



## METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO OPTIMIZADO DE LAS HERRAMIENTAS DE CONTROL SOLAR Néstor A. Mesa, David Morillón\*

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza  
Tel. 0261-4288314 – Fax 0261-4287370 E-mail: amesa@lab.cricyt.edu.ar

\*Programa Universitario de Energía, Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria, México DF.  
Tel: 5622 81 38 al 43, Fax: 5622 81 37 E-mail: damg@pumas.iingen.unam.mx

**RESUMEN:** El diseño tradicional de edificios, por regla general, no incluye el estudio a detalle de todas las variables que influirán en la comodidad higrotérmica de sus ocupantes, y por lo tanto se recurre al uso del aire acondicionado y/o calefacción para lograr este fin, cuando se dispone de los medios económicos para poder usarlo (Ontary Ministry of Energy, 1984).

El análisis bioclimático es un medio para lograr el diseño de edificios confortables, que funciones como sistemas termodinámicos eficientes, lo cual implica que se logre la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía. Con base en lo anterior, se presentan ideas y métodos para la climatización natural de edificios, con el objetivo de aportar técnicas para el diseño adecuado del edificio y la apropiada selección de sus componentes (muros, techos, pisos, orientaciones, etc.) que al interactuar con el clima tomen ventaja de él para lograr el bienestar térmico de sus ocupantes.

Dentro de esta línea la apropiada utilización de la energía solar disponible es un paso importante en busca de la optimización energética edilicia. Aprovechar la energía en épocas invernales y protegerse en los periodos de calor son linimientos básicos, que no siempre se llevan a la práctica en forma adecuada. En este documento se presenta una metodología para el diseño de las protecciones solares de la aberturas de las edificaciones. La metodología empleada se articula con el análisis de las condiciones climáticas y los índices de confort térmico, para obtener de esta manera los ángulos necesarios más eficientes para el diseño de la protección solar para las distintas orientaciones del aventanamiento, de un área evaluada (Área Metropolitana de Mendoza)

**Palabras claves:** control solar, requerimientos térmicos, confort térmico.

### INTRODUCCIÓN

Los conocimientos adquiridos por las civilizaciones antiguas acerca del clima y del desplazamiento del sol, no se ven reflejados en la actualidad en muchas de las decisiones de diseño arquitectónico o urbano, lo que provoca una desvinculación entre la edificación y su medio ambiente energético. Desafortunadamente no se considera que estas edificaciones tengan una función térmica al igual que todos los cuerpos, puesto que ganan o pierden calor a través de las partes transparentes.

Durante el verano las ganancias de calor, crea una incomodidad térmica en la mayoría de las nuevas edificaciones sumando su efecto al que se produce en la atmósfera por la acción de la radiación. Debido a esto, se ve la necesidad de climatizar artificialmente, originando así un aumento en el consumo energético.

El problema no es la eliminación completa de los efectos de la radiación solar, sino su correcta regulación de acuerdo a cada época del año, es decir, la protección del asoleamiento en verano y la ganancia más adecuada en invierno. Por lo general para el diseño de dichas protecciones se utiliza ecuaciones o graficas que analizan la información del recorrido solar y nos dan las horas efectivas de soleamiento para cada estación del año, pero ante un mismo valor de latitud geográfica, el sol tiene el mismo recorrido, y de esta manera no se estaría contemplando los requerimientos térmicos del sitio evaluado, y el resultado obtenido puede no ser el óptimo.

La metodología empleada se articula con el análisis de la disponibilidad del recurso solar, las condiciones climáticas del área evaluada (Área Metropolitana de Mendoza) y los índices de confort térmico, para obtener de esta manera los ángulos más eficientes para el diseño de la protección solar para distintas orientaciones del aventanamiento.

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM) se caracteriza por presentar veranos cálidos secos, con un generoso recurso solar, una estrategia básica a tomar en este tipo de climas para la estación estival es evitar las ganancias de calor, diseñando protecciones solares que eviten el ingreso de la radiación solar a través de los aventanamientos.

## LA EFICIENCIA DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN SOLAR. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

El procedimiento habrá de realizarse una sola vez, debido a que éste arrojará como resultado una guía precisa con la dimensión óptima de los dispositivos de protección solar (aleros y parasoles) de acuerdo a la orientación de las ventanas. (Gómez, A. 1991; Morillón, D., 2004) Para realizar el diseño de los elementos de control solar se requiere de los siguientes datos y herramientas:

1. **Datos horarios de temperatura ambiente**, cuando menos de un día por mes. Un **instrumento de diagnóstico de confort**, por ejemplo la temperatura de neutralidad que nos permita evaluar las condiciones de comodidad térmica.
2. Dos **gráficas solares** (proyección estereográfica), una para cada semestre.
3. **Mascarillas de sombreado** para superponerse a las gráficas solares. Estas mascarillas representan la obstrucción a la radiación solar producida por los aleros y por los parasoles, a cada 10° como mínimo.

### 1. Análisis climatológico, diagrama de requerimientos de climatización

Con los datos climáticos del lugar (temperatura horaria de un día mensual tipo), se realiza el análisis de los mismos para poder determinar los requerimientos térmicos. La primera etapa del análisis, se puede realizar mediante una gráfica o Cronograma de Requerimientos Térmicos Anuales (figura 1). El mismo se conforma con los registros de temperaturas horarias suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional. Los límites de confort han sido establecidos en este caso, a través de la de la Temperatura Neutra o Termopreferendum (Auliciems, A, 1997).

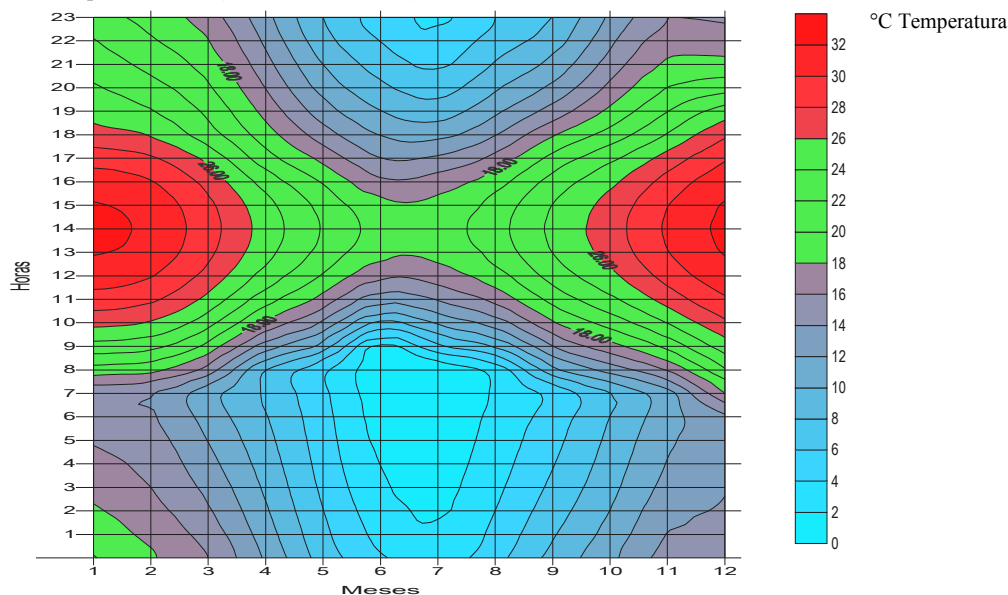


Figura 1: Diagrama de requerimientos de climatización, correspondiente a la estación Mendoza Observatorio del SMN.

La expresión analítica del Termopreferendum nos da como resultado los rangos de temperatura de confort de una localidad, en cada época del año y se calcula mediante la ecuación:

$$Trm = 17.6 + (0.31 \times To) [1] \text{ en } ^\circ\text{C} \quad \text{Siendo: } Trm: \text{ Temperatura de Termopreferendum y } To: \text{ Temperatura Media Mensual}$$

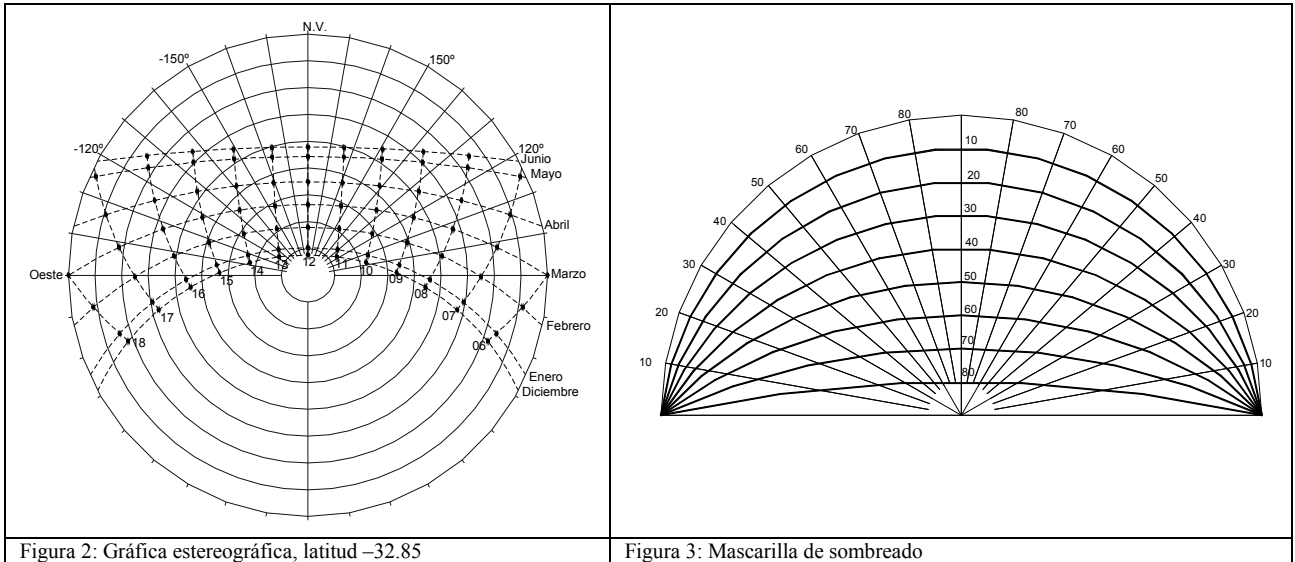
De los valores obtenidos el rango de confort, se extiende a  $\pm 2.5^\circ\text{C}$  de  $Trm$ . La temperatura ambiente por encima de tal umbral indica los períodos de sobrecalentamiento y, por el contrario, si la temperatura está por debajo del umbral, indicará periodo de frío.

Una vez que los requerimientos de climatización de la localidad analizada han quedado definidos, se puede proceder a diseñar los elementos del control solar que den respuesta a dichos requerimientos. Los elementos de control solar (aleros y parasoles) obstruyen la componente directa de la radiación solar, cuando el diagnóstico obtenido es la necesidad de calentamiento, debe favorecerse el paso de la radiación solar. Si por el contrario resulta necesario el enfriamiento, la sombra debe utilizarse como estrategia. Para los períodos en que la temperatura ambiente coincida dentro del rango de confort, el requerimiento será de obstrucción o ganancia solar según sean los requerimientos medios del mes analizado (Mesa, N. 1997).

2. **Gráficas solares:** La herramienta utilizada para el diseño de aleros y parasoles es la “gráfica solar estereográfica”, que muestra para cada latitud, la posición del sol sobre la bóveda celeste, tanto en altura como en acimut, para cada mes y hora del año. Los círculos concéntricos, espaciados a cada 10°, representan la altura solar. El círculo externo corresponde a 0° y representa el horizonte, mientras que el punto central corresponde a 90° y representa el cenit. Las líneas radiales que parten del centro hacia la periferia, espaciadas a cada 10°, representan el acimut solar medido a partir del sur, siendo positivo al Este y negativo al Oeste.

Los puntos negros representan la posición del sol a cada hora del día (unidos por líneas de norte a sur) y en cada uno de los meses del año (unidos por líneas de Este a Oeste). La información así plasmada representa las rutas o trayectorias solares. (figura 2)

3. **Mascarilla de sombreado:** Una forma práctica de representar la protección relativa que ofrecen aleros y parasoles, se logra mediante las llamadas “mascarillas de sombreado”, en las cuales se muestra cada 10°, desde el horizonte hasta el cenit (para los aleros), y desde el sur hasta el norte (para los parasoles), la obstrucción relativa (ángulo de obstrucción) que presentan dichos elementos a la radiación solar (figura 3).



#### Procedimiento de cálculo del ángulo óptimo de aleros para el caso del AMM

Una vez que se tiene la información del diagrama de requerimientos de climatización obtenido anteriormente, se transfiere la misma a cada gráfica solar, resaltando si el requerimiento es de ganancia o sombreado. Enseguida se suman las horas totales por semestre que requieren asoleamiento, así como la suma de horas que requieren sombreado (figura 4), se contabiliza el número de horas totales por semestre que se requiere calefaccionar (sensación de frío), así como las que se necesita enfriar (sensación de calor), durante el intervalo en que el sol se encuentra en la bóveda celeste, (entre las 6 y las 18 horas) para cada uno de los meses.

En las horas en que se tiene frío se deberá permitir el paso de la radiación, mientras que en las horas que se presentan condiciones de calor deberá buscarse la protección solar. Las horas de confort podrán ser consideradas para un caso u otro (protección o captación) según sea la temporada y los requerimientos medios de la zona. En invierno el ingreso de radiación en las horas de confort puede ser acumulado por la construcción y esta energía ser devuelta y aportar a mejorar la situación en las horas de frío. La situación de verano sería la inversa.

Para obtener el número de horas con requerimiento de calefacción (T1) por mes, se multiplica el número de horas de frío del día tipo, por el número de días del mes. El mismo procedimiento se debe realizar para calcular el total de horas con requerimiento de enfriamiento (T2) Por ejemplo para el caso de una ventana con orientación plena al norte para la ciudad de Mendoza, en el mes de enero se presentan 0 horas de frío, y 186 horas de calor. Esto mismo cálculo se debe realizar para cada mes (figura 4).

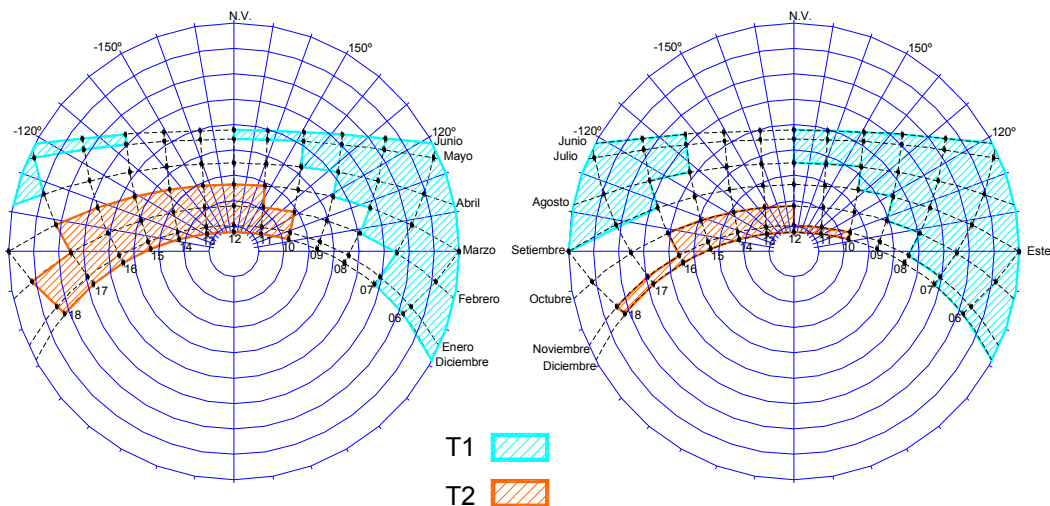


Figura 4: Gráfica solar de los semestres Enero-Junio y Julio-Diciembre. Mendoza Observatorio.

Una vez obtenidas las horas por mes que requieren soleamiento o aprovechamiento solar (T1) y las que requieren protección solar o sombra (T2), se suman las horas totales de T1 y T2 para cada semestre (tabla 1).

Tabla 1: Número de horas que requieren ganancia de calor (T1) o protección (T2), semestre Enero – Junio. Mendoza Observatorio.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
T1	0	28	124	150	279	279	860
T2	186	196	217	0	0	0	599

Con la información a las gráficas solares, se comienza por analizar la eficiencia de los elementos de control solar, empleando la mascarilla de sombreado. Se sobrepone la mascarilla que representa a un alero con protección desde el 0° hasta 90°, con una variación de 10° (figura 5).

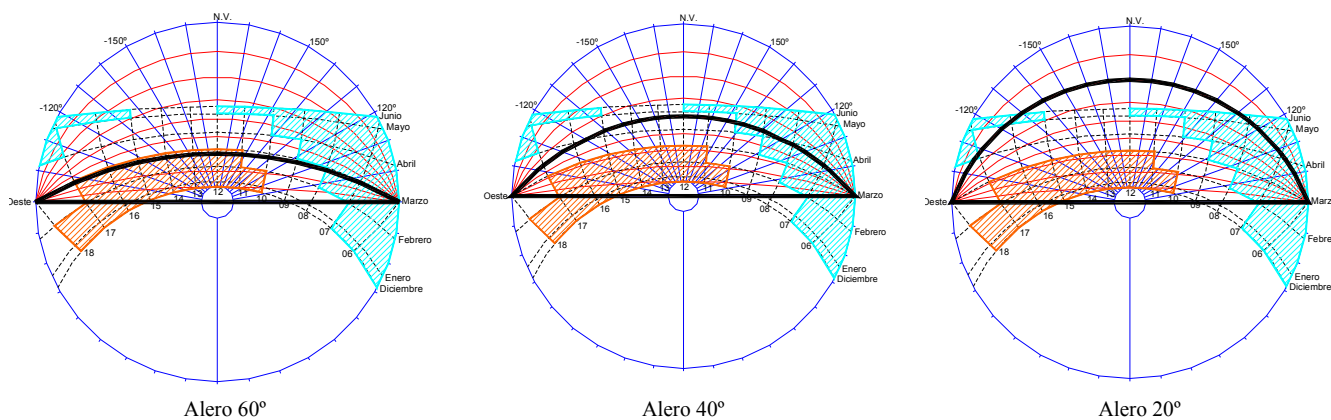


Figura 5: Mascarillas de sombreado sobre gráfica solar, para un alero con orientación norte, semestre Enero – Junio. Mendoza Observatorio. Ejemplos ángulos de 20°, 40° y 60°.

Esta mascarilla ocultará parte de las rutas solares, por lo que se podrá cuantificar cuántas horas de las que requieren sombra (T2) quedan dentro de la protección del alero (K) y cuántas de las que requieren soleamiento (T1) quedan fuera de la protección del alero (L).

K: Horas que requieren sombra y no son protegidas (quedan fuera del alero).

L: Horas que requieren sol y no quedan protegidas (quedan fuera del alero).

A continuación se calcula la eficiencia del alero para cada porcentaje de protección para el periodo de calor (EPC) y para el periodo de frío (EPF), con las siguientes ecuaciones:

$$EPC = (1 - (K/T2)) \times 100 \quad [2] \quad EPF = (L/T1) \times 100 \quad [3]$$

De esta forma se obtiene toda la información acerca de la eficiencia de los aleros con diferentes ángulos de protección, para la orientación analizada. (tabla 2)

Tabla 2: Cálculo de K y L para cada mes del semestre evaluado, para cada ángulo del alero. Mendoza Observatorio.

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
0	K	0	0	0	0	0	0	0
	L	0	0	0	0	0	0	0
10	K	0	0	0	0	0	0	0
	L	0	0	0	0	60	60	120
20	K	0	0	0	0	0	0	0
	L	0	0	0	0	60	120	180
30	K	0	0	0	0	0	0	0
	L	0	0	0	60	180	210	450
40	K	0	0	0	0	0	0	0
	L	0	0	0	90	279	279	648
50	K	0	0	0	0	0	0	0
	L	0	0	0	150	279	279	708
60	K	0	0	217	0	0	0	217
	L	0	0	93	150	279	279	801
70	K	0	140	217	0	0	0	357
	L	0	0	93	150	279	279	801
80	K	155	196	217	0	0	0	568
	L	0	28	93	150	279	279	829
90	K	186	196	217	0	0	0	599
	L	0	28	124	150	279	279	860

Por otra parte, la eficiencia global de los elementos de control durante todo el año (ED), es decir, la eficiencia ponderada, se define como:

$$ED = (T1/(T1+T2)) \times EPF + (T2/(T1+T2)) \times EPC \quad [4]$$

Los ángulos óptimos de protección solar son los medidos a partir de la horizontal del lugar y la línea que une la parte inferior de la ventana con el extremo más sobresaliente del alero (figura 6a y 6b).

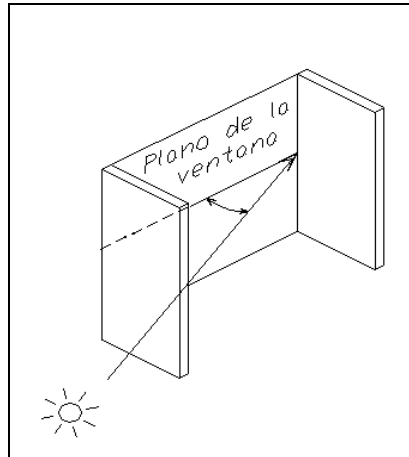
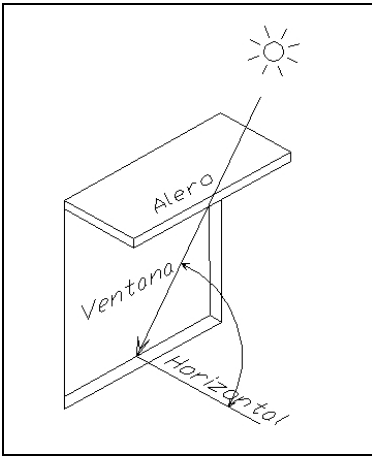


Fig. 6a Ángulo de protección del alero

Fig. 6b Ángulo de protección del parasol

El ángulo óptimo de protección solar para cada orientación es el correspondiente al valor máximo de la eficiencia ponderada del alero (ED) de ambos semestres. Dicho ángulo corresponde al valor del punto en que se cruzan las eficiencias para los periodos de calor (EPC) y de frío (EPF) (tabla 3).

Tabla 3: Valores de EPC, EPF y ED para cada ángulo del alero, obtenidos de [2], [3] y [4] semestre Enero - Junio. Mendoza Observatorio.

T1	T2	Angulo	K	EPC	L	EPF	ED
860	599	0°	0	100	0	0	41
860	599	10°	0	100	120	14	49
860	599	20°	0	100	180	21	53
860	599	30°	0	100	450	52	72
860	599	40°	0	100	648	75	85
860	599	50°	0	100	708	82	90
860	599	60°	217	64	801	93	81
860	599	70°	357	40	801	93	71
860	599	80°	568	5	829	96	59
860	599	90°	599	0	860	100	59

T1: horas por mes que requieren soleamiento o aprovechamiento solar  
T2: horas por mes que requieren protección solar o sombra.  
Angulo: ángulo del alero.  
K: Horas que requieren sombra y no son protegidas  
EPC: Eficiencia para el período de calor.  
L: Horas que requieren sol y no quedan protegidas  
EPF: Eficiencia para el período de frío.  
ED: Eficiencia ponderada.

En el ejemplo analizado el ángulo óptimo del alero para la orientación norte corresponde a los 54°. Una vez obtenido el ángulo óptimo para una orientación dada, se procede a calcular el ángulo óptimo para cada una de las restantes orientaciones, siguiendo el procedimiento descrito (figura 7).

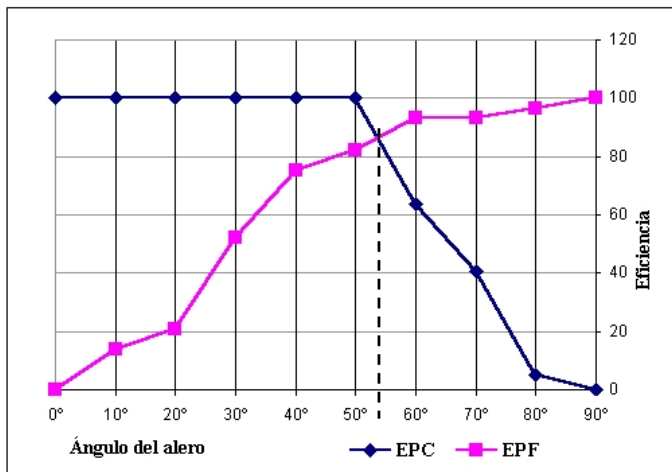


Figura 7: Eficiencia de los ángulos del alero en la fachada norte. Mendoza Observatorio.

### Cálculo de los ángulos óptimos de parasoles

Para el cálculo de parasoles, la mascarilla de sombreado que se empleará será la de líneas en forma radial de la gráfica estereográfica, cada  $10^\circ$ . Se coloca la mascarilla sobre la gráfica solar en la orientación elegida y la cuantificación se realiza de la misma manera que para los aleros, se contabilizan las horas por semestre que requieren sol y quedan fuera de la protección del parasol, así como las que requieren de protección solar y no quedan protegidas por el parasol (figura 8).

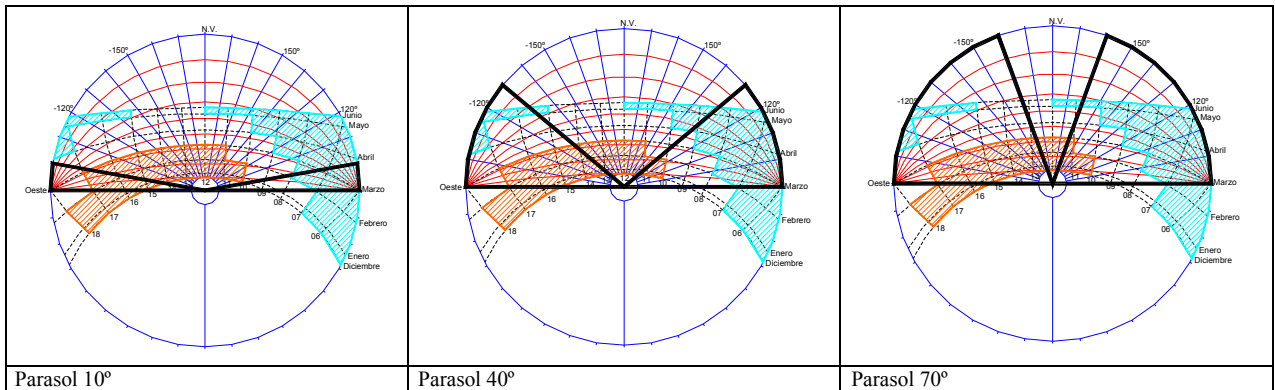


Figura 8: Mascarillas de sombreado de parasoles de ángulos variados, para la orientación norte. Mendoza Observatorio.

Con los valores de T1, T2, K y L, para los parasoles, tomando las mismas ecuaciones que para el cálculo de los aleros de obtienen los valores de EPC, EPF y ED. De igual forma que en el caso de los aleros el resultado del análisis brinda el ángulo óptimo de protección requerida para una orientación dada.

### CONCLUSIONES

La utilidad de la metodología analizada para el cálculo de la eficiencia de los dispositivos de protección solar, puede ser evaluada para diversos fines:

Como apoyo didáctico en la enseñanza del diseño, enfatizando para los estudios la idea de que la más mínima variación en la orientación de un plano cualquiera tiene repercusiones importantes, en cuanto a ganancia solar, y por tanto, en los requerimientos que deben satisfacer los dispositivos de control solar.

Como guía para establecer las normas que deben respetar las construcciones en determinada localidad, la cual debería ser incluida en los reglamentos de construcción y de desarrollo urbano, de modo que se puedan alcanzar ahorros energéticos significativos a la vez que mayores expectativas de confort para los ocupantes de las edificaciones.

Como ayuda en la toma de decisiones de diseño de estos elementos en conjunción con los demás aspectos del diseño bioclimático, para la obtención de confort

### REFERENCIAS

- Auliciems, A., Szokolay, V. (1997) Thermal Comfort Passive and Low Energy Architecture International.
- Bowen, A., Fundamental of Solar Architecture, Solar Energy Conversion, Procc. School of Engineering and Architecture, Univ. of Miami.
- Gómez A., Gabriel, (1991) Procedimientos para evaluar la eficiencia de los dispositivos de sombreado, Memorias de la XV Reunión Nacional de Energía Solar, Zacatecas, Zac, pp. 200-204.
- Givoni, Baruch (1997), Climate Considerations in Buildings and Urban Design. Van Nostrand Reinhold. Printed en USA.
- Ontary Ministry of Energy (1984) A Manual Method for Optimizing Low Energy/Passive Solar Home Design, Ontario.
- Mesa, A. y Morillón, D. (1997), Análisis de los métodos para lograr condiciones de confort higrotérmico en espacios arquitectónicos, Memorias de la XXI Semana Nacional de Energía Solar, PP. 470-477, Chihuahua, Chih.
- Morillón, D. (1996), Diseño bioclimático; Una arquitectura adecuada al clima, Revista Enlace, año 6, No. 7, Ed. Colegio de Arquitectos de la ciudad de México y Federación de Colegios de Arquitectos de la República Mexicana.
- Morillón, D.; Mejía, D. (2004) Modelo para el diseño y evaluación del control solar en edificios. Ed. II-UNAM.
- Morillón, J. R., y Morillón, D., Recomendaciones para el diseño de protección solar en varias localidades del estado de Jalisco, Memorias de la XIX Reunión Nacional de Energía Solar, La Paz, B.C.S.
- Morillón, D. (2000), Metodología para el diseño bioclimático, Memorias del Millennium Forum Solar, organizado por la International Solar Energy Society y ANES, México, D.F.
- Olgay, V. (1963), Design with climate, Ed. Princeton University Press, Estados Unidos.
- Olgay V., Bioclimatic Orientation Method for Buildings, Int. J. of Biomet, Vol. 11, No. 2, pp. 163-174.
- Sobin, H., Abstracts, College of Architecture, University of Arizona, Tucson.
- Szokolay, S.V., (1980) Environmental Science Handbook, Lancaster, (England). The construction Pres, 532 p.