ANEXO A.- MATERIALES AISLANTES PARA BAJAS TEMPERATURAS

Los ***aislamientos térmicos*** son necesarios para evitar pérdidas de energía térmica al medio que rodea los elementos de una instalación, como recipientes, tuberías y otros accesorios. Como la cantidad de energía térmica que se consume es creciente, el desarrollo de buenos aislamientos térmicos contribuye a una utilización más racional de la misma.

El consumo de energía se distribuye en la siguiente forma: $\begin{cases} 50\% \text{ en usos industriales} \\ 25\% \text{ en transportes} \\ 25\% \text{ en edificios} \end{cases}$

El 50% de la energía que se pierde tiene lugar a temperaturas inferiores a 100ºC, estimándose que con buenos aislamientos, las pérdidas se podrían reducir un 15% compensando los precios de coste de materiales, amortización y mantenimiento.

Los aislamientos térmicos se caracterizan por los bajos valores de su conductividad térmica, aunque en la elección de un determinado aislante hay que tener también en cuenta otros factores como su forma $\begin{cases} geométrica \\ tamaño \end{cases}$, y propiedades:

- Que afectan a la conductividad térmica, tales como temperatura, humedad, sinterización, emisividad

- Mecánicas, como la resistencia a la tracción y compresión, resistencia al choque térmico, fatiga, dilataciones y contracciones con la temperatura, abrasión, etc

- Eutécticas a distintas temperaturas y humedades

- Químicas, como la corrosión con y sin humedad, puntos de inflamación en medios ambientes de gases, polvos, etc.

- Trabajo, como cortes y preparación de formas, adhesivos, secado, olores, irritación de ojos o piel, toxicidad por polvos o disolventes de los materiales de juntas

La elección de un material aislante exige analizar sus propiedades para la función específica a la que se destina; los datos procedentes de casas comerciales son escasos y los resultados de medidas experimentales en laboratorio no especifican, en muchos casos:

- El comportamiento en servicio

- Los problemas de unión a los elementos principales del equipo

- La degradación del material

- La variación de las propiedades con el tiempo, etc

Aislamientos para bajas temperaturas.- Las aplicaciones en este intervalo de temperatura son:

- Usos domésticos y alimentación

- Procesos fisicoquímicos como la separación y almacenamiento de gases, acondicionamiento de aire, recu-

peración de disolventes, fermentaciones, etc.

Los materiales aislantes son numerosos y se extienden desde productos naturales tratados convenientemente como, corcho, madera, fibras, vegetales, hasta productos orgánicos como gomas o plásticos en placas o fibras.

Los materiales de fibras minerales mencionados anteriormente también tienen aplicación a bajas temperaturas.

Dada la gran variedad de materiales resulta mas conveniente agruparlos por su estructura:

- Materiales sólidos utilizados en construcción, ladrillos, cementos, yesos, morteros, estructuras compuestas, etc

- Fibras o lanas de vidrio, rocas, maderas, papel, cerámicas

- Estructuras celulares porosas y no porosas como materiales orgánicos e inorgánicos, vidrio celular, espumas de cloruro de vinilo, poliuretano, poliestireno, polivinilacetato

- Polvos inorgánicos, diatomeas, vermiculita, óxidos cerámicos

- Láminas finas generalmente Al, recubiertas con materiales aislantes

Un aspecto importante en los aislamientos para bajas temperaturas es la presencia de humedad; los materiales aislantes suelen ser higroscópicos, del orden del 10% a una atmósfera y humedad relativa del $50 \div 60\%$. Si la presión de vapor de agua en el exterior del aislamiento es superior a la correspondiente al interior, se produce una difusión y el vapor pasa a la estructura del aislante.

La ***conductividad térmica del agua*** es del orden de 25 veces superior a la del aire, por lo que un aislante cuando está seco presenta una baja conductividad térmica, pero cuando está instalado puede quedar afectado por la humedad ambiental y comportarse peor que un aislante de conductividad más elevada, pero menos sensible a la humedad. La distribución de humedad dentro del aislante no es lineal y la concentración de agua es mayor en las partes más frías.

Si la temperatura es baja, se produce hielo con un aumento notable de la conductividad térmica.

La condensación de agua desprende el calor latente que se transmite a través del vapor de agua si la estructura no es muy cerrada, además de favorecer los fenómenos de convección. Una forma empírica para calcular la conductividad térmica en función de la humedad, y utilizar los factores de convección sobre la conductividad térmica de los materiales en estado seco, es la siguiente:

Un método efectivo de evitar la pérdida de capacidad de un aislante por humedad, es disponer barreras al vapor de agua, utilizando varios materiales en los que la última capa presente un cierre cuasiestanco.

Humedad %	*1*	*2,5*	*5*	*10*	*15*	*20*	*25*
Factor de multiplicación de k (en estado seco)	*1,3*	*1,55*	*1,75*	*2,1*	*2,35*	*2,55*	*2,75*

Se deben cuidar especialmente las zonas débiles tales como: *Sujeccionesy uniones en ángulo*; *Válvulas*; *Salidas de elementos de instrumentación*

colocando cementos o materiales plásticos a los que no afecten las dilataciones, contracciones y vibraciones de la instalación, cuidados que deben ser tanto mayores cuanto menores sean las temperaturas de funcionamiento.

Los problemas de humedad han dado origen al desarrollo de materiales de estructura celular o expandidos, conocidos como espumas, de tipo $\begin{cases} Inorgánico,\ (vidrios\ y\ cementos) \\ Orgánico,\ (poliestireno,\ cloruro\ de\ polivinilo,\ uretanos) \end{cases}$

Los poros contienen aire o gases de baja conductividad y, por sus dimensiones, la convección es prácticamente despreciable; la fase gaseosa ocupa un elevado volumen del material, la conducción es el mecanismo que predomina, y estos materiales son sensibles al envejecimiento; una disminución de su resistencia al vapor de agua afecta notablemente a sus propiedades aislantes.

Tabla A1.- Materiales aislantes para bajas temperaturas (-100°C < T < 100°C)

	Densidad ρ	*Conductividad térmica*	
	gr/cm³	*°C*	*Kcal/hm°C*
Algodón cinta		*30*	*0,06*
Algodón capas		*100*	*0,045*
Amianto, papel		*25*	*0,14*
Amianto láminas		*25*	*0,05*
Amianto+acetato, láminas		*25*	*15*
Amianto (polvo)	*0,46*	*0*	*0,1*
	0,7	*0*	*2*
Coque (polvo)	*0,5*	*100*	
Corcho bruto	*0,09*	*20*	*0,03*
Corcho grano fino	*0,1*		*0,037*
Corcho cartón	*0,12*	*-100*	*0,02*
		20	*0,03*
Diatomeas, polvo	*0,15-0,2*	*-100*	*0,035*
		20	*0,045*
		100	*0,048*
Magnesia hidratada	*0,1-0,15*	*-80*	*0,02*
			0,034
Rosa, lana	*0,4*	*-100*	*0,034*
		0	*0,047*
	0,26	*-100*	*0,025*
		0	*0,034*
	0,095	*-100*	*0,017*
		0	*0,029*
Vidrio, lana	*0,058*	*-100*	*0,025*
		0	*0,036*
Vidrio, espuma	*0,2*	*-100*	*0,034*
		0	*0,043*
Vidrio, perlita	*0,2*	*-100*	*0,03*
		0	*0,05*
Vidrio, aerogel	*0,1*	*-100*	*0,012*
		0	*0,017*
Poliestireno (espuma)	*0,04*	*-100*	*0,029*
		0	*0,03*
Polivinilo (espuma)		*-100*	*0,032*
		0	*0,043*
Vermiculita	*0,216*	*-100*	*0,038*
		0	*0,055*

El ***aislamiento con capas múltiples*** se logra con fibras o polvos de baja conductividad térmica, entre láminas de Al de baja emisividad; estos materiales son sensibles a la humedad por lo que es frecuente la necesidad de hacer un vacío, tanto mayor cuanto menor es la temperatura. Con estructuras de 60 capas/cm se pueden obtener conductividades térmicas del orden de $1{,}54.10^{-5}$ (Kcal/ hmºC).

Los materiales en polvo se utilizan también para temperaturas bajas en vacío, la conducción se hace a través del material del aislamiento rodeado de una capa de gas, lográndose un sistema equivalente al aislamiento de capas múltiples; presenta la ventaja de utilizar vacíos moderados, de 0,01 mm de Hg, si bien hay que asegurar la ausencia de humedad.

Con tierra de diatomeas, o perlita se pueden obtener conductividades térmicas equivalentes, tal como se indica en la Tabla A-1.

Aislamientos en edificios.- Las personas desarrollan sus actividades físicas e intelectuales con esfuerzo mínimo cuando disponen de un clima agradable, por lo que los edificios deben estar protegidos para las temperaturas extremas en invierno y en verano, con unas condiciones de humedad adecuadas en el aire y ausencia de gases nocivos.

Como el consumo racional de energía, en cualquier sistema, impone la necesidad de buenos aislamientos, el acondicionamiento climático de las casas se debe estudiar en el doble aspecto humano y energético.

El aislamiento térmico de un edificio depende de las estructuras utilizadas en su construcción, proporciones volumétricas, orientación, huecos de ventanas, puertas, etc.

Normalmente se introducen aislamientos suplementarios en conjuntos normalizados, de lana de vidrio o roca, materiales de estructura celular o mezclas con cementos; dada la variedad de estructuras de materiales compuestos que se utilizan en la construcción, se insiste en el análisis térmico de estas estructuras porque los efectos de la humedad alteran considerablemente las hipótesis de cálculo.

La energía (calor o frío) necesaria para acondicionar un edificio se puede estimar en primera aproximación, compuesta de tres factores: $\begin{cases} - \textit{ Ventilación} \\ - \textit{ Pérdidas por paredes} \\ - \textit{ Orientación} \end{cases}$

El calor de ***ventilación*** se expresa por la ecuación:

$q_{vent} = c_p \ V_{aire} \, (T_{int} - T_{ext})$, en la que: $\begin{cases} V_{aire} \text{ es el volumen de aire a renovar} \\ T_{int} \text{ y } T_{ext} \text{ son las temperaturas interior y exterior respectivamente} \\ c_p \text{ es el calor específico a presión constante} \end{cases}$

Las pérdidas por las ***paredes*** son de la forma:

$$q_{pérd} = U \, A \, (T_{int} - T_{ext})$$

siendo: *U el coeficiente global de transmisión de calor para la estructura considerada, con aire a temperatura* T_{int} *en el interior del edificio y* T_{ext} *en el exterior*

Las pérdidas por ***orientación*** q_{orient} se expresan en % de las pérdidas por las paredes.

El ***calor total*** necesario es: $q = q_{vent} + q_{pérd} + q_{orient}$

En las Tablas siguientes se indican los valores necesarios para calcular los términos de la ecuación anterior para elementos estructurales simples.

ORIENTACIÓN: En paredes orientadas al N, NE y NO aumentar un 10%

CLIMA: En zonas húmedas, en paredes exteriores aumentar un 10%

$$\textit{VIENTOS.- Para velocidades de} \begin{cases} 4\ m/seg\text{, aumentar un } 5\% \\ 8\ m/seg\text{, aumentar un } 10\% \\ 20\ m/seg\text{, aumentar un } 15\% \end{cases}$$

$$\textit{PAREDES EXTERIORES.-} \begin{cases} \textit{En 2 paredes contiguas en ángulo recto aumentar un 20\%} \\ \textit{En 2 paredes opuestas entre sí aumentar un 30\%} \\ \textit{En 3 paredes unidas entre sí aumentar un 40\%} \\ \textit{En 4 paredes unidas entre sí aumentar un 50\%} \end{cases}$$

$$\textit{ALTURAS.-} \begin{cases} \textit{Hasta 4 m aumentar 2\%} \\ \textit{Para alturas superiores a 4 m aumentar un 4\%, hasta un máximo del 20\%} \end{cases}$$

$$\textit{VENTILACIÓN.- Salas comunes renovación de} \begin{cases} 25\ m^3/h \text{ para locales de } 0 \div 100\ m^3 \\ 20\ m^3/h \text{ para locales de } 100 \div 500\ m^3 \\ 15\ m^3/h \text{ para locales de } 500 \div 1000\ m^3 \end{cases}$$

Ejemplo.- *Estimar las pérdidas de calor en una nave de las siguientes características:*

- 7 x 12 m^2 *de superficie; orientación NE y NO para la dimensión de 12 m; la longitud de 7 m es una pared medianera a otras naves a 15°C*

- 3 plantas de 3,8 m de altura con 36 ventanas metálicas de doble vidrio de 2 x 1 m^2*, 18 en cada fachada.*

- Azotea compuesta de suelo de losetas cerámicas, vigas de hormigón armado con cuñas cerámicas y enlucido de yeso interior.

- Suelo de la nave de cemento de 20 cm de espesor.

- Puerta de entrada metálica de 4 x 3,5 m^2

- Renovación de aire 25 m^3/h *cada 100* m^3 *.*

- Temperatura interior 22°C, y temperatura mínima exterior 0°C; funcionamiento continuo.

- Paredes fachada y medianeras de ladrillo hueco, cámara de aire y aislamiento de 7 cm con espesor total de 40 cm

RESOLUCIÓN:

- Volumen interior aproximado: $7 \times 12 \times 3 \times 3{,}8 = 957{,}6\ m^3$

- *Calor ventilación:* $q_{ventilación} = 0{,}29 \ \frac{Kcal}{m^3\,ºC} \times 25 \times 9{,}596 \ \frac{m^3}{h} \times (22 - 0)ºC = 1530{,}56 \ \frac{Kcal}{h}$

- *Pérdidas en ventanas:* $q_{ventanas} = 36 \times 2\ m^2 \times 3{,}69 \ \frac{Kcal}{hm^2\,ºC} \times (22 - 0)ºC = 5845 \ \frac{Kcal}{h}$

- *Pérdidas en puertas:* $q_{puertas} = 4 \times 3{,}5\ m^2 \times 6{,}27 \ \frac{Kcal}{hm^2\,ºC} \times (22 - 0)ºC = 1931{,}2 \ \frac{Kcal}{h}$

- *Pérdidas en suelo nave:* $q_{suelo} = 96\ m^2 \times 3{,}6 \ \frac{Kcal}{hm^2\,ºC} \times (22 - 0)ºC = 7603{,}2 \ \frac{Kcal}{h}$

- *Pérdidas en la azotea:* $q_{azotea} = 96\ m^2 \times 1{,}3 \ \frac{Kcal}{hm^2\,ºC} \times (22 - 0)ºC = 2745{,}6 \ \frac{Kcal}{h}$

- *Pérdida paredes fachada:* $q_{fachada} = 187{,}6\ m^2 \times 0{,}68 \ \frac{Kcal}{hm^2\,ºC} \times (22 - 0)ºC = 2806{,}5 \ \frac{Kcal}{h}$ *, en la que la superficie de la fachada es:* $12 \times 3{,}8 \times 3 \times 2 - (36 \times 2) - (4 \times 3{,}5) = 187{,}6\ m^2$

- *Pérdidas paredes medianeras:* $q_{p.\ medianera} = 2 \times 7 \times 3{,}8\ m^2 \times 0{,}68 \ \frac{Kcal}{hm^2\,ºC} \times (22 - 15)ºC = 253{,}2 \ \frac{Kcal}{h}$

- *Pérdidas por orientación:* $2806{,}5 \times 0{,}1 = 280{,}6 \ \frac{Kcal}{h}$

- *Pérdidas por disposición:* $2806{,}5 \times 0{,}3 = 841{,}95 \ \frac{Kcal}{h}$

- ***Calor total*** $= 1530{,}56 + 5845 + 1931{,}2 + 7603{,}2 + 2745{,}6 + 2806{,}5 + 187{,}6 + 253{,}2 + 280{,}6 + 841{,}95 = 24025 \ \frac{Kcal}{h}$

Tabla A-2.- Coeficientes totales de transmisión de calor expresados en Kcal/hm²ºC

PAREDES EXTERIORES	*Espesor cm*	*Coeficiente total Kcal/hm²ºC*
Piedra dura con revestimiento interior	*30*	*2,4*
	45	*2,06*
	60	*1,72*
Piedra semidura con revestimiento interior	*30*	*2,15*
	45	*1,97*
	60	*1,63*
Ladrillo macizo con revestimiento interior	*30*	*1,29*
	45	*1,03*
	60	*0,94*
Ladrillo hueco revestido por las dos caras	*15*	*1,54*
	20	*1,37*
	30	*0,94*
Hormigón composición normal	*12*	*1,97*
	20	*1,37*
	30	*1,11*
Ladrillos huecos de hormigón	*40*	*1,03*

PAREDES EXTERIORES COMPUESTAS *Composición de la pared*	*Espesor total* *cm*	*Coeficiente total* *Kcal/hm²ºC*
Ladrilo macizo + cámara de aire de 5 cm + *+ pared interior de ladrillo hueco de 5 cm +* *+ revestimiento de 2 cm*	*20* *35* *45*	*1,37* *1,03* *0,86*
Idem, con aislante de 7 cm	*20* *35* *45*	*0,86* *0,77* *0,68*
Ladrillo hueco revestido + cámara de aire de 9 cm + *+ ladrillo hueco de 5 cm + revestimiento 2 cm*	*25* *30* *40*	*1,1* *0,94* *0,77*
Idem, con aislante de 7 cm	*30* *35* *40*	*0,77* *0,68* *0,68*

PAREDES INTERIORES	*Espesor total* *cm*	*Coeficiente total* *Kcal/hm²ºC*
Ladrillo macizo	*15*	*1,89*
	25	*1,37*
	35	*1,03*
Ladrillo hueco	*10*	*1,72*
	15	*1,37*
	35	*1,03*
Hormigón	*25*	*1,8*
	40	*1,48*
TABIQUES		
Ladrillo macizo	*10*	*2,06*
Ladrillo hueco	*10*	*1,72*

VENTANAS Y PUERTAS	*Kcal/hm²ºC*
Ventana exterior de madera (30% madera, cristal simple)	*4,98*
Ventana exterior metálica	*6,02*
Ventana exterior de madera y cristal doble	*3,18*
Ventana exterior metálica y cristal doble	*3,69*
Ventana doble de madera	*3,18*
Ventana doble metálica	*3,18*
Ventanas interiores de madera	*3,09*
Ventanas interiores metálicas	*3,61*
Puerta madera	*3,18*
Puerta metálica	*6,27*
Puertas interiores de madera	*2,49*
Puertas interiores de madera de doble pared	*1,97*

SUELOS Y TECHOS	*Espesor total* *cm*	*Coeficiente total* *Kcal/hm²ºC*
Suelo madera *Techo, vigas madera*	*20 a 25*	*Suelo: 1,63* *Techo: 1,8*
Suelo madera sobre ladrillo *Techo listones madera, con yeso, vigas madera, ladrillo*	*20 a 25*	*Suelo: 0,86* *Techo: 0,94*
Suelo madera sobre hormigón *Techo, yeso, vigas hierro, hormigón*	*20 a 25*	*Suelo: 0,86* *Techo: 0,94*
Suelo madera sobre bovedilla ladrillo *Techo, yeso, vigas hierro, bovedilla ladrillo*	*20 a 25*	*Suelo: 0,86* *Techo: 0,94*
Suelo vidrio *Techo, vigas hierro, vidrio*	*3*	*Suelo: 3,18* *Techo: 3,87*
Suelo madera sobre vigas de hormigón armado *Techo, yeso, zona intermedia hormigón*	*25*	*Suelo: 0,04* *Techo: 1,11*
Suelo madera sobre cemento *Techo, yeso, zona intermedia hormigón*	*25*	*Suelo: 1,97* *Techo: 2,06*
Suelo madera sobre vigas de hormigón armado *Techo, yeso zona intermedia, cuña cerámica*	*25*	*Suelo: 0,86* *Techo: 1,03*

AZOTEAS Y CUBIERTAS	*Espesor total cm*	*Kcal/hm²ºC*
Suelo de losetas cerámicas *Vigas de hormigón armado* *Techo de yeso* *Zona entre suelo y techo cuñas cerámicas*	*30*	*Suelo y techo* *1,4*
Suelo de losetas cerámicas *Vigas de hormigón armado* *Techo de yeso*	*20*	*Suelo y techo* *2,4*
Suelo de cemento *Vigas de madera*	*5* *10* *15*	*4,5* *4* *3,6*
Cubierta de pizarra con recubrimiento		*5,8*
Cubierta de placas de uralita sobre madera		*4,4*

Aislamientos para temperaturas criogénicas.- Los materiales para aislamientos a temperaturas muy bajas son, en general, los mismos que para temperaturas bajas, con la salvedad de una mayor calidad, distribución de estructuras, vacíos superiores y perfección de las instalaciones.

Los tipos de aislamientos más frecuentes son: $\begin{cases} \textit{Reflectores con vacío} \\ \textit{Capas múltiples} \\ \textit{Polvos} \end{cases}$

Los ***reflectores*** son metales muy pulidos, con emisividades muy bajas, del orden de 0,01; estos metales se obtienen por:

- *Deposición en los más caros como oro o plata*
- *Pulido con eliminación de vestigios de impurezas de* $\begin{cases} \textit{grasa} \\ \textit{aceites} \end{cases}$ *en materiales estructurales de Cu o Al*

La transmisión de calor por conducción en el gas del medio se reduce haciendo un vacío superior a 0,001 mm de Hg.

Las pérdidas por conducción se calculan por la ecuación de Kundsen para gases en vacío, de la forma:

$$\frac{q}{A} = k_{acom.} \; \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \sqrt{\frac{R}{8 \pi M T}} \; p \, (T_1 - T_2)$$

en la que: $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$ *es la temperatura media,* γ *el coeficiente adiabático, p la presión del gas, M su peso molecular, A la superficie de intercambio térmico y* k_{acom} *el coeficiente de acomodación de la forma:*

$$k_{acom.} = \frac{1}{\frac{1}{k_{acom(1)}} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{k_{acom(2)}} - 1 \right)}$$

siendo $k_{acom(1)}$ *y* $k_{acom(2)}$ *los coeficientes de acomodación a las temperaturas* T_1 *y* T_2*, y que definen los intercambios de energía entre las moléculas del gas y la superficie.*

En superficies limpias metálicas a 300ºK, $\begin{cases} k_{acom.} = 0{,}3 \text{ para el } H_2 \text{ y el He} \\ k_{acom.} = 0{,}7 \text{ para el Ne} \\ k_{acom.} = 0{,}8 \div 0{,}9 \text{ para el } N_2 \text{ y el } O_2 \end{cases}$; en el punto de licuación del gas, tienden a la unidad.

En los aislamientos de ***capas múltiples***, se disponen capas alternadas de:

- Láminas de Al

- Láminas de fibra de vidrio de 0,01 mm de espesor

formando conjuntos de $15 \div 40 \frac{capas}{cm}$ y una densidad global de $50 \div 300$ kg/m^3; la resistencia térmica a la $\begin{cases} radiación \text{ la proporcionan las láminas de Al} \\ conducción \text{ la proporciona la fibra de vidrio} \end{cases}$

Para aumentar la resistencia a la conducción, se hace el vacío en el sistema, obteniéndose valores de la conductividad térmica equivalente: $\begin{cases} \text{- desde } 2{,}6.10^{-3} \ Kcal/hm^\circ C, \text{ a } 0{,}0001 \text{ mm de Hg} \\ \text{- hasta } 2.10^{-5} \ Kcal/hm^\circ C \text{ a } 0{,}00001 \text{ mm de Hg} \end{cases}$, para un intervalo de temperaturas de la pared fría comprendido entre 20ºK y 75ºK.

Las conductividades térmicas de los ***materiales pulverulentos*** a bajas temperaturas son del orden de $2{,}4.10^{-3}$ (Kcal/hmºC), con densidades de 100 kg/m^3, y de naturaleza:

- Orgánica, como esférica fenólicas

- Inorgánica, como perlita, obtenida por calcinación de rocas volcánicas con agua de cristalización

- Aerogel de sílice, obtenido por vaporización de gel de sílice con expansión y condensación posterior

Su resistencia a la radiación se puede aumentar por recubrimiento con polvo de Al, obteniéndose conductividades del orden de 4.10^{-4} Kcal/hmºC.

El vacío aumenta la resistencia a la conducción, y con valores 100 veces inferiores al vacío de capas múltiples, del orden de 0,001 mm de Hg, se obtienen conductividades térmicas equivalentes con gel de sílice de $4{,}5.10^{-4}$ Kcal/hmºC.

Los polvos presentan la desventaja de $\begin{cases} la \text{ abrasión} \\ propiedades \text{ higroscópicas} \\ combustión \text{ con aire si son orgánicos} \end{cases}$, consideraciones a tener en cuenta en la elección y diseño de estos aislamientos.

- Los aislamientos tipo multicapa se utilizan frecuentemente para líquidos de bajas temperaturas de ebullición He (4,21ºK), H_2 (20,39ºK), Ne (27,07ºK)

- Los polvos se usan para líquidos de temperaturas de ebullición superiores, Aire (78,8º a 81,8ºK), Ar (87,27ºK), N_2 (77,35ºK), O_2 (90,19ºK), CO (81,63ºK), CH_4 (71,73ºK)

Tabla A-3.- Materiales aislantes reflectores para temperaturas criogénicas (-270ºC < T < -100ºC)

Material	*T(ºK)*	*ε(%)*	*T(ºK)*	*ε(%)*	*Material*	*T(ºK)*	*ε(%)*	*T(ºK)*	*ε(%)*
Aluminio	*5*	*1,1*	*100*	*1,8*	*Oro*			*100*	*1*
Bronce	*5*	*1,8*	*100*	*2,9*	*Plata*	*5*	*0,4*	*100*	*0,4*
Cobre	*5*	*0,5*	*100*	*0,8*					

Tabla A-4.- Materiales aislantes en capas múltiples

Material en capas múltiples		*Densidad* kg/m^3	*Temper.* ^oK	$k.10^4$ $Kcal/hm^oK$
Emparedado de 70 capas, espesor total 3,3 cm de	*papel de fibra de vidrio de 0,3 mm y láminas de Al de 0,006 mm*	*120*	*20* *70*	*0,34* *0,47*
Emparedado de 75 capas, espesor total 3,5 cm de	*papel de fibra de vidrio de 0,12 mm y láminas de Al de 0, 127 mm*	*110*	*20* *70*	*0,37* *0,44*
Emparedado de 96 capas, espesor total 5 cm de	*papel de fibra de vidrio de 0,3 mm y láminas de Al de 0,006 mm*	*120*	*70*	*0,94*
Emparedado de 24 capas/cm y vacío de 0,001 mm de Hg, con	*tejido de Nylon (0, 15 mm) y láminas de Al* $(6,3 \div 13).10^{-3}$ *mm*	*90*	*70*	*0,2*

Tabla A-5.- Materiales aislantes pulverulentos

Polvos	ϕ *(mm)*	*Densidad* kg/m^3	*Temperatura* ^oK	*Vacío* *mm de Hg*	$k_c.10^3$ $Kcal/hm^oK$
Aerogel	*0,25*	*120*	*20*	*0,001* *0,1*	*1,29* *1,97*
Sílice	*0,005*	*180*	*90*	*0,001* *0,1*	*0,7* *1,46*
Perlita expandida	*0,25*	*250*	*90*	*0,001* *0,1*	*0,58* *2,7*
Vermiculita	*0,2*	*280*	*90*	*0,001*	*3,26*
Lana de vidrio	*0,018*	*160*	*90*	*0,001* *0,1*	*4* *1,4*