

DEMANDA DE ENERGIA EN EDIFICIOS SOLARES CARACTERISTICAS CLIMATICAS Y APTITUD DE SISTEMAS SOLARES

John Martin Evans

Centro de Investigación Hábitat y Energía, SICyT - FADU - UBA

Pabellón 3, Piso 4, Ciudad Universitaria (1428) Capital Federal

CC 1765, Correo Central, (1000) Capital Federal.

Tel: (01) 781-5020 al 29 int 458. Fax: (01) 782-8871

RESUMEN

El problema principal del uso de la energía solar en el hábitat construido radica en la relación inversa entre la variación anual de la demanda de energía en edificios y la disponibilidad de energía solar, especialmente en invierno. Este trabajo presenta un análisis comparativo de la demanda de calefacción en distintas zonas climáticas de alta latitud en Argentina y otras zonas del mundo, utilizando una relación lineal simplificada para definir los grados días de calefacción, la duración del periodo de calefacción, la amplitud diaria media en cada estación y la temperatura de diseño. El método gráfico permite detectar las características de la demanda que favorecen distintos sistemas solares pasivos. La zona austral de Argentina presenta una distribución de los grados días favorable para el aprovechamiento de la energía solar, comparada con latitudes similares del hemisferio norte.

INTRODUCCION

La posibilidad de utilizar la energía solar para la calefacción parcial de edificios depende no solamente de la disponibilidad de la radiación si no también de la distribución de la demanda de energía durante el año. Esta demanda de energía es proporcional a los grados días de calefacción de un mes o un año. La relación entre la demanda de energía y la disponibilidad de energía solar útil también depende de la distribución de los grados días durante el periodo en análisis y la amplitud térmica típica.

En un estudio previo de la aptitud de sistemas solares pasivos en altas latitudes, se desarrolló un método sencillo para comparar las condiciones con otras regiones del mundo a la misma latitud donde sistemas solares pasivos fueron implementados con mayor frecuencia. El método gráfico que fue elaborado a tal fin permite visualizar las variaciones y similitudes de condiciones. Este método gráfico se aplicó para comparar localidades de altas latitudes en el norte de América, Europa y Asia. La evaluación indica grandes diferencias en la distribución de la demanda para calefacción solar o convencional. Se comprobó que el análisis de los gráficos también indicaba las características climáticas que favorecen la elección de distintas alternativas de sistemas solares pasivos.

GRADOS DIAS DE CALEFACCION

Distintos países utilizan criterios diversos para establecer los grados días de calefacción, dificultándose así la comparación regional. Algunos países establecen temperaturas fijas de base entre 15°C y 22°C, mientras otros definen temperaturas variables según los meses del año. Además se puede usar la temperatura de gatillo entre 10°C y 15°C.

Por ejemplo, Suiza utiliza grados días con una temperatura base de 20°C, pero solamente

cuando la temperatura media es inferior a 10°C (temperatura de gatillo), mientras en Suecia se aplican distintas temperaturas base en cada mes del año.

Gustafsson, S, et al (1988) presenta un método sencillo para determinar los grados días de calefacción, basado en las temperaturas medias de todos los meses del año, datos fácilmente disponibles para distintas regiones del mundo. Se ordenan los datos de la temperatura media para cada mes del año en orden ascendente con el número de días acumulativos correspondiente con cada valor. Se ajusta una curva a estos valores utilizando el método de los cuadrados mínimos.

El método tiene las siguientes ventajas: rapidez, precisión razonable y aptitud para la evaluación de distintas condiciones usando el resultado del método de Gustafsson: una ecuación lineal que se puede presentar como gráfico (ver Figuras 1 y 2).

La ecuación lineal cuenta con solamente dos variables, la intercepción a indica la mínima de las temperaturas medias diarias y la pendiente b indica la tasa diaria de cambio de temperatura durante el año. La curva permite obtener valores comparativos de los grados días anuales según la temperatura base y la temperatura de gatillo. También indica la duración de la temporada de calefacción para una temperatura de base establecida. La misma curva indica los grados días de refrescamiento y la duración de periodos de sobrecalentamiento.

Temporada de calefacción: $L = (t_b - a) / b$ en el caso $(t_b - a) / b > 365$; $L = 365$
Grados días $DD = L (t_b - a) / 2$
en el caso $(t_b - a) / b > 365$: $DD = L (t_b - a) / 2 - (t_b - 365 b) (L - 365)$

AMPLITUD DE TEMPERATURA

La diferencia entre la temperatura media máxima y media mínima también tiene importancia para la evaluación del comportamiento de distintos sistemas solares. En una ampliación del método, las temperaturas medias máximas y mínimas para cada mes fueron utilizados para determinar dos curvas adicionales. La distancia vertical entre las curvas indica la amplitud media de la temperatura según la temperatura media en cada estación. Las diferencias entre las pendientes de las tres curvas responden a la variación anual de la amplitud.

En climas continentales, la distancia diagonal entre las curvas disminuye debido a la pendiente mayor; sin embargo, la distancia en el sentido vertical aumenta. Como se puede esperar, la amplitud de la temperatura normalmente disminuye en invierno debido al aumento de la nubosidad que intercepta la radiación nocturna y disminuye la radiación solar de día. Sin embargo, existen excepciones: Thule, Groenlandia, tiene una amplitud de temperatura mayor en invierno que en verano.

SELECCION DE SISTEMAS SOLARES PASIVOS

Los sistemas solares pasivos proporcionan un máximo de energía útil cuando la demanda de energía está bien distribuida durante todo el año, o por lo menos durante la mayor parte del año. El diseño de un edificio solar puede aprovechar más energía solar cuando no existe riesgo de sobre-calentamiento. Esto implica que las localidades con curvas chatas, que no exceden la zona de confort, cuentan con climas apropiados para el empleo de sistemas solares pasivos.

Por otro lado, la energía solar puede suministrar una proporción limitada de la demanda invernal en

climas fríos, utilizando sistemas solares convencionales. Con bajas temperaturas, las pérdidas del sistema serán significativas, dada la transmitancia relativamente alta del mismo, comparadas con los otros elementos de la envolvente. Las formas de los gráficos de distribución de temperatura son indicativas de la aptitud de distintos sistemas, aplicando los siguientes criterios:

Ganancia Directa: Este sistema tiende a aumentar la variación de la temperatura interior, por lo cual requiere una capacidad térmica importante en el interior, tamaño controlado de ventanas y protección solar parcial para evitar sobrecalentamiento (Figura 3a). Los climas con temperaturas exteriores moderadas y bajas tendrán menores problemas con variaciones excesivas de las temperaturas internas. A pesar de su bajo costo y la sencillez de su integración en proyectos arquitectónicos, los sistemas de ganancia directa tienen pérdidas importantes, con la posibilidad de contar con balances negativos en días fríos: los postigos aislantes pueden reducir las pérdidas nocturnas pero disminuyen la luz diurna.

Muro Trombe: Este sistema funciona con eficacia en climas con gran amplitud térmica, donde el muro macizo demora y disminuye el impacto de los picos en el interior del edificio (Figura 3b). Con el mismo tipo de vidrio, las pérdidas de este sistema son menores; por eso se los puede aplicar en climas con temperaturas exteriores más bajas y climas continentales.

Espacios Soleados e Invernaderos: Estos siempre actúan como zonas de amortiguación térmica reduciendo las pérdidas por infiltración y transmisión. Pueden provocar problemas cuando las temperaturas exteriores superan 18°C durante un período significativo del año, debido a la dificultad de incorporar una protección solar eficaz. Por otro lado, cuando las temperaturas en el invernadero son inferiores a 5°C , las condiciones no son aptas para muchas plantas domésticas y las ganancias solares pueden ser insuficientes para suministrar energía a la vivienda contigua, aunque estos espacios soleados tienden a reducir las pérdidas. Dado que los espacios soleados forman ámbitos atractivos, existe el peligro que los usuarios utilicen calefacción para mejorar el confort cuando la temperatura interior es de 12 a 18°C (temperatura exterior 8 - 12°C), produciendo alto consumo y pérdidas significativas (Figura 3c).

Aislación Transparente: Este elemento permite lograr una reducción muy importante en las pérdidas de todos los sistemas mencionados anteriormente, con una leve disminución en la radiación transmitida a través del material. La aislación transparente permite desarrollar sistemas solares con mejor comportamiento en climas fríos (Figura 3d). Ventanas de tecnologías novedosas y con muy baja transmitancia, como doble vidrio evacuado, también tendrán esta ventaja.

DEMANDA ENERGETICA COMPARATIVA

La Tabla 1 presenta los datos de 20 localidades representativas en altas latitudes (55° aproximadamente). Las curvas de algunas localidades están graficadas en la Figura 2. Las variaciones entre distintas localidades son muy significativas, especialmente cuando se comparan los climas marítimos y continentales. Generalmente, las localidades más frías en latitudes menores permite mayor aprovechamiento de la radiación solar útil, aunque en climas con muy bajas temperaturas, los sistemas solares pueden tener un balance negativo durante una proporción mayor del año.

Aunque este trabajo se centra en el análisis de la demanda de energía, la oferta de la energía solar también debe ser analizada. La Figura 4 indica la variación de la intensidad media diaria de la radiación sobre una superficie horizontal en Argentina, según mes y latitud, basada en datos (directos e indirectos) de 60 estaciones, Casabianca (1994). La disminución de los valores a latitudes mayores a 45°S es evidente. Sin embargo, cabe aclarar que la intensidad es más favorable sobre superficies verticales en latitudes altas en invierno.

CONCLUSIONES

El método presentado proporciona una herramienta apta para comparar la influencia de las variaciones climáticas sobre la demanda de energía. La demanda de energía de calefacción en el extremo sur de América es mayor que la demanda en la región marítima de Europa a la misma latitud. La influencia marítima es evidente en las curvas correspondientes a Ushuaia y Punta Arenas, mientras Río Gallegos tiene un clima más continental, con veranos más cálidos, inviernos más fríos y amplitudes mayores a pesar de la latitud menor. Las condiciones de temperatura son favorables para el uso de la energía solar en vivienda.

Las evaluaciones comparativas con otras regiones de altas latitudes indican variaciones importantes. La zona norte de Asia Central tiene una demanda muy alta, con temperaturas *muy* bajas, indicando la aptitud de sistemas con altos niveles de aislación térmica. Canadá tiene una gran variedad climática: Vancouver, sobre la costa oeste, presenta características climáticas comparables con el sur de Argentina a la misma latitud, mientras las Rocallosas, las praderas centrales y la costa este tienen una demanda mayor que Europa Oriental, pero no tan alta como Asia Central y Oriental.

Tabla 1. Demanda comparativa de calefacción en localidades de altas latitudes.

No. Localidad	Lat. N/S	Long. E/W	Alt. metros	Grados días (base)			Temp min.	Pend. °C/día
				18°	16°	14°C		
América del Sur								
1. Punta Arenas, Chile	52	70	8	4225	3495	2765	1,5	0.027
2. Río Gallegos, Argentina	52	69	17	3849	3119	2403	-0.2	0.042
3. Ushuaia, Argentina	55	68	14	4483	3753	3023	0.8	0.027
4. Puerto Argentino	51	58	2	4628	3898	3168	0.5	0.026
5. Puerto Deseado, Argentina	48	65	79	2897	2255	1641	2.4	0.041
Europa								
6. Edinburgo	55	3	134	3449	2719	2019	1.6	0.038
7. Fano, Dinamarca	55	3	10	3513	2847	2250	-2.0	0.057
8. Copenague	55	12	9	3470	2830	2255	-2.6	0.061
9. Gothenburgo	58	12	41	3715	3058	2465	-3.6	0.063
10. Estocolmo	59	18	44	4209	3550	2948	-6.5	0.071
11. Riga	57	24	3	4600	3950	3350	-9.3	0.081
12. Moscú	55	37	156	5037	4421	3846	-13.7	0.100
Asia								
13. Tomsk	56	84	122	7311	6654	6029	-25.5	0.130
14. Vladivostock	43	131	29	5190	4602	4050	-16.3	0.113
América del Norte								
15. Anchorage, Alaska.	61	149	40	6133	5406	4716	-14.3	0.085
16. Vancouver, Canadá.	49	123	14	3034	2374	1795	0.7	0.049
17. Atka	52	174	8	5629	4899	4169	-2.1	0.036
18. Prince George	54	122	677	5234	4552	3917	-11.7	0.084
19. Saskatoon	52	106	515	6222	5596	5003	-20.7	0.121
20. Chatham	47	65	30	5000	4387	3814	-13.6	0.997

REFERENCIAS

Gustafsson, S. et al, Bivalent Heating Systems, Retrofits and Minimized Life Cycle Costs, New Opportunities for Energy Conservation in Buildings, pp 64-74, Royal Institute of Technology, Bulletin 153, Stockholm, 1988.

Casabianca, G., Informe de Investigación FADU - UBA, Buenos Aires, 1994.

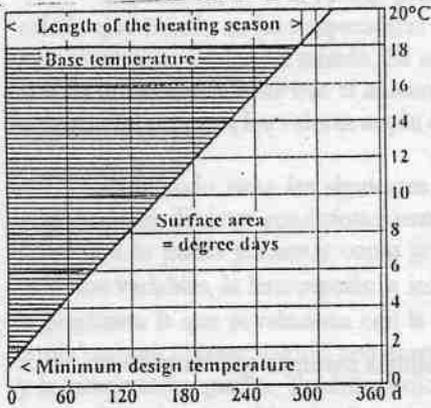


Figura 1. Demanda de calefacción. Curva de grados días.

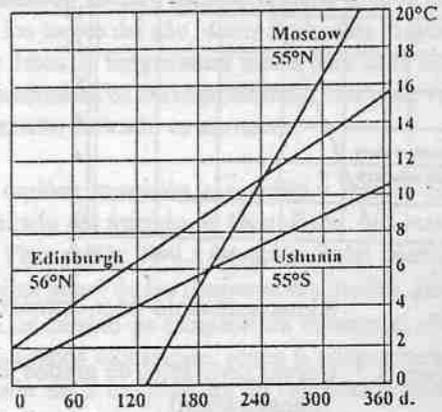
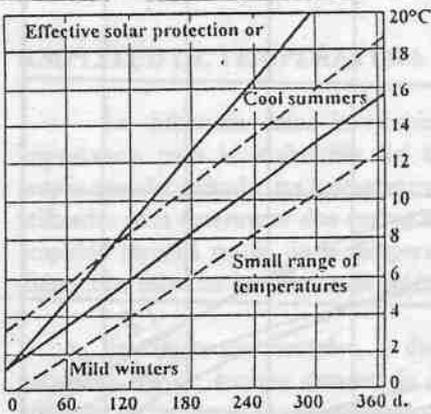
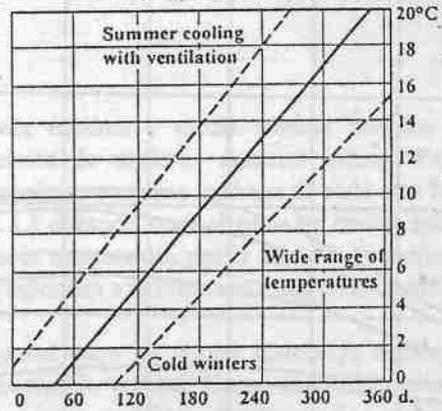


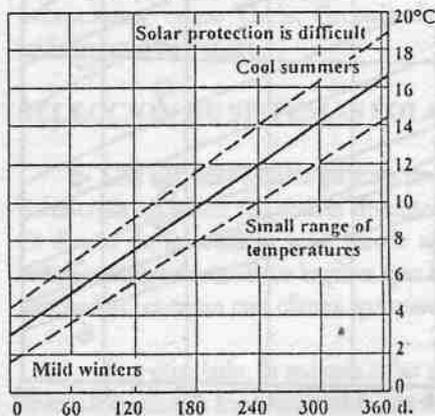
Figura 2. Curva de grados días, Edinburgo, Moscú y Ushuaia (Lat. = 55°)



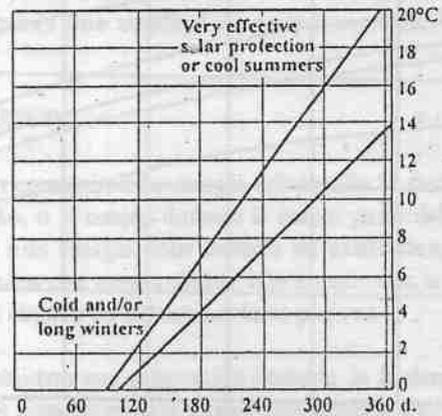
3a. Sistema de ganancias directa



3b. Muro Trombe o muro acumulador



3c. Invernadero o Espacio soleado.



3d. Sistema con aislación transparente.

Figura 3. Curvas favorables de grados días para distintos sistemas solares pasivos.

Por ejemplo, Suiza utiliza grados días con una temperatura base de 20°C, pero solamente cuando la temperatura media es inferior a 10°C (temperatura de gatillo), mientras en Suecia se aplican distintas temperaturas base en cada mes del año.

Gustafsson, S. et al (1988) presentan un método sencillo para determinar grados días de calefacción basado en las temperaturas medias de los meses del año, datos fácilmente disponibles para distintas regiones del mundo. Se ordenan los datos de temperatura media para cada mes del año en orden ascendente con el número de días acumulativos correspondientes con cada valor y se ajusta una curva a los valores según el procedimiento indicado en el Anexo.

El método tiene las siguientes ventajas: rapidez, precisión razonable y aptitud para la evaluación de distintas condiciones usando el resultado del método de Gustafsson: una ecuación lineal que se puede presentar como gráfico (ver Figuras 1 y 2). La ecuación lineal cuenta con solo dos variables, la intercepción **a** indica la mínima anual de las temperaturas medias diarias y la pendiente **b** que se relaciona con la tasa diaria de cambio de temperatura durante el año. La curva permite obtener valores comparativos de los grados días anuales según la temperatura base y la temperatura gatillo. También indica la duración de la temperatura de calefacción para una temperatura base establecida. La misma curva indica los grados días de refrescamiento y la duración del período de sobrecalentamiento.

AMPLITUD DE TEMPERATURA

La diferencia entre la temperatura media máxima y media mínima también tiene importancia para la evaluación del comportamiento de distintos sistemas solares. En una ampliación del método, las temperaturas medias máximas y medias mínimas de cada mes fueron utilizadas para determinar dos curvas adicionales. La distancia vertical entre las curvas indica la amplitud térmica media de la temperatura según la temperatura media en cada estación. Las diferencias entre las pendientes de las tres curvas responden a la variación anual de la amplitud.

En climas continentales, la distancia diagonal entre las curvas disminuye debido a la pendiente mayor, aunque aumenta la distancia en sentido vertical. Como se puede esperar, la amplitud de temperatura generalmente disminuye en invierno debido al aumento de la nubosidad que intercepta la radiación nocturna y disminuye la radiación solar. Sin embargo, existen excepciones, como Thule, Groenlandia, que presenta una amplitud de temperatura mayor en invierno que en verano.

SELECCION DE SISTEMAS SOLARES PASIVOS

Los sistemas solares pasivos proporcionan un máximo de energía útil cuando la demanda de energía está bien distribuida durante todo el año, o al menos durante la mayor parte del año. El diseño de un edificio solar puede aprovechar más energía solar cuando no existe riesgo de sobre-calentamiento. Esto implica que las localidades con curvas chatas, que no exceden la zona de confort, cuentan con climas apropiados para el empleo de sistemas solares pasivos.

Por otro lado, la energía solar puede suministrar una proporción limitada de la demanda invernal en climas fríos, utilizando sistemas solares convencionales. Con bajas temperaturas, las

ANEXO: METODO DE GUSTAFSSON

La siguiente rutina escrita en Qbasic (Quick Basic compatible) permite estimar los grados días con el método de Gustafsson e indica el procedimiento utilizado:

```

INICIAR: CLS: DIM t(12), d(12), dia(12)
REM TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES, DIAS POR MES Y DIAS ACUMULATIVOS
FOR x = 1 TO 12: REM INGRESO DE DATOS MENSUALES DE TEMP Y DIAS / MES
  PRINT "Mes "; x; : INPUT " Temperatura media "; t(x)
  PRINT "Número de días"; : INPUT " "; d(x): dia(x) = 0
NEXT x
FOR x = 1 TO 12: FOR y = 1 TO 12
  IF x <> y THEN IF t(x) >= t(y) THEN dia(x) = dia(x) + d(y)
NEXT y: dia(x) = dia(x) + d(x) / 2: NEXT x
GD: INPUT "TEMPERATURA BASE, GRADOS DIAS "; bas
t = 0: d = 0: d1 = 0: d2 = 0:
FOR x = 1 TO 12: t = t + t(x): d = d + dia(x)
  d1 = d1 + (dia(x) * t(x)): d2 = d2 + (dia(x) * dia(x))
NEXT x
a = (d1 - (t * d) / 12) / (d2 - (d * d) / 12)
b = ((d * d1) - (t * d2)) / ((d * d) - (12 * d2))
l = (bas - b) / a: g = l * (bas - b) / 2
IF l > 365 THEN g = g - (bas - (365 * b)) * (1 - 365): l = 365
PRINT "NUMERO DE GRADOS DIAS          = "; : PRINT USING "#####"; g
PRINT "NUMERO DE DIAS DE CALEFACCION  = "; : PRINT USING " #####"; l
PRINT "TEMP MEDIA MINIMA DE DISEÑO (a) = "; : PRINT USING " ##.#"; a
PRINT "TASA DE CAMBIO DE TEMPERATURA (b) = "; : PRINT USING " #.#"; b
PRINT "OTRO CALCULO, OTRA BASE O TERMINE (0, B o T)? "; : INPUT x$
IF UCASE$(x$) = "O" THEN GOTO INICIAR ELSE IF UCASE$(x$) = "B" GOTO GD
STOP
  
```

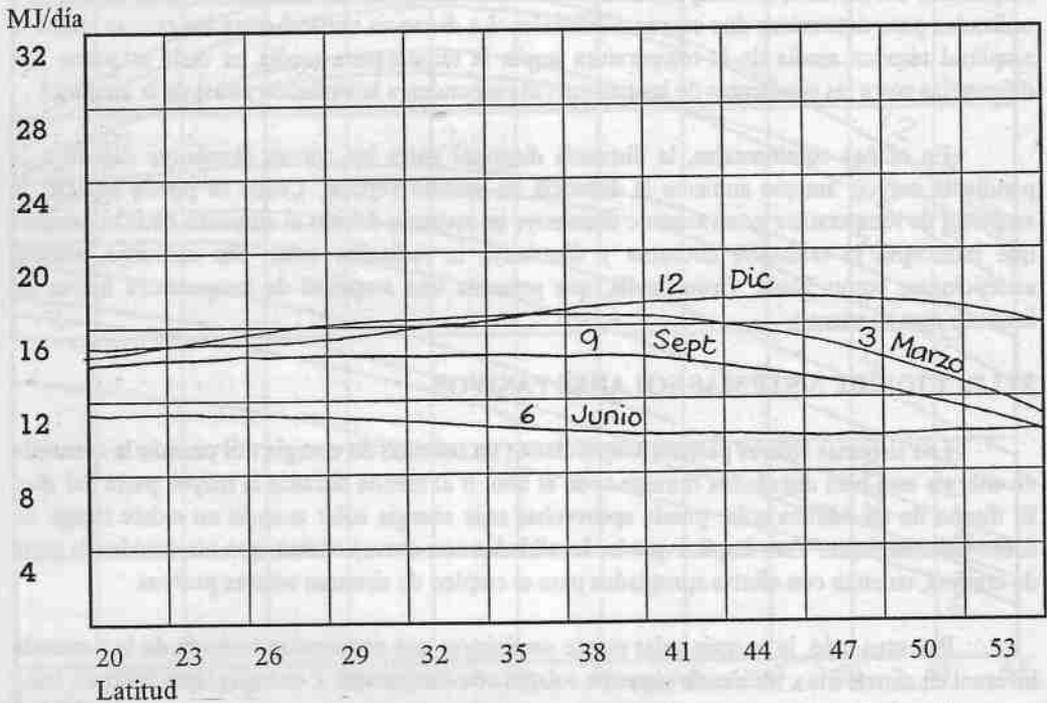
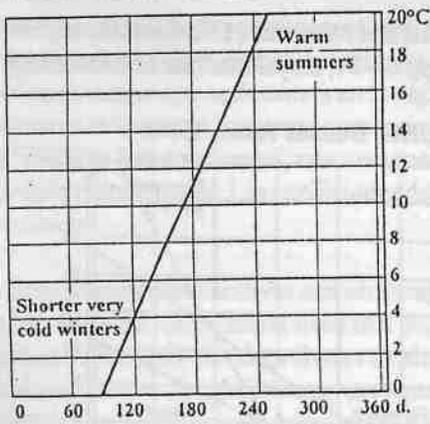


Figure 5. Radiación media diaria en Argentina (MJ/día) según mes y latitud sobre una superficie vertical, orientación norte y albedo = 0,2 basado en valores de Fig. 3.



3e. Almacenamiento inter-estacional.

Figura 3. Curvas favorables de grados días para distintos sistemas solares pasivos (continuación).

Horizontal radiation megajoules/day

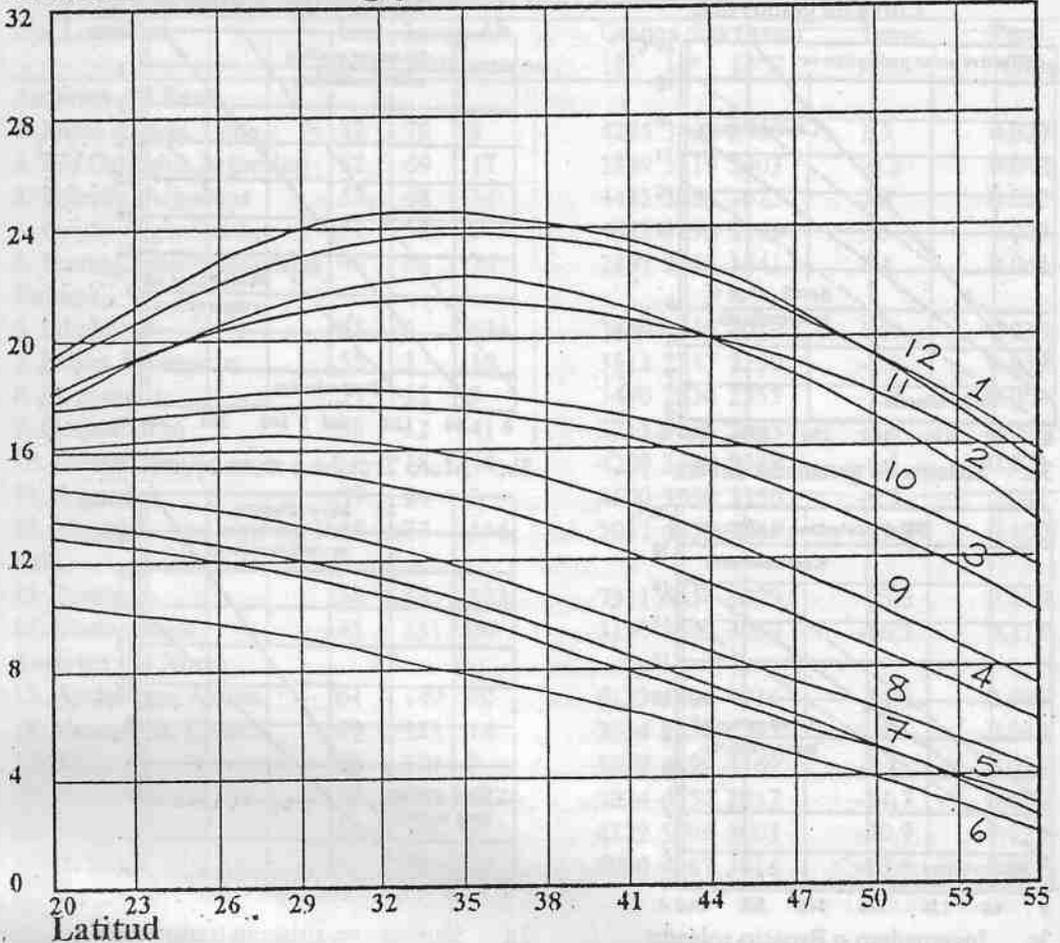


Figura 4. Radiación media diaria sobre superficie horizontal según mes y latitud en Argentina.