

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 768 329**

51 Int. Cl.:

H02B 1/56 (2006.01)

H02B 7/06 (2006.01)

H01F 27/08 (2006.01)

H02M 7/00 (2006.01)

H05K 7/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.10.2014 E 14187786 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2019 EP 2882052**

54 Título: **Regulación térmica de un compartimento de una subestación de alimentación eléctrica portuaria**

30 Prioridad:

18.11.2013 FR 1361273

18.11.2013 FR 1361274

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

22.06.2020

73 Titular/es:

SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS

(100.0%)

35, rue Joseph Monier

92500 Rueil-Malmaison, FR

72 Inventor/es:

CORMENIER, THIERRY y

MOREAU, JULIEN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 768 329 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Regulación térmica de un compartimento de una subestación de alimentación eléctrica portuaria

Campo técnico

5 La invención se refiere a la regulación térmica de las subestaciones de alimentación de embarcaciones atracadas a través de la red de distribución eléctrica terrestre, pudiendo dichas subestaciones garantizar una conversión de frecuencia, en particular de 50 a 60 Hz y estando alojadas en un recinto metálico.

En particular, la invención se refiere a un compartimento de conversión de frecuencia o a un compartimento de transformación de tensión de dicha subestación y a los elementos que permiten dicha regulación.

Estado de la técnica

10 Aunque los barcos originalmente estaban equipados con redes eléctricas de baja tensión, ya que las necesidades de energía han aumentado considerablemente, las redes eléctricas implementadas en los barcos generalmente son del tipo de tensión media, lo que permite utilizar cables de sección más pequeña y reducir las pérdidas de energía en la alimentación de las redes de los barcos.

15 Cuando un barco está atracado, para poder detener su grupo electrógeno, debe tener una instalación en el puerto que permita la alimentación eléctrica de sus equipos con una fuente de energía adecuada. La potencia requerida puede ser significativa, desde 1 MVA hasta 20 MVA, dependiendo de si se trata de un granelero, un ferry, un barco de contenedores, un transatlántico, a tensiones diferentes, en particular 6,6 kV o 11 kV de acuerdo con las normas IEC 80005-1; además, los barcos tienen, dependiendo de su tipo, equipos eléctricos que operan a 50 o 60 Hz. además, los barcos requieren, con limitaciones que varían de acuerdo con su tipo, una buena continuidad de alimentación de energía eléctrica mientras están atracados, la alimentación del puerto debe ser continua, incluso después de un fallo. Además, las instalaciones de alimentación en muelle están sujetas a las limitaciones inherentes a su ubicación, por definición, cerca del agua, a menudo agua salada. Además, los puertos quieren instalaciones que sean lo más compactas posible.

20 Para evitar trabajos pesados de ingeniería civil, se han desarrollado subestaciones eléctricas metálicas modulares, en las que todo el equipo está precableado y que están segmentadas para su transporte al sitio donde solo se realizan las últimas conexiones: véase por ejemplo el documento FR2 972 576. Como se ilustra en la figura 1, la subestación metálica 10 hace posible convertir una primera tensión eléctrica de potencia de entrada, suministrada por una red 12, en una segunda tensión eléctrica de potencia de salida destinada a alimentar una red eléctrica 14 de un barco, que puede ser de diferente frecuencia y/o tensión. Por ejemplo, la patente JP H08 205330 A describe una subestación que efectúa una conversión de frecuencia. Los documentos JP S57 133212U o JP H 08 205 330 A describen dispositivos de enfriamiento de armarios eléctricos. El documento EP 2 498 588 A1 describe un procedimiento de gestión térmica para un recinto que consta de un primer compartimento que consta de un convertidor de tensión y un segundo compartimento que consta de un dispositivo electrónico de potencia. Los documentos DE 10 2011 106632 A1 y DE 10 2011 001786 A1 describen un armario eléctrico que consta de varios compartimentos ocupados por módulos de potencia que disponen de un dispositivo de enfriamiento.

35 Para cubrir las diferentes opciones dependiendo de los barcos atracados, la subestación comprende, de este modo, cuatro compartimentos, o elementos funcionales, que agrupan el equipo eléctrico asegurando una función definida de la instalación de conversión:

- 40 - un compartimento 20 de control y de mando de la subestación 10, así como de control y de protección de media tensión, comprendiendo dicho compartimento 20 en concreto elementos de protección de tipo disyuntor 25;
- un compartimento 100 de transformación de la tensión media de entrada en tensión baja, que comprende en concreto un transformador 105;
- un compartimento 200 que comprende medios 205 de conversión de frecuencia, preferentemente convertidores de frecuencia de red, o GFC para "Grid Frequency Converter";
- 45 - un compartimento 100' para la alimentación de energía con un transformador 105' de tensión.

Para proteger equipos tan sensibles, en un entorno tan restringido, se utilizan generalmente recintos climatizados, sellados respecto al entorno externo.

50 Sin embargo, si el primer compartimento 20 es preferentemente hermético y climatizado, esta solución resulta costosa y también requiere un mayor mantenimiento para garantizar la fiabilidad de las instalaciones para los otros compartimentos. De hecho, la norma CEI 62271-202 recomienda ventilación natural para los transformadores de tensión 105: una entrada de aire en posición inferior y una salida de aire en posición superior, asociadas con el calentamiento del aire por el aparato en funcionamiento garantizan así la convección natural y la renovación del aire de varios metros cúbicos por hora. Para aumentar el enfriamiento, especialmente en verano, la ventilación puede ser forzada además por un dispositivo de circulación de aire que se puede accionar o no de acuerdo con un parámetro elegido, tal como la temperatura, para eliminar los picos de punto caliente.

55 Los GFC 205, por su parte, no tienen regulación de temperatura interna ni protección contra la condensación: a excepción de los casos climatizados, se colocan en alojamientos con ventilación natural, eventualmente forzada, a veces asociada con un calentamiento del compartimento para reducir la humedad relativa del aire. En particular, los

convertidores de frecuencia 205 generalmente incorporan tubos térmicos que se congelan en el caso de una temperatura negativa: por lo tanto, es deseable un control de temperatura incluso antes de la puesta en marcha para colocar los equipos en buenas condiciones. El compartimento dedicado 200 puede implementar así un control de temperatura independiente que acciona o no la ventilación dedicada.

5 Sin embargo, teniendo en cuenta la depresión relativa entre los compartimentos, generada por la ventilación forzada y las fugas inevitables, debe garantizarse que las circulaciones parásitas no perturben el funcionamiento general. Además, dado que la subestación 10 está instalada en un entorno portuario, es indispensable proteger los equipos eléctricos del entorno externo, en concreto el aire salino: se colocan filtros adaptados en las entradas de aire. Ahora bien, este tipo de filtro es muy costoso de reemplazar; para reducir su ensuciamiento y, por lo tanto, los costes de mantenimiento, es deseable optimizar el caudal de aire de una ventilación forzada en particular.

10 Por lo tanto, parece que se puede mejorar el control de la ventilación y de la temperatura en una subestación de alimentación portuaria.

Exposición de la invención

15 Entre otras ventajas, la invención tiene como objetivo paliar los inconvenientes de las subestaciones de alimentación en tierra existentes, proponiendo un sistema de regulación de la ventilación de los compartimentos de este tipo de subestación, teniendo en cuenta dicho sistema los diferentes parámetros. Debido a la regulación y optimización de la ventilación que resulta de esto, también se optimiza el funcionamiento de los aparatos eléctricos de los compartimentos de la subestación de alimentación, lo que hace posible producir una subestación más compacta, estando los aparatos dimensionados para solo las capacidades solicitadas. Además, esta regulación permite un menor envejecimiento de los diversos componentes gracias a la optimización de sus condiciones de funcionamiento.

20 La invención se refiere así a un compartimento de subestación de alimentación portuaria definida en las reivindicaciones. Esta incluye un recinto que aloja un transformador, preferentemente de tipo seco con tres enrollamientos de media tensión y tres enrollamientos de baja tensión. El recinto está provisto de medios de entrada de aire provistos de filtros preferentemente adaptados al aire salino, ventajosamente en forma de cajas en dos paredes opuestas del recinto, y ubicadas hacia la parte inferior de la subestación; el recinto también está provisto de medios de salida de aire, preferentemente en el techo del recinto o en cualquier parte de extremo superior. El recinto también aloja medios de medición de la temperatura interna del recinto, por ejemplo a nivel de la salida de aire, y medios de medición de la temperatura del transformador, preferentemente tres sensores a nivel de sus enrollamientos. Para garantizar una ventilación forzada, el recinto está provisto de medios de extracción de aire, alojados a nivel de la salida de aire, y medios de ventilación tangencial, preferentemente alojados hacia las entradas de aire, debajo de los enrollamientos del transformador. Para regular la temperatura, el compartimento comprende además medios de regulación capaces de controlar la puesta en marcha y la velocidad de los medios de extracción de aire y de los medios de ventilación de acuerdo con los datos de temperatura. En concreto, los medios de regulación comprenden medios para poner en marcha los medios de ventilación tangencial cuando uno de los sensores de temperatura del transformador excede un primer umbral y para detenerlos cuando la medición de todos los sensores de temperatura del transformador es inferior a un segundo umbral. Preferentemente, si uno de los sensores de temperatura del transformador excede un tercer umbral, mayor que el primero, los medios de regulación comprenden un modo de emergencia en el que los medios de ventilación tangencial no se detienen después de que su puesta en marcha. Los medios de regulación también comprenden medios para imponer una velocidad de flujo de aire en función de la temperatura del recinto a los medios de extracción cuando dicha temperatura excede un primer valor; el primer valor puede determinarse en función de la temperatura exterior dada por medios apropiados.

La invención también se refiere a una subestación de alimentación portuaria que comprende al menos uno, en concreto dos compartimentos anteriores, y ventajosamente un compartimento de conversión de frecuencia.

45 Preferentemente, la subestación comprende un recinto metálico con paredes internas que delimitan dichos compartimentos, y en el que dos compartimentos con transformador rodean el compartimento de conversión de frecuencia. El compartimento de conversión de frecuencia puede comprender medios de ventilación forzada, y los medios de regulación los compartimentos de transformador pueden comprender entonces medios para poner en marcha los medios de extracción de dicho compartimento cuando una señal de detección de la ventilación forzada del compartimento la conversión de frecuencia los alcanza.

En una realización preferida, la invención se refiere a un compartimento de subestación de alimentación portuaria que comprende un recinto que aloja medios de conversión de frecuencia, preferentemente en forma de una pluralidad de convertidores de frecuencia de red o GFC. El recinto está provisto de medios de entrada de aire provistos de filtros preferentemente adaptados al aire salino, ventajosamente en forma de cajas en dos paredes opuestas del recinto, y ubicados hacia la parte inferior de la subestación; el recinto también está provisto de medios de salida de aire, preferentemente en el techo del recinto o en cualquier parte de extremo superior. El recinto también aloja medios de medición de la temperatura interna del recinto, un dispositivo de calentamiento, y preferentemente medios de medición del grado de humedad dentro del recinto.

Para garantizar una ventilación forzada, el recinto está provisto de medios de extracción de aire, alojados a nivel de la salida de aire, y de medios de ventilación de los medios de conversión, preferentemente asociados con cada uno de los GFC, en concreto siendo una parte integrante de los mismos. Para controlar la temperatura, el compartimento comprende además medios de regulación capaces de controlar la velocidad de los medios de extracción de aire y de

los medios de ventilación en función de los datos de temperatura y, adicionalmente, del grado de humedad.

5 El compartimento comprende además medios para verificar las condiciones ambientales en el interior del recinto y para poner en marcha los medios de conversión cuando se cumplen estas condiciones. Entre las condiciones ambientales está la verificación de que la temperatura excede un límite inferior y que el grado de humedad es suficientemente bajo. Los medios de verificación están preferentemente asociados con los medios de regulación.

10 En concreto, los medios de regulación comprenden medios para poner en marcha el dispositivo de calentamiento cuando la temperatura está por debajo de un primer valor, así como cuando el grado de humedad está por encima de un umbral y la temperatura por debajo de un segundo valor. Los medios de regulación también comprenden medios para poner en marcha los medios de ventilación cuando el grado de humedad está por encima de dicho umbral, y la temperatura por encima del segundo valor.

Los medios de regulación también comprenden medios para poner en marcha los medios de extracción cuando la temperatura está por encima de un valor límite, y para imponer, cuando los medios de conversión están en funcionamiento, una velocidad a dichos medios dependiendo de la temperatura interna, así como, eventualmente, de la temperatura externa y/o de la potencia disipada.

15 La invención también se refiere a una subestación de alimentación portuaria que comprende al menos un compartimento de este tipo y compartimentos que alojan transformadores de tensión, preferentemente rodeándolo, estando los diferentes compartimentos ventajosamente alojados en el mismo recinto metálico y separados por paredes internas del recinto.

20 La invención se refiere finalmente a un procedimiento de regulación térmica de un compartimento de conversión de frecuencia de una subestación de alimentación portuaria cuando la conversión está en funcionamiento. El procedimiento comprende la determinación de la temperatura interna en el compartimento, el accionamiento de medios de extracción de aire cuando la temperatura excede un valor límite y la regulación de la velocidad de dichos medios de extracción en función de la temperatura interna, así como, eventualmente, de la temperatura exterior y/o de la potencia disipada. El procedimiento de regulación térmica está precedido preferentemente por una fase de verificación de las condiciones ambientales dentro del compartimento antes de la puesta en funcionamiento de los medios de conversión de frecuencia, comprendiendo dicha fase:

- la determinación de la temperatura y del grado de humedad internos del compartimento,
- el calentamiento del compartimento cuando la temperatura está por debajo de un primer valor, manteniéndose el calentamiento durante un cierto periodo después de que se haya alcanzado el primer valor,
- 30 - el uso de medios de reducción del grado de humedad cuando éste está por encima de un umbral, en concreto por calentamiento cuando la temperatura está por debajo de un segundo valor y por accionamiento de ventiladores cuando la temperatura está por encima del segundo valor, manteniéndose los medios de reducción durante un cierto periodo después de que se haya alcanzado el umbral,
- el accionamiento durante un tercer periodo de los ventiladores una vez que se han cumplido las condiciones, y a
- 35 - continuación
- la puesta en funcionamiento de los medios de conversión de frecuencia.

40 En una realización preferida, cuando el periodo entre la ventilación y la puesta en funcionamiento excede un periodo predeterminado, el procedimiento de regulación comprende el mantenimiento de las condiciones ambientales implementando el calentamiento, la ventilación o la extracción de aire en función de la temperatura y del grado de humedad.

Breve descripción de las figuras

Otras ventajas y características serán más claramente evidentes a partir de la siguiente descripción de realizaciones particulares de la invención, dadas a modo de ilustración y de ningún modo limitante, representadas en las figuras adjuntas.

45 La figura 1, ya descrita, ilustra el principio de una subestación de alimentación portuaria en la que se pueden implementar las realizaciones de la invención.

La figura 2 muestra una subestación de alimentación portuaria de acuerdo con una realización preferida de la invención.

50 La figura 3 representa la ventilación en un compartimento de transformación de tensión para una subestación de acuerdo con una realización preferida de la invención.

La figura 4 muestra el procedimiento de regulación de la temperatura en un compartimento de transformación de tensión para una subestación de acuerdo con una realización preferida de la invención.

La figura 5 representa un compartimento de conversión de frecuencia para una subestación de acuerdo con una realización preferida de la invención.

Las figuras 6A y 6B muestran la regulación implementada en un compartimento de conversión de frecuencia para una subestación de acuerdo con una realización preferida de la invención.

Descripción detallada de una realización preferida

5 Tal como se indica, una subestación de alimentación 10 de acuerdo con una realización preferida de la invención está compuesta por un recinto metálico 30 que dispone de cuatro compartimentos separados por paredes internas. Como se ilustra en la figura 2, tres de los compartimentos de la subestación 10 incluyen medios de ventilación natural, estando el cuarto 20 sellado. Los medios de ventilación natural comprenden medios 40 de entrada de aire, situados hacia la parte inferior del contenedor 30, y medios 50 de salida de aire hacia la parte superior, preferentemente en forma de chimenea o torreta.

10 Los medios de entrada de aire tienen la forma de cajas de ventilación 40 situadas en la parte inferior de dos paredes opuestas del contenedor 30 comunes a todos los compartimentos 20, 100, 200, que preferentemente incluyen (véase las figuras 3 y 5) filtros 42 adecuado para aire salino (prefiltro + filtro final), y una rejilla 44 que garantiza un grado de protección superior al valor mínimo impuesto por la norma CEI 62271-202, en concreto contra impactos mecánicos por valor de 20 julios, o de acuerdo con un IP23D de acuerdo con la norma CEI 60529. El número de
15 cajas 40, generalmente de tamaño estandarizado, está determinado por el caudal de aire requerido para garantizar el enfriamiento de los aparatos contenidos en cada compartimento 100, 200, 100' y el espacio disponible; en particular, como se muestra esquemáticamente para una subestación 10 de 3 MVA, una caja 40 está ubicada en las dos caras opuestas de un compartimento 100 de transformación de tensión, mientras que el compartimento 200 de conversión de frecuencia más largo, que comprende 6 GFC, está dotado de dos veces cuatro cajas 40.

20 Los medios 50 de salida de aire a su vez están provistos de una cubierta de techo con rejillas 52 que permiten garantizar los índices de protección contra la penetración de sólido y líquido IP y contra choques IK impuestos por la norma CEI 62271-202; eventualmente, una compuerta de sobrepresión permite mejorar la protección contra condiciones de servicios externos cuando se detiene la instalación. El número de salidas de aire 50 depende de la eficiencia del flujo de aire requerido: por lo tanto, se prefiere tener varias torretas en el compartimento de conversión
25 de frecuencia "largo" 200, tres dobles en la realización ilustrada, en lugar de una gran chimenea.

Un compartimento 100 de transformación de tensión comprende así, como se ilustra en la figura 3, una envoltura metálica 30 con dos entradas de aire 40 provistas de filtros 42 y una torreta 50 de salida de aire que aloja un transformador 105 de tensión de tipo seco, opción que permite satisfacer mejor las disposiciones reglamentarias
30 contra incendios en el entorno portuario. Debido a la ventilación filtrada que no genera un depósito de sal, el transformador 105 puede ser del tipo tradicional de "papel", sin protección particular del enrollamiento de baja tensión, y no es necesario utilizar un transformador con protección reforzada de "doble moldeo" con resina, más pesado, más grande y más caro.

De acuerdo con la invención, la ventilación del transformador 105 se realiza de manera controlada. Como los
35 compartimentos 100 de transformación de tensión rodean un compartimento 200 de conversión de frecuencia cuyos aparatos son sensibles, es aconsejable no transmitir aire, o lo menos posible, minimizando la cantidad de aire que pasa a través de las paredes internas del recinto 30 entre los compartimentos 100, 200: por lo tanto, se elige un flujo por depresión de aire, con medios 150 de extracción de aire de tipo ventilador centrífugo con variación de velocidad integrada, colocados en la salida de la torreta 50 en lugar de un túnel de viento. Por otro lado, de acuerdo con la
40 invención, el transformador 105 está "reforzado", es decir que se usa en condiciones extremas; en particular, se aumenta la capacidad teórica del transformador 105. Para este fin, el flujo de aire se dirige de forma laminar a lo largo de los enrollamientos 110 gracias a la presencia de dispositivos de ventilación radiales o tangenciales 140 ubicados debajo de los enrollamientos 110 del transformador 105, para dirigir el flujo; los caudales de dichos dispositivos de ventilación 140 es sustancialmente menor que el caudal del extractor 150 para conservar un flujo laminar.

45 En particular, como se ilustra en la figura 3, se colocan ventiladores tangenciales 140 a cada lado en la parte inferior del transformador 105; acoplados a la fuerza motriz del flujo generado por el extractor 150 y dimensionados para equilibrar dicha fuerza, el flujo de aire principal se transmite en los enrollamientos 110 con aire libre de impurezas tales como sal o polvo gracias a al filtro 42 protegido, a su vez, por las rejillas 44 de las cajas de entrada de aire 40. El transformador 105 está ligeramente elevado en relación con el fondo de la subestación 10 para asegurar que el
50 aire empujado hacia los enrollamientos 110 sea aspirado lo más directamente posible desde las cajas de filtración 40. El aire es expulsado a través de las rejillas de salida 52 instaladas en la torreta o caja de techo 50. Con esta configuración, es posible utilizar un transformador 105 de media a baja tensión con una capacidad nominal de 3 MVA hasta 3,3 MVA (la ausencia de dispositivos de ventilación tangenciales reduciría esta capacidad nominal a un valor eficaz en ventilación natural de 2,5 MVA), y así aumentar su potencia disponible sin reducir su vida útil - por
55 supuesto, se obtiene el mismo tipo de resultado para el transformador 105' de baja a media tensión.

Este sistema de flujo, incluso con algunas posibles fugas con el compartimento adyacente 200, no conlleva perturbación del rendimiento general de la solución, ni tampoco perturba el enfriamiento de los locales de los convertidores de frecuencia basándose en el mismo principio.

Para optimizar aún más el dimensionamiento del transformador 105 y permitir así la instalación de una subestación

de alimentación 20 más compacta y menos costosa, se acopla un control de temperatura a la ventilación del transformador 105, en concreto con una regulación controlada. Para este fin, el compartimento de transformación 100 está equipado además con tres sensores de temperatura 160 en los enrollamientos BT 110 y un sensor de temperatura 165 ubicado cerca de la salida de aire 50.

5 En concreto, la temperatura ambiente interna en el compartimento 100 es medida por el sensor de salida 165. Cuando dicha temperatura T_{100} supera un umbral T_{100_ref} , por ejemplo fijado a 35 °C, se pone en marcha el extractor de aire 150. Preferentemente, la velocidad del extractor V_{150} se ajusta en función de la temperatura, por ejemplo según una ley lineal, para mantener $T_{100} = T_{100_ref}$: el caudal de aire puede ajustarse de este modo al estricto necesario gracias al sensor de salida 165 ubicado en el flujo de aire, lo que permite reducir la obstrucción de los
10 filtros 42. Si la subestación de alimentación 10 tiene medios de medición de la temperatura exterior 60, de acuerdo con una realización preferida, el umbral T_{100_ref} se ajusta en función de la temperatura exterior T_{ext} : por ejemplo, T_{100_ref} es igual a $T_{ext} + T_{100_gap}$ mientras permanece en todos los casos por encima de una temperatura de referencia mínima $T_{100_ref_mín}$.

15 Por otro lado, durante la producción de la subestación 10 de acuerdo con la invención, se ha constatado que los modelos de protección térmica basados en la imagen de la corriente no están adaptados para transformadores 105 en ventilación forzada: los sensores de temperatura integrados 160 en los enrollamientos 110 del transformador 105 se colocan así para regular el funcionamiento de los ventiladores tangenciales 140.

20 La subestación 10 comprende así un autómata de regulación para el compartimento 100, por ejemplo ubicado en el primer compartimento 20. Preferentemente, este autómata está conectado al relé de protección (por ejemplo, de tipo SEPAM) al que están conectados los enrollamientos MT del transformador 105, y puede adaptarse para poner en marcha y ajustar la velocidad V_{150} de rotación del extractor de aire 150 por medios adecuados. Los medios de regulación pueden así poner en marcha y detener, así como eventualmente ajustar la velocidad V_{140} de rotación de los ventiladores 140: en particular cuando uno de los enrollamientos excede un primer umbral T_{110_1} , por ejemplo de 110 °C, los ventiladores 140 se ponen en marcha, y se detienen cuando todos los enrollamientos 110 están a una
25 temperatura por debajo de una temperatura de funcionamiento normal, por ejemplo $T_{110_0} = 100$ °C.

Ventajosamente, se implementa un segundo sistema de regulación en caso de fallo de la comunicación entre los componentes (relé de protección y autómata): si la temperatura T_{110} medida a nivel de los enrollamientos 110 excede un segundo umbral $T_{110_máx} = 140$ °C, o cualquier otra temperatura definida por una norma CEI, los ventiladores tangenciales 140 se ponen en marcha automáticamente y no se detendrán hasta que la comunicación sea restaurada o manualmente por un operador de mantenimiento. Preferentemente, para una temperatura T_{110} mayor que un umbral crítico, en concreto $T_{110} > T_{110_crit} = 150$ °C, tiene lugar una activación de los sistemas de
30 protección 25 y la subestación 10 se detiene.

35 Un sistema de regulación preferido se esquematiza en la figura 4. En ella cabe destacar una etapa adicional de activación de la ventilación forzada por causa externa. De hecho, aunque deseable, es raro tener una estanqueidad perfecta entre los compartimentos 100, 200 en una subestación de alimentación eléctrica compacta metálica 10. En concreto, si se pone en marcha una ventilación forzada en el compartimento de conversión de frecuencia adyacente 200, se aspirará aire del compartimento 100, 100' de transformación de tensión: la regulación de acuerdo con la invención, por lo tanto, prevé una puesta en marcha de los extractores de aire 150 de los compartimentos de tensión 100, 100' tan pronto como se ponga en marcha la ventilación forzada en el compartimento adyacente 200, y un
40 funcionamiento a velocidad constante baja $V_{150_mín}$.

De hecho, de acuerdo con la invención, los GFC se utilizan como convertidores de frecuencia: este tipo de aparato, probado, permite optimizar el rendimiento en términos de eficiencia energética y contaminación de las redes. El número de aparatos de conversión 205 se elige en función de las características de la subestación de alimentación 10; en concreto, para una subestación de 3 MVA, se utilizan 6 GFC de 500 kVA en dos filas, mientras que para una subestación de 2 MVA, solo se pueden utilizar cuatro.
45

Aunque habitualmente poseen una ventilación integrada 240, los GFC 205 no comprenden regulación, de modo que la ventilación funciona a plena potencia, independientemente de la carga, la temperatura y la humedad. Por lo tanto, es aconsejable implementar un sistema de ventilación adicional del compartimento 200 que comprenda medios de regulación que tengan en cuenta estas variables para garantizar a los GFC 205 condiciones óptimas de funcionamiento. Por razones similares de control de la orientación del flujo de aire, se elige la misma solución de extractor 250 ubicado en la torreta 50; aquí de nuevo es preferible tener flujos de aire laminares. Los extractores 250 se eligen para que no sean empleados a su máxima capacidad, para que su velocidad esté limitada a la potencia absorbida de 2300 W, por ejemplo, a aproximadamente 1950 rpm.
50

Por otro lado, además de los elementos presentados anteriormente para los transformadores de tensión 105, los GFC 205 implican otras limitaciones: a pesar de la presencia de los filtros 42 que impiden la introducción de aire marino, la condensación se muestra muy problemática y es importante verificar que el flujo de aire sea suficiente para evitar el depósito de humedad sobre los GFC 205. Además, si los GFC 205 pueden almacenarse a temperaturas negativas, solo pueden funcionar a temperaturas T_{200} superiores a 5 °C debido al agua presente en los tubos de calor; su sola puesta en servicio requiere que el agua pueda circular, bajo pena de destrucción. Además de una regulación de la ventilación, se recomienda un calentamiento en el compartimento 200 de conversión de
60

frecuencia; son posibles diferentes medios, en concreto con la presencia de un dispositivo de calentamiento 220 dedicado, cuya potencia se puede optimizar (en un primer enfoque, para una subestación de 3 MVA, se utiliza un aparato 220 de tipo $2 \times 3 \times 2$ kW, y un aparato de tipo $2 \times 2 \times 2$ kW para 2 MVA). Este tipo de monitorización puede utilizarse naturalmente en el compartimento del transformador 100, pero resulta inútil, en concreto con transformadores secos, insensible a la temperatura y/o la presencia de condensación "natural" (excluyendo el aire salino).

Por lo tanto, la regulación de la ventilación de una subestación 10 de acuerdo con la invención prevé, para el compartimento GFC 200, un calentamiento que preferentemente permite:

- conservar una temperatura positiva T_{200} entre dos conexiones a barcos para su uso;
- aumente la temperatura T_{200} hasta un mínimo de 5°C después de un fallo de la red o un apagado total voluntario, para poner en marcha los GFC 205;
- evitar la condensación en el compartimento 200, en concreto cuando la temperatura es baja.

De hecho, la condensación en el compartimento puede evitarse mediante dos principios: el calentamiento o la ventilación interna de los GFC 205 que pueden gobernarse mediante la regulación de la subestación 10. De acuerdo con una realización preferida, cuando la temperatura ambiente T_{200} es baja, por ejemplo menor que $T_{200,1}$, el calentamiento permite un aumento de la temperatura con una disminución concomitante del grado de humedad; cuando la temperatura T_{200} es elevada, no es razonable utilizar un calentamiento, tanto porque la temperatura puede volverse problemática para los aparatos 205 como por razones de eficiencia energética, y la puesta en marcha de los ventiladores 240 de los GFC 205 permite mejorar los intercambios entre los GFC 205 y el aire ambiente, aumentar la temperatura de las masas metálicas y disminuir la diferencia con el flujo de aire, para evitar el depósito de humedad sobre dichas masas.

Además, es deseable adaptarse a las condiciones externas de utilización para modificar las temperaturas establecidas cuando los GFC 205 están en funcionamiento: esto permite optimizar el caudal de aire y reducir la obstrucción de los filtros 42. De acuerdo con la invención, el flujo de aire está así regulado en función de la temperatura exterior T_{ext} y de la potencia disipada, para mantener una temperatura de funcionamiento óptima de los GFC 205 y evitar la obstrucción de los filtros 42 por un caudal de aire demasiado elevado.

En la realización preferida, el compartimento 200 de conversión de frecuencia comprende así al menos un sensor de humedad 230 y un sensor de temperatura 260; preferentemente, están presentes dos sensores de cada tipo, uno a cada lado del compartimento 200 y la media de los dos valores permite dar la temperatura interna en el compartimento T_{200} y el nivel de humedad presente HR_{200} . La regulación de la temperatura está garantizada por un automático que puede ser el mismo que el utilizado para la regulación de los compartimentos de los transformadores 105 y común a toda la subestación 10, o que puede estar dedicado al compartimento 200 de conversión de frecuencia, en el que también se puede alojar dentro de un armario auxiliar; el automático impone la velocidad del extractor 250 a través de un bus de comunicación (por ejemplo MODBUS) y la puesta en marcha y la parada de los ventiladores 240 cuando los GFC 205 están detenidos; ventajosamente, cada dispositivo de extracción 250 se acciona a la misma velocidad.

Por otro lado, el automático de regulación también comprende preferentemente medios para controlar el calentador 220, por ejemplo por medio de contactores.

El sistema de regulación permite, de este modo, el ajuste de la temperatura y de la humedad con varios modos de funcionamiento para adaptarse permanentemente a las condiciones de utilización, garantizando así el funcionamiento óptimo de todos los equipos. En particular, como se esquematiza en la figura 6, el procedimiento de regulación implementado por los medios adaptados del compartimento comprende una primera fase (figura 6A) de verificación de las condiciones ambientales mientras no se implementa la conversión de frecuencia, es decir, los GFC 205 todavía están detenidos. Mientras no se verifiquen las condiciones, es decir que la temperatura T_{200} no alcanza el umbral crítico $T_{200, \min}$ convencionalmente de 5°C , y que el nivel de humedad HR_{200} no es menor que un umbral $HR_{200, \min}$, normalmente del 75 %, los GFC 205 no pueden ponerse en marcha y permanecen apagados; de lo contrario, pueden ponerse en marcha o permanecer apagados.

Por lo tanto, la verificación de las condiciones ambientales puede ir acompañada de un precalentamiento para cumplir con los criterios anteriores. En particular, si la temperatura es inferior a $T_{200, \min}$, se pone en marcha el calentador 220. La temperatura se mide regularmente. Una vez que excede $T_{200, \min} = 5^\circ\text{C}$, y después de un tiempo de espera t_1 necesario para garantizar que el agua presente en los tubos de calor ya no esté congelado, en concreto $t_1 > 60$ min, los ventiladores 240 de GFC se ponen en marcha durante un periodo predeterminado t_2 para que los GFC sean buenos para el funcionamiento, por ejemplo, 15 min. A continuación, los ventiladores 240 se detienen, y después el calentador 220 también: se cumplen las condiciones ambientales.

Si la temperatura medida al comienzo del proceso de control es mayor que $T_{200, \min} = 5^\circ\text{C}$, entonces se tiene en cuenta el nivel de humedad HR_{200} . Si es menor que el valor límite $HR_{200, \min} = 75\%$, se cumplen las condiciones ambientales. Si es mayor, la temperatura del compartimento T_{200} se compara con un segundo umbral $T_{200,1}$, por ejemplo 15°C , para determinar cómo se reducirá el nivel de humedad. Si se excede el segundo umbral $T_{200,1}$, entonces se evita la condensación por accionamiento, durante un periodo predefinido t_3 , en concreto de 15 min, de

los ventiladores 240. Si no se alcanza el segundo umbral $T_{200\ 1}$, entonces se implementa el dispositivo de calentamiento 220; una vez que el nivel de humedad cae por debajo del umbral recomendado $HR_{200\ min}$, y después de un tiempo de espera t_4 necesario para garantizar la evaporación de cualquier agua posible, en particular $t_4 > 30$ min, se detiene el calentador 220, después los ventiladores 240 de GFC se ponen en marcha durante un periodo predeterminado t_2 para que los GFC sean buenos para el funcionamiento, por ejemplo 15 minutos: entonces se cumplen las condiciones ambientales y los GFC 205 se pueden poner en funcionamiento.

De hecho, un GFC 205 puede funcionar entre 0 °C (si el agua no está congelada) y 45 °C, con un nivel de humedad que alcanza el 95 % (si aún no hay condensación). Cuando se cumplen las condiciones ambientales, el GFC se puede, por lo tanto, poner en marcha de inmediato. En este caso, se implementa una regulación de temperatura, en particular gracias a los extractores 250 de aire: la temperatura interna T_{200} está controlada y los extractores se implementan tan pronto como se excede un valor de temperatura $T_{200\ ref}$, con en este caso, preferentemente, una ley lineal que aumenta la velocidad de extracción con la temperatura (véase la figura 6B); aunque cuando los GFC 205 están en marcha, la condensación no puede ocurrir debido al calor desprendido, también sería posible tener en cuenta el parámetro "grado de humedad" HR. De manera similar al compartimento de transformador 100, el caudal de aire puede ajustarse a lo estrictamente necesario gracias al sensor de salida 260 situado en el flujo de aire, lo que permite reducir la obstrucción de los filtros 42. Si la subestación de alimentación 10 posee medios de medición de la temperatura exterior 60, de acuerdo con una realización preferida, el umbral $T_{200\ ref}$ se ajusta en función de la temperatura exterior T_{ext} . Por ejemplo, $T_{200\ ref}$ es igual a $T_{ext} + T_{200\ gap}$ pero $T_{200\ ref}$ no puede ser menor que $T_{200\ ref\ min}$.

Si los GFC 205 no se ponen en marcha, se establece una regulación para permitir la puesta en marcha bajo demanda, al tiempo que se mantienen condiciones aceptables de puesta en marcha de los GFC 205. En particular, la temperatura T_{200} se controla por medio de los extractores 250 o del calentador 220 dependiendo de su nivel: si no se alcanza una temperatura mínima $T_{200\ min} = 5$ °C, se acciona el calentador 220, y después se detiene más allá de una temperatura ligeramente superior $T_{200\ min} + \delta T$, por ejemplo 8 °C, para tener en cuenta la inercia térmica; si la temperatura interior T_{200} excede $T_{200\ 2}$, por ejemplo 25 °C, entonces la temperatura interior en el compartimento 200 se mantiene en un intervalo de temperatura cercano a la temperatura externa T_{ext} , por ejemplo $[T_{ext} + \Delta T; T_{ext} + \Delta T']$, por ejemplo con $\Delta T = 2$ °C y $\Delta T' = 5$ °C, por accionamiento del extractor 250 a la velocidad mínima $V_{250\ min}$. El nivel de humedad HR_{200} , por su parte, es controlado por el calentador 220 o los ventiladores internos 240 en función de la misma temperatura interna T_{200} en un proceso similar al de verificación de las condiciones ambientales P1. En concreto, si la temperatura es inferior a $T_{200\ 1}$ por ejemplo 15 °C, se acciona el calentador 220 para reducir el nivel de humedad por debajo de $HR_{200\ máx}$, por ejemplo 85 % y se detiene a un nivel de humedad del orden de $HR_{200\ min}$, por ejemplo 75 %; si la temperatura excede los 15 °C, son los ventiladores 240 los que comienzan a girar a la velocidad mínima $V_{240\ min}$ con los mismos parámetros. Cabe destacar que se puede pasar de uno de los modos al otro dependiendo de los cambios de temperatura, causados por el mantenimiento del nivel de humedad HR_{200} o por una modificación de las condiciones climáticas externas T_{ext} , HR_{ext} .

Por lo tanto, gracias a la elección de acuerdo con la invención de utilizar una ventilación forzada regulada para los diferentes compartimentos de conversión de una subestación de alimentación portuaria 10, es posible obtener una solución compacta para alimentación de nuevo de barcos atracados probado de acuerdo con la norma de subestaciones prefabricadas CEI 62271-202, en la que la filtración del aire permite garantizar una vida útil más larga del transformador y los convertidores de frecuencia en condiciones óptimas de funcionamiento. En concreto, es posible instalar transformadores secos de 3 MVA en compartimentos no climatizados de 8 m² por 3 m de altura, es decir, cuyas dimensiones no permiten aplicar las recomendaciones habituales para enfriar los transformadores 105, mientras se prolonga la vida útil del transformador en comparación con el funcionamiento nominal externo bajo ventilación natural. Además, la subestación 10 puede cumplir los criterios de IP44 para garantizar un funcionamiento adecuado en un entorno hostil, esto a un coste reducido, ya que los transformadores 105 pueden ser de menor potencia y de constitución convencional a pesar de las condiciones de uso, pero también mediante una prolongación de la vida útil de los componentes, transformadores 105 o GFC 205 que no sufren envejecimiento acelerado ya que se usan en condiciones "normales", así como filtros 42 que pueden cambiarse con menos frecuencia gracias a la regulación del flujo de aire entrante. Por otro lado, la energía consumida para controlar, por ejemplo, la condensación al nivel de los GFC 205 se reduce.

La regulación en sí es una solución robusta adaptada a las restricciones específicas de la aplicación, con una variación muy rápida de la potencia disipada y una constante de tiempo muy baja, restricciones inherentes a las llamadas de carga a bordo de los barcos alimentados. Las condiciones óptimas generadas por este sistema dentro de los compartimentos 100, 200 aumentan aún más la fiabilidad de los aparatos eléctricos 105, 205 y de la subestación 10 en general, así como su disponibilidad.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a una subestación de 3 MVA de alimentación portuaria con un recinto metálico, no se limita a ella: la invención se puede referir a otras subestaciones. En particular, subestaciones de alimentación portuaria de hormigón y/o de potencia inferior que solamente contienen un solo transformador de potencia.

REIVINDICACIONES

1. Subestación de alimentación eléctrica portuaria (10) que comprende un recinto metálico (30) en el que se alojan un primer compartimento (100) que comprende un transformador de tensión y un compartimento (200) de conversión de frecuencia, comprendiendo la subestación un segundo compartimento (100') que comprende un transformador de tensión, alojando el recinto los tres compartimentos (100, 200, 100') separados entre sí por paredes internas, estando el compartimento (200) de conversión de frecuencia enmarcado por el primero y el segundo compartimento (100, 100'), comprendiendo el compartimento (200) de conversión de frecuencia:
- medios (40) de entrada de aire ubicados en una parte de extremo inferior del recinto (30) y provistos de al menos un filtro (42);
 - medios (50) de salida de aire ubicados en una parte de extremo superior del recinto (30);
 - un dispositivo de ventilación para hacer circular el aire en el recinto (30) que comprende medios de extracción (250) asociados con los medios (50) de salida de aire y al menos un ventilador (240) asociado con los medios (205) de conversión de frecuencia;
 - un dispositivo de calentamiento (220);
 - primeros medios (165, 260) para medir la temperatura (T₁₀₀, T₂₀₀) en el recinto (30) ubicados al nivel de los medios (50) de salida de aire;
 - medios para verificar las condiciones ambientales dentro del recinto (30) y para poner en marcha los medios (205) de conversión de frecuencia cuando se cumplen las condiciones ambientales, comprendiendo la verificación de las condiciones ambientales la comparación de la temperatura medida (T₂₀₀) con un valor límite (T_{200_mín});
 - medios de regulación de la temperatura (T₂₀₀) capaces de controlar la velocidad de los medios de extracción (250) y el dispositivo de calentamiento (220) en función de la temperatura medida (T₂₀₀).
2. Subestación de alimentación de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además medios de medición (230) del nivel de humedad en el compartimento, y la verificación de las condiciones ambientales comprende la comparación del nivel de humedad (HR₂₀₀) con un nivel medio de humedad, comprendiendo dichos medios de regulación medios para poner en marcha el dispositivo de calentamiento (220) cuando el nivel de humedad excede un valor límite de humedad (HR_{200_máx}) y la temperatura medida (T₂₀₀) es inferior a un primer valor (T_{200_1}), y medios para activar los ventiladores (240) cuando el nivel de humedad excede el valor límite de humedad (HR_{200_máx}) y la temperatura medida (T₂₀₀) es mayor que el primer valor (T_{200_1}).
3. Subestación de alimentación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, en la que los medios (40) de entrada de aire comprenden dos cajas ubicadas en dos paredes opuestas del recinto (30) y el dispositivo de ventilación comprende dos ventiladores tangenciales (140).
4. Subestación de alimentación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en la que el compartimento (200) de conversión de frecuencia comprende medios (250) de ventilación forzada y medios de regulación de los primer y segundo compartimentos (100, 100') que comprenden medios de extracción (150) y medios para poner en marcha dichos medios de extracción (150) cuando los medios (250) de ventilación forzada del compartimento (200) de conversión de frecuencia están activados.
5. Subestación de alimentación de acuerdo con la reivindicación anterior que comprende medios (60) de medición de la temperatura externa, y los medios de regulación de los primer y segundo compartimentos (100, 100') comprenden medios para determinar el valor límite (T_{100_ref}) de la temperatura medida en el recinto (T₁₀₀) en función de la temperatura externa medida (T_{ext}).
6. Subestación de alimentación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el primer y el segundo compartimentos (100, 100') comprenden:
- al menos un ventilador tangencial (140) situado cerca de los medios (40) de entrada de aire;
 - medios de extracción (150) asociados con los medios (50) de salida de aire;
 - segundos medios (160) para medir la temperatura (T₁₁₀) dentro del transformador (105) de tensión;
 - la puesta en marcha de los medios de extracción (150) y los ventiladores tangenciales (140) en función de la temperatura (T₁₀₀, T₁₁₀) medida por los primeros y segundos medios (160, 165);
- en la que los medios de regulación comprenden medios para imponer una velocidad (V₁₅₀) en función de la temperatura en el recinto (T₁₀₀) a los medios de extracción (150) cuando dicha temperatura (T₁₀₀) excede un valor límite (T_{100_ref}).
7. Subestación de alimentación de acuerdo con la reivindicación anterior, en la que el transformador (105) es un transformador de tipo seco con tres enrollamientos de baja tensión (110) y tres enrollamientos de media tensión, y los segundos medios comprenden tres sensores de temperatura (160) asociados con cada uno de los enrollamientos de baja tensión (110), comprendiendo los medios de regulación medios para poner en marcha los ventiladores tangenciales (140) cuando la temperatura (T₁₁₀) medida por uno de los tres sensores (160) excede un primer umbral (T_{110_1}).

8. Subestación de alimentación de acuerdo con la reivindicación 7, en la que los medios de regulación comprenden medios para detener los ventiladores (140) cuando los tres sensores de temperatura (160) dan un valor de temperatura por debajo de un segundo umbral (T_{110_0}) y si la temperatura (T_{110}) medida por uno de los tres sensores (160) es menor que un valor de alerta ($T_{110_m\acute{a}x}$).
- 5 9. Procedimiento de regulación de la temperatura de un compartimento (200) de una subestación de alimentación portuaria (10) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende un recinto (30) provisto de una entrada de aire (40), una salida de aire (50) asociada con medios de extracción (250), y que aloja al menos un aparato (205) de conversión de frecuencia asociado con un ventilador (240), comprendiendo dicho procedimiento:
- 10 - la puesta en marcha de los aparatos de conversión (205);
 - la medición de temperatura (T_{200}) interna en el compartimento (200);
 - el accionamiento de la extracción de aire cuando la temperatura está por encima de un valor límite (T_{200_ref}), dependiendo la velocidad de extracción (V_{250}) de la temperatura interna (T_{200}).
10. Procedimiento de regulación de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la puesta en marcha de los aparatos de conversión (205) está precedido por una fase de verificación de las condiciones ambientales, que comprende:
- 15 - la medición de la temperatura interna (T_{200}) en el compartimento (200) y el calentamiento de dicho compartimento (200) siempre que la temperatura medida esté por debajo de un umbral crítico ($T_{200_m\acute{i}n}$), manteniéndose el calentamiento durante al menos un primer periodo (t_1) después de que la temperatura haya alcanzado dicho umbral ($T_{100_m\acute{i}n}$);
 - la determinación del nivel de humedad (HR_{200}) interno en el compartimento y la implementación de medios de reducción del nivel por debajo de un umbral ($HR_{200_m\acute{i}n}$), manteniéndose los medios de implementación de la reducción durante al menos un segundo periodo (t_3) después de que se haya alcanzado el umbral ($HR_{200_m\acute{i}n}$);
 - la puesta en marcha de los ventiladores (240) una vez que se hayan cumplido las condiciones;
 - la detención de los ventiladores (240) después de un tercer periodo (t_2).
- 25 11. Procedimiento de regulación de acuerdo con la reivindicación 10 que comprende, después de la verificación de las condiciones ambientales y antes de la puesta en marcha de los aparatos de conversión (205), etapas de mantenimiento de las condiciones ambientales, que comprenden:
- 30 - el mantenimiento de la temperatura interna (T_{200}) por encima del valor crítico ($T_{200_m\acute{i}n}$);
 - el mantenimiento del nivel de humedad (HR_{200}) por debajo de un valor crítico ($HR_{200_m\acute{i}n}$), realizándose dicho mantenimiento por accionamiento de los ventiladores (240) o calentamiento (220) de acuerdo con la temperatura interna (T_{200}).
12. Procedimiento de regulación de acuerdo con la reivindicación 11, en el que las etapas de mantenimiento comprenden además el mantenimiento de la temperatura interna en un intervalo predeterminado alrededor de la temperatura externa (T_{ext}) cuando la temperatura interna está por encima de un valor superior (T_{200_2}) mediante la puesta en marcha de la extracción de aire.

35

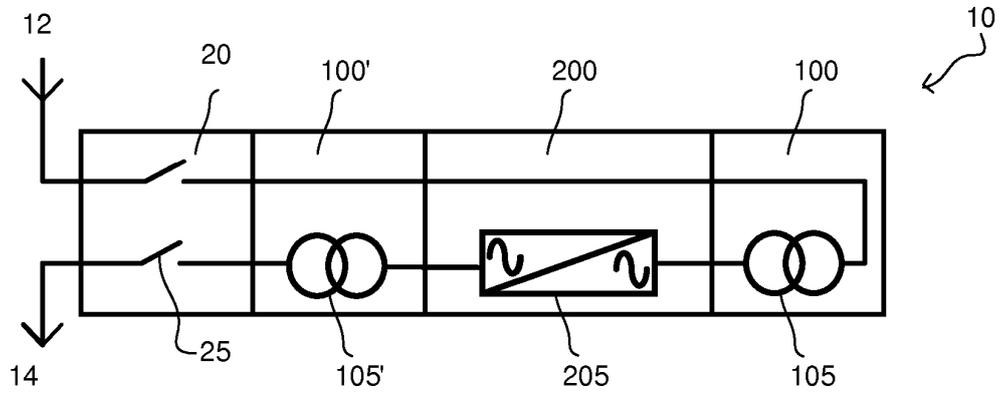


Fig.1

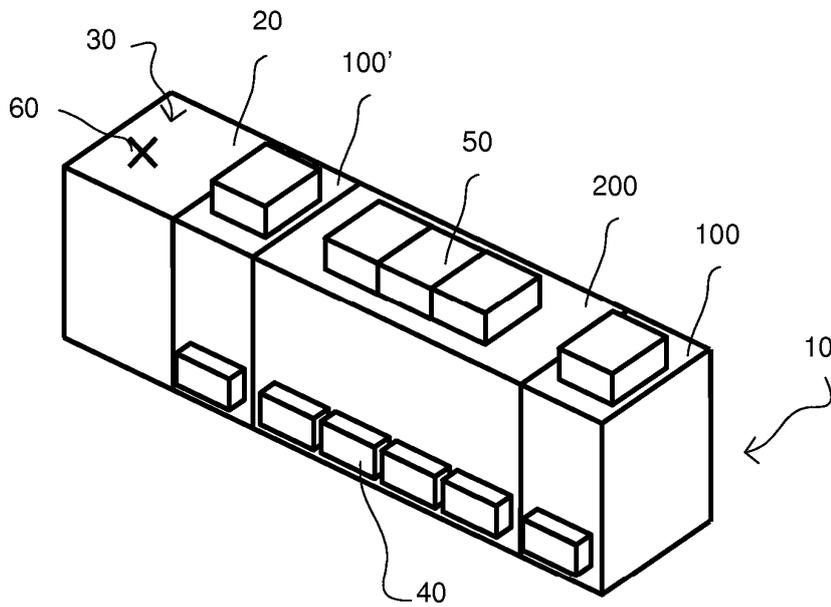


Fig.2

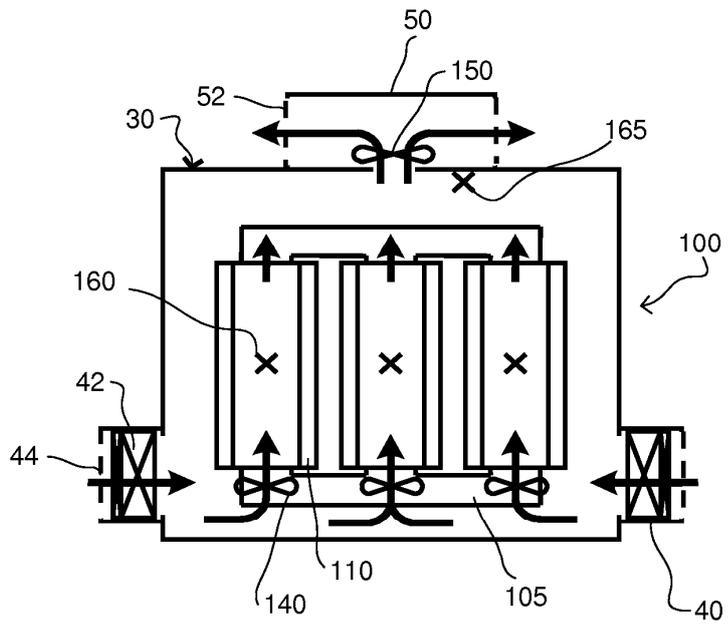


Fig.3

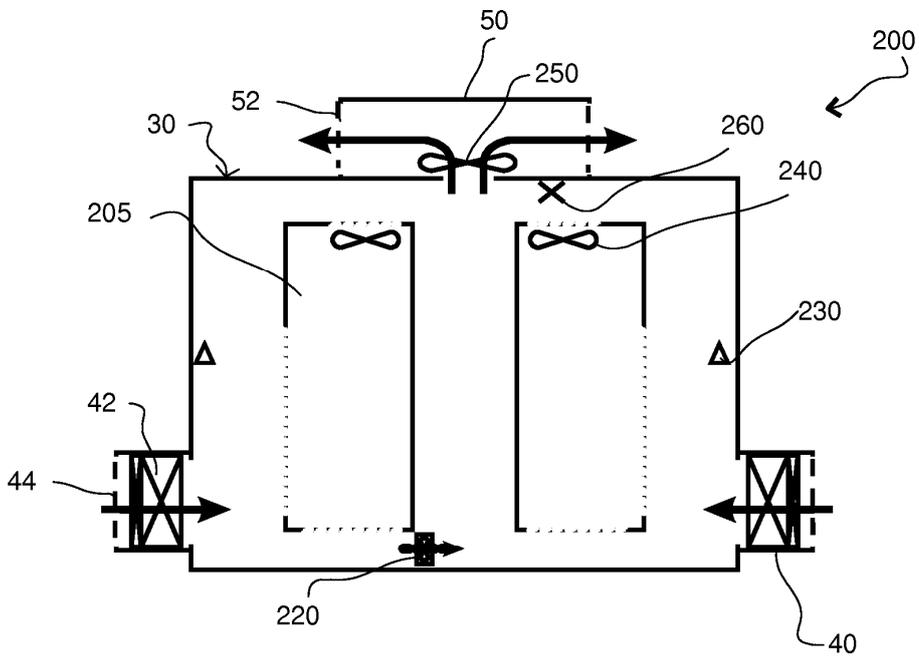


Fig.5

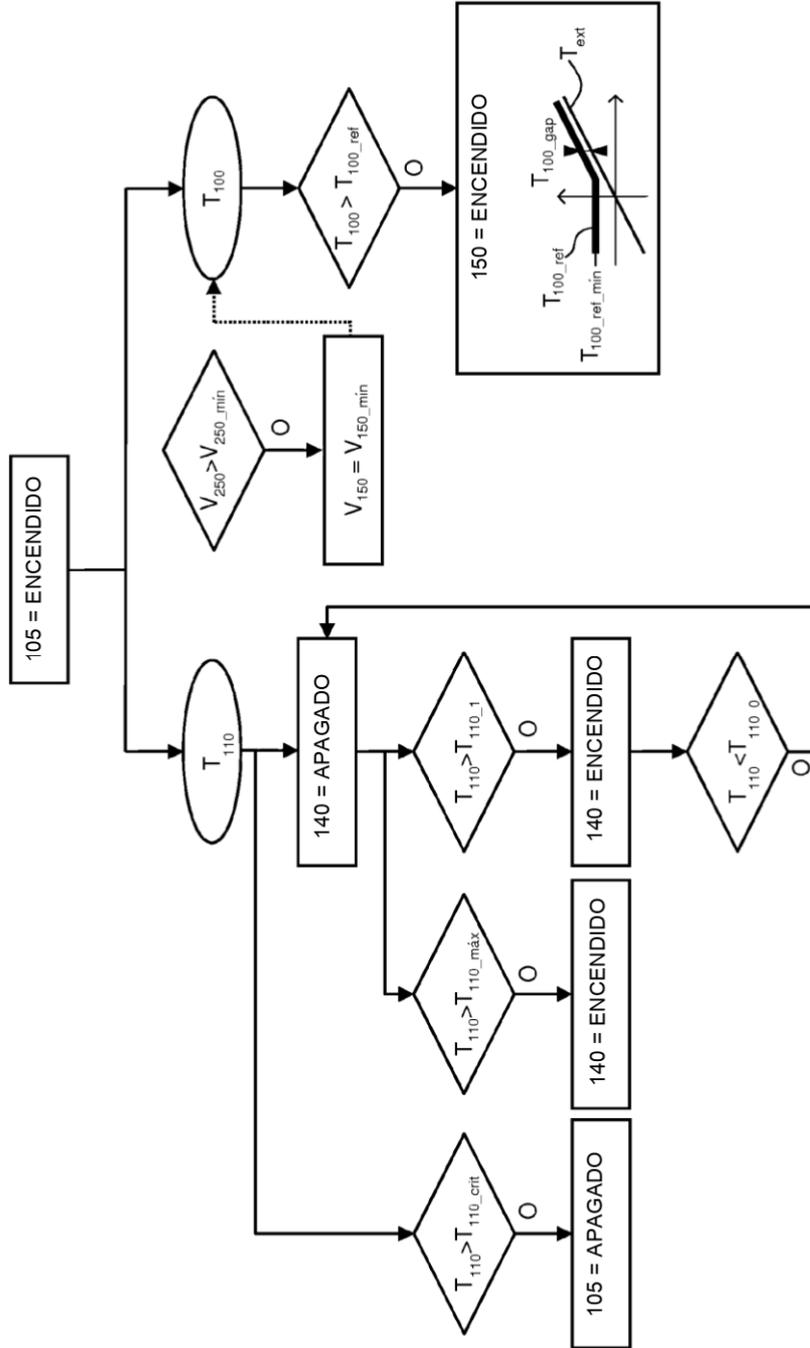


Fig.4

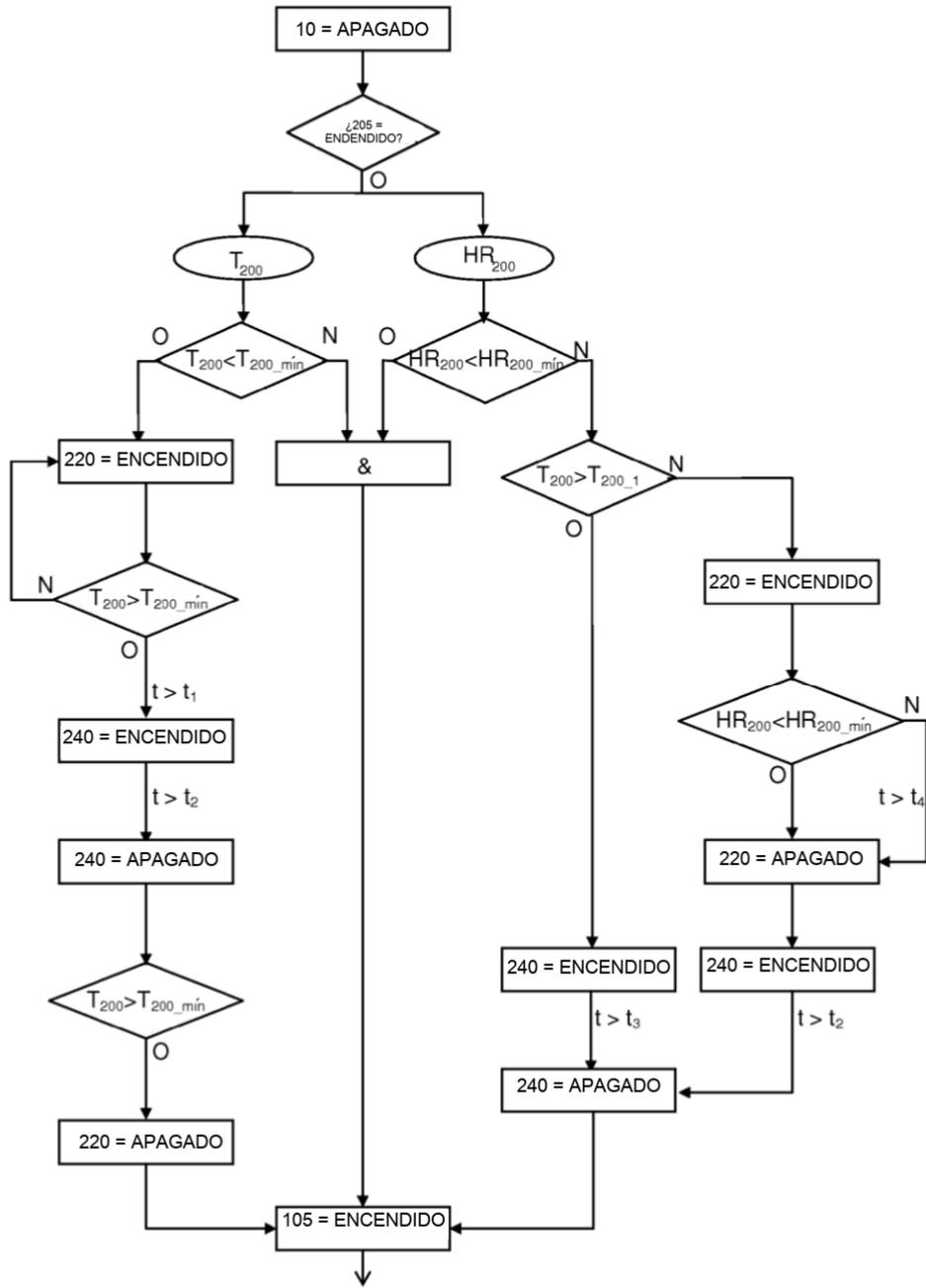


Figura 6B

Fig.6A

