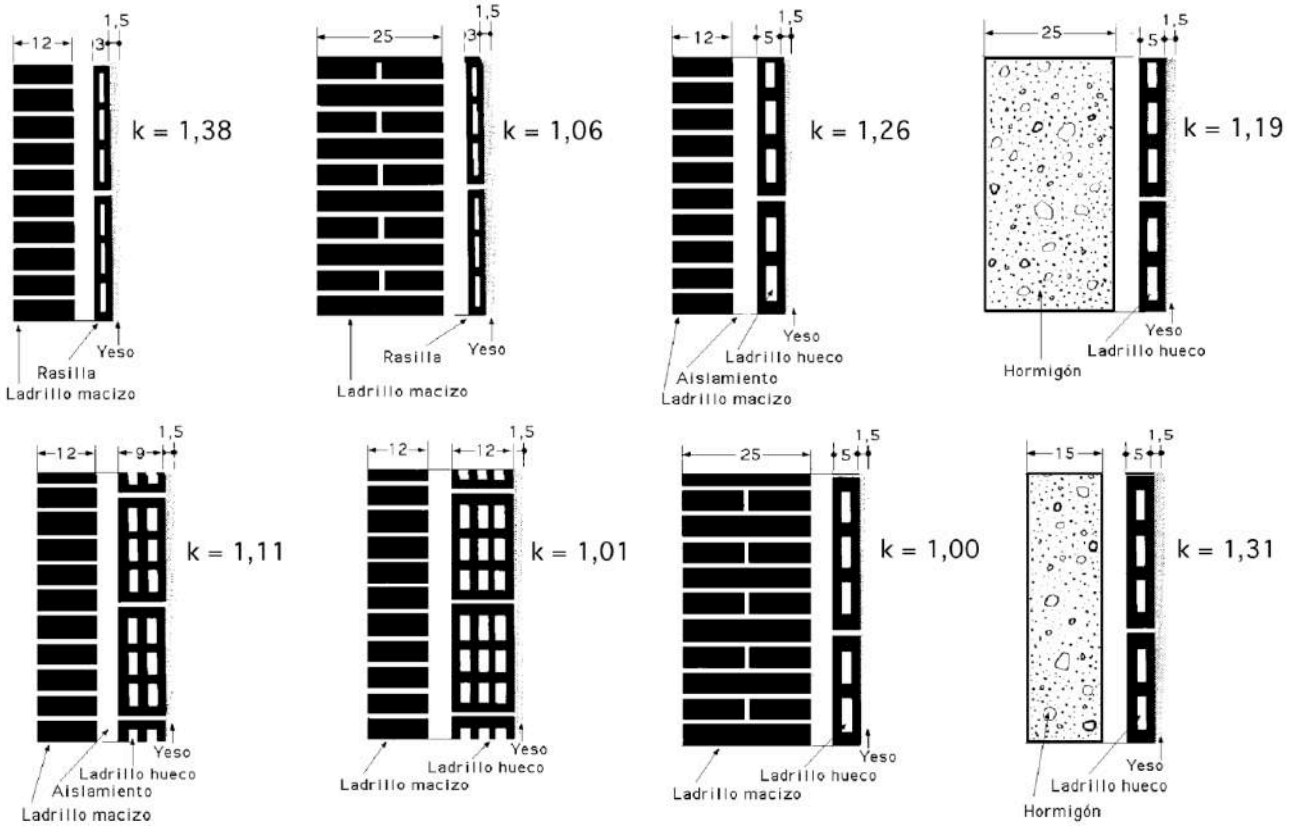


Tabla X.12.- Coeficientes globales de transmisión de calor en muros con cámara de aire de 5 a 12 cm



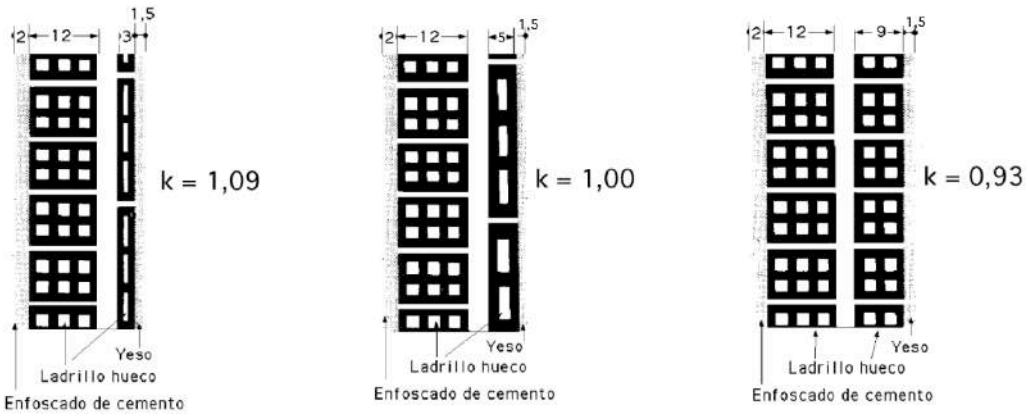


Tabla X.13.- Coeficientes globales de transmisión de calor en cubiertas y terrazas

