

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 395 156**

21 Número de solicitud: 201100890

51 Int. Cl.:

**H01F 27/08** (2006.01)

**H02B 1/56** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**29.07.2011**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**08.02.2013**

88 Fecha de publicación diferida del informe sobre el estado de la técnica:

**20.03.2013**

Fecha de la concesión:

**18.10.2013**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**30.10.2013**

73 Titular/es:

**DEL ROSAL CIMADEVILLA, Pedro Manuel  
(100.0%)**

**ALFONSO CAMIN 5 3 D  
33208 GIJON (Asturias) ES**

72 Inventor/es:

**DEL ROSAL CIMADEVILLA, Pedro Manuel**

54 Título: **METODO DE REFRIGERACION DE CENTROS DE TRANSFORMACION (CTs) DE INTERIOR A TRAVES DE LAS CANALIZACIONES ELECTRICAS SUBTERRANEAS**

57 Resumen:

La refrigeración de los CTs eléctricos es un problema acuciante y de siempre por las elevadas temperaturas alcanzadas en su interior especialmente en verano que producen envejecimiento de equipos y pérdida de vida útil del transformador.

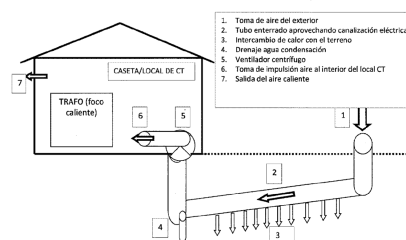
Los sistemas actuales por convección natural y forzada resultan en muchos casos insuficientes, y la solución de aire acondicionado, cara, ineficiente y con alto mantenimiento.

Se plantea un método de refrigeración que utiliza un tubo de los existentes en la canalización eléctrica subterránea por el que se hace pasar aire impulsado por un ventilador.

El aire intercambia calor con las paredes del tubo que están a la temperatura del terreno, sensiblemente menor que la ambiente. Se enfría y es impulsado al interior del CT.

Método sencillo, sin mantenimiento, sostenible y eficaz, protege a la instalación y prolonga la vida útil del trafo.

Fig. 3 CROQUIS GENERAL INVENTO APLICADO A CCTT DE INTERIOR



ES 2 395 156 B1

## DESCRIPCIÓN

**METODO DE REFRIGERACIÓN DE CENTROS DE TRANSFORMACION (CTs) DE INTERIOR A TRAVES DE LAS CANALIZACIONES ELECTRICAS SUBTERRANEAS****5 Campo de la invención**

La presente invención se engloba dentro del campo de la distribución de energía eléctrica, y más en concreto, en la refrigeración de Centros de Transformación de tipo interior, es decir, todos aquellos que se encuentran alojados dentro de un local o recinto cerrado (generalmente son los centros urbanos).

- 10 Sus características la hacen válida y apta para ser utilizada también en la refrigeración de otro tipo de locales de instalaciones eléctricas como Centros de Reparto (CCRR) y Subestaciones (Sub), e incluso en otros locales técnicos como Salas de Computación/Centros de Proceso de Datos que alojan gran número de dispositivos electrónicos y que requieren un elevado aporte de energía para una  
15 refrigeración especial continua en el tiempo.

**Antecedentes de la invención**

- La distribución de energía eléctrica a nivel de Baja Tensión (BT = 400 V trifásicos – 230 V monofásicos) se realiza a través de instalaciones de transformación  
20 denominados Centros de Transformación (en adelante CCTT), cuya misión es la de reducir la tensión de las redes que alimentan los centros urbanos (20kV, 66kV,..) a la tensión de utilización o Baja Tensión (BT).

- Los aumentos de demanda eléctrica a nivel de BT, fundamentalmente  
25 consumidores domésticos y pequeños comercios, que se han venido registrando en los últimos años como consecuencia de un mayor uso de equipamientos de aire acondicionado, ordenadores, monitores de video, y todo tipo de accesorios electrónicos, produce en un número importante de casos una saturación de la carga de los Centros de Transformación de energía eléctrica (CCTT) que genera en consecuencia mayores pérdidas de calor dentro del local del CT que es necesario  
30 evacuar con medios artificiales para el mantenimiento de unas adecuadas condiciones de entorno, fundamentalmente humedad y temperatura, en los locales que albergan este tipo de instalaciones.

- Se da la circunstancia agravante en la mayoría de las ocasiones, que esta saturación de carga coincide con las peores condiciones ambientales externas, es  
35 decir, en momentos de alta temperatura ambiente, que dificultan aún más la

refrigeración del local del CT y mantienen en las peores condiciones de funcionamiento a los equipos existentes en su interior.

El denominado “efecto del cambio climático” supone asimismo otro agravante muy importante en las condiciones de calor que sufren los locales de los CCTT, ya que  
5 el aumento de temperaturas, tanto medias como máximas, diurnas y nocturnas, así como el incremento de número de días con mayores temperaturas, supone como es evidente un empeoramiento en las condiciones de temperatura del interior de los locales que alojan a los CCTT.

Estas elevadas temperaturas que se alcanzan en el interior de los locales de  
10 CCTT suponen un importante problema y un grave riesgo para la función que realizan estas instalaciones. El problema importante es doble. Por una parte se reduce de forma drástica la vida útil del transformador, estimado en valores entre el 20-40% de media, con el efecto económico que supone al tener que sustituir esta máquina con antelación al tiempo teórico estimado. Por otra parte, las elevadas temperaturas  
15 interiores alcanzadas pueden suponer la desconexión por temperatura del transformador, con el consiguiente corte de servicio eléctrico a los usuarios, lo que para la empresa de distribución supone un importante perjuicio en imagen y penalizaciones económicas por incumplimiento de continuidad de suministro. Pero  
20 adicionalmente a los dos problemas indicados también supone un grave riesgo porque al alcanzarse temperaturas tan altas en el interior del local en esas condiciones de carga eléctrica elevada, todo el equipamiento interior está sometido a un “estrés” térmico muy elevado lo que supone un aumento muy importante de la probabilidad de avería con posible propagación de fuego, lo que tendría entonces consecuencias  
25 gravísimas no solo económicas sino incluso de tipo personal para las viviendas colindantes (como de hecho ya ha sucedido en más de una ocasión).

Hasta la fecha este problema está siendo enfocado por las empresas de distribución de energía eléctrica con soluciones más o menos efectivas. Así pues, en la actualidad en la gran mayoría de las instalaciones la refrigeración de los centros de transformación se lleva a cabo bien mediante la convección natural por aplicación del  
30 “efecto chimenea”, en ocasiones mediante convección forzada mediante la utilización de ventiladores generalmente de tipo axial ubicados en las paredes o puertas del CT y excepcionalmente, cuando las condiciones de temperatura son extremas, mediante sistemas de aire acondicionado.

Esta refrigeración deficiente tiene los siguientes efectos negativos:

1. En locales pequeños y mal ventilados: averías de los elementos eléctricos alojados en el interior
2. Envejecimiento prematuro de los CC.TT (principalmente del trafo)
3. Pérdidas económicas
- 5 4. Pérdidas técnicas, aumento de la demanda eléctrica.

En la actualidad hay en el territorio español unos 25.000 transformadores en locales de CCTT que requieren una refrigeración adecuada para su correcto funcionamiento y para que su vida útil sea la mayor posible. Los problemas de mantenimiento y los efectos negativos de las altas temperaturas en zonas como

10 Andalucía suponen un coste considerable que se podrían ahorrar con el uso correcto de sistemas pasivos de refrigeración.

Como se ha comentado, en los casos más extremos la solución empleada pasa generalmente por la instalación de equipos de climatización convencionales, que mediante una bomba de calor produce el enfriamiento del aire de la instalación a base

15 de un consumo muy importante de energía y con rendimientos inferiores al 50%, penalizando el rendimiento de la propia instalación eléctrica y generando un sobreconsumo eléctrico no despreciable que produce a su vez, más contaminación y en consecuencia más calentamiento global. Todo ello sin contar además los costes de mantenimiento que requieren los sistemas de aire acondicionado y la necesidad de un

20 control sanitario para evitar problemas como la posible acumulación de bacterias de legionella en este tipo de equipos.

La presente invención tiene como finalidad definir un método de refrigeración sencillo, barato y sostenible al local de los CCTT, de manera que permita la evacuación del calor generado en su interior fundamentalmente por las pérdidas del

25 transformador y las aportaciones de energía provenientes del clima cálido exterior. Su finalidad es mantener los valores de las temperaturas en el interior de los CCTT en unos márgenes no peligrosos para el funcionamiento del equipamiento eléctrico y alargando en lo posible la vida útil del transformador. Su aplicación evita el montaje de instalaciones de aire acondicionado convencional, que resultan caras, ineficientes,

30 complejas y costosas de mantener, fáciles de averiarse, en ocasiones molestas para los vecinos por el calor que expulsan y además no respetuosas con el medio ambiente.

### **Descripción de la invención**

El método propuesto tiene su base de funcionamiento en el segundo principio de la termodinámica: "La cantidad de entropía de cualquier sistema aislado  
5 termodinámicamente tiende a incrementarse con el tiempo, hasta alcanzar un valor máximo".

Más sencillamente, cuando una parte de un sistema cerrado interacciona con otra parte, la energía tiende a dividirse por igual, hasta que el sistema alcanza un equilibrio  
10 térmico, lo que en concepto básico es que la energía en forma de calor se transmite de un foco caliente a otro frío.

Este principio se aplica de forma universal en múltiples aplicaciones, la gran mayoría relacionadas con sistemas de refrigeración: bombas de calor fundamentalmente.  
15 Dentro de estas múltiples aplicaciones existe una que puede ser utilizada específicamente para el caso de CCTT, que es el uso de tubos enterrados aprovechando las canalizaciones eléctricas por donde discurren los cables de energía que interconectan los CCTT con las redes de distribución eléctrica.

20 Las canalizaciones eléctricas en la gran mayoría de las empresas de distribución se construyen empleando tubos de diferentes diámetros que enterrados a profundidades variables (generalmente entre 1 y 2 m) se utilizan como medio de paso de los cables de energía eléctrica de las redes de distribución.

25 La disposición de estos tubos en las profundidades indicadas les confiere una propiedad adicional a la inicialmente contemplada en su diseño únicamente como elemento de paso y alojamiento de cables eléctricos. Esta propiedad adicional es su aplicación como elemento válido para realizar el proceso de intercambio de calor entre el aire, que de forma forzada con el uso de un ventilador se puede hacer pasar por su  
30 interior, con el terreno a la profundidad a la que se encuentra el tubo.

Esta propiedad puede resultar extraordinariamente útil en períodos veraniegos, o en cualquier caso, en aquellos días en los que la temperatura ambiente es elevada, generalmente por encima de los 25 grados centígrados. Esto es así porque  
35 precisamente la temperatura del terreno a partir de 1,5 – 2 m de profundidad resulta

por lo general inferior a 25 grados centígrados en cualquier momento del año, por supuesto incluso en el período estival cuando las temperaturas exteriores pueden rondar los 35 e incluso los 40 grados centígrados.

- 5 El uso de tubos en las canalizaciones eléctricas específicamente para este fin aporta un valor añadido muy significativo a la refrigeración del local del CT al que llegan o salen las citadas canalizaciones.

10 Evidentemente es en el diseño y construcción de una canalización el momento óptimo para definir un tubo para esta utilización. Resulta lo más lógico disponer este tubo en el fondo de la canalización para conseguir de este modo un doble efecto: mayor refrigeración posible y menor interacción con el resto de tubos de la canalización, tanto a efectos de separar térmicamente unos de otros como evitar influencias mutuas durante su explotación o vida de funcionamiento, gracias a la  
15 separación física vertical existente entre unas y otras.

Pero también es posible aplicar este método en canalizaciones existentes en los que haya tubos libres de ocupación, es decir, no ocupados por cables de energía. Naturalmente en este caso es requerido que en cada una de las arquetas o registros  
20 se de continuidad al tubo seleccionado mediante la instalación de trozos de tubo unido a ambos lados del tubo cortado en el registro y sellados convenientemente para permitir el paso de aire a lo largo de todo el conducto.

No obstante, tanto en uno como en otro caso, es fundamental establecer drenajes  
25 en los puntos inferiores en cada tramo donde se produce un cambio de pendiente o inclinación, para permitir la evacuación del agua que se puede llegar a formar en dichos sumideros, fundamentalmente por condensación de la humedad presente en el aire que circula a través del interior del tubo durante el proceso de enfriamiento por intercambio de calor con el terreno. De no hacerse este drenaje, la posible formación  
30 de agua y su acumulación en estos puntos inferiores podría obstruir completamente el tubo impidiendo el paso de aire e inutilizando de este modo el método propuesto. Asimismo es crítico que el sistema de drenaje a emplear debe ser tal que evite a toda costa que el agua proveniente del exterior (filtraciones, nivel freático, etc.) pueda entrar dentro del tubo ya que además de suponer la inutilización del sistema de refrigeración  
35 podría en el caso de que la aportación de agua exterior fuera de volúmenes

considerables, llegar al interior del CT objeto de la refrigeración con las consecuencias extremadamente dañinas (inundación) que ello podría llegar a producir en la instalación eléctrica.

5 Diversas son las variables que afectan al rendimiento y funcionamiento de la utilización de tubos enterrados para refrigerar aire forzado a través de su interior:

10 - En primer lugar la temperatura del terreno en el punto de ubicación del tubo. Obviamente a menor temperatura del terreno, mayor refrigeración del aire forzado que pasa por el tubo. Este valor depende principalmente de la profundidad de enterramiento, estando demostrado que hasta niveles de 1 m la temperatura del terreno es muy dependiente de la temperatura ambiente exterior, mientras que entre 1-5 m es bastante independiente y entre 5 y 50 m es casi totalmente independiente, resultando en estos niveles menor temperatura cuanto más profundidad. Para los dos primeros niveles, el tipo y ubicación de la superficie exterior del terreno resultan  
15 relevantes, de forma por ejemplo que un terreno en zona arbolada y sombreada y con césped, con un tono de humedad elevado; resulta en general mucho más fresca que un terreno bajo asfalto y con un nivel de insolación alto.

20 - En segundo lugar la transmisión de calor entre el tubo y el terreno. Terrenos arcillosos tienen por lo general un coeficiente de transmisión de calor inferior a terrenos calizos. De igual modo el material del tubo enterrado influye en esta transmisión, por ejemplo tubos de Al tienen un coeficiente de intercambio térmico muy superior a tubos de PVC, por las propiedades térmicas del material.  
25

- En tercer lugar la longitud del tubo, a mayor longitud mayor capacidad de intercambio de calor. Resulta obvia esta variable, pero es muy importante determinar la longitud máxima aconsejable a partir de la cual el intercambio de calor resulta ya mínimo y por tanto innecesario.

30 - La cantidad de humedad presente en el aire que se hace pasar por el tubo. A mayor porcentaje de humedad, la temperatura de rocío aumenta, y por consiguiente durante el proceso de enfriamiento del aire en su recorrido por el tubo se generará agua. En el proceso de intercambio de calor del aire con el terreno parte de esta energía transferida se consume en producir  
35 agua, en lugar de transmitirse del aire al terreno, por lo que se reduce el

enfriamiento del aire en su circulación por el tubo cuando se produce la condensación.

- La velocidad del aire por el interior del tubo: por lo general velocidades altas generan flujos turbulentos, que traen consigo mayor rozamiento entre las moléculas de aire y la superficie del tubo y por consiguiente mayor intercambio de calor entre aire y tubo-terreno. Por el contrario, flujos laminares tienen el efecto contrario, es decir, menor intercambio de calor. En este sentido influye mucho el tipo de recorrido, tramos lineales frente a tramos con codos y variaciones de recorrido, estos últimos son mucho más eficientes en el intercambio de calor por la formación de flujo turbulento. Relacionado con este apartado resulta muy importante el diámetro del tubo, ya que para un mismo caudal de aire a menor diámetro mayor velocidad y flujo más turbulento, a mayor diámetro menor velocidad y flujo más laminar.

15 El paso de aire forzado a través del tubo enterrado es realizado por un ventilador, generalmente del tipo centrífugo para vencer las pérdidas de carga existentes en el conducto al caudal calculado para conseguir el número de renovaciones a la hora precisas para el efecto de refrigeración deseado. Este ventilador, alojado en el interior del CT que se desea refrigerar, aspirará el aire del conducto enterrado, y lo impulsará, ya enfriado a la temperatura del terreno al interior del local para refrigerar principalmente el transformador.

25 Tan importante para conseguir una adecuada refrigeración del CT es el propio efecto de enfriamiento del aire conducido por el tubo de ventilación como una correcta disposición dentro del local del ventilador, el flujo de impulsión y la evacuación del aire que por sobrepresión se debe extraer del local. Por esa razón para cada caso particular en función de las características del local del CT (dimensiones, geometría, ubicación de los equipos en su interior y localización espacial del mismo) es preciso realizar un análisis concreto que optimice el proceso de evacuación del calor producido en su interior.

**Descripción detallada de la invención**

La presente invención tiene como objeto definir un método de refrigeración de instalaciones eléctricas, como es el caso de los CCTT, efectivo, eficiente, sostenible y sin prácticamente mantenimiento alguno.

También es aplicable a cualquier otro tipo de instalación eléctrica (Sub y CR) y local técnico que aloje gran cantidad de equipamiento electrónico, como son las salas de computación o CPDs.

Para conseguir este cometido se aprovecha la energía geotérmica de muy baja temperatura que está presente en el terreno por donde discurren las canalizaciones subterráneas eléctricas, mediante la disposición de un tubo libre de cables dedicado específicamente para este fin.

La solución consiste en hacer pasar un flujo de aire por este tubo enterrado en la longitud y condiciones tal que la temperatura del mismo a la salida permita la refrigeración efectiva del CT.

Los datos que se aportan y cálculos que se realizan a continuación se concretan en el caso de los CCTT. Para otras instalaciones como las señaladas arriba, se utilizarían los datos de cada una de ellas, aplicándose el método y los cálculos iguales que para el caso de los CCTT.

**CALCULO DEL FLUJO DE AIRE A INYECTAR EN EL CT:**

Tomaremos un caso habitual:

• Variables de partida:

- Trafo sumergido en baño de aceite, 22 /0,4 kV
- $S_{\text{trafo}} (S=\text{POTENCIA APARENTE}) = 630 \text{ kVA}$
- Dimensiones del local: 5x3 m<sup>2</sup>
- Carga del trafo: 70% como valor medio constante (aunque en realidad la carga responderá a una curva de carga diaria que más o menos se irá repitiendo en el tiempo).

• Variables calculadas:

- Pérdidas<sub>trafo</sub> = Pérdidas en vacío + Pérdidas en carga
- Pérdidas en vacío = 1.300 W (según catálogo, valor típico)

Pérdidas en carga = 6.500 W (a potencia nominal, valor típico), luego a un régimen del 70% de la nominal, las pérdidas en carga (pérdidas en el cobre) serán  $6500 \cdot (0,7)^2 = 3.185 \text{ W}$

5 Luego para este caso  $\text{Pérdidas}_{\text{trafo}} = 1.300 + 3.185 = 4.485 \text{ W}$

- o El caudal que debemos forzar para que exista una correcta ventilación se puede calcular de varias formas, emplearemos 3 de acuerdo a diferentes referencias comerciales existentes:

10

- Según Método fabricante Schneider, de acuerdo a catálogo (fabricante de transformadores eléctricos y casetas para alojamiento de CCTT):  $Q = 0,081 \cdot P$  (siendo P= pérdidas en kW y Q el caudal resultante en  $\text{m}^3/\text{s}$ ) =  $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$

15

- Según el método de S&P, de acuerdo a catálogo (fabricante de ventiladores):

$$Q (\text{m}^3/\text{h}) = \text{Pérdidas (W)} / 0,34 \cdot (t_{\text{interior}} - t_{\text{exterior}})$$

20

Generalmente se toma la diferencia entre las temperaturas interior y exterior de 5 para ambientes calurosos y 10 para ambientes más frescos. En este caso tomaremos 10.

$$Q = 4.485 / 3,4 = 1.319 \text{ m}^3/\text{h} = 0,37 \text{ m}^3/\text{s}$$

25

- Según el método de Hc Energía, de acuerdo a sus normas técnicas (empresa distribuidora de energía eléctrica),

$$\text{Vol} = \frac{P_t}{K \cdot \Delta T} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Sustituyendo resulta: Vol} = 4,485 / (1,085 \cdot 10) = 0,41 \text{ m}^3/\text{s}$$

30

Tomaremos este último como valor válido (es el más desfavorable de los tres y por consiguiente el más conservador).

#### CALCULO DEL TUBO ENTERRADO

35

El diámetro del tubo es una de las variables que tiene relativa influencia en la capacidad de enfriamiento de este método.

Si nos vamos a diámetros de tubo comerciales, se valorarán las siguientes opciones:

5

Diámetro interior 110 mm

Diámetro interior 150 mm

Diámetro interior 200 mm

Diámetro interior 300 mm

10

Se desecha el tubo de 300 mm por “inmanejable” dado su excesivo tamaño que dificultaría enormemente su uso tanto en la propia canalización como en la llegada al CT destino, en donde sería muy complicado mecanizar una toma para ese diámetro.

15

Se desestima también el tubo de 110 por la excesiva velocidad que tomaría el aire para el caudal requerido en su interior, que produciría fenómenos de ruido audible, pérdidas muy elevadas en el conducto y al mismo tiempo un fenómeno de turbulencia muy apreciable en el local del CT por la pérdida de velocidad que en tan reducido espacio debería sufrir el aire impulsado.

20

En consecuencia el diámetro del tubo a seleccionar debe hacerse entre los valores de 150 y 200 mm, que se corresponden además con diámetros utilizados habitualmente para el paso de los cables eléctricos, lo que por otra parte simplifica y abarata los trabajos de instalación del tubo enterrado, tanto en la toma de aire a

25

realizar, como en el recorrido del tubo como en la llegada del tubo al local del CT.

No obstante a la vista de las velocidades que el caudal teórico requeriría, será necesario reducir el caudal a impulsar dentro del local del CT, ya que a partir de velocidades de 15 – 20 m/s se pueden producir ruidos en el paso de aire por el tubo que desaconsejarían su empleo, aunque al ir enterrado no serían audibles. Asimismo tampoco se debe inyectar el aire en el interior de la instalación a una velocidad excesiva, ya que si no se generarían turbulencias y ruidos interiores que son convenientes evitar.

30

Por esta razón la elección del ventilador de impulsión del aire por la conducción enterrada ha de realizarse teniendo en cuenta esas dos limitaciones, pero intentando en lo posible mantenerse lo más próximo dentro de los parámetros de caudal mínimo de renovación de aire que exigiría la instalación del local del CT para la evacuación correcta del calor de pérdidas del trafo.

5

En la tabla siguiente se presentan los resultados para este caso genérico en función de los distintos diámetros del tubo de ventilación.

10

Cálculo de pérdidas, caudales de ventilación y velocidades según el tubo de ventilación empleado

Potencia nominal trafo (kVA)	Régimen de carga (%)	Pérdidas en vacío (W)	Pérdidas en plena carga (W)	Pérdidas totales (al régimen de carga indicado) (W)	Caudal requerido (m <sup>3</sup> /s) Método Schneider	Caudal requerido (m <sup>3</sup> /s) Método S&P	Caudal requerido (m <sup>3</sup> /s) Método HC	Saltos térmicos	Diámetro del tubo (mm)	Sección (m <sup>2</sup> )	Velocidad resultante (m/s)
630	70%	1300	6500	4485	0,36	0,37	0,41	10	110	0,010	38,221
630	70%	1300	6500	4485	0,36	0,37	0,41	10	150	0,018	20,554
630	70%	1300	6500	4485	0,36	0,37	0,41	10	200	0,031	11,562
630	70%	1300	6500	4485	0,36	0,37	0,41	10	300	0,071	5,139

15

De acuerdo con estos resultados el diámetro más adecuado es el de 200 mm, al resultar velocidades de caudal por debajo del límite de los 20 m/s. En todo caso el tubo de 150 mm de diámetro también podría emplearse, ya que si bien la velocidad llega al valor límite señalado, el efecto de ruido en el exterior no sería perceptible al ir enterrados los tubos.

20

## TUBO ENTERRADO: DIAMETRO, MATERIAL Y EJECUCION

5 Los tubos enterrados con función de paso de aire de refrigeración han de tener una sección que por una parte permita su aplicación comercial, mediante el empleo de materiales comercialmente disponibles en el mercado. Por esa razón y por motivos de manejabilidad y compatibilidad con los tubos utilizados para las canalizaciones eléctricas los diámetros de 150 y 200 mm son, "a priori", los más adecuados para este tipo de aplicaciones (tal y como ya vimos en el apartado anterior).

10

Pero un aspecto clave de la instalación del tubo enterrado, además de su diámetro de sección interior, es el tipo de material a utilizar, lo que a su vez dependerá fundamentalmente de la longitud a instalar así como la profundidad de montaje.

15

Como siempre, han de tenerse en consideración las variables de contorno que pueden delimitar por imperativos legales o constructivos el valor de partida de los mismos.

20

Así pues, en el caso de la profundidad de montaje del tubo enterrado, este valor ha de estar en consonancia con las profundidades utilizadas en las canalizaciones eléctricas. Resulta evidente que el tubo de refrigeración ha de situarse en el punto más inferior de la zanja, ya que de ese modo conseguimos la máxima profundidad que como se ha visto es muy conveniente para obtener la mínima temperatura del terreno, así como independizarse lo más posible de las condiciones ambientales exteriores. Al mismo tiempo, ubicando el tubo en la parte más baja de la canalización, conseguiremos que las posibles interferencias térmicas por los efectos de las pérdidas en forma de calor, generalmente por efecto Joule, emitidas por los conductores que discurren por estas canalizaciones le afecten lo menos posible. Las profundidades máximas de las canalizaciones habitualmente empleadas en las conducciones de redes eléctricas de distribución oscilan entre 1200 y 1600 mm.

30

En consecuencia la profundidad a la que se instalará el tubo de refrigeración oscilará por término medio entre los 1450 y 1850 mm, tratando de que en ningún momento esté a menor profundidad del primer valor.

El material del tubo de refrigeración puede ser de diferentes tipos, de acuerdo a los materiales que se utilizan en los tubos comerciales. Obviamente cuanto mejor conductividad térmica tenga, mejor comportamiento de refrigeración se obtendrá y por consiguiente menor longitud de tubo se requerirá para conseguir la mínima  
5 temperatura posible (que siempre será la del terreno en la cota de profundidad por donde discurre el tubo de refrigeración).

Desde ese punto de vista el material más adecuado es el Aluminio, pero el coste de los tubos, la mano de obra de instalación y la complejidad de las uniones entre tubos, que requiere en su mayoría de soldaduras, pueden hacer poco aconsejable el uso de  
10 este tipo de material por su mayor coste.

Los tubos "a priori" más apropiados desde un punto de vista constructivo son los tubos de PVC empleados para conducciones de desagües de agua. Si bien este material tiene una conductividad térmica muy inferior al aluminio, pueden tener un buen comportamiento y ser válido para el fin deseado si la longitud existente en la  
15 canalización es suficiente.

Los cálculos realizados y las experiencias piloto ejecutadas, confirman que a partir de longitudes superiores a 75 m, el tubo de PVC se comporta razonablemente bien, lo que unido a su bajo coste, fácil instalación y ausencia en la práctica de mantenimiento, podría ser la solución más utilizada.

Es muy importante en la ejecución de la tubería enterrada para paso de aire mantener selladas adecuadamente las uniones entre tubos para evitar entradas de agua o suciedad del exterior al interior, las que caso de producirse producirían pérdidas en el funcionamiento del mismo y con el tiempo llegado el caso su inhabilitación. No obstante, pese a este requerimiento, no se trata más que de realizar  
20 las uniones entre tubos de acuerdo a la técnica existente, sin más requerimientos adicionales, ya que de hacerse así, se consigue el efecto estanco deseado.  
25

### DRENAJES DE AGUA DE CONDENSACION

En verano o días de calor el paso de aire por el tubo enterrado va a producir un enfriamiento del mismo por intercambio de calor con las paredes del tubo que estarán a la temperatura del terreno (generalmente entre 20 y 22 grados centígrados, dependiendo de la profundidad y las características y condiciones del terreno). Este  
35 enfriamiento puede llegar a producir condensación de agua dependiendo del grado de

humedad relativa presente en el aire. En caso de que esa condensación se produzca es necesario conseguir la evacuación del agua formada porque de no hacerlo, con el tiempo la acumulación de la misma dentro del tubo puede llegar a obturar el paso de aire, dejando el mismo inservible para la función que se persigue.

- 5 Por esta razón es muy importante que en tendido del tubo se tengan en cuenta los puntos de drenaje necesarios para mantener en todo momento el tubo libre de la posible agua que de la condensación del aire se podría llegar a acumular.

La ejecución de los puntos de drenaje en una tubería nueva es algo muy sencillo: basta únicamente con definir aquellos puntos del recorrido en los que por la pendiente existente en el terreno se producen cambios de inclinación de pendiente negativa (descendente) a pendiente positiva (ascendente), considerados en la dirección de paso del aire.

10 Únicamente será necesario ejecutar obligatoriamente drenaje en los citados puntos de cambios de pendiente o “embudos” en los que la profundidad del mismo sea superior a la medida del radio del tubo, ya que si es inferior la acumulación de agua en el interior del tubo nunca llegará a obturar más de la mitad de la sección del tubo, considerándose en este caso válido para la función que se persigue. No obstante, lo más aconsejable siempre que sea posible es ejecutar un drenaje en todos los puntos “embudo” relevantes.

20 La ejecución del drenaje es muy sencilla: En primer lugar es preciso comprobar que el nivel freático está por debajo del punto identificado para ejecución del drenaje. Si esta situación no se consigue, no se puede ejecutar el drenaje porque el agua de condensación nunca saldría al exterior, por lo que habría que variar el recorrido del tubo o modificar las pendientes si es posible en este punto. En segundo lugar, considerando que la acumulación de agua por condensación es muy lenta y en cantidades pequeñas, basta con perforar en su parte inferior el tubo, con un diámetro de 1 cm y practicar en el mismo una pequeña cánula o tubo de drenaje que conectado a una válvula anti-retorno de muy poca resistencia, por ejemplo de tipo bola, que expulsará por gravedad el agua acumulada al exterior, impidiendo de este modo que el agua que pudiera existir en el exterior del tubo (por lluvias o subida temporal del nivel freático), pueda penetrar en su interior, lo que obturaría el tubo para el paso de aire y lo dejaría inservible.

35 Dependiendo del lugar, puede ser conveniente que en el lugar del punto de drenaje, la expulsión de agua a través de la cánula y de la válvula anti-retorno, se realice a una pequeña zona (de muy reducido volumen) ejecutada de piedras o cantos rodados de

diámetro entre 2 y 3 cm, que protegidas con una malla filtrante (que impida que el terreno se mezcle con ellas), favorezcan el filtrado del agua expulsada y su absorción por el terreno.

## 5 CALCULO DE LA LONGITUD DEL TUBO Y SIMULACION DE COMPORTAMIENTO

Definida la sección y profundidad a la que irá el tubo enterrado, un apartado fundamental de esta solución innovadora es el cálculo de la longitud que es necesario para conseguir el fin deseado.

La longitud es junto con la profundidad y el tipo de material empleado del tubo, uno de los valores de diseño del tubo que más influyen en su comportamiento como elemento de intercambio de calor entre el aire que se hace pasar por su interior con el terreno.

Como es de imaginar, también existirán variables de contorno que en ocasiones nos marcarán la longitud máxima a emplear. Es a partir de los datos generales de la instalación y de la obra eléctrica a realizar en cada caso de donde sacaremos la longitud máxima y mínima a ejecutar. En función de ella podremos definir el tipo de material que utilizaremos (generalmente PVC y opcionalmente si la longitud es corta Al) y se definirá el recorrido exacto.

Para validar la longitud necesaria se ha desarrollado un algoritmo, en una hoja Excel que incorpora además un interface de usuario para facilitar su uso y que calcula la temperatura de salida de un flujo de aire al circular por el interior de un tubo enterrado.

Los datos de entrada para el cálculo son:

- Humedad relativa del aire; el aire en condiciones reales contiene cierta cantidad de agua en estado de vapor que tendrá influencia sobre la temperatura de salida y sobre la existencia de condensaciones interiores en el tubo.
- Presión atmosférica; junto con la humedad relativa permite calcular la cantidad de agua que contiene el aire, aunque para condiciones atmosféricas normales su influencia es escasa.
- Temperatura de entrada del aire desde el exterior.
- Caudal del flujo; que dependerá de la potencia del ventilador y de las pérdidas de carga del tubo.

- 5 • Material del tubo; un tubo fabricado con un material que sea buen conductor de la temperatura mejorará la transferencia de calor, esto es especialmente importante con tubos de corta longitud donde sea necesario bajar la temperatura del aire en un corto espacio.
- 10 • Diámetro interior del tubo y espesor; tienen influencia sobre la resistencia que ofrece el tubo al flujo de calor y sobre la turbulencia ocasionada en el fluido al circular por su interior.
- Longitud del tubo; a mayor longitud la temperatura del aire se asemejará más a la temperatura exterior al tener más espacio para intercambiar calor.
- Temperatura del terreno; marca el límite hasta donde puede bajar la temperatura de salida del aire.
- 15 • Resistencia de ensuciamiento; tiene en cuenta la existencia de suciedad en la superficie interior del tubo que provoca una pequeña resistencia al intercambio de calor.

El cálculo de la transmisión de calor se realiza, de forma general, mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{A \cdot \Delta T}{\sum R_i}$$

20

El área (A) puede ser calculada fácilmente conociendo las dimensiones del tubo.

Las resistencias que actúan en este proceso se deben a la conducción del calor a través de las paredes del tubo y a la convección del calor entre el aire y la pared interior del tubo. La resistencia por conducción se calcula:

25

$$R_{conducción} = \frac{r_e \cdot \ln \frac{r_e}{r_i}}{k_{tubo}}$$

que depende únicamente de las dimensiones del tubo y del material.

30 La resistencia por convección se calcula:

$$R_{convección} = \frac{r_e}{r_i} \left( R_{ensuciamiento} + \frac{1}{h_i} \right)$$

35 donde  $h_i$  es el coeficiente de convección interior, que se obtiene del número adimensional de Nusselt:

$$Nu = \frac{h_i \cdot D_i}{k_{aire}}$$

Este número puede ser calculado a través de varias correlaciones empíricas que diversos autores han ido obteniendo a través de ensayos experimentales. Para este caso particular de flujo por el interior de tuberías en régimen turbulento, se han empleado las siguientes correlaciones:

- Mijeev  $\rightarrow Nu = \varepsilon_L \cdot 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_0}\right)^{0,25}$

10 Válida si  $10E4 < Re < 5 \times 10E6$  ;  $L/D > 50$

- Notter y Sleicher  $\rightarrow \begin{cases} Nu = 5 + 0,016 \cdot Re^a \cdot Pr^b \\ a = 0,88 - \frac{0,24}{4 + Pr} \\ b = 0,33 + 0,5 \cdot e^{-0,6 \cdot Pr} \end{cases}$

Válida si  $10E4 < Re < 10E6$  ;  $L/D > 25$

15

- Gnielinski  $\rightarrow \begin{cases} Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1 + 12,7 \cdot (f/8)^{0,5} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \\ f = [0,79 \cdot \ln(Re) - 1,64]^{-2} \end{cases}$

Válida si  $3000 < Re < 10E6$

20 Con estas correlaciones se calcula un valor de  $h_i$  medio que se empleará para realizar los siguientes cálculos.

Faltaría por conocer un dato más en la ecuación, ya fuera  $Q$  o  $\Delta T$ , pero ambos son en principio desconocidos ya que  $\Delta T$  es la diferencia entre la temperatura media del fluido y la temperatura del terreno, dependerá por tanto de la temperatura de salida que es precisamente el objetivo de cálculo de este algoritmo.

Las propiedades del aire se obtienen de tablas termodinámicas o se calculan a partir de la temperatura y humedad. En particular la viscosidad, conductividad y humedad de saturación se obtienen a partir de tablas de valores con los que se entra conociendo la temperatura y empleando la interpolación lineal en caso necesario. El valor del número de Prandtl y la densidad se obtiene en base a los anteriores y a la cantidad de agua (X) mediante:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{k_{\text{fluido}}}$$

$$\text{densidad} = (1 + X) \cdot \frac{P_{\text{atm}}}{T \cdot (287,04 + X \cdot 461,5)}$$

Para obtener el calor Q intercambiado en cada longitud es necesario conocer la temperatura de salida, para lo cual se van haciendo hipótesis y se resuelve la ecuación:

$$Q = \frac{A \cdot \Delta T}{\sum R_i}$$

se comprueba que el resultado obtenido coincida con esa hipótesis inicial, ya también debe cumplirse:

$$Q = m \cdot (h_{\text{entrada}} - h_{\text{salida}})$$

La aproximación se realiza con el teorema del valor medio. Al introducir una temperatura demasiado baja el resultado del algoritmo será una temperatura mayor que la supuesta, y al introducir una temperatura demasiado alta se obtendrá una temperatura menor. El algoritmo prueba entonces con una temperatura media entre las dos y según el resultado que se obtenga de esta temperatura tomará otro valor por encima o por debajo de esta de forma que se va aproximando al valor correcto. Por

defecto, las iteraciones se detienen cuando la diferencia entre el valor supuesto de salida y el valor obtenido es menor de  $1E-5$  o se superan las 100 iteraciones, dando además el valor de la diferencia entre estos dos valores.

5

El algoritmo divide la longitud total de la tubería en longitudes menores, por defecto de un metro, a lo largo de la cual se toma una temperatura media y se consideran constantes las propiedades del aire: densidad, conductividad, viscosidad, etc., además de la humedad. Para cada longitud es necesario calcular la turbulencia mediante el número de Reynolds:

10

$$\text{Re} = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D \cdot \nu}$$

$$m = \frac{\text{Caudal} \cdot P_{\text{atm}}}{461,5 \cdot T \cdot (0,622 - X)}$$

15

A esta longitud se le aplican los cálculos necesarios para obtener las condiciones de salida, que serán las condiciones de entrada de la siguiente longitud, almacenándose los resultados obtenidos.

La temperatura de salida se puede calcular conociendo el valor del calor intercambiado y obteniendo la entalpía de salida mediante:

20

$$Q = m \cdot (h_{\text{entrada}} - h_{\text{salida}})$$

Con el valor de la entalpía se puede despejar la temperatura para el caso de aire húmedo sin agua líquida:

25

$$h = C_{p_{\text{aire-sec0}}} + X \cdot (\lambda + C_{p_{\text{vapor}}} \cdot T)$$

o con condensación de agua para el caso de que  $X > X_s$ :

30

$$h = C_{p_{\text{aire-sec0}}} + X_s \cdot (\lambda + C_{p_{\text{vapor}}} \cdot T) + (X - X_s) \cdot C_{p_{\text{agua}}} \cdot T$$

Con este valor de la temperatura de salida se comprueba la temperatura de salida supuesta inicialmente para el cálculo de Q es correcta y se itera si es necesario según se explicó anteriormente.

- 5 Los valores de la temperatura y humedad se van guardando y se genera un gráfico que muestra la variación de la temperatura para cada posición longitudinal del tubo y el punto a partir del cual hay agua líquida.

- 10 En los dibujos que se acompañan en el apartado de figuras, se incluyen resultados del algoritmo y un diagrama de bloques de su funcionamiento básico.

### TOMAS DE CAPTACIÓN Y EXPULSION DE AIRE

- 15 Resultan de especial importancia las tomas de captación y expulsión de aire por su transcendencia de cara a la optimización del método de refrigeración. De muy poco o incluso de nada sirve refrigerar el aire a la entrada del CT si no se cumplen las condiciones que a continuación se indican en el origen y fin del tubo de refrigeración.

La toma de captación ha de cumplir las siguientes condiciones:

- 20 - Debe estar ubicada en un lugar que no esté accesible por el público en general, evitando de este modo accidentes o manipulaciones indeseadas e incluso pequeños sabotajes que alterarían su funcionamiento.
- 25 - Evitar la entrada de agua por lluvia o por escorrentías que se pudieran producir durante episodios de lluvia intensa, ya que si eso sucediera, a través del tubo se enviaría toda el agua al CCTT objeto de la refrigeración, lo que dañaría al ventilador, y además sería una fatalidad ya que generaría casi con toda seguridad un corte de suministro eléctrico. Para conseguir este objetivo es preciso que la cabeza o entrada del tubo no esté accesible por el agua de lluvia, bastando para ello que se disponga un codo en dicha
- 30 entrada con la orientación de la toma de aire hacia el suelo. Adicionalmente, para evitar la entrada de agua de escorrentías o inundaciones parciales que en ese lugar se pudieran producir, es preciso que su ubicación sea por encima del nivel del suelo, dejando siempre un margen de 50 cm aconsejable de distancia con el terreno.

- Evitar la entrada de insectos, roedores, animales y cualquier objeto, ya que además de dificultar el paso de aire afectaría a la integridad de los álabes del ventilador centrífugo que fuerza el paso de aire, pudiendo provocar su deterioro y consiguiente destrucción. Para conseguir este objetivo se debe incorporar en la cabeza o entrada del tubo una malla ya sea metálica o de plástico, con una sección de rejilla lo suficientemente pequeña para evitar el paso señalado pero que no afecte de forma sensible al paso de aire, incrementado de forma inadecuada las pérdidas de carga por resistencia.

5

10 La toma de salida o expulsión de aire ha de cumplir las siguientes:

- Las mismas que la toma de entrada o captación. Para ello se contemplarán las mismas medidas que las que se indicaron.
- Ubicarse en el interior del local del CT a refrigerar de forma que optimice lo más posible la renovación de aire dentro del local y consiga el mayor efecto refrigerador. Para conseguir esta optimización es necesario que se contemplen las siguientes medidas específicas:

15

- o Proyectar el chorro de aire frío sobre el foco caliente (en este caso el transformador, y en particular sobre las aletas de refrigeración en el caso trafos sumergidos en aceite) produce el mayor efecto refrigerador posible. La forma de conseguir esta proyección de aire sobre el foco caliente es "alargando" la toma de salida de aire a la llegada a local del CT hasta las proximidades del trafo. En todo caso no es recomendable acercarse excesivamente la proyección de aire al trafo para evitar "rebotes" y "recirculaciones de aire" no deseadas, que generarían turbulencias y en definitiva pérdidas en el funcionamiento del método. En términos generales no es conveniente proyectar a menos de 1,5 m de distancia del trafo.

20

- o Reducir la velocidad de salida del flujo de aire mediante el empleo de difusores o "ensanchadores de tipo troncocónico o similar, justo a la salida del aire del tubo de expulsión, a valores que no produzcan ruidos ni turbulencias excesivas, ampliando y ajustando al mismo tiempo el canal proyectado del flujo de aire saliente al volumen del trafo. De este modo el chorro de aire frío cubrirá adecuadamente el volumen del trafo, produciendo el mayor efecto refrigerante posible.

25

30

- 5

  - La salida de aire caliente dentro del local debe realizarse de modo que la captación del aire caliente se produzca encima del foco caliente y se traslade al exterior con las menores pérdidas de carga posibles.
- 10

  - Debe evitarse en todo momento lo que se conoce como el fenómeno de “cortocircuito de aire” entre las tomas de entrada y salida de aire, es decir que todo o una parte del aire frío entrante salga por la salida de aire sin haber pasado por el foco caliente, porque este fenómeno reduce de forma drástica el efecto refrigerante perseguido.
- 15

  - En general, para respetar las leyes básicas de la termodinámica y en particular el fenómeno de convección natural del aire, la toma de entrada del aire frío se situará a menos de 1 m de altura del suelo del local y la toma de salida del aire caliente, se ubicará lo más próxima posible al techo del local.

En los dibujos que se acompañan en el apartado de figuras, se incluyen diversos esquemas explicativos de lo aquí indicado.

20 **VENTILADOR**

El ventilador que fuerza el paso de aire a través de la tubería enterrada es pieza clave en este método que se propone de refrigeración.

25 La ventilación de un CT se puede hacer generalmente de dos formas: por sobrepresión, es decir inyectando aire a una presión ligeramente superior a la existente en el local o por depresión, o sea, extrayendo el aire al exterior.

En este caso del método de tubo enterrado solo se utilizará ventilación por sobrepresión/impulsión, lo que por otra parte es más recomendable, ya que tiene en sí mismo una ventaja intrínseca frente al sistema de extracción.

30 Esta recomendación del sistema de sobrepresión frente al de extracción, se basa en estudios realizados mediante simulación de la evolución de temperaturas en el interior de un local con un software específico para diseño de sistemas de ventilación.

Se han simulado dos situaciones para un centro de transformación con idénticas condiciones, en una de ellas se ha colocado un ventilador extractor y en la otra un

ventilador impulsor. Para realizar esta comparación los ventiladores se han simulado con idénticas características:

- $Q = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$
  - $\omega = 2800 \text{ rpm}$
- 5                      •  $D = 0,2 \text{ m}$

Los resultados obtenidos en este estudio utilizando simuladores de temperaturas de aire reflejan una mejoría de temperatura en el centro con sobrepresión (es decir inyectando aire en lugar de extrayendo aire) de casi  $4^\circ\text{C}$ , lo que se traduce en un aumento de la vida útil de la máquina del orden del 39% (aplicando los métodos

10 definidos por las normas de IEEE e IEC referidas al cálculo de vida útil de un transformador: en particular las IEEE Std C57.91 y Std C57.100 describen los efectos térmicos y por carga en la vida útil de transformadores inmersos en aceite).

Teniendo en cuenta las características de los tubos enterrados, longitud, codos, diámetro, etc., para vencer las pérdidas de carga presentes al caudal requerido, la

15 opción más aconsejable son los ventiladores centrífugos.

#### CALCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA

20 Para determinar la presión a entregar por el ventilador será necesario calcular las pérdidas de carga que se producirán en el circuito.

El flujo de un líquido en una tubería viene acompañado de una pérdida de energía, que suele expresarse en términos de energía por unidad de peso de fluido circulante

25 (dimensiones de longitud), denominada habitualmente pérdida de carga.

En el caso de tuberías horizontales, la pérdida de carga se manifiesta como una disminución de presión en el sentido del flujo.

30 La pérdida de carga esta relacionada con otras variables fluido dinámicas según sea el tipo de flujo, laminar o turbulento, además de las pérdidas de carga lineales (a lo largo de conductos), también se producen pérdidas singulares en puntos concretos como codos, ramificaciones, etc.

- 35                      • Pérdidas lineales

Son debidas a las tensiones cortantes de origen viscoso que aparecen entre el fluido y las paredes de la tubería.

5 Las características de los esfuerzos cortantes son muy distintas en función de que le flujo sea laminar o turbulento. En el caso de que le flujo sea laminar las capa de fluido discurren siempre en dirección paralela al eje de la tubería y sin mezclarse. En flujo turbulento hay una continua fluctuación tridimensional en la velocidad de las partículas que se superpone a las componentes de la velocidad.

10

El tipo de flujo laminar o turbulento depende del valor de la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, es decir, del número de Reynolds  $Re$ , cuya expresión se muestra a continuación de forma general y particular para tuberías de sección transversal circular:

15

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{v D}{\mu / \rho} = \frac{(4 Q / (\pi D^2)) D}{v} = \frac{4 Q}{\pi D v}$$

donde:

$\rho$ , es la densidad del fluido,

$v$ , es la velocidad media,

20

$D$ , es el diámetro de la tubería,

$\mu$ , es la viscosidad dinámica o absoluta del fluido,

$\nu$ , es la viscosidad cinemática del fluido y

$Q$ , el caudal circulante por la tubería.

25

Cuando  $Re < 2000$  el flujo es laminar, si  $Re > 4000$  el flujo es turbulento y entre  $2000 < Re < 4000$  el flujo es de transición.

En régimen laminar, las pérdidas de carga lineales se pueden calcular con la ecuación de Hagen-Poiseuille, en donde se tiene una dependencia lineal entre la pérdida de carga y el caudal:

30

$$h_{pl \text{ laminar}} = \frac{32 \mu L v}{\rho g D^2} = \frac{128 \mu L}{\rho g \pi D^4} Q$$

En régimen turbulento, puede comprobarse la dependencia entre los esfuerzos cortantes y la velocidad es cuadrática, lo que lleva a la ecuación de Darcy-Weisbach:

5

$$h_{pl} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} Q^2 = K_{pl} * Q^2$$

f, es un parámetro adimensional, llamado coeficiente de fricción o de Darcy que en general es función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería:

10

$f = f(\text{Re}, \varepsilon_r)$  donde  $\varepsilon_r = \varepsilon/D$  y  $\varepsilon$ , es la rugosidad de la tubería, que representa la altura promedio de las irregularidades de la superficie interior de la tubería.

Moody desarrolló un diagrama que lleva su nombre, en el que se muestra una familia de curvas de iso-rugosidad relativa con las que se determina el coeficiente a partir de la intersección de la vertical del número de Reynolds, con la iso-curva correspondiente.

15

Posteriormente otros autores expresaron el coeficiente de fricción en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa con una fórmula explícita:

20

$$\text{Barr: } \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{5.1286}{\text{Re}^{0.89}} \right)$$

- Pérdidas singulares

25

Son las producidas por cualquier obstáculo colocado en la tubería que suponga una obstrucción al paso del flujo: entradas y salidas de tuberías, codos, cambios de sección, etc. Normalmente son pequeñas comparadas con las pérdidas lineales, para su cálculo se suele usar la siguiente expresión:

30

$$h_{ps} = \xi \frac{v^2}{2g} = \frac{8\xi}{g\pi^2 D^4} Q^2 = K_{ps} Q^2$$

donde  $h_{ps}$ , es la pérdida de carga en la singularidad, que se considera proporcional a la energía cinética promedio del flujo; la constante de proporcionalidad,  $\xi$ , es el denominado coeficiente de pérdidas singulares.

5

Lo más común en instalaciones respecto a las pérdidas singulares, es la presencia en los codos, que se pueden calcular con la ayuda de diversas gráficas que relacionan el valor del coeficiente de pérdidas de acuerdo a la geometría del codo (ángulo y radio de curvatura) para cada valor de diámetro de la tubería.:

10

No obstante, podría darse el caso de tener pérdidas adicionales por la presencia de válvulas u otros elementos.

- Pérdidas totales

15

Si tenemos en cuenta ambas cargas, tendremos una curva de resistencia del circuito de la forma  $h=k*Q^2$ , en función del caudal, y cuya "k" es calculada con las ecuaciones antes mostradas ( $k_{total}=k_{pl}+k_{ps}$ ):

20

## SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Una vez se calcula la curva de resistencia en función del caudal, se calcula el punto óptimo de funcionamiento (caudal y presión de trabajo seleccionados), y se acude a un catálogo de fabricantes. El corte de la curva del ventilador que se vaya a seleccionar con la curva de resistencia, proporcionará el punto de trabajo real:

25

Para cada fabricante se elegirá el modelo cuya curva se encuentre inmediatamente por encima del punto de trabajo real.

30

En estos ventiladores la entrada de aire es axial al rodete y la salida es tangencial.

Con potencias relativamente pequeñas (inferiores a 500 kW), somos capaces de vencer las pérdidas en toda la longitud del conducto al caudal solicitado, por lo que el rendimiento del método de refrigeración es extremadamente alto.

5 La ubicación del ventilador en el local del CT a refrigerar será aquella que permita fácil acceso, tanto para las tareas de instalación como las posteriores de mantenimiento que fuera preciso realizar. La salida de la toma de expulsión se prolongará dentro del local al punto más idóneo para conseguir el cometido deseado, y la sección del conducto de expulsión permitirá reducir la velocidad de salida del flujo de aire a valores admisibles para no generar excesivas turbulencias ni ruidos.

10 Precisamente es el ruido uno de los aspectos que pueden resultar más problemáticos si no se tiene en cuenta. El ruido que ocasiona la turbulencia del aire dentro del ventilador y las vibraciones deben ser tenidos en cuenta para evitar que supere los límites permitidos. Se recomienda el empleo de silenciadores en el caso de superar los valores límite.

15 El ruido generado por el ventilador, así como la atenuación del silenciador, se obtendrán de los diversos catálogos de los fabricantes.

Se recomienda no colocar el ventilador en paredes colindantes con viviendas, y como norma general para evitar la transmisión de la vibración a la pared debido al funcionamiento del mismo, es aconsejable el montaje de unos tacos de goma tipo  
20 "silent-block" que la minimicen.

## APLICABILIDAD DEL MÉTODO

Hay que diferenciar dos casos, según sea nueva construcción (a) o canalización existente (b).

5

a) En el caso de nueva construcción de canalización eléctrica, la solución consiste en diseñar un tubo específico para este fin, como se indica alojado lo más profundo posible dentro del conjunto de tubos que conforman las conducciones eléctricas. El tipo de material del tubo a utilizar dependerá fundamentalmente de la longitud del recorrido del tubo, si se dispone de distancia suficiente es válida la opción PVC, mucho más económica, pero sino, la opción de Al será necesaria

10

b) En el caso de canalización existente, se requiere necesariamente disponer de algún tubo libre del conjunto que conforman la canalización eléctrica, siendo lo más conveniente emplear el tubo más profundo de todos. No obstante hay que ser especialmente cuidadoso en este caso. En primer lugar el diámetro del tubo libre es aconsejable que sea en las medidas de 150 a 200. En segundo lugar hay que analizar la pendiente del recorrido de la canalización para establecer los puntos de drenaje que sean requeridos, para evacuar el agua de condensación que se pueda producir durante su funcionamiento. Si hay arquetas o registros en el recorrido de la canalización obviamente lo más adecuado es tratar de ubicar allí el punto de drenaje por la facilidad de acceso y ausencia de obra civil requerida. Pero si no fuera posible será necesario hacer catas en aquellos puntos donde sea obligatorio realizarlos. Adicionalmente en cada una de las arquetas o registros es necesario ejecutar la prolongación del tubo que se utilice para refrigeración. Esta conexión se realiza contra-tubando con un tubo similar o de un diámetro ligeramente inferior el recorrido de la arqueta o registro (generalmente no más de 1-2 m) y sellando con espuma de poliuretano los lados empalmados para evitar filtraciones hacia el exterior del aire conducido y posibles fugas hacia dentro de agua que se pudiera acumular en el interior de la arqueta o registro.

15

20

25

30

35

En cualquiera de los dos casos, se deben seguir rigurosamente los pasos indicados en la descripción detallada de la solución. No obstante en cuanto al tubo enterrado a emplear se observa que:

- 5 a) La diferencia de resultados obtenidos en la refrigeración del aire es relativamente pequeña tanto si se utiliza tubo de 150 como de 200 mm de diámetro interior. Obviamente es ligeramente mejor emplear tubo de 150 porque el régimen es más turbulento y en consecuencia el intercambio de calor con las paredes del tubo será mejor. Aunque por otra parte, la velocidad del aire es mayor, lo que a
- 10 partir de velocidades entre 15 y 20/ms no es aconsejable por la generación de ruido en su interior.
- b) Para longitudes iguales a superiores en la franja de 75 a 100 m, la diferencia entre utilizar el tubo de Al o el de PVC es pequeña, ya que si bien el aire se enfría más rápidamente en el de Al por la mejor conductividad térmica, a partir
- 15 de esa distancia la bajada de temperatura es ya casi asintótica con la temperatura del terreno. Teniendo en cuenta que en la mayoría de las ocasiones (especialmente en entornos urbanos), las longitudes vienen dadas por las distancias entre CCTT, por la considerable diferencia de precio que existe entre una opción y la otra, mucho más económica el PVC, hacen que sea éste el tipo
- 20 de tubo a utilizar con más frecuencia.
- c) Tiene mucha influencia en el comportamiento del tubo el punto de rocío o formación de condensación, que depende principalmente del grado de humedad del aire, ya que a partir de él, el rendimiento del enfriamiento se ve muy afectado, viéndose disminuido, ya que la energía de intercambio de calor con el
- 25 terreno se aplica no solo a enfriar el aire, sino a a condensar agua proveniente del grado de humedad que aquél contenga. En general en climas como el peninsular, aunque las temperaturas sean elevadas (40 grados de temperatura ambiente), el funcionamiento de la refrigeración en el tubo es óptima siempre que el grado de humedad no supere el porcentaje del 30-40%, lo que es habitual que así suceda. En particular se observa que es el grado de humedad lo que
- 30 más afecta al funcionamiento del tubo, mucho más incluso que la temperatura de entrada del aire, ya que por muy alto que ésta sea, si la humedad es baja, la refrigeración en el tubo es óptima.

## VARIANTES DEL METODO DE REFRIGERACIÓN PROPUESTO

El método propuesto en su solución básica permite combinaciones que conforman variantes de instalación que introducen mejoras y optimizan el rendimiento

5

De las diferentes variantes posibles se incluyen las dos que se consideran más interesantes.

### VARIANTE 1: APLICACIÓN SIMPLE PARA 2 CCTT

10

. Un caso particular de ubicación de toma de entrada de aire, que puede tener mucha utilización por su rendimiento adicional y por la particularidad de las redes de distribución de energía eléctrica, es ubicarla en el interior de un CT.

Tendríamos entonces dos CCTT interconectados por el tubo enterrado: el CT1 donde se aloja la toma de entrada o captación de aire y CT2 donde se aloja el ventilador centrífugo funcionando en aspiración y donde se encuentra la toma de salida de aire.

En ese caso, buscando una rentabilidad adicional a la solución, en el CT1 se puede ubicar la toma de entrada de aire precisamente en la zona donde mayor calor se puede acumular en el mismo (justo encima de la zona del trafo de distribución).

De este modo el método de refrigeración cumplirá una doble función refrigerante: en el CT1 evacuará el calor generado por la máquina (aire que será renovado del exterior y que entrará por una de las rejillas de toma de aire del citado CT1), y en el CT2 aportará aire refrigerado a partir del tubo enterrado de ventilación.

Este método para 2 CCTT puede (y debe) emplearse cuando la longitud de tubo enterrado es suficiente como para ser capaz de enfriar a la temperatura del terreno la entrada de aire caliente proveniente del CT1, que puede ser superior en varios grados a la temperatura ambiente exterior en días muy calurosos.

Pese a ser "a priori" más exigente desde el punto de vista del intercambio de calor en el tubo enterrado tiene la ventaja, en climas con alto grado de humedad ambiente, que el aire introducido en el tubo es más seco, porque proviene de la zona caliente del CT1, y ello tiene como ventaja la producción de menos agua de condensación y en consecuencia, la mejora del rendimiento en el proceso de intercambio de calor por aprovechamiento geotérmico del tubo enterrado.

## VARIANTE 2: APLICACIÓN DOBLE PARA 2 CCTT

Es una variante de la anterior.

5 Tenemos 2 CCTT: CT1 y CT2, entre los que existen dos tubos enterrados de ventilación, independientes y convenientemente separados para no transferir el calor del terreno entre uno y otro (aconsejable una distancia de 50 cm).

En cada uno de los CCTT se alojan dos tomas: una de entrada de aire (justo en la zona más caliente, es decir, encima del trafo) del tubo que suministra aire al otro CT, y una salida de aire, en la zona adecuada para refrigerar al trafo.

10 Se trata pues de la aplicación doble del método funcionando de modo simultáneo y de forma combinada.

Este método es altamente aconsejable en aquellos casos en los que la entrada de aire exterior en los CCTT está muy complicada. Tal puede ser el caso de CCTT alojados en parkings subterráneos de comunidades de vecinos o en niveles de edificios donde por defectos constructivos o por no contarse inicialmente con alojar un CT, la entrada de aire es muy pobre.

20 Este funcionamiento combinado tiene la ventaja de secar mucho el aire, por el proceso de calentamiento-enfriamiento al que es sometido de manera continua por lo que el grado de humedad del aire y por lo tanto las pérdidas por condensación en los tubos enterrados son las menos posibles.

25 El inconveniente que tiene es que requiere en todo momento que el funcionamiento de ambos equipos sea simultáneo, ya que es preciso para conseguir el paso de aire. Para simplificar y garantizar este funcionamiento simultáneo, se pueden alojar en el mismo CT los dos ventiladores, uno funcionando en modo aspiración y otro en modo impulsión, controlados de forma única.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

La Figura 1 muestra un CT urbano de tipo caseta donde se podría aplicar la presente invención (válida para cualquier tipo de CT de interior)

La Figura 2 representa la solución habitual existente para la refrigeración.

La Figura 3 representa un croquis general descriptivo del invento propuesto.

La Figura 4 representa, una serie de diseño de zanjas habitualmente utilizadas en canalizaciones eléctricas, en las que se ha añadido la posición ideal de ubicación del tubo de ventilación.

La Figura 5 muestra la ubicación de los puntos de drenaje según el caso de pendiente existente en el tubo subterráneo de ventilación.

La Figura 6 representa el esquema de funcionamiento de la variante 1 del método de refrigeración: aplicación de un tubo de refrigeración para 2 CCTT .

La Figura 7 representa el esquema de funcionamiento de la variante 2 del método de refrigeración: funcionamiento combinado de dos tubos de refrigeración entre 2 CCTT.

## **REIVINDICACIONES**

1.- Método de refrigeración de Centros de Transformación de interior (CCTT) caracterizado por el aprovechamiento de la energía geotérmica de muy baja temperatura a partir del uso de un tubo libre a través de las canalizaciones subterráneas eléctricas que llegan/salen al CT, y por el que se hace pasar de forma forzada una corriente de aire de manera que se intercambie calor con el terreno y el aire así refrigerado sea impulsado al interior del CT y convenientemente guiado por su interior para que la evacuación de calor del local sea lo más óptima posible.

2.- Método de refrigeración de CCTT según reivindicación 1 caracterizada por la disposición de un tubo enterrado que une 2 CCTT (CT1 y CT2), de manera que la toma de aire se realiza en la parte más caliente del CT1 y mediante un ventilador impulsor ubicado en el CT2 se hace pasar el aire por el recorrido del tubo expulsándose el aire "enfriado" al CT2. Con esta variante del método se consigue refrigerar ambos CCTT: el CT1 por la renovación de aire con entrada del exterior y el CT2 por la impulsión de aire refrigerado proveniente de la renovación realizada en el CT1; obteniéndose de este modo un aumento considerable de la eficiencia de refrigeración al conseguir actuar sobre 2 CCTT con un único sistema de refrigeración y reduciendo la humedad relativa del aire circulante en la toma de entrada del tubo.

3.- Método de refrigeración de CCTT según reivindicación 1 caracterizada por la disposición de dos tubos enterrados que unen 2 CCTT (CT1 y CT2), de manera que en el CT1 se toma aire en la parte más caliente que se hace pasar por uno de los dos tubos y es expulsado por un ventilador al CT 2. En el CT 2 se hace el proceso inverso, es decir, se toma aire en su parte más caliente y se hace pasar por el segundo tubo mediante un ventilador ubicado en el CT1 que impulsa este aire refrigerado al CT 1. Es un modo de funcionamiento doble del método propuesto en forma de circuito cerrado cuya ventaja principal radica en aprovechar las canalizaciones y que se reduce la humedad relativa del aire circulante en la toma de entrada de ambos tubos.

Fig. 1 CT TIPO CASETA

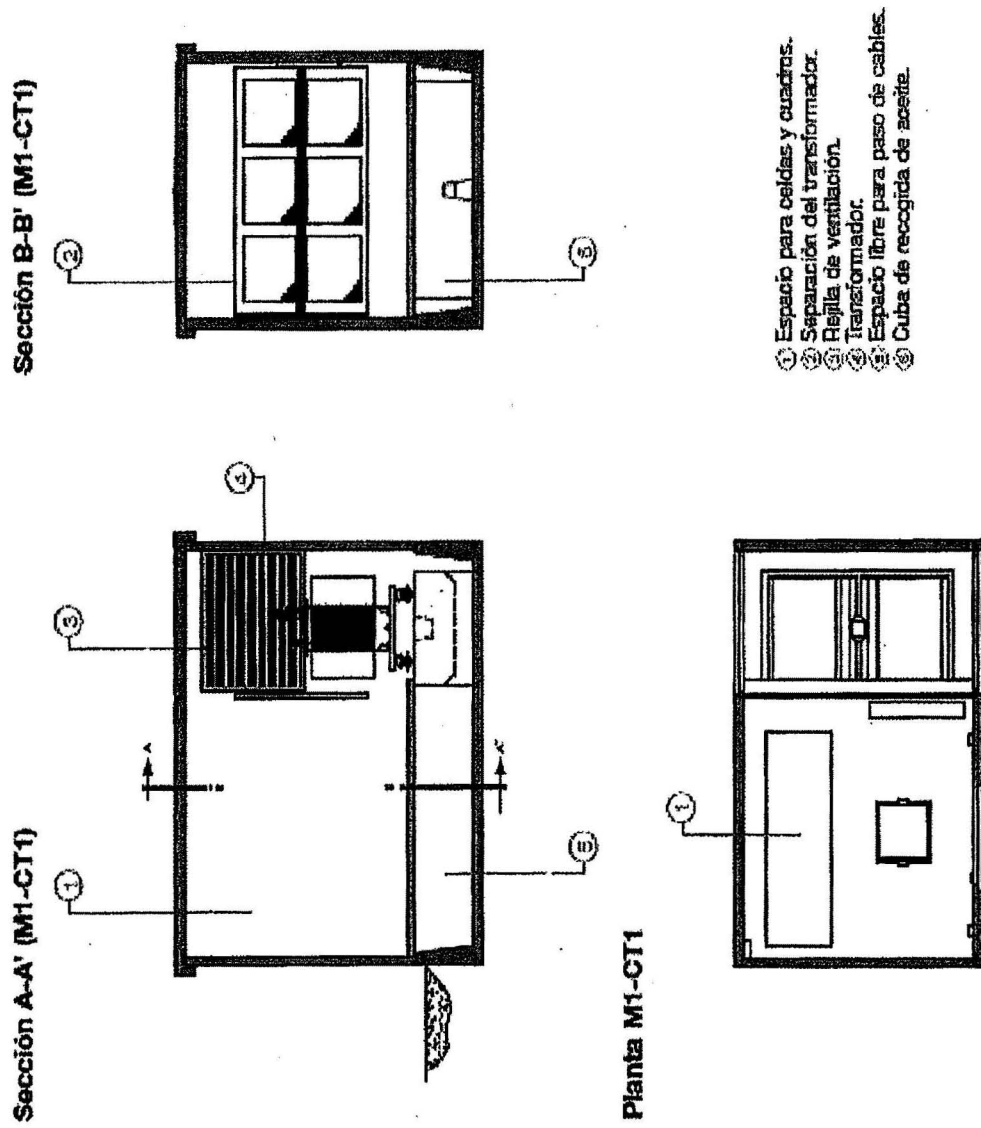


Fig. 2 SITUACION ACTUAL: refrigeración por ventilación natural efecto "chimenea"

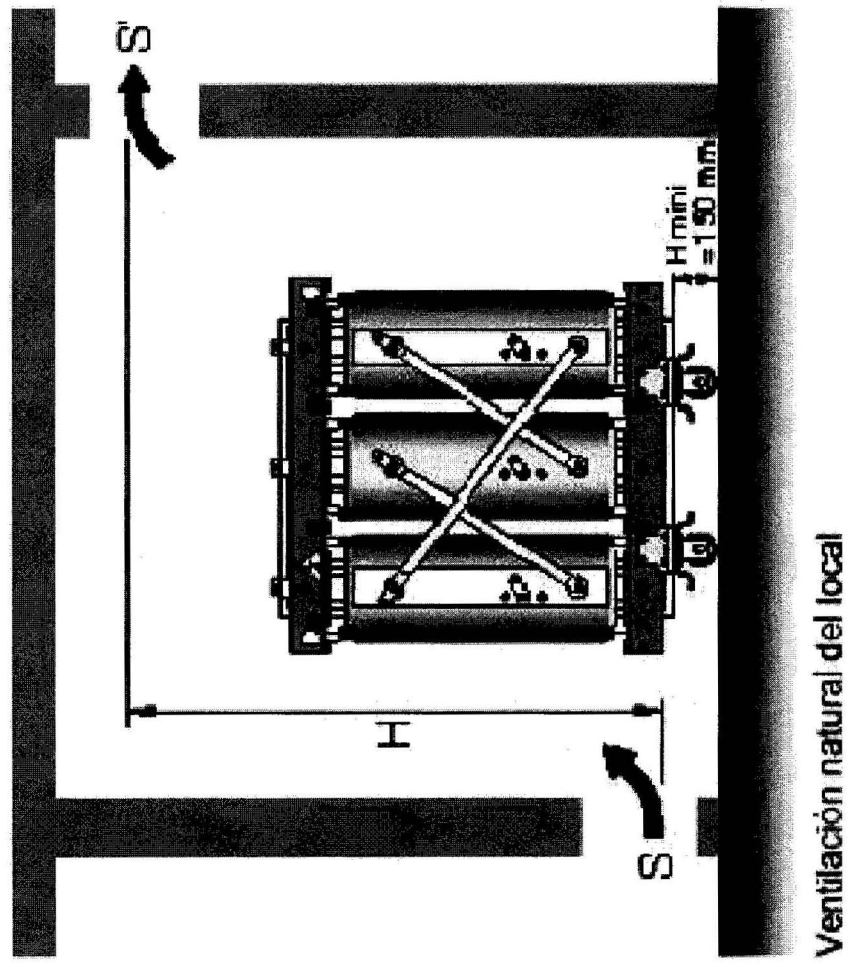


Fig. 3 CROQUIS GENERAL INVENTO APLICADO A CCTT DE INTERIOR

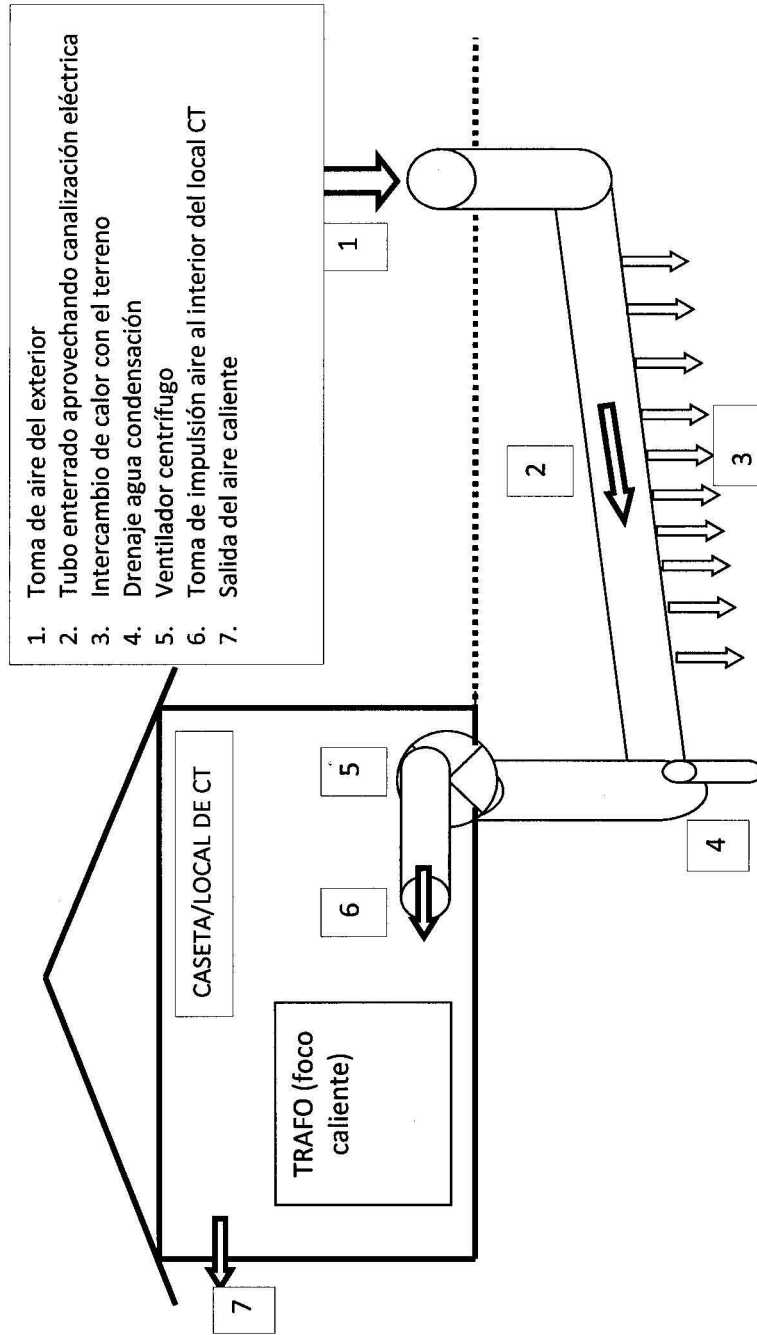
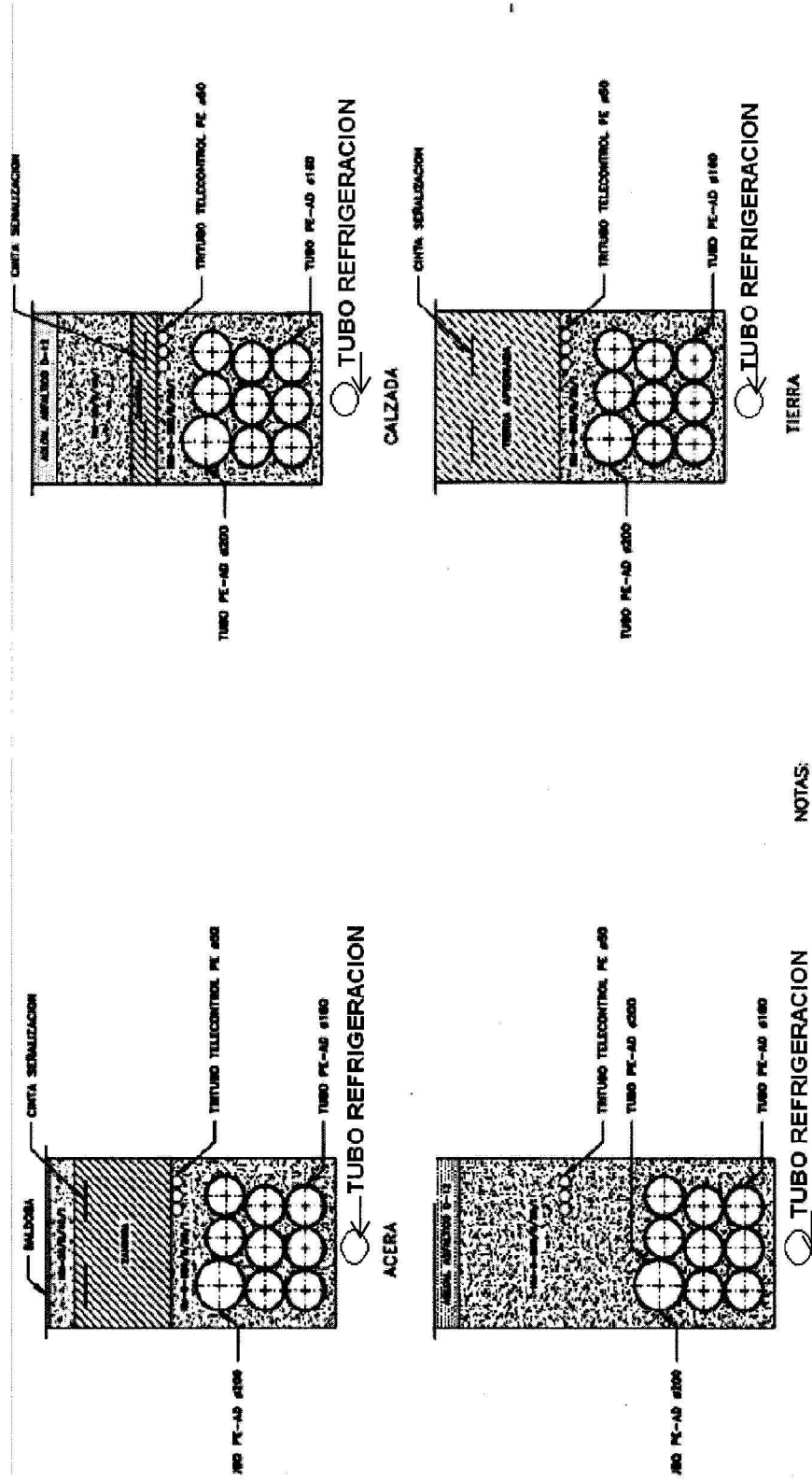


Fig. 4 ZANJAS TIPO ELECTRICAS Y UBICACIÓN TUBO REFRIGERACION

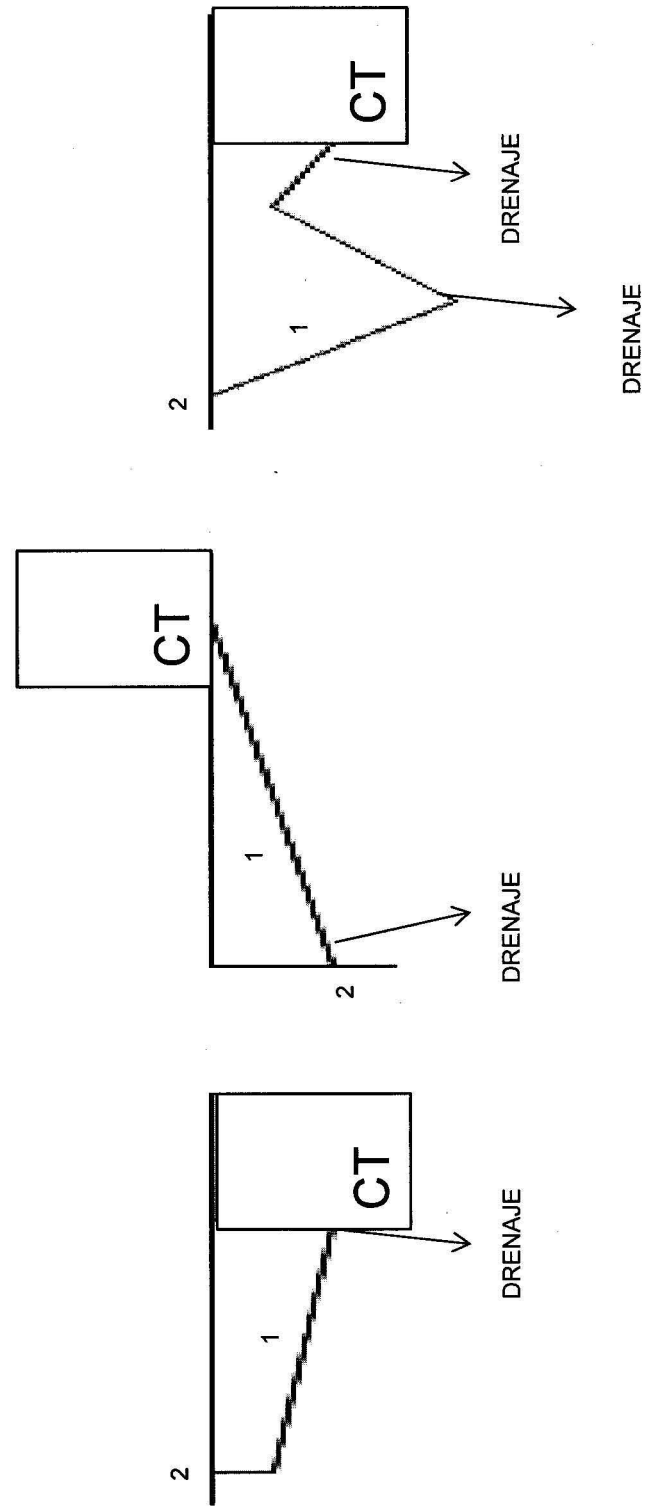


NOTAS:

- EN EL CASO DE RED SUBTERRANEA HASTA 6.T. Y N.T., LOS CABLES DE M.T. SE CANALIZAN OBLIGATORIAMENTE EN LOS TUBOS INFINITOS DE LA ZANJA.
- TODOS LOS TUBOS DE DIAMETRO 180 Y 200 MM SERAN DE POLIETILENO ALTA DENSIDAD DOBLE PARED TIPO: USO NORMAL.
- EN LA INSTALACION DE LOS TUBOS SE INCORPORARA UNA CINTA DE ACERO O POLIETILENO PARA FACILITAR EL POSTERIOR TENDIDO DE LOS CABLES.

CRUZAMIENTO CALLE  
CARRETERA REGIONAL  
COMARCAL Y LOCAL

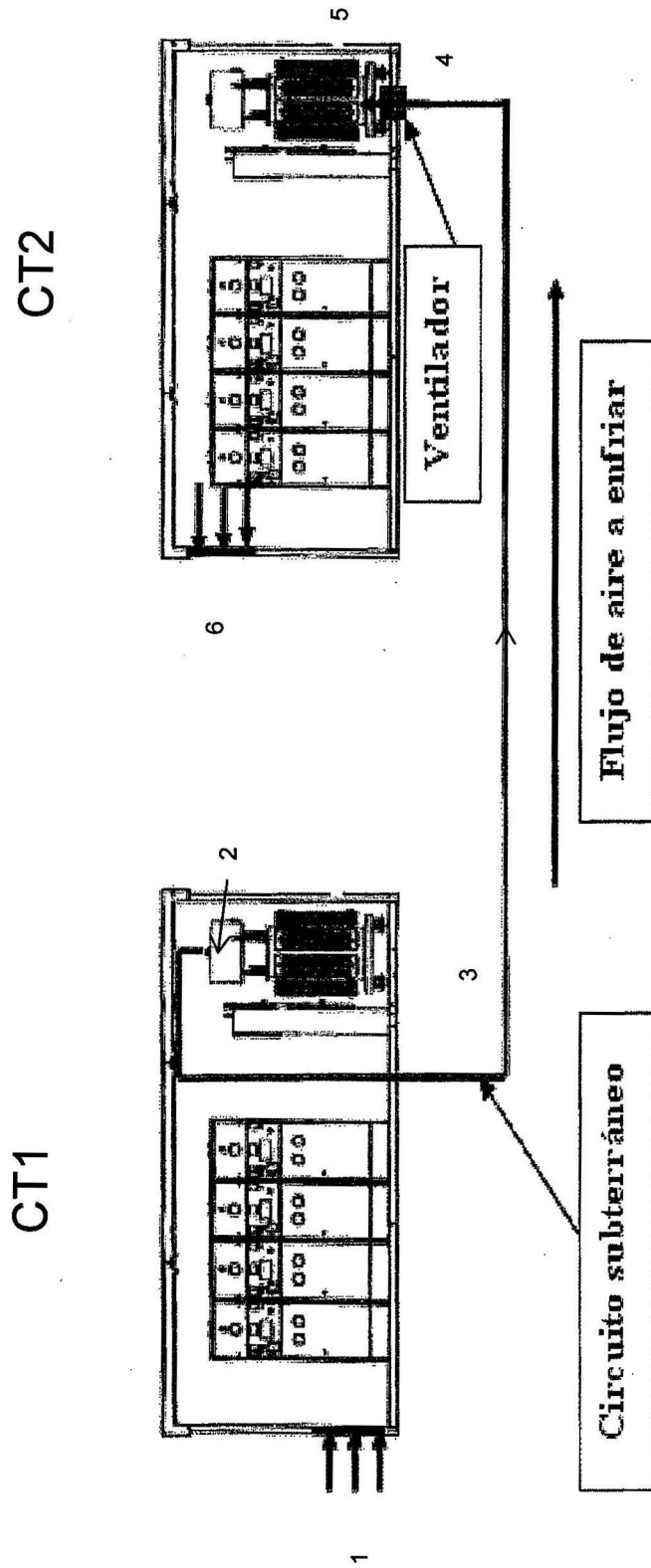
Fig. 5 DRENAJES DE AGUA DE CONDENSACION: UBICACIÓN



1. TUBO DE VENTILACIÓN

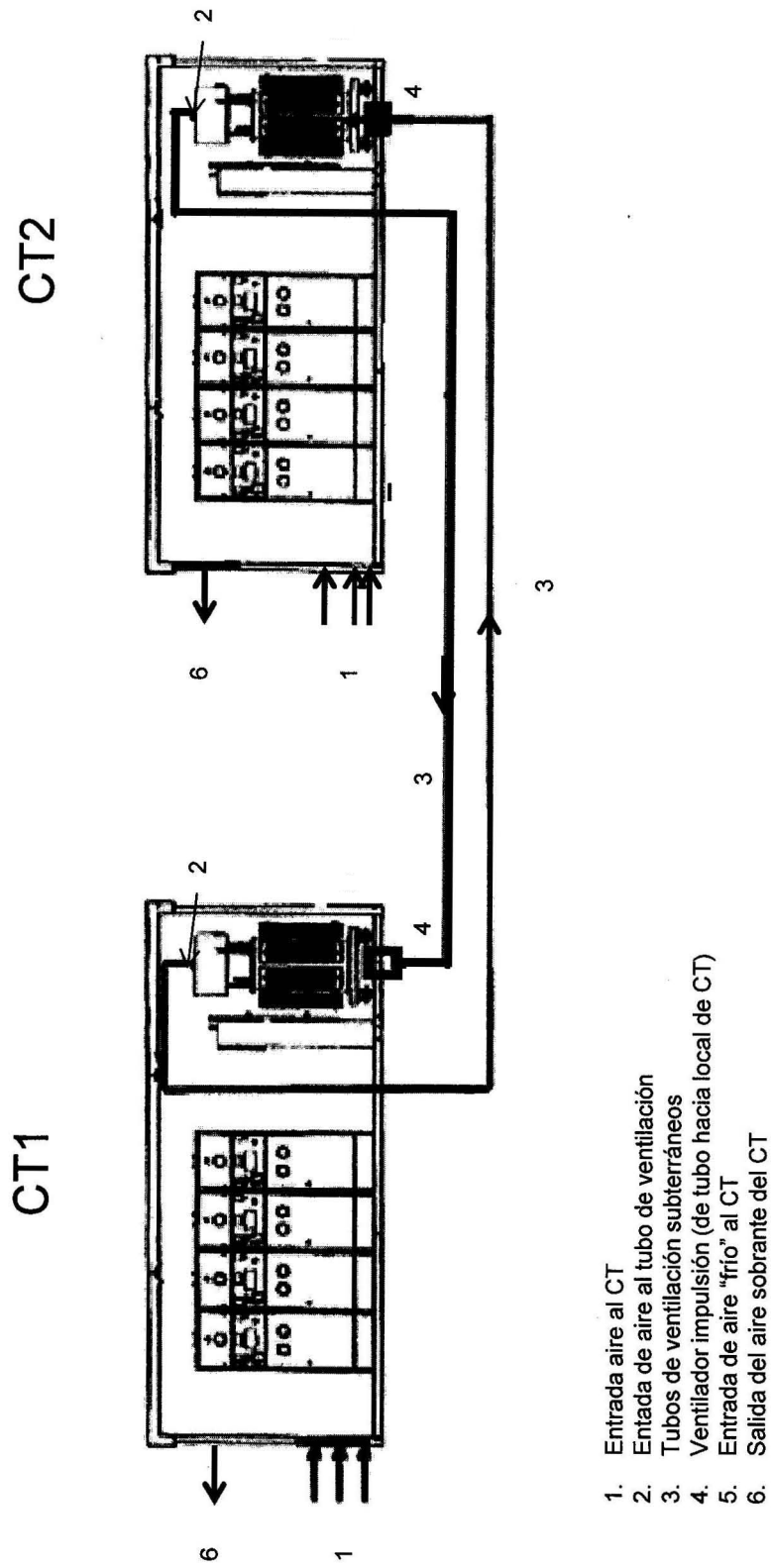
2. TOMA DE ENTRADA AIRE VENTILACION

Fig. 6 VARIANTE 1: APLICACIÓN DE UN TUBO PARA DOS CCTT



1. Entrada aire al CT1
2. Entada de aire al tubo de ventilación
3. Tubo de ventilación subterráneo
4. Ventilador
5. Entrada de aire "frío" al CT2
6. Salida del aire "recalentado" del CT2

Fig. 7 VARIANTE 2: FUNCIONAMIENTO COMBINADO DE DOS TUBOS EN SENDOS CCTT



1. Entrada aire al CT
2. Entrada de aire al tubo de ventilación
3. Tubos de ventilación subterráneos
4. Ventilador impulsión (de tubo hacia local de CT)
5. Entrada de aire "frío" al CT
6. Salida del aire sobrante del CT



- ②① N.º solicitud: 201100890  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 29.07.2011  
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **H01F27/08** (2006.01)  
**H02B1/56** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	JP 54013928 A (HITACHI LTD) 01.02.1979, título y resumen en inglés de EPOQUE de la base de datos WPI AN: JP-7786977-A; figuras.	1-3
Y	US 4564061 A (ANT NACHRICHTENTECH) 14.01.1986, resumen; columna 1, líneas 60-68; columna 3, líneas 8-30; figura 1.	1-3
Y	WO 03056892 A1 (METALURGICA CASBAR S A et al.) 10.07.2003, resumen; página 3, línea 23 – página 4 línea 12; página 5, líneas 23-31; página 6, líneas 8-18; figuras.	1-3
A	WO 0062590 A1 (ECI TELECOM LTD et al.) 19.10.2000, resumen; páginas 9,10; figura 1.	1-3
A	US 4674561 A (KELLEY NORMAN B) 23.06.1987, resumen; columna 1, línea 60 – columna 3, línea 37; columna 5, líneas 16-24; figuras.	1-3
A	US 2002088604 A1 (RITTAL GMBH & CO KG) 11.07.2002, resumen; párrafos 7,9,10,13,14,22; figura.	1-3

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia  
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita  
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
21.02.2013

Examinador  
P. Del Castillo Penabad

Página  
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H02B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 21.02.2013

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-3	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-3	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	JP 54013928 A (HITACHI LTD)	01.02.1979
D02	US 4564061 A (ANT NACHRICHTENTECH)	14.01.1986
D03	WO 03056892 A1 (METALURGICA CASBAR S A et al.)	10.07.2003

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Se considera que el documento D01 (JP54013928) es, del estado de la técnica, el más próximo al objeto reivindicado.

Este documento D01 (las referencias se refieren a este documento) describe (título y resumen en inglés de EPOQUE de la base de datos WPI AN: JP-7786977-A; figuras) un método de refrigeración de una instalación con un transformador utilizando las canalizaciones subterráneas de eléctricas que conectan con la instalación, de forma que se hace pasar una corriente de aire forzada a través de dicha conducción para una refrigeración eficiente.

El hecho de utilizar un tubo independiente como se realiza en la solicitud tiene el objetivo de que el aire se mantenga limpio en la zanja por la que van los cables, objetivo que se consigue también si el tubo es en sí la canalización del cable que obviamente se realizará preferentemente de forma estanca. Es conocido en general que la temperatura del subsuelo en climas cálidos es inferior a la del ambiente exterior y que cualquier fluido que discurra por una tubería enterrada tenderá a alcanzar la temperatura del subsuelo. Es obvio para el experto en la materia aplicar estos conocimientos a las características de D01 para obtener las características de la reivindicación 1 de la solicitud.

Por tanto la reivindicación 1 de la solicitud carece de actividad inventiva.

El documento D02 (US4564061) describe (resumen; columna 1 líneas 60-68, columna 3 líneas 8-30; figura 1) un sistema de enfriamiento de una instalación de comunicaciones. El sistema incluye unos conductos por los que circula fluido refrigerante que parten de la instalación y están situados aprovechando las zanjas de cables. Mediante estos conductos el fluido intercambia calor con la tierra.

El documento D03 (WO03056892) describe (resumen; página 3 línea 23- página 4 línea 12, página 5 líneas 23-31; página 6 líneas 8-18; figuras) un método de disipación del calor generado en una cabina de equipo electrónico situada en una arqueta. Según dicho método se hace emerger al menos un tubo que actúa como disipador térmico hacia el terreno, estableciendo en dicho tubo una circulación forzada con la colaboración de un ventilador de aire. El documento incluye la posibilidad de hacer circular el aire entre dos arquetas diferentes. Este documento no divulga el aprovechamiento de canalizaciones o zanjas de cables para instalar el tubo de disipación térmica.

Sería obvio para el experto en la materia combinar las características que divulgan los documentos D02 y D03 para obtener las características de la reivindicación 1 de la solicitud, por lo que también según esta combinación de características de estos dos documentos la reivindicación 1 de la solicitud carece de actividad inventiva.

A la vista de los documentos citados, el resto de reivindicaciones son cuestiones prácticas, las cuales son conocidas previamente de los documentos citados o son obvias para un experto en la materia, por lo que carecen de actividad inventiva.

Por todo lo anterior las reivindicaciones 1-3 de la solicitud son nuevas pero carecen de actividad inventiva según los artículos 6 y 8 de la Ley 11/86 de Patentes.