

Capítulo 5

ASOLEAMIENTO Y CONTROL SOLAR

Dr. Arq. San Juan Gustavo

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más importantes de la arquitectura conciente con las variaciones climáticas del lugar, es la defensa en el período estival de la incidencia de los rayos solares y de sus aportaciones solares no deseadas, y el aprovechamiento de sus de esta radiación térmica en el período invernal.

Siglos de ensayos, de prueba y error han proporcionado no sólo una conciencia sobre el tema sino, la respuesta mediante infinidad de maneras posibles de resolverlo. Ya Aristóteles (384-322 a de C.) y Marco Vitruvio Polión (s. I a de C.) arquitecto-ingeniero y tratadista romano, en su *“De Architectura”* (23-27 aC.), o Andrea Palladio (1518-1580), trataron el tema y la correcta orientación de la edificación o sea de exponer los edificios al sol por razones climáticas e higiénicas.

Así Vitruvio decía *“....los edificios particulares estarán bien dispuestos si desde el principio se ha tenido en cuenta la orientación y el clima en que se van a construir; porque esta fuera de duda que habrán de ser diferentes las edificaciones que se hagan en Egipto que las que se efectúen en España... puesto que una parte de la tierra esta bajo la influencia inmediata de su proximidad al sol, otra por su distancia a el y otra por su posición inmediata resulta templada...”* .

Pero ya en le siglo XX, el mismo pensamiento aparece reflejado en las palabras y la obra de Le Corbusier (1887-1965) y más cercano a nosotros en las obras de Victor Olgyay *“Arquitectura y Clima”* y *“Vivienda y Clima”* de Vladimiro Acosta (1900-1972). Una postura regionalista frente a la revolución formal internacionalista nacida del Movimiento Moderno, extendida hasta los años 50, donde las paredes de vidrio, los grandes ventanales y la ausencia de protecciones solares sin un posición crítica y propositiva frente a la racionalidad esbozada anteriormente en la palabras de Vitruvio, impulsó una arquitectura situada fuera de su lugar. En las últimas décadas las posturas de

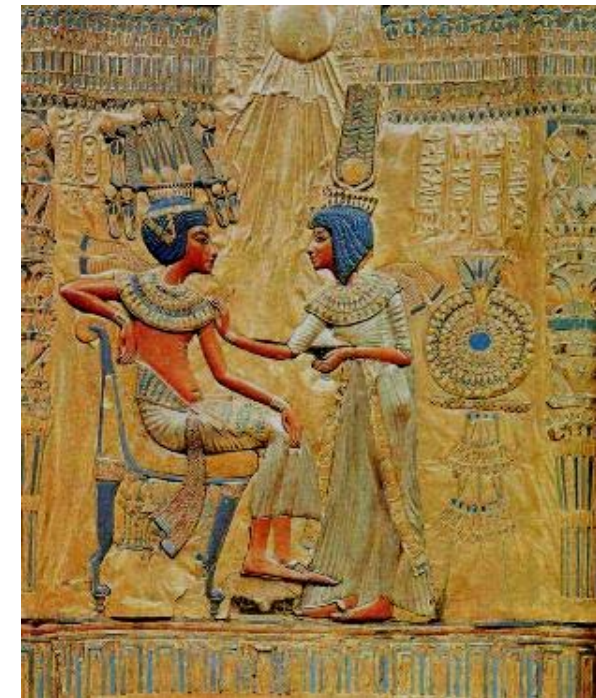
respeto de las condiciones locales y de la adecuación de la arquitectura a las condiciones de su clima, de su contexto, han ganado una posición, la cual ha sido facilitada a partir del conocimiento tecnológico con que se cuenta en la actualidad sobre los procesos actuantes y como mitigarlos o aprovecharlos. El desarrollo histórico de la arquitectura, nos muestra una multiplicidad de maneras de protegernos o aprovechar el sol, el patio, la galería, el trillage, las cortinas, las persianas, los techos de sombra, los parasoles, la propia disposición y forma del edificio, el uso de la vegetación entre otros, son ejemplos reconocibles en nuestras ciudades.

De todas maneras en la actualidad, en los núcleos urbanos no se tiene en cuenta una normativa al respecto al tema y que garantice por ejemplo las condiciones de asoleamiento mínimas, higiénicas con respecto al “**acceso al sol**”.

El sol constituye la fuente más importante que regula las variaciones de las características climáticas a partir de la incidencia de su energía radiante sobre nuestro planeta, influyendo sobre todos los demás factores del tiempo. Las fluctuaciones de la temperatura, ya sean diarias o estacionales están gobernadas por el ciclo solar, por ejemplo el viento a partir de la generación de zonas de alta y baja presión que la radiación solar genera en la atmósfera; o el fenómeno de la evaporación, el cual produce la humedad del aire y las lluvias.

Es entonces que uno de los principios de la arquitectura – llamémosle, si la consideramos bioclimática-, es la exposición del edificio al sol, lo que comúnmente denominamos, “orientación”. Esta involucra factores fisiológicos como las radiaciones térmica

y lumínica; las variaciones de la temperatura del aire; la acción del viento; los efectos acústicos del polvo y otras impurezas; la exposición del organismo a pocas horas de luz. Y factores psicológicos tales como las vistas desagradables del entorno, o la falta de privacidad. Es por ello que se debe tener en cuenta la cantidad de radiación solar que incide sobre las distintas fachadas de un edificio, lo cual determina la diferencia entre confort y discomfort, asociado al punto de vista energético, climático, higiénico y psicológico.



El faraón Tutankamon y su mer protegidos por el disco solar
(Relieve de oro, sepulcro del faraón. Museo de El Cairo)

2. LA RADIACION SOLAR

Para diseñar una protección solar debemos de conocer una serie de estrategias y técnicas, pero además alguna información acerca de las propiedades de la radiación solar. El sol irradia grandes cantidades de energía al espacio, pero sólo una parte de ella llega hasta nuestro planeta, siendo esta mayor a toda la energía generada en la Tierra. La temperatura media de la superficie terrestre, considerada esta como cuerpo negro, es de unos 6000°K (5727°C), siendo la potencia total emitida por el sol del orden de 1023Kw y la recibida por la tierra de 1014Kw. En la capa superior de la atmósfera terrestre, la irradiancia recibida es prácticamente constante y su valor se aproxima a 1353W/m² (constante solar).

Para percibir la acción de esta radiación sobre la Tierra, es necesario interpretar el movimiento de **translación** y **rotación** de esta última. Es así que la insolación sobre la superficie terrestre no se produce de modo uniforme, debido a la forma redondeada de nuestro planeta, a la inclinación de su eje y a la distancia de ésta con el sol, en las diferentes épocas del año. Las zonas irradiadas verticalmente se calientan más que las que reciben los rayos en dirección oblicua, por lo tanto la intensidad o potencia energética de la radiación solar que llega a la tierra, depende del espesor de la capa atmosférica que tiene que atravesar antes de alcanzar la superficie terrestre, siendo este espesor función de la altura del sol sobre el horizonte. La cantidad de energía solar por unidad de superficie que incide en una determinada región de la Tierra depende de dos factores: la intensidad y la duración de la insolación solar, o sea la cantidad de horas de sol.

La tierra posee una capa que la envuelve y la protege de esta radiación, generando las condiciones aceptables para que se desarrolle la vida. En forma global, un tercio de la energía incidente interceptada por la tierra y su atmósfera es devuelta hacia el espacio exterior a partir del reflejo provocado por la nubosidad, absorbida y refractada en todas direcciones por las partículas en suspensión. Los dos tercios restantes son absorbidos por el hemisferio de incidencia y luego de sufrir diversas transformaciones, en su mayor parte es devuelta al espacio exterior bajo una forma degradada de energía o sea radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre. Podríamos sintetizar que del 100% de la energía incidente, el 15% corresponde a energía reflejada por acción de la nubosidad y el 15% por difracción atmosférica; el 20% por absorción de los gases atmosféricos, el 3% reflejada por la superficie terrestre llegando a la superficie terrestre sólo el 47%.

La atmósfera es casi transparente para las radiaciones lumínicas, pero no lo es tanto para las infrarrojas y ultravioletas. Se produce entonces un intercambio térmico de la tierra con el sol y el espacio extraterrestre, estableciéndose un equilibrio térmico. Esta radiación solar que se recibe en forma de rayos ultravioletas (onda corta) posee una longitud de onda entre 315 y 380nm, la radiación visible, entre 380 y 780nm y la radiación infrarroja (onda larga) entre 780 a 3000nm. Aproximadamente, el 3% de la energía llega a la atmósfera en forma de radiación ultravioleta (UV), el 53% en el espectro visible y el 44% en el campo del infrarrojo.

Tenemos entonces como objetivo del diseño de una protección solar, limitar la incidencia de la radiación infrarroja, pero sin evitar o evitando parcialmente la radiación visible. Esta última puede ser directa (I_D) o difusa (I_d). La primera de ellas es aquella que se recibe del sol sin haberse producido ningún cambio de dirección por reflexión o difusión, mientras que la segunda es aquella que se recibe después de haber sufrido cambios de dirección al atravesar la atmósfera. Por lo tanto la radiación Global o Total (I_G) que se recibe en la superficie terrestre es la suma de las dos:

$$I_G = I_D + I_d.$$

Los tres tipos de radiación mencionados más arriba, sufren modificaciones en su trayectoria al encontrarse con algún cuerpo, estas son: i. Por **reflexión**; aquella que al incidir sobre un cuerpo ve alterada su trayectoria sin modificarse su longitud de onda; ii. Por **transmisión**, cuando esta energía o parte de ella atraviesa el cuerpo incidente; iii. Por **absorción**, cuando la energía es absorbida por el cuerpo produciéndose un aumento de su temperatura, lo cual producirá una emisión de energía por radiación con una longitud de onda superior a la recibida desde el sol.

Al respecto cabe acotar el concepto de “**efecto invernadero**”. La radiación de onda corta recibida desde el sol atraviesa cualquier cuerpo o elemento transparente o traslúcido, este es recibido y absorbido por un cuerpo, y como ya se ha dicho más arriba, este se calienta y emite radiación pero esta es de una larga, la cual en su mayor proporción no atraviesa la superficie transparente quedando atrapada en el recinto. Es lo que sucede en la atmósfera, manteniéndose una temperatura promedio de 18°C, o

lo que pasa en un automóvil cuando lo dejamos al sol. Este efecto ha posibilitado generar dispositivos con lo cual producir energía térmica y aprovecharla, almacenándola o transmitirla a otro espacio contiguo.

Cada material responde de diferente manera a los tres tipos de modificaciones de la trayectoria de la radiación solar, es por ende que la selección de este en función de sus características constructivas es importante en el diseño de una protección solar.

Por ejemplo, un vidrio simple refleja una pequeña parte de la energía térmica recibida (8%) y otra pequeña es absorbida (12%) y luego irradiada hacia el interior y el exterior. La sumatoria entre la transmitida, más la emitida por absorción es de aproximadamente un 87%. Es por ello que el vidrio no conforma una protección solar, salvo que sean tratados mediante filtros selectivos frente a las radiaciones visibles e infrarrojas, o limitando su superficie transparente a partir de films. Esto implica que durante el período que se requiere aumentar la captación solar esta se reduce por dichos filtros. Se puede recurrir en estos casos a capas reflectantes reduciendo la absorción o capas de baja emisividad, las cuales reducen la radiación térmica hacia el interior.

En la actualidad las posibilidades de mejorar el comportamiento térmico de los vidrios frente a la protección solar es inversamente proporcional a su costo, lo cual implica que este camino no es el adecuado, máxime cuando se niega la posibilidad de aprovechar la ganancia solar directa (GAD) en el período invernal.

Una posibilidad alternativa es la inclinación el vidrio con lo cual posibilitar que la mayor parte de la incidencia de los rayos del sol se refracten en el. Todo rayo solar incidente sobre una superficie de vidrio refleja en parte esa radiación. Se podría considerar cero si la radiación es perpendicular y máxima si los rayos inciden con un ángulo mayor a 70° con respecto a su perpendicular. Si fuera un vidrio doble este ángulo sería de 60° .

Si llevamos este concepto a la orientación de un edificio la mejor orientación sería la que esta plena o perpendicular al Norte, aunque se admiten para nuestra región desviaciones de en más o en menos 15° .

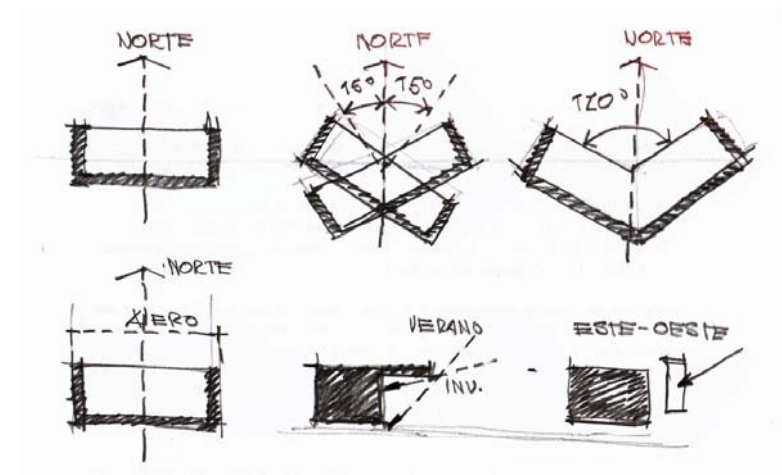
Debe tenerse en cuenta que en las fachadas Este y Oeste, el aporte energético es grande y no pueden protegerse por medio de aleros ni parasoles horizontales ya que la radiación solar incide casi en forma perpendicular a los vidrios por ser su altura baja. Esto implica que se deben optar por protecciones verticales. Estas pueden ocasionar una reducción de la visión hacia el exterior, o que orienten la visión con un cierto ángulo, o que la tamicen en un gran porcentaje.

A modo de ejemplo, la radiación global (directa + difusa + reflejada) que llega a una ventana perpendicular al norte en Diciembre es de 5478 W/m^2 y en el mes de Junio de 4575 W/m^2 , o sea en este último caso un 16% menos. Y una ventana orientada hacia el Nor-oeste (45° con respecto al norte), 6341 W/m^2 en el mes de Diciembre y 3852 W/m^2 en el mes de Junio, o sea una reducción del 48,7%. Esto evidencia por un lado la importancia de orientar al Norte, en el período invernal, por otro lado la necesidad de una protección solar en verano.

Debemos de tener en cuenta que el diseño de una protección solar, debe permitir el ingreso de radiación en el período invernal y considerarse además:

- La iluminación interior;
- Las posibilidades de visión hacia el exterior;
- Las funciones del local;
- El momento del día;
- El período del año;
- La orientación del aventanamiento.

Debemos tener en cuenta en la orientación de un edificio en el lote dos cosas: Una la orientación correcta de sus límites o de la localización del edificio lo cual podemos recurrir a una brújula o a herramientas actuales como localizar el lugar en el Google Hearth.



Por otro lado debemos considerar que la “*hora oficial*” no coincide con la “*hora solar*”. Para pasar la hora oficial a la solar se le debe restar una hora y luego se le restarán o sumaran los minutos según el lugar donde se esté y la época del año.

Localización	minutos	Localización	minutos
Bahía Blanca	+5	Neuquén	+32
Bariloche	+38	Olavarría	+2
Buenos Aires	-6	Pto. Madryn	+20
Catamarca	+23	Rawson	+20
Córdoba	+16	Resistencia	-4
Corrientes	-4	Río Cuarto	+16
Com. Rivadavia	+19	Río Gallegos	+36
Esquel	+38	Rosario	+2
Formosa	-7	La Rioja	+28
Jujuy	+20	Salta	+21
Junin	+3	San Luis	+25
La Plata	-8	San Juan	+35
La Quiaca	+21	Santa Rosa	+17
Mar del Plata	-9	Sgo. del Estero	+17
Mendoza	+36	Talampaya	+32
Merlo	+20	Tucumán	+21
Miramar	-8	Ushuaia	+25
Misiones	-17	Viedma	+10
Según período	minutos	Según período	minutos
Del 1° al 09 del 1	+6	Del 15 al 24 del 09	-6
Del 10 al 20 del 1	+10	Del 25 al 10 del 10	-10
Del 21 al 31 del 1	+12	Del 11 al 19 del 10	-12
Del 1° al 28 del 2	+15	Del 20 al 22 del 11	-15
Del 1° al 10 del 3	+12	Del 23 al 30 del 11	-12
Del 11 al 20 del 3	+10	Del 1° al 15 del 12	-10
Del 21 al 31 del 3	+6	Del 16 al 25 del 12	-6

3. MOVIMIENTOS RELATIVOS DE LA TIERRA Y EL SOL

La Tierra realiza dos movimientos en forma simultánea: de rotación y de translación. El movimiento de rotación lo realiza alrededor de su eje geográfico Norte-Sur, en un período de 24 horas y 4 minutos, lo que da lugar a la ocurrencia del día y la noche, brindando las variaciones horarias. El movimiento de translación, lo realiza alrededor del sol describiendo una órbita elíptica de una excentricidad de $e = 0,0176$, donde el sol ocupa uno de los focos, provocando variaciones según los meses del año. El plano que contienen la órbita de la tierra se denomina “*plano de la elíptica*”, el cual forma con el ecuador terrestre un ángulo diedro, en principio constante todo el año. Pero si hallamos la intersección con el plano meridiano que pasa por el sol a lo largo del año, obtendremos un ángulo diferente para las distintas posiciones de la Tierra. Este ángulo se llama “*declinación*” y varía de $+ 23^{\circ}27'$ en el solsticio de invierno (21 de Junio) a $- 23^{\circ}27'$ en el solsticio de verano (21 de Diciembre) y es nulo en los equinoccios de otoño y primavera (21 de Marzo y 21 de Septiembre). Esta variación en la declinación determina la distinta duración relativa de los días y las noches en las diferentes épocas del año, produciendo la variación estacional del clima.

Desde la tierra, parece que el sol se moviera y eso se denomina corrientemente “*trayectoria aparente del sol*”. Para diseñar una protección solar debemos conocer perfectamente su recorrido diario y en cada período del año. La trayectoria del sol depende de la latitud del lugar. La Argentina se extiende entre los 24° y 68° Latitud Sur (54° y 72° Longitud oeste).

A partir de la determinación de la hora solar y la latitud se puede determinar fácilmente en las tablas o gráficos (polares o cilíndricos) la altura y el acimut del sol.

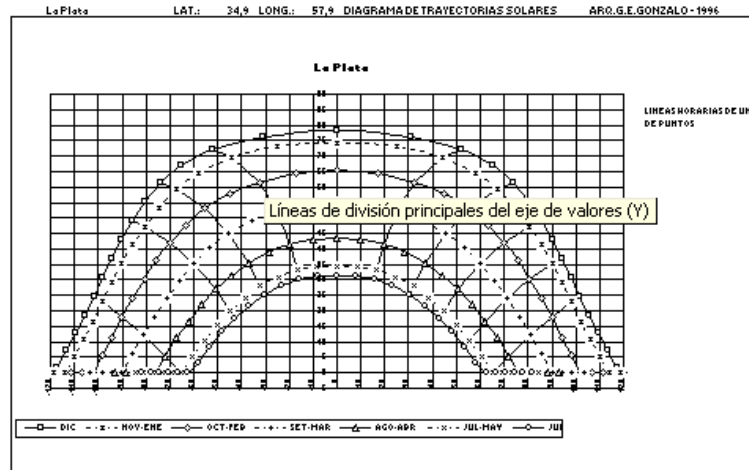


Diagrama de trayectoria solar cilíndrico para La Plata

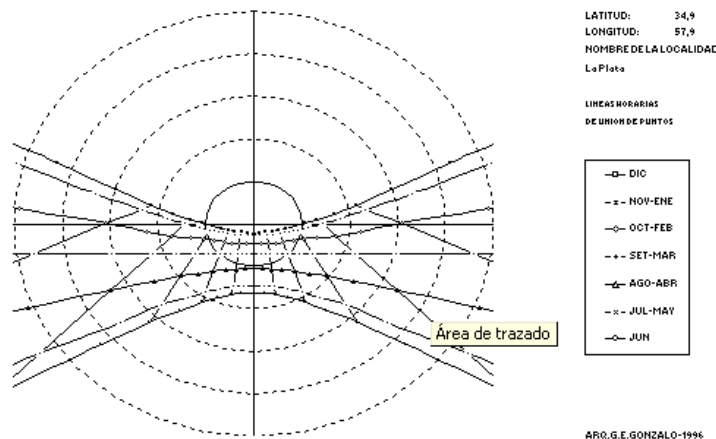


Diagrama de trayectoria solar polar para La Plata

4. CONTROL SOLAR Y DISEÑO DE PROTECCIONES SOLARES

Como ya se ha mencionado, en el período invernal la radiación contribuye en forma natural a la calefacción de los edificios, y durante el período estival la radiación solar puede ser excesiva aumentando las temperaturas interiores de los edificios por encima de las condiciones de confort.

Varios factores posibilitan contribuir a reducir el impacto solar en las construcciones tales como:

- La utilización de colores claros, en las superficies exteriores, fundamentalmente el blanco;
- La reducción de los huecos o aventanamientos;
- La utilización de una correcta protección solar a partir de componentes arquitectónicos tales como voladizo o pantallas que obstruyan en forma total o parcial la radiación solar;
- La inercia térmica, la cual amortigua y retrasa el flujo periódico de calor;
- Aislamiento térmico de los huecos, muros y techos;
- Una correcta orientación y dimensión de los paramentos;
- Selección de los materiales constructivos; entre otros.

Pero específicamente en cuanto al diseño y dimensionamiento de las protecciones solares debemos de tener en cuenta dos condiciones que deben cumplir:

- Rechazar el impacto solar en el verano el cual supone ganancias calóricas que contribuyen al discomfort térmico y

a la necesidad de poner en funcionamiento equipos o dispositivos, consumidores de energía para compensar el exceso de calor, con frío.

- ii. Permitir la entrada de la radiación solar en el edificio durante el invierno con lo cual contribuir a elevar la temperatura del aire y de las superficies interiores, concepto que se denomina “*calefacción solar pasiva*”.

En este sentido los pasos que se necesitan determinarse son:

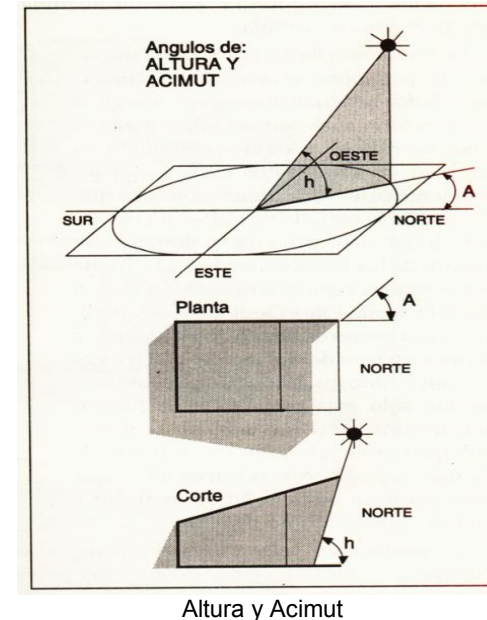
- a. El período del año en que se necesita protección solar.
- b. Las horas diarias que se requiere evitar el acceso de la radiación.
- c. La hora solar.
- d. La latitud del lugar.
- e. El tipo de protección, horizontal o vertical.

Y realizar entonces:

- f. El dimensionamiento de la protección, utilizando las tablas o cartas solares, las cuales permiten obtener la posición del sol en la bóveda celeste a partir de dos coordenadas; la altura (H) y el acimut (A).
- g. Verificar que se permita el acceso a la radiación solar al edificio durante el período infra-calentado del año.

Las cartas solares constituyen la representación gráfica de las trayectorias aparentes del sol en un punto de la superficie terrestre en función de la latitud. Su construcción se basa en la proyección cilíndrica o cónica de las trayectorias del Sol en la bóveda celeste sobre una superficie plana. Estas cartas

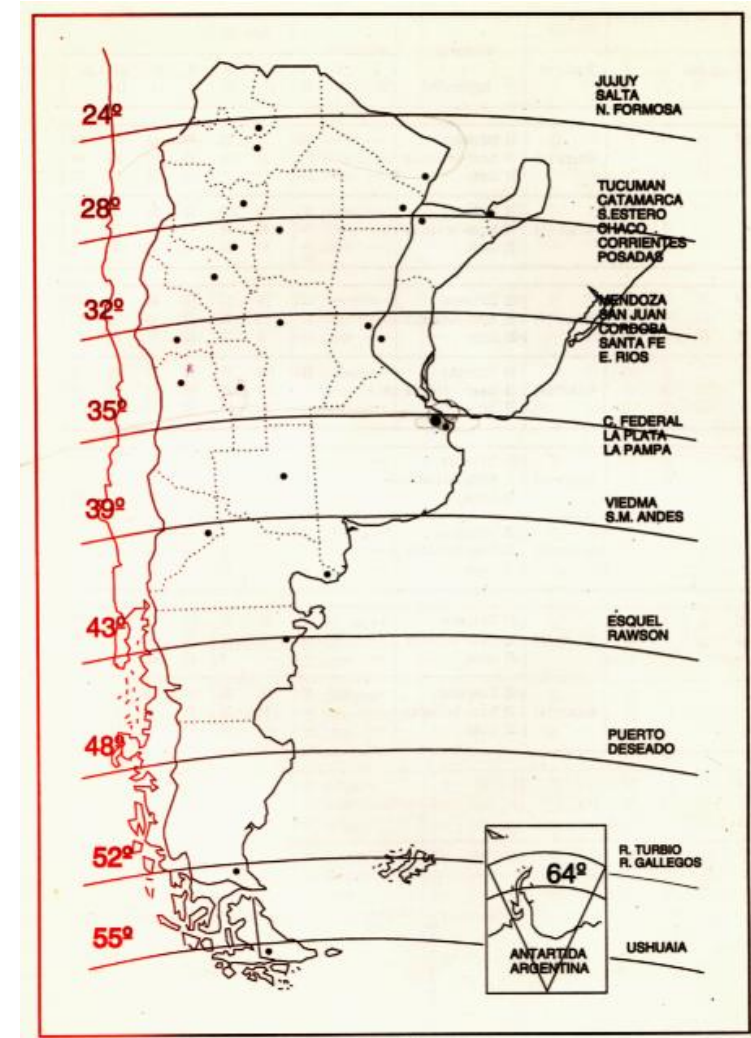
representan las posiciones del sol en algunos días significativos del año como son sus solsticios y equinoccios, indicando las horas y pudiendo leer sus dos coordenadas, el ángulo de altura, o sea el ángulo que forma la visual al sol con el horizonte medido sobre plano vertical, y el acimut, o sea el ángulo que forma la vertical que pasa por el sol, con el plano meridiano que se mide sobre el horizonte, siendo creciente hacia el Este o el Oeste partiendo el Norte. Como herramienta para el diseño de protecciones, a continuación se presentan las tablas simplificadas de Altura y Acimut para nueve latitudes para nuestro país, coincidentes con localizaciones de máxima localización poblacional o regiones características (valores extraídos de publicación: IAS-FABA, F.02, 1979).



Altura y Acimut



Poème de l'angle droit, lithographies de Le Corbusier, Paris, 1955



Latitudes seleccionadas para la determinación de Altura y Acimut solar

Latitud	Angulo de	Solsticio Equinoccio	Hora (h)								
			4 20	5 19	6 18	7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	12
24° Jujuy Salta Formosa	Altura (H)	21 Diciembre			10	23	36	49	63	77	89
		21 Marzo-Septiembre			----	12	26	39	51	61	66
		21 Junio			----	3	15	25	34	40	43
	Azimut (A)	21 Diciembre			111	106	102	98	95	90	0
		21 Marzo-Septiembre			----	85	78	69	57	27	0
		21 Junio			----	63	55	46	34	18	0
28° Tucumán - Catamarca S. Estero - Chaco Corrientes -Posadas	Altura (H)	21 Diciembre			11	24	27	50	63	76	85
		21 Marzo-Septiembre			----	12	25	37	49	58	62
		21 Junio			----	1	12	22	31	36	39
	Azimut (A)	21 Diciembre			111	105	99	94	87	74	0
		21 Marzo-Septiembre			----	84	76	66	53	33	0
		21 Junio			----	63	55	45	33	18	0
32° Mendoza – San Juan Córdoba – Santa Fe Entre Ríos	Altura (H)	21 Diciembre		1	13	25	37	50	53	75	81
		21 Marzo-Septiembre		----	----	11	24	25	46	54	58
		21 Junio		----	----	----	10	20	27	33	35
	Azimut (A)	21 Diciembre		117	110	103	96	89	79	60	0
		21 Marzo-Septiembre		----	----	83	74	64	49	30	0
		21 Junio		----	----	----	54	44	31	17	0
35° Capital Federal La Plata La Pampa	Altura (H)	21 Diciembre		2	6	25	37	50	62	73	78
		21 Marzo-Septiembre		----	----	11	23	34	44	51	55
		21 Junio		----	----	----	8	17	25	30	31
	Azimut (A)	21 Diciembre		117	109	107	94	86	74	51	0
		21 Marzo-Septiembre		----	----	82	73	62	47	27	0
		21 Junio		----	----	----	54	43	31	16	0
39° Viedma San Martín de Los Andes	Altura (H)	21 Diciembre		5	15	26	38	49	60	69	73
		21 Marzo-Septiembre		----	----	10	21	32	40	47	50
		21 Junio		----	----	----	5	14	20	25	27
	Azimut (A)	21 Diciembre		117	108	99	90	80	65	41	0
		21 Marzo-Septiembre		----	----	81	71	59	44	25	0
		21 Junio		----	----	----	53	42	30	16	0

Latitud	Angulo de	Solsticio Equinoccio	Hora (h)								
			4 20	5 19	6 18	7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	12
43° Esquel Rawson	Altura (H)	21 Diciembre		6	16	27	38	48	58	66	69
		21 Marzo-Septiembre		----	----	9	20	29	38	43	46
		21 Junio		----	----	----	3	11	17	21	23
	Azimut (A)	21 Diciembre		117	107	97	87	75	59	35	0
		21 Marzo-Septiembre		----	----	81	70	57	42	23	0
		21 Junio		----	----	----	53	42	29	15	0
48° Puerto Deseado	Altura (H)	21 Diciembre		8	17	27	37	47	56	53	65
		21 Marzo-Septiembre		----	----	9	18	27	35	40	42
		21 Junio		----	----	----	----	8	14	17	19
	Azimut (A)	21 Diciembre		116	106	95	84	71	54	30	0
		21 Marzo-Septiembre		----	----	80	68	55	40	22	0
		21 Junio		----	----	----	53	41	28	15	0
52° Tío Turbio Río Gallegos	Altura (H)	21 Diciembre	1	9	18	27	32	46	55	61	63
		21 Marzo-Septiembre	----	----	----	8	17	25	31	36	38
		21 Junio	----	----	----	----	----	5	10	13	15
	Azimut (A)	21 Diciembre	127	116	105	93	81	67	50	27	0
		21 Marzo-Septiembre	----	----	----	79	67	53	38	21	0
		21 Junio	----	----	----	----	----	41	28	14	0
55° Ushuaia	Altura (H)	21 Diciembre	4	11	19	28	36	45	52	57	58
		21 Marzo-Septiembre	----	----	----	8	16	23	29	33	35
		21 Junio	----	----	----	----	----	3	7	10	12
	Azimut (A)	21 Diciembre	127	115	103	91	79	64	47	25	0
		21 Marzo-Septiembre	----	----	----	79	66	52	37	20	0
		21 Junio	----	----	----	----	----	41	28	14	0