

P0.48

**Heat Pump,
Compressor Principle
04370.88**

**Pompe à chaleur,
type à compression
04370.88**

**Bomba de calor,
Principio de compresión
04370.88**

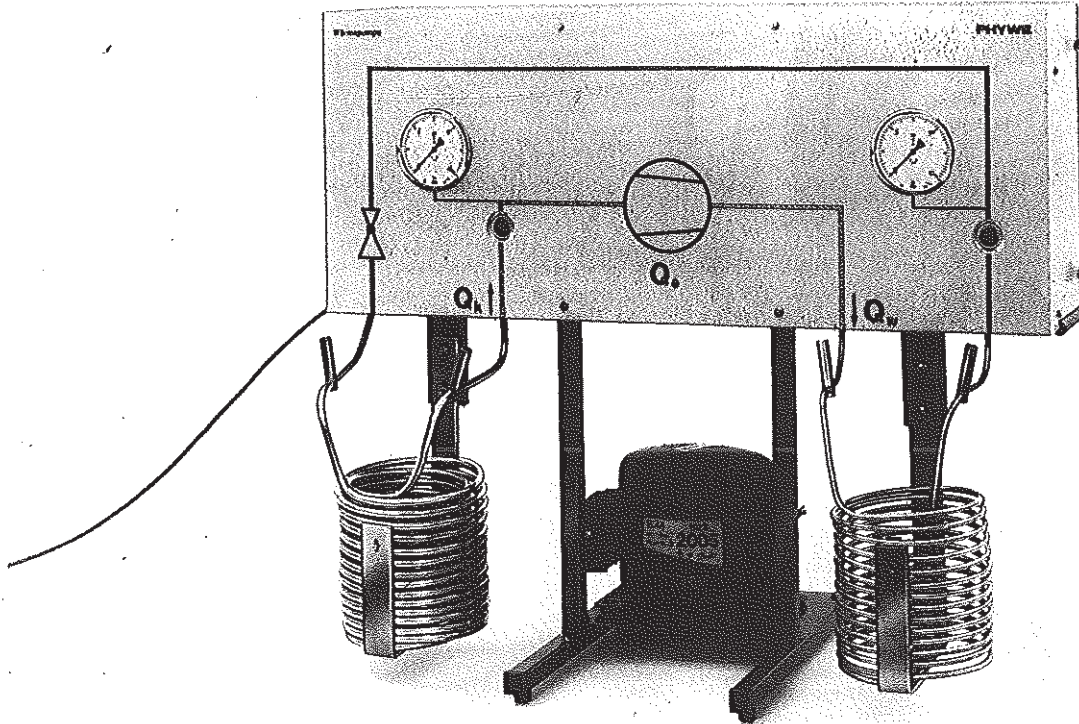


Fig. 1

1. PURPOSE AND CHARACTERISTIC FEATURES

The heat pump is the demonstration model of a compressor heat pump. Pressure and temperature of the refrigerant can be measured on it and its state observed in sight glasses.

2. PRINCIPLES

2.1 The concept of a heat pump

The purpose of a heat pump is to extract the quantity of heat Q_1 from an environment at a low temperature T_1 and to deliver it to another environment having a higher temperature T_2 . Work W is necessary for this. This work is carried out by a compressor. A compressor heat pump works on the principle of a cyclic process, which should approximate as far as possible to an ideal Carnot cycle. See in this respect the TS diagram in Fig. 2; the absolute temperature T is recorded over the entropy $S = Q/T$.

In detail, the cyclic process operates as follows:

Starting at point 1, the vapourised working medium at pressure p_1 and temperature T_1 is compressed at point 2 to pressure p_2 , where-

1. OBJET ET PROPRIETES CARACTERISTIQUES

La pompe à chaleur est le modèle de démonstration d'une pompe à chaleur à compression. Ce modèle permet de mesurer la pression et la température du fluide frigorigène et d'observer l'état de ce fluide par des regards.

2. ELEMENTS FONDAMENTAUX

2.1 Le principe d'une pompe à chaleur

Le but d'une pompe à chaleur consiste à retirer de la chaleur Q_1 d'un environnement à basse température T_1 et de restituer cette chaleur à un autre environnement, se trouvant à une température plus élevée T_2 . Ceci nécessite un certain travail W . Ce travail est fourni par un compresseur. Une pompe à chaleur à compression travaille suivant un cycle qui doit se rapprocher au plus près du cycle parfait de Carnot; voir à ce sujet le diagramme T, S de la figure 2. Ce diagramme représente l'entropie $S = Q/T$ en fonction de la température absolue T .

Dans le détail ce cycle se déroule de la façon suivante:

En partant du point 1, le fluide de travail, sous forme de vapeur à la pression p_1 , et à la température T_1 est comprimé à la pression

1. OBJETIVO Y PROPIEDADES CARACTERISTICAS

La bomba de calor es un modelo demostrativo de una bomba de calor de compresión. En ella es posible medir la presión y la temperatura de la sustancia refrigerante y además se observa su estado a través de ventanillas de observación.

2. FUNDAMENTOS

El objetivo de una bomba de calor consiste en extraer una cantidad de calor Q_1 de un medio de una baja temperatura T_1 y pasar ésta a un medio de una temperatura más alta T_2 . Para ello es necesario realizar una cantidad de trabajo W . Este trabajo es llevado a cabo por el compresor. La bomba de calor de compresión funciona en base a un proceso cíclico, el cual debe estar lo más cercano posible al proceso cíclico ideal de Carnot; véase el diagrama T-S de la Fig. 2. En ella se ha graficado la entropía $S = Q/T$ en función de la temperatura absoluta T .

En detalle, este ciclo se desarrolla en la siguiente forma:

Partiendo del punto 1 en el cual la sustancia de trabajo está en forma de vapor con una temperatura T_1 y una presión p_1 , se comprime-

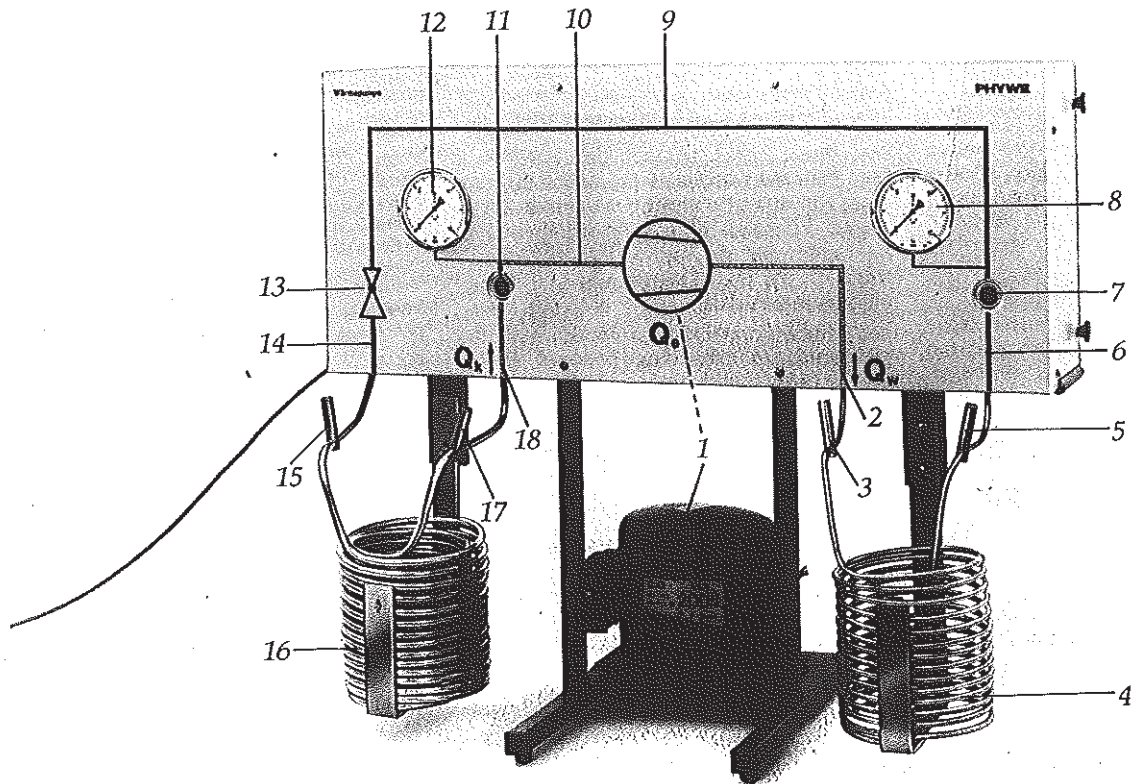


Fig. 3

line 2 and temperature measuring point 3 into the condenser 4. There, it releases the surplus heat to the environment, e.g. water in a vessel (not shown). The refrigerant thereby condenses and passes through the temperature measuring point 5 into the red line 6. The aggregate state of the refrigerant prevailing in this line can be observed in the sight glass 7. The refrigerant pressure is read off on the pressure gauge 8. Through line 9 the refrigerant reaches the throttle valve 13, is pressure-relieved there and thereby cools. It flows through the blue line 14 and temperature measuring point 15 to the evaporator 16. There, it takes up heat from the environment, becomes gaseous and flows through temperature measuring point 17 into the dotted blue line 18. The refrigerant now has a heat content Q_k . The gaseous state of the refrigerant can be seen in the sight glass 11. The pressure gauge 12 indicates the pressure of the gaseous refrigerant. This now returns via line 10 to the compressor 1, and the process starts anew.

Some components, which become visible when the rear wall (fastened with 4 knurled screws) is removed, are of importance as regards satisfactory operation of the heat pump but not for explaining its method of operation:

- A receiver with a store of refrigerant to compensate for losses by possible leaks
- A drier which removes any water residues from the refrigerant
- A high-low pressure switch to protect the heat pump against overheating or undercooling; the pressure switch temporarily switches off the compressor outside certain pressure limits set in the factory.

leur Q_w . Le fluide frigorigère surchauffé, sous forme gazeuse, est envoyé à travers la conduite 2, en pointillé rouge, et le point de mesure de température 3, dans le condenseur 4. C'est à cet endroit que le système cède la chaleur en surplus à l'environnement, par exemple, à de l'eau contenue dans un récipient (non représenté). En même temps, le fluide frigorigère se condense et parvient ensuite à travers le point de mesure de température 5 dans la conduite rouge 6. On peut observer l'état d'agrégation du fluide frigorigère dans le regard 7. La pression du fluide frigorigère peut être relevée sur le manomètre 8. Le fluide frigorigère parvient à travers la conduite 9 au détendeur 13; en cet endroit, il est détendu et y est refroidi. Le fluide s'écoule à travers la conduite bleue 14 et le point de mesure 15 dans l'évaporateur 16. Là, il absorbe de la chaleur de l'environnement, se transforme en forme gazeuse et s'écoule à travers le point de mesure de température 17 dans la conduite 18 en pointillé bleu. Le fluide frigorigère possède maintenant une teneur calorifique de Q_k . On peut voir dans le regard 11 l'état gazeux du fluide frigorigère. Le manomètre 12 indique la pression du fluide gazeux. Ce dernier parvient ensuite par la conduite 10 de nouveau dans le compresseur 1 et la cycle recommence.

Certains composants, rendus visibles en enlevant la paroi arrière (fixée par 4 vis à tête moletée), ne sont pas importants pour l'explication du mode de fonctionnement de la pompe à chaleur, mais le sont pour obtenir un fonctionnement parfait de cette dernière. Ce sont:

- Un collecteur avec une réserve de fluide frigorigère pour compenser les pertes par inéanchéité éventuelle,
- un sècheur, qui élimine dans le fluide frigorigère les éventuels résidus aqueux et
- un pressostat de haute et de basse pression pour protéger la pompe à chaleur contre une surchauffe ou un refroidissement trop important; le pressostat arrête passagèrement le compresseur en cas d'un dépassement par le bas ou le haut d'une certaine pression (réglée en usine).

vés del conductor punteado en rojo 2, pasando por el punto de medida de temperaturas 3. Allí entrega éste el calor excedente al medio ambiente, p.ej. agua en recipiente (sin figura). Así se condensa el refrigerante siguiendo por el conductor 6, pasando por el punto de medida de temperaturas 5. La fase física en la cual se encuentra el refrigerante se puede ver a través de la ventanilla de observación 7. La presión del refrigerante se lee en el manómetro 8. Por el conductor 9 llega el refrigerante a la válvula de expansión 13. Aquí se expande y se enfría. Luego fluye por el conductor azul 14 pasando por el punto de medida de temperaturas 15. Aquí recibe calor del medido, pasa a la fase gaseosa y fluye por el conductor punteado azul 18 pasando por el punto de medida de temperaturas 17. El refrigerante tiene ahora la cantidad de calor Q_k . En la ventanilla de observación 11 se puede ver la fase gaseosa del refrigerante. El manómetro 12 muestra la presión en éste. Pasando ahora por el conductor 10 llega nuevamente al compresor 1 donde el ciclo vuelve a empezar. Al retirar la pared posterior de la bomba (fijada con 4 tornillos moletados) se podrán observar otros elementos constitutivos que no son necesario para explicar el funcionamiento de la bomba pero sí lo son para un trabajo correcto de ella, estos son:

- Un colector con reserva de refrigerante para compensar las pérdidas por las juntas.
- un secador para liberar el refrigerante de posibles restos de agua
- un presostato de altas y bajas para proteger la bomba de calor contra posibles recalentamientos o reenfríamientos. El presostato apaga el compresor si la presión sobrepasa o está por debajo de determinadas presiones (ajustadas en la fábrica).

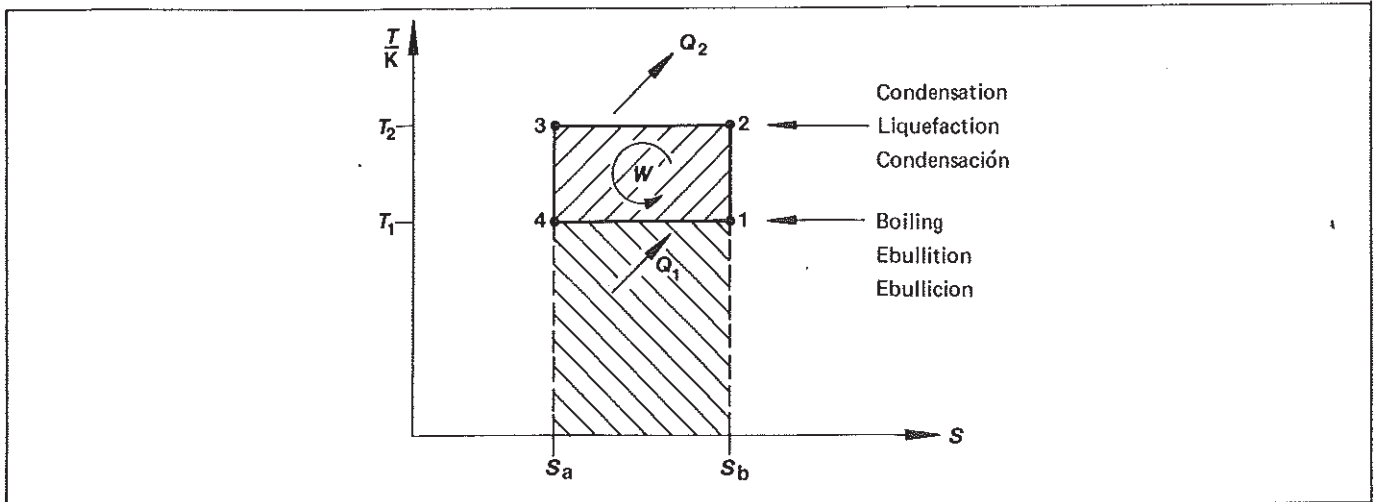


Fig. 2: TS diagram of the Carnot cycle

Fig. 2: Diagramme T, S du cycle Carnot

Fig. 2: Diagrama T-S del ciclo de Carnot.

by the temperature of the medium is increased from T_1 to T_2 . This involves no exchange of heat energy with the environment, so that $dQ=0$ and $S=\text{const.}$

At point 2, the outlet valve of the compressor opens and the working medium flows into the condenser. There, it becomes liquid and gives off, at temperature T_2 , the quantity of heat Q_2 as useful heat. The temperature T_2 remains unchanged until condensation is complete. Because $dS = dQ/T$ and $T = \text{const.}$, the entropy S steadily decreases until it has fallen from S_b to S_a (at point 3 in the diagram).

From point 3 to point 4 the liquid medium flows through the throttling device and its pressure is thereby reduced to p_1 . The temperature also drops from T_2 to T_1 , the entropy remaining unchanged.

The working medium flows into the evaporator without absorbing or releasing heat. It there absorbs the quantity of heat Q_1 from the heat source at temperature T_1 and vapourises. The vapour is drawn off by the compressor. The energy stored in the working medium increases until the medium is fully vapourised. As the temperature does not change during this process, the entropy increases from S_a to S_b . The process has now reached the starting point at 1 and the procedure recommences.

The area 1-2-3-4 in the diagram represents the work W performed by the compressor, and the area 1-4- S_a - S_b represents the heat extracted from the heat source Q_1 . In the ideal case portrayed above, the area S_b -2-3- S_a is then the useful heat Q_2 obtained at temperature T_2 , as $Q_2 = Q_1 + W$.

3. DESCRIPTION AND MODE OF OPERATION

The heat pump is designed as a demonstration unit in which various component parts are integrated into a schematic diagram in order to give a clear idea of the cyclic process taking place (see Fig. 3). The closed system contains refrigerant R 12 as the working medium. The compressor 1, the pipelines for which run hidden behind the supports of the stand, compresses the gaseous refrigerant (coming from the evaporator 16) and increases the available quantity of heat Q_k by Q_e to Q_w . The superheated, gaseous refrigerant is forced through the dotted red

p_2 du point 2; pendant ce parcours, le fluide de travail augmente sa température de T_1 à T_2 . Pendant ce stade, il n'y a pas d'échange d'énergie calorifique avec l'extérieur, c'est à dire $dQ=0$ et $S=\text{const.}$

Au point 2, la soupape d'échappement du compresseur s'ouvre et le fluide de travail s'écoule dans le condenseur. Dans cet appareil, il se liquéfie et il dégage, à la température T_2 , la quantité d'énergie Q_2 en tant que chaleur utile. Jusqu'à la terminaison de la liquéfaction, la température T_2 ne se modifie pas. Comme $dS = dQ/T$ et $T = \text{const.}$, il faut que l'entropie S diminue constamment jusqu'à ce qu'elle soit abaissée de S_b à S_a (point 3 du diagramme).

Du point 3 au point 4 le fluide de travail traverse un détendeur, où il est détendu à la pression p_1 . La température s'abaisse lors de cette détente de T_2 à T_1 , tandis que l'entropie ne se modifie pas.

Le fluide de travail s'écoule alors dans l'évaporateur sans qu'il y ait absorption ou cession de chaleur. Dans cet organe, le fluide absorbe une quantité de chaleur Q_1 de la source de chaleur à la température T_1 et il s'évapore. La vapeur est aspirée par le compresseur. L'énergie stockée dans le fluide de travail augmente jusqu'à ce que ce dernier soit totalement évaporé. Comme pendant cette opération la température ne se modifie pas, l'entropie augmente de S_a à S_b . Le cycle est fermé en atteignant le point de départ 1 et le processus se renouvelle.

La surface 1-2-3-4 du diagramme représente le travail W fourni par le compresseur et la surface 1-4- S_a - S_b la chaleur Q_1 soustraite à la source de chaleur. Dans le cas idéal cité ci-dessus, la surface S_b -2-3- S_a représente alors la chaleur utile Q_2 soustraite à la température T_2 , Q_2 étant égal à $Q_1 + W$.

3. DESCRIPTION ET MODE DE FONCTIONNEMENT

La pompe à chaleur est construite pour servir d'appareil de démonstration, permettant de montrer la fonction des différents constituants de l'appareil intervenant dans le cycle thermodynamique utilisé (voir la fig. 3). Le système fermé est rempli du fluide frigorigène R 12 servant de fluide de travail. Le compresseur 1, dont les tuyauteries sont installées d'une façon cachée derrière l'ossature du bâti, comprime le fluide frigorigère gazeux (provenant de l'évaporateur 16) et élève la quantité de chaleur présente de la quantité de chaleur Q_2 à la quantité de cha-

me ésta a la presión p_2 del punto 2, aumentando así su temperatura de T_1 a T_2 . Durante este paso no se intercambia energía calorífica con el medio, es decir, $dQ=0$ y $S=\text{const.}$

En el punto 2 se abre la válvula de salida del compresor fluyendo así la sustancia de trabajo en el condensador. En el condensador se licúa ésta a la temperatura T_2 , entregando la cantidad de calor Q_2 como calor aprovechable. Durante el proceso de licuefacción permanece la temperatura constante T_2 . Como $dS = dQ/T$ y $T = \text{const.}$ la entropía disminuye constantemente de S_b a S_a (Punto 3 del diagrama). Del punto 3 al punto 4 fluye la sustancia de trabajo en fase líquida a través de la válvula de reducción, expandiéndose a la presión p_1 . La temperatura disminuye de T_2 a T_1 , permaneciendo la entropía constante.

La sustancia de trabajo fluye en el evaporador sin perder ni ganar calor. Aquí recibe ella la cantidad de calor Q_1 a la temperatura T_1 y se evapora. El vapor es absorbido por el compresor. La energía almacenada en la sustancia de trabajo aumenta hasta que toda ella se haya evaporado. Como en este proceso la temperatura no cambia, la entropía aumenta de S_a hasta S_b . El proceso cíclico ha llegado así al punto inicial empezando éste de nuevo.

El área 1-2-3-4 en el diagrama representa el trabajo hecho por el compresor. El área 1-4- S_a - S_b representa la cantidad de calor Q_1 tomada de la fuente de calor. En el caso ideal descrito arriba, el área S_b -2-3- S_a nos da el calor aprovechable ganado a la temperatura T_2 , pues $Q_2 = Q_1 + W$.

3. DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO

La bomba de calor es un aparato concebido con el fin de demostrar y aclarar el proceso cíclico de trabajo. Para ello se tienen todos los componentes integrados en un diagrama; véase Fig. 3. El sistema cerrado contiene como sustancia de trabajo el refrigerante R12. El compresor 1, cuyos tubos conductores se encuentran cubiertos detrás de los puntales del soporte, comprime el refrigerante gaseoso (que sale del evaporador 16) aumentando la cantidad de calor ya existente Q_k en el valor Q_e , dando así la cantidad Q_w . El refrigerante recalentado en fase gaseosa es presionado en el condensador 4 a tra-

4. OPERATING INSTRUCTIONS

Connect the connecting lead of the heat pump to the AC mains; the mains switch is on the side of the casing.

Warning! On delivery of the unit, to protect the compressor wait about an hour before first starting up, as the distribution of refrigerant in the system can be disturbed during transport by shaking or by the unit not being in a vertical position.

Immerse both heat exchangers in water containers in order to carry out the tests. To do this, the unit should either be raised (avoiding undue tipping) or moved so that the heat exchangers protrude one after the other over the edge of the table, and the containers (which are best filled only then) can be pushed underneath.

The temperature probes intended (see Equipment List) should be set into the temperature measuring points, using a little heat-conductive paste; additional fastening is not necessary.

The heat exchangers should be freed of lime deposits from time to time; diluted acetic acid (about 5%) is suitable for this.

5. EXPERIMENT LITERATURE

Versuchsthemen Energie, Nutzung von Sonnenenergie und Umgebungswärme, Teil 2
Bestell-Nr. 16630.21

6. TECHNICAL DATA

Standard rating of compressor 150 W
Efficiency $\eta = 81\%$
Coefficient of performance $e = 2.6$
(maximum)
Operating voltage 220 V; 50 Hz

7. EQUIPMENT LIST

04370.88 Heat pump, compressor principle, including 2 insulating containers with cock; capacity 5 l

For temperature measurement optionally (4 measuring probes required in each case)

38005.00 Thermometer $-10^\circ \dots +100^\circ\text{C}$

or for demonstration measurement

11100.00 Moving coil instrument

11106.02 Range multiplier $+120^\circ\text{C}$

07922.01 Round cell, 1.5 V, R 14 (2 required)

04187.00 Temperature probe

or

11759.93 Digital apparatus for temperature measurement 4-4

11759.01 Temperature probe, immersion type, Pt 100

or

11762.93 Digital apparatus for temperature measurement 4-1

11762.02 Thermocouple NiCr-Ni

or

11762.03 Thermocouple NiCr-Ni, sheathed

To provide good thermal contact:

03747.00 Heat conductive paste, 50 g

4. INDICATIONS POUR LE MANIEMENT

La pompe à chaleur est raccordée avec sa conduite fixe de raccordement au secteur du courant électrique; l'interrupteur du secteur se trouve sur la face latérale du carter.

Attention! Après livraison de l'appareil, il faut, pour des raisons de protection du compresseur, attendre environ 1 heure avant la première mise en route, la répartition du fluide frigorigène pouvant être perturbée au transport par des secousses ou par une position non verticale.

Les deux échangeurs thermiques sont plongés dans un récipient d'eau pendant l'exécution de l'expérience. Pour ce faire, l'appareil doit, soit être soulevé (en ce faisant, éviter de trop basculer l'appareil), soit être déplacé de telle façon que les échangeurs dépassent successivement le bord de la table et que les récipients peuvent alors y être enfilés par le dessous (et lesquelles on ne remplit qu'après, pour des raisons pratiques).

On introduit dans les emplacements de mesure de température les sondes thermométriques prévues (voir liste des appareils) en les enduisant préalablement avec un peu de pâte thermoconductrice; une fixation supplémentaire n'est pas nécessaire.

Les échangeurs thermiques sont à libérer de temps en temps de leur dépôt de calcaire; pour ce faire, il est conseillé d'utiliser de l'acide acétique à 5%.

5. BIBLIOGRAPHIE D'EXPERIMENTATION

Versuchsthemen Energie, Nutzung von Sonnenenergie und Umgebungswärme, Teil 2
Bestell-Nr. 16630.21

6. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Puissance nominale du compresseur 150 W
Rendement $\eta = 81\%$
Facteur de performance $e = 2,6$ (max.)
Tension d'alimentation 220 V; 50 Hz

7. LISTE DES APPAREILS

04370.88 Pompe à chaleur, type à compression, y compris 2 récipients isolés avec robinet; capacité 5 litres

Au choix, pour la mesure des températures (il faut chaque fois 4 sondes de mesure)

38005.00 Thermomètre $-10^\circ \dots +100^\circ\text{C}$

ou pour des mesures visibles pour les élèves

11100.00 Galvanomètre à cadre mobile

11106.02 Cadran $+120^\circ\text{C}$

07922.01 Pile 1,5 V, R 14 (il faut 2 pièces)

04187.00 Sonde thermométrique

ou
11759.93 Appareil digital de mesure de température 4-4

11759.01 Sonde PT 100

ou
11762.93 Appareil digital de mesure de température 4-1

11762.02 Thermo-couple NiCr-Ni

ou
11764.03 Thermo-couple NiCr-Ni, avec gaine

Pour constituer un bon contact thermique:

03747.00 Pâte thermo-conductrice, 50 g

4. MANEJO

La bomba de calor se conecta a la red de corriente alterna. El interruptor se encuentra en la pared lateral de la caja.

Atención! Antes de poner la bomba en funcionamiento por primera vez, después de la entrega, es necesario esperar una hora. Por el transporte, el refrigerante puede estar repartido en todo el sistema lo cual pone en peligro el funcionamiento correcto del compresor.

Para experimentar se sumergen ambos intercambiadores de calor en recipientes de agua. Para ello se levanta la bomba (sin dejarla mucho).

Se colocan las sondas de temperatura en los puntos previstos, usando pasta conductora de calor. Un soporte adicional no es necesario.

De tiempo en tiempo es conveniente liberar los intercambiadores del revestimiento calcareo debido al agua. Apropiado para ello: ácido acético diluido (al 5%).

5. LITERATUR EXPERIMENTAL

Versuchsthemen Energie, Nutzung von Sonnenenergie und Umgebungswärme, Teil 2
Bestell-Nr. 16630.21

6. DATOS TECNICOS

Potencia nominal del compresor 150 W
Rendimiento $= 81\%$
Número de potencia $= 2,6$ (maximal)
Tensión de red 220 V, 50 Hz

7. LISTA DE APARATOS

04370.88 Bomba de calor, principio de compresión con 2 recipientes aislados con grifo; contenido 5 l

Para la medición de temperaturas, opcional (4 sondas necesariamente)

38005.00 Termómetro $-10^\circ\text{C} \dots +100^\circ\text{C}$

o para mediciones demostrativas:

11100.00 Instrumento de bobina giratoria

11106.02 Alcance de medida $+120^\circ\text{C}$

07922.01 Batería 1,5 V, R 14 (2 unidades necesariamente)

04187.00 Sonda de temperaturas

ó

11759.93 Medidor de temperaturas digital 4-4

11759.01 Sonda de temperaturas sumergible Pt 100

ó

11762.93 Medidor de Temperaturas digital 4-1

11762.02 Termoelemento NiCr-Ni respectivamente

11762.03 Termoelemento NiCr-Ni, recubierto

Para realizar un buen contacto térmico:

03747.00 Pasta conductora de calor, 50 g



PHYWE AG
P.O. Box 30 44
D-3400 Göttingen/F.R.G.
Phone: (05 51) 604-493

Print-No. BA 0686097



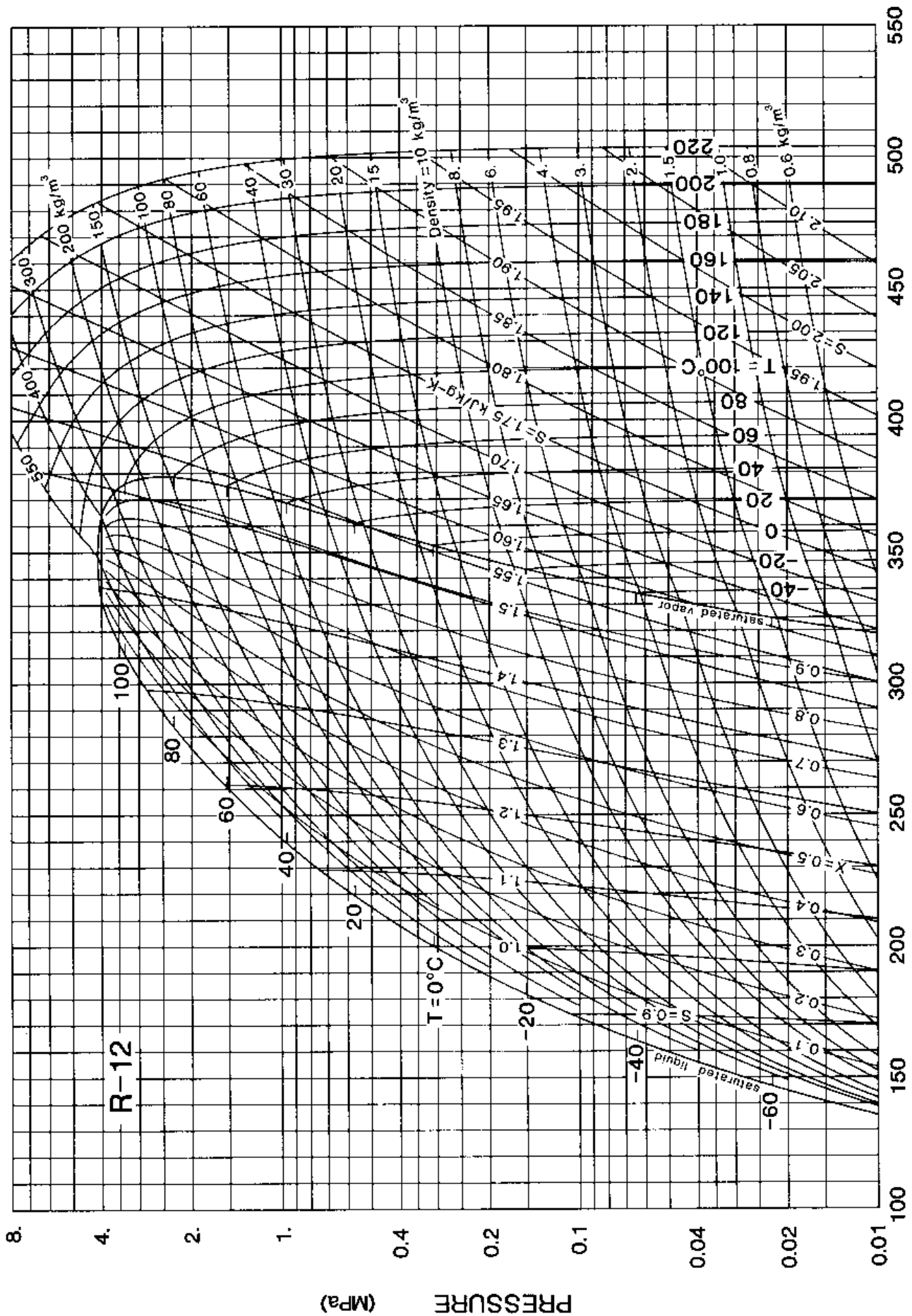
PHYWE AG
B.P. 30 44
D-3400 Göttingen/F.R.A.
Téléphone (05 51) 604-493

Imprimé No. BA 0686097



PHYWE AG
Apartado Correos 30 44
D-3400 Göttingen/R.F.A.
Teléfono (05 51) 604-493

Impreso No. BA 0686097



ENTHALPY (kJ/kg)

Prepared by: CENTER FOR APPLIED THERMODYNAMIC STUDIES, University of Idaho
 COPYRIGHT 1985 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS