



H/v.

158034

MEMORIA DESCRIPTIVA

que se acompaña a la solicitud de una patente de invención por veinte años en España, por "Mejoras en la fabricación de almacenadores de frío para gases" a favor de la r.s. Gesellschaft für Linde's Eismaschinen A. G., residente en Hüllriegelskreuth (Alemania).

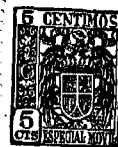
=====

Por la patente alemana 490.878 se ha publicado el empleo de almacenadores de frío trabajando en servicio alternativo, en lugar de aparatos de contracorriente, con objeto de obtener el intercambio del frío. Los almacenadores se prestan de modo especial para el intercambio de frío con grandes cantidades gaseosas, que no se encuentren a presión demasiado elevada, ésto es lo más posible a presiones no superiores a 10-15 at. Una ventaja de los almacenadores de frío se encuentra entre otras cosas en que con un buen intercambio de frío producen en la corriente gaseosa una caída de presión relativamente pequeña. Los almacenadores, dispuestos generalmente por pares, sirven de ordinario para enfriar mezclas gaseosas antes de su descomposición en por lo menos dos componentes. El gas en estado comprimido penetra a través de un almacenador de frío en la instalación de descomposición, mientras que por el otro almacenador sale un producto de la descompo-

5

10

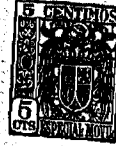
15.8034



sición en estado de tensión o sin tensión. El gas entrante se enfría en uno de los almacenadores calentando simultáneamente la masa del mismo, mientras que el gas saliente se calienta en el otro almacenador enfriando simultáneamente su masa. Después de algún tiempo se conmutan automáticamente los dos almacenadores para el intercambio del frío. En estos almacenadores se mantiene una caída de temperatura aproximadamente lineal desde el extremo caliente hasta el frío, mientras que el nivel de temperatura en todo punto de los almacenadores asciende y desciende oscilando en ritmo de las conmutaciones alrededor de un centro prácticamente constante.

Un campo muy frecuente de aplicaciones de los almacenadores de frío es, por ejemplo, la descomposición del aire. Para esto se emplean dos pares de almacenadores. Por uno de los pares penetra el aire altamente comprimido (por ejemplo a 4,5 at sobre la exterior) y sale al nitrógeno sin tensión mientras que por el otro par de almacenadores entra el aire inyectado (por ejemplo a 1,3 at. sobre la exterior) y sale el oxígeno obtenido. Ambos pares de almacenadores tienen los mismos tiempos de conmutación. Estas conmutaciones de los dos pares de almacenadores no necesitan efectuarse simultáneamente, sino que con preferencia se desplazan entre si en la mitad de la duración de un periodo.

Según los métodos de cálculo dados a conocer (por ejemplo H. Hausen en "VDI Zeitschrift" 1.929, p. 341, "Revista de Matemática y Mecánica aplicadas" 1.929, p. 173, "Mecánica y Termodinámica Industriales" 1930, p. 219, "Revista de toda la Industria del Frío" 1.932, p. 1 y p. 17, y además H. Glaser, "Técnica de los Métodos" 1.936, p. 122 es posible determinar el intercambio térmico y la caída de presión de los almacenadores de frío. Pero hasta ahora no se han publicado datos sobre éllo para calcular el tamaño de los almacenadores para una cantidad determinada de gas que los ha de atravesar. Ciertamente que en la patente 647492 se dice que la capacidad térmica de la masa del almacenador, medida en kcal/°C debe hallarse entre 0,05 y 0,2 de



la superficie de la masa almacenadora medida en m². Según esto sin embargo solo se determina el espesor de la chapa de las cintas metálicas empleadas como masa almacenadora. También se han dado a conocer datos sobre el diámetro hidráulico más conveniente. Pero todos estos datos no dan ninguna idea clara de la magnitud que debe tener la masa absoluta del almacenador y cómo se habrá de colocar de la mejor manera atendiendo a la disposición espacial ni tampoco sobre el valor de los tiempos de conmutación que se habrán de elegir.

La masa almacenadora se hace de ordinario de espirales de cinta metálica estriadas oblicuamente y arrolladas, de suerte que entre las diversas capas del arrollamiento, o sea "las rejillas" puede atravesar el gas por efecto del estriado, con lo que se obtiene la posibilidad de un intercambio térmico extraordinariamente bueno. Si ahora se admite como dada una determinada masa almacenadora para un almacenador de frío, entonces se puede por ejemplo fabricar rejillas con pequeño diámetro y correspondientemente disponer superpuestas muchas rejillas. Entonces se obtiene un largo recorrido gaseoso con buen intercambio térmico, pero también una caída de presión del gas relativamente elevada. Si por el contrario considerado como caso límite, toda la masa almacenadora se arrollase en una sola capa y esta rejilla única de grandísimo diámetro se emplease como almacenador de frío, entonces el recorrido gaseoso sería muy corto y consiguientemente sería pequesísima la caída de presión, pero por ésto el intercambio térmico resultaría muy malo.

Hasta ahora se ha admitido que lo que principalmente conviene es un buen intercambio térmico, y que prácticamente se podría despreciar la caída de presión en los almacenadores de frío, caída que ya de por sí es pequeña comparada con los aparatos de contracorriente. Esto es cierto hasta cierto grado para el gas que entra bajo presión. Pero muy otro es el caso cuando se trata de un gas de gran volumen, saliente de una instalación de descomposición y casi privado de tensión. En efecto, la presión en la instalación de descomposición viene esen-

158034

4.-



5 cialmente determinada por la caída de presión en el almacenador de
frío situado por detrás. Cuando en la instalación de descomposición
se trata por ejemplo de un aparato de dos columnas, entonces toda
variación de presión en la columna superior dá por resultado otra
10 variación de presión muchas veces mayor en la columna de presión
atendiendo a la presión requerida en la condensación del componente
de bajo punto de ebullición, de suerte que siempre se obtiene una in-
fluencia no despreciable de la presión final del compresor en depen-
dencia de la caída de presión en los almacenadores de frío. Tenien-
do en cuenta el consumo de energía para cubrir las pérdidas de frío
15 originadas en el extremo caliente de los almacenadores de frío y
teniendo en cuenta también el consumo de energía para elevar la pre-
sión final en el compresor obligada por la caída de presión, puede
determinarse un estado óptimo económico para la relación de la lon-
gitud al diámetro con una masa almacenadora dada y con una carga o
20 paso dado del gas. Variando el paso del gas solo se necesita variar
el diámetro, ésto es aumentar o reducir la masa almacenadora, y és-
to conservando la longitud de los almacenadores en condiciones de
trabajo por lo demás iguales. Un cálculo adecuado de la masa almacena-
25 dora por cada nm^3 de gas atravesado se obtiene calculando el consumo
de trabajo corriente debido a las pérdidas de conmutación (pérdida
de trabajo y de gas al conmutar) frente al capital empleado en los
gastos de instalación. Aquí se ha hecho la comprobación sorprendente
de que las pérdidas de conmutación pueden ser suficientes para justi-
30 ficar el empleo de masas almacenadoras considerablemente mayores (con
conmutaciones lo más raras posible), que las que de por sí se necesi-
tarían para obtener un buen intercambio de frío con conmutaciones mas
frecuentes.

30 Todo cambio o conmutación supone una interrupción pasajera de la
corriente gaseosa y ya solo por ésto representa cierta pérdida. A es-
to se agrega el que en la conmutación de los almacenadores de frío
mantenidos bajo presión hasta la conmutación, se debe perder nueva-

15 8034

5.-



mente tensión lo que va acompañado de una pérdida de energía. Por lo demás la masa gaseosa que queda en reposo en el regenerador se debe expulsar del almacenador de frío por el gas que corre después, lo que en parte constituye una pérdida de energía y por otra parte también una pérdida de gas, cuando se trata de obtener un producto puro de descomposición y por consiguiente se debe expulsar gas impuro primeramente por gas puro antes de que éste pueda evacuarse. De aquí que sea conveniente realizar los cambios o conmutaciones tan pocas veces como sea posible. Pero con una masa almacenadora dada, cuanto se conmuta más raramente, mayor es la pérdida de frío, pues con el tiempo por efecto de enfriarse la masa almacenadora crece la diferencia de temperatura en el extremo caliente. Consiguientemente a una masa almacenadora determinada se debe subordinar una determinada frecuencia en las conmutaciones teniendo en cuenta las capacidades térmicas de la misma masa y del gas, frecuencia que produzca las condiciones favorables de trabajo. Si por el contrario se quiere reducir el número de conmutaciones, entonces la masa almacenadora se debe aumentar correspondientemente.

Mediante cálculos y ensayos se ha comprobado que se obtienen condiciones especialmente favorables de trabajo cuando por cada grado de caída de temperatura se emplea una longitud de masa almacenadora de 1,6 hasta 3,5 cm, hallándose el punto óptimo en 2,5 cm y cuando por cada nm^3 de gas que pasa por hora la sección transversal de la masa almacenadora independientemente de la sección transversal de la corriente para el gas es 0,1 hasta 0,5 cm^2 encontrándose el punto óptimo próximamente en 0,28 cm^2 . Estos datos tienen valor cuando los cuerpos insertos en los almacenadores son de hierro. Si para estos cuerpos se empleasen otros materiales cuya capacidad térmica por unidad de volumen fuese distinta, entonces, conservando la longitud del almacenador, se debe variar la sección transversal de su masa en proporción inversa a la capacidad térmica por unidad de volumen.

Mientras que por estos datos se determinan ya las dimensiones espa-

158034

6.-



5 ciales de los almacenadores de frío incluida la masa almacenadora absoluta, nada se ha dicho todavía sobre la frecuencia de las conmutaciones o cambios. Mediante cálculos y ensayos se ha comprobado que se obtienen condiciones de trabajo muy buenas cuando el número de conmutaciones se determina teniendo en cuenta la capacidad térmica de la masa almacenadora y la capacidad térmica de la masa gaseosa que sale por hora a través del regenerador, según la relación que a continuación se señala más detenidamente.

10 En la patente alemana 647492 se ha dicho ya que con pequeña diferencia de presión de las clases de gas cuyo frío se ha de intercambiar, la capacidad térmica de la masa almacenadora debe ser, con el fin de asegurar la sublimación de los condensados, por lo menos el óctuplo de la capacidad térmica de la cantidad de gas que en un período corre por el almacenador. El objeto de esta medida es solo mantener pequeño el descenso de temperatura de la masa almacenadora por el gas frío, pues la sublimación es tanto peor cuanto mas profunda es la temperatura. Pero como para la sublimación de las precipitaciones sólidas tiene influencia máxima la diferencia de volumen entre el gas entrante y el saliente, esta limitación de la masa almacenadora se limita a un valor mínimo en los casos de pequeñas diferencias de presión. Pero se ha comprobado que estos datos son insuficientes y que en todos los casos no debe el valor mínimo de la masa almacenadora quedar por debajo aún sin atender a las sublimaciones, valor que se diferencia considerablemente del conocido.

25 Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, los almacenadores de frío se deben calcular según el invento del siguiente modo:

30 1) La longitud de la masa almacenadora debe por cada grado de caída de temperatura y sirviéndose de hierro ser 1,6 hasta 3,5 cm con preferencia de 2,5 cm. De este modo se garantiza primeramente la obtención de un intercambio satisfactorio de frío.

2) La sección transversal de la masa almacenadora perpendicularmente a la corriente gaseosa, debe, empleando hierro, y por cada mm^3 de gas que atraviesa por hora ser 0,1 hasta 0,5 cm^2 , preferentemente

158034

7.-



de 0,28 cm², sin tener en cuenta la sección transversal de la corriente.

Si se cumple la medida 1 o la medida 2 o ambas, entonces para obtener condiciones bastante favorables de trabajo se escoge según el invento convenientemente.

3) el número s de cambios o conmutaciones por hora de modo que sea

$$s = a \cdot \frac{V \cdot c_p}{W_s}$$

en que,

W_s es la capacidad térmica de la masa almacenadora de un almacenador de frío en kcal/°C,

y el volumen gaseoso que atraviesa la instalación en nm³/h,

c_p el calor medio específico del gas destensado

y el valor de a debe encontrarse entre 2 y 25, preferentemente en 4,2.

Las tres medidas según el invento no deben imprescindiblemente verificarse al mismo tiempo. Pero si se cumplen al mismo tiempo las tres medidas se obtienen condiciones de trabajo muy favorables.

Explicaremos en un ejemplo un caso de aplicación del invento:

Se trata de una instalación para descomponer el aire con un aparato rectificador de dos columnas y con aire inyectado (por ejemplo según la patente alemana 636645). Aquí pueden los dos almacenadores de frío calcularse en sus dimensiones según la medida 1. Pero como el oxígeno es el producto más importante de la descomposición y se tiene el mayor interés en su pureza y en su rendimiento, entonces según la medida 2 se escoge la masa almacenadora de los almacenadores de frío del oxígeno tan grande (en tanto que la masa de los almacenadores de frío del nitrógeno se coge tan pequeña) que al mantener la medida 3, el tiempo de conmutación de los almacenadores de frío del oxígeno sea doble grande que el de los almacenadores de frío del nitrógeno. En estos últimos puede incluso en ciertas circunstancias renunciarse al cumplimiento de las condiciones según el invento, pues el óptimo asequible con las condiciones 1 y 2 es relativamente plano y



la aplicación de muchísima masa almacenadora produciría por é ello unas dimensiones y pesos demasiado grandes de los almacenadores de frío. Este último caso se presenta naturalmente sólo cuando se trata de instalaciones muy grandes, pues sólo entonces el intento de calcular la masa almacenadora según las condiciones del invento conduciría a pesos o volúmenes demasiado grandes.

Como ejemplo de cálculo se escoge una instalación para descomponer por hora 10.000 m³ de aire.

Entran:

10	Por los regeneradores de nitrógeno	7.900 m ³ /h 5,5 ata
	" " regeneradores de oxígeno	1.850 m ³ /h 5,5 ata
	" la columna de contracorriente y alta presión	<u>250 m³/h 180 at</u>
		10.000 m ³ /h

Salen:

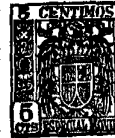
15	Por los regeneradores de nitrógeno	8.035 m ³ /h 1 ata
	" " regeneradores de oxígeno	1.885 m ³ /h 1 ata
	" la columna de contracorriente y alta presión	<u>80 m³/h 1 ata</u>
20		10.000 m ³ /h

Todo el aire entrante debe enfriarse desde por ejemplo 22^o C hasta la temperatura de saturación a 5,5 ata = - 178^o C de suerte que en ambos pares de regeneradores se obtiene una caída de temperatura de 200^o C. Según el invento la longitud mas favorable es 200^o 2,5 cm/^o C = 5 m. Como esta longitud corresponde de algún modo a las demás dimensiones de la instalación no hay motivo para separarse del valor óptimo y por consiguiente se mantiene.

La sección transversal de la masa de los regeneradores de oxígeno se calcula como óptima con

$$1.885 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0,28 \frac{\text{cm}^2 \cdot \text{h}}{\text{m}^3} = 528 \text{ cm}^2$$

Según ésto el volumen de la masa almacenadora es 5 . 0,0528 = 0,264 m³. Siendo la construcción de hierro se obtiene así una capa-



capacidad térmica W_g de toda la masa almacenadora para los regeneradores de oxígeno de 167 kcal/°C.

De igual modo se calcula para los regeneradores de nitrógeno

La sección transversal de la masa almacenadora en $8035 \cdot 0,28 \text{ cm}^2 = 2250 \text{ cm}^2$
 El volumen " " " " en $1,125 \text{ m}^3$
 La capacidad térmica " " " " en $750 \text{ kcal/}^\circ\text{C}$.

Para los regeneradores de oxígeno se obtiene el valor

$$V \cdot c_p = 540 \text{ kcal/}^\circ\text{C}$$

y por tanto se obtiene para

10 $a = 4,2$

como frecuencia de cambios por hora

$$s = a \cdot \frac{V \cdot c_p}{W_g} = 13,5$$

o una duración de los cambios de 4,45 min. Para los regeneradores de nitrógeno se obtiene correspondientemente una duración de los cambios de 4,4 min. La duración de los cambios puede por consiguiente en ambos pares de regeneradores ser igual.

La superficie de la masa almacenadora, sirviéndose de chapas estriadas, el espesor de las chapas y el diámetro hidráulico pueden ahora determinarse del modo conocido, de suerte que la velocidad de corriente y el número de pasos del calor adquieran valores útiles para conseguir un buen intercambio térmico.

20 N O T A.-
 =====

La presente patente de invención comprende las siguientes reivindicaciones:

25 1.- Mejoras en la fabricación de almacenadores de frío para gases que trabajan en servicio alternativo de conmutación para el enfriamiento profundo de gases, caracterizadas porque la longitud de la masa almacenadora es de 1,6 hasta 3,5 cm, preferentemente de unos 2,5 cm por cada grado de caída de temperatura y la sección transversal de la masa perpendicularmente a la corriente gaseosa, es, emplean-

30

15 8034

10.-



do hierro, por cada nm^3 de gas que pasa por hora, de $0,1 \text{ cm}^2$ hasta $0,5 \text{ cm}^2$, con preferencia de $0,28 \text{ cm}^2$.

2.- Mejoras según lo reivindicado en el punto 1, caracterizadas porque sirviéndose de otras masas almacenadoras distintas del hierro, manteniendo la misma capacidad térmica de la masa y la misma longitud de los almacenadores, la sección transversal se varía en proporción inversa a la capacidad térmica por cada unidad de volumen.

3.- Mejoras según lo reivindicado en el punto 1, caracterizadas porque la frecuencia de la conmutación o cambio por hora en dependencia de la masa almacenadora y de la cantidad de gas que pasa, es $s = a \cdot \frac{V \cdot c_p}{W_g}$, debiendo a hallarse entre 2 y 25, preferentemente en 4,2, mientras que V señala el volumen gaseoso que pasa en m^3/h , c_p el calor medio específico del gas expandido y W_g la capacidad térmica de la masa almacenadora en $\text{kcal}/^\circ\text{C}$.

4.- Mejoras comprendiendo una instalación para descomponer gases o aire, según lo reivindicado en cualquiera de los puntos precedentes, caracterizadas porque los almacenadores de frío para uno de los productos de la descomposición se conmutan con menos frecuencia que los almacenadores de frío para el otro producto de la descomposición o para el gas residual.

5.- Mejoras en la fabricación de almacenadores de frío para gases. - Según se describe y reivindica en la presente memoria descriptiva.

Consta esta descripción de diez hojas foliadas y escritas a máquina por una sola de sus caras.

Madrid, a 24 de Julio de 1942.