

Título Simulador de Trayectoria Solar

Tipo de Producto Informe Técnico

Autores Ambrosio, Federico; Cereghetti, Jorge & Girod, Gastón

Código del Proyecto y Título del Proyecto

C16S07 - Simulador de Trayectoria Solar

Responsable del Proyecto

Cereghetti, Jorge

Línea

Desarrollo de equipos

Área Temática

Diseño

Fecha

Agosto 2016

INSOD

Instituto de Ciencias Sociales y Disciplinas
Proyectuales

UADE 

Simulador de Trayectoria Solar

Introducción

El proyecto consiste en desarrollar un prototipo de simulador de trayectoria solar. Se utilizarán materiales y procesos productivos afines a la infraestructura disponible en UADE.

El simulador es un instrumento de utilidad para la verificación de la posición del sol y su trayectoria a lo largo del año y su impacto (positivo y negativo) en edificaciones y ciudades.

Este desarrollo tiene como objetivo la verificación de la incidencia solar, permitiendo obtener la información práctica con rapidez y precisión. El campo de aplicación del simulador de la trayectoria solar permite ser aplicado tanto en actividades disciplinares vinculadas a la arquitectura como al diseño, permitiendo la definición e implementación de las estrategias de diseño bioclimático en relación a las ganancias solares pasivas y a las protecciones de la radiación solar.

Objetivos

Desarrollar un prototipo de simulador de la trayectoria solar para ser aplicado en proyectos de arquitectura y diseño de interior, dentro las materias de Diseño Biosustentable, y los Diseños de Interiores incluidos la tesis final

Dimensiones y coordenadas

Para la construcción del "simulador de trayectoria solar" previamente se deben determinar una serie de conceptos que permitan calcular la correcta ubicación de la tierra con respecto al sol. Los datos primordiales que servirán para determinar dicha ubicación, estarán determinados por la hora solar y la ubicación terrestre (latitud y longitud). De esta forma y con estos dos datos se podrá saber con precisión su ubicación en la bóveda celeste.

Con el fin de obtener un procedimiento que permita resolver los datos que definen la ubicación del sol con respecto a una localización conocida y a una hora determinada, se evaluaron los siguientes conceptos:

- Movimiento de la tierra
- Perihelio y afelio
- Estaciones, solsticios y equinoccios
- La esfera celeste

- Posición del sol

Antecedentes

Universidad de Oxford

Mediante la aplicación de la se puede demostrar rápidamente la incidencia solar en los modelos físicos.

Las iteraciones fueron aplicadas, tales como la adición y el reposicionamiento de protección solar para cualquier hora del día, época del año, y cuenta con modelos que podrían ser simuladas en un contexto latitudinal.

(<http://www.rudi.net/node/20832>)



Heliodón universal (México)

Se presenta un diseño de simulador solar que tiene como objetivo observar de manera directa el asoleamiento en maquetas de cualquier punto geográfico, proporcionando la simulación total desde el orto hasta el ocaso, así como cualquier día y hora.

Esta herramienta es de apoyo importante para que los estudiantes desarrollen sus proyectos aplicando los criterios de la geometría solar, logrando niveles adecuados de confort y por ende garantizar el ahorro de energía que hoy en día es una responsabilidad fundamental, ya que va íntimamente relacionada con la preservación del medio ambiente.

Este diseño de Heliodón ha sido aceptado e instalado en varias universidades del país en la carrera de arquitectura:

I.t.e.s.m. Campus Monterrey
I.t.e.s.m. Campus Guadalajara
I.t.e.s.m. Campus Querétaro
I.t.e.s.m. Campus Hermosillo
Universidad autónoma de Morelia
Universidad la salle de México
Universidad de las Américas de Puebla
Universidad Cristóbal Colón de Veracruz
Escuela Gestalt de Diseño en Xalapa Ver.
Universidad de Colima
Universidad de Cd. Juárez
Universidad Autónoma de Yucatán
Universidad Anahuac Sur de México
Escuela de Postgrado de Ingeniería en la UNAM
Universidad de Oaxaca Benito Juárez
Universidad Veracruzana de Córdoba
Universidad de Nuevo León
Tecnológico de Colima
Tecnológico de La Paz Baja California Sur
Tecnológico de Acapulco Gro.





Universidad Nacional de San Juan (Argentina)

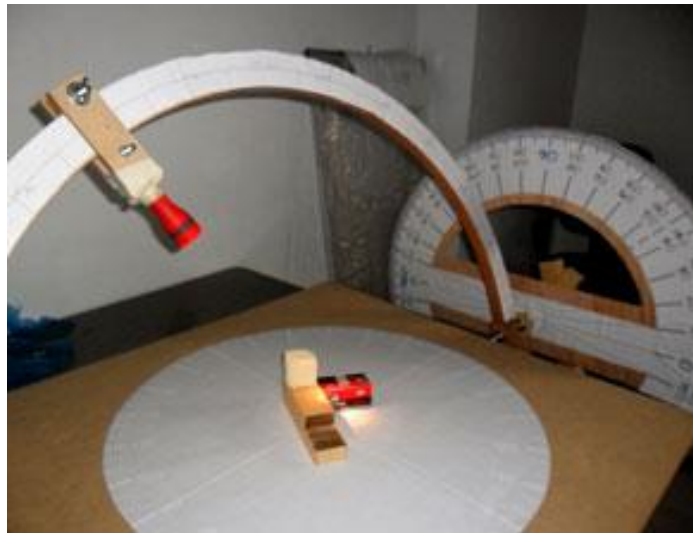
El Heliodón es un instrumento que sirve para simular la trayectoria del sol en la bóveda celeste. Es muy útil para que profesionales y alumnos de Arquitectura coloquen en él sus maquetas y puedan controlar en sus modelos los lugares y horarios en que da sombra y luz solar. Está compuesto de lámparas fijadas en una estructura en forma de arco que simula el recorrido del sol desde su salida hasta su puesta, en las cuatro estaciones del año. "Ese recorrido puede representarlo para las distintas latitudes, desde $+ 60^\circ$ hasta $- 60^\circ$ (cerca de los polos Ártico y Antártico). Además, puede simular las variaciones del horario solar de 6 a 18 en los solsticios de junio y diciembre y de 7 a 17 en los equinoccios de marzo y setiembre", explica el arquitecto Erio Bortot, diseñador y constructor de este instrumento que está instalado en la planta baja de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) de la UNSJ.



Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá (Colombia)

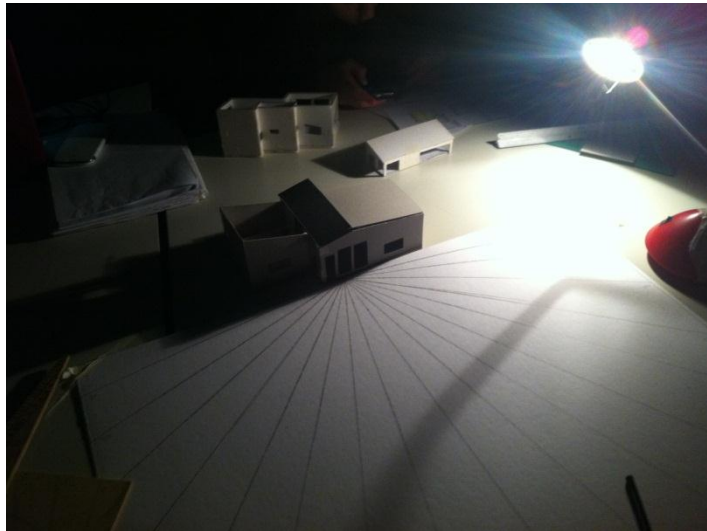
Esta iniciativa implementa la metodología que todo laboratorio debe tener: el trabajo aplicado en equipo entre docente y estudiantes. Se espera que estos mecanismos -que son temporales- sirvan para dar inicio al laboratorio de Bioclimática en miras del desarrollo de la temática ambiental de la Facultad.

(<http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Arquidisen/boletin/boletinh.php?his=25>)



Experiencias en clase

Ante la necesidad de demostrar prácticamente la importancia de la trayectoria solar en la clase de Diseño Biosustentable de la carrera de Diseño de Interiores, se desarrolló un primer prototipo que permitía la comprobación de los efectos de la incidencia solar sobre las construcciones. El dispositivo carecía de precisión y solo era a modo demostrativo, y permitía la intervención de los modelos físicos por parte de los alumnos dado que el comportamiento se verificaba de manera empírica. Detectado los inconvenientes los alumnos podían buscar mejoras y alternativas del modelo inicial.



Geometría solar

Movimiento de la tierra

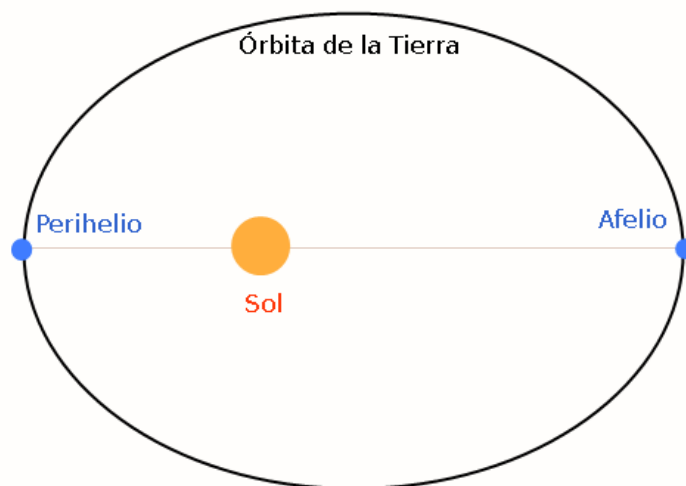
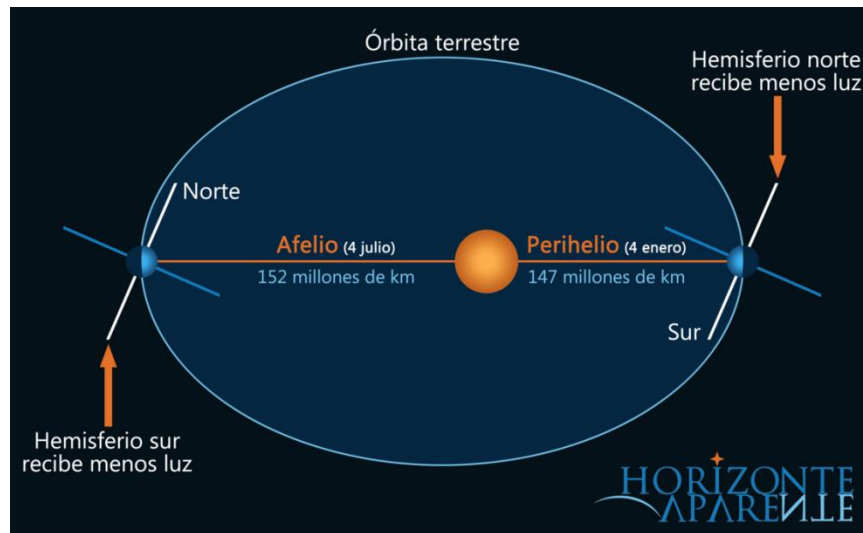
El centro de la tierra gira alrededor del Sol describiendo una elipse que se denomina eclíptica o plano eclíptico.



Sobre esta eclíptica, la tierra realiza un movimiento de traslación, en relación al sol, en sentido anti horario (en contra de las agujas del reloj) si se lo observa por arriba del polo norte. Este movimiento de traslación equivale a 365,25 días (365 días, 6 horas y 9.1626 minutos), por temas de adecuación al calendario solar, y ante la imposibilidad de contabilizar un día como 0.25, cada cuatro años se agrega un día que equivale a la suma de los 4×0.25 días, de esta forma nace el denominado año bisiesto que agrega un día más a febrero.

Perihelio y afelio

Debido a que la eclíptica cuenta con una excentricidad con respecto al sol se pueden identificar dos puntos fundamentales. El primero de ellos se denomina Perihelio y está identificado como el punto de mayor cercanía entre el sol y la tierra y suele coincidir con los primeros días del año (cerca del 4 de enero), análogamente, el punto más alejado entre la tierra y el sol se denomina Afelio y suele ocurrir en Julio (cerca del día 4). Ambos puntos, tanto el perihelio como el afelio son denominados apsidales.

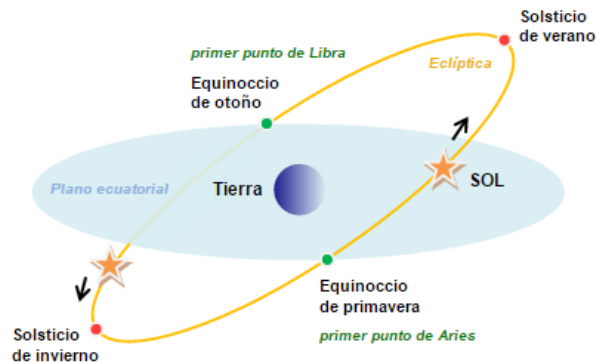


Asimismo, la tierra gira sobre si misma en torno a un eje denominado polar que cortan a la tierra en dos puntos denominados polo norte y polo sur. Este periodo de rotación en relación al sol tiene una duración de 24 horas, o bien, un día solar. Este movimiento denominado de rotación, tiene la particularidad de realizarse en sentido anti horario si se lo observa desde un punto por arriba del polo norte.

Este eje ideal, tiene una inclinación de 23.5° con respecto a la normal de la eclíptica. Esta inclinación del eje de rotación es denominada declinación y es la que permite la alternancia de las estaciones a lo largo del año solar.

Estaciones, solsticios y equinoccios

En el recorrido de la tierra alrededor del sol se pueden identificar dos situaciones particulares que marcan entre otras cosas el inicio de las estaciones. Estas situaciones están determinadas principalmente por declinación del eje polar con respecto al plano de la eclíptica y son los llamados solsticios y equinoccios.

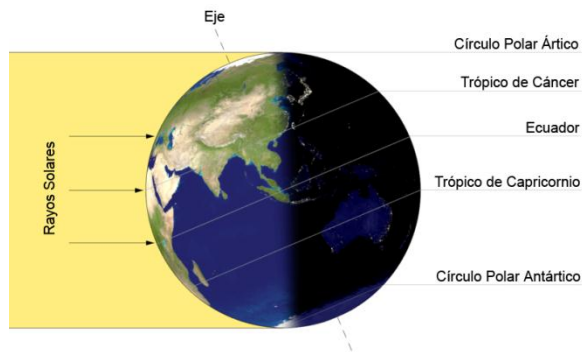


Los solsticios son dos - Solsticio de invierno y Solsticio de verano - y se dan cuando la tierra alcanza su mayor declinación con respecto al ecuador, casualmente estos fenómenos coinciden con los días más largos y más cortos del año. Para el hemisferio sur el Solsticio de invierno habitualmente coincide con el 21 de Junio, día que se toma como inicio del invierno y el solsticio de verano el 21 de diciembre, coincidiendo con el inicio del verano. En el hemisferio norte las situaciones son opuestas que las expresadas en el sur.

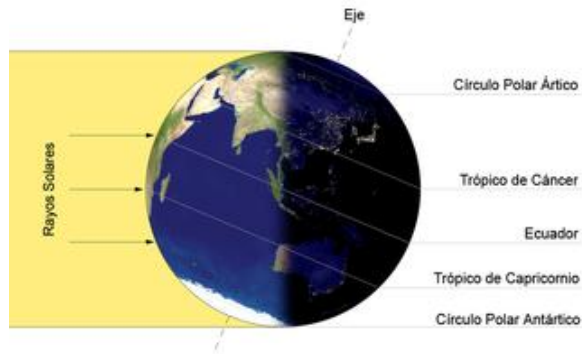
Por otro lado se identifican los Equinoccios que son los encargados de dar comienzo a la primavera y el otoño, y que en el hemisferio sur coinciden con el 21 de septiembre y el 21 de marzo respectivamente.

El solsticio de invierno en el hemisferio sur quedará definido cuando los rayos solares sean perpendiculares al plano normal que pasa por el el trópico de Cancer, ubicado en el hemisferio norte, en una declinación de 23.5° . Para el solsticio de verano, en el hemisferio sur, ocurrirá análogamente lo contrario y los rayos solares serán perpendiculares al plano normal que coincide con el trópico de Capricornio a -23.5° .

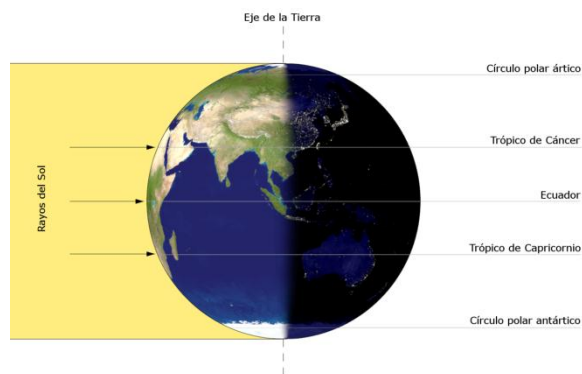
En el caso de los equinoccios se dan cuando los rayos solares que llegan a la tierra son perpendiculares al eje polar y al ecuador



Solsticio de Invierno - Hemisferio sur



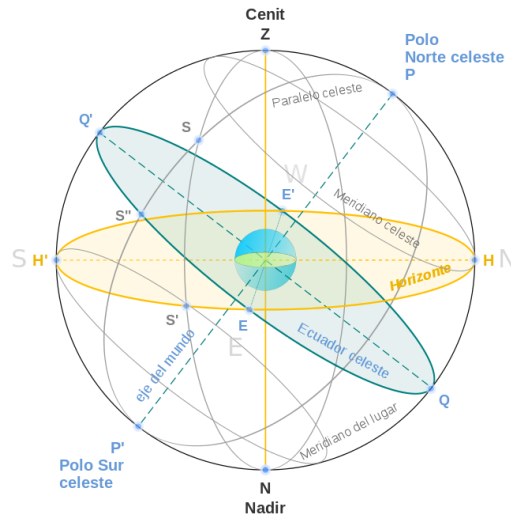
Solsticio de Verano - Hemisferio sur



Equinoccio de primavera y otoño

Esfera celeste

Este concepto se puede definir como una superficie esférica ideal de radio infinito sobre el cual se proyectan, desde el observador, los cuerpos celestes.



Proyección estereográfica de la esfera celeste

El eje de rotación de la tierra corta a la esfera celeste en dos puntos denominados polos celestes: polo norte celeste al ubicado en el hemisferio norte y polo sur celeste al ubicado en el hemisferio sur. Perpendicular al eje polar se encuentra el denominado ecuador celeste y coincide con el círculo máximo de la esfera celeste.

Dentro de la esfera celeste también se pueden destacar dos puntos llamados cenit y nadir. Ambos están determinados por la vertical que existe entre la localización particular en el globo terráqueo y la bóveda celeste. De esta intersección se definen dos puntos denominados Z (cenit) y N (Nadir). El Cenit es el punto de la esfera celeste situado exactamente encima del observador y el Nadir es el punto de la esfera diametralmente opuesto al Cenit.

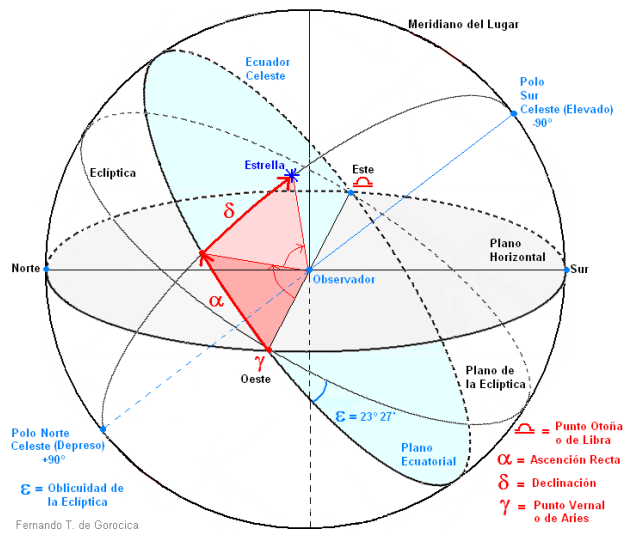
Para terminar de configurar los elementos básicos que definen a la esfera celeste, se contemplarán los denominados meridianos celestes y el plano horizontal del lugar. El meridiano celeste se puede definir como el círculo máximo de la esfera celeste cuyo plano incluye, el eje polar, la vertical del lugar y por lo tanto, los polos, el Cenit y el Nadir del observador y coincide con el meridiano terrestre. Con respecto al plano horizontal del lugar (Horizonte), es el plano

perpendicular a la vertical del lugar determinado sobre la esfera terrestre. La intersección de este plano con el plano meridiano del lugar determina la línea norte - sur y la normal a esta línea contenida en el plano horizontal es la línea este - oeste.

Posición del sol

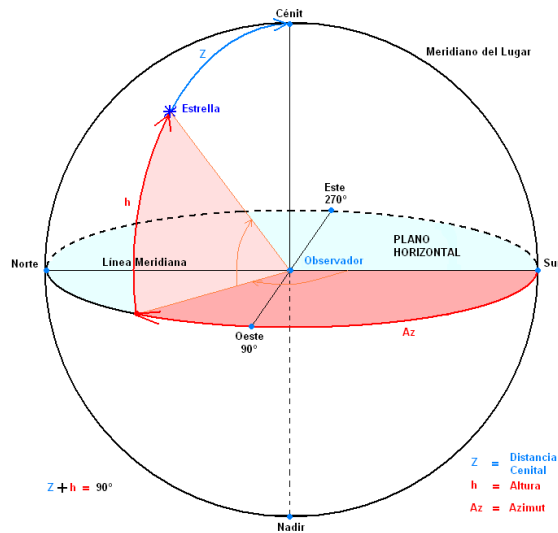
Dentro de la esfera celeste también se pueden ubicar los cuerpos celestes entre los que se encuentra el sol, para ello se optó por utilizar el método de las coordenadas ecuatoriales, que están definidas por la declinación y el ángulo horario, y el método de las coordenadas horizontales basado en el ángulo acimutal y la altura solar.

El método de las coordenadas ecuatoriales se esta definido por la declinación y el ángulo horario, que refieren a la posición del plano ecuatorial.



La declinación solar es la proyección sobre el plano ecuatorial del ángulo centro a centro entre el sol y la tierra. En los equinoccios el valor será igual a cero y en los solsticios de invierno y verano +/-23.5°.

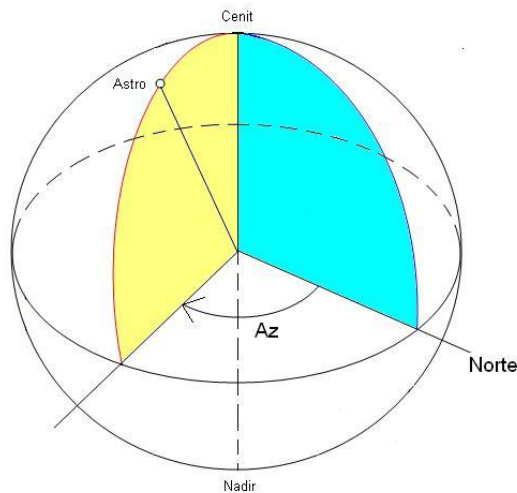
El ángulo horario está definido por el plano meridiano del lugar y el plano meridiano del sol. En el mediodía solar el ángulo es nulo y a lo largo del día le corresponde una diferencia entre horas de 15 °, siendo de valores negativos antes del mediodía y positivos pasado el mediodía.



El método de las coordenadas horizontales determina la posición del sol mediante dos ángulos denominados: azimut y altitud, los valores generados están definidos por la posición del observador, es decir que los valores obtenidos solo son válidos para la situación que se está evaluando, dado que por ser un sistema de coordenadas locales, varios observadores situados en distintos puntos de la tierra pueden obtener diferentes valores para una misma situación. Los valores obtenidos para un día y mes determinado en Ushuaia serán distintos que los que se pueden obtener en Buenos Aires para el mismo día y mes evaluados.

El azimut es el ángulo medido sobre el horizonte celeste que forman el punto cardinal Norte (0°) y la proyección vertical del sol sobre el horizonte del observador situado en una latitud determinada. Se mide en grados desde el punto cardinal Norte en el sentido horario, siendo el Norte= 0° , Este= 90° , Sur= 180° y Oeste 270° .

La altura solar es complementaria del ángulo cenital, que se encuentra determinado por la dirección sol-tierra y la vertical de una ubicación determinada en la tierra. Los valores de la altura solar y azimut de una ubicación específica se pueden obtener por medio de tablas o bien software de uso libre, online o pago.



Determinación de coordenadas del sol en la bóveda celeste

Para lograr determinar la posición del sol en la bóveda celeste es necesario hacer mención a la primera ecuación de Bessel sobre triángulos esféricos.

$$\cos z = \sin \delta = \cos(90 - \delta) \cdot \cos(90 - L) + \sin(90 - \delta) \cdot \sin(90 - L) \cdot \cos \theta$$

$$\cos z = \sin \delta = \sin \delta \cdot \sin L + \cos \delta \cdot \cos L \cdot \cos \theta$$

Siendo el ángulo cenital del Sol (z) y su altura (δ) y mediante la siguiente ecuación se pueden relacionar el acimut de la posición solar con el ángulo horario, la declinación y la altura del sol.

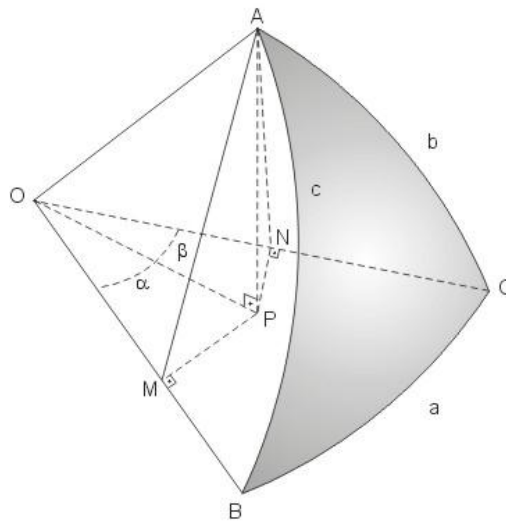
$$\sin(90 - \delta) / \sin \delta = \sin(90 - \delta) / \sin(\delta - Az)$$

$$\cos \delta / \sin \delta = \cos \delta / \sin Az$$

Siendo el ángulo azimutal (Az):

$$\sin Az = (\cos \delta / \cos \delta) \cdot \sin \delta$$

$$Az = \arcsen (\cos \delta / \cos \delta) \cdot \sin \delta$$



Características funcionales del simulador solar

El dispositivo que tendrá como finalidad la evaluación de la trayectoria solar con respecto a un punto determinado en la esfera terrestre consta de dos partes móviles que se encargan de posicionar un foco lumínico según los valores de de Azimut (AZ) y el ángulo solar (As) obtenidos a tal efecto. Este foco permite evaluar sobre modelos físicos el comportamiento del sol a lo largo del año con diferencia de hasta una hora.

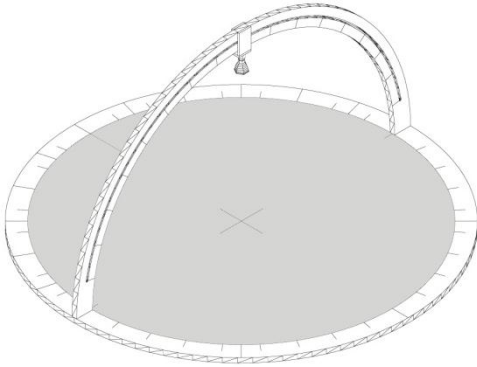
Mediante este prototipo se podrán determinar las estrategias de diseño con respecto al sol y evaluar la protección y las ganancias solares directas, tanto para los interiores como para los exteriores. Como resultado de estas evaluaciones se podrán dimensionar de manera empírica, parasoles y aleros que tienen como finalidad mejorar el desempeño de las aberturas.

El simulador se construirá con placas de MDF de espesor de 15mm y será realizado íntegramente con los equipos del UADE LABS.

Tres elementos básicos serán los encargados de definir el simulador:

- a) El plato
- b) El arco
- c) El foco

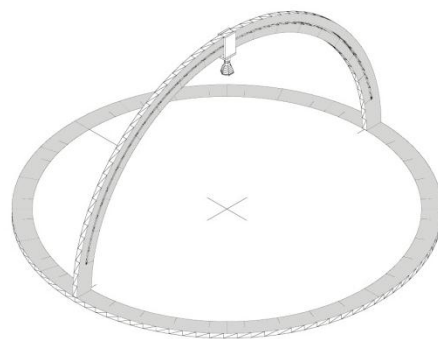
El plato



Será el encargado de materializar el horizonte y estará construido por una placa de MDF de 15mm de espesor con un radio de 50cm, en él se posarán los modelos físicos para estudiar.

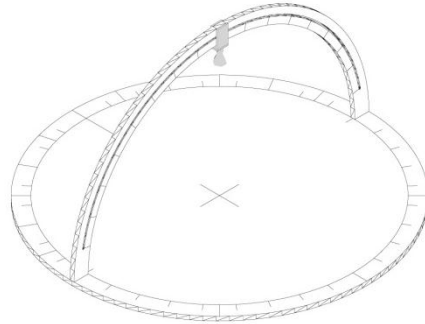
El plato contará con una graduación cada 90° que determinará la posición de los puntos cardinales correspondiendo 0° para el norte, 90° para el este, 180° para sur y 270° para el oeste. Mediante esta graduación y complementariamente con la escala del soporte del arco se podrá determinar el ángulo azimutal.

El arco

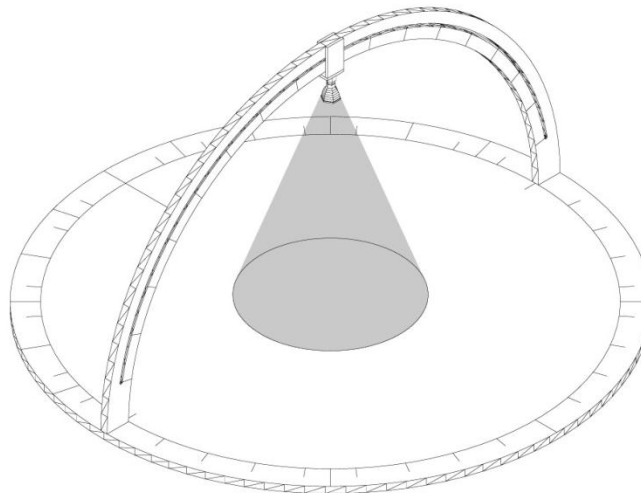


En cargo de materializar el ángulo de la altura solar se realizará sobre una media circunferencia graduada. Este arco es el encargado de sostener el foco (c) y mediante una graduación de 10° facilitará la ubicación del foco que emula el rayo solar. Este arco se encuentra fijado a una circunferencia que encastra en el plato.

El foco



Una fuente lumínica conformada por una lámpara de led de 220V, será la encargada de materializar el rayo solar y su ubicación estará determinada por el azimut y la altura solar.



Obtención de datos

La determinación de los valores de AZ (Azimut) y ALT (Altura solar) puede obtenerse de tres formas:

- De manera manual: mediante el gráfico estereográfico o bien mediante cálculo. Para el caso del gráfico estereométrico se debe referenciar la latitud de la localización para obtener el valor de AZ sobre el círculo exterior que emula el horizonte y luego se

obtendrá el valor de ALT por medio de los círculos concéntricos. Con el mismo gráfico se pueden establecer todos los valores a lo largo de un año hora por hora.

Para el caso del cálculo se debe aplicar la siguiente formula:

Altura solar:

$$\text{sen } h = (\cos \lambda \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau) + (\text{sen } \lambda \cdot \text{sen } \delta)$$

Acimut solar:

$$\cos z = (\text{sen } h \text{ sen } \lambda - \text{sen } \delta) / (\cos h \cos \lambda)$$

donde:

Latitud	(λ)	Altura solar	(h)
Longitud	(L)	Acimut	(z)
Día del año	(n)	Duración del día	(w)
Declinación	(δ)	Orto	(w_1)
Ángulo horario	(τ)	Ocaso	(w_2)

Gráfico de proyección estereográfica

Es una representación de la trayectoria solar basada en la proyección ortogonal que describe la posición del sol sobre la bóveda celeste y el horizonte, y permite la adquisición de los ángulos del azimut y la altura solar.

- Programas con licencia: mediante la utilización del Autodesk Ecotect se obtendrán los valores de AZ y ALT, determinando latitud y longitud de la ubicación a estudiar. El programa arrojará los valores para todas las épocas del año, hora por hora.
- Programas libres: En el sitio de acceso libre y gratuito www.sunearthtools.com pueden obtenerse una serie de datos referidos a la evaluación de la trayectoria solar con solo determinar la ubicación del lugar a analizar. En este sitio se pueden obtener una serie de datos anexos que enriquecen el estudio solar. (http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es)

a-Determinación del emplazamiento, para este caso Buenos Aires.

select your points select your shadow profile

SunRise: 04:09:12 * 113.05° | SunSet: 18:03:08 * 247.14° | Av. Corrientes 1032-1036, C1043AAX CABA, Argentina

Name Solar Disk Analemma Solstice

año mes día hora minutos
2016 01 28 14 37

Time zone GMT-5 DST Default

Mapa Satélite

Insert this map tool in your site

[↑ volver](#) [📄 contenido](#) | [Datos + Map](#) | [Gráfico Polar](#) | [Gráfico Cartesiano](#) | [Tabla](#) | [Trayectoria de sol anual](#) | [🔗](#)

Envíame un documento PDF para imprimir. email:

b- Adquisición de datos del gráfico estereométrico

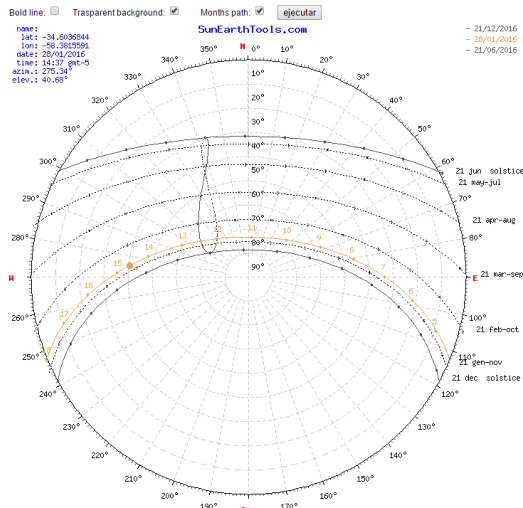
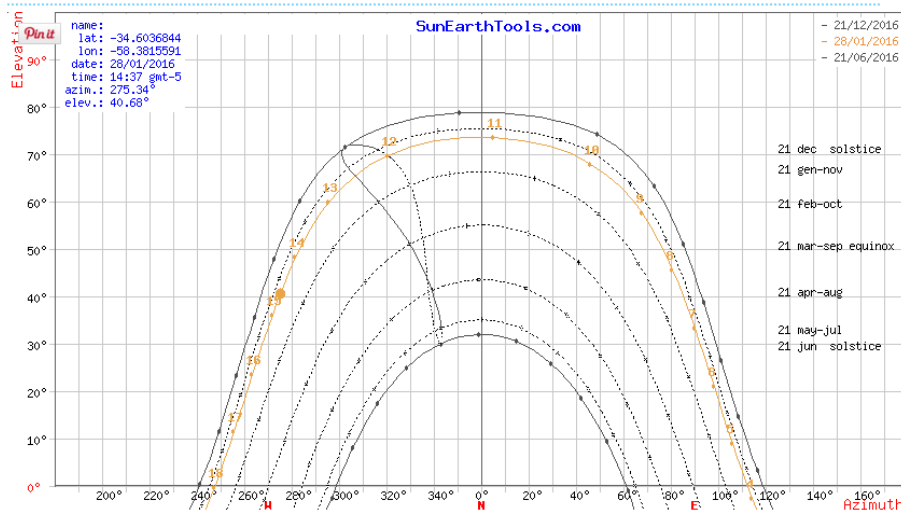


Grafico cartesiano

Este método se basa en la representación de las coordenadas celestes, altura solar y azimut sobre un sistema de ejes cartesianos.

Se utiliza para estudiar obstrucciones que provocan los elementos naturales o artificiales sobre el edificio o el sitio de emplazamiento.



Tablas y datos

Esta herramienta permite la obtención de la ALT y el AZ por medio de tablas. Estos datos resultan apropiados para determinar la posición solar.

Step (minute): 60

Fecha:	28/01/2016 GMT-5	
coordinar:	-34.6036844, -58.3815591	
ubicación:	Av. Corrientes 1032-1036, C1043AAX CABA, Argentina	
hora	Elevación	Azimut
04:09:12	-0.833°	113.05°
5:00:00	9°	106.06°
6:00:00	21.06°	98.2°
7:00:00	33.35°	90.1°
8:00:00	45.64°	80.72°
9:00:00	57.52°	67.94°
10:00:00	67.95°	46.3°
11:00:00	73.56°	5.39°
12:00:00	69.73°	320.56°
13:00:00	59.91°	295.71°
14:00:00	48.21°	281.7°
15:00:00	35.95°	271.84°
16:00:00	23.62°	263.58°
17:00:00	11.48°	255.75°
18:00:00	-0.24°	247.59°
18:03:08	-0.833°	247.14°

	A	B	C	D
1	Fecha:	28/01/2016		
2	coordinar:	40.76, -73.984		
3	ubicación:			
4	hora	Elevación	Azimut	
5	07:10:04	-0.833	113.7	
6	08:00:00	7.52	122.1	
7	09:00:00	16.52	133.4	
8	10:00:00	23.86	146.4	
9	11:00:00	28.89	161.3	
10	12:00:00	30.99	177.6	
11	13:00:00	29.85	194	
12	14:00:00	25.64	209.4	
13	15:00:00	18.93	223	
14	16:00:00	10.38	234.8	
15	17:00:00	0.55	245.2	
16	17:08:01	-0.833	246.5	
17				