

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

SISTEMAS DE AISLAMIENTO TERMICO APLICADOS  
A LA INDUSTRIA PETROLERA

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

JOSE ARTURO ESTRADA MARTINEZ

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO

Guatemala, Noviembre de 1996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
BIBLIOTECA CENTRAL



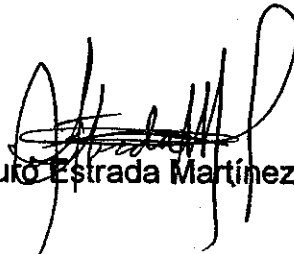
08  
T(3881)  
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

SISTEMAS DE AISLAMIENTO TERMICO APLICADOS  
A LA INDUSTRIA PETROLERA

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 24 de Agosto de 1,979 y revalidado el 18 de Agosto de 1,996.



José Arturo Estrada Martínez

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
191	192	193	194	195	196	197	198	199	200

201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216	217	218	219	220
221	222	223	224	225	226	227	228	229	230
231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250
251	252	253	254	255	256	257	258	259	260
261	262	263	264	265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276	277	278	279	280
281	282	283	284	285	286	287	288	289	290
291	292	293	294	295	296	297	298	299	300

301	302	303	304	305	306	307	308	309	310
311	312	313	314	315	316	317	318	319	320
321	322	323	324	325	326	327	328	329	330
331	332	333	334	335	336	337	338	339	340
341	342	343	344	345	346	347	348	349	350
351	352	353	354	355	356	357	358	359	360
361	362	363	364	365	366	367	368	369	370
371	372	373	374	375	376	377	378	379	380
381	382	383	384	385	386	387	388	389	390
391	392	393	394	395	396	397	398	399	400

401	402	403	404	405	406	407	408	409	410
411	412	413	414	415	416	417	418	419	420
421	422	423	424	425	426	427	428	429	430
431	432	433	434	435	436	437	438	439	440
441	442	443	444	445	446	447	448	449	450
451	452	453	454	455	456	457	458	459	460
461	462	463	464	465	466	467	468	469	470
471	472	473	474	475	476	477	478	479	480
481	482	483	484	485	486	487	488	489	490
491	492	493	494	495	496	497	498	499	500

501	502	503	504	505	506	507	508	509	510
511	512	513	514	515	516	517	518	519	520
521	522	523	524	525	526	527	528	529	530
531	532	533	534	535	536	537	538	539	540
541	542	543	544	545	546	547	548	549	550
551	552	553	554	555	556	557	558	559	560
561	562	563	564	565	566	567	568	569	570
571	572	573	574	575	576	577	578	579	580
581	582	583	584	585	586	587	588	589	590
591	592	593	594	595	596	597	598	599	600

601	602	603	604	605	606	607	608	609	610
611	612	613	614	615	616	617	618	619	620
621	622	623	624	625	626	627	628	629	630
631	632	633	634	635	636	637	638	639	640
641	642	643	644	645	646	647	648	649	650
651	652	653	654	655	656	657	658	659	660
661	662	663	664	665	666	667	668	669	670
671	672	673	674	675	676	677	678	679	680
681	682	683	684	685	686	687	688	689	690
691	692	693	694	695	696	697	698	699	700

701	702	703	704	705	706	707	708	709	710
711	712	713	714	715	716	717	718	719	720
721	722	723	724	725	726	727	728	729	730
731	732	733	734	735	736	737	738	739	740
741	742	743	744	745	746	747	748	749	750
751	752	753	754	755	756	757	758	759	760
761	762	763	764	765	766	767	768	769	770
771	772	773	774	775	776	777	778	779	780
781	782	783	784	785	786	787	788	789	790
791	792	793	794	795	796	797	798	799	800

801	802	803	804	805	806	807	808	809	810
811	812	813	814	815	816	817	818	819	820
821	822	823	824	825	826	827	828	829	830
831	832	833	834	835	836	837	838	839	840
841	842	843	844	845	846	847	848	849	850
851	852	853	854	855	856	857	858	859	860
861	862	863	864	865	866	867	868	869	870
871	872	873	874	875	876	877	878	879	880
881	882	883	884	885	886	887	888	889	890
891	892	893	894	895	896	897	898	899	900

901	902	903	904	905	906	907	908	909	910
911	912	913	914	915	916	917	918	919	920
921	922	923	924	925	926	927	928	929	930
931	932	933	934	935	936	937	938	939	940
941	942	943	944	945	946	947	948	949	950
951	952	953	954	955	956	957	958	959	960
961	962	963	964	965	966	967	968	969	970
971	972	973	974	975	976	977	978	979	980
981	982	983	984	985	986	987	988	989	990
991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1o.	Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra
VOCAL 2o.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3o.	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4o.	Br. Fernando Waldemar de León Contreras
VOCAL 5o.	Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor
SECRETARIO	

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Armando Vides Tobar
EXAMINADOR	Ing. Sigurd Moglebust Chua
EXAMINADOR	Ing. Carlos Francisco Marroquín Ziese
EXAMINADOR	Ing. Francisco Billeb Vela
SECRETARIO	Ing. Héctor Adolfo Centeno Bolaños



## **ACTO QUE DEDICO**

**A MIS PADRES**

**Por todos sus sacrificios.**

**A MI ESPOSA E HIJOS**

**Con mucho cariño.**

**A LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y A LA UNIVERSIDAD DE SAN  
CARLOS DE GUATEMALA**

**Por la oportunidad de  
superación que me  
brindó.**

**A GUATEMALA**

**Porque merece nuestros  
mejores esfuerzos.**





## **AGRADECIMIENTO**

**A MIS HIJOS**

**DINNA, OSCAR Y LESLIE**

**Porque gracias a su valiosa ayuda fue posible culminar mi carrera de Ingeniero Mecánico.**

**AL ING. JORGE SIGUERE**

**Por sus valiosos consejos y apoyo incondicional para la finalización de este trabajo de tesis.**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Guatemala, 14 de Octubre de 1996

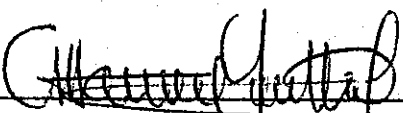
Ingeniero  
Jorge Siguere R.  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería, USAC  
Presente

Señor Ingeniero:

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para remitir el trabajo de tesis del estudiante JOSE ARTURO ESTRADA MARTINEZ, titulado "SISTEMAS DE AISLAMIENTO TERMICO APLICADOS A LA INDUSTRIA PETROLERA", previo a sustentar su Exámen Público en la carrera de Ingeniería Mecánica.

Al respecto me permito informarle, que el trabajo realizado por el estudiante Estrada Martinez, fué desarrollado cumpliendo con los requisitos reglamentarios, así como sometido por el suscrito, a las revisiones necesarias; por lo que considero que el mismo está apto para su trámite final en esa unidad académica.

Sin más sobre el particular, me es grato suscribirme deferentemente,

  
Ing. Manuel Guillén Fernández  
Colegiado No. 1402  
ASESOR

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----



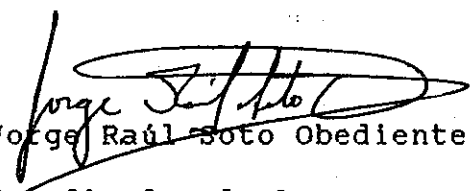
**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador del área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor, y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado Sistemas de Aislamiento Térmico Aplicados a la Industria Petrolera del estudiante José Arturo Estrada Martínez, recomienda su autorización.

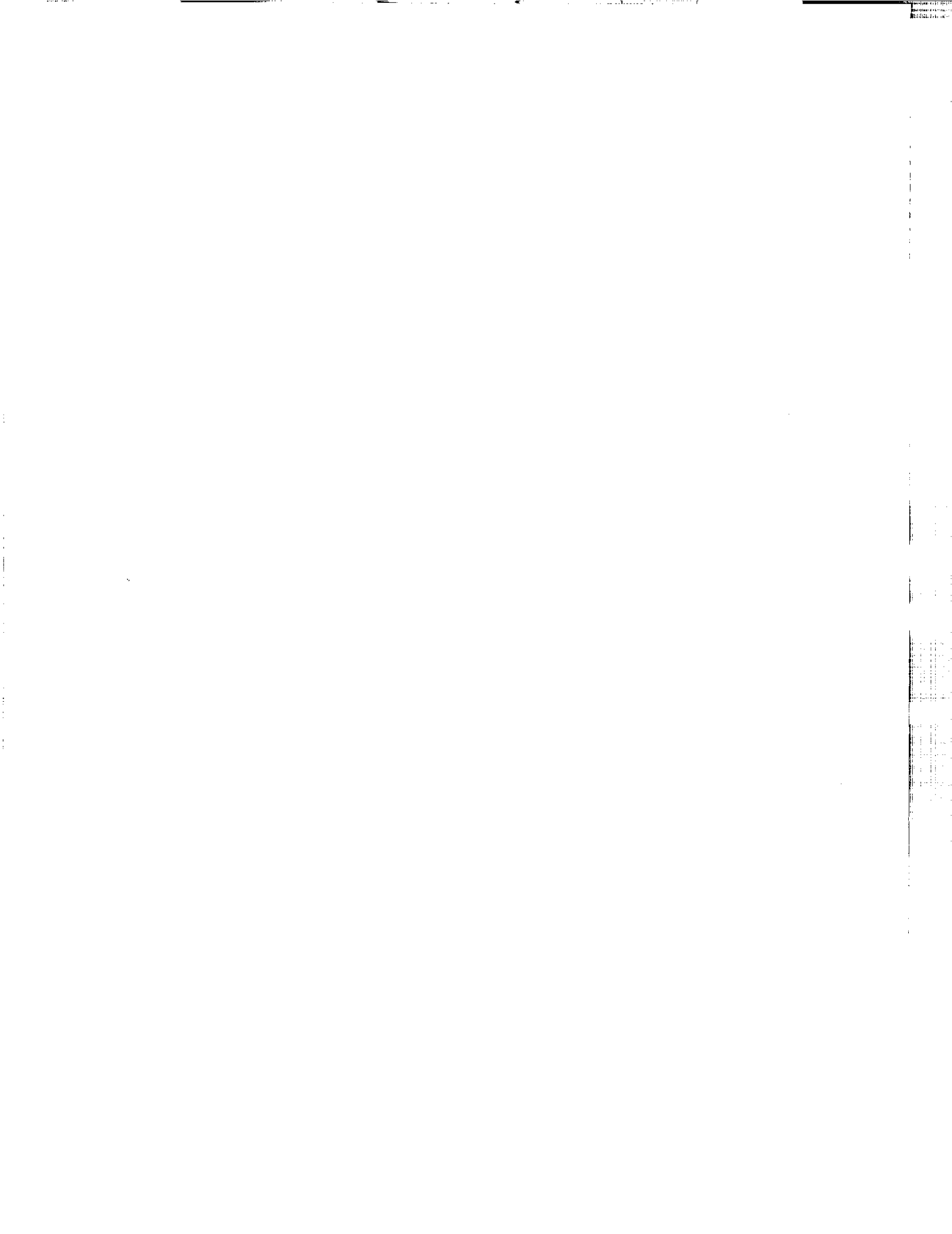
ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Jorge Raúl Soto Obediente

Coordinador de Area

Guatemala, octubre de 1,996.

/behdei.





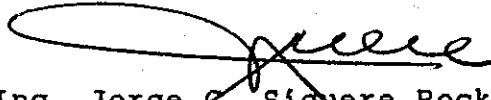
**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Area Térmica, al trabajo de tesis titulado Sistemas de Aislamiento Térmico Aplicados a la Industria Petrolera, del estudiante José Arturo Estrada Martínez, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Jorge C. Siguere Rockstroh

DIRECTOR DE ESCUELA

Guatemala, noviembre de 1,996.

/behdei







**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Jorge C. Siguere Rockstroh, al trabajo de tesis titulado Sistemas de Aislamiento Térmico Aplicados a la Industria Petrolera, presentado por el estudiante universitario José Arturo Estrada Martínez, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

  
ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS

Guatemala, noviembre de 1,996.

/behdei.





# ÍNDICE GENERAL

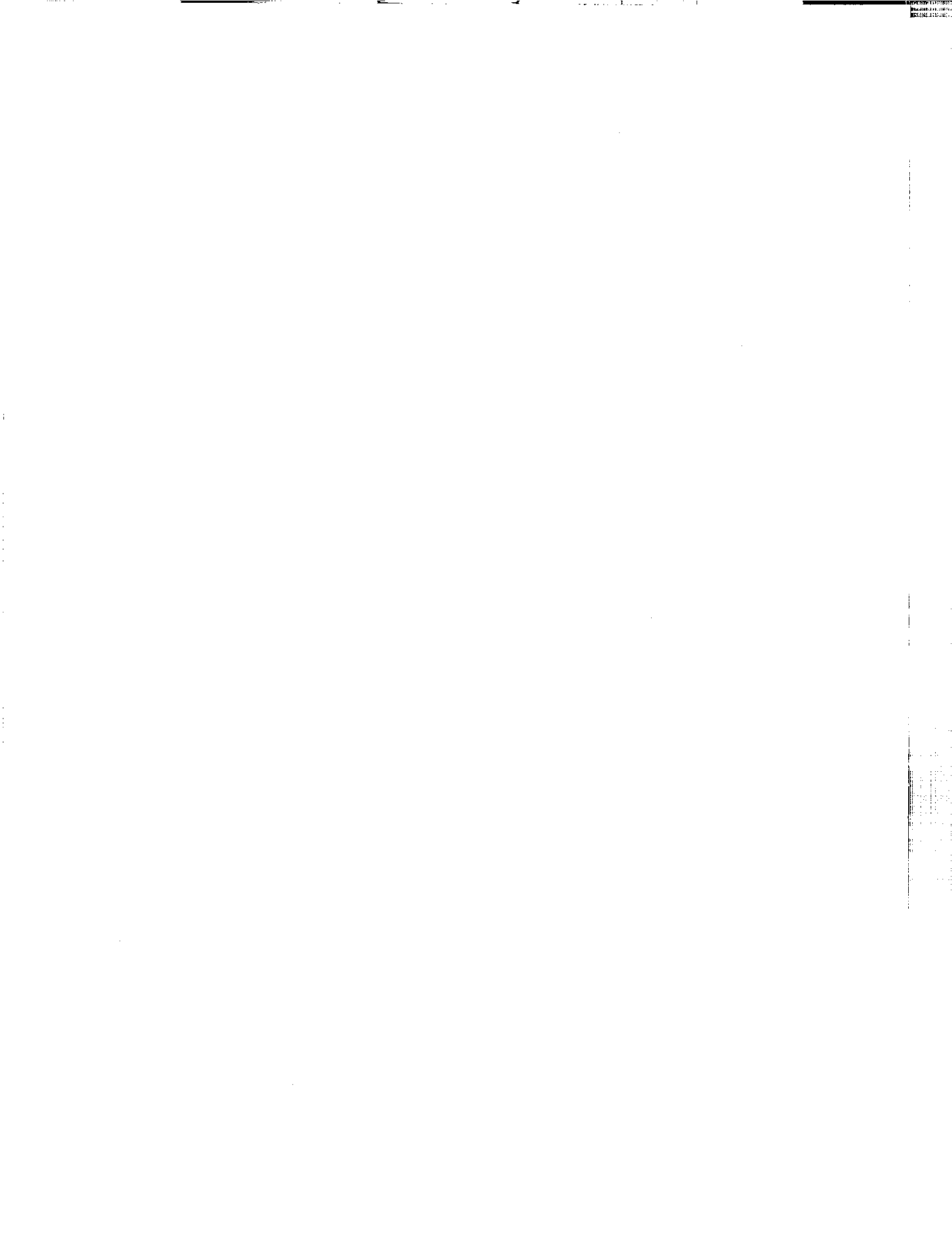
<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINA</b>
Lista de Ilustraciones	I
Lista de Cuadros	II
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>III</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>IV</b>
Generalidades de los aislamientos térmicos	1
La importancia y selección del recubrimiento adhesivo y sellador del aislamiento térmico	5
Los termoaislantes	9
Características generales de los aislantes	12
La importancia del aislamiento térmico dentro de un sistema correcto	31
Teoría y criterios económicos en la utilización de aislantes térmicos	44
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>53</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>55</b>

1. Name of the person or organization  
2. Address  
3. City  
4. State  
5. Zip  
6. Telephone number  
7. Fax number  
8. E-mail address  
9. Website  
10. Other contact information

1. Name of the person or organization  
2. Address  
3. City  
4. State  
5. Zip  
6. Telephone number  
7. Fax number  
8. E-mail address  
9. Website  
10. Other contact information

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Página
<b>Fig. 1</b> <b>Contribución de mecanismos, material fibroso                   sin resina aglomerante</b>	<b>10</b>
<b>Fig. 2</b> <b>Influencia de la humedad</b>	<b>17</b>
<b>Fig. 3</b> <b>Coefficientes de conductividad</b>	<b>18</b>
<b>Fig. 4</b> <b>Conductividad aparente que resulta de la radiación                   entre granos</b>	<b>21</b>
<b>Fig. 5</b> <b>Conductividad térmica de aislantes pulvurentos                   para diferentes diámetros</b>	<b>22</b>
<b>Fig. 6</b> <b>Variación de la Conductividad Térmica de un polvo                   con la presión</b>	<b>23</b>
<b>Fig. 7</b> <b>Propiedades de las espumas en función de la densidad</b>	<b>24</b>
<b>Fig. 8</b> <b>Envejecimiento de los aislantes</b>	<b>27</b>
<b>Fig. 9</b> <b>Gráfica esquemática para la obtención de espesor óptimo</b>	<b>33</b>
<b>Fig. 10</b> <b>Gráfica esquemática para la obtención de espesores óptimos                   comerciales para superficies planas</b>	<b>35</b>
<b>Fig. 11</b> <b>Amortización del aislante a 1 año</b>	<b>49</b>
<b>Fig. 12</b> <b>Amortización del aislante a 5 años</b>	<b>50</b>
<b>Fig. 13</b> <b>Amortización del aislante a 10 años</b>	<b>51</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>TABLAS</b>		<b>Página</b>
<b>TABLA 1</b>	<b>Conductividad térmica de diferentes materiales</b>	<b>11</b>
<b>TABLA 2</b>	<b>Conductividad del tabique seco con aire a 22°C</b>	<b>14</b>
<b>TABLA 3</b>	<b>Conductividad térmica en algunos gases</b>	<b>16</b>
<b>TABLA 4</b>	<b>Conductividad térmica de la harina de diatomea con diferentes gases a 50°C</b>	<b>19</b>
<b>TABLA 5</b>	<b>Conductividad térmica de un tabique poroso en función de la humedad a 20°C</b>	<b>20</b>
<b>TABLA 6</b>	<b>Conductividad térmica de sólidos</b>	<b>39, 40, 41 42, 43</b>





## INTRODUCCIÓN

Una de las características que saltan a la vista en las plantas petroleras, es la cantidad de instalaciones forradas de gruesas capas aislantes. Las razones para tales protecciones son variadas.

Entre éstas podemos incluir, seguridad para el personal, facilidad de operación, mantenimiento, condiciones de temperatura de proceso, economía por ahorro de energía.

Es sabido que el hombre puede resistir temperaturas moderadamente altas por ciertos períodos de tiempo sin que esto provoque lesión alguna. Tal es el caso de los baños turcos, sauna, etc. No así un alto flujo de calor. Es posible sufrir quemaduras graves al entrar en contacto con un metal unos cuantos grados bajo cero, esto no sucede con un trozo de madera a la misma temperatura, dado que el calor por unidad de tiempo área transmitido del metal a la piel es alta comparado con el transmitido por la madera. El aislamiento tiene la doble función de abatir la temperatura y de impedir un alto flujo para protección de personal que transita en las vecindades de las instalaciones industriales dando mayores facilidades a la operación y mantenimiento de equipos no únicamente por razones de seguridad, sino también por la atmósfera de trabajo, permitiendo para los operadores jornadas más largas y de mayor eficiencia.

A pesar de que el tema de los aislantes térmicos es extenso, el presente trabajo se ha querido resumir en muchos aspectos importantes que sean de utilidad principalmente, al profesional recién graduado y a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

## GLOSARIO

<b>Termoaislante:</b>	<b>Material que nos evita la pérdida o ganancia de calor en un sistema determinado.</b>
<b>Temperatura de operación:</b>	<b>Es el rango de temperaturas en el cual son aplicables los aislantes térmicos.</b>
<b>Espesor óptimo:</b>	<b>Grueso de material aislante capaz de resistir las temperaturas máximas de operación.</b>
<b>Abuso mecánico:</b>	<b>Riesgos a los que están expuestos los aislantes por el intenso tráfico, donde sufren impactos, esfuerzos, golpes y presiones constantes.</b>
<b>Abuso químico:</b>	<b>Riesgos debidos a ácidos, álcalis, sales y mixturas en los diversos recubrimientos.</b>
<b>Polvos aislantes:</b>	<b>Materiales obtenidos por aglomeración de pequeñas partículas cuyo diámetro fluctúa de algunos micrones a algunos milímetros.</b>
<b>Espumas:</b>	<b>Materiales de origen sintético, obtenidos por la expansión de un gas.</b>
<b>Conducción:</b>	<b>Transferencia de calor a través de los sólidos.</b>
<b>Convección:</b>	<b>Transferencia de calor ocurrida por medio de fluidos.</b>
<b>Radiación:</b>	<b>Transferencia de calor por medio de ondas electromagnéticas.</b>

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

# GENERALIDADES DE LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS

Un material termoaislante es todo aquél que nos evita la pérdida o ganancia de calor de un sistema determinado, porque está compuesto de materiales básicos con un coeficiente de transmisión de calor bajo, conformados de tal forma, que queden atrapadas celdillas de aire en reposo, rodeadas de paredes sólidas.

Basándonos en esta definición, un aislamiento térmico nos va a representar primeramente economía. Por qué? Porque, al evitar la transmisión de calor de un sistema, evitaremos el paso de energía de un cuerpo a otro, en virtud de una diferencia de temperatura existente entre los mismos. Este ahorro de energía calorífica va a repercutir en nuestro sistema, en un ahorro considerable de energéticos, porque la energía proporcionada por nuestro combustible, no va a ser liberada en la trayectoria trazada de cualquier sistema.

Un aislamiento térmico representa una fuerte inversión, que se verá recuperada en un tiempo bastante corto, con el ahorro de energéticos que se obtendrá, y con la mejor eficiencia y funcionamiento de nuestros equipos y maquinaria.

También un aislamiento térmico nos va a representar eficiencia en nuestro equipo, porque, al evitar pérdidas o ganancias de calor, evitaremos que los motores de nuestro equipo trabajen a una capacidad mayor a la de operación. Esto lo podemos observar fácilmente en un sistema de refrigeración, en el cual, nos interesa conservar una determinada temperatura; si nuestro sistema no está aislado térmicamente, vamos a tener ganancia de calor, y para contrarrestar este efecto, nuestro compresor tendrá que estar trabajando continuamente para poder mantener la temperatura que nos interese. En cambio, si aislamos térmicamente nuestro sistema, evitaremos la ganancia de calor y el trabajo continuo o forzado de nuestra maquinaria.

Finalmente, un aislamiento térmico nos va a representar protección para el personal que pudiera entrar en contacto inadvertidamente sobre aquellas superficies calientes. Cuando se requiera este tipo de aislamiento térmico, deberán ser recubiertas las superficies hasta una altura de 2 metros arriba del nivel normal del piso, en pasillos o en áreas en las que el personal deba permanecer por largo tiempo; también aquellos equipos y tuberías que estén localizadas hasta 60 centímetros de cualquier extremo de las plataformas de operación.

Normas para la selección de materiales aislantes de acabado. Para la selección de un material aislante, debemos tener presente los siguientes factores:

- ▶ La temperatura de operación del equipo o tubería, ya que los materiales aislantes tienen sus limitaciones en cuanto al rango de temperatura en el cual son aplicables con un alto grado de eficiencia, o simplemente no son operables; esto se debe a la composición de los materiales básicos con los que están compuestos.

El espesor seleccionado de un material aislante para la buena operación de un equipo o tubería, es otro factor íntimamente ligado con la temperatura de operación del sistema. Se debe tener presente que, para la selección del tipo de aislamiento y cálculo del espesor del mismo, debe tomarse como base la temperatura máxima de operación, y no la de diseño del equipo.

La selección del espesor adecuado puede obtenerse por dos métodos: aplicando la fórmula de transmisión de calor, en donde interviene el factor de conductividad térmica del material, el área de la superficie transmisora de calor, las pérdidas de calor permisibles para el caso por analizar y las temperaturas del lado caliente y frío del aislamiento; o simplemente utilizando las gráficas tabuladas por los fabricantes de materiales aislantes, quienes, han considerado todos estos factores.

La buena selección del espesor de un material aislante es de primordial importancia, porque, a través de él se puede lograr buena eficiencia térmica en una tubería o equipo, y las pérdidas de calor se pueden ser aumentadas o disminuidas. Muchas veces es necesario efectuar un balance económico, para ver si es más conveniente efectuar una mayor inversión aumentando el espesor del aislamiento sobre el recomendado, con tal de obtener mejor eficiencia térmica y menores pérdidas de calor.

► El medio ambiente, el factor muy importante que debemos conocer y tener presente en la elección de un material aislante y de acabado.

Un buen material aislante, además de una alta resistencia a la transmisión de calor, debe tener otras características relacionadas con la aplicación que se le dé. En algunas aplicaciones, como el aislamiento de hornos, el material debe ser capaz de resistir altas temperaturas sin deteriorarse. En el aislamiento de aviones, son cualidades esenciales cierta robustez estructural, capacidad de resistir la vibración y poco peso; los materiales aislantes deben ser inodoros y no absorber olores. Deben ser resistentes a la putrefacción o desintegración, y no ser de alimento a roedores e insectos. Esto es primordial para el aislamiento de edificios o almacenes de alimento. Todo material aislador debe ser resistente a la humedad o estar protegido contra la misma.

Hay otros medios sumamente corrosivos, para lo cual, es necesario colocar sobre el equipo o tubería algún material anticorrosivo, que sirva de protección, tanto del equipo como del aislamiento térmico. También es frecuente encontrar medios sulfurosos, salitrosos, alcalinos, húmedos, secos, etc., que hay que combatir, colocando, tanto el material aislante como el de acabado adecuado; esto se puede lograr, conociendo las propiedades físicas y químicas de los materiales.

En la selección de un material aislante y sus acabados, es importante conocer si éstos van a ser colocados a la intemperie o bajo cubierta. En el primer caso, no se puede dejar el material al descubierto, se debe proteger contra las inclemencias del medio ambiente con un impermeabilizante, o si el caso lo permite, con lámina galvanizada o de aluminio, o con cementos plásticos. Si el sistema por aislar está bajo techo, y no hay problemas de deterioro por causas humanas o sustancias perjudiciales, se puede dejar el material aislante sin ningún acabado, procurando dejar un sello perfecto en sus juntas, uniones o traslapes, para evitar pérdidas de calor; sin embargo, se debe procurar proteger en parte el material aislante, para aumentar la vida útil del aislamiento térmico.

► El abuso mecánico es otro factor primordial que se debe tener presente en la elección del aislamiento térmico y materiales de acabado. Con frecuencia, encontramos casos donde se ha tendido una red de tuberías a nivel de piso, en áreas con mucho tránsito, o equipos en áreas de trabajo pesado, en las que los materiales sufrirán impactos, esfuerzos, golpes, presiones constantes, etc. El problema hay que solucionarlo, para lo cual, es necesario seleccionar un material aislante y de acabado, adecuado a la necesidad imperante, conociendo su resistencia a la tensión, compresión, módulo de Young, esfuerzos permisibles, etc.

Por lo general, el material aislante, al estar constituido por celdillas de aire en reposo, rodeadas de una estructura celular sólida, es un material delicado; y si no recibe el trato o protección adecuadas, irá perdiendo su configuración y, por lo tanto, sus propiedades térmicas. Por ejemplo, si se ha seleccionado una placa aislante a una determinada densidad y espesor, y es sometida a cargas que actúen comprimiendo el aislamiento térmico, nos encontraremos con que el material seleccionado perdió todas sus propiedades de trabajo para el cual fue elegido, ya no tendrá el espesor original y, consecuentemente, su densidad se habrá transformado, así como su eficiencia y pérdidas de calor se verán modificadas. Es por esto que se deberá tener mucho cuidado en la selección del aislamiento térmico y de sus materiales accesorios y de acabado.

## **INSTALACIÓN DE MATERIALES AISLANTES**

Todo equipo que requiera aislamiento térmico, deberá tener los soportes necesarios y adecuados para sujetar el material.

En el aislamiento térmico de equipos calientes, generalmente son utilizados soportes metálicos; éstos son, en el caso de equipos verticales, anillos; en el caso de equipos horizontales, ángulos y barras; acompañados ambos casos de clavos o pernos soldados. Esta soportería deberá diseñarse, de acuerdo al espesor del aislamiento para cada aplicación específica, y nunca deberá sobresalir más allá de la mitad del espesor del aislamiento, ya que estos puntos representan fugas de calor, debido a que están constituidas por materiales metálicos, conductores de calor.

En el aislamiento térmico de equipos fríos, no es recomendable utilizar anillos, ángulos o barras de soporte metálico, ya que es más perjudicial una ganancia de calor en este caso, que la pérdida de calor resultante del aislamiento en caliente. Si se llegan a usar, hay que recubrir estas secciones de soportería con un espesor igual al colocado en el resto del equipo; de otra manera, puede surgir un problema bastante serio, ya que, al tener menos espesor en estas secciones, se tendrá por consecuencias, zonas frías expuestas al aire del medio ambiente, pudiendo originar condensaciones del vapor de agua de este aire. En otros casos, se podrá llegar, incluso, hasta la formación de hielo, provocando grandes presiones que destruirán el material aislante. Lo recomendable para sujetar el aislamiento en frío, son soportes plásticos unidos a la superficie del equipo, por medio de resinas epóxicas y adhesivos especiales. Cuando se utiliza material espesado en el lugar, el anclaje sale sobrando.

Para asegurar aún más la sujeción del aislamiento térmico, tanto para equipos calientes como para fríos, se debe utilizar fleje a cada 30 ó 40 cm. separado uno del otro, colocándolos en forma recta y tensa para mantener un ajuste permanente en las uniones.

Antes de proceder a la instalación de los materiales aislantes, es importante chequear que se hayan efectuado las pruebas hidrostáticas del equipo o tubería para recubrir; además, es necesario liberar la superficie sobre la que se aplicará el aislamiento de grasas, escorias, aceites, cuerpos extraños y humedades.

Al instalar el material aislante, hay que asegurarse de recubrir uniformemente la superficie completa, sellando todas sus juntas o uniones; para esto, se recomienda utilizar cementos monolíticos; además, se logrará, al aplicarlo sobre toda el área aislada, una superficie lisa, tersa y uniforme. Este material se debe colocar sobre un metal desplegado o tela de gallinero, que le servirá de base para que no se desmorone o se desprenda.

Sobre el cemento monolítico se coloca, finalmente, el acabado, el cual, dependerá del medio ambiente, ya sea si el sistema se encuentra a la intemperie o bajo cubierta. Este material de acabado podrá ser un loneta y pintura ahulada resistente a la disipación de calor, a través del aislamiento, un cemento impermeabilizante, una lámina galvanizada o de aluminio, o resina poliéster con fibra de vidrio.

**Es muy importante que en este material de acabado exista un sello completo, para evitar el paso de agua u otras sustancias que puedan ser perjudiciales para el aislamiento térmico.**

**Para el caso de aislamiento térmico de equipos fríos, es conveniente colocar el material aislante en dos o tres capas traslapadas, de acuerdo al espesor que se requiera, con el objeto de tener un mejor sello en sus juntas y uniones, y evitar ganancias de calor. También es de primordial importancia la utilización de la barrera de vapor, que nos va a impedir que entre en contacto el vapor de agua del medio ambiente con la superficie fría del equipo. El material aislante adecuado para el aislamiento térmico de sistemas fríos, no es impermeable al paso del vapor de agua; por lo tanto, si no se utiliza la barrera de vapor, se pueden presentar casos de condensación o formaciones de hielo de este vapor de agua al entrar en contacto con la pared fría del equipo o tubería, ocasionando que el equipo térmico se deteriore e, incluso, llegue a su destrucción. La barrera de vapor debe colocarse del lado caliente del aislamiento térmico, para evitar los problemas descritos a través de todo el espesor del material aislante.**



# LA IMPORTANCIA Y SELECCIÓN DEL RECUBRIMIENTO, ADHESIVO Y SELLADOR DEL AISLAMIENTO TÉRMICO

Debido a la consistencia del aislamiento, no tiene una resistencia a la erosión, agua, rayos solares, impacto y abuso químico y paso de vapor de agua. Debido a ello, se requiere de recubrimientos específicos, para poder dictaminar cuál es el recubrimiento que se deberá tener en cuenta:

1. Temperatura de operación
2. Tipo de aislamiento
3. Localización
4. Abuso físico
5. Abuso químico
6. Temperatura de superficie recubierta
7. Condiciones ambientales
8. Seguridad contra el fuego

## RECUBRIMIENTOS

Con el objeto de poder llegar al recubrimiento ideal para un aislamiento térmico, se deberán conocer los siguientes datos:

### ► TEMPERATURA DE OPERACIÓN:

Esta nos dará la clave de qué tipo de propiedades debemos de exigir al material a usar, ya que, por la permeancia, podremos dictaminar si el material que requerimos es barrera de vapor o no, pues, cuando se utiliza el aislamiento térmico en un diferencial de temperaturas, y una de ellas está bajo el punto de rocío, se provocará un gradiente que arrastrará consigo la humedad relativa dentro del aislamiento térmico, y cuando llegue el vapor de agua de rocío, ésta se condensará, desplazando el aire del interior del aislante, y bajando la eficiencia del aislamiento. Y si la temperatura es de congelación, cambiará de su estado físico al agua, es decir, de líquido a sólido, provocando con ello la destrucción del aislamiento. Con el objeto de evitar este fenómeno, se requieren materiales que resistan el paso del vapor de agua, llamados barreras de vapor.

### ► TIPO DE AISLAMIENTO:

El aislamiento térmico tiene propiedades, de las cuales, es indispensable su conocimiento, para determinar el recubrimiento como su resistencia a solventes.

Debido a que, por lo general, se aísla a temperatura ambiente, los equipos tenderán a contraerse o dilatarse, según la temperatura de operación, por lo que se moverá también el aislamiento. El recubrimiento ideal deberá trabajar en conjunto con el aislamiento, es decir, que se adhiera de tal modo al aislamiento, que absorba todos los movimientos, tanto del equipo como del aislamiento mismo, por lo que el recubrimiento ideal deberá ser flexible y no rígido, ya que un acabado rígido tendrá sus propios movimientos que erosionarán el aislamiento.

### ► LOCALIZACIÓN:

Esta influye mucho en el tipo de recubrimiento a usar, ya que las condiciones varían totalmente. Existen dos tipos de localización del aislamiento, que son:

- ◆ **INTEMPERIE:** Con este término expresamos también **SERVICIO PESADO**, ya que el recubrimiento a usar, deberá resistir erosión, agua y rayos solares. Los materiales que refuercen los recubrimientos también deberán resistir este tipo de abuso.
- ◆ **BAJO TECHO:** Cuando el aislamiento se encuentre bajo techo, puede estar en dos subtipos de localización: **OCULTO Y EXPUESTO**.

**OCULTO BAJO TECHO:** Cuando tengamos este subtipo de localización, el recubrimiento del aislamiento térmico deberá, aparte de la flexibilidad, reunir la propiedad de que evite la reproducción de microorganismos que puedan invadir el aislamiento, destruyéndolo, siendo lo más común en aislamientos que trabajen a alta temperatura. En baja temperatura, el recubrimiento tendrá la característica, además de las mencionadas, de evitar el paso de vapor de agua a través de él.

**EXPUESTO BAJO TECHO:** En este subtipo de localización, el recubrimiento deberá admitir código de colores, así como mantenimiento, por lo que las propiedades del recubrimiento irán íntimamente ligadas con el tipo de abuso físico al que estará expuesto.

▶ **ABUSO FÍSICO:**

Este, así como el esfuerzo del recubrimiento, nos indicará el tipo de consistencia que se requiere, por lo que si un equipo estará expuesto a paso de personal, el espesor del recubrimiento deberá ser mayor que una instalación aérea. Normalmente los recubrimientos de consistencia pesada, reforzados con fibra de vidrio tramada, tienen una resistencia aproximada de 37 Kg. x 2 cm., pudiéndose incrementar, colocando como refuerzo tela hexagonal de metal tratada contra la corrosión. Cuando el abuso físico sea mínimo y la localización del aislamiento sea bajo techo, se podrá variar el refuerzo del recubrimiento a lona, debiendo ésta de cubrir las especificaciones de peso y trama del fabricante del recubrimiento.

▶ **ABUSO QUÍMICO:**

Este es de capital importancia, ya que, tanto la temperatura como la concentración de los ácidos, álcalis, sales, solventes y mixturas, actúan en forma diferente sobre las diferentes clases de recubrimientos.

Los recubrimientos para aislamiento térmico son de base asfáltica, ya sean en solución o suspensión, y pueden ser poliméricos, elastoméricos y epoxidados.

Las resistencias químicas de estos materiales logran resolver satisfactoriamente casi cualquier ambiente industrial al constructor y/o diseñador de aislamientos térmicos, por lo que el fabricante de recubrimientos térmicos deberá ofrecer tablas de resistencias químicas a quien las solicite.

▶ **TEMPERATURA DE SUPERFICIE RECUBIERTA:**

Dentro de las propiedades de los recubrimientos para aislamiento térmico, el fabricante debe de especificar cuál es el rango de temperatura de operación del material, en la cual, no sufra ningún deterioro en flexibilidad, cambio de color o adherencia con el aislamiento o cambio de sus propiedades, con el fin de poder dictaminar el recubrimiento específico.

▶ **CONDICIONES DEL AMBIENTE:**

Las condiciones atmosféricas, como velocidad del aire, precipitación pluvial, temperatura máxima y mínima, salinidad, influyen en el proceso de aplicación del recubrimiento, y se podrá dictaminar si la aplicación será manual o por aspersión, si el recubrimiento reúne los requisitos de tiempo de secado, si la temperatura es la adecuada para la aplicación, si reacciona el recubrimiento con la salinidad, así como si resiste también la temperatura del ambiente.

▶ **SEGURIDAD CONTRA FUEGO:**

Es indispensable que el fabricante marque la propagación del fuego, así como la cantidad de combustible que contribuye para el fuego y la cantidad de humo que despiden, según las especificaciones ASTM-E 84 y E 162, con el objeto de que el recubrimiento no propague la flama en caso de siniestro.

## **ADHESIVOS**

Los sistemas para fijar el aislamiento son muy variados; pero, como máxima eficiencia, son usados dos tipos de sujeciones, La Física y la Mecánica.

▶ **SUJECIÓN FÍSICA:**

Esta depende de adhesivos específicos, que requieren de las siguientes propiedades:

- ◆ Ser compatible con el aislamiento a usar. Debido a que algunos tipos de aislamiento no resisten determinado tipo de solventes, el adhesivo a usar requiere que esté libre de solventes.
- ◆ Cuando sean usados aislamientos que no sean dimensionalmente estables, el adhesivo deberá absorber los movimientos del aislamiento.
- ◆ Que el rango de temperatura de operación esté determinado por el fabricante, con el objeto de que el usuario pueda garantizar su adhesión a la temperatura del proceso.
- ◆ Adhesión firme, tanto de aislamiento con metal u otro material, como de aislamiento a aislamiento.
- ◆ Versatilidad en su aplicación. Los adhesivos se podrán aplicar con espátula, brocha o por medio de aspersión, dependiendo del colocador o del sistema.

▶ **SUJECIÓN MECÁNICA:**

Esta se logra con materiales como pernos, ya sean metálicos o plásticos con flejes metálicos, o telas metálicas, con el fin de asegurar más la adhesión.

Cuando el aislamiento es poliuretano aplicado en sitio, no requiere de fijación, ni física ni mecánica.

▶ **SELLADORES**

Estos necesitan funcionar en forma plástica y no en forma elástica. Ello se debe a que los aislamientos térmicos no resistirían poder elongar al sellador sin deformarse o fracturarse,

además que el aislamiento tiene movimientos cortantes que no absorberían el sellador elástico, por lo cual, el sellador a usar deberá ser plástico.

Existen aislamientos, como la espuma de vidrio (Foam Glass), que, al contacto entre placa aislante y placa aislante, al tener movimiento, provoca la destrucción del aislante mismo, por lo que se forma una cama con el sellador, con el fin de evitar la destrucción del aislamiento.

Cuando el aislamiento es granular o celular, los movimientos de contracción del equipo, cuando trabaja a bajas temperaturas, destruyen el aislamiento y, para evitar este fenómeno, se requiere provocar juntas de dilatación y contracción que las absorba un sellador.

Cuando la temperatura de operación es baja (temperatura inferior o de congelación), el sellado en los remates es imprescindible, ya que si no se hace, provocará la destrucción de la protección del aislamiento, así como la del aislamiento mismo. Los remates son necesarios en cualquier tipo de instalación, no importando si es baja o alta la temperatura; pero, hacemos especial énfasis en servicio a baja temperatura por la existencia de hielo.

Cualquier aplicación en baja temperatura nos lo muestra el hielo; a alta temperatura no se dictamina.

Debido a las exigencias que deberá llenar el sellador, nombraremos cuáles deberán ser sus propiedades:

- ◆ Permanencia en Forma Plástica
- ◆ Compatibilidad con el Aislamiento
- ◆ Adherencia al Aislamiento
- ◆ Que no escurra y conserve su estado aún en Aplicaciones Verticales. Que, si lo utilizamos a bajas temperaturas, sea Barrera de Vapor. Que resista, sin cambiar sus propiedades, la temperatura a la cual se someterá.

# LOS TERMOAISLANTES

## INTRODUCCIÓN

El objetivo del aislamiento térmico, tal como se usa en la Industria, es la reducción de los flujos de calor indeseables. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el aislamiento representa una necesidad importante; pero, secundaria, que deriva de factores económicos, técnicos y/o humanos.

Los factores económicos provienen del interés que representa el ahorro de energía desperdiciada en flujos secundarios.

Los factores técnicos aparecen en los procesos, en los cuales, una temperatura debe conservarse constante para mantener ciertas propiedades físicas.

Los factores humanos resultan de la necesidad de efectuar trabajos en la cercanía de fuentes de calor o de frío, donde la temperatura sería insoportable o peligrosa para el operario.

La transmisión de calor entre dos materiales resulta de cuatro procesos físicos:

- Conducción sólida
- Conducción gaseosa
- Convección
- Radiación.

Su importancia depende de la naturaleza y de la estructura de los materiales considerados (figura No. 1).

Los modos de transferencia de energía son específicos de cada proceso; sin embargo, en forma simplificada, siempre es posible definir un factor de conducción térmica específica del medio, mediante el cual puede evaluarse la energía transmitida.

Se utiliza, entonces, la ley de Fourier:

$$dQ = \gamma - \gamma (d\theta/dx) dsdt \quad (\text{ec. 1})$$

en la cual, el coeficiente de proporcionalidad ( $\gamma$ ) específico del material, relaciona la energía transferida  $dQ$  con el gradiente de temperatura  $(d\theta/dx)$ , el tiempo  $dt$  y la superficie  $ds$ .

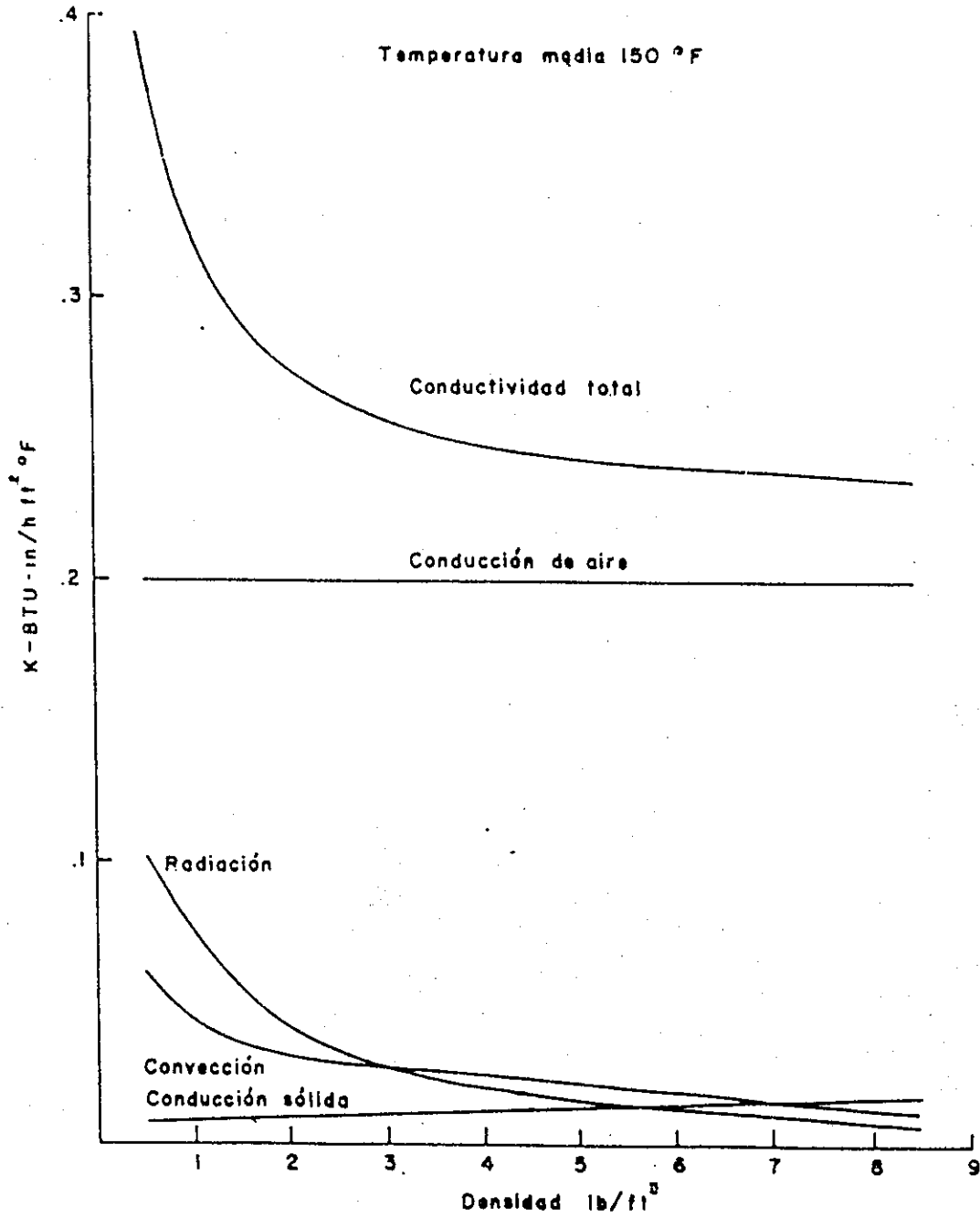
En base a este coeficiente ( $k$ ), o coeficiente aparente de conducción térmica que depende de la naturaleza del material, de su estructura y de la temperatura, pueden definirse diferentes clases de materiales:

- Metales y aleaciones
- Materiales de construcción y otras sustancias minerales
- Aislantes
- Gases líquidos.

En la tabla 1, se presenta los rangos de variación de la conductividad térmica de estos materiales, y en la tabla 2, las unidades y coeficientes de conversión.

# FIGURA No. 1

## CONTRIBUCION DE MECANISMOS MATERIAL FIBROSO SIN RESINA AGLOMERANTE



## TABLA 1

### CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE DIFERENTES MATERIALES EN Kcal/m h °C

Cristales dieléctricos	1	a	540
Metales	7.5	a	360
Metales líquidos a temp. de fusión	5.0	a	100
Aleaciones	5.0	a	350
Líquidos orgánicos o no (entre 0 y 20°C)	0.08	a	0.55
Gases (a 50°C) y vapores	0.006	a	0.17
Materiales de construcción y rocas (a 20°C)	0.05	a	4.00
Aislantes en polvo de origen mineral o industrial (100°C)	0.03	a	0.15
Refractarios (a 700°C)	0.9	a	9.00
Soluciones acuosas	0.35	a	0.55
Maderas, aglomerados orgánicos, hules, carbones	0.10	a	0.50
Aislantes de origen vegetal (0°C)	0.03	a	0.06
Espumas artificiales (20°C)	0.02	a	0.06
Polvos al vacío	0.0009	a	0.005
Superaislantes	$0.9 \cdot 10^{-9}$	a	$9 \cdot 10^{-4}$

# CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS AISLANTES

La función principal de un aislante es, obviamente, la de ofrecer una resistencia a la transferencia de calor; sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones industriales son indispensables propiedades complementarias, tales como:

- Buena resistencia mecánica
- Buena estabilidad a la temperatura de utilización
- Ausencia de envejecimiento
- Ausencia de una acción corrosiva sobre los materiales a aislar
- Ausencia de reacciones químicas con los materiales a proteger
- Resistencia a agentes de destrucción biológicos
- Baja inflamabilidad.

En función de las propiedades requeridas del aislamiento, el utilizador estará obligado a efectuar una selección entre los materiales existentes y, en caso de no conseguir un aislante único, se escogerá un sistema compuesto, cuyas propiedades conjuntas serán equivalentes. Estudiaremos los factores que influyen sobre el comportamiento térmico de los aislantes, es decir, sobre el valor del coeficiente de conducción térmica.

Existen numerosos estudios que tratan estos procesos; aquí nos limitaremos a reportar la influencia de los factores físico-químicos que determinan la importancia respectiva de los procesos anteriores. Estos factores físico-químicos son:

- Porosidad y masa volumétrica aparente
- Composición química
- Humedad del material
- Temperatura media
- Presión del gas.

## ► INFLUENCIA DE LA POROSIDAD

Tratándose de un cuerpo poroso, es lógico pensar que su coeficiente de conducción térmica tiene un valor intermedio entre los valores de los coeficientes de conducción térmica del material sólido y del fluido contenido en los poros. En primera aproximación, depende del volumen de los poros, es decir, del peso específico del aislante.

Definiendo el índice de porosidad, es decir, la fracción del volumen total ocupado por los poros, es posible graficar la evolución de la conductividad térmica del material en función de la porosidad.

En la tabla 2, son reportados datos de porosidad y las variaciones de la conductividad térmica resultante con la porosidad para un material específico: tabique seco a 20°C.

Un estudio desarrollado por Missenard, permite calcular la conductividad aparente de un material poroso, considerando a ésta como:

$$k = k_s (1 - E) + k_f E$$



donde

$k$  = Cond. térmica resultante

$k_s$  = Cond. térmica del sólido

$k_g$  = Cond. térmica del gas

$E$  = Porosidad.

Esta ecuación es bastante exacta para valores bajos de porosidad; pero, presenta variaciones importantes a altos valores de ella. Missenard ha desarrollado ecuaciones, tales como:

$$k/k_s = 1 - E^{2/3}$$

las cuales, combinadas con:

$$k = a k' + b k^2$$

en la cual,  $a$  y  $b$  son constantes del material específico, y dan como resultado un valor más preciso para la conductividad aparente.

El orden de magnitud para el tabique es:

$$a = 0.3 \quad b = 0.7$$

y los valores calculados están reportados en la tabla 2.

## ► INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química de la materia sólida y del gas ocluido en sus poros, tiene una gran influencia sobre la conductividad térmica del material.

### ◆ Composición química de la parte sólida.

La conductividad de cuerpos cristalinos es superior, a cierta temperatura, a la de ese mismo material cuando se encuentra amorfo, demostrándose la importancia de la estructura del material a emplear. Es un problema de la física del estado sólido y nos limitaremos a dar algunas referencias.

### ◆ Naturaleza del gas ocluido en los poros.

El coeficiente de conductividad del aislante varía, de acuerdo al gas que contenga en sus poros, por lo que es importante conocer los valores de la conductividad de los gases más usuales. (Tabla 3).

Es común, sobre todo en la industria de la refrigeración, reemplazar el aire ocluido en poliuretano expandido, por gas freón, con lo cual, se abate la conductividad aparente de 20 C en un 40%.

## TABLA 2

### CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL TABIQUE SECO CON AIRE A 20°C

Densidad	% de vacíos (porosidad)	en Kcal / m h °C	
		Experimental	Calculado
600 Kg/m <sup>3</sup>	77 %	0.1	0.125
1000 Kg/m <sup>3</sup>	62%	0.19	0.183
1400 Kg/m <sup>3</sup>	46%	0.30	0.270
1800 Kg/m <sup>3</sup>	31%	0.48	0.480
2200 Kg/m <sup>3</sup>	15%	0.82	0.76
2000 Kg/m <sup>3</sup>	0%	1.45	1.45

En la tabla 4, son presentadas las variaciones de la conductividad térmica de tierra de diatomea, conteniendo diferentes gases, y se observa un incremento de la conductividad térmica del material con la conductividad térmica del gas.

Missernard, utilizando un análisis similar al anterior, obtiene los valores calculados que son reportados en la tabla 4 con un error máximo del 20%.

#### ► INFLUENCIA DE LA HUMEDAD

El reemplazo del aire seco ( $k = 0.03 \text{ Kcal M h C}$ ) por aire saturado ( $k = 0.08 \text{ Kcal M h C}$ ) tiene una influencia considerable sobre la conductividad térmica de un material aislante, a medida que aumenta el contenido del agua. En la tabla 5, se reporta la evolución del coeficiente de conducción del tabique en la humedad.

En la figura 2, puede verse este efecto sobre lana de vidrio, corcho y diversos poliuretanos.

Este incremento es imputable, por una parte, a un fenómeno de difusión del vapor de agua en los poros (vaporización y condensación), que depende fuertemente de la temperatura y, por otra parte, a la conducción por el agua en los canales capilares.

En la figura 3 son presentados las evoluciones de los coeficientes de conducción que resultan de ambos fenómenos.

Hasta  $60^{\circ}\text{C}$ , un aumento del contenido de agua se traduce en un aumento de ( $k$ ). Arriba de  $60^{\circ}\text{C}$ , a medida que aumenta el contenido de agua, esta agua reemplazará al aire saturado en los poros, y la conductividad térmica del material disminuye. Sin embargo, la forma de las cavidades es determinante, y hace que la evaluación cuantitativa del fenómeno sea casi imposible.

#### ► INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

En forma general, el coeficiente de conductividad térmica de los materiales aislantes aumenta con la temperatura. Este aumento se debe a la importancia del proceso de transferencia de calor por radiación, que varía con la cuarta potencia de la temperatura.

En materiales porosos, por esa misma razón, el diámetro de los poros es un factor importante, en la medida en que influye sobre el gradiente de temperatura entre granos y, por lo tanto, sobre la energía intercambiada por radiación.

En la figura 4, son presentadas gráficamente las variaciones del térmico de conducción aparente, que resulta de la radiación en función de la temperatura para diferentes diámetros de grano. Este efecto puede verse también en la figura 5.

Verón ha demostrado que la conductividad aparente de los aislantes puede expresarse mediante un ecuación de la forma

$$k = aT^{1/2} + bT^3$$

en la cual,  $T$  es la temperatura en grados K, y  $a$  y  $b$  son constantes características del material. El primer término representa la contribución de la conducción, y el segundo, el efecto de la radiación.

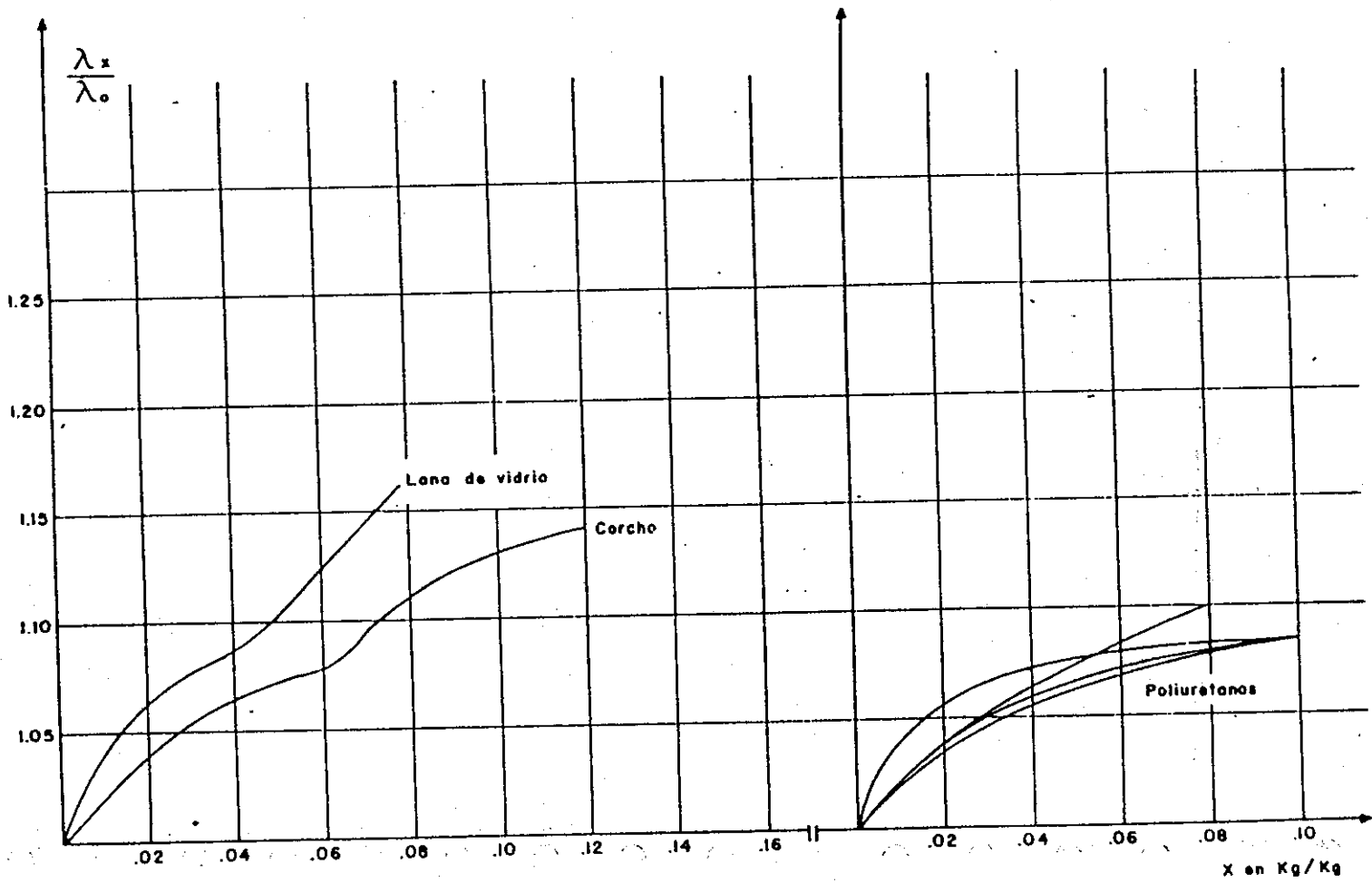
## TABLA 3

### CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ALGUNOS GASES

GAS	Kcal / m h °C
Aire	0.0207
Nitrógeno	0.0206
Oxígeno	0.0210
Dióxido de carbono	0.0123
Oxido de carbono	0.0198
Hidrógeno	0.148
Helio	0.123
Amoníaco	0.019
Tetracloruro de carbono	0.005
Metano	0.026
Freón 11	0.006
Freón 12	0.007

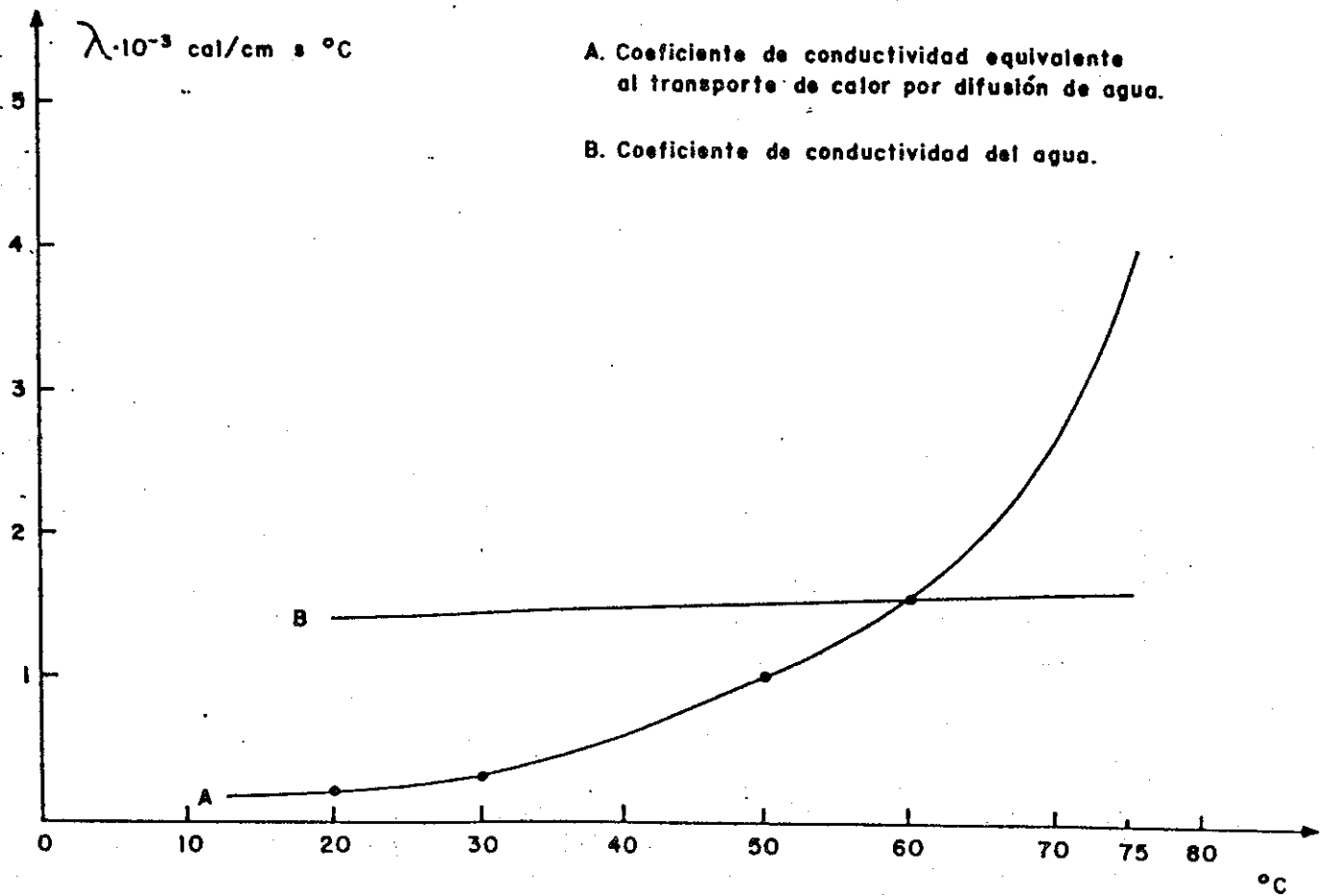
# FIGURA No. 2

## INFLUENCIA DE LA HUMEDAD



# FIGURA No. 3

## COEFICIENTES DE CONDUCTIVIDAD



## TABLA 4

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA HARINA DE DIATOMEA CON DIFERENTES GASES A  
50°C (en Kcal / m h °C)

PRESIÓN	G A S E S		
	HIDROGENO	METANO	AIRE
1 ATM	0.273	0.152	0.112
15 ATM	0.304	0.180	0.145
50 ATM	0.387	0.199	0.157
gas a 50°C	0.160	0.033	0.024
Calculado por			
Missenard (1 atm)	0.299	0.126	0.112

## TABLA 5

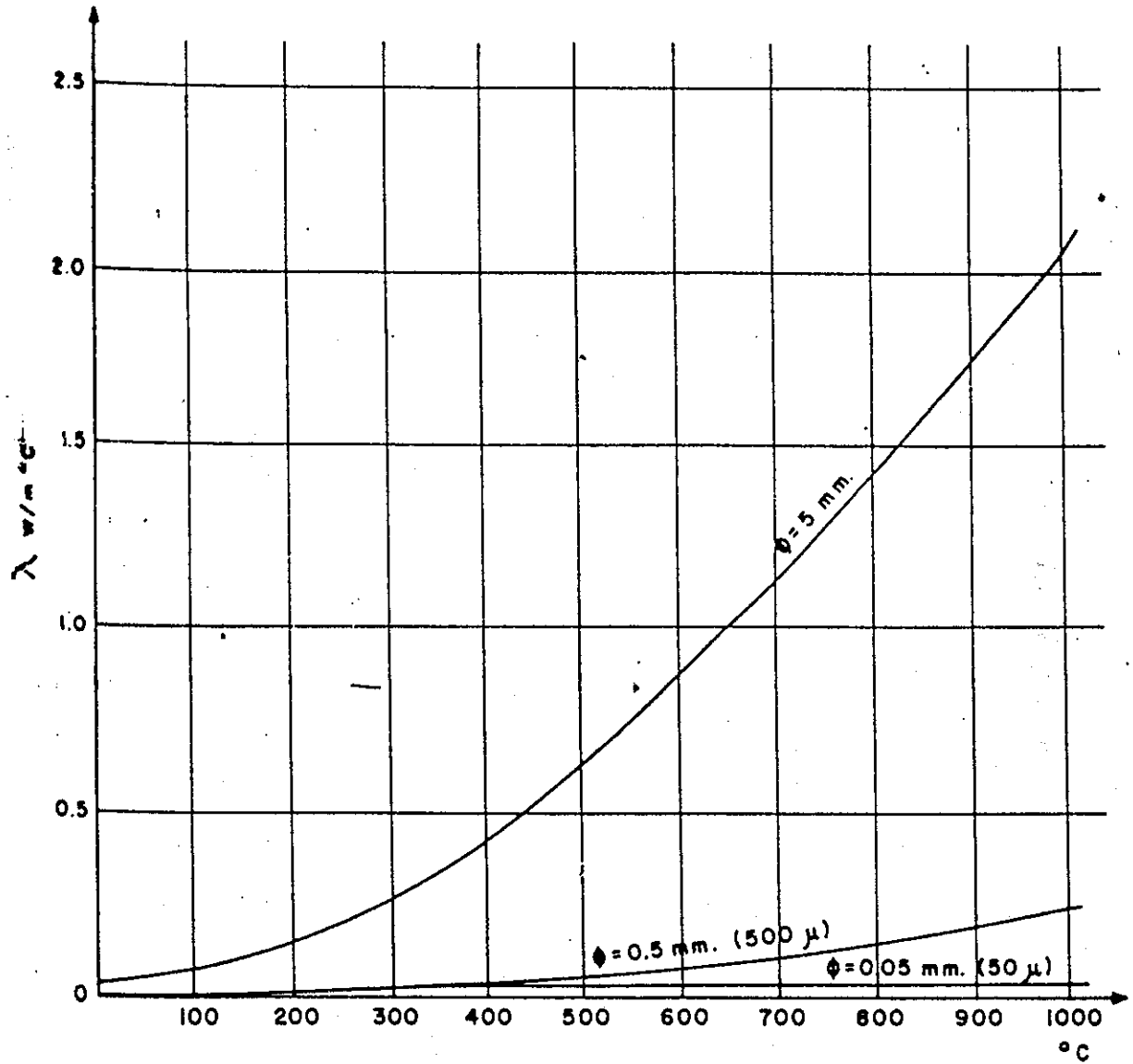
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE UN TABIQUE POROSO ( 50%) EN FUNCIÓN DE  
LA HUMEDAD A 20°C (en Kcal / m h °C)

Razón = <u>volumen total de agua</u>	0%	5%	20%	40%	50%
volumen total	Saturación				
Kcal / m h °C	0.38	0.54	0.78	0.94	1.06



# FIGURA No. 4

CONDUCTIVIDAD APARENTE QUE RESULTA  
DE LA RADIACION ENTRE GRANOS

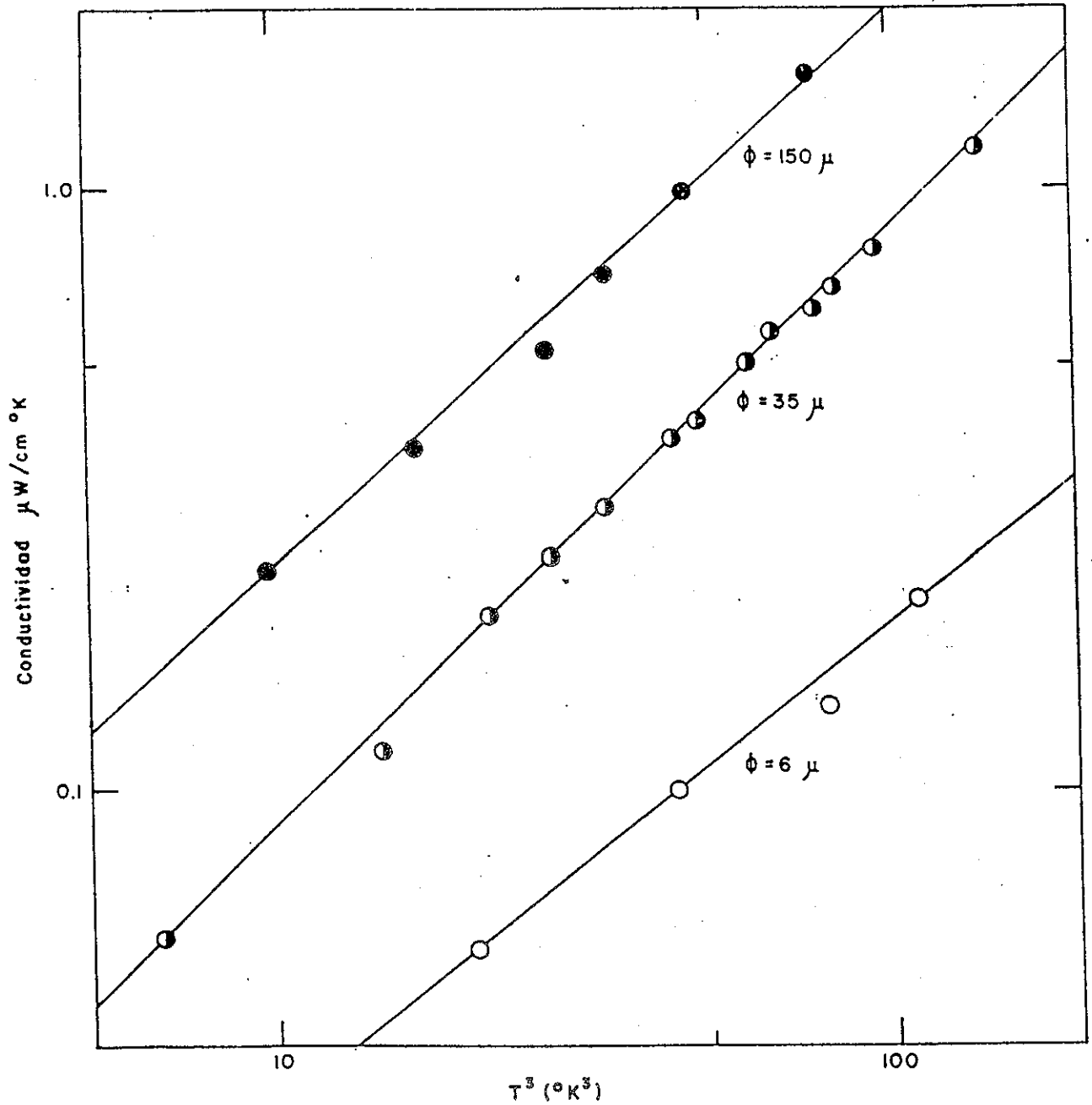


# FIGURA No. 5

## CONDUCTIVIDAD TERMICA DE AISLANTES PULVURENTOS

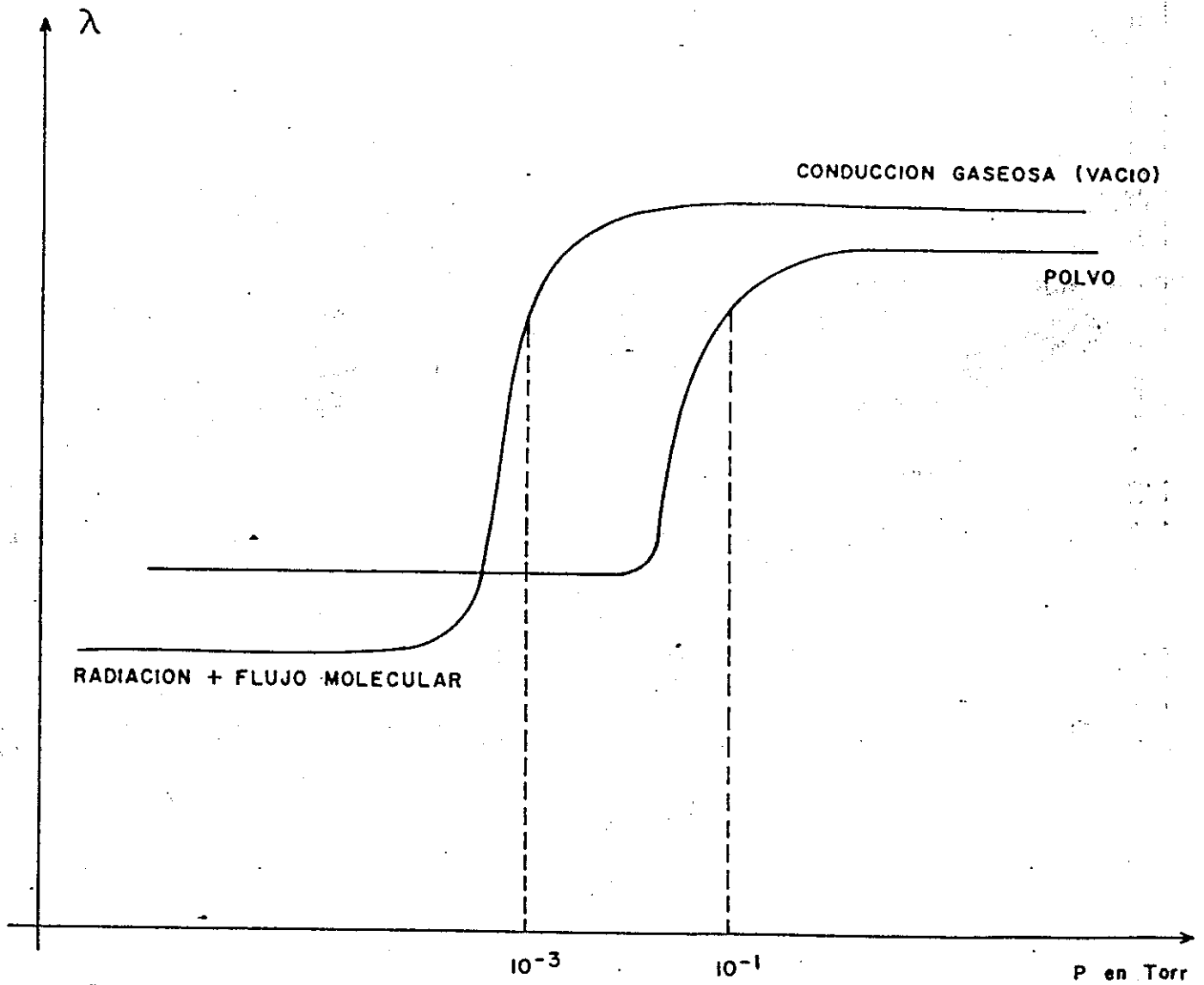
### PARA DIFERENTES DIAMETROS

$\phi$  = Diámetros de partículas



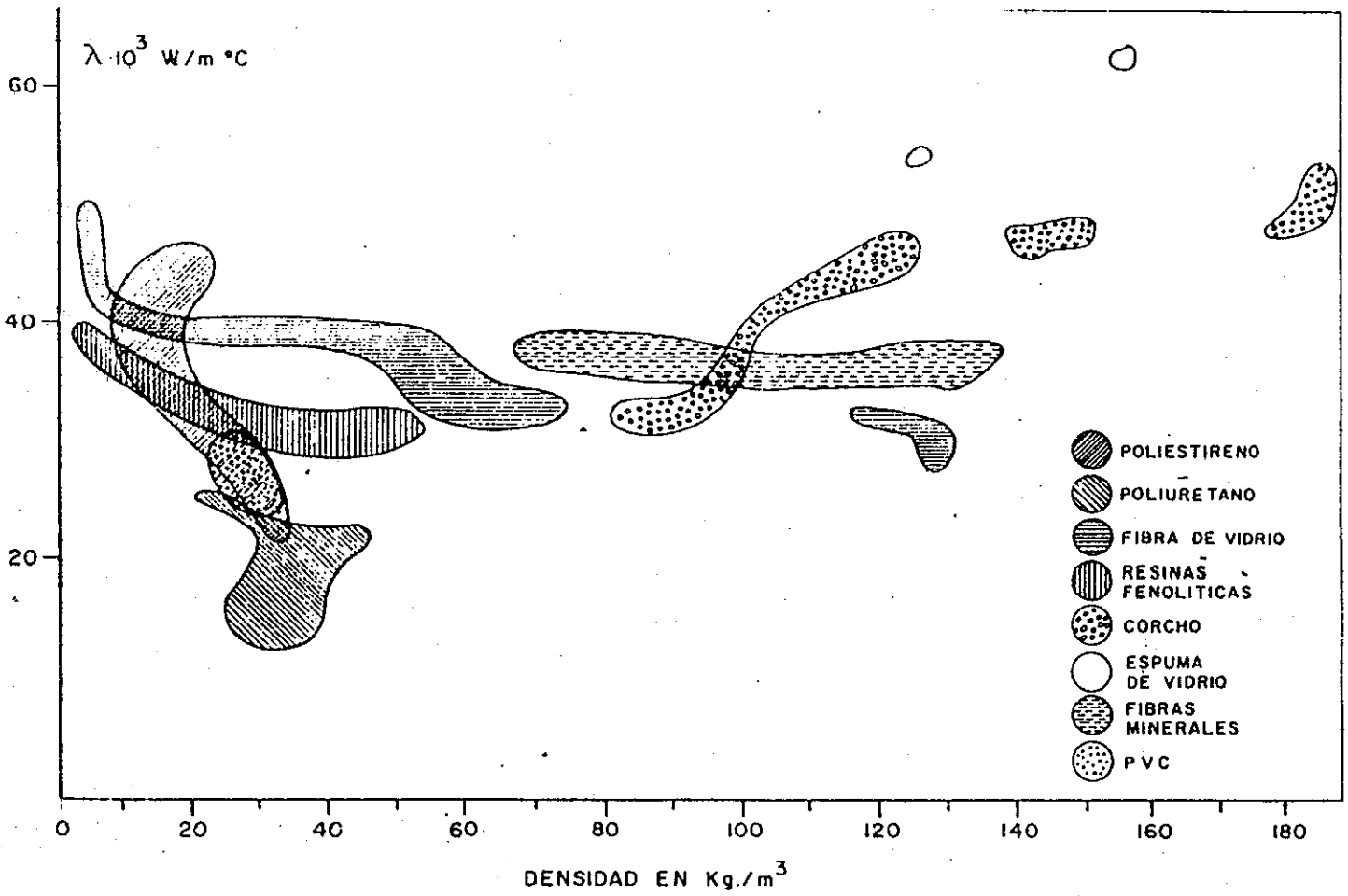
# FIGURA No. 6

VARIACION DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA  
DE UN POLVO CON LA PRESION



# FIGURA No. 7

## PROPIEDADES DE LAS ESPUMAS EN FUNCION DE LA DENSIDAD



## ▶ INFLUENCIA DE LA PRESIÓN

Aunque la contribución de los gases a la conductividad térmica de los materiales sólidos es generalmente poco importante, en el caso de los aislantes, su influencia es crítica.

En efecto, cuando la trayectoria libre media del gas intersticial es de orden de las distancias entre choques, la conducción por el gas disminuye considerablemente, reduciendo asimismo la conductividad aparente del material. Esta propiedad es explotada en la obtención de los polvos aislantes utilizados en la industria criogénica.

En la figura 6, se presenta la variación de la conductividad térmica de un polvo con la presión.

## CLASIFICACIÓN DE LOS AISLANTES

### ▶ CLASIFICACIÓN DE LOS AISLANTES EN FUNCIÓN DE SU ORIGEN Y DE SU ESTRUCTURA

Como cualquier material, los aislantes pueden separarse en tres categorías, que son determinadas por su origen :

- Aislantes de origen biológico (corcho, balsa, fibras,...)
- Aislantes de origen mineral (asbestos, tierra de diatomea, vermiculita,...)
- Aislantes sintéticos (espumas, superaislantes,...)

Sin embargo, para una aplicación industrial, el conocimiento de la estructura es mucho más importante, ya que ésta condiciona la tecnología de su utilización.

En base a la estructura, pueden distinguirse las siguientes categorías:

- Aislantes en polvo
- Aislantes fibrosos
- Espumas
- Aislantes compuestos y superaislantes.

### ◆ POLVOS AISLANTES

Estos aislantes son obtenidos por aglomeración de pequeñas partículas, cuyo diámetro fluctúa de algunos micrones a algunos milímetros, con intersticios entre granos llenos de aire o algún otro gas.

El proceso de transferencia de calor resulta de los contactos directos entre partículas y de los fenómenos de convección y conducción gaseosa, y en ciertos casos, interviene también el proceso de transferencia por radiación. Por lo tanto, además de la conductividad térmica del material y del gas, la forma de los granos y sus propiedades mecánicas son importantes .

La conductividad térmica de estos materiales, que son usados principalmente en instalaciones estacionarias, en las cuales, los riesgos de compactación son reducidos, es del orden de 2 a 20  $\mu\text{W cm.}^{-1}\text{K.}^{-1}$ .

Como lo hemos señalado anteriormente, bajando la presión del gas, se reduce la convección gaseosa, y solamente intervienen los procesos de conducción y radiación. Este último proceso puede ser también reducido en forma substancial, incluyendo en el polvo un cierto porcentaje de partículas metálicas (alrededor de un 35%), que reflejan la radiación infrarroja.

De esta manera, el coeficiente de conducción puede ser reducido por un factor de 2 a 4.

#### ◆ AISLANTES FIBROSOS

Estos materiales, generalmente de origen vegetal o mineral, son obtenidos por yuxtaposición de una infinidad de fibras unidas entre sí con un aglomerante.

Por lo tanto, las propiedades térmicas de este material dependen de los mismos factores que en el caso de los polvos; pero, son anisotrópicas, ya que el proceso de transferencia en el sentido de las fibras es distinto al proceso de transferencia en dirección perpendicular. Estas propiedades, aunadas a mejores propiedades mecánicas, permiten una utilización industrial más versátil, en particular en la industria de la construcción. Por ejemplo, podemos mencionar la utilización de la madera balsa, como aislante, en barcos que transportan gas natural licuado.

#### ◆ ESPUMAS

Estos materiales, de origen sintético, son obtenidos por la expansión de un gas, que deja una infinidad de células abiertas o cerradas en la masa del material. El proceso de transferencia de calor es, entonces, principalmente por medio de conducción gaseosa en las células, teniendo este último proceso una importancia mayor.

Entre las espumas sintéticas más utilizadas, están:

- Los poliestirenos
- Los poliuretanos
- Los policloruros de vinilo.

En la figura 7 son presentadas las propiedades de diferentes espumas, en función de su densidad.

Las técnicas de obtención (expansión in situ, extrusión, espumado,...) y las propiedades mecánicas, permiten una utilización sencilla en la mayoría de los procesos industriales que no requieren temperaturas superiores de 100 a 120 °C.

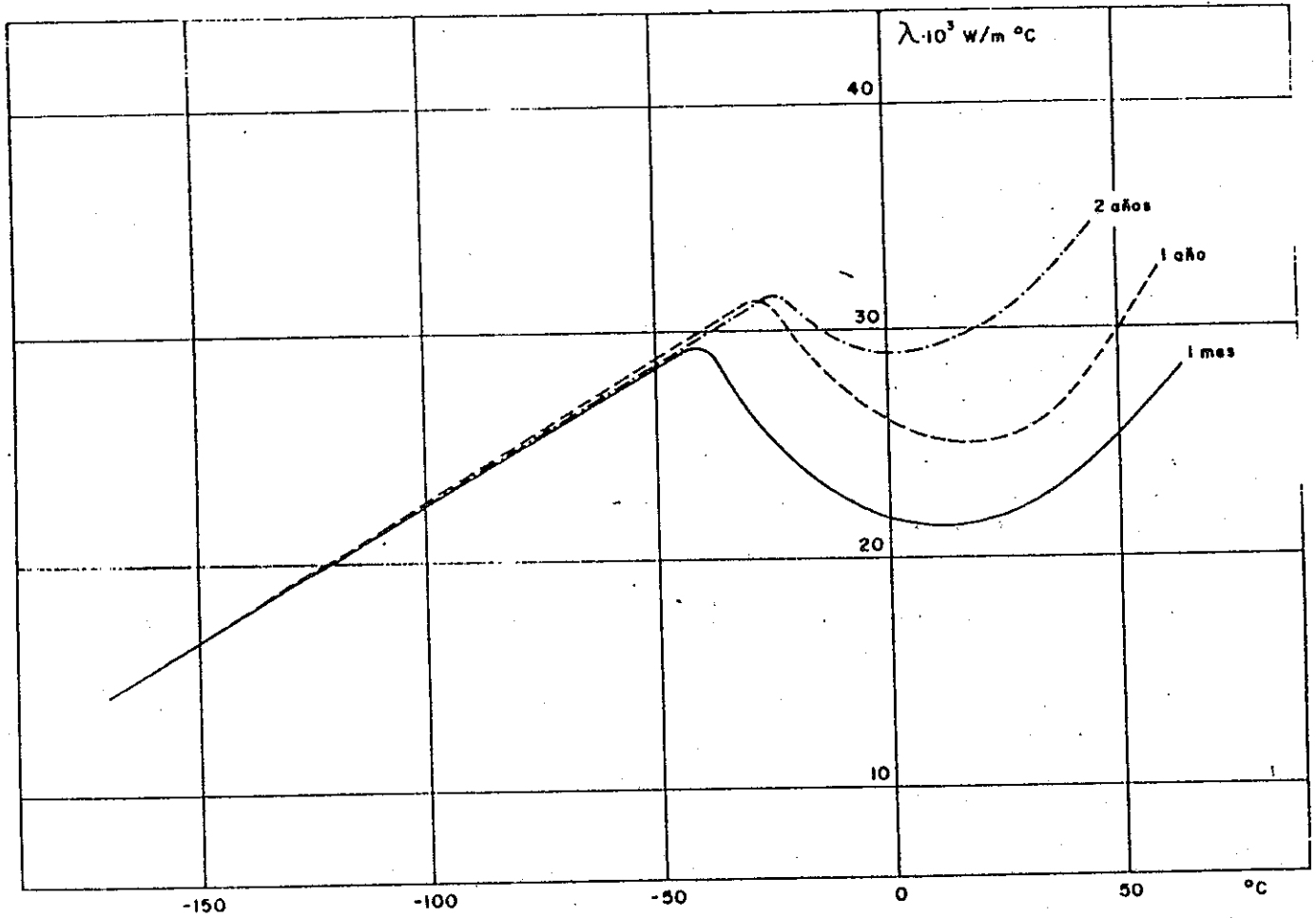
El envejecimiento que resulta de la difusión del gas ocluido en las células, no es despreciable (Fig. 8); sin embargo, su degradación en el tiempo puede ser mantenida en los límites inferiores a las que resultan de las deterioraciones mecánicas en los polvos o de las fibras aislantes. Además, estos materiales permiten la prefabricación de elementos de estructura aislante con una gran precisión, lo cual, favorece la utilización industrial en serie.

#### ◆ AISLANTES COMPUESTOS Y SUPERAISLANTES

Esta denominación corresponde a materiales heterogéneos, obtenidos mediante un proceso fisico-químico, que une entre sí a ciertos elementos aislantes en forma más o menos rígida.

# FIGURA No. 8

## ENVEJECIMIENTO DE LOS AISLANTES



Entre los compuestos aislantes rígidos, podemos mencionar los refractarios, semirrefractarios y concretos aislantes.

Los materiales heterogéneos no rígidos están constituidos por sistemas de multicapas, que son utilizados principalmente a baja temperatura y a baja presión.

Estos materiales, comúnmente llamados superaislantes, están constituidos por capas reflectoras y por capas aislantes, a manera de dissociar los procesos de transferencia de calor por conducción, convección y radiación.

La utilización de  $n$  capas reflectoras térmicamente aisladas, permite reducir la transferencia de calor en un factor  $n+1$ . Limitando también los procesos de conducción gaseosa y sólida, se obtiene valores de conductividad térmica muy bajos. Estos materiales son utilizados especialmente en la industria criogénica. En la figura 6, puede verse el efecto de la reducción en la presión para el caso de superaislantes.

## ► CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE UTILIZACIÓN

Es costumbre considerar tres clases de materiales aislantes:

- Aislantes refractarios, susceptibles de trabajar a temperaturas superiores a  $1600^{\circ}\text{C}$ .
- Aislantes semirrefractarios, capaces de soportar hasta  $1000^{\circ}\text{C}$ .
- Aislantes ordinarios, capaces de soportar hasta  $700^{\circ}\text{C}$ .

Sin embargo, para la presentación que nos interesa ahora, preferimos definir cuatro zonas de temperatura de utilización:

- Zona de las altas temperaturas.
- Zona de las temperaturas industriales, que se extiende desde la temperatura ambiente hasta  $700^{\circ}\text{C}$ .
- Zona de las bajas temperaturas, desde  $-50^{\circ}\text{C}$  hasta  $+50^{\circ}\text{C}$ .
- Zona de las temperaturas criogénicas.

Obviamente, no existe una transición claramente marcada entre los diferentes rangos de temperatura; sin embargo, esta clasificación permite distinguir grupo de materiales.

### ◆ ZONA DE LAS ALTAS TEMPERATURAS

Los materiales refractarios o semirrefractarios que son utilizados a estas temperaturas, contienen una proporción variable de cristales y productos amorfos, y la conductividad térmica depende de las proporciones respectivas de estos productos. Decrece con la temperatura, cuando hay una predominancia de productos cristalinos, y crece, cuando la proporción de materiales amorfos es considerable.

La proporción de cristales es resultado de la temperatura de cocimiento; cuanto más elevada sea, mayor será la proporción de los cristales. Así, la conductividad térmica depende de la temperatura de cocimiento y de la velocidad de enfriamiento.

En su mayoría, los aislantes refractarios son obtenidos a partir de aluminio-silicatos o alúminas livianas; sin embargo, existen también tabiques refractarios a base de sillamita o de corindón. La porosidad es obtenida artificialmente para lograr la densidad y el poder aislante. Estos aislantes son clasificados siguiendo la norma ASTM (C155) en grupos definidos por su estabilidad a alta temperatura y su estabilidad dimensional.



Así, se tiene que:

Grupo 16 para temperatura de 845°C e = 0.55

" 20 " " " 1065°C e = 0.64

" 23 " " " 1230°C e = 0.77

" 26 " " " 1400°C e = 0.86

" 28 " " " 1510°C e = 0.96

Grupo 30 para temperatura del orden de 1600 a 1700°C

Grupo 32 para temperatura del orden de 1600 a 1700°C

Entre los semirrefractarios ( T inferior a 1100°C ), el más conocido es el kieselguhr o tierra de diatomea, que es de origen mineral. El poder aislante de este material resulta de la existencia de células llenas de aire en las diatomeas (organismos microscópicos fosilizados). Los tabiques de este material poseen diversas densidades, con los correspondientes valores de conductividad térmica. Los materiales a base de perlita (Alumino-silicato) y vermiculita (mica), pueden también considerarse como materiales semirrefractarios.

#### ◆ ZONAS DE LAS TEMPERATURAS INDUSTRIALES

Estas temperaturas van de la temperatura ambiente a los 700°C, aproximadamente, y corresponden al dominio de utilización de las lanas minerales o de las fibras de vidrio, cuya densidad fluctúa entre los 50 y 300 Kg./m. Estos materiales se presentan en forma de paneles, colchonetas, medias, cañas, y requieren de un revestimiento que los proteja mecánicamente y contra los agentes del intemperismo.

#### ◆ ZONAS DE TEMPERATURAS COMPRENDIDAS ENTRE -50 Y +50°C

La utilización de un aislamiento en este rango de temperatura no se debe, tanto a la necesidad de reducir las pérdidas térmicas como a la obligación de mantener una temperatura constante en el interior de una construcción, independientemente de las fluctuaciones exteriores. Estas construcciones pueden ser bodegas frigoríficas, transportes isotérmicos, casas e inmuebles industriales.

Entre los materiales más usuales, están los espumados: Poliuretano, poliestireno, espumas fenólicas, concretos ligeros. Estos materiales, que existen en forma de placas o que pueden ser aplicados in situ, presentan las siguientes ventajas:

- Baja conductividad térmica, 20-40 x 10 W M C
- Baja densidad, 10 1 50 Kg./m
- Variaciones dimensionales reducidas en el rango de temperatura considerada
- Envejecimiento controlable y limitado
- Facilidad de instalación.

Estas ventajas permiten entender el porqué de su desarrollo en los últimos 15 años. Sin embargo, el incremento del precio del petróleo ha producido aumento de precios muy considerables. Esto resultará, a la larga, en un cambio de las instalaciones: reducción de los gastos de inversión y utilización de máquinas frigoríficas con costos de funcionamiento más baratos. Es conveniente señalar la importancia de los procesos que aprovechan energías desperdiciadas, como son, vapor a baja temperatura (100-150°C), energía solar, gases de combustión, energía geotérmica, etc., para producir refrigeración por medio de ciclos de absorción o de regeneración térmica.

# LA IMPORTANCIA DEL AISLAMIENTO TÉRMICO DENTRO DE UN SISTEMA CORRECTO

## CONSIDERACIONES TÉCNICAS

Dentro de ellas, se encuentran aquellos aislamientos térmicos, que por circunstancias fundamentalmente técnicas y no económicas aunque ambos términos deben ser inseparables, son necesarios, es decir, cuando el área técnica rige sobre el área económica. La mejor forma de expresar lo anterior, es ejemplificándolo de la siguiente forma:

En muchas ocasiones, es necesario el uso de espesores mayores en el aislamiento que el óptimo económicamente analizado, del cual, trataremos más adelante, en vista de que se trata de circunstancias especiales. Evitar las ganancias de calor, no permite condensaciones provocadas por la humedad relativa ambiental del lugar donde se encuentra, al contacto con la superficie exterior del aislamiento, o sea, el llamado lado caliente, ya que dichas condensaciones pueden ser perjudiciales para otras instalaciones. Un ejemplo típico de esta situación son los ductos del aire acondicionado, cuyo goteo, puede provocar problemas en los plafones de los edificios.

En otras ocasiones, los procesos térmicos no pueden resistir un rango de variación muy grande en sus temperaturas, por lo que su control se hace prioritario y el análisis del aislamiento se efectúa bajo estas circunstancias, o bien, en los casos en que se trabaja indistintamente a bajas o altas temperaturas, ya sea debido a un proceso reversible o que las temperaturas ambientales, según la estación del año, así lo provoquen.

En otros casos, los factores de seguridad son imperantes, como cuando la temperatura superficial exterior del aislamiento no debe representar peligro dentro de correctas condiciones de trabajo en relación a la seguridad industrial, o que el contenido de ciertos recipientes no debe pasar de cierta temperatura, en vista de la peligrosidad que esto representa.

## CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

Como ya se comentó, y en especial en este capítulo, la aplicación del aislamiento térmico es necesaria por condiciones financieras, ya que se busca básicamente el ahorro de energía calorífica, para obtener, a su vez, el ahorro de otro tipo de energía o los energéticos que la producen, así como, en los elementos o equipos usados, para transformarla o para producirla. En pocas palabras, los ahorros obtenidos se resumen en otro tipo de energía requerida y/o en combustibles y en la inversión inicial del equipo necesario adecuadamente seleccionado, o sea, en los costos de operación. Ello produce menores costos totales y ampliación de la penetración en los mercados relativos; en síntesis, mayor rentabilidad de las inversión.

Es obvio que, a mayor espesor de un sistema de aislamiento, se obtengan menores pérdidas de calor, y por lo tanto, menor inversión inicial de equipo y costos de operación; pero, también, mayor costo de aislamiento. Así, pues, se debe encontrar un espesor tal, que permita los menores costos con el mínimo de pérdidas de energía. A este espesor se le ha denominado **ESPESOR OPTIMO**, y será al que nos referiremos a continuación:

Considerando que otros expositores tratarán este tema, sólo se expresa su obtención en forma muy breve y esquemática.

En la figura No. 1, aparece una gráfica, cuyas ordenadas se refieren a \$/año por unidad de área, y las abscisas indican espesores.

Dicha gráfica se construye de la siguiente manera:

A) Son obtenidas las pérdidas sin y con aislamiento en varios espesores, utilizando la ecuación general de transmisión de calor por conducción:

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{L}{k} + \frac{1}{F}} \quad \text{para sup. planas} \qquad Q = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{R_2 \ln(R_2/R_1)}{k} + \frac{1}{F}} \quad \text{para tuberías}$$

donde:

Q = pérdidas de calor en unidades de calor por unidad de área exterior del aislamiento y tiempo.

T1 = Temperatura de operación.

T2 = Temperatura ambiente.

L = Espesor del aislamiento.

K = Factor de conductividad térmica para una temperatura media.

$$T_M = \frac{T_1 + T_s}{2}$$

Ts = Temperatura superficial estimada, que debe chequear con el gradiente de temperatura, según las pérdidas obtenidas. Si no coincidiera, debe efectuarse un nuevo tanteo.

1/F = Resistencia de la película de aire exterior (según tablas especializadas elaboradas en laboratorios).

R1 = Radio interior de aislamiento.

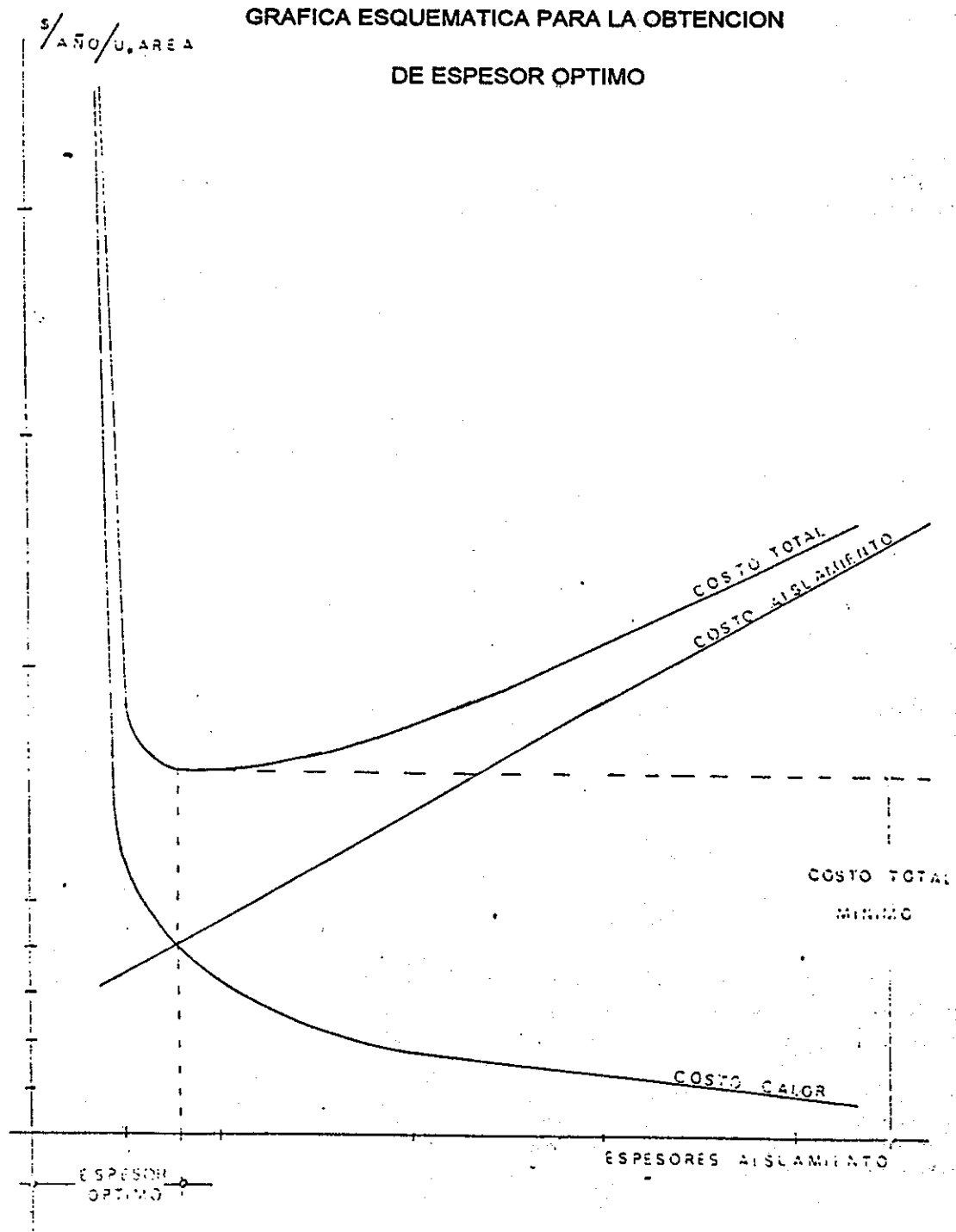
R2 = Radio exterior de aislamiento.

B) Se costea el importe de las pérdidas anteriores, en relación al poder calorífico y al precio del combustible usado, o bien, el costo de otra energía transformada, tomando en cuenta la eficiencia del equipo, obteniéndose por resultado, el costo por unidad de calor/área/ tiempo.

C) Se obtiene el costo por unidad de calor/área/tiempo, en relación con el, o los equipos seleccionados, según espesores, tomando en cuenta depreciación, intereses, mantenimiento, seguros, gastos de operación, etc.

D) El costo total por unidad de calor/área/tiempo, será el resultado de sumar para cada diferente espesor, los incisos B y C, y graficar cada uno de los resultados.

# FIGURA No. 9



## **CURVA COSTO DE AISLAMIENTO**

Para cada espesor, calcular su costo, en forma total, o sea como un sistema, incluyendo materiales, mano de obra, indirectos, y todo lo concerniente para obtener el costo anual unidad área, haciendo las mismas consideraciones que en el equipo, y graficando los resultados.

## **CURVA COSTO TOTAL**

Representa la suma de cada uno de los resultados para cada espesor de las dos curvas anteriores.

## **ESPESOR OPTIMO**

Será aquél que corresponda al punto de menor ordenada de la curva de costo total, referido al eje de las abscisas que coincide con la intersección de las dos curvas iniciales. No está por demás recomendar tener cuidado en usar unidades físicas congruentes.

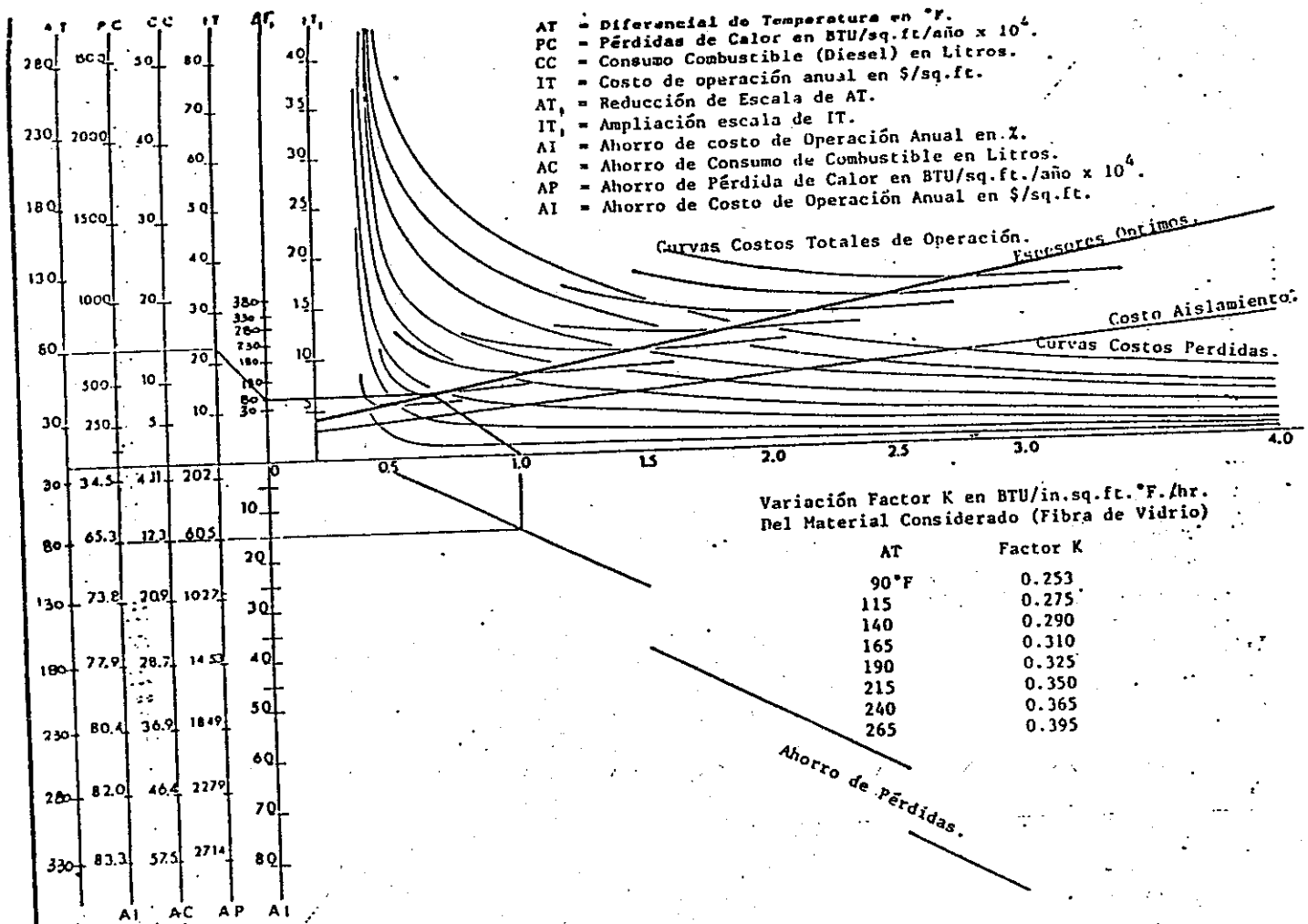
Con el objeto de abundar al respecto, se incluye la figura No. 2, donde se aprecia una gráfica para aislamiento térmico de calor del mismo tipo; pero, más general, ya con escalas, y donde se pueden analizar varios conceptos en función de diferenciales de temperatura y varios espesores. Estos conceptos son los siguientes:

- ▶ **Determinación de espesores óptimos.**
- ▶ **Para operación sin aislamiento:**
  - ◆ **Pérdidas de calor.**
  - ◆ **Cantidad de combustible que se consumiría.**
  - ◆ **Costo de operación anual.**
- ▶ **Para operación con aislamiento en espesores óptimos, referidos a espesores comerciales, los siguientes ahorros:**
  - ◆ **Pérdidas de calor.**
  - ◆ **Cantidad de combustible.**
  - ◆ **Costo de operación anual.**
  - ◆ **Porcentaje de ahorro en el costo de operación anual.**

Como podemos apreciar el porcentaje de ahorro varía de un 34 a 85%, aproximadamente, haciendo notar que el primer porcentaje se refiere a un diferencial de temperatura mínimo ( $17^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{F}$ ), que equivale a un equipo trabajando en nuestro medio muy cerca de la temperatura ambiente, con lo que queda demostrada la conveniencia del uso del aislamiento aun en estos rangos. Por otra parte, la gráfica se refiere, en general, a diferenciales de temperatura que, dentro del rango global de temperaturas que son utilizadas en calor, representan la parte baja y, por lo tanto, el 85%, apuntando el representativo de un promedio global de ahorro.

# FIGURA No. 10

## GRAFICA ESQUEMATICA PARA LA OBTENCION DE ESPESORES OPTIMOS COMERCIALES PARA SUPERFICIES PLANAS



Si ahora consideramos que la producción de estados fríos es más costosa normalmente que estados calientes, deberemos analizar el problema cuidadosamente en estos casos.

Otras conclusiones interesantes las podemos deducir inmediatamente: Como producto de los ahorros logrados, la inversión de un aislamiento térmico se recupera entre 8 y 36 meses, aproximadamente, dependiendo de las temperaturas manejadas y de los elementos aislados en comparación con su duración, que varía entre los 48 y 180 meses, aproximadamente, de acuerdo con la especificación correctamente seleccionada y debidamente aplicada, en vista de lo cual, el gasto de inversión del tratamiento térmico resulta muy productivo.

En muchas ocasiones, algunas industrias no trabajan en operación continua; sin embargo, para medir los costos mencionados, se hace esta consideración, por lo que, en estos casos, los ahorros son todavía más sensibles, pues, los costos de arranques diarios y los tiempos perdidos, son de mucha consideración.

También hay que valorar, desde este punto de vista económico que estamos tratando, el incremento que están sufriendo los energéticos, y tratar de compararlo con el incremento que están sufriendo los aislamientos. Considerando que estos últimos, o bien, muchos de ellos, son minerales o inorgánicos, se antoja, a primera vista, pensar que su factor de incremento será menor que lo primero, y que si esto fuera real, sería otra razón más a considerar, en el uso y especificación más adecuados del aislamiento térmico.

Otra situación observada en varias ocasiones, es aquella que se comentaba al principio de esta exposición, que el costo de un aislamiento térmico no es representativo en relación a la inversión global de un proyecto cualquiera, ya que, según el tipo de proyecto, el aislamiento puede ir de 0.1% al 3%, aproximadamente, de su monto total. Por ello, es muy factible el aumentar su costo sin que afecte su costo total en forma determinante, y lo que es más aun, intervenga consistentemente en los costos de operación, y que un pequeño incremento en mejorar sus condiciones, represente un gran ahorro en el futuro.

## LA IMPORTANCIA DE UN SISTEMA

Como cualquier otro concepto, el aislamiento térmico para su correcto funcionamiento, para su real utilidad, requiere de encontrarse bajo un sistema. Todo lo expresado anteriormente, de nada sirve si no se aplica dentro de un orden y como un conjunto. Este sistema, lo hemos considerado básicamente por cuatro razones:

1. El aislamiento como tal.
2. Los materiales de cofuncionamiento, que hemos llamado así, ya que su integración es forzosa al aislamiento para que éste funcione como tal, como es el caso de las barreras de vapor en el aislamiento en frío, cuya función consiste en detener la humedad relativa del ambiente y evitar condensaciones dentro del aislamiento que le hace perder sus características esenciales desde luego, ya habiendo contado con el espesor adecuado, y nos referimos a esto en la parte II de esta misma exposición.
3. Acabados y accesorios.
4. Otros conceptos.

Estas cuatro razones que forman el sistema, deben analizarse cuidadosamente para lograr un funcionamiento óptimo general. Por condiciones de tiempo nos referimos a ellas en forma muy breve, tocando en relación a las tres primeras, sus características físico-químicas que, estimamos, destacan entre otras. Por lo tanto, deben tomarse en cuenta preponderantemente, para lograr una adecuada combinación de materiales y una inmejorable especificación. En cuanto al cuarto punto, lo comentaremos por separado, no sin antes apuntar que, en vista de que en muchas ocasiones, los materiales que hemos dado en llamar de Cofuncionamiento se pueden utilizar también como acabados y/o accesorios y viceversa, los consideraremos juntos.



- ▶ Las principales características a cuidar dentro de un aislamiento térmico, serán:
  - A) Material base con que se fabrica.
  - B) Temperatura máxima de operación a la que pueden sujetarse.
  - C) Factores de conductividad térmica en relación a diferentes temperaturas de trabajo y añejamiento.
  - D) Homogeneidad.
  - E) Costo.
  - F) Poder cubriente o rendimiento.
  - G) Densidad y-o peso volumétrico.
  - H) Organicidad o Inorganicidad.
  - I) Duración.
  - J) Forma, textura y Estructura.
  - K) Estabilidad Dimensional.
  - L) Combustibilidad.
  - M) Absorción de agua e hidroscofia.
  - N) Resistencia a la compresión.
  - O) Aplicabilidad y manejabilidad.
  - P) Ataque a instalaciones y-o salud.
  - Q) Tipo de empaque.
  - R) Limitaciones generales.

▶ **Materiales de Cofuncionamiento, acabado y accesorios:**

Para estos materiales, también tendremos que considerar, muy especialmente y en forma general, la duración que se pretenda, las condiciones ambientales, los abusos mecánicos a que estará sujeto el sistema, el mantenimiento necesario y los requisitos indispensables del proyecto. Entre estos materiales, se destaca:

◆ **CEMENTOS:**

De acabados y aislantes: Haciendo notar que, en el caso de cementos aislantes además de lo expuesto a continuación, se deben considerar los conceptos propios del aislamiento como tal:

- Material base con que son fabricados.
- Rendimiento ya fraguados y secos.
- Costo.
- Conductividad térmica.
- Cambio volumétrico de húmedos a secos.
- Variación lineal.
- Densidad en empaque y ya aplicados secos.
- Resistencia a la compresión y consistencia.
- Adhesión al acero.

◆ **PRODUCTOS ASFALTICOS PASTOSOS:**

- Impermeabilidad
- Permeancia o paso de vapor de agua (sobre todo si son utilizados como barrera de vapor).
- Porcentaje de sólidos que contienen para obtener el rendimiento efectivo.
- Solventes o emulsiones.
- Tiempos de secado.
- Temperaturas límites de servicio.
- Ataque al aislamiento u otras instalaciones.
- Resistencia a elementos químicos.
- Resistencia al impacto o consistencia.

- Calor.
- Añejamiento.
- Tipo de aplicación.

◆ **Láminas, laminados, filtros, flejes, alambres y accesorios metálicos:**

- Tipo de metal o materiales) de que están fabricados.
- Tratamiento, acabado y/o refuerzo.
- Espesor o calibre.
- Permanencia (si son utilizados como barrera de vapor).
- Aleación.
- Dureza.
- Peso y-o densidad.

◆ **Mallas metálicas y/o textiles, orgánicas o inorgánicas y de refuerzo:**

- Aberturas y/o trama.
- Espesor o calibre.
- Peso.
- Tratamiento y/o acabados especiales.

◆ **Adhesivos y Pinturas:**

- Solventes o vinílicos.
- Resistentes al medio requerido.
- Rendimiento.
- Temperatura de operación.
- Ataque al aislamiento y-o instalaciones.
- Color, tiempo de secado, añejamiento, combustibilidad, etc.

► **Otros conceptos:**

En esta cuarta razón, se cierra el sistema, y es donde la técnica logra o no los resultados previstos al ser realizados correctamente los siguientes aspectos:

- Una adecuada y óptima especificación del aislamiento térmico.
- La descripción detallada de los métodos constructivos, incluyendo las soluciones para la soportería, conexiones, juntas de expansión y, en general, detalles específicos.
- El uso de mano de obra especializada
- La efectiva supervisión técnica del cumplimiento de todos los puntos anteriores.
- Sólo cabe recomendar que en cualquier proyecto, sean tomadas en consideración todas estas razones para comparar realmente el costo-servicio que un sistema de aislamiento térmico pueda ofrecer en relación a otro, así como también la Entidad o Empresa que lo proponga.

## TABLA 6

### CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS DE SÓLIDOS

BTU/h-pie-°F

Sustancia	Temp. °F	K
<b>a. Metales</b>		
Acero Mecánico	32	36
Acero 1%	64	26.2
Aluminio	32	117
Aluminio	212	119
Cinc	32	65
Cinc	212	62
Cobre puro	32	226
Cobre puro	212	222
Estaño	32	36
Hierro forjado	64	34.9
Hierro forjado	212	34.6
Mercurio	32	4.8
Mercurio	122	4.8
Oro	64	169
Plata	32	244
Plomo	32	20.0
<b>Aleaciones</b>		
Bronce	68	33.6
Latón, 90-10	32	59
Latón, 90-10	212	68
Níquel, aleación de 70 Ni, 28 Cu, 2 Fe	68	20.2
Níquel, aleación de 62 Ni, 12 Cr, 26 Fe	68	7.8

## CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS DE SÓLIDOS

BTU/h-pie-°F

Sustancia	Temp. °F	K
<b>b. Materiales estructurales y resistentes al calor:</b>		
Asfalto	68 - 132	0.43 - 0.44
Cemento, mortero de	75	0.67
Concreto, de grava de cantera a 1-2-4	69	0.79
<b>Ladrillos</b>		
Común	68	0.40
de refrentar		0.76
de carborundum	1110	10.7
de carborundum	2550	6.40
de cromo	392	1.34
de cromo	1022	1.43
de magnésita	1652	1.15
	400	2.20
	1200	1.60
	2200	1.10
de tierra diatomácea moldeado y cocido	400	0.14
refractario (quemado a 2462°F)	1600	0.18
	923	0.60
	1472	0.62
	2012	0.63

**CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS DE SÓLIDOS**  
BTU/h-pie-°F

Sustancia	Temp. °F	K
<b>b. Materiales estructurales y resistentes al calor:</b>		
refractario (quemado a 2642°F)	932	0.74
	1472	0.79
	2012	0.81
refractario (Missouri)	392	0.58
	1112	0.85
	2552	1.02
<b>c. Materiales aislantes:</b>		
Aerogel de sílice	90	0.014
<b>Asbesto:</b>		
Cemento		1.20
Corrugado, 4 pliegos por pulgada	100	0.05
	200	0.058
	300	0.069
Feltro, 40 laminaciones por plg.	100	0.033
	300	0.040
	500	0.048
Feltro, 20 laminaciones por plg.	100	0.045
	300	0.055
	500	0.065
Lámina	124	0.096

## CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS DE SÓLIDOS

BTU/h-pie-°F

Sustancia	Temp. °F	K
<b>c</b> <b>Materiales aislantes</b>		
poco comprimido	150	0.086
	32	0.089
tabla de asbesto - cemento	210	0.093
aserrín	68	0.430
cartón corrugado		0.037
celotex	90	0.028
corcho, lámina, 10 lb/pie <sup>3</sup>	86	0.025
corcho, molido	90	0.025
corcho, regranulado	90	0.026
fieltro, de crin	86	0.021
fieltro de lana	86	0.030
insulex, seco	90	0.037
kapok	86	0.020
lámina aislante de fibra	70	0.028
lana de bálsamo 2.2 lb/pie <sup>3</sup>	90	0.023
lana de vidrio 1.5 lb/pie <sup>3</sup>	75	0.022
lana mineral 10 lb/pie <sup>3</sup>	90	0.023
lana mineral poco comprimida	300	0.039
	500	0.050

## CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS DE SÓLIDOS

BTU/h-pie-°F

Sustancia	Temp. °F	K
<b>c</b> Materiales aislantes		
Magnesia 85%	100	0.039
	200	0.041
	300	0.043
	400	0.046
Tierra diatomácea (Sil - o - cel)	32	0.035
Virutas de madera	75	0.034

# TEORÍA Y CRITERIOS ECONÓMICOS EN LA UTILIZACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS

Cualquier material que ofrece una alta resistencia a la transferencia de calor por conducción, radiación o convección, puede servir como aislante. Un buen material aislante, además de una alta resistencia a la transferencia de calor, debe tener otras características relacionadas con la aplicación que se le dé. En algunas aplicaciones, como el aislamiento de hornos, el material debe ser capaz de resistir altas temperaturas sin deteriorarse. En el aislamiento de aviones, son cualidades esenciales, cierta robustez estructural, capacidad de resistir las vibraciones y poco peso. Los materiales aislantes deben ser inodoros y no absorber olores, ser resistentes a la putrefacción o desintegración y no servir de alimento a roedores o insectos. Esto es particularmente cierto para el aislamiento de edificios o almacenes de alimentos. Todo material aislante debe ser inmune a la humedad, o estar totalmente protegido contra la misma. En general, puede considerarse que los materiales aislantes consisten en pequeños espacios de aire rodeados de paredes sólidas. La baja conductividad térmica de estos materiales puede atribuirse a la baja conductividad térmica de aire encerrado en los intersticios y en la extensión superficial relativamente pequeña del material sólido, a través del cual, puede ser llevado el calor por conducción.

En general, para bajar diferencias de temperaturas a ambos lados del aislamiento, los materiales de más baja densidad aparente, mostrarán las más bajas conductividades térmicas. Para mayores diferencias de temperaturas, se producirá corrientes de convección dentro de los espacios y reducirán el poder aislante de esos materiales.

## CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE FLUIDOS

A temperaturas ordinarias, el valor de "K" para líquidos no metálicos, queda dentro del intervalo que va de 0.05 BTU/h-pie- $^{\circ}$ F a, aproximadamente, 0.40 BTU/h-pie- $^{\circ}$ F, mientras que para los gases, el alcance de "K" es de 0.005 a 0.015 BTU/h-pie- $^{\circ}$ F. Así pues, el más alto valor de "K" para los gases es menor que un tercio del valor mínimo de "K" para los líquidos.

En la mayor parte de los casos, la conductividad térmica de los líquidos disminuye con el aumento de temperatura. En cambio, para el agua, que es el mejor conductor entre los líquidos no metálicos, el valor "K" aumenta hasta una temperatura de 240 $^{\circ}$ F. Para temperaturas mayores, la conductividad térmica del agua disminuye, a medida que la temperatura aumenta.

Los metales líquidos, así como algunas soluciones acuosas, tienen conductividad térmica superior a la del agua. El mercurio líquido, por ejemplo, tiene una "K" de 4.85 BTU/h-pie- $^{\circ}$ F. Algunos otros ejemplos son el aluminio, con una "K" de 51, y el plomo fundido, cuya "K" es de 8.7.

La conductividad térmica de un gas aumentará, en general, con el aumento de la temperatura, y es virtualmente independiente de la presión, siempre que ésta no se aleje demasiado de las condiciones atmosféricas.

Por medio de consideraciones puramente teóricas, MAXWELL dedujo, aplicando la teoría cinética de los gases, una expresión para el cálculo de la conductividad térmica de un gas en función de la viscosidad y del calor específico. Dicha ecuación es la siguiente:

$$K = \mu C_v \quad \text{BTU/h-pie-}^{\circ}\text{F,}$$



donde:

$\mu$  = viscosidad absoluta lb/pie-h

$C_v$  = calor específico, a volumen constante BTU/lb- $^{\circ}$ F

$a$  = constante, que tiene los siguientes valores teóricos:

2.45 para gases monoatómicos

1.90 para gases diatómicos

1.70 para gases triatómicos.

Debe tenerse presente que los valores de la conductividad térmica que se encuentra en la literatura, son aproximados. La exactitud de los valores es bastante precisa; pero, los valores para materiales sólidos no homogéneos están sujetos a un grado considerable de incertidumbre, a causa de la variación en su composición. Lo anterior es especialmente cierto en los cuerpos porosos, cuyo contenido de humedad puede variar cuantitativamente.

A causa de que no es posible eliminar completamente la transferencia de calor por convección y radiación al determinar la conductividad térmica de gases, puede haber un error de 10 a 20% en el valor "K".

## ESPESOR ECONÓMICO DE AISLACION

El costo de operación de un equipo térmicamente aislado depende, entre otros factores, que son independientes de la aislación en sí, del capital invertido, de la amortización de la misma y del costo de la energía ahorrada o perdida por el uso de aislamiento.

El problema del espesor más económico de una aislación, puede plantearse en los siguientes términos:

- Cuanto menor es el espesor de una aislación, mayor es el costo de operación por pérdidas al exterior, y menor la amortización por costo inicial del aislamiento.
- Cuanto mayor es el espesor de una aislación, menor es el costo de operación por pérdidas al exterior, y mayor el correspondiente a la amortización por costo inicial del aislamiento.

Ambas consideraciones pueden representarse gráficamente, como en las gráficas 1,2 y 3, donde se han llevado los costos en las ordenadas y los espesores en las abscisas. Se observa que, a medida que aumenta el espesor, disminuye el costo por energía perdida; pero, aumenta el costo de la amortización. La primera curva es de tipo hiperbólico; en cuanto a la segunda, es aproximadamente una recta.

La suma de las ordenadas de ambas curvas conduce a otra curva de costo total; su mínimo corresponde, evidentemente, a la solución más económica.

Se dará, a continuación, un ejemplo numérico, mediante el cual, se mostrará el mecanismo a seguir en este tipo de problema.

Equipo seleccionado: Horno

Tipo de pared: Plana

Aislante: Concreto aislante-refractario Conductividad térmica: 0.14 Btu/h-pie-°F

Debido a que la conductividad térmica de la placa de acero es grande, comparada con la del aislante, el gradiente de temperatura en la placa de acero es pequeño, de tal manera que, podemos considerar que en dicha placa no hay caída de temperatura y, por lo tanto, únicamente tendremos una pared plana de un sólo material, o sea:

En donde:

e = espesor

K = conductividad térmica

Ta y Tb = temperaturas de la superficie a uno y otro lado de la pared.

Ecuación aplicable a este caso:

$$q = \frac{A(T_a - T_b)K}{e} = \frac{K \Delta T A}{e}$$

Para este tipo de problema es práctica común tomar un T = 1200 F, tanto para la zona de convección como para la zona de radiación:

Se analizará 3 diferente espesores:

- e1 = 2.5"
- e2 = 5.0"
- e3 = 7.5"

Conductividad térmica = 0.14 BTU/h-pie-°F

Cálculo del flujo térmico por unidad de área.

$$q/A = K \Delta T / e$$

para e = 2.5"

$$q/A = [(0.14) (1200) (12)] / 2.5 = 806.4 \text{ BTU/h-pie}^2$$

para e = 5"

$$q/A = [(0.14) (1200) (12)] / 5 = 403.2 \text{ BTU/h-pie}^2$$

para e = 7.5"

$$q/A = [(0.14) (1200) (12)] / 7.5 = 268.8 \text{ BTU/h-pie}^2$$

### COSTO DE COMBUSTIBLE PERDIDO

	BTU h-pie <sup>2</sup>	BTU 10 años-pie <sup>2</sup>	Q anual-pie <sup>2</sup>
e = 2.5	806.4	64,512,000	451.58
e = 5.0	403.2	32,256,000	225.79
e = 7.5	268.8	21,504,000	150.52

1 AÑO DE OPERACIÓN = 8000 Horas

10 años de operación = 80,000 Horas

1 MM BN = Q 7.00

### COSTO DEL AISLANTE

	(Volumen aislante)/pie <sup>2</sup>	lb/pie <sup>2</sup>	Q/pie <sup>2</sup>	mano de obra Q/año-pie <sup>2</sup>
e = 2.5	0.2083	14.58	25.18	30
e = 5.0	0.4166	29.16	50.36	60
e = 7.5	0.625	43.75	75.56	90

Peso específico = 70 lb/pie<sup>3</sup>

Costo = Q 3.8/Kg

Amortización a 10 años

7% interés anual

Los resultados anteriores pueden graficarse, obteniéndose los siguientes resultados:

(Ver gráficas 11, 12 y 13).

Puede observarse, de las gráficas anteriores, que, para diferentes períodos de amortización, se obtiene diferentes soluciones, o sea:

PERIODO DE AMORTIZACIÓN	ESPESOR	COSTO TOTAL (ANUAL)
1 AÑO	2.5"	Q 75.158 / pie <sup>2</sup>
5 AÑOS	6.0"	37 / pie <sup>2</sup>
10 AÑOS	7.0"	28 / pie <sup>2</sup>

Conforme aumenta el período de amortización, aumenta el valor del espesor económico de aislación y disminuye el costo total anual.

También puede observarse que, para un mismo período de amortización, si el costo total anual se aumenta en un 10%, la curva de costo total conduce a dos soluciones, a las que corresponden dos espesores bastante distintos entre sí, por ser la curva muy plana en esa zona. Por ejemplo, en la gráfica No. 13:

Para Q 30 anual      espesor = 5.5"

Para Q 30 anual      espesor = 8"

Salvo que condiciones particulares indiquen lo contrario, se elige la solución correspondiente al menor espesor, porque, si bien conduce a mayores pérdidas de calor, tiene menor costo inicial, menor amortización, exige menor trabajo para colocarla, ocupa menos espacio y tiene menos superficie que limpiar.

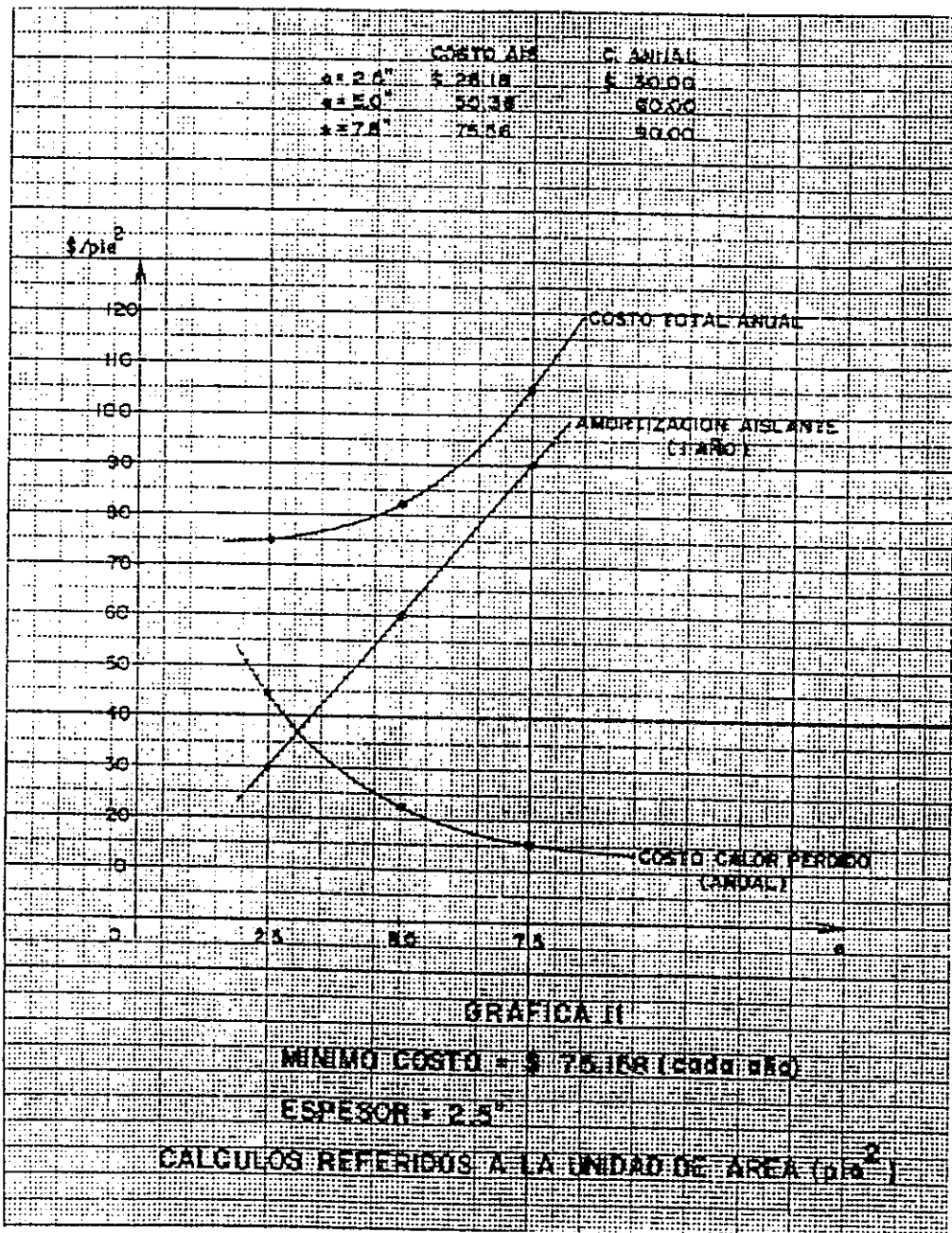
Es evidente que, según el criterio adaptado por el diseñador de una instalación, cambian fundamentalmente los espesores económicos de aislamiento. Es conveniente que el criterio sea el mismo que el adoptado en toda la instalación.

Para el tipo de problema que se analizó, lo que se pretendía, era que la energía no escapara de un recipiente (horno), debido al costo que representa. Puede ocurrir lo contrario, o sea, que no penetre la energía a un recipiente, en el cual se tiene un sistema a baja temperatura. También, en este caso, es necesario calcular el espesor económico de aislación, siguiendo un procedimiento similar al anterior. Únicamente que, en lugar de costo de combustible perdido, se gráfica costo del equipo necesario para mantener el sistema a baja temperatura.

Como ya se mencionó anteriormente, un buen material aislante debe tener un bajo coeficiente de conductividad térmica; pero, también, debe poseer otras características.

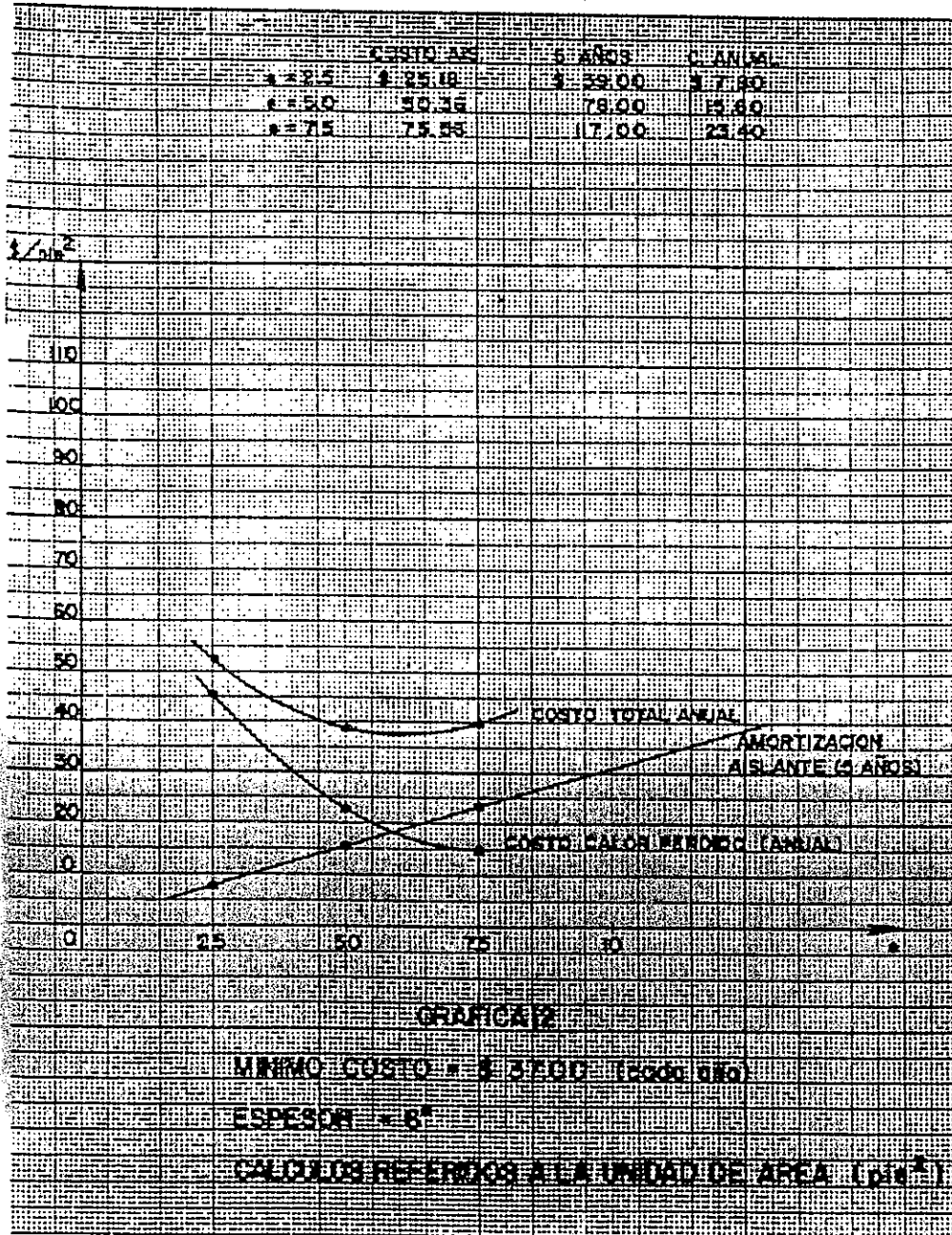
# FIGURA No. 11

## AMORTIZACION DEL AISLANTE A 1 AÑO



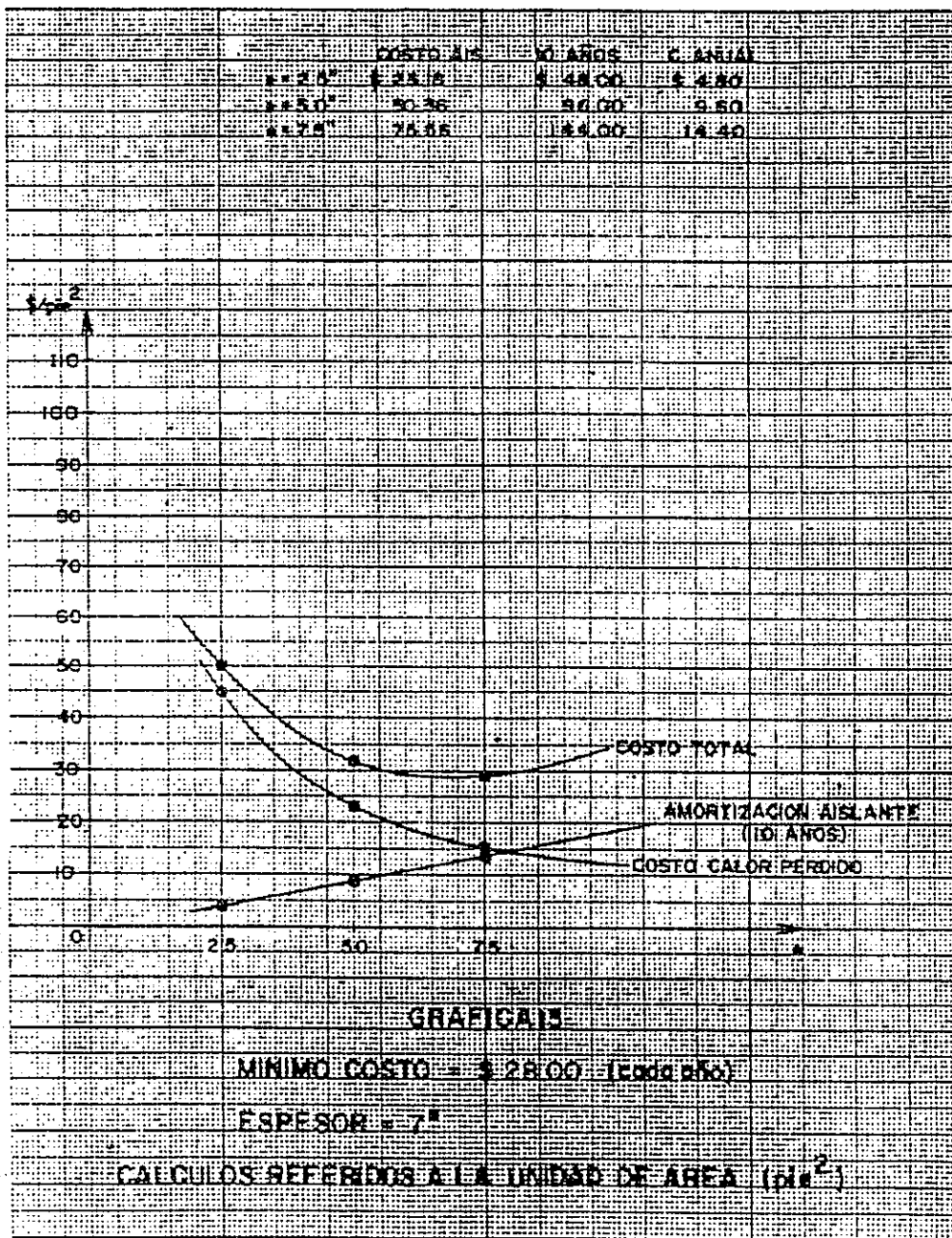
# FIGURA No. 12

## AMORTIZACION DEL AISLANTE A 5 AÑOS



# FIGURA No. 13

## AMORTIZACION DEL AISLANTE A 10 AÑOS



Si hay que usarlo a altas temperaturas, tiene que ser capaz de soportar dichas temperaturas sin deterioro. Si hay que usarlo a bajas temperaturas, debe estar protegido contra la humedad, o no ser afectado por ella. Debe ser flexible y resistente a un uso riguroso, y para las vibraciones, debe ser incombustible resistente a la acción química. En muchos otros casos, el uso de aislamiento que, determinado por otros factores, como son, que el personal tenga condiciones propicias para llevar a cabo su trabajo, que no tenga peligro de sufrir quemaduras.

En sí, la elección del aislamiento más apropiado, depende de muchos factores; en la elección del mismo no se debe olvidar ninguno de ellos.



## CONCLUSIONES

- 1) Los aislantes térmicos es un satisfactor, con el cual se contribuye al mayor aprovechamiento de la energía.
- 2) La utilización de aislamiento térmico en instalaciones industriales es necesario en el proceso industrial para un riguroso nivel de temperatura y así lograr un procedimiento de administración de calor para evitar pérdidas.
- 3) La transferencia de calor ocurre en una o más, de tres formas esencialmente diferentes:  
  
CONDUCCIÓN  
  
CONVECCIÓN  
  
RADIACIÓN
- 4) El aislamiento térmico enfoca tres aspectos en donde reside fundamentalmente su importancia y son:  
  
El aspecto técnico  
  
El aspecto económico  
  
El aspecto social
- 5) Para el aislamiento de edificios o almacenes de alimentos, todo material aislante debe ser inmune a la humedad o estar totalmente protegido contra la misma.
- 6) El uso de un aislante térmico está regido por varios factores, pero los más importantes son:  
  
Que el personal tenga condiciones propicias para llevar a cabo su trabajo y que tenga peligro de sufrir quemaduras.

## RECOMENDACIONES

- 1) **Al realizar cualquier diseño donde exista transferencia de calor, se debe incluir en el estudio el uso de aislantes térmicos para preservar la energía y evitar daños al personal que labora en la industria.**
- 2) **A pesar que las formas de transferencia de calor se mencionan con nombres diferentes, en realidad los problemas de conducción están ligados a la radiación y convección por lo que es importante siempre relacionarlos para que el aislamiento cumpla con los objetivos iniciales.**
- 3) **Para lograr un buen aislamiento térmico es necesario calcular el espesor económico de aislación de acuerdo a los procedimientos descritos en el presente trabajo.**
- 4) **Se recomienda que la escuela de Ingeniería Mecánica se interese en el problema del aislamiento térmico para preservar la energía en cualquier forma.**

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1) **Nelson, J. W. Petroleum Refinery Engineering. McGraw - Hill, Book Company, Inc.**
- 2) **Perry, John. Chemical Engineer's Handbook. McGraw - Hill, Book Company.**
- 3) **Kern, Donald. Procesos de transferencia de calor. Editorial McGraw - Hill, Book Company, Inc.**
- 4) **Baumeister, M. Mark's Mechanical Engineer's Handbook. McGraw - Hill.**
- 5) **Kent. Manual del Ingeniero Mecánico. Editorial Harla. 4ta. edición, 1981.**
- 6) **Contreras, G. Apuntes de la industria petrolera. Instituto mexicano del petróleo. 1975.**
- 7) **Piluso, H. Desarrollo de productos derivados del petróleo. Instituto del petróleo. Buenos Aires, Argentina.**
- 8) **Revistas de "Chemical Engineering". Editorial McGraw - Hill.**