

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 800 153**

51 Int. Cl.:

**G05B 23/02** (2006.01)

**F24F 11/38** (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2017** **E 17382730 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020** **EP 3477409**

54 Título: **Un método implementado por ordenador, un programa de ordenador y un aparato para el diagnóstico de anomalías en un sistema de refrigeración**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.12.2020**

73 Titular/es:

**AKO ELECTROMECAÁNICA, S.A.L. (50.0%)**  
**Av. Roquetes, 30-38**  
**08812 Sant Pere de Ribes (Barcelona), ES y**  
**UNIVERSITAT DE LLEIDA (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ROVIRA RAVENTÓS, RICARDO;**  
**MORENO ARGILES, PERE;**  
**ALBETS CHICO, XAVIER;**  
**GONZÁLEZ SÁNCHEZ, MIGUEL ANGEL;**  
**CABEZA FABRA, LUISA FERNANDA;**  
**DE GRACIA, ALVARO;**  
**ZSEMBINSZKI, GABRIEL y**  
**MALDONADO, JOSE MIGUEL**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

**ES 2 800 153 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**

Un método implementado por ordenador, un programa de ordenador y un aparato para el diagnóstico de anomalías en un sistema de refrigeración

5

**Campo de la invención**

La presente invención generalmente se refiere, en un primer aspecto, a un método implementado por ordenador para el diagnóstico de anomalías en un sistema de refrigeración, y más particularmente a un método que proporciona un diagnóstico automático de diferentes anomalías basado en la detección de variaciones anómalas asociadas.

10

Un segundo y un tercer aspecto de la invención se refieren respectivamente a un programa de ordenador y a un aparato para el diagnóstico de anomalías en un sistema de refrigeración que implementa el método del primer aspecto de la invención.

15

**Antecedentes de la invención**

El mantenimiento adecuado de los equipos de refrigeración es crucial para su funcionamiento y para evitar reparaciones costosas. La detección de posibles averías del sistema a veces es compleja y a menudo requiere mediciones directas, lo que limita en gran medida la capacidad de detección de la anomalía, ya que cuando se detecta la avería, esta representa un alto costo de reparación y/o ha causado una operación ineficiente del sistema durante un largo período de tiempo.

20

Un claro ejemplo es la fuga de refrigerante en el sistema, donde la medición directa (detección de gas en la cámara) dará la alarma de la fuga de refrigerante solo cuando la concentración de dicho gas en la cámara sea considerable. Por lo tanto, por un lado, el sistema habrá estado funcionando durante muchas horas con un nivel de refrigerante indeseable y, por otro lado, el circuito de refrigeración habrá perdido gran parte del refrigerante por fugas, causando un alto costo para el llenado de refrigerante para volver a poner en marcha el sistema de refrigeración. También hay algunas anomalías del sistema que son difíciles de detectar mediante mediciones directas, como la presencia de suciedad en el evaporador y/o en el condensador. Por lo tanto, se desean mediciones indirectas para detectar algunas de dichas anomalías.

25

Existen algunas propuestas que incluyen las mediciones indirectas mencionadas anteriormente, tal como la divulgada en el documento US7082380B2, que describe un método que comprende:

30

- un proceso de modo de aprendizaje que comprende realizar mediciones de varios parámetros operativos del sistema de refrigeración cuando se opera en condiciones de trabajo conocidas sin anomalías; y

35

- un proceso de evaluación que comprende realizar mediciones de al menos dichos parámetros operativos cuando se desconocen las condiciones de trabajo del sistema de refrigeración, y evaluar los valores obtenidos de dichas mediciones.

La propuesta hecha por US7082380B2 no está dirigida en general al diagnóstico automático, sino que solo tiene la intención de proporcionar un primer intento de diagnóstico, es decir, una base desde la cual un operador/técnico experto puede determinar un diagnóstico preciso. Por lo tanto, la intervención de dicho operador / técnico experto es necesaria para proporcionar el diagnóstico. Además, solo se determina una anomalía de acuerdo con el documento US7082380B2.

40

El documento US 2007/0156373 A1 muestra un aparato de diagnosis de fallos para un sistema de refrigeración.

45

El documento XP 55471814 muestra una clasificación de máquina de vectores de soporte (SVM, siglas de los términos en inglés "Support Vector Machine") basada en una variación de la distancia de Mahalanobis.

Por lo tanto, es necesario proporcionar una alternativa al estado de la técnica que cubra las lagunas halladas en el mismo, proporcionando un método que realmente proporcione un diagnóstico automático y completo de diferentes anomalías que ocurren en un sistema de refrigeración, basado en mediciones indirectas.

50

**Exposición de la invención**

Con ese fin, la presente invención se refiere, en un primer aspecto, a un método implementado por ordenador para el diagnóstico de anomalías en un sistema de refrigeración, en el que dicho sistema de refrigeración comprende al menos una cámara de refrigeración, un evaporador, un compresor y un condensador, el método que comprende:

55

- un proceso de modo de aprendizaje, o fase de entrenamiento, que comprende realizar mediciones de varios parámetros operativos del sistema de refrigeración cuando se opera en condiciones de trabajo conocidas sin anomalías; y

60

- un proceso de evaluación que comprende realizar mediciones de al menos dichos parámetros operativos cuando se desconocen las condiciones de trabajo del sistema de refrigeración, y evaluar los valores obtenidos de dichas mediciones.

A diferencia de los métodos conocidos en la técnica anterior, en el del primer aspecto de la presente invención:

- el proceso de modo de aprendizaje comprende además definir una pluralidad de anomalías diferentes en el funcionamiento del sistema de refrigeración, cada una de dichas anomalías asociadas a una o más variaciones anómalas específicas correspondientes de uno o más de dichos parámetros operativos; y

5 - el proceso de evaluación comprende diagnosticar automáticamente que se ha producido una de dichas anomalías diferentes cuando se han detectado las una o más variaciones anómalas específicas asociadas a la misma;

En otras palabras, el método del primer aspecto de la invención diagnostica automáticamente "enfermedades" (anomalías) basándose en la detección de "síntomas" asociados (variaciones anómalas).

10 Las mediciones de los parámetros operativos realizadas de acuerdo con el método del primer aspecto de la invención pueden considerarse mediciones indirectas, ya que no proporcionan una medición directa de la "enfermedad" sino de los "síntomas" de la misma.

15 Para una realización, el proceso de modo de aprendizaje mencionado anteriormente comprende realizar dichas mediciones de varios parámetros operativos del sistema de refrigeración cuando opera bajo varias y diferentes condiciones de trabajo de contorno, sin anomalías, para obtener grupos correspondientes de diferentes valores de referencia saludables, cada grupo asociado a una respectiva de dichas condiciones de trabajo de contorno.

20 Según una implementación de dicha realización, el método del primer aspecto de la presente invención comprende además obtener mediante cálculo, en el proceso de modo de aprendizaje, grupos correspondientes de valores de referencia virtuales mediante la aplicación de desviaciones específicas a al menos algunos de los valores de referencia saludables, donde cada una de dichas desviaciones específicas corresponde a una respectiva de dichas variaciones anómalas.

25 Para una variante de dicha implementación, el método comprende obtener, mediante cálculo, varios conjuntos de dichos grupos de valores de referencia virtuales, cada conjunto para una respectiva de dichas anomalías diferentes, aplicando las desviaciones específicas correspondientes a las variaciones anómalas de la anomalía correspondiente a al menos algunos de los valores de referencia saludables.

30 Para una realización, el método del primer aspecto de la presente invención comprende comparar, en el proceso de evaluación, los valores obtenidos a partir de las mediciones de los parámetros operativos con los valores de referencia saludables y con los valores de referencia virtuales, para diagnosticar si el sistema de refrigeración está funcionando bajo condiciones sin anomalías o trabajando con algunas de dichas anomalías diferentes, y en ese último caso también para identificar cuál de las diferentes anomalías está ocurriendo, dependiendo del resultado de dicha comparación.

35 Para una implementación preferida de la realización mencionada anteriormente, el método del primer aspecto de la invención comprende usar un algoritmo de máquina de vectores de soporte (SVM) para clasificar los valores de referencia saludables y los valores de referencia virtuales asociados a cada anomalía en diferentes clases, y para realizar la comparación mencionada anteriormente del proceso de evaluación para determinar a cuál de las clases pertenecen los valores de los parámetros operativos medidos actualmente.

40 De acuerdo con una realización, los grupos de valores de referencia saludables mencionados anteriormente incluyen valores de indicadores saludables y valores de control saludables, en donde los grupos de valores de referencia virtuales también incluyen primeros valores de referencia virtuales obtenidos mediante la aplicación de dichas desviaciones específicas a los valores de indicadores saludables, y, asociados a esto, segundos valores de referencia virtuales constituidos directamente por los valores de control sanos, sin modificar.

45 Preferiblemente, el método del primer aspecto de la invención comprende realizar la comparación del proceso de evaluación para todos los valores de cada grupo, incluyendo, con respecto a los grupos de valores de referencia virtuales, los primeros y los segundos valores de referencia virtuales, y, con respecto a los grupos de valores de referencia saludables, los valores de indicadores saludables y los valores de control saludables.

50 Para una realización, el método del primer aspecto de la invención comprende almacenar los grupos de valores de referencia saludables y de valores de referencia virtuales en estructuras de datos respectivas, tales como bases de datos, y actualizar las estructuras de datos con los valores correspondientes de los parámetros operativos medidos en el proceso de evaluación.

Para una realización preferida:

60 - los valores de indicadores saludables corresponden a los siguientes parámetros operativos del sistema de refrigeración: presión de evaporación en el evaporador, presión de condensación en el condensador y grado de subenfriamiento, y

- los valores de control saludables corresponden a los siguientes parámetros operativos del sistema de refrigeración: temperatura de la cámara de refrigeración, temperatura fuera de la cámara de refrigeración y grado de sobrecalentamiento.

65

Sin embargo, para otras realizaciones, otros parámetros operativos diferentes y alternativamente o de manera complementaria a los enumerados anteriormente, se usan como valores de indicadores saludables y/o valores de control saludables.

5 Según una realización, el método del primer aspecto de la presente invención comprende realizar las mediciones mencionadas anteriormente de los parámetros operativos, tanto para el proceso del modo de aprendizaje como para el proceso de evaluación, después de un proceso de descongelación, para grupos de N mediciones dentro de un intervalo de tiempo justo antes de que la temperatura de la cámara de refrigeración llegue a un valor predeterminado de consigna, en el que dicho intervalo de tiempo dura segundos o minutos, y en el que cada uno de dichos valores obtenidos  
10 corresponde a un promedio aritmético de las N mediciones de un correspondiente de dichos grupos de N mediciones.

Preferiblemente, el método de la presente invención comprende realizar las mediciones mencionadas anteriormente cuando el condensador del sistema de refrigeración no está expuesto a la radiación solar.

15 En general, las mediciones mencionadas anteriormente se realizan después de cualquier proceso de descongelación, y la comparación descrita anteriormente, a través del algoritmo SVM o por medio de otro tipo de algoritmos, también se realiza con las mediciones obtenidas y con respecto tanto a los valores de referencia saludables como a los valores de referencia virtuales.

20 Se realizan diferentes acciones automáticas, para algunas realizaciones, basadas en el resultado de dicha comparación. Por ejemplo, si se detecta una anomalía para M puntos consecutivos, se puede activar una alarma o incluso el sistema de refrigeración se puede detener automáticamente, dependiendo de la gravedad del problema.

25 El método del primer aspecto de la presente invención es aplicable a todos los tipos de sistemas de refrigeración como se definió anteriormente, es decir, que incluyen una cámara de refrigeración, preferiblemente para sistemas de refrigeración autónomos, ya que el método determina si el sistema de refrigeración está funcionando correctamente o con alguna anomalía mediante la comparación de la medición de las variables/parámetros descritos anteriormente con, entre otros, una base de datos saludable generada a partir de medidas del sistema en su funcionamiento real. Es decir, el método no se limita a un equipo específico cuya operación correcta ha sido probada por el fabricante.

30 A partir de entonces, siempre que haya un proceso de descongelación durante la noche, el punto estable medido se comparará con las diferentes bases de datos (saludables y de cada anomalía a detectar) utilizando la SVM (máquina de vectores de soporte). En caso de que el punto se clasifique como saludable, este punto pasará a formar parte de la base de datos de estados saludables. En caso de que unos puntos M consecutivos se clasifiquen como anomalía X, el sistema  
35 dará la alarma o detendrá el sistema, dependiendo de la gravedad del problema.

Con respecto a las mencionadas anteriormente como diferentes anomalías, estas incluyen las siguientes anomalías asociadas a la variación anómala de los parámetros operativos que se indica a continuación:

- 40 - Fugas del refrigerante, asociadas a una disminución de la presión de evaporación, una disminución de la presión de condensación y una disminución del grado de subenfriamiento;
- Suciedad en el condensador, asociada a un aumento en ambos, la presión de condensación y el grado de subenfriamiento;
- 45 - Suciedad en el evaporador, asociada a una disminución de la presión de evaporación;
- Suciedad en el evaporador y en el condensador, asociada a un aumento en la presión de condensación, a una disminución en la presión de evaporación y a un aumento en el grado de subenfriamiento;
- Fugas de refrigerante y suciedad en el condensador, asociadas a un aumento en la presión de condensación y a una disminución en el grado de subenfriamiento;
- Fugas de refrigerante y suciedad en el evaporador, asociadas a una disminución en todos, la presión de evaporación, la presión del condensador y el grado de subenfriamiento; y
- 50 - Fugas de refrigerante y suciedad en el evaporador y en el condensador, asociadas a una disminución en la presión de evaporación, un aumento en la presión del condensador y una disminución en el grado de subenfriamiento.

La presente invención también se refiere, en un segundo aspecto, a un programa de ordenador, que comprende instrucciones de código de programa que cuando se ejecutan en un ordenador o un procesador implementan las etapas del método del primer aspecto de la invención.  
55

Además, en un tercer aspecto, la presente invención se refiere a un aparato para el diagnóstico de anomalías en un sistema de refrigeración de una cámara de refrigeración, que comprende:

- 60 - una pluralidad de sensores configurados y dispuestos para medir varios parámetros operativos del sistema de refrigeración, y proporcionar unas señales eléctricas correspondientes representativas de las mediciones; y
- una unidad electrónica configurada y dispuesta para recibir dichas mediciones, y que comprende medios de almacenamiento para almacenar al menos datos representativos de dichas mediciones y datos que definen una pluralidad de anomalías diferentes en el funcionamiento del sistema de refrigeración, y medios de procesamiento para procesar todos dichos datos de acuerdo con el método de cualquiera del primer aspecto de la invención.

65

**Breve descripción de las figuras**

A continuación, se describirán algunas realizaciones preferidas de la invención con referencia a las figuras adjuntas. Se proporcionan solo con fines ilustrativos, sin limitar el alcance de la invención.

La Figura 1 ilustra esquemáticamente el aparato del tercer aspecto de la invención aplicado a un sistema de refrigeración.

La Figura 2 es un diagrama de flujo representativo de un algoritmo que implementa el método del primer aspecto de la invención.

La Figura 3 es un gráfico que muestra la evolución de la temperatura frente al tiempo de una cámara de refrigeración alrededor de un ciclo de descongelación, después del cual se define un intervalo de tiempo de medición para realizar mediciones estables confiables de acuerdo con el método del primer aspecto de la invención.

**Descripción de realizaciones preferidas**

La Figura 1 ilustra esquemáticamente el aparato del tercer aspecto de la invención aplicado a un sistema de refrigeración que comprende una cámara de refrigeración (no mostrada), un evaporador E, un compresor C, un condensador CD y una válvula de expansión V.

El aparato incluye sensores de temperatura St1-St4 y sensores de presión Sp1-Sp2 configurados y dispuestos para medir varios parámetros operativos del sistema de refrigeración, y proporcionar unas señales eléctricas correspondientes representativas de las mediciones. Específicamente, los siguientes parámetros operativos se miden con estos sensores o se obtienen de las mediciones realizadas con ellos:

- Presión de evaporación ( $P_1$ ) [Pa], con el sensor de presión Sp1.
- Presión de condensación ( $P_2$ ) [Pa], con el sensor de presión Sp2.
- Temperatura de la cámara ( $T_{cam}$ ) [°C], con el sensor de temperatura St4.
- Temperatura exterior ( $T_{ext}$ ) [°C], con el sensor de temperatura St3.
- Grado de sobrecalentamiento ( $T_{SH}$ ) [°C], obtenido de la diferencia entre la temperatura medida con St1 y la temperatura de evaporación basada en la presión medida con Sp1.
- Grado de subenfriamiento ( $T_{SC}$ ) [°C], obtenido de la diferencia entre la temperatura medida con St2 y la temperatura de condensación basada en la presión medida con Sp2.

El aparato del segundo aspecto de la presente invención también incluye una unidad electrónica CU configurada y dispuesta para recibir dichas mediciones, mediante las correspondientes conexiones cableadas y/o inalámbricas (no mostradas) con los sensores, y que comprende medios de almacenamiento para almacenar al menos datos representativos de dichas mediciones y datos que definen una pluralidad de anomalías diferentes en el funcionamiento del sistema de refrigeración, y medios de procesamiento para procesar todos dichos datos de acuerdo con el método del primer aspecto de la invención.

A continuación, se proporciona una descripción detallada de algunas realizaciones del método del primer aspecto de la invención, que incluye tanto la fase de entrenamiento/aprendizaje como la fase de evaluación.

*Principio de funcionamiento:*

Como se indicó en una sección anterior, la presente invención propone diagnosticar automáticamente en un sistema de refrigeración, generalmente en una cámara de refrigeración autónoma del mismo, diferentes anomalías, como las que se refieren a fugas de refrigerante, problemas de funcionamiento del evaporador y/o condensador tal como los relativos a suciedad acumulada o fallas del ventilador, así como la combinación de tales anomalías en el evaporador y en el condensador. Para hacer esto, el aparato/método de la presente invención medirá y registrará varios parámetros cuando el sistema de refrigeración esté funcionando correctamente, libre de anomalías, y los almacenará en memoria como puntos "saludables" o valores de referencia saludables HR, incluido valores de indicadores saludables HRi y valores de control saludables HRc.

Además, el método del primer aspecto de la invención genera virtualmente desviaciones de estos puntos saludables para almacenarlos como puntos "enfermos", que son necesarios en el proceso de detección e identificación de anomalías. Específicamente, dichos puntos "enfermos", o valores de referencia virtuales VR, incluyen unos primeros valores de referencia virtuales VRi, obtenidos mediante la aplicación de las desviaciones a los valores de indicadores saludables HRi, y unos segundos valores de referencia virtuales VRc que coinciden con los valores de control saludables HRc.

La secuencia de detección se detalla a continuación, para algunas realizaciones.

**Paso 1:** Después de la instalación del sistema/equipo de refrigeración, se miden los datos saludables del sistema para conocer su funcionamiento en diferentes condiciones de funcionamiento (diferentes temperaturas externas, diferentes temperaturas de consigna y diferentes grados de sobrecalentamiento) cuando no hay anomalías. Esta fase es denominada aquí como fase de entrenamiento, o proceso de modo de aprendizaje, durante el cual se registran los valores

medidos para las siguientes seis variables, o parámetros operativos (obtenidos como se describe anteriormente con referencia a la Figura 1):

- Presión de evaporación ( $P_1$ ) [Pa]
- Presión de condensación ( $P_2$ ) [Pa]
- Temperatura de la cámara ( $T_{cam}$ ) [°C]
- Temperatura exterior ( $T_{ext}$ ) [°C]
- Grado de sobrecalentamiento ( $T_{SH}$ ) [°C]
- Grado de subenfriamiento ( $T_{SC}$ ) [°C]

Como ejemplo, los valores obtenidos de las mediciones de cuatro puntos/estados "saludables" estables realizados durante la fase de entrenamiento se muestran en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1. Ejemplo de medición de estados saludables durante la fase de entrenamiento

$T_{SH}$ (°C)	$T_{SC}$ (°C)	$T_{ext}$ (°C)	$T_{cam}$ (°C)	$P_1$ (bar)	$P_2$ (bar)
9,08	5,61	24,26	-18,47	0,97	14,31
9,41	5,46	24,98	-18,48	0,95	14,55
9,80	5,40	25,05	-18,44	0,94	14,47
8,73	5,48	24,89	-18,58	0,96	14,54

Cada fila de valores de la Tabla 1 anterior es lo que en una sección anterior se ha denominado un grupo de valores de referencia saludables HR, estando cada grupo asociado a una respectiva de varias y diferentes condiciones de trabajo de contorno, y formando un estado saludable correspondiente.

Los valores para los parámetros  $T_{SC}$ ,  $P_1$  y  $P_2$  se consideran valores de indicadores saludables HRi, mientras que los valores para los parámetros  $T_{cam}$ ,  $T_{ext}$  y  $T_{SH}$  se consideran valores de control saludables HRc.

**Paso 2:** Para cada punto/estado saludable medido durante la fase de entrenamiento, se genera virtualmente un estado enfermo para cada anomalía. Para esto, a partir de pruebas empíricas previas, se sabe cómo deberían desviarse dichos datos para cada una de las anomalías que pueden ocurrir en el sistema. Por ejemplo, las siguientes desviaciones específicas (que pueden variar para diferentes sistemas de refrigeración) se aplican para diferentes anomalías (o "enfermedades"), según algunas realizaciones, para obtener algunos de los valores virtuales de las Tablas 2 a 5 que se muestran a continuación, cada una para una anomalía diferente

Cada fila de valores de las Tablas 2 a 5 corresponde a lo que en una sección anterior se ha denominado un grupo de valores de referencia virtuales VR, mientras que cada una de las Tablas 2 a 5 corresponde a lo que en una sección anterior se ha denominado un conjunto de grupos de valores de referencia virtuales VR. Específicamente, a continuación se definen cuatro anomalías diferentes, basadas en las desviaciones correspondientes de uno o más de los parámetros operativos  $T_{SC}$ ,  $P_1$  y  $P_2$ .

**Anomalía 1 – Fuga de refrigerante:**

- Disminuir  $T_{SC}$  en un 7,3%.
- Disminuir  $P_1$  en un 1%.
- Disminuir  $P_2$  en un 1,1%.

Tabla 2. Ejemplo de generación virtual de puntos con Anomalía 1

$T_{SH}$ (°C)	$T_{SC}$ (°C)	$T_{ext}$ (°C)	$T_{cam}$ (°C)	$P_1$ (bar)	$P_2$ (bar)
9,08	5,20	24,26	-18,47	0,96	14,15
9,41	5,06	24,98	-18,48	0,94	14,39
9,80	5,01	25,05	-18,44	0,93	14,31
8,73	5,08	24,89	-18,58	0,95	14,38

**Anomalía 2 - Suciedad en el condensador:**

- Incrementar  $T_{SC}$  en un 3,5%.
- Incrementar  $P_2$  en uno 2,6%.

Tabla 3. Ejemplo de generación virtual de puntos con Anomalía 2

$T_{SH}$ (°C)	$T_{SC}$ (°C)	$T_{11}$ (°C)	$T_{14}$ (°C)	$P_1$ (bar)	$P_2$ (bar)
9,08	5,81	24,26	-18,47	0,97	14,68
9,41	5,65	24,98	-18,48	0,95	14,93
9,80	5,59	25,05	-18,44	0,94	14,84
8,73	5,67	24,89	-18,58	0,96	14,92

**Anomalía 3 - Suciedad en el evaporador:**

- Disminuir  $P_1$  en un 2,7%.

Tabla 4. Ejemplo de generación virtual de puntos con Anomalía 3

T <sub>SH</sub> (°C)	T <sub>SC</sub> (°C)	T <sub>11</sub> (°C)	T <sub>14</sub> (°C)	P <sub>1</sub> (bar)	P <sub>2</sub> (bar)
9,08	5,61	24,26	-18,47	0,94	14,31
9,41	5,46	24,98	-18,48	0,92	14,55
9,80	5,40	25,05	-18,44	0,91	14,47
8,73	5,48	24,89	-18,58	0,93	14,54

Anomalía 4 - Suciedad en el condensador y en el evaporador:

- Incrementar P<sub>2</sub> en un 2,2%.
- Disminuir P<sub>1</sub> en un 2,2%.
- Incrementar T<sub>sc</sub> en un 3,4%.

Tabla 5. Ejemplo de generación virtual de puntos con Anomalía 4

T <sub>SH</sub> (°C)	T <sub>SC</sub> (°C)	T <sub>11</sub> (°C)	T <sub>14</sub> (°C)	P <sub>1</sub> (bar)	P <sub>2</sub> (bar)
9,08	5,80	24,26	-18,47	0,95	14,62
9,41	5,65	24,98	-18,48	0,93	14,87
9,80	5,58	25,05	-18,44	0,92	14,79
8,73	5,67	24,89	-18,58	0,94	14,86

Como se muestra en las Tablas 2 a 5 anteriores, algunos de los valores de referencia virtuales VR incluidos allí son idénticos a los correspondientes de la Tabla 1, particularmente los segundos valores de referencia virtuales VRc son idénticos a los valores de control saludable HRc, es decir, los de los parámetros operativos de control T<sub>SH</sub>, T<sub>ext</sub> y T<sub>cam</sub>, mientras que el resto de valores, es decir, los primeros valores de referencia virtuales VRi son los obtenidos aplicando las desviaciones indicadas anteriormente a los valores de indicadores saludables HRi para algunos o todos los mismos parámetros operativos de la Tabla 1, es decir, T<sub>sc</sub>, P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub>.

Tanto los valores de referencia saludables HR (incluidos HRi y HRc) como los valores de referencia virtuales VR (incluidos VRi y VRc) se agrupan en bases de datos de acuerdo con unas nubes de puntos correspondientes, para una realización preferida.

Paso 3: Una vez que finaliza la fase de entrenamiento, comienza la fase de detección o el proceso de evaluación. Las mediciones se realizan después de un proceso de descongelación (asegurando que no haya hielo en el evaporador), justo antes de alcanzar la temperatura de consigna, siempre que el condensador no esté expuesto a la radiación solar (noche), para obtener puntos estables, cuyo cálculo será detallado más abajo con referencia a la Figura 3.

En esta fase, cada vez que se calcule un estado estable, se comprobará a cuál de las nubes de puntos mencionadas anteriormente (la registrada experimentalmente de los estados saludables HR, o las generadas virtualmente VR como correspondientes a anomalías), para diagnosticar si el estado es saludable o presenta alguna anomalía, por medio de la Máquina algorítmica de vectores de soporte (SVM). En el caso donde el algoritmo determina que el estado es saludable, la base de datos de estados saludables se expande con los nuevos datos medidos, y las bases de datos de estados de anomalías también se expanden ya que el Paso 2 se realiza con el nuevo punto medido. En caso de que el punto medido se diagnostique como anómalo, se identifica el tipo de anomalía y se notifica al operador o al instalador, o se realiza un control automático del sistema de refrigeración para corregir la anomalía identificada.

Como ejemplo, si en el Paso 3 el punto estable da como medidas las variables en la Tabla 6 que se muestra a continuación, el algoritmo SVM lo clasifica como un punto saludable y, por lo tanto, genera los puntos virtuales "enfermos" que se muestran en la Tabla 7 a continuación y se agregan a las bases de datos correspondientes.

Tabla 6. Ejemplo de medición de un punto de estado saludable

T <sub>SH</sub> (°C)	T <sub>SC</sub> (°C)	T <sub>11</sub> (°C)	T <sub>14</sub> (°C)	P <sub>1</sub> (bar)	P <sub>2</sub> (bar)
9,40	5,38	25,04	-18,37	0,97	14,49

Tabla 7. Ejemplo de generación de estados "enfermos" virtuales a partir de la medición del estado saludable del paso 2

	T <sub>SH</sub> (°C)	T <sub>SC</sub> (°C)	T <sub>11</sub> (°C)	T <sub>14</sub> (°C)	P <sub>1</sub> (bar)	P <sub>2</sub> (bar)
SALUDABLE	9,40	5,38	25,04	-18,37	0,97	14,49
ANOMALÍA 1	9,40	5,20	25,04	-18,37	0,96	14,33
ANOMALÍA 2	9,40	5,57	25,04	-18,37	0,97	14,87
ANOMALÍA 3	9,40	5,38	25,04	-18,37	0,94	14,49
ANOMALÍA 4	9,40	5,56	25,04	-18,37	0,95	14,81

*Detalle del cálculo de los estados estables:*

Para poder medir de manera fiable el estado del sistema de refrigeración, y debido a su naturaleza periódica (el compresor se enciende y apaga), la metodología utilizada para medir estados estables se muestra en la Figura 3.

La medición en estado estable debe realizarse después de un proceso de descongelación y por la noche. La razón de estos requisitos es para poder obtener siempre estados estables que puedan ser comparables entre ellos. La máquina de refrigeración no debe tener hielo en el evaporador (cuya presencia podría modificar el funcionamiento del sistema), y el condensador no tiene que estar expuesto a la radiación solar durante el período de medición (la radiación solar es un parámetro variable e incontrolable).

Después del ciclo nocturno de descongelación, la temperatura de la cámara de refrigeración disminuye hasta alcanzar la temperatura de consigna. N puntos de medición se consideran justo antes (generalmente unos segundos antes) de alcanzar la temperatura de consigna como el intervalo de tiempo de medición. Con los N puntos medidos se calculan los promedios aritméticos de cada una de las variables medidas. La razón para realizar las mediciones justo antes de que se alcance la temperatura de consigna es que cuanto más tiempo transcurre desde el arranque del compresor, más estable es el comportamiento del sistema, evitando así cualquier fluctuación incontrolable que pueda ocurrir en el proceso de arranque transitorio inicial.

La medición de estado estable descrita anteriormente se aplica tanto al proceso del modo de aprendizaje como al proceso de evaluación.

Finalmente, el diagrama de flujo representado en la Figura 2 ilustra una implementación algorítmica del método del primer aspecto de la invención, y se describe a continuación.

El diagrama de flujo incluye una etapa inicial relacionada con una operación estándar en la que el algoritmo está esperando mediciones, que están programadas para realizarse de noche y después de un proceso de descongelación, como se describió anteriormente.

Luego, se implementa una etapa de medición de estado estable, en la que se realizan N mediciones como se describió anteriormente y se realizan promedios aritméticos de cada una de las variables medidas, es decir, para esas variables o parámetros operativos, indicados en el diagrama de flujo en el siguiente cuadro, tanto para los valores de control de  $T_{SH}$ ,  $T_{ext}$  y  $T_{cam}$ , como para los valores de indicador de  $T_{SC}$ ,  $P_1$  y  $P_2$ .

Los valores medidos así obtenidos se entregan a la siguiente etapa en el diagrama de flujo, para realizar un diagnóstico basado en un algoritmo SVM, como se describió anteriormente, que tiene acceso a bases de datos que incluyen al menos los puntos saludables HR mencionados anteriormente (incluidos HRi y HRc) y puntos virtuales VR (incluidos VRi y VRc) como nubes de puntos correspondientes.

El algoritmo SVM realiza una clasificación de los estados actuales asociados a los valores medidos en las clases indicadas A, B, C, D y la combinación de las clases BC, BD, CD y BCD, donde la clase A corresponde a un estado saludable, mientras el resto de clases corresponden a la anomalía o combinación de anomalías indicadas en el diagrama de flujo.

De acuerdo con el algoritmo que se muestra esquemáticamente en la Figura 2, cuando el estado actual se clasifica como una de las clases C, D o CD, un número de veces por encima de un umbral indicado por "max C2", se activa una alarma.

De lo contrario, si ese número de veces está por debajo de "max C2", se realiza otro ciclo del algoritmo, es decir, una medición adicional y el diagnóstico correspondiente basado en SVM, y el contador correspondiente se incrementa en 1 (Cont2 ++).

Sin embargo, si el estado actual se clasifica como una de las clases B, BC, BD y BCD, es decir, que incluye una anomalía relacionada con una fuga de refrigerante, un número de veces por encima de un umbral indicado por "max C1", se detiene el sistema de refrigeración. De lo contrario, si ese número de veces es inferior a "max C1", se realiza otro ciclo del algoritmo, es decir, una medición adicional y el diagnóstico correspondiente basado en SVM, y el contador correspondiente se incrementa en 1 (Cont1 ++).

Cuando el estado actual se clasifica como correspondiente a la Clase A, las mediciones asociadas a él, es decir, los valores de referencia saludables HR, se alimentan a la base de datos saludable, y los valores de referencia virtuales VR correspondientes se generan como se describió anteriormente y se alimentan a las bases de datos respectivas de los valores de referencia virtuales VR. Ambos contadores (Cont1 y Cont2) se restablecen a cero.

Un experto en la materia podría introducir cambios y modificaciones en las realizaciones descritas sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

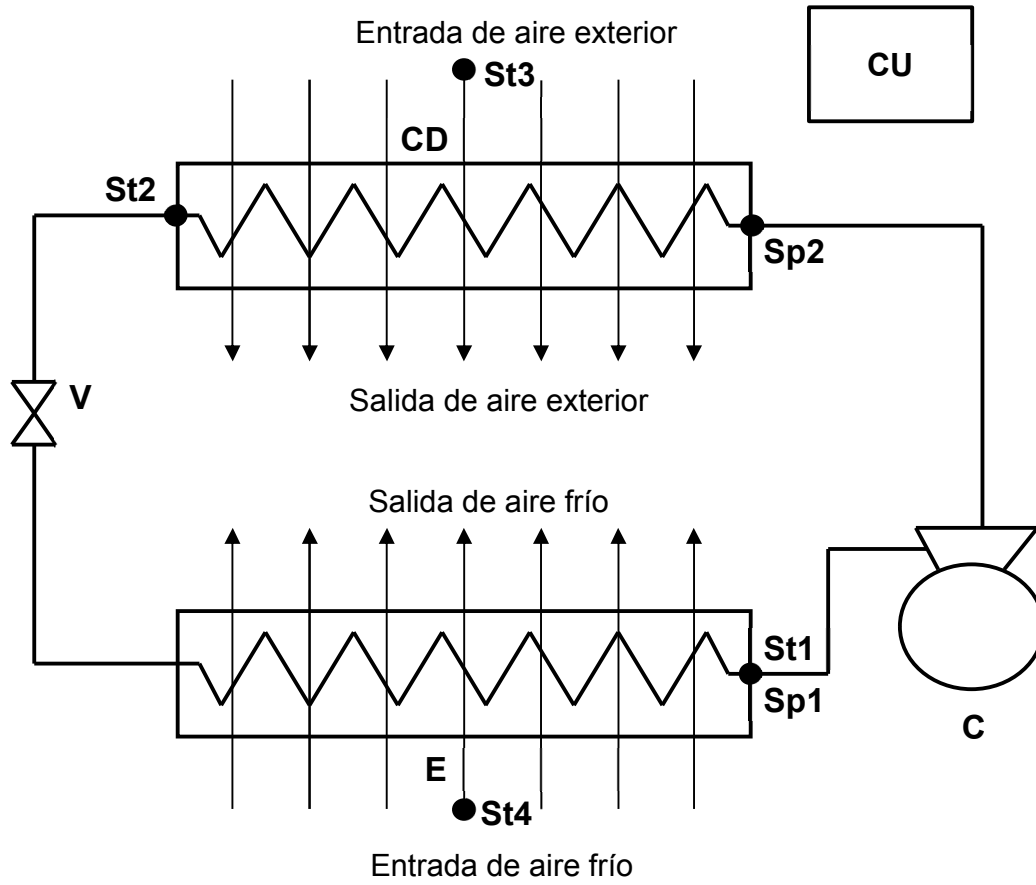


## REIVINDICACIONES

- 1.- Un método implementado por ordenador para el diagnóstico de anomalías en un sistema de refrigeración, en el que dicho sistema de refrigeración comprende al menos una cámara de refrigeración, un evaporador (E), un compresor (C) y un condensador (CD), donde el método comprende:
- un proceso de modo de aprendizaje que comprende realizar mediciones de varios parámetros operativos del sistema de refrigeración cuando se opera en condiciones de trabajo conocidas sin anomalías; y
  - un proceso de evaluación que comprende realizar mediciones de al menos dichos parámetros operativos cuando se desconocen las condiciones de trabajo del sistema de refrigeración, y evaluar los valores obtenidos de dichas mediciones;
- en el que:
- dicho proceso de modo de aprendizaje comprende además definir una pluralidad de anomalías diferentes en el funcionamiento del sistema de refrigeración, cada una de dichas anomalías asociadas a una o más variaciones anómalas específicas correspondientes de uno o más de dichos parámetros operativos; y
  - dicho proceso de evaluación comprende diagnosticar automáticamente que se ha producido una de dichas anomalías diferentes cuando se han detectado las una o más variaciones anómalas específicas asociadas a la misma; **caracterizado** porque dichas anomalías diferentes incluyen las siguientes anomalías asociadas a la siguiente variación anómala indicada de parámetros operativos:
    - Suciedad en el condensador, asociada a un aumento en ambos, la presión de condensación y el grado de subenfriamiento;
    - Suciedad en el evaporador (E), asociada a una disminución de la presión de evaporación;
    - Suciedad en el evaporador (E) y en el condensador (CD), asociada a un aumento en la presión de condensación, a una disminución en la presión de evaporación y a un aumento en el grado de subenfriamiento;
    - Fugas de refrigerante y suciedad en el condensador (CD), asociadas a un aumento en la presión de condensación y a una disminución en el grado de subenfriamiento;
    - Fugas de refrigerante y suciedad en el evaporador (E), asociadas a una disminución en todos, la presión de evaporación, la presión del condensador y el grado de subenfriamiento; y
    - Fugas de refrigerante y suciedad en el evaporador (E) y en el condensador (CD), asociadas a una disminución en la presión de evaporación, un aumento en la presión del condensador y una disminución en el grado de subenfriamiento.
- 2.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho proceso de modo de aprendizaje comprende realizar dichas mediciones de varios parámetros operativos del sistema de refrigeración cuando se opera bajo varias y diferentes condiciones de trabajo de contorno, sin anomalías, para obtener grupos correspondientes de diferentes valores de referencia saludables (HR), cada grupo asociado a un respectivo de dichas condiciones de trabajo de contorno.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, que comprende además obtener mediante cálculo, en dicho proceso de modo de aprendizaje, grupos correspondientes de valores de referencia virtuales (VR) mediante la aplicación de desviaciones específicas a al menos algunos de los valores de referencia saludables (HR), donde cada una de dichas desviaciones específicas corresponde a una respectiva de dichas variaciones anómalas.
- 4.- Un método de acuerdo con la reivindicación 3, que comprende obtener, mediante cálculo, varios conjuntos de dichos grupos de valores de referencia virtuales (VR), cada conjunto para una respectiva de dichas anomalías diferentes, aplicando las desviaciones específicas correspondientes a las variaciones anómalas de la anomalía correspondiente a al menos algunos de los valores de referencia saludables (HR).
- 5.- Un método de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, que comprende comparar, en el proceso de evaluación, los valores obtenidos a partir de las mediciones de los parámetros operativos con los valores de referencia saludables (HR) y con los valores de referencia virtuales (VR), para diagnosticar si el sistema de refrigeración está funcionando bajo condiciones sin anomalías o trabajando con algunas de dichas anomalías diferentes, y en ese último caso también para identificar cuál de las diferentes anomalías está ocurriendo, dependiendo del resultado de dicha comparación.
- 6.- Un método de acuerdo con la reivindicación 5, que comprende el uso de un algoritmo de máquina de vectores de soporte para clasificar los valores de referencia saludables (HR) y los valores de referencia virtuales (VR) asociados a cada anomalía en diferentes clases, y para realizar dicha comparación del proceso de evaluación para determinar a cuál de las clases pertenecen los valores de los parámetros operativos medidos actualmente.
- 7.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, en el que dichos grupos de valores de referencia saludables (HR) incluyen valores de indicadores saludables (HRi) y valores de control saludables (HRc), en el que dichos grupos de valores de referencia virtuales (VR) también incluyen primeros valores de referencia virtuales (VRi) obtenidos mediante la aplicación de dichas desviaciones específicas a los valores de indicadores saludables (HRi) y, asociados a ellos, segundos valores de referencia virtuales (VRc) constituidos directamente por dichos valores de control saludables (HRc), sin modificar.
- 8.- Un método de acuerdo con la reivindicación 7 cuando depende de la reivindicación 5 o 6, que comprende realizar dicha comparación del proceso de evaluación para todos los valores de cada grupo, incluyendo, con respecto a los grupos

de valores de referencia virtuales (VR), los primeros (VRi) y los segundos (VRc) valores de referencia virtuales y, con respecto a los grupos de valores de referencia saludables (HR), los valores de indicadores saludables (HRi) y los valores de control saludables (HRc).

- 5 9.- Método según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 8, que comprende almacenar dichos grupos de valores de referencia saludables (HR) y de valores de referencia virtuales (VR) en estructuras de datos respectivas, y actualizar dichas estructuras de datos con los valores correspondientes de los parámetros operativos medidos en el proceso de evaluación.
- 10 10.- Un método según la reivindicación 7 u 8, o según la reivindicación 9 cuando depende de la reivindicación 7 o de la reivindicación 8, en el que:
- dichos valores de indicadores saludables (HRi) corresponden a los siguientes parámetros operativos del sistema de refrigeración: presión de evaporación en el evaporador (E), presión de condensación en el condensador (CD) y grado de subenfriamiento, y
- 15 - dichos valores de control saludables (HRc) corresponden a los siguientes parámetros operativos del sistema de refrigeración: temperatura de la cámara de refrigeración, temperatura fuera de la cámara de refrigeración y grado de sobrecalentamiento.
- 20 11.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende realizar dichas mediciones de los parámetros operativos, tanto para el proceso del modo de aprendizaje como para el proceso de evaluación, después de un proceso de descongelación, para grupos de N mediciones dentro de un intervalo de tiempo justo antes de que la temperatura de la cámara de refrigeración llegue a un valor predeterminado de consigna, en el que dicho intervalo de tiempo dura segundos o minutos, y en el que cada uno de dichos valores obtenidos corresponde a un promedio aritmético de las N mediciones de un correspondiente de dichos grupos de N mediciones.
- 25 12. Método según la reivindicación 11, que comprende realizar dichas mediciones cuando el condensador (CD) del sistema de refrigeración no está expuesto a la radiación solar.
- 30 13.- Un programa de ordenador, que comprende instrucciones de código de programa que cuando se ejecutan en un ordenador o en un procesador implementan las etapas del método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 35 14.- Un aparato para el diagnóstico de anomalías en un sistema de refrigeración de una cámara de refrigeración, que comprende:
- una pluralidad de sensores (St1-St5; Sp1-Sp2) configurados y dispuestos para medir varios parámetros operativos del sistema de refrigeración, y proporcionar unas señales eléctricas correspondientes representativas de las mediciones; y
  - una unidad electrónica (CU) configurada y dispuesta para recibir dichas mediciones, y que comprende medios de almacenamiento para almacenar al menos datos representativos de dichas mediciones y datos que definen una pluralidad de anomalías diferentes en el funcionamiento del sistema de refrigeración, y medios de procesamiento para procesar todos dichos datos de acuerdo con el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.
- 40



**Figura 1**

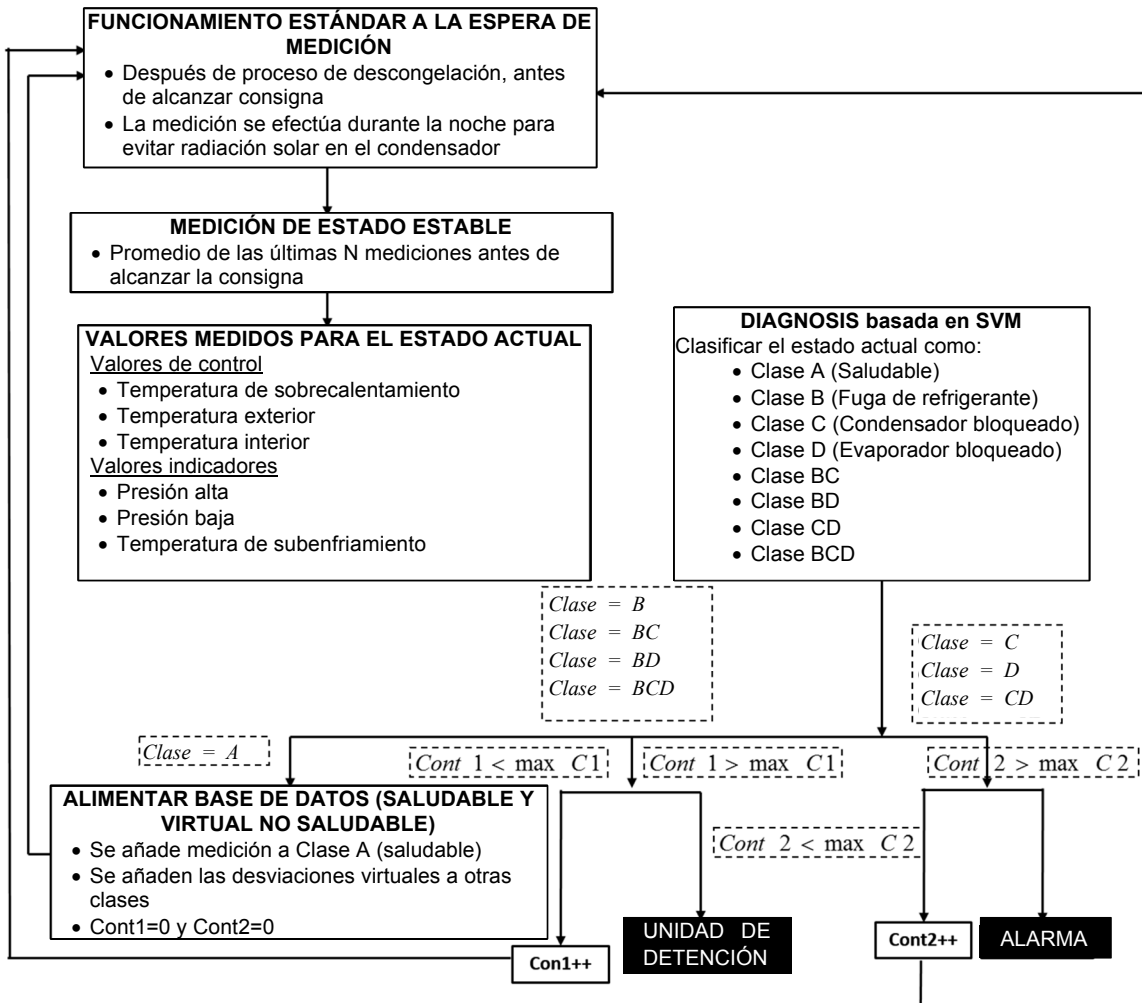
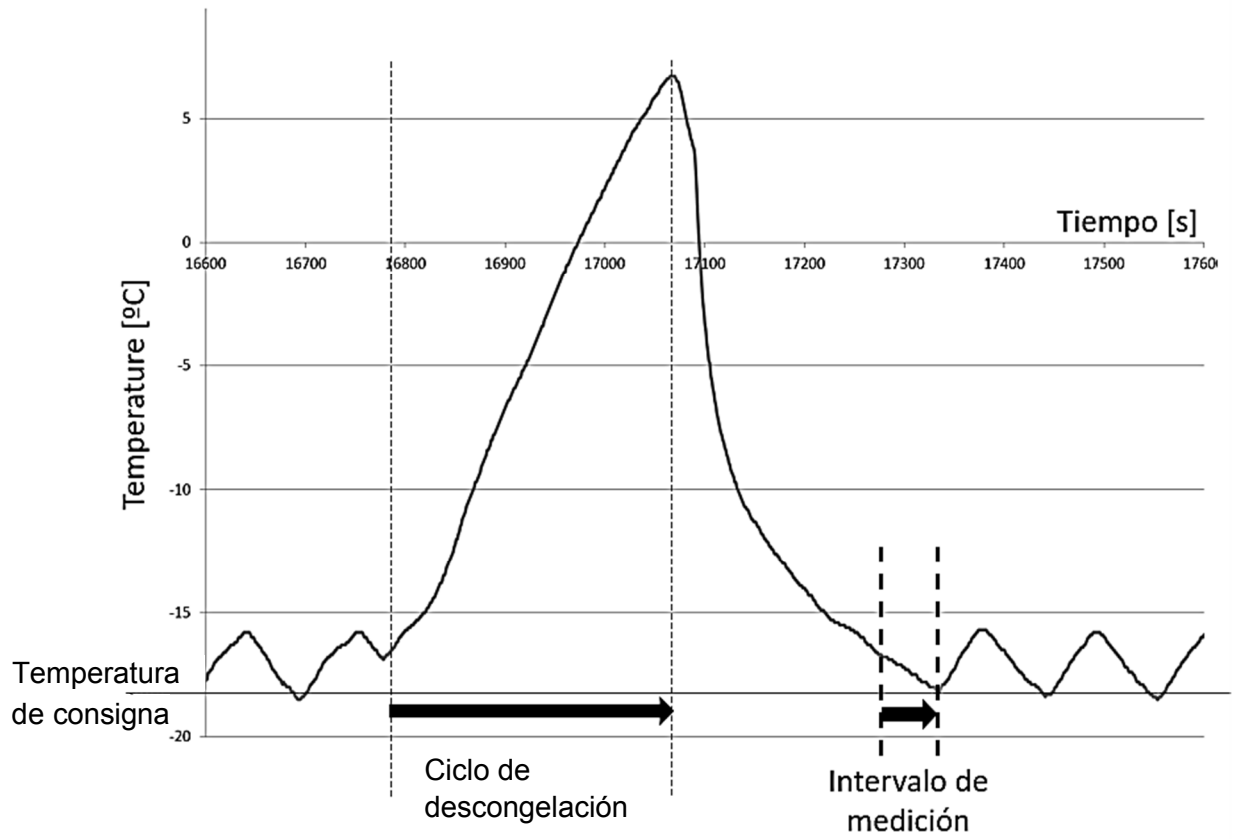


Figura 2



**Figura 3**