

APLICACION DE LOS SISTEMAS SOLARES PASIVOS
EN LAS DISTINTAS REGIONES DE LA REPUBLICA ARGENTINA
Y CRITERIOS PARA SU INTEGRACION EN EL DISEÑO

Evans, J.M., de Schiller, S., Mónico, E.D.,
Silbersztien, A.J., y Elsztein, V.

Cátedra de Diseño Bioambiental. Facultad de Arquitectura y Urbanismo,
Universidad de Buenos Aires, Pabellón 3, Ciudad Universitaria,
Nuñez, Capital Federal, C.P. 1428.

RESUMEN

El presente trabajo analiza la factibilidad de sistemas solares para el acondicionamiento térmico en distintas regiones del país a partir de un estudio de los siguientes aspectos:

a). condiciones climáticas e intensidad de la radiación solar.

b). características básicas de los sistemas solares pasivos.

La compatibilización de ambos aspectos define una nueva zonificación en "regiones solares", objeto principal de esta etapa del estudio. Los criterios de integración de los sistemas solares al diseño configuran una futura etapa del trabajo.

INTRODUCCION

La definición de las zonas Bioambientales (1) es uno de las más importantes zonificaciones del país; aunque existen otras que tienen su origen en diferentes criterios tales como la aplicación de sistemas solares para el calentamiento de agua (2).

En el presente trabajo se establecen nuevas zonas basadas en la aptitud de los sistemas solares pasivos utilizados para el acondicionamiento térmico de edificios y los elementos complementarios necesarios para su funcionamiento. A tal efecto se realizó la evaluación considerando los siguientes factores:

a) Condiciones climáticas y solarimétricas.

- demanda de calefacción
- amplitud térmica en invierno
- temperaturas en verano
- radiación solar disponible

b) Características de los sistemas solares pasivos.

- ganancia directa
- muros acumuladores y Trombe.
- invernaderos
- techo colector y "roofponds"

Las características que se consideraron en los sistemas solares fueron la eficiencia, la inclinación de la superficie colectora, la relación entre la superficie colectora, la acumulación y el espacio a acondicionar, etc.. El análisis comparativo entre los aspectos climáticos tales como la temperatura (demanda de energía) y la radiación solar disponible (oferta de energía), indica la factibilidad técnica de los sistemas solares en general. Las características de dichos sistemas se relaciona con la amplitud térmica, las temperaturas en verano y otras variables que definen las regiones solares según la conveniencia de los sistemas en cada uno de ellas.

CONDICIONES CLIMATICAS

La aptitud de los diversos sistemas solares en distintas regiones del país depende de varios factores relacionados con las condiciones climáticas. Se presenta a continuación los elementos que aportan a la definición de las regiones solares con los criterios adoptados:

Demanda de calefacción y/o refrigeración.

Los límites de las zonas bioambientales establecidas en la Norma IRAM 11.603 están basadas en las isolíneas de grados días.

En la Zona I ubicada en el norte y nordeste del país, los inviernos son cortos y templados con menos de 400 grados días. No se justifican inversiones importantes en sistemas solares en esta región debido a la reducida cantidad de energía necesaria y al largo período requerido para la recuperación de la inversión.

En las sectores de las zonas V y VI ubicadas en el sur del país, los inviernos son de muy fríos con más de

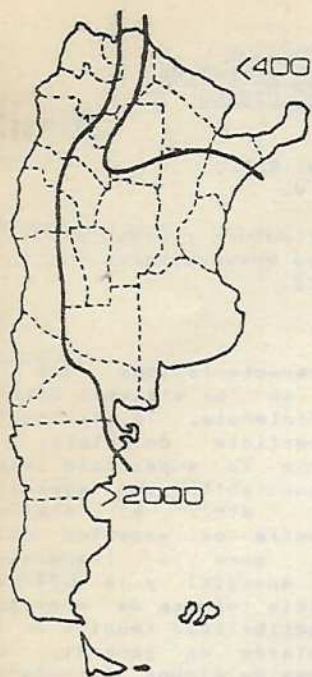


Fig.1 Grados Días según IRAM 11.603

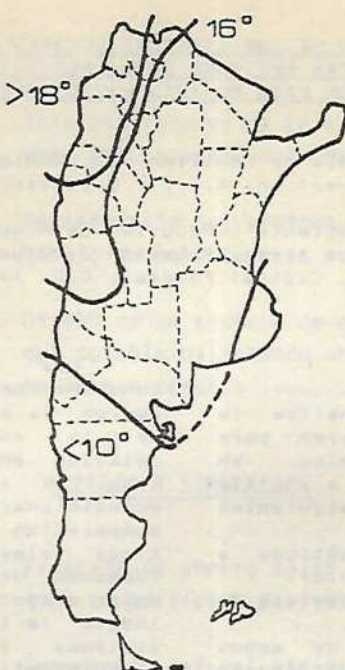


Fig.2 Amplitud térmica en julio.



Fig.3 Temperatura en enero. 26° máxima y 24° media.

2000 grados días. La radiación solar disponible en invierno difícilmente pueda satisfacer una proporción significativa de la demanda, aún en días soleados.

Los sistemas solares pasivos pueden aportar calor suficiente para calefacción cuando la diferencia entre la temperatura promedio exterior y la interior no excede de 10 a 12°C. Si la diferencia es mayor, se necesitará calefacción auxiliar permanente o niveles excesivos de aislación.

Amplitud térmica en invierno.

La aptitud de los sistemas pasivos que acentúan la variación de temperatura en el interior del edificio es menor en zonas de gran amplitud térmica, como la región del noroeste argentino, donde la amplitud media excede los 16°C en julio. Dichos sistemas resultan más aptos en el sur del país y sectores de la costa atlántica de la Provincia de Buenos Aires, donde la amplitud es inferior a los 10°C.

Temperaturas en verano.

Si la protección solar requerida para los sistemas resulta dificultosa (dado su forma, ubicación, inclinación o dimensiones), la aptitud de dichos

sistemas se limitará a las regiones donde no existan problemas de sobre calentamiento.

La ventilación de edificios y de los sistemas evitarán un exceso de calor en verano resultando especialmente efectiva en zonas del sur del país donde la temperatura media máxima no supera los 26°C. Así también se considera que el uso de la capacidad térmica puede cumplir con el mismo fin en aquellas zonas donde la temperatura media no exceda los 24°C (fig. 3).

RADIACION SOLAR DISPONIBLE

La radiación solar disponible es uno de las variables críticas e indispensables para la evaluación de la aptitud de los sistemas solares pasivos. En su gran mayoría, estos presentan superficies colectoras ubicadas en planos verticales o inclinados, pero los datos de radiación solar disponible están referidos a superficies horizontales.

Por lo tanto, se ha aplicado un programa de computación con el objeto de calcular la radiación solar promedio sobre planos horizontales, verticales o inclinados, para distintas latitudes y épocas del año, usando el modelo de Lui y Jordan (3)

con datos de Page (4) y Duffie y Beckman.

Se consideró la proporción de la intensidad de radiación directa, difusa y reflejada, según los índices de claridad promedio (KT) en el invierno para cada latitud. Dichos índices han sido calculados utilizando los datos registrados en la Red Solarimétrica: I.H - radiación total promedio diario sobre superficies horizontales para los meses de Mayo, Junio y Julio en distintas localidades del país.

Las figuras 4, 5 y 6 indican las intensidades promedio sobre planos horizontales, inclinados y verticales para distintas latitudes y varios valores de KT, como resultado del programa mencionado anteriormente.

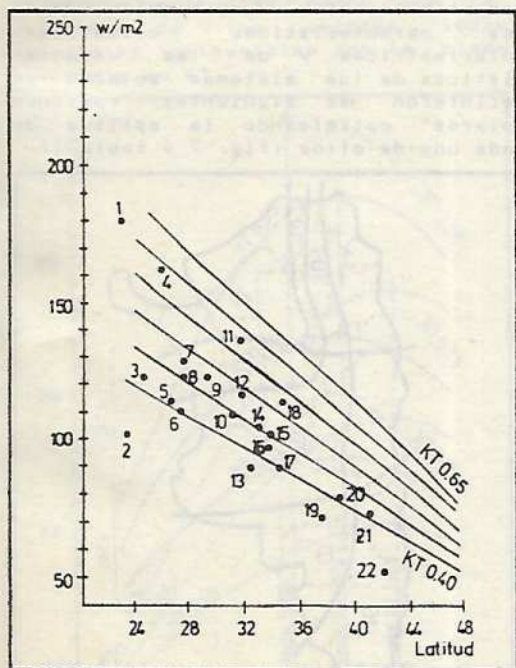


Fig. 4. Radiación sobre una superficie horizontal en invierno según latitud.

Localidad	Latitud	KT medio
1 Abra Pampa	22° 50'	0,61
2 Col Santa Rosa	23° 22'	0,35
3 Cerrillos	24° 54'	0,43
4 San Carlos	25° 53'	0,59
5 Roque Saenz Pena	26° 52'	0,42
6 Famallá	27° 03'	0,41
7 El Sombrerito	27° 39'	0,48
8 Cerro Azul	27° 39'	0,46
9 Mercedes	29° 10'	0,48
10 Rafaela	29° 10'	0,45
11 San Juan	31° 37'	0,57

Radiación promedio sobre superficies horizontales.

En la figura 4, se observa claramente los elevados valores en climas de altura como Abra Pampa, Jujuy y San Carlos, Salta y en climas secos como San Juan. Resulta igualmente notable la progresiva disminución que sufre la radiación en latitudes más australes, ya que, cada grado más alejado del Ecuador implica una reducción en la intensidad promedio sobre una superficie horizontal de 3 a 4 Watts/m² en invierno.

Radiación promedio sobre superficies verticales.

La radiación recibida sobre superficies verticales no registra importantes variaciones en localidades

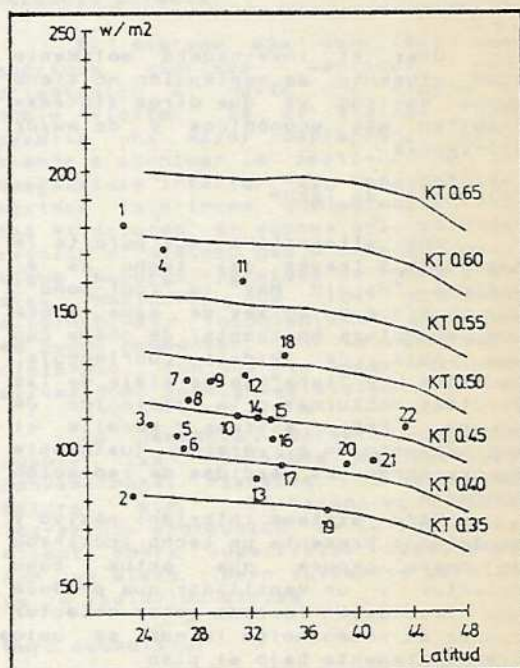


Fig. 5 Radiación sobre una superficie vertical en invierno según latitud.

Localidad	Latitud	KT medio
12 Parana	31° 50'	0,49
13 Oliveros	32° 33'	0,38
14 Marcos Suarez	32° 41'	0,45
15 V. Mercedes	33° 43'	0,45
16 Pergamino	33° 56'	0,43
17 San Miguel	34° 33'	0,40
18 Rama Caída	34° 40'	0,51
19 Balcarce	37° 45'	0,35
20 Alto Valle	39° 01'	0,41
21 Bariloche	41° 14'	0,46
22 Trelew	43° 14'	0,46

Invernadero

El invernadero (sunspace), es un volumen vidriado (pared y techo) que agrega un espacio adicional a la vivienda. Las características más importantes de este sistema son:

- relativamente baja eficiencia.
- problemas para lograr protección solar en verano,
- funciones del espacio como expansión de la vivienda, protegida del viento y lluvia (espacio tapón que mejora la aislación, como invernadero para plantas o antecámara, etc.

Existen varios métodos para aprovechar el calor captado: ventilación natural o forzada, transmisión con atraso térmico a través de un muro macizo o una combinación de las alternativas.

Usar el invernadero solamente como elemento de captación no tiene mucho sentido ya que otros sistemas resultan más económicos y de mayor eficiencia.

Colectores de Techo

Una alternativa que permite la captación a través del techo es el sistema "Harold Hay" (o "roof-pond") que consiste en bolsas de agua sobre una estructura horizontal de chapa con una hoja de vidrio cubriéndola. Necesita una "tapa" que lo aisle de las pérdidas nocturnas o la radiación de verano. Este sistema permite el enfriamiento en el verano, justamente aprovechando las pérdidas de radiación nocturna.

Otro sistema (híbrido: pasivo y mecánico): presenta un techo inclinado de chapa oscura que actúa como colector y un ventilador que produce una circulación forzada entre colector y área de acumulación la que se ubica preferentemente bajo el piso.

Los dos sistemas permiten una captación de la radiación sobre superficies horizontales o levemente inclinadas de mayor aptitud en bajas latitudes, un control de flujos de calor para evitar o reducir sobrecalentamiento y un almacenamiento entre el colector y el espacio acondicionado. En este último aspecto comparten las características del muro acumulador.

Otros Sistemas

El colector con circulación por termosifón y acumulación en lecho de piedras; el sistema Barra Constantini.

Ambos por sus características constructivas dependen en su uso más que por sus resultados a nivel energético, de la adecuación al proyecto de la vivienda. Por lo tanto no son aptos para una aplicación generalizada.

El primero necesita un terreno con pendiente hacia el Ecuador y grandes separaciones entre edificios.

El segundo, consta de un colector vertical (placa metálica sobre un vidrio) y una losa cerámica horizontal (almacenamiento) con conductos que permiten la circulación de aire por termosifón. Puede responder a las necesidades de una vivienda en doble altura.

REGIONES SOLARES

Como resultado de la compatibilización establecida entre las características climáticas-solarimétricas y de las características de los sistemas solares se definieron las siguientes "regiones solares" optimizando la aptitud de cada uno de ellos (fig. 7 y tabla 1).

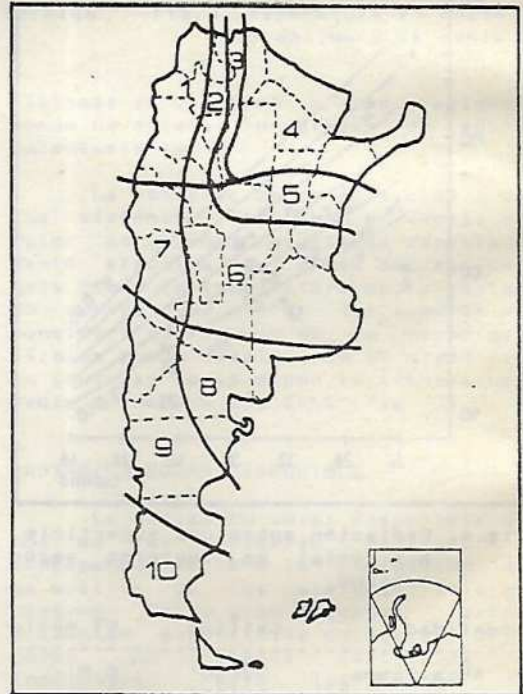


Fig.7 Regiones solares de la Argentina.

- | | |
|----------------------|-----------------|
| 1 Puna | 6 Templado |
| 2 Templado norte | 7 Templado seco |
| 3 Templado cálido N. | 8 Frio |
| 4 Cálido | 9 Muy frío |
| 5 Templado cálido | 10 Muy frío sur |

en distintas latitudes del país con la misma claridad de atmósfera, salvo en aquellas que supera los 44°S.

Así, por ejemplo, Trelew (43°S) recibe un intensidad promedio en invierno sobre una superficie horizontal similar a la intensidad recibida en Marcos Suarez en la provincia de Santa Fé (32°S). La diferencia en la claridad de la atmósfera en las dos localidades es menos que 2%. Una superficie vertical en el Alto Valle de Rio Negro (39°S), en Viedma (40°S) o en Bariloche (41°S) recibe mejor asoleamiento que la recibido en San Miguel, Buenos Aires (34°S) o Cerro Azul, Misiones (27°S) en la misma época del año.

Pero la variación de los valores de radiación sobre una superficie verticales mayor que la variación de los valores sobre superficies horizontales con la misma diferencia en KT.

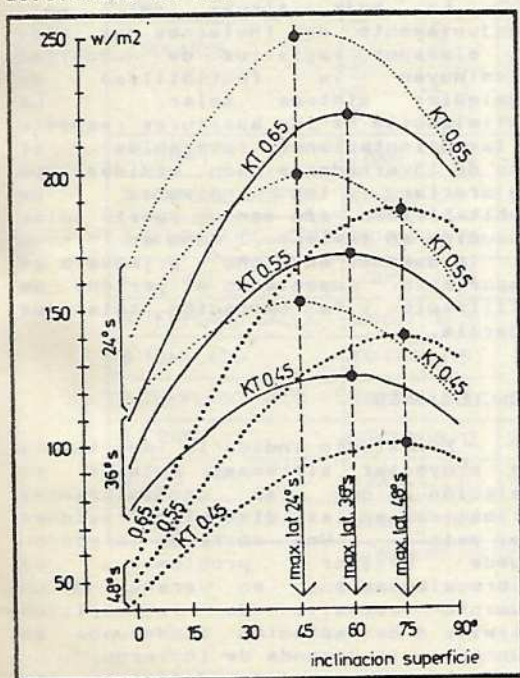


Fig.4 Radiación sobre superficies inclinadas según latitud y KT.

Radiación promedio sobre superficies inclinadas.

Los resultados del programa indican también los ángulos de inclinación óptima en invierno para superficies colectoras en distintas latitudes, según los valores del índice KT. Es importante resaltar que esta última variable no produce variaciones significativas en el ángulo

óptimo, aunque influye en los valores absolutos de radiación:

Latitud	Ángulo de incidencia óptima
24°S	45° (15' - 75')
36°S	60° (30' - 90')
48°S	75° (45' - 90')

Nota: Las cifras entre parentesis indican la variación posible con una disminución máxima de 12% cuando KT=45%.

CARACTERISTICAS DE SISTEMAS SOLARES

En este estudio se consideran cuatro categorías básicas de sistemas solares pasivos:

Ganancia Directa.

El sistema más sencillo; una abertura vidriada vertical con orientación al norte con simple o doble vidrio. Es el sistema que permite una mayor captación, pero tiende a acentuar la amplitud de la temperatura interior, con temperaturas máximas interiores que coinciden con las exteriores. En muchas aplicaciones resulta el sistema más económico pero tiene mayores pérdidas de noche y en días nublados que los sistemas alternativos, inconveniente éste que se puede compensar, por lo menos parcialmente, con una aislación nocturna eficaz como postigones aislados.

La Ganancia Directa también cumple las funciones de abertura convencional: visuales, iluminación natural, etc. En verano es posible lograr una protección de la radiación directa sobre superficies verticales con un alero, pero solamente parcial de la radiación difusa.

Muro Acumulador

Se considera el muro acumulador sin ventilación y el muro Trombe (con ventilación) por sus características similares. El uso de un muro, con gran capacidad térmica, entre la superficie captadora y el espacio acondicionado, produce un retraso en la entrega de calor que invierte la variación de temperatura del exterior, característica muy útil en climas de gran amplitud térmica. No permite visuales o iluminación natural, razón por la cual es deseable combinar este sistema con el de ganancia directa. Las proporciones de cada sistema dependerán de las condiciones climáticas-solarimétricas y de las características del proyecto.

Zona 1 - Puna

La combinacin de temperaturas bajas (alta demanda) con radiación intensa (máxima oferta) es ideal para el empleo de sistemas solares. Los problemas de transporte, la baja densidad de población y la escasez de combustible convencional también favorecen y apuntan a su empleo.

El muro Trombe sería el sistema más conveniente, por su compatibilidad con la gran amplitud térmica, aunque también se puedan usar sistemas de techo. Es muy importante la aislación nocturna.

Zona 2 - Templado

Si bien las temperaturas y amplitudes térmicas son menores que en la zona 1, son aptos los mismos sistemas. También se puede incrementar el uso de ganancia directa, siempre que se cuente con protección solar en verano. Un alero reducido funciona bien en esta latitud.

Zona 3 - Templado Cálido Norte

La temperatura más templada, la amplitud térmica menor y, sobre todo, las elevadas temperaturas en verano hacen más necesaria la protección solar. La ganancia directa será el sistema más apto, pero otros como el Trombe y el de techo también son posibles.

Zona 4 - Cálido

Los inviernos cortos y poco rigurosos hacen menos factible la incorporación de sistemas costosos. La protección solar es fundamental y la ganancia directa, proyectada para evitar sobrecalentamiento, es el único sistema que se justifica. La aislación nocturna tiene menor importancia en este caso.

Zona 5 - Templado Cálido

Parecido a la zona 4, los inviernos son levemente más fríos, justifica la posibilidad de usar muros Trombe. La radiación sobre superficie horizontal es aún apta para el empleo de sistemas de techo.

Zona 6 - Templado

La ganancia directa es el sistema más apto, pero los sistemas de techo y muro Trombe también son posibles. La protección estival y la aislación nocturna son de considerar.

Zona 7 - Templado Seco

La mayor amplitud térmica y la buena heliofanía favorecen el uso de muro Trombe. Una orientación de sistemas de ganancia directa inclinada hacia el este reducirá los problemas de sobre-calentamiento a la tarde.

Zona 8 - Frio

Las temperaturas menores en verano posibilitan el uso de invernaderos pero con precauciones como el uso de ventilación y inercia térmica para evitar sobrecalentamiento. Las condiciones relativamente secas permiten buenas intensidades de asoleamiento, especialmente sobre superficies verticales. Una buena aislación nocturna es imprescindible.

Zona 9 - Muy Frio

Las temperaturas muy bajas limitan el uso del muro Trombe mientras la menor altura angular del sol en invierno no favorecen el uso de colectores horizontales. El invernadero no sufre sobre-calentamiento, siendo un elemento muy útil por sus funciones complementarias, a pesar de su rendimiento relativamente bajo.

Zona 10 - Muy Frio Sur

La baja altura del sol, conjuntamente con inviernos muy fríos y elevados registros de nubosidad disminuyen la factibilidad de cualquier sistema solar. La optimización de las aberturas respecto a las orientaciones favorables y el uso de invernaderos son medidas que mejorarían los niveles de habitabilidad, aún con un aporte solar reducido en invierno. Como en la zona 9, la demanda en otoño y primavera es importante, aumentando el periodo de utilización y la captación total de energía.

CONCLUSIONES

El estudio indica la importancia de proyectar sistemas solares en relación con las condicionantes climáticas en las distintas regiones del país. Una correcta elección puede evitar problemas de sobrecalentamiento en verano, de un aumento excesivo de la amplitud térmica o de captación inadecuada en función a la demanda de invierno.

Las diez regiones definidas (ver Tabla 1.) sirven para orientar al proyectista, aunque existan estrategias alternativas para el uso de los sistemas solares en cada zona del país. El sistema de captación y acumulación está relacionado no solamente con el medio externo, sino también con las características y uso del espacio que acondiciona y éste a su vez está sujeto a las variaciones ambientales.

En la próxima etapa del trabajo se estudiará la incorporación de los sistemas solares en el diseño.

REFERENCIAS

1. Clasificación Bioambiental de la Republica Argentina, Norma IRAM 11.603, IRAM, Buenos Aires, 1978.
2. Rosenfeld, E., Guerrero, J. L. y Pouzo, M.A., Factibilidad Técnico Económico de los Colectores Solares de Agua Caliente en Argentina 1980, Actas de la 7a. Reunion de Trabajo de ASADES, Rosario 1981.
3. Liu, B.Y.H. y Jordan, R.C., The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation, Solar Energy 4(3), 1-19, 1960.
4. Page, J.K., The Estimation of Monthly Mean Values of Daily Short Wave Radiation on Vertical and Inclined Surfaces., University of Sheffield, Department of Building Science, Report BS32, July 1976.
5. Duffie, J.A. y Beckman, W.A. Solar Thermal Processes, Wiley Interscience, New York, 1974.

TABLA 1 CARACTERISTICAS DE LAS REGIONES SOLARES

REGIONES SOLARES	CLIMA			RADIACION		SISTEMAS SOLARES			
	GRADOS DIAS	AMPLITUD JULIO	TEMP °C ENERO	RADIACION HORIZONTAL W/m ²	RADIACION VERTICAL W/m ²	GANANCIA DIRECTA	MURO TROMBE O ACUMULADOR	INVERNADERO	TECHO COLECTOR
1 PUNA	>2000	>18	<20	>150	>150		● A		● Ho I
2 TEMPLADO NORTE	800-2000	>16	20-24	>150	>150	● A+P	● A+P		● Ho I
3 TEMP. CALIDO NORTE	400-800	15-16	22-28	120-150	120-160	● A+P	● A+P		● Ho I
4 CALIDO	<400	11-15	>26	100-130	80-130	● P			
5 TEMPLADO CALIDO	400-800	10-15	24-26	100-130	80-130	● P	● P		● I
6 TEMPLADO	800-1500	<15	22-26	80-120	80-130	● A+P	● A+P		● I
7 TEMPLADO SECO	1500-2000	>15	16-24	100-150	90-160	● A+P	● A+P		● I
8 FRIO	1500-2000	9-12	20-24	<100	70-120	● A		●	
9 MUY FRIO	>2000	<10	16-20	<70	60-100	● A		●	
10 MUY FRIO SUR	>2500	<10	<16	<70	<70	● A		●	

A=Asociación nocturna P=Protección solar H=Horizontal I=Inclinado