

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
VO 1	AÑO 1977

00.77.11

CNEA-NT 11/77

**COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION**

"ENERGIA SOLAR"

L.R. Saravia - E.E. Alanis - A.R. Fabris

**Universidad Nacional de Salta
Departamento de Ciencias Exactas**

**Gerencia de Desarrollo
Buenos Aires - Argentina
1977**

AUTORES:

SARAVIA, L.R.; ALANIS, E.E.; FABRIS, A.R.

Universidad Nacional de Salta

Departamento de Ciencias Exactas

COMITE COORDINADOR DEL ESTUDIO

SARA VOLMAN DE TANIS: Coordinadora General

ALFREDO H.HEY y CARLOS J.LERCH: Coordinadores adjuntos

PROLOGO

El presente estudio integra el Análisis de la Oferta Potencial Nacional de Tecnología en Métodos de Aprovechamiento de la Energía Generada por Métodos no Convencionales.

Se ha realizado en el marco del Programa de Transferencia de Tecnología de la O.E.A.

El objetivo general del trabajo consistió en analizar la participación de la industria local ya sea la privada como la es tatal, en el aprovechamiento de la energía obtenida por métodos no convencionales. Los sistemas de generación se desagregan con el mayor detalle posible, determinando que sectores tienen desarrollos propios y no divulgados que sean transferibles a otros sectores de actividades similares o sean aplicables a ellos.

Dicho análisis ha sido efectuado en base a los siguientes capítulos.

1. INTRODUCCION
2. ENERGIA EOLICA
3. ENERGIA POR FUSION
4. ENERGIA GEOTERMICA
5. ENERGIA POR HIDROGENO
6. ENERGIA MAREOMOTRIZ
7. ENERGIA NUCLEAR
8. ENERGIA SOLAR

Sara Volman de Tanis
Responsable del Programa
Transferencia de Tecnología

INDICE

1.- NATURALEZA DEL RECURSO

1.1.- Generalidades

1.2.- Radiación solar

2.- EVALUACION DEL RECURSO

3.- POSIBILIDADES REGIONALES

4.- METODOS DE APROVECHAMIENTO

4.1.- Colectores planos

4.2.- Colectores Concentradores

4.3.- Acumulación de la Energía Solar

4.4.- Calentamiento de agua

4.5.- Calentamiento y enfriamiento de Edificios

4.6.- Destilación

4.7.- Secado de Productos agrícolas

4.8.- Generación de Energía Eléctrica

5.- TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

5.1.- Calentadores de agua para uso familiar

5.2.- Calentamiento de agua a nivel industrial

5.3.- Calentamiento y enfriamiento de edificios

5.4.- Secado de Productos agrícolas

5.5.- Destilación

5.6.- Generación de Energía Eléctrica

REFERENCIAS

1.- NATURALEZA DEL RECURSO

1.1. Generalidades

La Energía Solar tiene dos características que la hacen particularmente atrayente como una de las formas de energía destinadas a satisfacer las necesidades futuras de la raza humana: su carácter - prácticamente inagotable y el hecho de no construir un agente contaminante.

En lo que respecta al primer punto, la energía solar que llega a la superficie continental de la Tierra en un año es de aproximadamente $1,7 \cdot 10^{11}$ GWh ($1\text{GWh} = 10^9$ Vatios-hora). El consumo mundial de energía en 1972 fué de $5,9 \cdot 10^7$ Gwh. Con un rendimiento del 20%, solo se necesitaría el 1,7 % de la superficie continental para satisfacerlo. En particular, para la Argentina se calcula que una superficie de colección de unos 760 Km^2 sería suficiente para satisfacer toda la demanda energética para 1990 (1). Esta superficie es ligeramente menor que la del espejo de agua del Chocón y un 2% de la superficie conjunta de las Provincias de San Luis, San Juan, Mendoza y Salta.

Se debe agregar a su abundancia, el hecho de que en muchos casos puede ser colectada y transformada en el lugar de utilización, lo que ofrece ventajas económicas considerables en áreas remotas.

En cuanto al segundo punto, la utilización de la energía solar, a diferencia de otras fuentes de energía, no produce contaminación material de la atmósfera terrestre (humos, gases, desechos radioactivos) y debido a las pequeñas áreas a utilizar, como ya se ha explicado, y a su dispersión geográfica, es de esperar que la contaminación térmica sea de escasa importancia.

1.2. Radiación Solar

El sol emite radiación electromagnética al espacio, originada en reacciones nucleares que ocurren en su interior, y cuya distribución espectral es muy similar a la de un cuerpo con una temperatura de 6000° K . Según se muestra en la Figura 1, la mayor parte de la radiación, un 47 %, está en la zona visible, mientras que un 7% se encuen-

tra en la ultravioleta y un 46% en el infrarrojo (2).

La cantidad d energía por unidad de tiempo y superficie que incide sobre una superficie normal a los rayos, colocada a una distancia del Sol igual a la distancia media entre ésta y la Tierra, es de 1353 W/m^2 ($1,94 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min.}$) y recibe el nombre de constante solar. Si la superficie se moviese con la Tierra, esa cantidad variará por dos razones: Los cambios en la distancia Tierra - Sol, Figura 2, y - los cambios que se producen en los procesos del Sol. Los rangos de - variación con de $\pm 3 \%$ y $\pm 1,5 \%$ respectivamente.

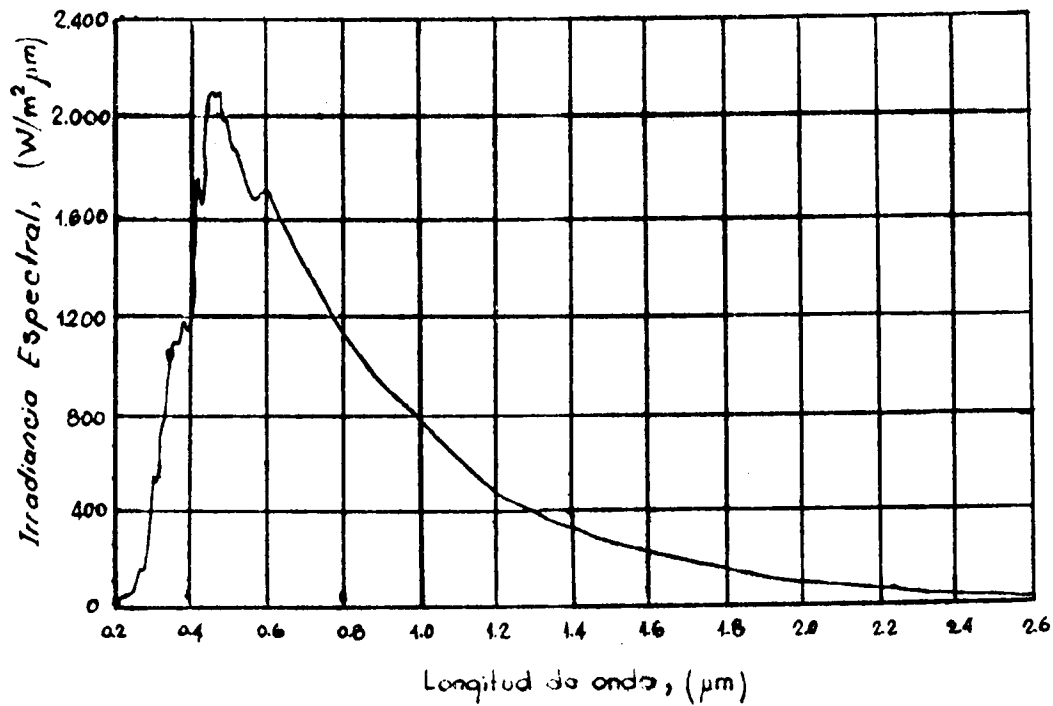
Para un mejor aprovechamiento de la energía solar, es necesario conocer la energía que incide por día en una superficie horizontal - colocada en distintos lugares de la tierra.

Dejando de lado por el momento la influencia de la atmósfera, ella variará con la latitud del lugar y con la época del año, tal cual se muestra en la tabla I.

Si se considera la atmósfera sin nubes, se tendrán nuevas varia-- ciones debidas a procesos de absorción y dispersión que atenúan y cambian la dirección de la radiación, siendo necesario distinguir entre- diversos tipos. Ellas se definen en el Cuadro I, junto con otras mag- nitudes físicas de interés para el problema.

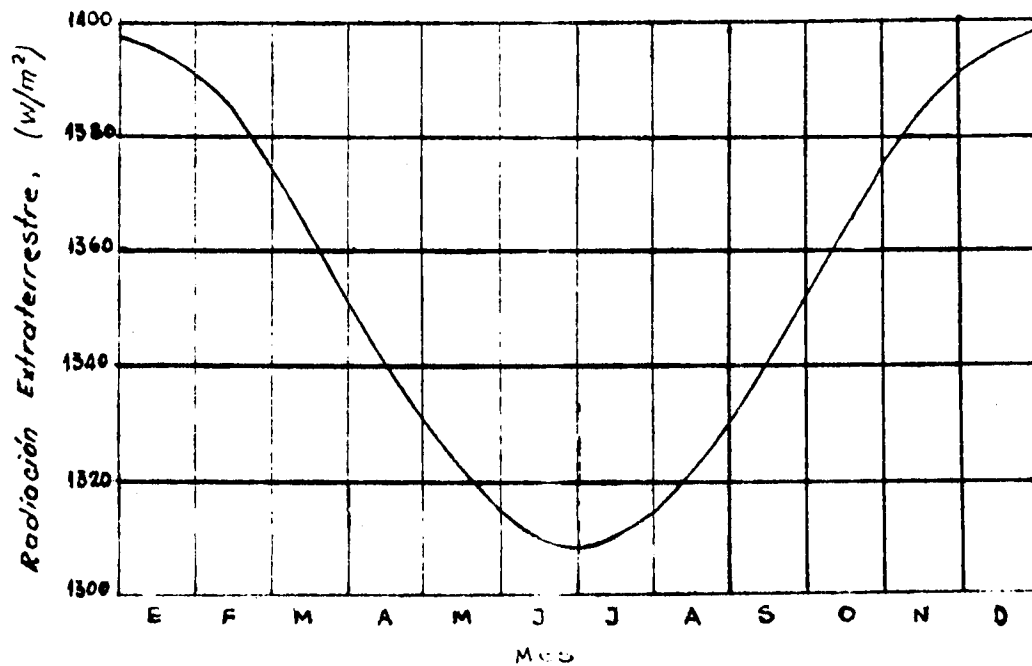
La radiación solar directa en un día claro, sin nubes, con poca- humedad y sin partículas suspendidas en el aire, tiene una distribu- ción espectral distinta a la que tiene en el tope de la atmósfera, como se muestra en la Figura 3. Varios gases de la atmósfera, tales como el vapor de agua, el ozono y el CO_2 absorben la radiación produciendo picos, y eliminando parte del ultravioleta y el infrarrojo. Se observa- también una disminución general que se acentúa con la disminución de- la longitud de onda y que se debe a procesos de absorción. En la Ta- bla II se muestran valores de la radiación directa medidos en Buenos Aires en un día claro, comparándolos con los calculados para el caso- sin atmósfera.

La radiación solar difusa en un día claro depende de la altura - del sol (h) y de las condiciones del suelo del lugar. En las Tablas III y IV se muestran ejemplos de esos tipos de variación.



Irradiancia Espectral "Standard" segun NASA
(1971) a la distancia media Tierra-Sol. (Ref. 1).

FIGURA 1



Variación de la Radiación Extraterrestre
con la época del año. (Ref. 2).

FIGURA 2

TABLA I

Cantidad de Radiación incidente por día sobre un plano horizontal, sin tener en cuenta la influencia de la atmósfera,
Ref. (3) - (cal/cm²). día

Fecha	Latitud (grados)											Sur										
	Norte																					
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90			
Marzo 21		160	310	461	593	707	799	867	909	923	909	867	799	707	593	461	316	160	0			
Abril 13	436	436	541	655	755	832	892	922	925	900	849	773	674	555	421	277	131	7	0			
Mayo 6	796	784	772	834	894	938	958	952	921	863	783	680	560	426	285	144	24	0	0			
Mayo 29	1030	1014	968	963	988	1002	997	964	908	829	729	611	479	339	199	70	0	0	0			
Junio 22	1110	1093	1043	1009	1020	1022	1005	964	900	814	708	585	450	306	170	48	0	0	0			
Julio 15	1025	1010	963	958	983	907	990	959	904	825	726	608	477	338	198	70	0	0	0			
Agosto 8	789	777	765	826	886	929	949	944	913	856	776	674	555	422	262	143	24	0	0			
Agosto 31	431	431	535	636	747	823	882	911	914	896	839	764	666	549	417	274	130	7	0			
Septiembre 23		158	312	456	586	698	789	857	898	912	898	857	789	698	586	456	312	158	0			
Octubre 16		7	133	281	427	562	683	783	861	913	938	935	904	844	766	664	548	442	442			
Noviembre 8			25	150	295	442	581	706	813	897	956	989	994	973	929	866	802	814	826			
Noviembre 30				74	210	359	507	646	771	877	960	1019	1052	1059	1045	1018	1924	1073	1099			
Diciembre 22				51	181	327	480	624	756	869	962	1030	1073	1092	1089	1078	1114	1167	1185			
Enero 13				75	211	361	509	649	775	881	965	1024	1057	1064	1050	1023	1029	1078	1095			
Febrero 4			25	151	298	447	586	712	820	905	965	998	1033	982	957	873	809	821	834			
Febrero 26		7	135	285	432	570	691	793	871	924	949	946	915	854	775	672	556	447	447			

CUADRO I

Se definen algunas magnitudes de interés

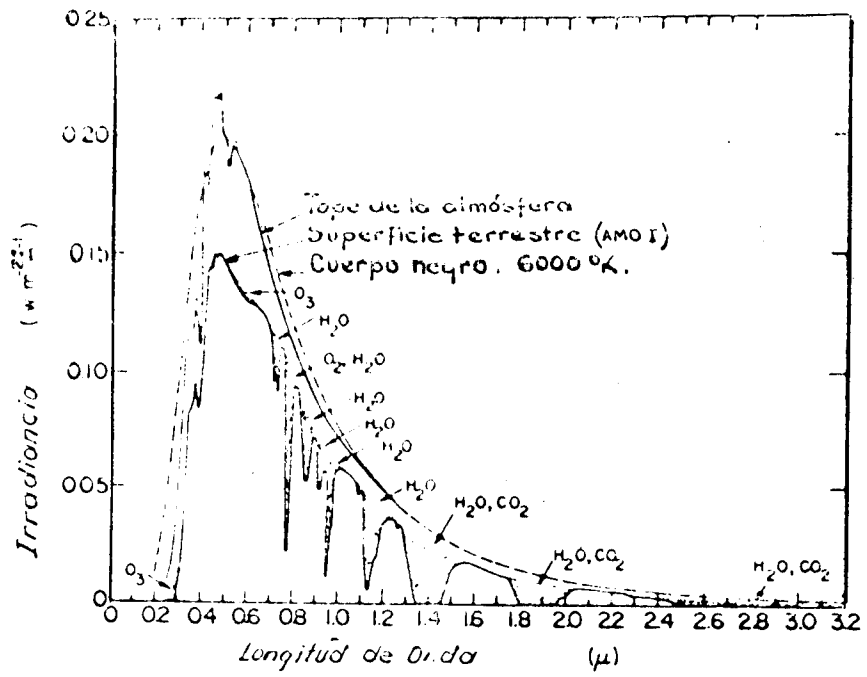
RADIACION DIRECTA (I): Es la que llega a la Superficie Terrestre procedente del Sol sin sufrir cambios de dirección. Se mide sobre una superficie perpendicular a los rayos solares.

RADIACION DIFUSA (D): Es la recibida en la Superficie Terrestre proveniente del hemisferio superior (cielo) luego de haber sufrido procesos de dispersión y reflexión en la atmósfera. Se la mide sobre una superficie horizontal.

RADIACION GLOBAL (G): Es la recibida en la Superficie Terrestre sobre una superficie horizontal. Está relacionada con las dos anteriores por: $G = D + I \sin h$, siendo h la altura del Sol.

ALTURA DEL SOL (h): Es el ángulo formado entre la línea observador-Sol y el Plano horizontal del lugar.

MASA DE AIRE (m): Es la longitud de la trayectoria que recorre en la atmósfera solar directa antes de llegar a la Superficie Terrestre. Se normaliza tomando como unidad la longitud de la trayectoria que debe recorrer en la atmósfera la radiación solar directa cuando el Sol está en el cenit (AM01). Ver Figura 4.



Distribución Espectral de la Radiación Directa (Ref. 3)

FIGURA 3

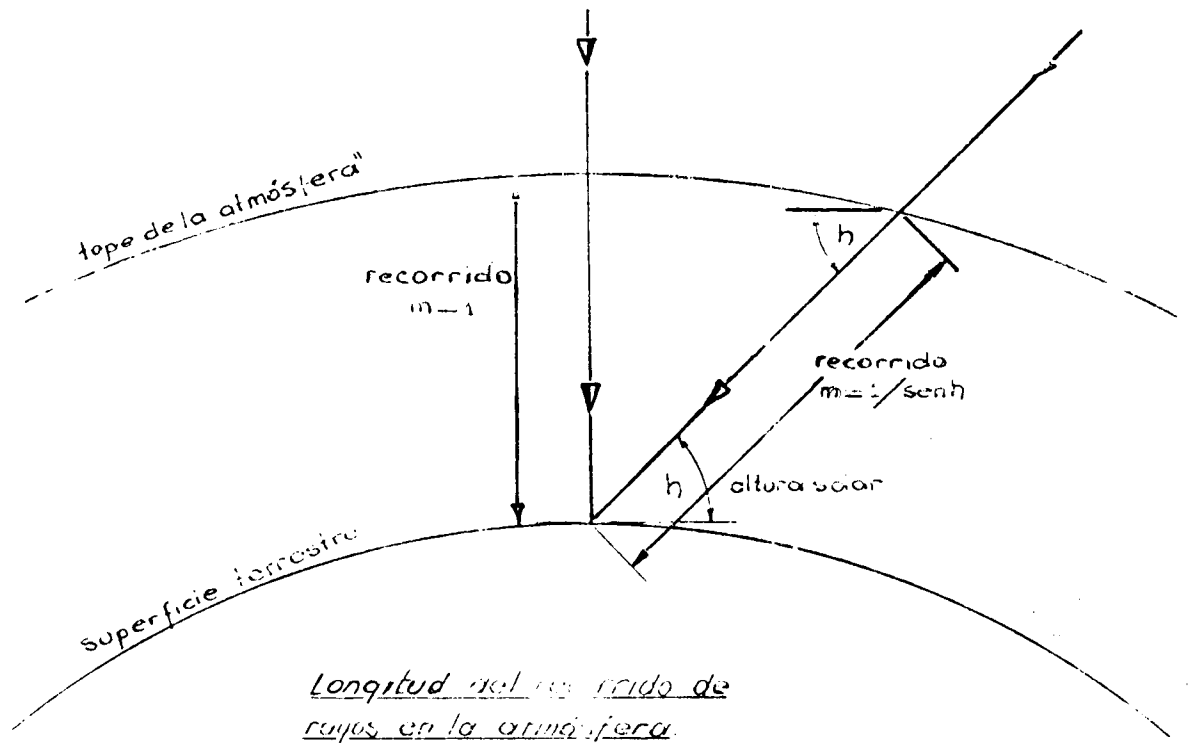


FIGURA 4

TABLA II

VALORES DE RADIACION DIRECTA MEDIDOS EN ESTACION BUENOS AIRES (S.M.N.)
CON ACTINOMETRO DE LINKE - FEUSSNER - Ref.(4)

Fecha: 24-7-58

T. Verdadero h.	h Sol min.	$\alpha + 0^\circ.1$	m	t (°C)	Nubosidad	Int. medida Ra- diac. Directa (I) Cal/cm ² .min.	Int. de Radiac. Directa sin at- mósfera Cal/cm ² .min.
8 :	21	14.7	3.89	17.5	0	0.76	1.89
9 :	40	26.1	2.25	21.4	0	0.95	1.89
10 :	48	32.0	1.84	22.4	0	1.06	1.89
11 :	39	35.3	1.73	24.0	0	1.11	1.89
12 :	58	33.8	1.78	24.4	0	1.14	1.89
14 :	05	27.9	2.11	25.1	0	1.05	1.89
15 :	44	13.9	4.08	24.4	0	0.78	1.89

TABLA III

VARIACION DEL FLUJO DE RADIACION DIFUSA PARA DISTINTAS CONDICIONES DEL SUE-
LO DEL LUGAR - Ref.(3)

Condiciones del Suelo	Albedo %	Flujo de Radiación Difusa cal./cm ² .min.
Poco césped	23.7	0.085
Suelo arcilloso	27.6	0.110
Nieve de dos días	85.7	0.114
Nieve del día anterior	89	0.181

TABLA IV

FLUJOS DE RADIACION PARA DIAS DESPEJADOS (cal.cm². min.)Ref.(3)

Estación: HELSINSKI

	Altura del Sol						
	5	10	15	20	25	30	40
Radiación Global (G)	.08	.18	.30	.42	.55	.66	.86
Radiación Difusa (D)	.03	.05	.06	.07	.08	.09	.1
$\frac{D}{G}$	.37	.27	.20	.17	.14	.14	.12

TABLA V

Radiación Global en días claros. Ref. (3)
(cal/cm² día)

La titud (grados)	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Norte												
90	0	0	4	328	720	856	780	424	78	0	0	0
85	0	0	24	336	716	846	771	430	100	0	0	0
80	0	0	69	354	706	828	754	439	140	15	0	0
75	0	18	132	385	690	805	727	455	191	44	0	0
70	1	51	198	430	675	774	700	480	248	90	16	0
65	24	92	264	478	672	751	692	613	311	142	45	8
60	58	142	325	526	684	753	703	550	371	200	85	37
55	102	204	384	569	707	768	722	590	425	257	133	70
50	159	270	438	608	729	780	742	628	474	318	190	131
45	220	340	389	642	746	787	751	662	519	377	256	193
40	290	402	538	668	759	790	772	678	559	433	318	260
35	352	460	580	689	764	788	775	706	596	483	375	320
30	410	509	613	703	763	780	771	716	628	530	430	378
25	463	552	640	710	754	768	760	719	653	572	482	431
20	511	590	663	710	740	750	743	716	673	608	530	484
15	555	624	681	705	721	724	721	709	688	636	572	530
10	595	650	695	698	696	692	694	698	698	661	610	575
5	635	671	704	688	667	656	662	680	701	681	643	618
0	666	688	707	672	635	618	628	660	698	696	672	656
Sur												
5	695	704	704	654	602	580	590	634	687	704	698	693
10	722	715	694	631	567	535	550	670	705	717	717	726
15	744	722	679	601	527	491	507	568	648	700	734	753
20	762	726	660	566	485	442	464	531	622	690	746	774
25	776	726	639	527	439	395	416	491	519	679	755	793
30	787	718	611	489	392	348	366	447	558	662	760	810
35	792	701	578	447	343	297	316	398	522	642	760	822
40	792	680	540	401	287	241	265	350	482	616	752	830
45	789	654	499	353	233	180	206	297	439	584	738	832
50	779	622	454	302	178	125	150	241	393	547	720	824
55	762	586	406	245	125	75	90	180	340	507	702	811
60	743	548	355	184	79	32	52	124	280	464	690	804
65	735	505	298	127	36	3	15	75	220	416	685	807
70	742	469	240	74	8	0	1	32	165	375	688	820
75	763	442	187	31	0	0	0	4	115	343	701	838
80	792	420	140	0	0	0	0	0	69	318	721	856
85	811	408	96	0	0	0	0	0	30	303	736	874
90	820	404	56	0	0	0	0	0	2	296	742	886

En días claros, la radiación global sobre una superficie horizontal, suma de la directa y la difusa, puede obtenerse de tablas como la V con errores no mayores que el 10%. El conocimiento de las radiaciones directa y difusa por separado es de interés en diversas aplicaciones. Por ejemplo, en los concentradores ópticos convencionales solo se utiliza la radiación directa, mientras que un colector plano usa ambas.

Cuando el día se nubla, la radiación global cambia mucho, dependiendo del grado, tipo y forma de las nubes. En este caso no se puede predecir su valor y se debe recurrir a su evaluación por medida directa.

Los párrafos anteriores se refirieron a la radiación incidente sobre una superficie horizontal. En muchos sistemas solares las superficies de colección son inclinadas, existiendo métodos para realizar una estimación de la radiación global a partir de la disponible para superficies horizontales.(5).

2.- EVALUACION DEL RECURSO

El conocimiento de la radiación solar disponible en un lugar permite evaluar la factibilidad del sistema de aprovechamiento que se estudie. De acuerdo al tipo de sistema, podrán necesitarse datos de radiación global únicamente, o la radiación directa y la difusa por separado. Es de destacar que en muchos casos el estudio se puede realizar mediante una simulación por vía computacional. Debido a que los sistemas solares trabajan en general en estado transitorio, una simulación detallada exige que se disponga de valores de radiación, así como de otros datos meteorológicos (temperatura, humedad y velocidad del viento) sobre una base horaria, no bastando con promedios diarios o mensuales.

Según se explicó en la sección anterior, la radiación incidente en la superficie de la Tierra no es predecible debido a las variaciones del grado de nubosidad. Por lo tanto, la evaluación del recurso solar en una región dada, requiere la instalación de una red de medida. El número y tipo de instrumentos a instalar en cada estación dependerá del tipo de radiación a medir y de la precisión requerida. La medida más común es la de radiación global sobre una superficie horizontal. En el Cuadro II se describen someramente los instrumentos de medida de radiación más comunes. Para más detalles pueden consultarse los trabajos de Yellot (6) y de Liu y Jordán (5). Como ejemplo de red de medida se tiene la instalada en los EUA la que cuenta con 80 estaciones de medida de radiación global y 8 de radiación directa. En la Argentina se ha establecido entre la CNEGH y la OEA con el fin de establecer una red de 50 estaciones que medirán radiación global. Los instrumentos volcarán su registro en cinta magnética, la que será procesada directamente en computadora.

Existen métodos que permiten estimar la radiación global, unos basados en la medición de la nubosidad y otros basados en la medición de la heliofanía (número de horas durante las que brilla el sol). Dado que la mayor parte de la radiación global es directa, es de esperar que exista una fuerte correlación entre la radiación solar global y -

el número de horas diarias en las que el sol no está cubierto. Ello - ha sido probado por varios autores (7,8). La medición de la heliofa- nía se realiza con el heliofanógrafo de Campbell-Stokes, que consta - de una lente esférica y una platina ubicada en su foco sobre la que - se coloca una faja de papel. Cuando la radiación solar directa adquiere un valor mínimo, el papel se quema por la acción de los rayos con- centrados por la lente. La longitud del trazo quemado es la medida de horas durante las que el sol brilló.

CUADRO II

Instrumentos de Medida de Radiación Solar

- 1- PIROHELIOMETROS: Miden la radiación solar directa en una superficie normal a los rayos solares. Existen dos tipos que se utilizan como patrones a nivel internacional: el de Angstrom y el de Abbot. En ambos la radiación solar calienta un trozo de metal, detectándose por diferentes métodos su incremento de temperatura. Su precisión está dentro del 1%.
- 2- PIRANOMETROS: Miden la radiación solar global. Usualmente la superficie de detención se coloca en posición horizontal. Hay de varios tipos:
 - a) Con termopilas: Se utiliza una termopila, una de cuyas juntas se expone al Sol bajo una cúpula de vidrio. La diferencia de potencial generada, del orden de los 8 mv para una radiación incidente de $1 \text{ cal./cm}^2 \cdot \text{min.}$, es proporcional a la energía incidente por unidad de área y tiempo. Se fabrican con dos diseños distintos, conocidos con los nombres de Kimball-Hobbs y de Moll-Gorczynski.
 - b) Con bimetales: La radiación solar produce una dilatación diferencial de un par bimetálico colocado bajo una cúpula de vidrio. La dilatación del par bimetálico se amplifica mediante un sistema de palancas y se transmite a una pluma. La pluma marca un trazo sobre un tambor giratorio movido mediante un mecanismo de relojería. El diseño más común es el de Robitsch. La precisión obtenida es menor que con los instrumentos con termopilas, pero tiene la ventaja de poder operar sin alimentación eléctrica.
 - c) Con transductores fotovoltaicos: Se utiliza una celda fotovoltaica del tipo del silicio o sulfuro de cadmio para producir una corriente proporcional a la radiación. La respuesta no es plana para distintas longitudes de onda.
- 3- MEDIDA DE RADIACION DIFUSA: Se utilizan piranómetros en los que se evita la incidencia de la radiación directa mediante una pantalla convenientemente colocada.

Se dispone de estimaciones de niveles de radiación a escala mundial. Las figuras 5 y 6 muestran cartas de radiación global sobre una superficie horizontal, para dos meses característicos de verano e invierno. En ellas se puede apreciar que los niveles en la República Argentina alcanzan valores significativos a nivel mundial en la Región Andina hasta los 40° de latitud Sur aproximadamente.

En nuestro país se dispone de datos de heliofanía en un conjunto grande de estaciones, lo que ha permitido el trazado de curvas de iso radiación para todo el país. De la referencia (9) se ha reproducido - en las figuras 7 y 8 una división en zonas del país de acuerdo a la radiación global incidente sobre superficies orientadas en forma optima para la colección de radiación en los meses característicos de las épocas de invierno y verano. En ellas puede verse también una divi- - sión del país en cinco grandes regiones, que se utilizará en la sección 3.

También se han realizado medidas de radiación con piranógrafos, - aunque tienen un caracter más disperso que dificulta el tratamiento - de conjunto. Algunos datos de promedios mensuales correspondientes a las tomadas durante el año Geofísico Internacional, 1968, han sido publicados (4) y se resúmen en la Tabla VI.

Finalmente, existe un grupo reducido de seis estaciones en las - que se midió con instrumentos de segunda categoría (piranómetros del tipo Moll-Gorczyński. Los promedios mensuales de estas estaciones se dan en la Tabla VII.

TABLA VI

PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACION GLOBAL (G) - (cal.cm.². dia.) Ref. (4)

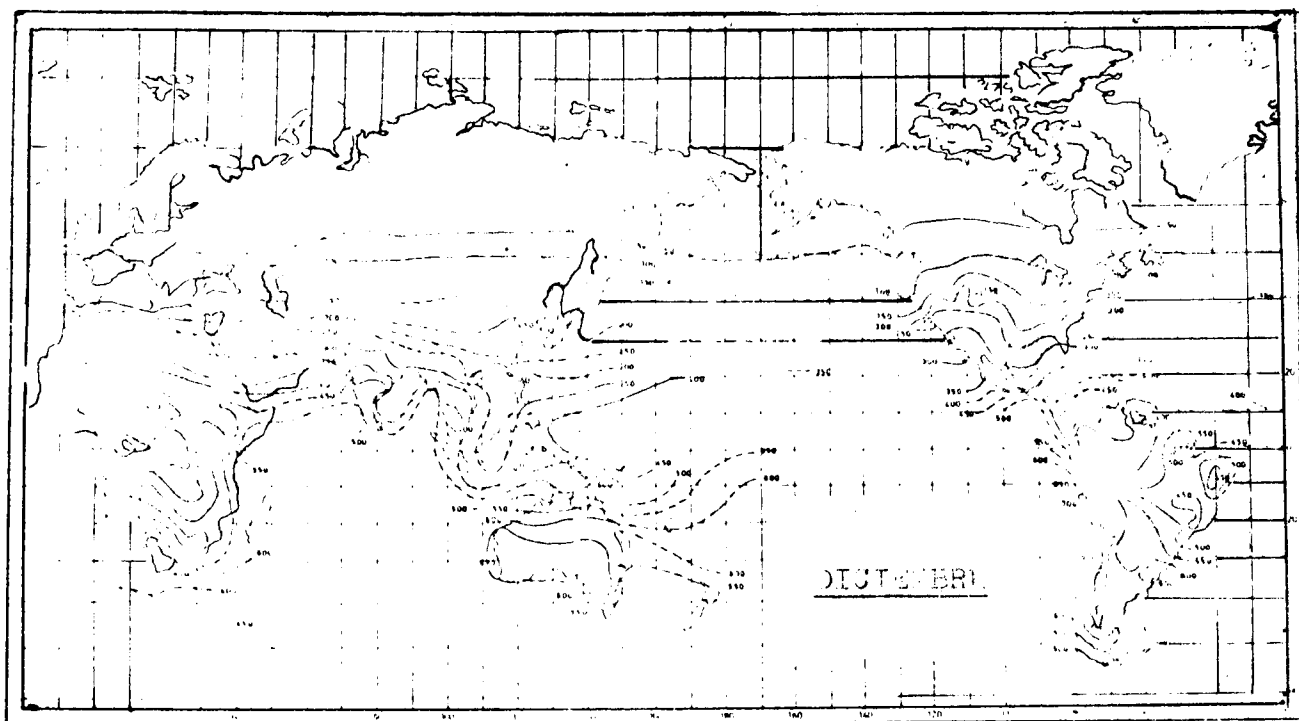
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Observatorio Geofisico La Quiaca	821	659	626	490	424	434	631	769	824	847		
Tres Cruces				509	484	494	655	733	738	766	613	
M.A.Tucuman	517	483	354	222	173	257	324	406	485	551	483	
M.A.Resistencia				215	221	232	310	345	476	479	408	
Loreto	602	564	449	393	268	212	261	345	461	525	542	
M.A.San Juan			456	379	289	367	343	418	548	616	548	
Rafaela	440	440	312	245	177	113	173	270	334	370	403	
Observatorio Geofisico Pilar (Córdoba)	632	540	453	348	237	169	249	322	567	609	594	
Concordia	623	583	471		242	152	226	285	370	551	590	
Mendoza	715	647	383	360	226	220	206	290	397	564	687	712
San Luis	691	622	474	348	218	175	107	308	395	563	592	
Mazarusa	686	560	472	345	224	147	188	259	454	617	623	671
Laboulaye	640	542	454	369	233	142	182	321	417	564	578	655
San Miguel	558	472	404	278	186	124	138	239	316	460	485	533
Castetal	626	501	428	316	221	154	184	240	363	489	510	589
Observatorio Central Buenos Aires	635	505	444	312	211	140	173	277	386	498	485	571
Puelohe				301	178	131	116	214	286	582	631	719
M.A.Neuquén	642	508	357	243	183	100	99	140	230	403	506	575
M.A.Bariloche	622	457	407	220	118	106	100	196	321	473	572	623
Trelew	744	534	421	293	146	119	111					
D.N.O. Coadas			36						145	226	290	278

TABLA VII

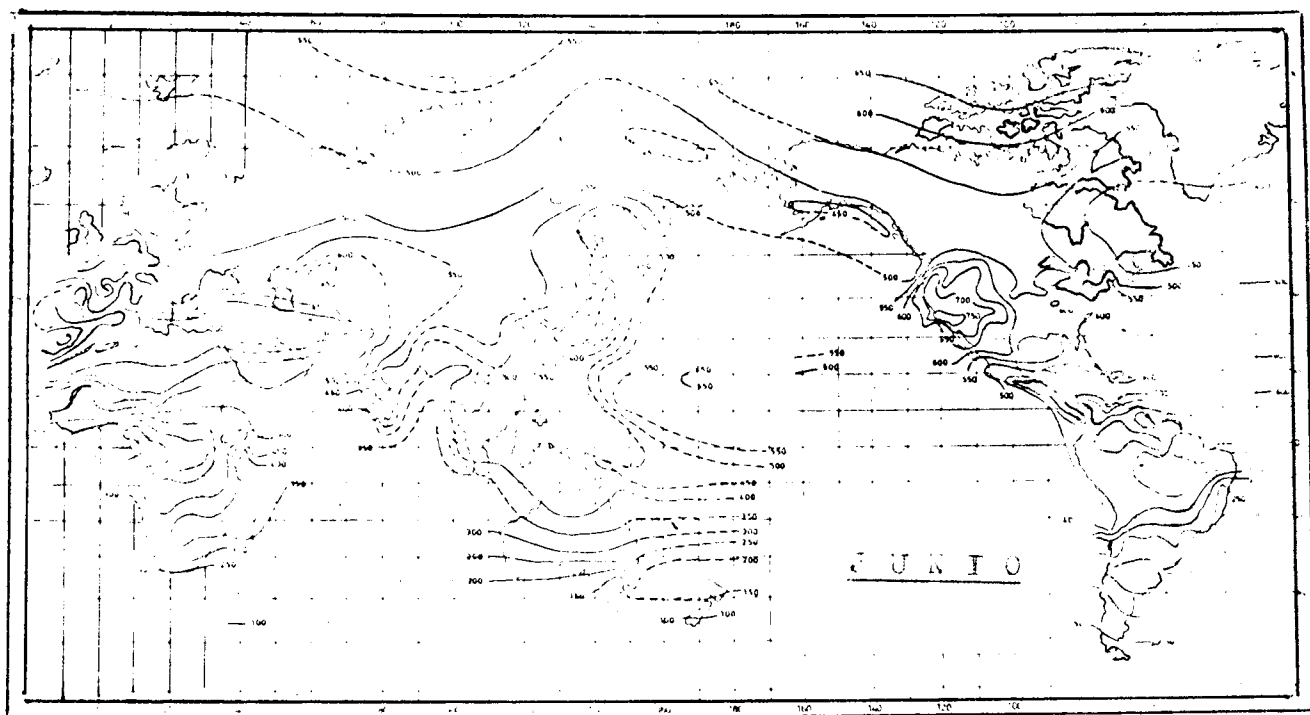
Promedios mensuales en calorías/cm², recibidas por día. Período 1964 -1968 (Ref. 7)

RADIACION GLOBAL (G)

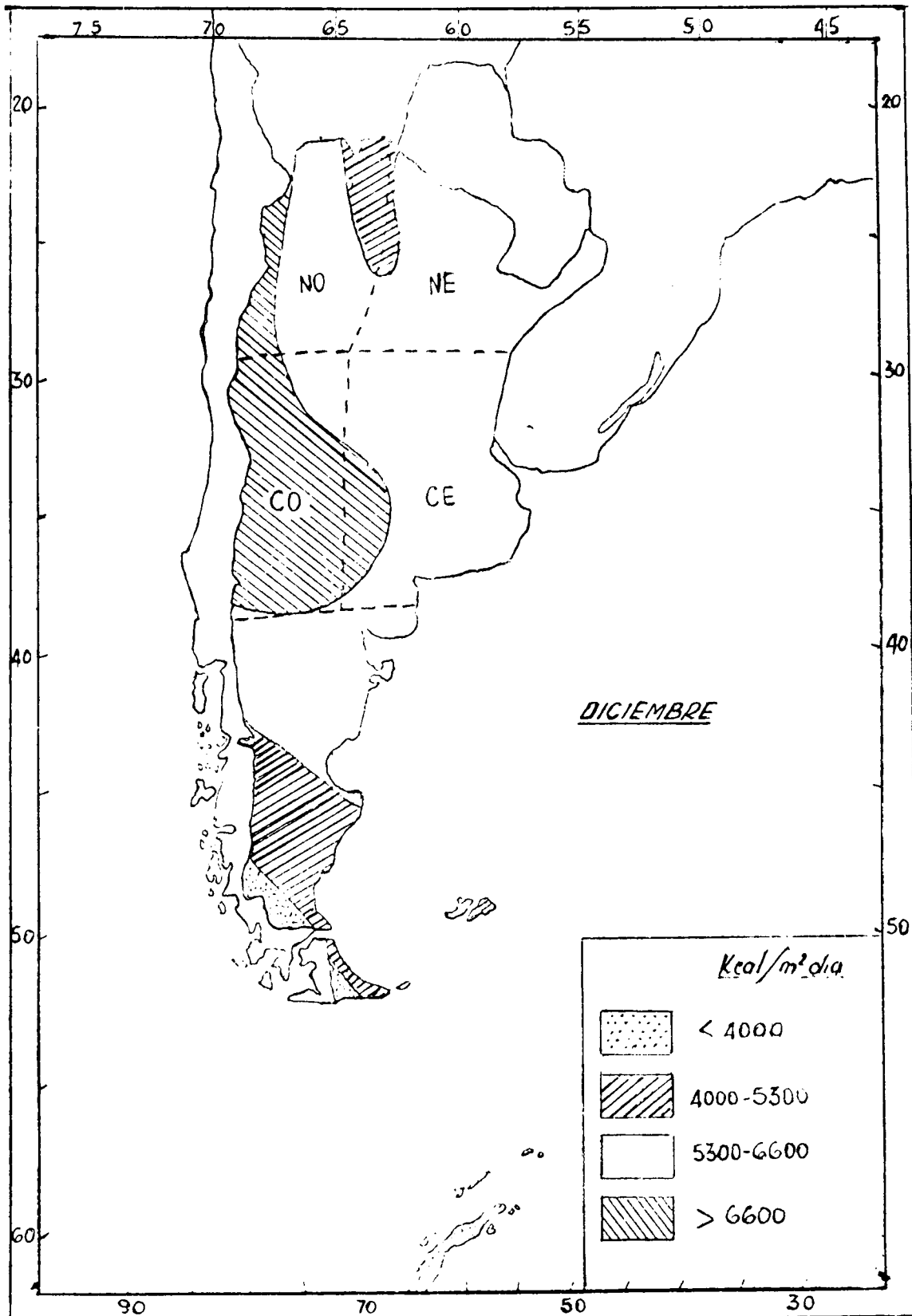
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Tucumán	485	446	429	336	306	226	262	316	368	412	465	504
Pilar (Cba.)	605	565	417	306	262	241	249	343	431	501	542	570
Mendoza	589	546	434	326	271	221	256	323	453	503	590	682
San Martín (Mza.)	661	615	498	357	276	240	247	328	435	568	599	684
Buenos Aires	613	537	406	315	240	173	187	255	335	449	524	601
Neuquén	611	505	451	306	215	170	171	261	352	501	609	690



*Curvas de Iso radiación global a escala mundial
(Ref. 2)*

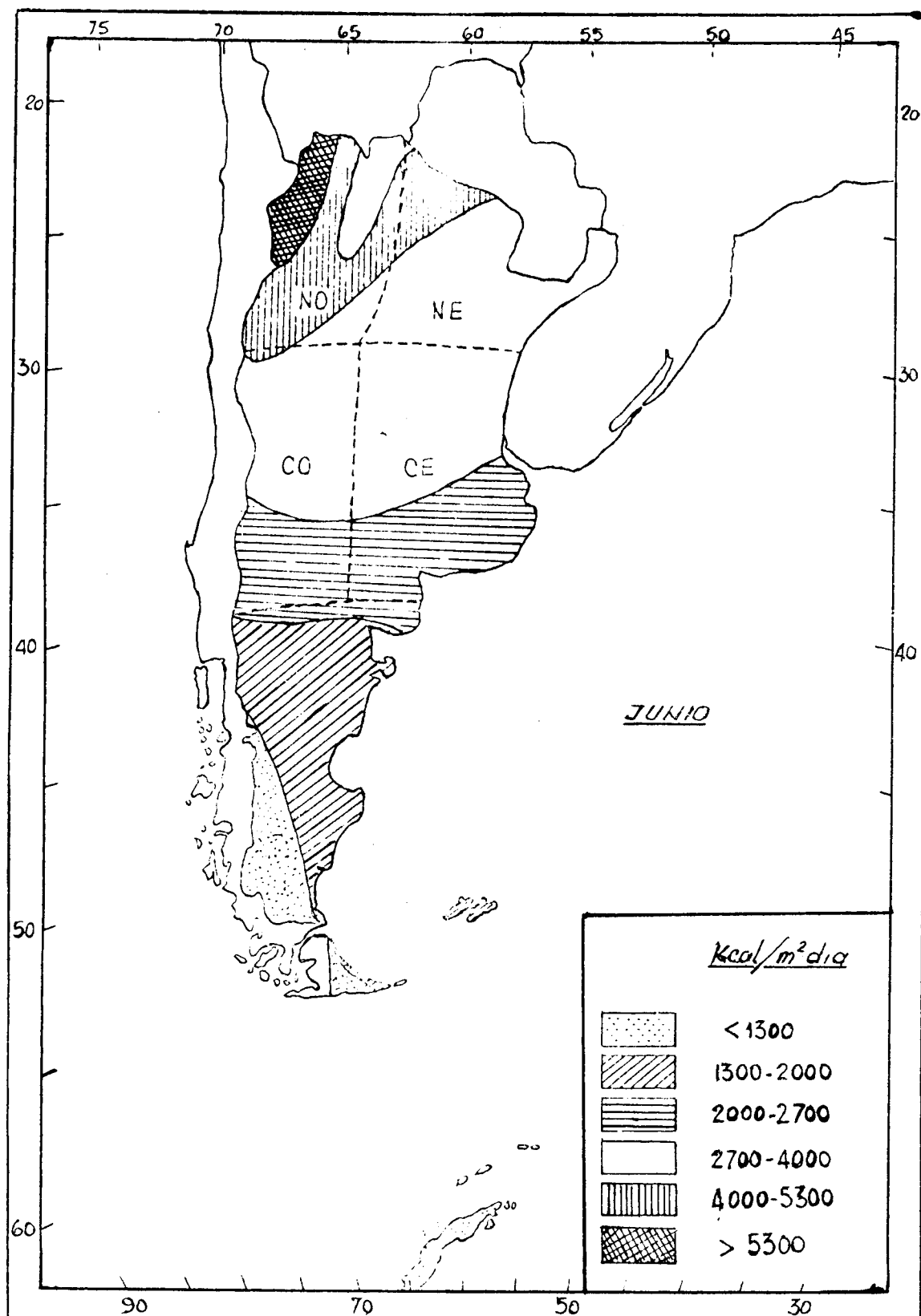


FIGURAS 5 y 6



División del país en zonas típicas, mostrando niveles de radiación global en superficies con orientación óptima (mes: diciembre) (Ref. (9)).

FIG. 7



División del país en zonas típicas, mostrando niveles de radiación global en superficies con orientación óptima. (mes junio) (Ref. (9)).

FIG 8

3.- POSIBILIDADES REGIONALES

En una evaluación del uso de la energía solar en las distintas regiones del País deben tenerse en cuenta tres factores: la disponibilidad del recurso solar en las distintas zonas, la ubicación de los procesos que consumirán la energía producida y las reales perspectivas económicas de la solución que se plantea en cada caso.

Con el fin de establecer prioridades en las aplicaciones de la energía solar se necesitaría establecer con certeza las necesidades económicas y sociales del País. En este momento no se dispone de datos suficientes por lo que las consideraciones que siguen solo tienen un carácter cualitativo. Por otro lado, en un campo en pleno desarrollo como el solar, la evaluación de las perspectivas económicas de una solución pueden cambiar mucho en función de adelantos de entidad. Las consideraciones que siguen deben evaluarse teniendo en cuenta este hecho.

De la energía total que se gasta anualmente, el 24% se consume como energía eléctrica, obtenida en su mayoría a partir de combustibles fósiles y en un porcentaje bastante menor de centrales hídricas y nucleares. El resto del consumo es abastecido directamente por combustibles fósiles, dedicándose el 25% a transporte, el 23% a la industria y el 23% a residenciales y otros usos de menor entidad. La energía solar puede llegar a abastecer una parte importante del consumo residencial, como un puntaje significativo del gasto a nivel industrial - y de la generación de electricidad. En cambio, su contribución a los medios de transporte sería prácticamente nulo, al menos en forma directa. Una evaluación de las posibles aplicaciones de la energía solar ha sido resumida en el Cuadro III. El País se ha dividido a esos efectos en cinco grandes regiones, de acuerdo a lo explicado en la sección 2, pero la región sur no se tuvo en cuenta, dado el escaso recurso. En el Cuadro se presenta una estimación cualitativa de las posibilidades y plazos de realización.

En lo que respecta a la energía eléctrica, el consumo masivo se realiza en las grandes ciudades, ubicadas en la zona central del País

Estos centros están o van a ser unidos por una red nacional de transmisión que irá siendo abastecida por un conjunto de centrales hídricas y nucleares, minimizando el peso que actualmente tienen las centrales térmicas. Dentro de este esquema, la instalación de centrales solares grandes estaría regida por la disponibilidad del recurso. A grandes rasgos, la zona centro-oeste del País ofrece perspectivas interesantes ya que muestra insolaciones elevadas y se encuentra cerca de los grandes centros. Un estudio detallado, como el realizado en otros países (10), donde se tienen en cuenta otros factores, será necesario para establecer las posibilidades reales.

En la zona noroeste del País no se tiene planeado por el momento la conexión a la red nacional, Allí, especialmente en las zonas próximas a la región andina, la insolación es alta y existen numerosos poblados con suministro local de energía eléctrica, en base a grupos electrógenos. Dada la necesidad de transportar el combustible a largas distancias por caminos sinuosos y el bajo rendimiento de esos sistemas, la instalación de centrales solares de pequeña potencia sería económicamente viable a corto plazo. Aunque se puede argumentar que el consumo de esas zonas es pequeño, debe tenerse en cuenta que la abundancia de energía es un factor clave para el desarrollo de una región potencialmente importante por sus riquezas mineras y su posición fronteriza.

En lo que se refiere al consumo residencial, los rubros a considerar son el calentamiento del agua para uso sanitario, la calefacción en invierno y el enfriamiento en verano. En lo que se refiere al primer rubro, las necesidades son de carácter nacional debido a que el nivel de vida es relativamente parejo en todo el país. Estudios recientes en el País (11) muestran que cerca del 80% del gasto de combustible puede ser ahorrado con superficies de colección pequeñas, del orden de los 3 m^2 , que pueden ser instaladas en cualquier casa. Dado que la tecnología necesaria es conocida, su adaptación en un futuro cercano dependerá de las condiciones económicas, en las que influiría preponderantemente la evolución de los precios del combustible en Ar-

gentina. Solo podrían existir algunos problemas especiales en regiones de congelación o con alta salinidad en las aguas, lo que exigiría diseños más costosos.

Las necesidades de calefacción son más exigentes en las regiones del noroeste y central, mientras que las de enfriamiento se hacen más fuertes a medida que se avanza hacia el norte. En primer lugar, es de esperar que en los próximos años se enfatice el uso de diseños arquitectónicos que contemplan laminización de las pérdidas térmicas. Este punto es de carácter general para todas las zonas. En segundo lugar, los sistemas solares de calentamiento o enfriamiento tienen un costo significativo ya que sus superficies de colección son del orden de las del techo, por lo que su instalación sería factible como parte integrante del diseño de casas nuevas. En las zonas de clima seco, la combinación que incluye el calentamiento directo del aire y el enfriamiento evaporativo resultan menos costosas, por lo que serían las primeras en ir instalándose. En el resto del País, el enfriamiento sería bastante más costoso dado que las condiciones de humedad impedirían usar el sistema evaporativo y habría que recurrir a ciclos de absorción.

El agua para consumo humano puede ser potabilizada por destilación solar. Algunas evaluaciones realizadas recientemente en el País muestran que el costo de agua obtenida por este procedimiento es bastante superior al convencional (12). Su uso se justificaría en pequeñas poblaciones por razones económicas o sociales especiales. Un caso típico es el de aquellas comunidades instaladas en zonas donde solo se dispone de aguas muy saladas o aguas con sales perjudiciales para la salud. Esta situación se da en varias regiones ubicadas principalmente en el centro-oeste y noroeste, y su solución por vía solar es implementable con el estado actual de la técnica.

El secado de productos agrícolas es una de las actividades en la que tradicionalmente se usa la energía solar en forma muy sencilla desde hace largo tiempo. Por ejemplo, en algunos valles del noroeste la cosecha de pimienta se seca por simple exposición al Sol. El uso de una

tecnología solar más desarrollada se puede dar en dos niveles. Por un lado puede generalizarse directamente entre los agricultores el uso de secadores de construcción sencilla, que permitan la elaboración del producto en mejores condiciones de control e higiene, obteniendo un producto de mayor uniformidad y calidad y minimizando las pérdidas por distintos tipos de contaminación. Ello es factible con los cultivos mencionados de pimientos en el noroeste y con diversas frutas en el noroeste y regiones centrales. A un segundo nivel, pueden introducirse secaderos a nivel industrial en el procesamiento de tabaco en el noroeste, frutas en el centro-oeste y granos en la zona centroeste.

Varios productos agropecuarios necesitan enfriamiento para su conservación hasta que puedan enviarse a los centros de consumo, lo que se puede realizar por vía solar mediante ciclos de absorción. En zonas donde se tiene acceso a la energía eléctrica, las condiciones no son económicamente favorables al presente, debido a que los equipos mecánicos de refrigeración son más eficientes que los de absorción. En tales casos, el uso de la energía solar es una perspectiva a largo plazo. Pero en algunas regiones tal situación no se da y la aplicación podría ser a un plazo más corto, como en el caso de la producción de algunos tipos de legumbres en el norte o la producción de leche en tambos pequeños más al sur.

Otra posible utilización de tipo agraria es la irrigación. Dado que lo que se necesita es generación de energía mecánica en potencias pequeñas, la evolución es muy similar a la de generación de energía eléctrica a pequeña escala.

En lo que se refiere a aplicaciones a nivel industrial, las posibilidades dependen mucho de cada situación particular. Actualmente se está evaluando el uso en relación con algunas industrias de extracción donde las condiciones son favorables por la alta insolación y la posición aislada de la región. Tal es el caso de la explotación de salinas en el noroeste o el calentamiento del agua para la extracción de uranio en Mendoza.

CUADRO III

P osibilidades regionales de aplioaciones de la Energía Solar

Región	N.O		N.E.		C.O		C.E.	
	Posibilidad*	Plazo#	Posibilidad*	Plazo#	Posibilidad*	Plazo#	Posibilidad*	Plazo#
Energía Eléctrica (consumo masivo)	M	L	B	-	A	L	B	-
Energía Eléctrica (consumos aislados)	A	C	B	-	A	M	B	-
Calentamiento agua (casas)	A	C	A	C	A	C	A	C
Calefacción (casas a construir)	A	C	M	L	A	C	M	L
Enfriamiento (casas a construir)	A	C	M	L	A	C	M	L
Agua potable	M	M	B	-	A	C	B	-
Secado de Productos Agrarios	A	C	M	M	A	C	M	M
Enfriamiento Productos Agropecuarios	B	-	A	M	B	-	A	M
Procesos Industriales	A	M	B	-	A	M	B	-

*Posibilidads A: alta; M: mediana; B: baja

#Plazos: L: Largo; M: mediano; C: corto

4.- METODOS DE APROVECHAMIENTO

Las aplicaciones de la Energía Solar son muy variadas y para cada una de ellas los sistemas utilizados exigen un diseño especial. No obstante, la mayoría utiliza sistemas de colección y acumulación con ciertas propiedades básicas. Se comenzará por una descripción general de los sistemas de colección plana, colectores con concentración y acumulación para luego pasar a describir cada aplicación en particular. La descripción que sigue es somera. Para más detalles de carácter descriptivo puede consultarse a Ferrinton Daniels (13). Un estudio más profundo del régimen térmico de estos sistemas y una bibliografía más extensa puede encontrarse en Duffie y Beckman (2).

4.1. Colectores planos

Son aquellos en que la radiación solar es colectada sin ser concentrada por elementos intermedios, ya sea reflectantes o refractantes. La energía recibida es utilizada para el calentamiento de un fluido circulante que puede ser líquido, usualmente agua, o gaseoso, usualmente aire.

Un colector plano típico consiste de cinco componentes, tal cual se muestra en la figura 9. Una cubierta transparente, de vidrio o plástico, permite el pasaje de la radiación a la vez que disminuye la pérdida de calor desde el interior y protege al sistema de vientos, polvo, etc. Una superficie plana, generalmente metálica y de color negro, recoge la energía solar. Un sistema de conductos en buen contacto térmico con la chapa permite que el fluido extraiga de la chapa el calor recogido. Una capa aislante térmico disminuye las pérdidas de calor por la parte trasera del colector. Finalmente, una caja protege a los otros componentes contra la humedad, polvo, etc.

Los numerosos diseños existentes difieren esencialmente en la disposición de la chapa colectora y los tubos de conducción del fluido. Los diseños básicos se muestran en corte en el Cuadro IV.

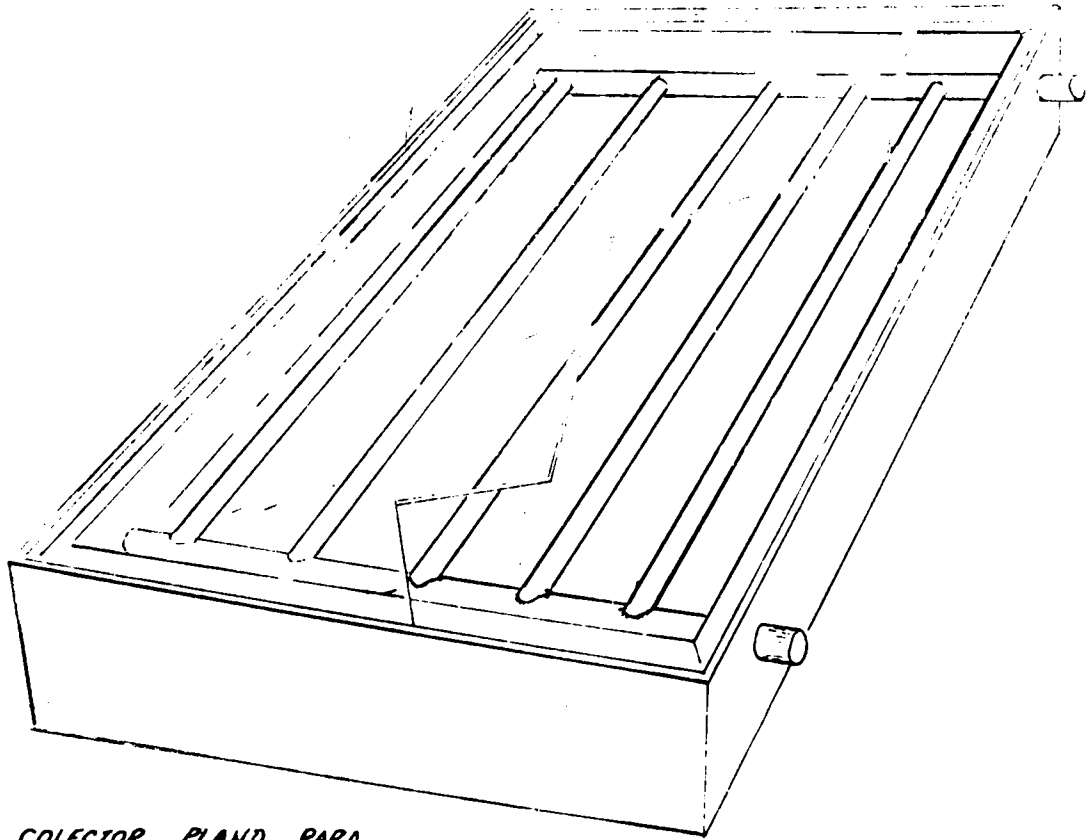
Si el fluido es gaseoso, la transmisión térmica entre placa y gas disminuye en mucho respecto al caso del líquido, por lo que se de

be aumentar la superficie de contacto entre la placa y el fluído para obtener un buen rendimiento.

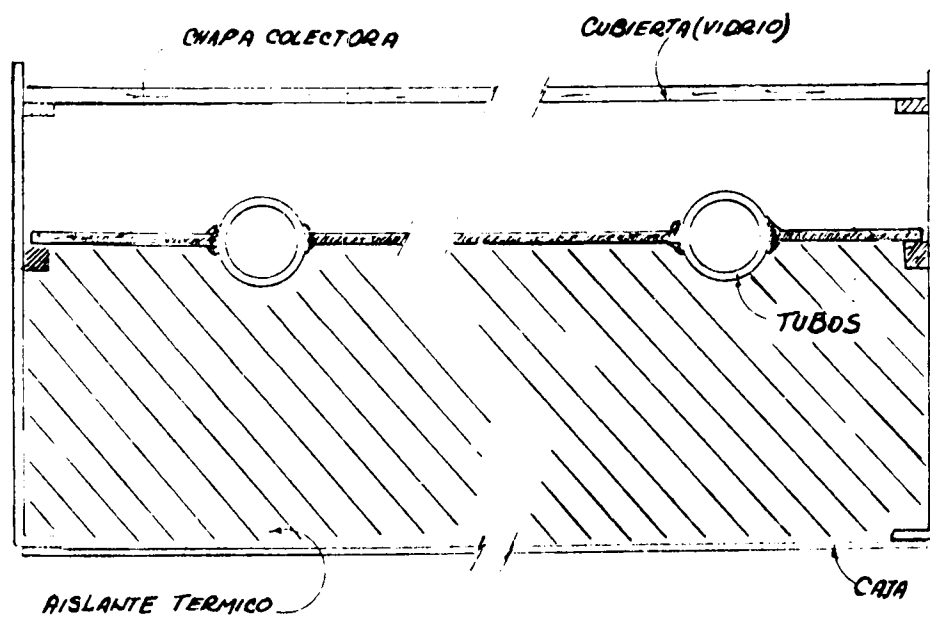
La circulación del fluído a través del colector cambia en mucho de acuerdo al tipo de fluído. Para líquidos y consumos pequeños, como ser el calentamiento de agua para usos sanitarios en casas de familias, se suele usar una circulación por termosifón como se ilustra en la Figura 10. En el caso de calentamiento con superficies grandes, el tamaño del tanque acumulador de líquido hace difícil que éste se pueda instalar en un lugar elevado. Por otra parte, la circulación por termosifón se vuelve más difícil.

En esos casos se recurre a la circulación por bomba. El gasto de líquido es del orden de algunas decenas de litros por hora y metro cuadrado del colector. Cuando se circula un gas, la convección natural no se utiliza, con la sola excepción de algunos tipos de sistemas pasivos. Se usan ventiladores de tipo centrífugo, como los empleados en aire acondicionado.

Un tipo de colector plano cuya disposición es totalmente distinta a los ya mencionados es el basado en la utilización de piletas (14). Considérese una piletta de escasa profundidad, del orden de un metro, con su fondo negro. Cuando la radiación solar incide sobre ella, una buena parte de la energía atraviesa el agua y llega al fondo, calentándolo. Este calienta el agua, la que por convección sube dando una temperatura máxima en la superficie. En estas condiciones la energía captada se disipa rápidamente y la piletta solo aumenta su temperatura en unos pocos grados. Supóngase que en vez de agua, la piletta se llena con una solución salina cuya concentración varía desde cero en la superficie hasta un máximo en el fondo. La variación de densidad en la solución evita por completo la convección térmica, ya que el aumento de densidad hacia el fondo por el aumento de concentración compensa la disminución de densidad debida al aumento de temperatura. El movimiento de agua cesa por completo y se obtiene una distribución de temperatura que es máxima en el fondo y practicamente la ambiente en



COLECTOR PLANO PARA
CALENTAMIENTO DE AGUA.

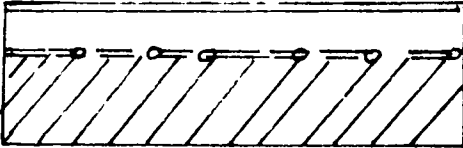
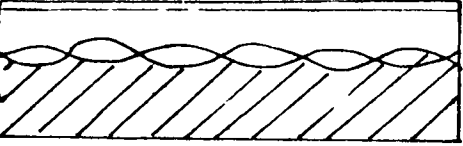
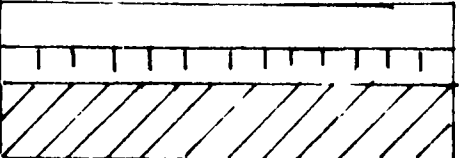
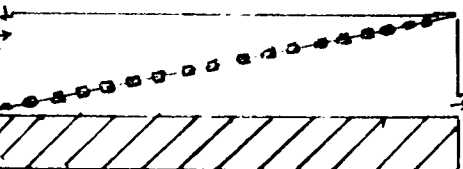
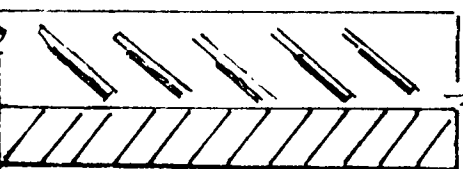


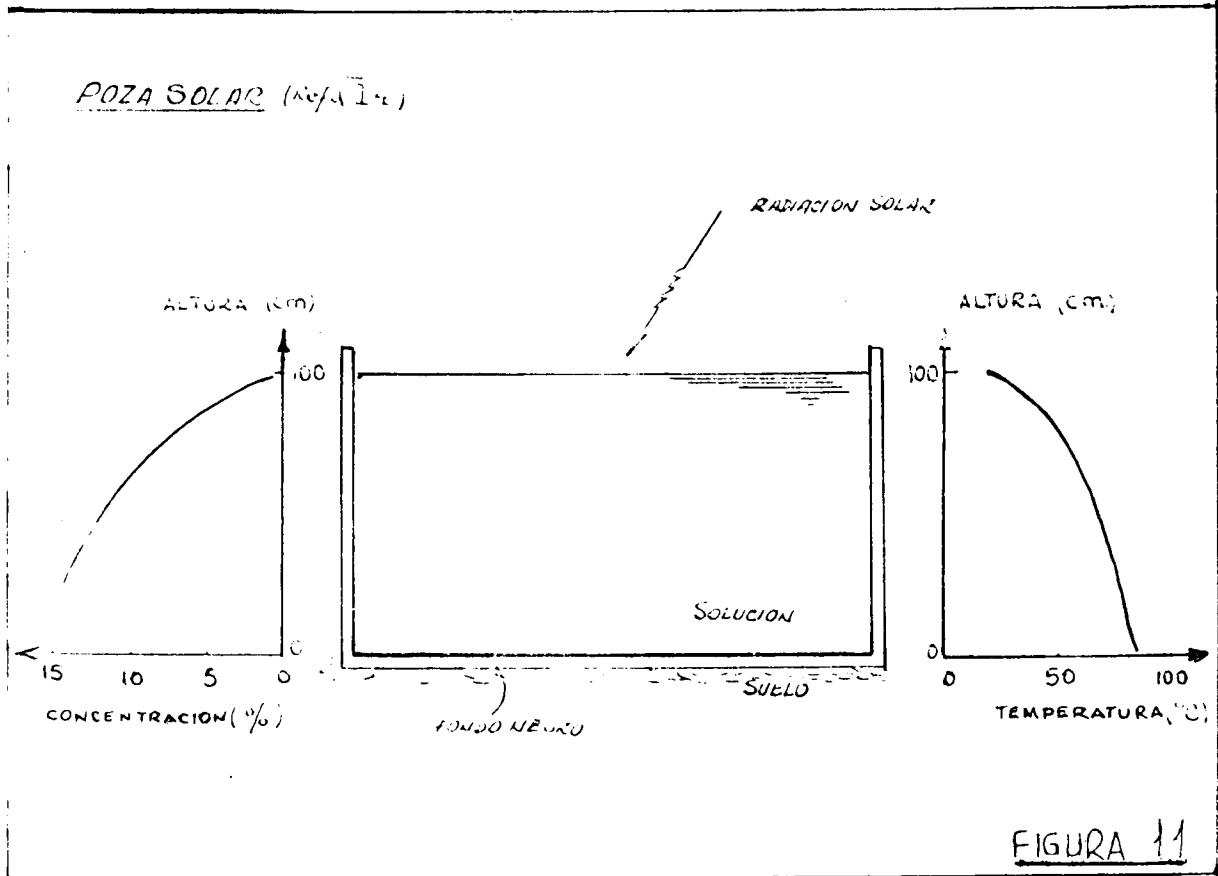
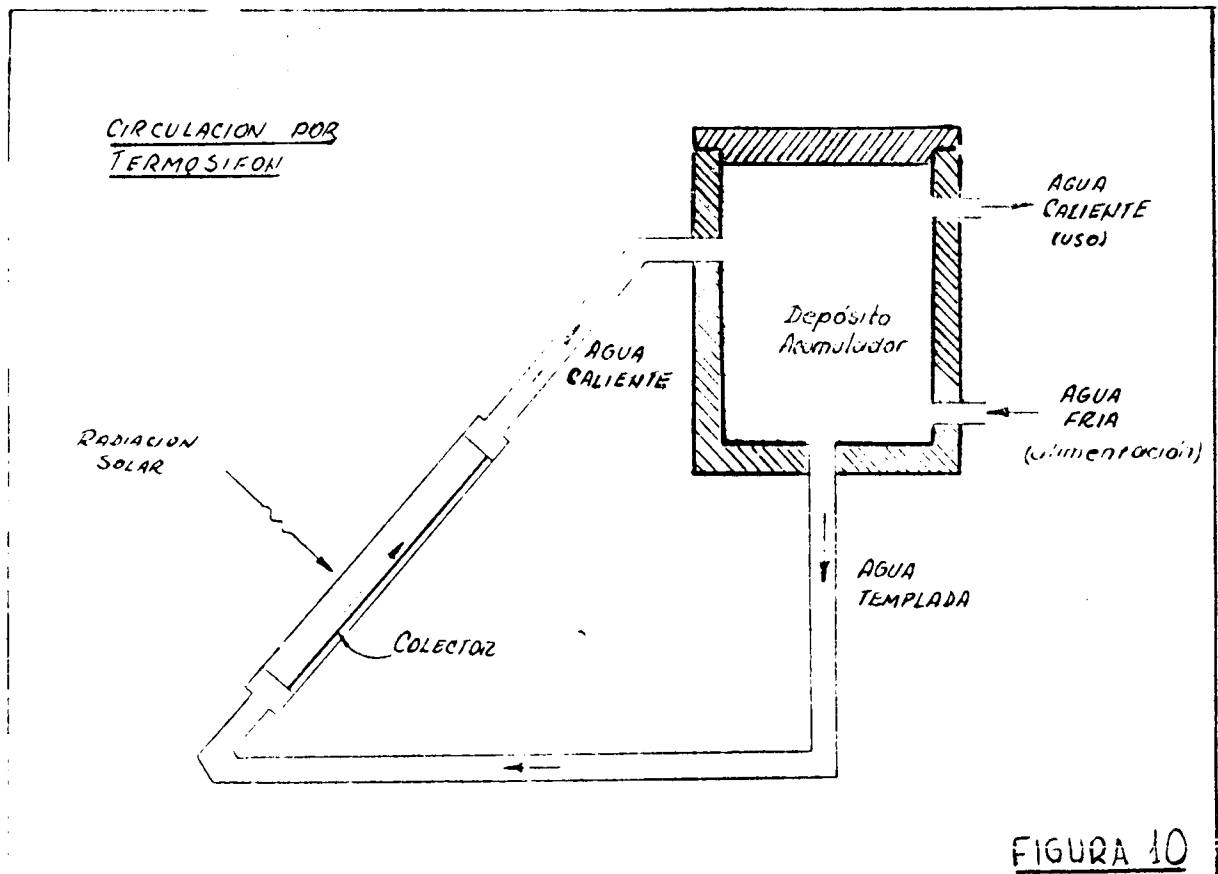
CORTE

FIGURA 9

CUADRO IV

COLECTORES PLANOS

CALENTADORES DE AGUA		El líquido es conducido por tubos en buen contacto térmico con la chapa que recoge la energía.
		El líquido circula entre dos chapas onduladas que se unen entre si. La chapa superior actúa como colector de energía. Dado que el líquido baña la chapa no hay problema de contacto térmico. La unión debe ser fuerte para soportar la presión del líquido.
		El líquido circula libremente por canales contruidos en la chapa. El contacto térmico es bueno, pero existen problemas con la evaporación en la superficie abierta.
CALENTADORES DE AIRE		El aire circula por debajo de la superficie colectora metálica la cual está aleteada para aumentar la superficie de contacto metal-aire.
		La superficie colectora se fabrica de un material poroso, en varias capas y que funciona como absorbedor de la energía. El aire lo atraviesa de arriba hacia abajo, calentándose. El material poroso ofrece una gran superficie de intercambio entre absorbedor y aire. El vidrio está bañado por aire frío, disminuyendo las pérdidas allí.
		Las placas de vidrio internas dirigen el aire frío desde la superficie al fondo, evitando el contacto del aire caliente con el vidrio superior. Las chapas negras absorben la radiación y calientan el aire que circula sobre ellas.



la superficie. La Figura 11 muestra un corte de una pileta de este tipo y una distribución típica de temperaturas. Este tipo de colector - tiene dos ventajas que lo hacen muy atractivo. En primer lugar, su - construcción es muy económica ya que solo necesita una pileta directamente excavada en el suelo y recubierta de plástico. En segundo lugar no necesita de acumulador, ya que la propia masa de solución funciona como tal. Incluso, no se coloca aislación térmica en su fondo, por lo que el suelo se calienta contribuyendo al efecto acumulativo. La superficie de estas piletas debe ser grande con el fin de minimizar las pérdidas por las paredes laterales. El calor se extrae bombeando la - solución salina del fondo. Luego de ser enfriada, la solución salina - se vuelve al fondo de la poza.

La eficiencia de un colector solar se define como la relación entre el calor útil obtenido en el colector y la energía solar que ha - llegado a él en el mismo período de tiempo. Su valor depende del tipo de construcción del colector y de sus condiciones de trabajo: Flujo del fluido, temperatura de entrada, temperatura ambiente y nivel de - radiación. La eficiencia puede ser estimada teóricamente (2). Valores de la eficiencia para un colector típico se muestran en la Figura 12, como función de la temperatura de entrada, para un cierto flujo de - fluido y radiación solar.

Se han introducido diversas mejoras en el colector típico descrito, las que principalmente tratan de disminuir las pérdidas por - la cubierta. La más sencilla consiste en la colocación de más de una cubierta. Ello disminuye las pérdidas por convección y radiación del - absorbedor hacia el exterior, aunque disminuye un poco la radiación - que llega a él, por absorción y reflexión en la cubierta. Otra mejora consiste en el uso de superficies selectivas que captan bastante eficientemente la radiación solar, pero que son malas emisoras en el infrarrojo. Esta característica hace que las pérdidas térmicas por radiación del absorbedor se vean disminuídas. La figura 12 da una idea de las mejoras obtenidas en un colector típico cuando se realizan los cambios mencionados.

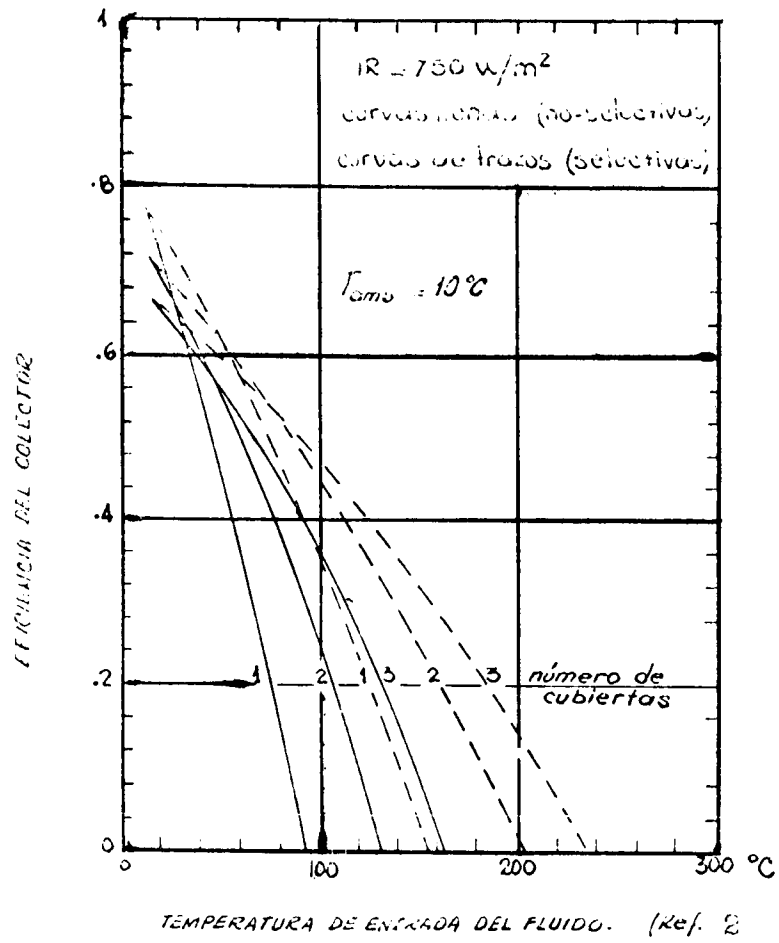
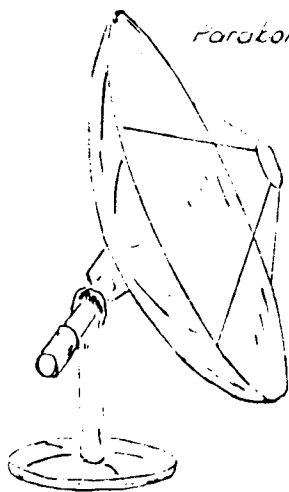
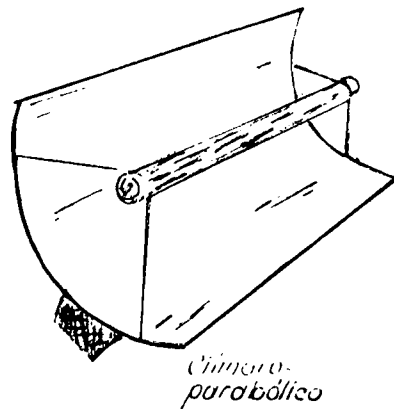


FIGURA 12



Paratoloide de revolución



Cámara parabólica

COLECTORES CONCENTRADORES

FIGURA 13

Otra mejora consiste en el uso de estructuras antirradiantes. Ellas tienen una forma muy similar a los panales de abeja y se fabrican de un material transparente, plástico o vidrio. Al colocarse sobre la superficie absorbente del colector cortan en forma drástica las pérdidas convectivas y radiativas debido a que impiden el movimiento del aire y el material transparente, si bien deja pasar la radiación visible, es opaco a la infrarroja.

4.2. Colectores concentradores

Los colectores concentradores usan sistemas ópticos, ya sea reflectores o refractores, para incrementar la intensidad de la radiación solar sobre la superficie que absorbe la energía. Así se logran mayores temperaturas, debido a la disminución del porcentaje de pérdidas térmicas en relación con la energía incidente. Como desventajas son de indicar la falta de aprovechamiento de la radiación difusa y las pérdidas significativas de energía en los reflectores y refractores. La concentración de radiación varía entre límites muy amplios, desde 1 hasta 10000. Una mayor concentración permite obtener temperaturas más elevadas, pero aumenta considerablemente los costos

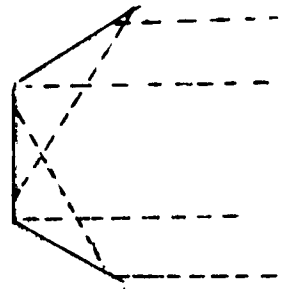
Los elementos básicos que constituyen un colector concentrador son: el sistema óptico que concentra los rayos solares, el absorbedor donde los rayos solares concentrados calentando un fluido, y el sistema de orientación que mueve el sistema óptico a medida que el sol recorre su órbita aparente, permitiendo que los rayos solares concentrados incidan sobre el absorbedor durante todo el día.

Los tipos comunes de sistemas ópticos se ilustran en el Cuadro V. Los últimos cuatro tipos pueden disponerse según dos alternativas que se ilustran en la figura 13: la superficie concentradora tiene simetría esférica o cilíndrica. En el primer caso el absorbedor es puntual mientras que en el segundo es una línea recta. A medida que el absorbedor tiene dimensiones menores, las temperaturas alcanzadas resultan mayores. De ahí que la forma parabólica con simetría esférica sea la utilizada en los "hornos Solares". En la Figura 14 se da una-

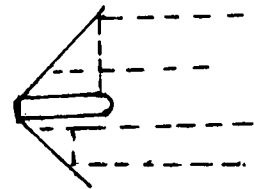
CUADRO V

COLECTORES CONCENTRADORES

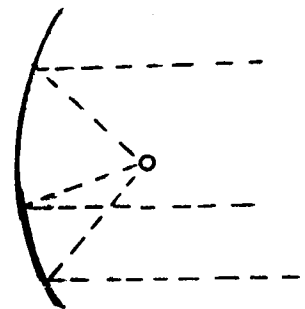
Concentrador con espejos planos. El absorbedor también es plano. Las concentraciones obtenidas son bajas



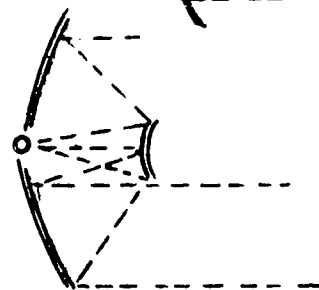
Concentrador con espejo cónico. El absorbedor es cilíndrico. Las concentraciones son bajas



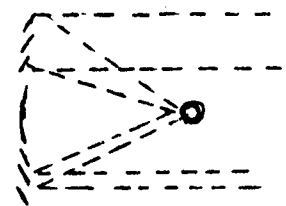
Concentrador con espejo parabólico. El absorbedor es puntual. La concentración puede llegar a ser muy alta.



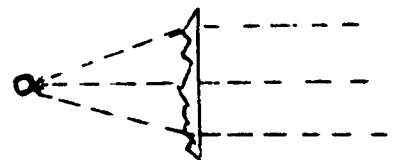
Idem.

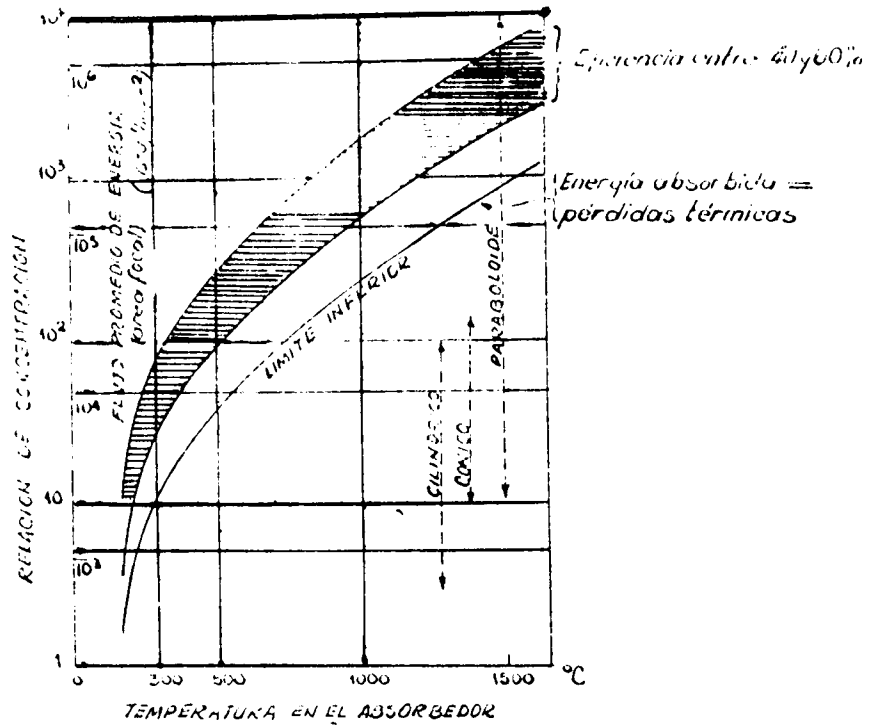


Concentrador formado por muchos espejos planos separados. Se pueden cubrir extensiones considerables, por lo que la energía que se concentra puede ser muy alta. El absorbedor es puntual.



Concentrador refractor tipo Fresnel. El absorbedor es puntual. Se puede conseguir alta concentración a pesar del pequeño espesor del concentrador





COLECTORES CONCENTRADORES

FIGURA 14

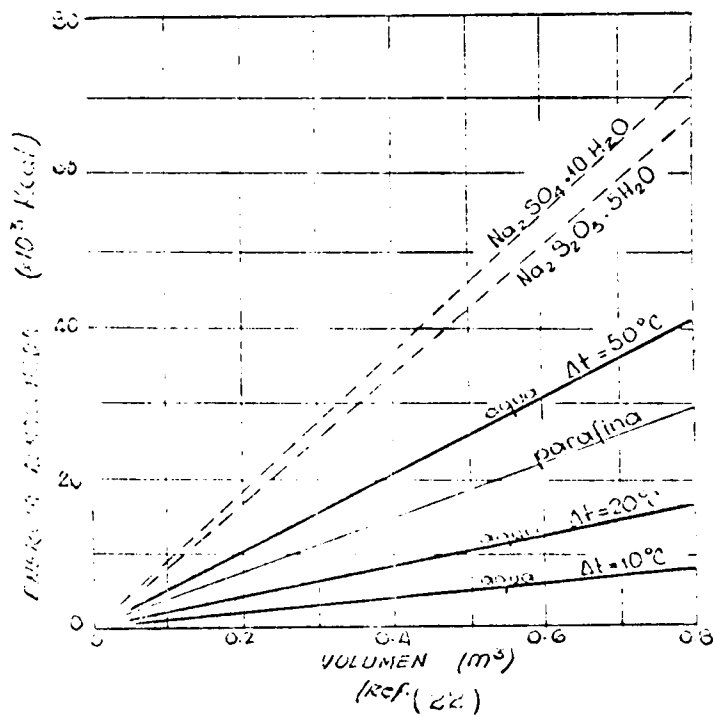


FIGURA 15

idea general de la temperatura que se logra con distintas concentraciones, en la hipótesis de que un 50% de la energía incidente es utilizada. También se indica el tipo de concentrador necesario en cada región

En los sistemas de concentración grande, solo llegan al absorbedor los rayos que inciden sobre el concentrador con cierta dirección. Por lo tanto, únicamente se puede utilizar la radiación directa, y para ello es necesario colocar al concentrador en una posición relativa determinada respecto al Sol, instante a instante. Se utilizan sistemas de orientación que, esencialmente, son de dos tipos. En uno, el concentrador es movido a una velocidad determinada, con el fin de que esté siempre en la posición calculada respecto al Sol. En el otro, el sistema detecta la ubicación del Sol, y de acuerdo al dato obtenido pone en posición al colector. Existen algunos colectores concentradores en los que el concentrador permanece quieto y se logra hacer llegar los rayos solares al absorbedor moviendo a este último (15).

En los colectores de pequeña concentración, como los ilustrados en primer término en el Cuadro V, todos los rayos solares que llegan dentro de un cierto ángulo son concentrados sobre el absorbedor. Por tanto, parte de la radiación difusa es utilizada, así como la radiación directa si el Sol se mueve dentro de ese ángulo. No hay necesidad de mover el concentrador más que unas pocas veces, en muchos casos solo durante los cambios de estación. Recientemente (16) se ha estudiado en detalle la posibilidad de que los reflectores del concentrador esquematizado en primer lugar en el Cuadro V, sean curvos, tratando de optimizar el ángulo de aceptación para una concentración dada.

4.3 Acumulación de la Energía Solar

La disponibilidad de energía solar en un lugar de la superficie terrestre no es constante debido a las variaciones periódicas diarias y a las irregularidades introducidas por los agentes atmosféri-

cos. Por otra parte, la demanda de energía para muchas aplicaciones no coincide con la disponibilidad de la energía solar. En esos casos será necesario proveer un medio que almacene la energía solar y permita su utilización en el momento oportuno.

La elección del medio adecuado para la acumulación de la energía dependerá de varios factores entre los cuales pueden distinguirse: a) La forma de energía que se acumula. La energía radiante del Sol puede convertirse para su almacenaje en otras formas de energía tales como térmica, química, mecánica, etc. según convenga, teniendo principalmente en cuenta el dispositivo de colección y el destino de uso. b) Temperatura a la cual deba suministrarse la energía. Depende de la aplicación concreta. c) El tiempo de acumulación. Puede pensarse en períodos cortos, como el de acumulación térmica diurna para uso durante la noche, o en períodos largos como el de acumulación durante el verano para su uso en invierno. Incluso se pueden plantear períodos indefinidos, como es el caso en que se produce Hidrógeno para su utilización como combustible en el momento necesario.

En el estado actual de las investigaciones y desarrollo de la tecnología referente al aprovechamiento de la energía solar, aparece como de inmediata aplicación el almacenamiento de energía a baja temperatura, para su uso en calefacción o acondicionamiento de viviendas, calentamiento de agua, secado de vegetales, frutas o granos y otros usos similares, por lo que se discutirá con algún detalle en esta sección.

En el Cuadro VI se resumen otras formas de almacenaje, que requieren aún mayor investigación y desarrollo tecnológico para establecer definitivamente su factibilidad (17).

La conversión de la energía radiante en energía térmica a temperaturas del orden de los 100° C, se realiza mediante colectores planos que transmiten calor a un fluido, tal como se ha explicado anteriormente. La elección del medio en que ha de acumularse, requiere una serie de consideraciones entre las cuales sobresalen la disponibilidad del material, su costo, su capacidad térmica y la temperatu-

ra de trabajo.

Dos formas de almacenar la energía térmica son usualmente consideradas: como calor sensible (calor específico), o como calor latente (calor de cambio de fase).

Como calor sensible se entiende al acumulado por elevación de temperatura. Será proporcional a la elevación de temperatura, a la masa y al calor específico.

Si lo que se requiere es calentar agua, lo más sencillo es acumularle como agua caliente en tanques aislados. Si lo que se necesita es aire caliente, el colector lo calienta y luego transmite su energía térmica por contacto directo a un sólido, donde quedará acumulada como calor sensible. Un ejemplo es el de lechos de cantos rodados (20). El aire caliente circula entre los huecos dejados por los cantos, calentando a estos. Cuando se desea recuperar el calor, el aire frío se recircula en contracorriente, obteniéndose aire caliente a la salida del lecho. El volumen requerido para almacenar una cantidad dada de energía es unas tres veces mayor para las piedras que para el agua, debido a su menor capacidad térmica volumétrica y a la existencia de un porcentaje importante de huecos. Se pueden emplear minerales especiales, como la magnética, en cuyo caso la diferencia de capacidades caloríficas desaparece.

Como calor latente se entiende al acumulado en un cambio de fase, lo cual ocurre a temperatura constante. La cantidad acumulada es proporcional a la masa de material y al calor latente de fusión. En esta forma de acumulación se pueden conseguir importantes reducciones en el volumen necesario. Una comparación de los volúmenes requeridos para tres materiales con cambio de fase y para el agua con distintos saltos de temperatura se muestran en la Figura 15. En la Tabla VIII se comparan las propiedades de interés para tres materiales agua, cantos rodados y una sal hidratada con cambio de fase. (21)

Para muchas aplicaciones, la constancia de la temperatura lograda en la acumulación por cambio de fase, es una propiedad importante

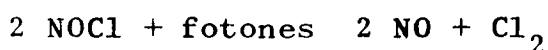
CUADRO VI

SISTEMAS DE ALMACENAJE PROPUESTOS PARA DIVERSAS FORMAS DE ENERGIA

ALTAS TEMPERATURAS. La energía térmica puede ser acumulada como ca calor sensible o de transición, siendo esta última posibilidad - más promisoría. Se ha buscado sales o mezcla de sales tales como- Na_2OH y KOH (18). Recientemente se ha propuesto la acumulación basada en reacciones químicas, usando calor de hidratación de óxidos inorgánicos tales como MgO y CaO (19). Las temperaturas a que se producen las reacciones son respectivamente de 375°C y 520°C . La acumulación a altas temperaturas resulta de importancia en relación con el funcionamiento de máquinas térmicas con el fin de alcanzar mayor rendimiento del ciclo.

ENERGIA MECANICA. Mediante una bomba solar que funcione en períodos de alta radiación, es posible elevar agua hacia un reservorio para ser usada luego en una turbina hidráulica. Se ha propuesto - también el uso de volantes, gases comprimidos, etc.

ENERGIA QUIMICA. Produciendo la descomposición fotoquímica de alguna sustancia y almacenando los productos de la reacción. Se recupera la energía mediante la reacción inversa. Por ejemplo:



La fotosíntesis utilizada por los vegetales. Una manera de coleccionar y acumular la energía solar en forma natural, es mediante el cultivo de plantas de rápido crecimiento. Lamentablemente, la eficiencia es baja, del orden del 3%.

ENERGIA ELECTRICA. Produciendo electricidad mediante la conversión fototérmica o fotovoltaica, puede almacenarse en acumuladores convencionales, como los de plomo, hierro níquel, etc., o bien producir la electrolisis del agua, almacenándose el oxígeno de hidrógeno resultantes, recuperándose la energía mediante combustión.

Como campo eléctrico en un condensador

Como campo magnético en un inductor

que permite menores temperaturas máximas dentro del acumulador y en consecuencia menores temperaturas de colección. Con ello se logra una mayor eficiencia del colector y por tanto, menor area del mismo.

Hasta el momento, los materiales más apropiados para este tipo de acumuladores son las sales hidratadas ya que presentan una adecuada temperatura de fusión y un alto calor latente (21,22). Entre las sustancias orgánicas utilizadas se destaca la parafina que puede conseguirse con distintas temperaturas de transición. Al tener en cuenta la disponibilidad y el costo del material, quedan excluidas muchas otras sustancias.

Otra posibilidad a considerar para la acumulación de energía térmica, la constituye un lecho de material absorbente a través del cual se hace pasar un flujo de aire caliente que absorbe la humedad del material (un desecante tal como silica gel o cloruro de calcio). Al hacer pasar aire frío en una etapa posterior, se recupera la energía cuando el desecante absorbe la humedad del aire. La capacidad térmica de este sistema parece interesante (23)

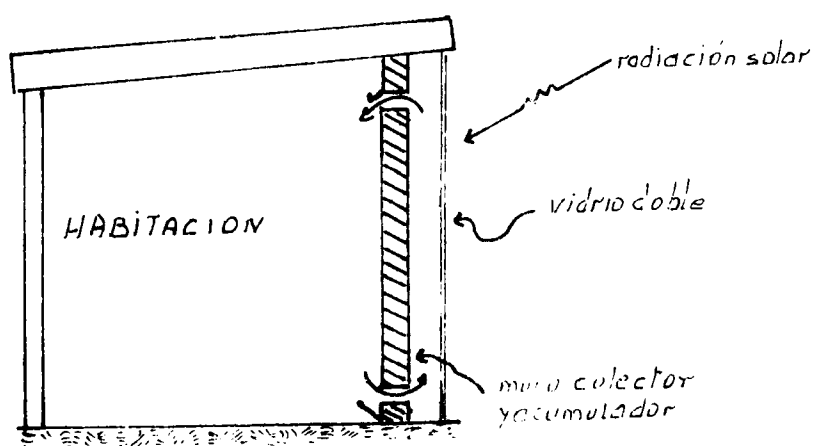
4.4 Calentamiento de agua

El calentamiento de agua para uso sanitario en una familia tipo necesita de superficies de colección pequeñas, del orden de $3m^2$. Para que el sistema sea económico, debe tener características muy sencillas. Además del colector se necesita un tanque para acumulación del agua caliente, del orden de los 300 lts. La circulación entre ambos elementos se realiza por termosifón, tal cual se mostró en la Figura 10. La única dificultad de diseño radica en una selección adecuada de los materiales, evitando la corrosión y el depósito de sales en el colector. Se han propuesto muchos diseños con el fin de abaratar costos, los que han sido descriptos en detalle por Lof y Close (24). En ellos se adoptan formas de colector ya descriptos, o se intenta combinar colector y acumulador en una sola unidad. Se presentan algunos problemas especiales en el caso que las temperaturas nocturnas lleguen a congelación, produciendo la ruptura del colector, o cuando el agua es lo bastante salada como para producir depósitos que lo

TABLA VIII

TABLA COMPARATIVA DE PROPIEDADES PARA TRES MATERIALES USADOS EN LA ACUMULACION TERMICA

		Agua	Canto Red.	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	
				fase sólida	fase líquida
$\bar{c}$: Calor específico $\frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$		1,0	0,2	0,35	0,6
t_f : Temp. de fusión ($^\circ\text{C}$)		-	-	50	
L : Calor de Fusión $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$		-	-	50	
$\frac{\lambda}{\delta}$: Densidad $\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$		1,0	2,3	$\sim$	1,7
Para almacenar 10^5 Kcal.	Salto de Tem. ($^\circ\text{C}$)	10	10	-	
	Peso (ton)	10	50	2	
	Peso relativo	5	25	1	
	Volumen (+ 20% conductos) (m^3)	12	25,5	1,5	
	Vol. Relativo	8	17	1	



Corte esquemático de una casa calentada por radiación solar

FIGURA 16

obstruyan. En esos casos habrá que separar el circuito de agua de consumo, que pasa por el tanque acumulador, del líquido en el colector, donde se utilizará un anticongelante o agua pura, según el caso.

El número de calentadores de agua en uso en el mundo no se conoce con exactitud. Se estima que alrededor de 800.000 están en uso en el Japón, 150.000 en Israel, 25.000 en Florida, U.S.A. y algunos miles en Australia, Sud Africa y Rusia (24,25).

4.5 Calentamiento y enfriamiento de edificios

El éxito de un sistema solar en un edificio depende en primer lugar de un adecuado diseño arquitectónico que integre al conjunto habitacional las superficies y volúmenes destinados a la colección y almacenamiento, y que minimice las pérdidas térmicas del edificio. En lo que sigue se describen algunos sistemas mecánicos destinados al calentamiento y enfriamiento de edificios. De cualquier manera, cabe destacar que existen varios procedimientos arquitectónicos no mecánicos destinados a aprovechar la energía solar (2, 26). Entre los más sencillos se cuentan el uso adecuado de parasoles y de paredes u otros elementos con masa suficiente como para amortiguar las variaciones diarias de temperatura. Otro sistema es el preconizado por Trombe, que se detalla en la Figura 16. Una pared de la casa, de color oscuro y masa grande, se encuentra colocada detrás de un panel de vidrio. La radiación incidente calienta la pared, y un par de ventanillas regula la circulación del aire de la casa. Durante la noche las ventanillas se cierran y la pared caliente ayuda a mantener la temperatura del ambiente.

Cuando la variación de la temperatura externa es grande, habrá que recurrir a sistemas mecánicos. En primer término, cabe distinguir, en lo que se refiere al calentamiento, entre los colectores de agua o de aire. Los colectores de agua tienen como ventaja una mayor facilidad en el movimiento del fluido, y la posibilidad de acumular el calor en forma sencilla como agua caliente. Los de aire tienen como ventaja la no necesidad de intercambiador agua - aire para calentar la casa y no presentan problemas de congelamiento, corrosión o

incrustaciones. Las condiciones impuestas para cada caso decidirán - cuál es el más conveniente. Por ejemplo, en climas áridos, con problemas de congelamiento y donde no abunda el agua, los colectores - de aire pueden ser más atractivos. Además los acumuladores pueden usarse durante el verano para acondicionar la casa mediante un enfriamiento evaporativo.

La producción de temperaturas menores que la ambiente mediante la energía solar tiene el particular atractivo que el máximo de la demanda de frío ocurre en verano, coincidiendo con el máximo de los niveles de insolación. No obstante, debe indicarse que, en términos generales, los sistemas solares para producción de temperaturas bajas, son más complicados que los usados para el calentamiento ambiental, y aún están en una etapa de desarrollo. Existen varias posibilidades técnicas, que describiremos a continuación.

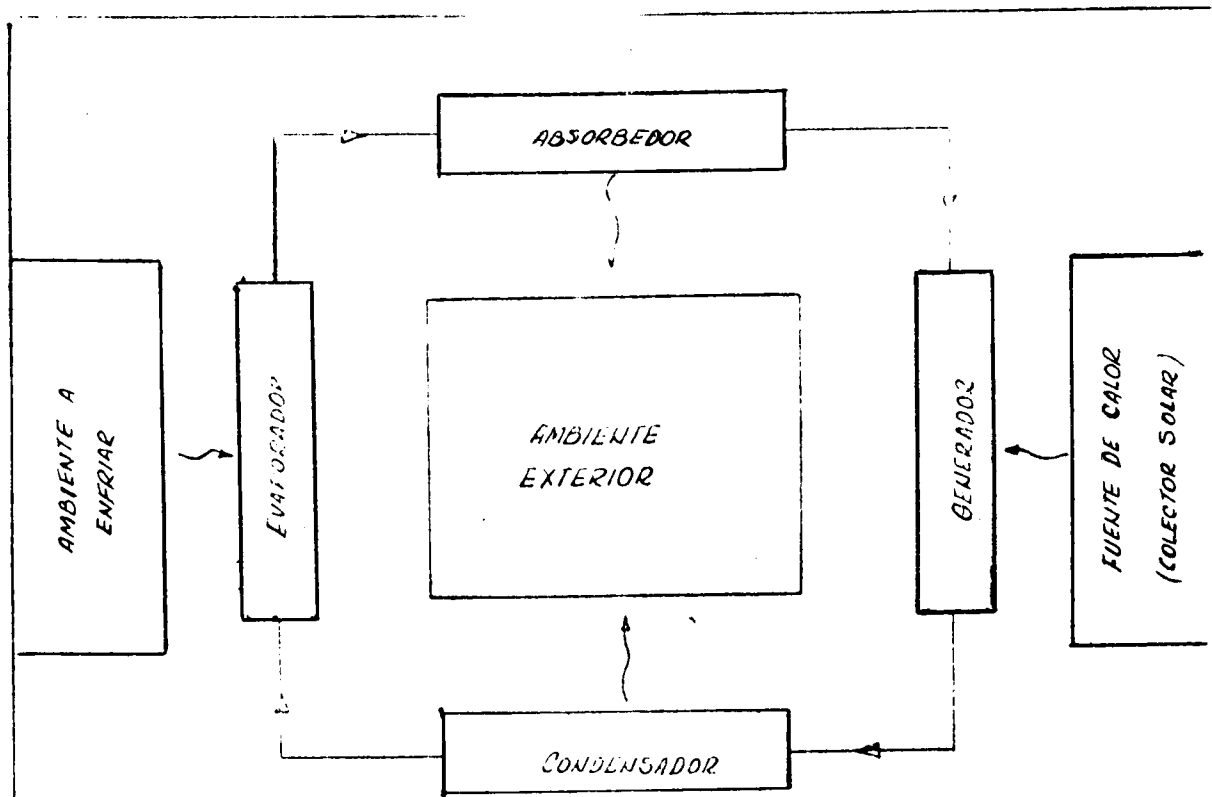
En primer lugar, tenemos los equipos que utilizan ciclos de absorción para lograr la refrigeración. Sus partes básicas se esquematizan en la Figura 17. El fluido que circula es la solución de un compuesto que llamaremos "A", en otro "B". La solución es calentada en el "generador" por la fuente de calor, en nuestro caso solar. Ello produce la evaporación de "A" que se separa de la solución y pasa al "condensador" como vapor. Allí se enfría por contacto con el aire ambiente o agua retornando al estado líquido. Luego pasa a una zona de baja presión, el "evaporador". El descenso de presión produce nuevamente la evaporación extrayéndose el calor necesario de la zona a enfriar. Es este efecto el que produce el descenso de temperatura por debajo de la ambiente. Logrado el efecto, el compuesto "A" es absorbido por el "B" en el absorbedor, formando nuevamente la solución inicial, la que retorna nuevamente al generador, con la presión elevada por la acción de una bomba mecánica. Este ciclo no requiere energía mecánica, como los ciclos de refrigeración convencionales, salvo en una proporción muy pequeña para alimentar la bomba. En cambio, necesita una fuente de calor a temperatura mayor que la ambiente, que en nuestro caso es la suministrada por la energía solar. Existen va-

rios tipos de ciclos de absorción, los que difieren en el tipo de compuestos "A" y "B". En la Tabla IX se dan para tres de los ciclos más estudiados en relación con el aprovechamiento de la energía solar.

El ciclo agua-bromuro de litio ya ha sido implementado a escala de prototipo (27) gracias a que existen equipos comerciales que pueden calentarse con temperaturas del orden de los 100°C , obtenibles con calentadores solares planos. En la figura 18 se esquematiza un sistema típico en que los colectores solares calientan agua que en verano se utiliza en un ciclo de absorción como el mencionado, mientras que en el invierno se usa directamente para calentamiento habitacional.

Los ciclos de agua-amoniaco disponibles comercialmente trabajan a temperaturas mayores en el generador, del orden de los 150°C , las que no son obtenibles en colectores planos, razón por la cual aún no han sido utilizados directamente en la construcción de prototipos. Dos caminos se experimentan con estos ciclos. Por un lado, se pueden utilizar colectores solares de concentración, los que alcanzan las temperaturas necesarias. La otra posibilidad es la de construir un ciclo modificado de forma que sea posible utilizar temperaturas más bajas en el generador (28)

Los ciclos hasta ahora mencionados son del tipo continuo, en el sentido de que producen refrigeración sin interrupciones. Tienen el inconveniente de que no puede evitarse el uso de potencia mecánica en la bomba. Existe la posibilidad de que funcionen en forma intermitente, tal cual se ilustra en la figura 19. Ello elimina totalmente la necesidad de energía mecánica, lo que puede ser importante si se pretende usar zonas aisladas. El ciclo se realiza en dos etapas separadas en el tiempo. Uno de los recipientes actúa sucesivamente como generador y absorbedor, mientras que el otro lo hace como condensador y evaporador. El ciclo tiocianato-amoniaco es muy apropiado para ser utilizado en esta forma. Desde el punto de vista solar, este fun



ESQUEMA DE UN CICLO DE ABSORCIÓN

FIGURA 17

SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO VERANO-INVERNO
CON CICLO DE ABSORCIÓN.

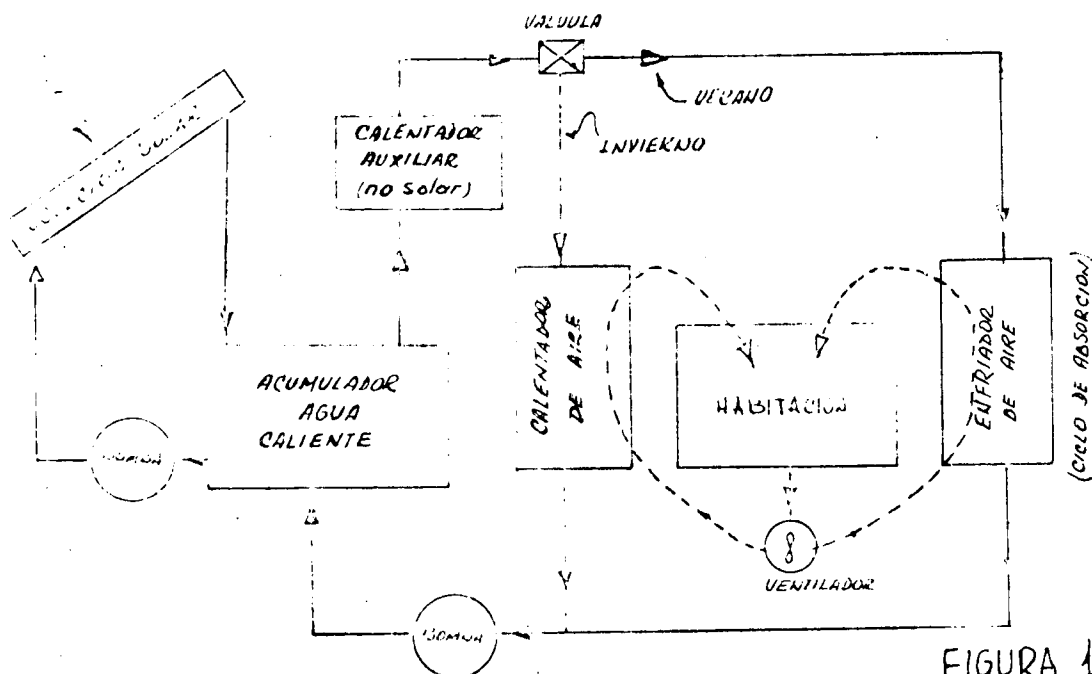


FIGURA 18

TABLA IX

Componentes químicos de las soluciones utilizadas en distintos tipos de ciclos de absorción destinados a acondicionamiento de edificios o refrigeración

CICLO	COMPUESTO A	COMPUESTO B
I	Amoníaco	Agua
II	Agua	Bromuro de Litio
III	Amoníaco	Tiocianato de sodio

TABLA X

Eficiencia esperada de los distintos sistemas de conversión fototérmica. Ref. (1)

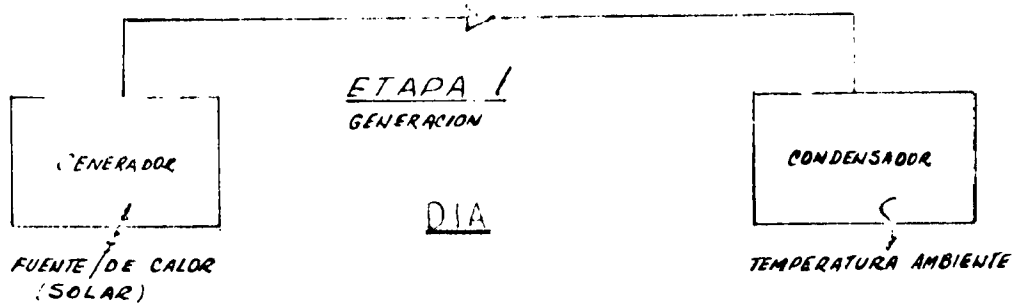
	Potencia MW	Temp. °C	Eficiencia colector - absorbedor	Eficiencia turbogenerador	Eficiencia total
Colector plano	100	130	29	12	3,5
Colector cilíndrico parabólico	100	320	42	32	13
Colector parabólico de revolución	100	430	51	34	17
Receptor Central	100	480	53	36	19

cionamiento es particularmente atractivo, ya que la primera etapa se puede realizar durante el día, y la segunda, que no necesita energía durante la noche. Finalmente, es de indicar que los ciclos agua-amoniaco y tiocianato-amoniaco, pueden alcanzar temperaturas lo bastante bajas como para ser útiles en la conservación de alimentos.

Una segunda posibilidad técnica, que no utiliza directamente el recurso solar, pero que puede combinarse con él, es la de utilizar - el enfriamiento que se produce en una masa de aire cuando en ella se evapora agua. La evaporación de agua produce la absorción de calor, - el cual se extrae del aire produciendo descensos de temperatura de - hasta unos 20°C. Esta técnica se utiliza para enfriamiento industrial

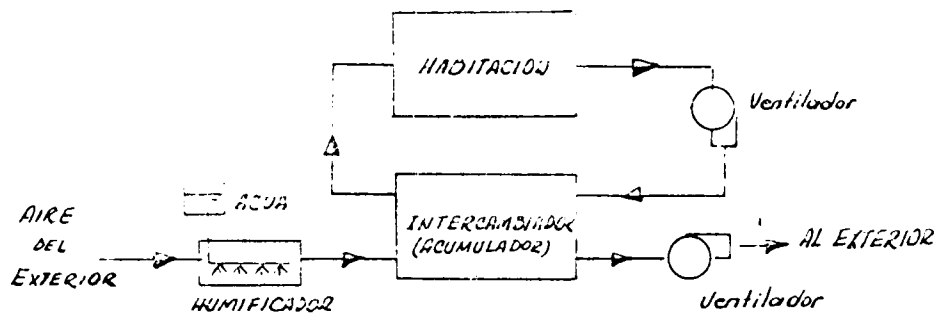
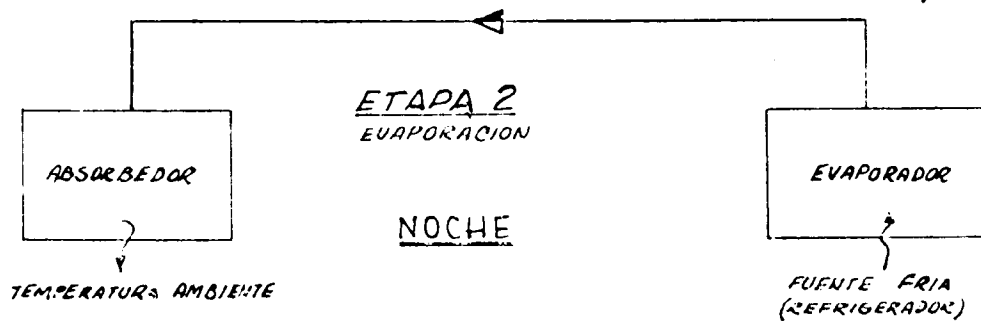
En la actualidad se estudia su aplicación evitando la evaporación directa en el aire de la habitación. El procedimiento a usar va ría de acuerdo a las condiciones climáticas.

El primer procedimiento, esquematizado en la Figura 20, consiste en enfriar mediante evaporación, aire que se toma del exterior y luego enfriar el aire de la habitación en un intercambiador, logrando que éste no se contamine de vapor de agua. El principal problema de diseño de este enfoque es que el intercambio de calor de aire a - aire es muy poco efectivo y necesita de grandes superficies de intercam bio, las que tienen un elevado costo. Una solución, ilustrada en la Figura 20, consiste en el uso de un lecho formado por pequeñas - piedras que hacen las veces de acumulador de calor. Este sistema es muy económico y ha sido utilizado en Australia, donde se ha instalado en numerosas escuelas (29). Este tipo de sistema es utilizable - cuando el aire externo tiene un bajo contenido de humedad, ya que de lo contrario el agua no se evaporará en él. Si esto no sucede es necesario recurrir a un segundo procedimiento, esquematizado en la Figura 21. Básicamente, consiste en lograr la deshumidificación previa del aire de la habitación, y luego evaporar nuevamente agua en él pa ra lograr su enfriamiento controlándolo de manera de evitar porcentajes de humedad relativa superiores a los requeridos para un buen con fort. (30)



CICLO DE ABSORCIÓN INTERMITENTE (DIA-NOCHE)

FIGURA 19

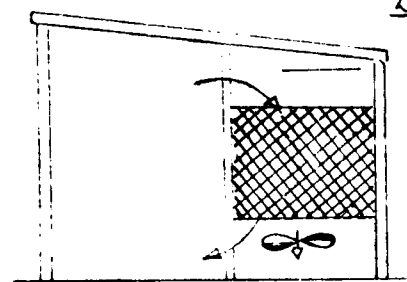
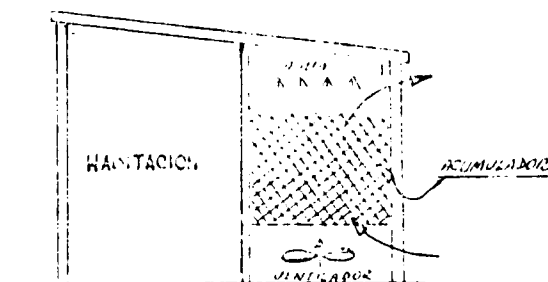


a/

ETAPA 1: enfriamiento del acumulador

ETAPA 2: enfriamiento habitación

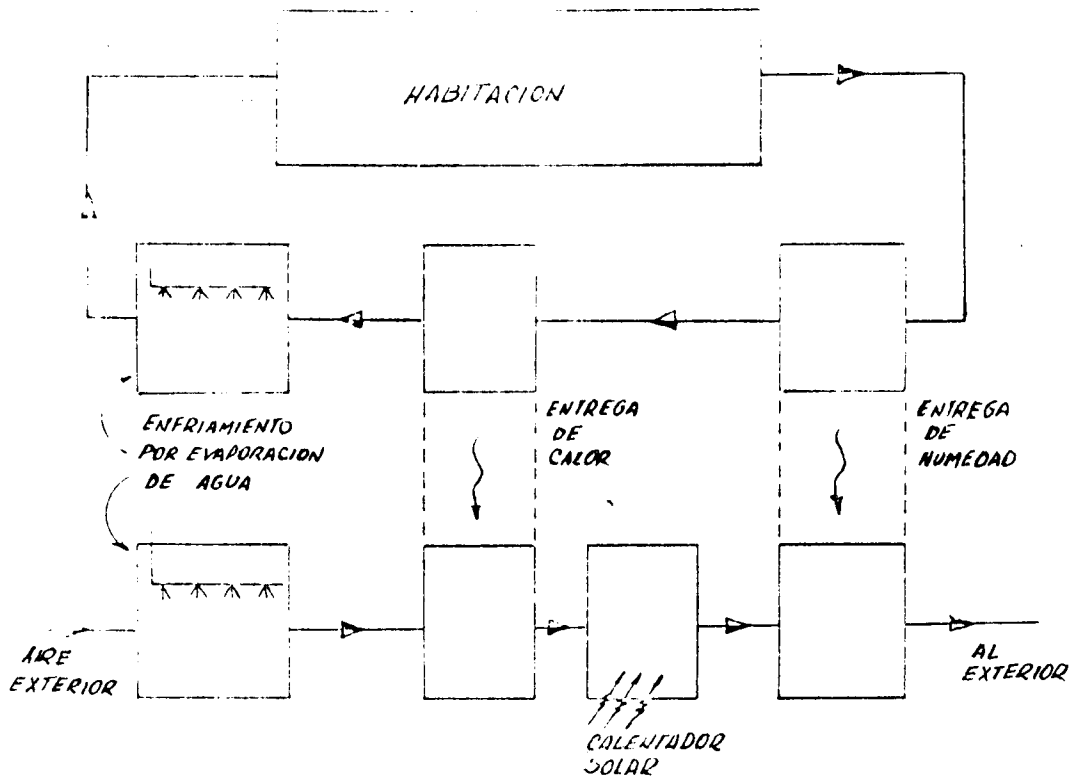
b/



a) ESQUEMA DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO.

b) CORTE DE UNA CASA, MOSTRANDO EL SISTEMA a) - (Ref. (20))

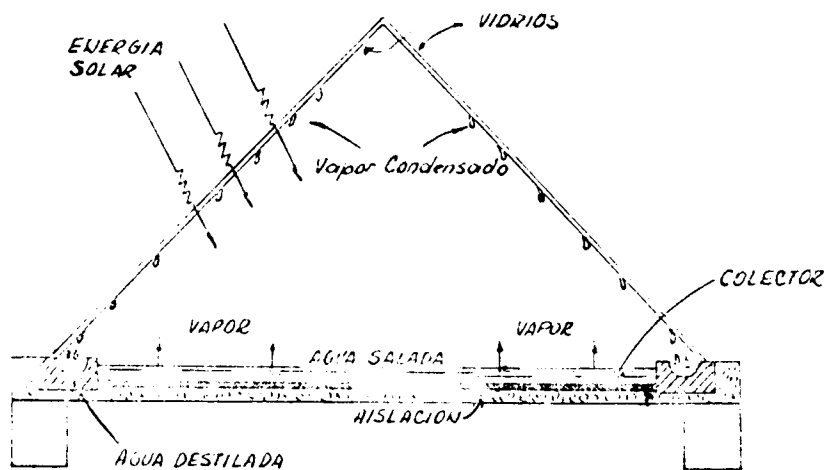
FIGURA 20



ESQUEMA DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO CONTINUO.
SE UTILIZA ENERGIA SOLAR EN LA EXTRACCION DE HUMEDAD. (Ref. (30))

FIGURA 21

DESTILADOR SOLAR TIPO INVERNADERO



EL AGUA DE LA BATEA SE EVAPORA AL CALENTARSE POR SOLAR Y CONDENSA
EN LOS VIDRIOS, RECOGIENDOSE EL DESTILADO EN LOS CANALES LATERALES.
(Ref. (31, 32))

FIGURA 22

Finalmente, la tercer posibilidad reside en la generación de energía mecánica a partir de la energía solar, la que a posteriori moverá un generador convencional de frío. Es de destacar que se han puesto algunos prototipos en marcha, los que utilizan turbinas o compresores que trabajan con vapores de freón, que pueden ser producidos por colectores planos a baja temperatura (14)

En la actual etapa de desarrollo no existen evidencias, en lo que se refiere a rendimiento térmico, que permitan inclinarse definitivamente por alguno de los sistemas descriptos. La selección final dependerá de factores tales como costos iniciales, durabilidad, practicidad, etc. Es de destacar que puede depender en mucho de las condiciones particulares de clima en cada región. Un resumen de diversos edificios construidos y en prueba, fué publicado recientemente. (31).

4.6. Destilación

Una de las aplicaciones de la energía solar que cuenta con antecedentes en el siglo pasado, es la destilación de agua para el consumo humano. Como ejemplo citemos el destilador de 4000 m² construido en el desierto de Atacama (Chile) en el año 1872, con el fin de proveer de agua potable a una población minera, ya que en la zona toda el agua disponible tiene un contenido grande de sales que la hacen inaceptable para el consumo humano.

La energía solar puede utilizarse para destilar agua por dos métodos: directo o indirecto.

Se llaman directos a aquellos métodos donde todo el proceso de destilación se realiza en el mismo artefacto que sirve para coleccionar la energía solar.

Se llaman indirectos a aquellos procesos que utilizan la energía solar para producir vapor o agua caliente que luego es transferida a un sistema de destilación convencional.

Los destiladores solares que utilizan en el primer método son esencialmente de tres tipos: el de invernadero, el de lámina porosa-

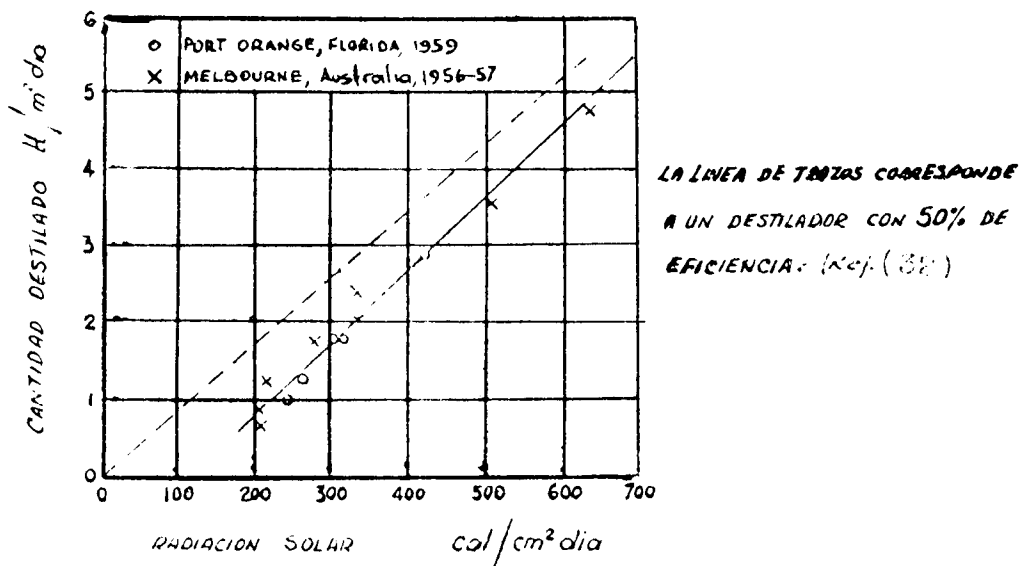
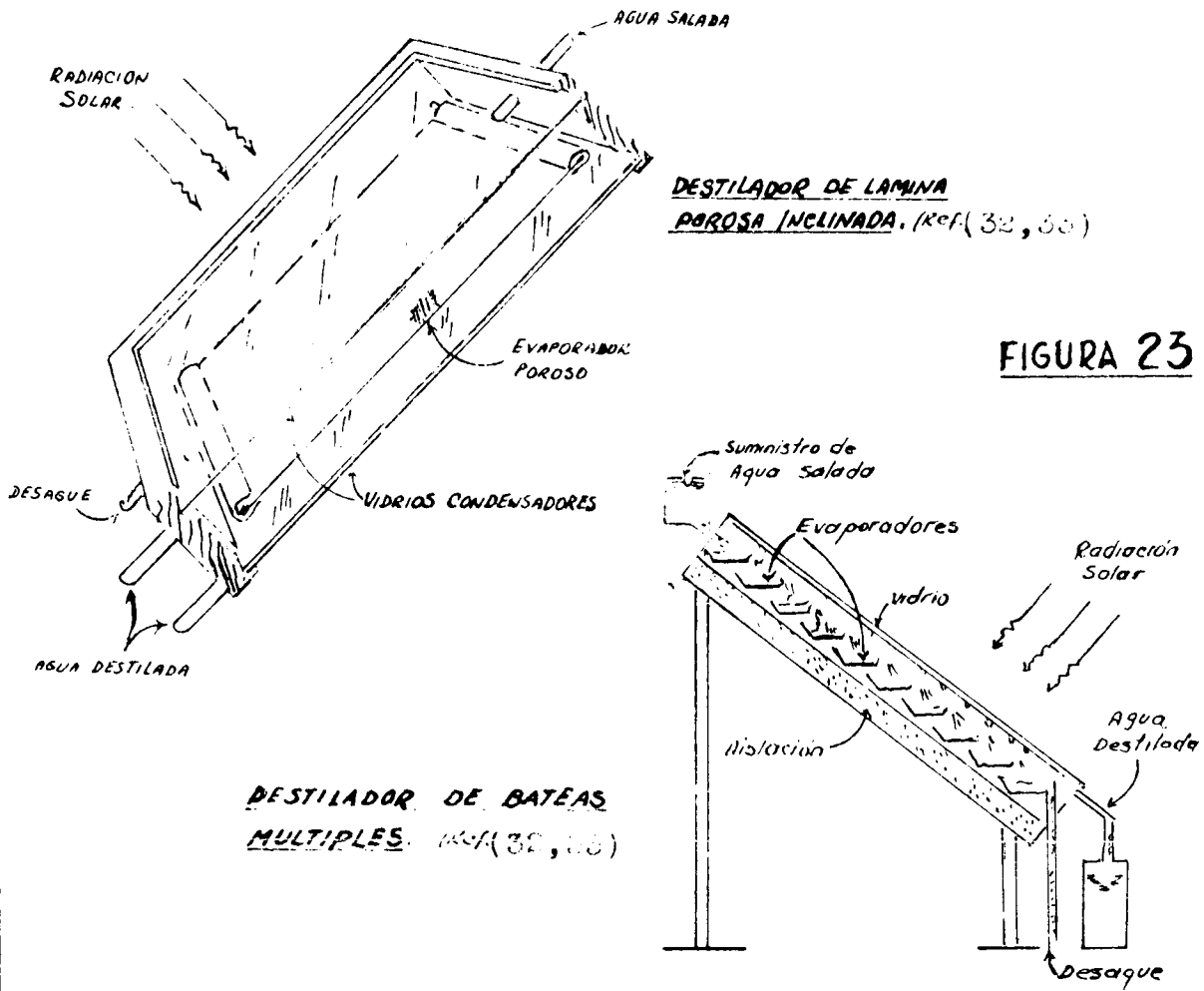


FIGURA 24

inclinada y el de bandejas múltiples. En las Figuras 22 y 23 pueden observarse los tres tipos de destiladores con una breve explicación de su funcionamiento. (32,33).

Es evidente que la producción de agua en un día dependerá fuertemente de la radiación diaria incidente sobre el destilador. En la Figura 24 puede verse la cantidad de agua destilada por unidad de superficie y por día en función de la radiación incidente para destiladores solares de tipo invernadero. Las eficiencias obtenibles en este tipo de destilador, tomando como base valores diarios, son del orden del 30 - 40%.

Los destiladores de tipo invernadero tienen el inconveniente de ser usados en posición horizontal, obteniéndose por lo tanto cantidades de destilado relativamente pequeñas en la época invernal. Para fijar ideas tomemos como ejemplo la Ciudad de San Miguel de Tucumán ($26^{\circ}40'$ de Lat. Sur. Durante los meses de Enero-Diciembre, la radiación solar promedio incidente sobre una superficie horizontal es de aproximadamente $500 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{día}$ a la que corresponde según la Figura 24 un destilado de $3,5 \text{ lts/m}^2 \cdot \text{día}$, mientras que en la época de invierno (Junio-Julio), siendo la radiación global promedio de $250 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{día}$ le corresponde entre 1 y $1,5 \text{ lts./cm}^2 \cdot \text{día}$.

El destilador de tipo invernadero tiene la ventaja de ser de sencilla construcción y de haber sido estudiado bastante extensamente.

Para aumentar la radiación interceptada por unidad de área de colector y disminuir la inercia térmica del sistema, se ha propuesto el uso de destiladores de lámina porosa inclinada.

En el destilador de bandejas múltiples se busca lograr un efecto análogo al producido en los de lámina porosa inclinada en lo atinente a lograr un ángulo más favorable para la incidencia de la radiación.

Para estos tipos de destiladores se han estudiado esquemas donde el destilador trabaja con efecto múltiple con el fin de mejorar el aprovechamiento de la energía.

Mencionaremos en último término los métodos llamados indirectos. Si el destilador convencional al cual se acopla el sistema solar necesita para su funcionamiento de vapor a altas presiones y temperaturas, debe recurrirse a los concentradores ópticos, en el caso de necesitarse agua caliente o vapor a pequeñas presiones y temperaturas pueden utilizarse los calentadores de agua planos descritos en otra sección de este trabajo.

Desde el punto de vista económico, la destilación solar aún con los costos de combustibles actuales no resulta económica en términos generales. Pero en ciertas zonas con características especiales, resulta casi la única solución viable.

Citemos como ejemplo de lo dicho al destilador experimental de la Isla de Patmos (GRECIA), construido en el año 1967, que con 8600 m^2 resulta el más grande del mundo y se encuentra aún en operación. A partir de esta experiencia exitosa, se han construido cinco destiladores más en otras islas de la zona y que sumados dan una superficie de 11.600 m^2 .

4.7. Secado de Productos Agrícolas

La energía solar se utiliza desde hace tiempo para secar algunos productos agrícolas.

Entre las frutas y hortalizas que se secan por este método podemos citar a los dátiles, bananas, uvas (pasas), duraznos, damascos, papas, habas, batatas, cebollas, puerro, remolacha, nabo, tomates, pimientos, zanahorias. Para este tipo de productos, el proceso de elaboración comprende las etapas de selección, preparación, corte, escalado, baño de agentes conservadores y secado propiamente dicho. El secado propiamente dicho puede realizarse por dos métodos: el de exposición directa y el de calentamiento indirecto.

La exposición directa se realiza en bandejas especialmente construidas para tal fin, que pueden estar protegidas o no del medio ambiente mediante una cubierta de vidrio. Este método de secado tiene el inconveniente de producir fuertes cambios de color de los produc-

tos, y en caso de que el secado se realice en artefactos que no permitan una adecuada circulación del aire, el producto puede alcanzar temperaturas mayores que 70° C las que en general no son recomendables - (34).

El calentamiento indirecto se realiza acoplando a un secador un calentador de aire como los descritos en la sección 4-1 de este trabajo. En general, los secadores de este tipo que se han estudiado, son pequeños y trabajan por circulación natural.(35). En ciertos climas secos los productos mencionados anteriormente pueden ser secados bajo techo.

Se ha propuesto también el uso de la energía solar para disminuir el contenido de humedad de los granos, maíz por ejemplo, con el fin de mejorar sus condiciones para el ensilado. (36)

Otros productos que necesitan de un proceso de secado y de los que se está estudiando la posibilidad de realizarlo por vía solar son madera y tabaco (37,33)

4.8. Generación de Energía Eléctrica

Las técnicas de conversión de la energía solar en eléctrica se pueden dividir en dos grandes grupos: a) generación fototérmica, en la cual la energía solar se convierte en térmica y el vapor que se produce acciona una turbina convencional; b) generación fotovoltaica, en la que la energía solar se convierte directamente en energía eléctrica al incidir sobre elementos contruidos con distintos tipos de materiales semiconductores. Una evaluación de estos sistemas ha sido realizada recientemente en la Argentina (1)

En lo que sigue, damos unas ideas muy generales, comenzando por la generación fototérmica. Estos sistemas están constituidos por un colector, formado por las superficies a las que llega la radiación, el absorbedor donde la energía que llega se transforma en energía térmica, y el generador, donde la energía térmica se convierte sucesivamente en mecánica y eléctrica.

Todo sistema está formado por un gran número de colectores, si -

se están produciendo potencias grandes. En uno de los tipos el absorbedor está asociado directamente con el colector, produciendo el vapor en cada uno de ellos. Este vapor es recogido por cañerías y llevado a las turbinas. Dentro de este esquema, tenemos tres alternativas según que el colector sea plano, cilindro-parabólico o paraboloide de revolución. En otro tipo de sistema, todos los colectores concentran la radiación solar en un solo punto, donde se coloca el absorbedor que produce vapor, Este después de un recorrido corto, llega al generador. Las cuatro alternativas tienen características muy distintas debido a que las temperaturas de trabajo en el absorbedor son bastante diferentes. La Tabla X da una idea general (1)

El único sistema concebido para la conversión de energía solar - en eléctrica que ha estado en funcionamiento por un buen tiempo es el construido en Génova durante el año 1968. Produce vapor a 600°C y 150 atm., con una potencia térmica de 160 kw. El ejemplo más importante - de concentración de energía solar es el horno de Odeillo, Francia, en funcionamiento desde 1970. Logra una potencia de pico de 1 Mw, con una temperatura de 3800°C . Desde 1972 el trabajo en este tema se ha - activado mucho, especialmente en los Estados Unidos, aunque también - se está avanzando en el Japón, la Comunidad Europea y Rusia.

El efecto fotovoltaico de un semiconductor es utilizado como base para una transformación directa de la energía solar en electricidad. Cuando un fotón llega a un semiconductor, excita un electrón a través de la banda prohibida para depositarlo en los niveles conductores. En general, este electrón excita los modos de vibración de la red cristalina, con lo cual la energía solar se transforma en térmica. Pero si se fabrica una juntura P-N, los pares creados pueden ser extraídos fácilmente de la juntura, con lo cual se dispone de energía eléctrica. Los fotones pueden producir pares si su energía es mayor que la correspondiente al ancho de la banda prohibida, lo que significa que solo una parte del espectro solar es utilizable. El rendimiento teórico obtenible es del orden del 30%. Existen dos materiales cuyo -

uso es predominante en este momento: el silicio y el sulfuro de cadmio.

Con el silicio se producen actualmente celdas con fotovoltaicas con rendimientos que llegan al 20%. Son producidas a partir de monocristales con técnicas que vuelven muy costosa su construcción. Si bien se usan en vehículos espaciales, donde el factor costo es secundario, su utilización en la producción masiva de energía eléctrica no es rentable por el momento.

A partir del sulfuro de cadmio se han obtenido celdas con un rendimiento de orden del 8%. Este material se puede disponer en láminas policristalinas mediante técnicas de evaporación.

Existen celdas construídas con otros semiconductores, como el arseniuro de galio, para los cuales se ha demostrado ultimamente la posibilidad de funcionar a altas temperaturas. En este caso, el costo de la celda ya no es tan crítico puesto que se colocarán en el foco de un concentrador disminuyendo significativamente la superficie necesaria.

La producción de energía eléctrica con celdas fotovoltaicas es muy atractiva debido a la sencillez del sistema. Si bien los costos actuales son prohibitivos, se está trabajando activamente en el desarrollo de técnicas de fabricación en masa.

5.- Transferencia de Tecnología

A continuación se describirán las actividades de investigación y desarrollo que se realizan en la Argentina. Se discutirán las posibilidades de transferencia de Tecnología, así como las necesidades que deberá cubrir la industria para que ello sea factible, especialmente en lo que se refiere a materiales. Debe entenderse que en su mayoría el comienzo de las actividades de los grupos de trabajo es nueva, del orden de los dos o tres años, y que hasta el momento el nivel efectivo de inversiones ha sido bajo. Las Actas de la Segunda Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar (Julio, 1976), dan una idea del nivel alcanzado en las realizaciones. (39).

5.1.- Calentadores de agua para uso familiar.

Esta es una de las aplicaciones más trabajadas a nivel nacional e internacional. La información nacional a disposición de los autores se ha resumido en la Tabla XI. El material impreso disponible es muy escaso, las descripciones son incompletas y en general faltan datos de funcionamiento.

En lo que se refiere a los calentadores de circulación por termosifón, existe suficiente experiencia, así como un mercado potencial lo suficientemente grande como para que se intente acelerar la fabricación nacional a escala industrial. Con ese fin se recomienda evaluar los siguientes puntos principales:

- a) Cubierta: Para calentadores pequeños el vidrio es el material más utilizado, dado que las condiciones ópticas requeridas no son demasiado exigentes se debe analizar el mercado para aprovechar la producción de láminas que no alcancen a cumplir los requisitos exigidos por otros tipos de usuarios. En zonas de granizo se plantea la posibilidad de reemplazar el vidrio por láminas plásticas transparentes de alto impacto y larga duración bajo la radiación solar. En la actualidad, este producto es muy limitado.

- b) Absorbedor: En lo que respecta al material, el aluminio y el hierro galvanizado parecen ser lo más conveniente desde el punto de vista económico. El hierro galvanizado se ha utilizado con éxito en otros países. Se deberán tener en cuenta los problemas de corrosión y los derivados del congelamiento del fluido de trabajo.
- c) Superficie de Absorción: Se requiere la producción de pinturas negras de larga duración y con propiedades selectivas, al menos parciales.
Se han desarrollado a nivel internacional, técnicas de producción de superficies selectivas que se podrían adoptar.
- d) Cajas protectoras: Pueden ser utilizados como materiales de construcción chapas de distintos materiales o resinas plásticas reforzadas con fibra de vidrio. Debe diseñarse y construirse de tal forma que evite la entrada de humedad en el colector, ya que ésta perjudica las propiedades de aislación térmica del sistema.
- e) Aislación: Puede utilizarse aislaciones de fibra de vidrio, plásticas o una combinación de ambas. Debe diseñarse de tal forma que resista sin deteriorarse las temperaturas que alcanzan el colector cuando a éste se le interrumpe el suministro de líquido intercambiador.
- f) Tanque acumulador: Si los colectores son del tipo tubo y chapa, puede recurrirse a las botellas de los termotanques que se fabrican en el país, que trabajan con la presión de la línea. En otro caso pueden utilizarse tanques intermedios de fibrocemento.

Las pautas de fabricación que se elaboren deben publicarse a nivel industrial, procurando evitar producciones sin el debido asesoramiento y la entrada en el mercado de productos de bajo rendimiento y duración limitada.

En aquellas áreas donde la experiencia actual no permita establecer pautas definitivas, deberá promoverse la investigación y el desa-

rrollo.

Dado que para este tipo de sistemas, la solución de los problemas que se presentan dependerán en alto grado de una combinación de distintas técnicas industriales, se promoverá una acción conjunta de los laboratorios e industrias interesadas.

5.2.- Calentamiento de agua a nivel industrial.

En lo que tiene que ver con el calentamiento a nivel industrial, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), está realizando experiencias destinadas a la producción de agua caliente para usar en los procesos mineros de extracción y preparación del uranio. Dentro del marco de una instalación de costos iniciales mínimos, se está estudiando un diseño de piletas playas, formadas por tres capas de plástico, con el agua entre las dos inferiores hasta una altura de unos diez centímetros, y aire a presión entre dos superiores con el fin de minimizar las pérdidas térmicas. Se han ensayado sistemas de un metro cuadrado destinados a prueba de diferentes materiales, trabajándose en la actualidad en la construcción de bolsos con mayor superficie.

La Universidad Nacional de Salta (UNSa), esta ensayando un prototipo de poza solar de 16 metros cuadrados de superficie como una posible alternativa para el proceso mencionado, teniendo también perspectivas de uso en la explotación de salinas en el Noroeste del País.

En los dos colectores recién mencionados, se deben seleccionar adecuadamente los materiales plásticos a utilizar. Su disponibilidad en el país es limitada, pudiéndose obtener el polietileno, PVC y chapas transparentes con fibras de vidrio, en cantidades y a precios razonables. No es usual obtenerlos en formulaciones especiales destinadas a soportar la acción de la componente ultravioleta de la radiación solar por tiempos largos. Sería importante encarar la posibilidad de disponer de algunos plásticos seleccionados por sus características reconocidas en cuanto a la duración ante la combinación del sol y temperaturas relativamente altas.

5.3.- Calentamiento y enfriamiento de edificios.

El acondicionamiento ambiental de casas para viviendas está - siendo estudiado por el Instituto Argentino de Investigación en Zonas Áridas (IADIZA), especialmente en lo que tiene que ver con el diseño arquitectónico. Se encuentra en la etapa de diseño de casas para zonas de clima semiárido, basándose en el uso de calentadores de aire y acumuladores de piedra. La acumulación de piedras a temperaturas moderadas ha sido estudiada en la U.N.Sa., donde se ha construido un prototipo de experimentación, de tres toneladas de piedra. También se está realizando estudios experimentales de diseño de elementos de acumulación en cambio de fase, debiendo tener mezclas de sales que trabajen sin sufrir degradaciones en los sucesivos cambios de fase. Solucionando este aspecto, se encarará el diseño de recipientes, probablemente con termoplásticos que permitan el empaque de la sal y la circulación del aire con una buena superficie de contacto. La U.N.Sa. está ensayando colectores de aire, en forma de prototipos de 2 m^2 , construyéndose actualmente uno de 30 m^2 . En la U.N.Sa. se está estudiando el ciclo de absorción intermitente tiocianato de amonio-amoniaco con fines de enfriamiento, habiéndose experimentado en prototipos de 1 m^2 de superficie.

5.4.- Secado de productos agrícolas.

Los colectores de aire mencionados en la sección anterior, también están destinados a secaderos de productos agrícolas. Son del tipo de matriz porosa y se está haciendo énfasis en un diseño adecuado que simplifique la circulación del aire, problema de consideración debido a que los productos son grandes. En el caso de los secaderos su construcción a costo reducido puede requerir una cubierta plástica adecuada, lo que presenta problemas similares a los ya expuestos en secciones anteriores. Los sistemas de calentamiento de aire y acumulación en piedra requieren técnicas de fabricación que son similares a las de la industria de la construcción y a las utilizadas para la distribución de aire en los sistemas tradicionales de acondicionamiento de edificios.

Secaderos de construcción sencilla, con circulación natural de aire, han sido experimentados en la Universidad Nacional de Rosario y en la de Lujan.

5.5.- Destilación

La destilación de agua ha sido ensayada por largo tiempo en la GNEGH, Observatorio de San Miguel, habiéndose construído prototipos de forma "invernadero" con cuatro metros cuadrados de superficie. También se han ensayado los sistemas de batea. La Universidad Nacional de San Luis ha desarrollado modelos de bajo costo construídos con poliestireno expandido. Se han iniciado trabajos de colaboración entre la CNEGH y Obras Sanitarias de la Nación, con los cuales ha colaborado la U.N.Sa., con el fin de llevar dichos sistemas a una escala suficiente como para almentar pequeñas poblaciones.

5.6.- Generación de Energía Eléctrica.

La generación de energía eléctrica ha sido objeto de estudios de evaluación por parte de la CNEA (1). Recientemente se ha decidido el ensayo de un sistema de concentrador multifacurado. Deberá encararse la obtención de superficies reflectantes capaces de soportar los períodos prolongados de inclemencias del tiempo, así como la producción de elementos absorbedores para altas temperaturas. Estos colectores producirán vapor a temperaturas elevadas, aunque no tanta como las usadas en las centrales termoeléctricas convencionales. Se planteará la selección de maquinarias generadoras de energía mecánica adecuadas para el tipo de vapor disponible y la potencia a generar.

En el Centro de Investigaciones de las Fuerzas Armadas, se está trabajando en la producción de celdas fotovoltaicas de sulfuro de cadmio, desarrollandose procedimientos para la fabricación de láminas delgadas por métodos serigráficos.

TABLA XI - CALENTADORES DE AGUA PARA USO DOMESTICO

MATERIALES

Constructor	Tipo	Cubierta	Absorbedor	Caja	Tanque
Observatorio San Miguel	tubo y chapa	vidrio	caño galv. chapa galv.	chapa galv.	fibrocemento Experimental
Universidad N ac. de San Luis	tubo y chapa	vidrio	distintos tipos	—	Experimental
I N T I	doble chapa	vidrio	chapa galv.	plástico reforzado	integrado al colector En proceso de ensayo
Universidad Nac. de Rosario	Tubo y cuapa	vidrio	cobre	—	Experimental
Universidad Nac. de San Juan	Tubo y chapa	vidrio	cobre	—	Experimental
Tertanoo M. R.	Tubo y chapa	vidrio	cobre	chapa	cobre Se retiró del mercado por su poco éxito comercial (costo excesivo)
TENECO (Mendoza)	doble chapa	vidrio	—	—	Recientemente se ha comenzado su comercialización
TENECO (Mendoza)	Tubo y chapa	vidrio	—	—	—
Industria Privada (Buenos Aires)	tubo y chapa	vidrio	caño y chapa galv.	chapa	En proceso de ensayo

REFERENCIAS.

- 1).- Moragues, J.A. y Scheuer W. "Conversión de Energía Solar en - Electricidad" Estudio de Evaluación. Comisión Nacional de Energía Atómica. Actividad Prospectiva. Gerencia de Investigaciones. Bs.As., Rep. Arg... (1976).
- 2).- Duffie J.A. y Beckman W.A. "Solar Energy Thermal Processes" - John Wiley & Sons. New York . (1974).
- 3).- Kondratyev K. Ya. "Radiation in the Atmosphere" Academic Press. New York. (1969).
- 4).- Datos de radiación solar (Año Geofísico Internacional). Servicio Meteorológico Nacional. Bs.As... Rep.Argentina (1962).
- 5).- Liu B.Y. y Jordan R.C. "Availability of solar Energy for Plate-Solar Heat Collectors" Low Temperature Engineering Applications of solar Energy. ASHRAE. (1967).
- 6).- Yellot J.Y. "The Measurements of Solar Radiation" Low Temperature applications of Solar Energy ASHRAE (1967)
- 7).- Kurlat I.C. de, Fernandez R. y Crivelli E. "Medidas de Radiación en La Argentina" Acta Scientifica N° 30. Observatorio de Física Cósmica. San Miguel. Pcia. de Bs.As.,Rep.Argentina (1971)
- 8).- Crivelli E. y Pedregal M.A. " Cartas de Radiación Solar Global de la República Argentina "METEOROLOGIA 2 (1972).
- 9).- Fernández R.; Saravia L. y Scheuer W. " National Solar Program For Research and Development in Argentina " Comisión Nacional - de Estudios Geo-Heliofísicos. Rep.Argentina. (1976).
- 10).- Grosskreutz J.C. " Criteria and Procedure for Siting Central (Thermal) Electric Generating Stations" Reunión Fort Collins. (1974).
- 11).- Fernández R. "Posibilidad de utilizar calentadores de agua en - la Argentina" 1^{er} Congreso Latinoamericano de Energía Solar. Ob

servatorio de Física Cósmica de San Miguel. Prov. de Bs.As...
Rep.Argentina. (1975).

- 12).- Linares J. "Necesidades de agua potable en la Argentina" Actas de la 2^{da} Reunión de Trabajo de Energía Solar. Salta.Rep.Argentina. Julio (1976).
- 13).- Daniels F. "Direct use of the Sun's Energy" New Haven. Conn... Yale University Press. (1964).
- 14).- Tabor H. "Solar Ponds" - Solar Energy, 7, 189 (1963).
- 15).- Rusell J.L. Jr. De Plomb E.P. y Bansal R., " Principles of the Fixed Mirror Solar Concentrator", Informe GA-A12902 de General Atomic Company California, USA (1974).
- 16).- Giugler R.G. et al. " Compound Parabolic Concentrator", ISES - Internatinal Solar Energy Congress - Los Angeles Cal.Agos.1975
- 17).- Grace J.R., Li Y.W. "Storage for Solar Energy: A Review" Report n° T 93, Set.1974 - Brace Research Institute -Mc.Gill Univ. - P.O.Box 6070 - Montreal, Canadá, H3C 3G1).
- 18).- Smith G.A. y Severson A.M. " Salt Themal Energy Storage For So lar Systems". ISES, Inter. Solar Energy Congress. Los Angeles. USA. (1975).
- 19).- Ervin G. "Solar Heat Storage Based on Inorganic Chemical Reactions" ISES. Inter. Solar Energy Congress. Los Angeles.USA. Agosto. (1975)
- 20).- Close D.J. "Rock Thermal Storage for Confort Air Conditioning" Mech.Chem. Engg. Trans. I.E. Aust. Vol. 1, N° 1 May (1965), pp. 11-22
- 21).- Telkes M. "Solar Energy Storage" ASHIRAE JOURNAL. Sept. (1974) pp.38-4
- 22).- Lorsch H.G. "Thermal Energy Storage for Solar Hrating" ASHRAE JOURNAL. Nov. (1975). pp.47-52.

- 23).- Close D.J. y Pryor T.L. "Energy Storage in Adsorbent Beds".
ISES. Inter. Solar Energy Congress. Los Angeles. USA Agos.1975
- 24).- Lof G.O.G. y Close D.J. "Solar Water Heaters" Low Temperature
Engineering Applications of Solar Energy. ASHRAE. (1967).
- 25).- SUNWORLD. Número 1. Julio (1976)
- 26).- Givoni B. "Man, Climate and Architecture" 2nd Edition. Applied
Science publishers LTD. London. (1976)
- 27).- Ward D.S. et al. " Performance of CSU House 1 " Inter.Solar Ener
gy Congress. Los Angeles. (1975)
- 28).- Simmons M. et al. "Ammonia-Water absorption Air Conditioner".-
Inter.Solar Energy Congress. Los Angeles. (1975).
- 29).- Read W.E. et al. " Use of RBR in South Australian Schools" Aus
Refrig.Air Cond. and Heating. Vol.2 N° 12.Dec.(1972)pp.20-27.
- 30).- Rush E.W. et al "Description of the Solar Mec Field Test Faci-
lity" Int. Solar Energy Congress. Los Angeles. USA. (1975)
- 31).- Planification Habitat Information - Num.80 Jun.(1975)
- 32).- Splieger K.S. "Salt Eater Purification" John Wiley & Sons.New
York. (1965).
- 33).- Splieger K.S. "Principles of Desalination" Academic Press.New
York. (1966)
- 34).- Lawand T.A. "How to make a Solar Cabinet Dryer for Agricultu-
ral Produce Brace Research Institute. Mc.Gill University.Facul
ty of Engineering.St.James. Barbados. West Indies.
- 35).- Selcuk M.K. et al. "Development, Theoretical Analysis and Per-
formance" Evaluation of Shelf Type Solar Driers" SOLAR ENERGY.
Vol.16 (1974). pp.81-88
- 36).- Paterson W.H. "Solar Heat for Crop Drying" Grain Conditioning
Conference Proceedings. The University of Illinois.Usa Jan.1975

- 37).- Chundnoff M. et al. "Solar Drying of Tropical Hardwoods" Forest Service Research Paper ITF-2. Institute of Tropical Forestry. Rio Piedras. Puerto Rico. Abril. 1966.
- 38).- Read W.R. y Czech J. "Operating Experience with a Solar Timber Kiln" Inter.Solar Energy Congress. Los Angeles.USA Agos.1975
- 39).- Actas 2da.Reunión de Trabajo de Energía Solar. Universidad Nacional de Salta. Salta. Rep.Arg. Julio 1976.