

EL JUEGO DE LAS  
GEOMETRÍAS BAJO EL SOL



MASTER EN ARQUITECTURA MEDIO AMBIENTAL: INTEGRACIÓN DE  
ENERGÍAS RENOVABLES EN LA ARQUITECTURA

TESINA: "EL JUEGO DE LAS GEOMETRÍAS  
BAJO EL SOL"

PRESENTA: DIANA MARGARITA RODRÍGUEZ DE SANTIAGO

TUTOR: BENOIT BECKERS

Barcelona, a 24 de Septiembre del 2007



## AGRADECIMIENTOS

## AGRADECIMIENTOS

Al comienzo de esta tesina, nunca imaginé el trabajo y el esfuerzo que implicaba. Sin embargo, a lo largo de este tiempo siempre conté con el apoyo y las valiosísimas aportaciones de mi tutor, el Doctor Benoit Beckers. A quien quiero expresar mi más sincero agradecimiento, por la confianza depositada en mí, así como el tiempo y la paciencia que siempre invirtió.

Un agradecimiento especial a la Maestra Nicoletta Borgia, quien amablemente accedió a asesorarme en los capítulos del Panteón de Roma y el Partenón de Atenas. Sus acertadas correcciones y aportaciones me permitieron conocer más a profundidad la arquitectura antigua, tema que ella conoce a la perfección, pero además, me impulsó a mejorar la investigación y desarrollo de este trabajo.

Quiero agradecer a mi familia, en especial a mi madre, quien siempre depositó su confianza en mí y me ha impulsado a seguir adelante. A mi tía y mis hermanos, cómplices y compañeros de toda mi vida. A todas las personas que siempre me apoyaron y acompañaron, a las presentes y a las ausentes, muchas gracias.

## PRÓLOGO

## La luz, propiedad geométrica del volumen habitado

### - Prólogo -

Entre las artes visuales, la arquitectura produce formas animadas por la luz natural, según el tiempo cíclico del Sol y sus perturbaciones atmosféricas. En esta peculiar relación entre el tiempo y el espacio, muy distinta de la que organiza la música, el cine o la pintura, el arquitecto se expresa mediante un juego de proporciones, propio o tradicional, preciso o trazado a grandes contrastes, más o menos intuitivo o elaborado.

Para ello, necesita un sistema de notación, que le permita pensar, transmitir sus ideas e inspirarse de ideas ajenas: analizar y diseñar.

¿Y qué encontramos en libros y revistas? Planos sin orientación, e instantáneos fotográficos. Y, a veces, esquemas flechados, incompletos y engañosos. Las descripciones más precisas son escasas, porque los métodos manuales resultan engorrosos y las herramientas informáticas mal adaptadas.

Con el programa Heliodon, quisimos ofrecer al arquitecto una herramienta de ayuda al análisis, pero sobre todo al diseño, con gráficos sintéticos, interactivos y de fácil interpretación. Así, la arquitectura volvía a ser un juego, donde cualquier geometría revelara sus posibles relaciones con Sol y Cielo, viajando libremente ya la vez en el tiempo cíclico y en el espacio tridimensional.

Pero si el usuario se sentía libre y apoyado en sus diseños, quedaba la dificultad de transmitir los resultados, pues, una vez fijados en el papel, perdían su entorno interactivo.

Según la lógica del algoritmo propuesto, la solución consistía en explorar más a fondo las propiedades útiles de las diferentes proyecciones geométricas: equivalente (para los factores de cielo), ortogonal (para los factores de vista, mediante la analogía de Nusselt), isócrona (invento de los autores, para el flujo solar), gnomónica (para el diseño de las oberturas) o cilíndrica (para controlar los relieves).

En la versión actual, proponemos dos tipos de mapas, que se calculan en planos virtuales cortando arbitrariamente el volumen estudiado. El primero muestra los factores de cielo, es decir: cómo se abre el edificio (o el conjunto urbano) hacia el cielo y su luz difusa. En el segundo, se integra el flujo solar en un periodo del año libremente elegido.

Es importante insistir en que tales cálculos se realizan en el volumen, y no sobre las superficies reales de la construcción. Como los intercambios radiativos se operan a través de las superficies, el balance térmico necesita un parámetro adicional – el ángulo de incidencia de la luz directa o difusa sobre los objetos –, que se programará en una versión posterior.

No obstante, si nos hemos detenido a estudiar la luz en el volumen, es porque tenemos la intuición de que eso también es importante para la arquitectura, que no se reduce al balance térmico. Sólo sabemos dibujar las superficies, pero vivimos y sentimos en el volumen: esta paradoja era el tema propuesto este año a los usuarios de Heliodon.

En el trabajo aquí presentado, se estudian edificios antiguos y famosos, pero también un árbol africano y una casa sometida al frío invierno norte-americano. En este último caso, el uso de la versión actual de Heliodon puede resultar algo ambiguo, porque se habla de confort, de inercias y de superficies, mediante gráficos que sólo consideran el volumen. Sin embargo, se trataba aquí de anticipar sobre los próximos desarrollos algorítmicos, para ayudarnos a evaluar las necesidades del usuario. Una vez advertido, al lector le toca ser vigilante.

En cambio, se le ofrece toda una serie de ilustraciones originales y sugerentes, que renuevan el interés por edificios tan conocidos como el Partenón de Atenas o el Panteón en Roma. Se le invita a un viaje de Sur a Norte, desde el Ecuador hasta las regiones templadas, desde la simple protección solar hasta la gestión de la luz natural, pasando por su uso simbólico.

Y siempre dando ganas de analizar y proyectar, de entrar en el juego de los volúmenes iluminados.

Barcelona, 16/09/07

Benoit Beckers



## ÍNDICE

# ÍNDICE

	PÁG
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>01_ EL SOL DESDE LA TIERRA</b>	
EL SOL.....	2
EL ESPECTRO SOLAR.....	2
LA FORMA DE LA TIERRA .....	3
SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS.....	4
LÍNEAS IMAGINARIAS DE LA TIERRA.....	6
MOVIMIENTOS CARACTERÍSTICOS DE LA TIERRA .....	7
MOVIMIENTO DE ROTACIÓN .....	7
MOVIMIENTO DE TRASLACIÓN.....	8
RADIACIÓN SOLAR Y LA TIERRA.....	12
LATITUD Y CLIMA .....	16
ZONAS CLIMÁTICAS DE LA TIERRA.....	17
REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES.....	25
<b>02_ COMPARACIÓN DE LATITUDES Y ARQUITECTURA</b>	
MAPA MUNDIAL EN PROYECCIÓN PLATE CARRÉE.....	27
COMPARACIÓN EN AMÉRICA.....	28
COMPARACIÓN EN ÁFRICA.....	29
COMPARACIÓN ENTRE EUROPA Y ÁFRICA.....	30
COMPARACIÓN ENTRE ASIA Y OCEANÍA.....	31
COMPARACIÓN ENTRE ÁFRICA Y AMÉRICA.....	32
COMPARACIÓN ENTRE EUROPA Y AMÉRICA (HEMISFERIO NORTE).....	33
COMPARACIÓN DE AMÉRICA (HEMISFERIO SUR) CON ÁFRICA Y EUROPA (HEMISFERIO NORTE)	34
COMPARACIÓN ENTRE ASIA Y EUROPA (HEMISFERIO NORTE).....	35
COMPARACIÓN ENTRE ASIA Y AMÉRICA (HEMISFERIO NORTE) .....	36
COMPARACIÓN DE ARQUITECTURA POR ZONAS CLIMÁTICAS .....	36
CONCLUSIONES.....	48
REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES.....	50
<b>03_ EN ÁFRICA, A LA SOMBRA DE UN ÁRBOL</b>	
TÉXTO DE RYSZARD KAPUŚCIŃSKI .....	54
DESCRIPCIÓN DEL SITIO .....	58
DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL MANGO .....	60
EL MODELO .....	61
ESTUDIO DE SOLEAMIENTO .....	62
ESTUDIO DE SOLEAMIENTO ANUAL .....	64
FACTORES DE CIELO .....	66
FLUJO SOLAR .....	68
COMPARACIÓN DE SOLEAMIENTO A ORIENTACIONES .....	71
PROYECCIÓN ISÓCRONA .....	72
CONCLUSIONES.....	74
REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES.....	75

<b>04_ EL PANTEÓN DE ROMA</b>	<b>PÁG</b>
HISTORIA .....	76
DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO.....	77
PROPORCIONES Y SIGNIFICADO.....	78
LOS MODELOS .....	81
FACTORES DE CIELO.....	82
ESTUDIO DE SOLEAMIENTO .....	85
ESTUDIO DE SOLEAMIENTO ANUAL.....	92
FLUJO SOLAR .....	96
CONCLUSIONES.....	100
REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES.....	101
<b>05_ EL PARTENÓN DE ATENAS</b>	
INTRODUCCIÓN.....	103
HISTORIA .....	104
MITO Y TRADICIÓN EN LA ARQUITECTURA GRIEGA .....	105
DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO.....	107
MITOS Y TRADICIONES EN EL PARTENÓN.....	108
EL PROGRAMA ESCULTÓRICO Y LA ORIENTACIÓN .....	109
LOS MODELOS .....	111
ESTUDIO DE SOLEAMIENTO .....	113
PROYECCIÓN ISÓCRONA .....	119
FACTORES DE CIELO.....	121
FLUJO SOLAR .....	126
LA PROCESIÓN PANATENAICA Y EL PARTENÓN .....	129
REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES.....	132
<b>06_ HEMICICLO SOLAR</b>	
INTRODUCCIÓN.....	134
HISTORIA .....	135
DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO.....	136
ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL .....	140
ESTRATEGIAS GENERALES EN INVIERNO.....	141
ESTRATEGIAS GENERALES EN VERANO .....	143
COMPROBACIÓN DEL DISEÑO SOLAR DURANTE LOS SOLSTICIOS .....	143
LOS MODELOS .....	148
ESTUDIO DE SOLEAMIENTO .....	150
FACTORES DE CIELO.....	158
FLUJO SOLAR .....	164
CONCLUSIONES .....	172
REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES.....	173
<b>07_ CONCLUSIONES</b>	
LA PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA.....	175
LA PROYECCIÓN ISÓCRONA.....	177
MAPAS DE FACTOR DE CIELO.....	179
MAPAS DE FLUJO SOLAR.....	180
REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES.....	183
<b>08_ ANEXOS.....</b>	<b>184</b>



# INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo apunta a una historia gráfica original de diferentes relaciones posibles entre el Sol y la geometría de la arquitectura, a través del tiempo y del espacio. Para tal estudio se utilizó el programa informático Heliodon V2. Dicho programa permite el estudio del asoleo en un modelo digital, ofreciéndonos el análisis de la configuración volumétrica de la arquitectura en relación con el Sol, en una latitud determinada.

El primer capítulo contiene la explicación de los conceptos básicos de soleamiento, de latitud y de clima, temas que están íntimamente ligados. La finalidad de este capítulo es de introducir al lector, pero además, complementar las explicaciones con material gráfico que facilite su comprensión.

El segundo capítulo comprende una comparación entre latitudes y arquitectura. Este tema se desarrolló lo más gráficamente posible. Lo que nos permite demostrar, a través de planos e imágenes, las similitudes de asoleo y de arquitectura en diferentes puntos de la Tierra.

A partir del tercer capítulo, se inicia el desarrollo de los cuatro casos en estudio, los cuales se eligieron a fin de ejemplificar las diversas relaciones del hombre con el Sol, materializadas a través de la geometría de la arquitectura. La disposición de estos capítulos no corresponde a un orden cronológico, sino más bien a las diversas relaciones establecidas por el hombre en diferentes latitudes y con diferentes intenciones. En todos los casos, se utilizaron las herramientas del programa Heliodon V2, lo cual nos permitió un análisis diferente, al obtener gráficos originales.

El tercer capítulo se desarrolla en África, en el cinturón Ecuatorial. La relación que tiene el hombre africano con el Sol de esa latitud, consiste en guarecerse de sus rayos, y su mejor refugio lo encuentra debajo del árbol del mango. Este árbol tiene una importancia vital en la sociedad de las tribus africanas.

El cuarto capítulo trata de una relación completamente opuesta y en una latitud muy alejada, El Panteón de Roma. En esta relación, el hombre busca la entrada del Sol a un espacio interior, con la finalidad de representar al disco solar como Dios, inundando con su luz desde lo alto para crear un efecto lumínico que no deja de conmovernos.

El quinto capítulo aborda el tema de la orientación de los edificios, particularmente cuando se les confiere un significado religioso. El mejor ejemplo es, sin duda alguna, el Partenón de Atenas. Pues las tradiciones religiosas griegas se basaban en los mitos, los cuales se materializaban en la arquitectura de sus templos.

El último caso aquí estudiado es el Hemiciclo Solar, obra maestra de Arquitectura medioambiental del arquitecto Frank Lloyd Wright. Este ejemplo comprende la relación que establece el hombre de la zona templada con el Sol, cuando desea lograr un confort ambiental natural en una casa.

El último capítulo contiene las conclusiones, enfocadas a los gráficos obtenidos con Heliodon V2, pues cada uno de los capítulos tiene ya conclusiones particulares.

01\_ EL SOL DESDE LA TIERRA

## 01\_EL SOL DESDE LA TIERRA

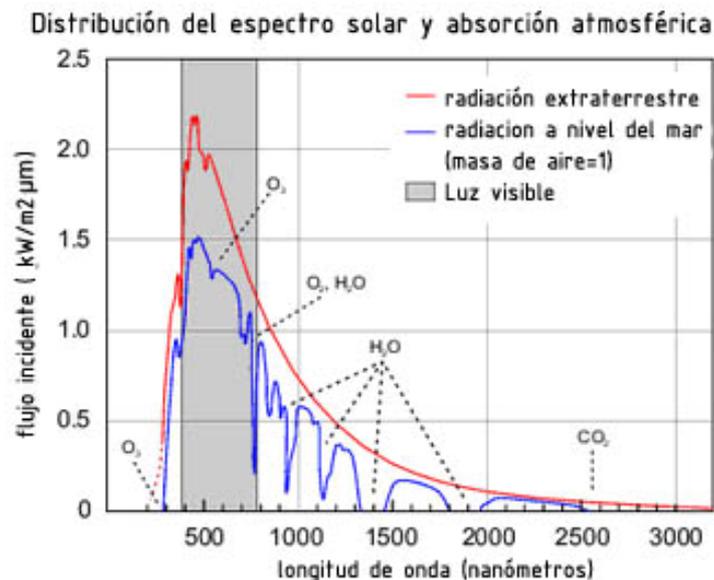
Este capítulo aborda la relación entre el Sol y la Tierra. Es necesario abordar este tema de manera global para comprender las diferencias de asoleo en los distintos puntos de la Tierra, las cuales han sido determinantes para el desarrollo de la vida humana y han marcado las distintas relaciones del hombre con el Sol.

### EL SOL

El Sol es la estrella que se encuentra más cercana a la Tierra. Ésta y los demás planetas giran alrededor de él. Se encuentra a 150 000 000 de kilómetros de la Tierra y es en realidad una esfera, constituida por varias capas concéntricas de gases a altas temperaturas, cuyo diámetro es de 1.392.000 km.<sup>1</sup> En su núcleo ocurren reacciones de fusión termonuclear, donde los núcleos de los átomos del hidrogeno se transforman en helio liberando enormes cantidades de energía. Esta energía parte desde el núcleo hacia la superficie solar, a través de la convección provocada por las diferentes capas solares y sus densidades. Posteriormente la energía se disipa hacia el espacio infinito en forma de radiación electromagnética de alta frecuencia y con diferentes longitudes de onda.

### EL ESPECTRO SOLAR

El espectro electromagnético está compuesto por radiación de diferentes longitudes de onda y se divide en bandas para su clasificación. Estas bandas incluyen los Rayos Gamma, Rayos X, Ultravioleta, espectro visible, Infrarrojo, región de microondas y ondas de Radio.<sup>2</sup>



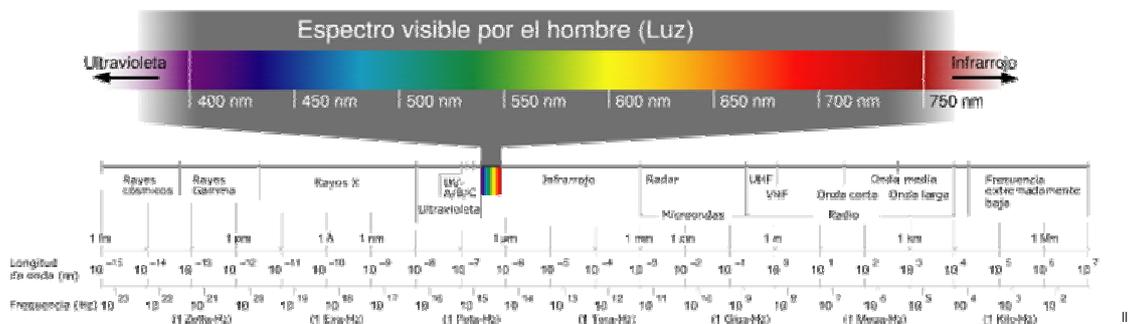
FIG\_1.- Distribución el espectro solar y absorción atmosférica.

Existe una marcada reducción de la radiación al penetrar la atmósfera. Los componentes de ésta absorben y filtran la radiación de acuerdo a la longitud de onda y a los gases con los que incide.

<sup>1</sup> BEHLING, S. *Sol power la evolución de la arquitectura sostenible*, Gustavo Gili, Barcelona, 2002, pág,26

<sup>2</sup> <http://www.fcq.uach.mx/archivos/espectroscopia/ANTOLOGIA/lectura1.pdf>, pág,4

“El espectro visible abarca aquellas longitudes de onda que son capaces de estimular los fotorreceptores retinianos, dando lugar a una sensación visual. Se considera que el espectro visible está constituido por las longitudes de onda comprendidas entre 380 y 780 nm.”<sup>3</sup> Nuestra visión está acostumbrada al tipo de luz del Sol, ésta reproduce los colores de manera más fiel y es la que resulta más cómoda al ser humano.

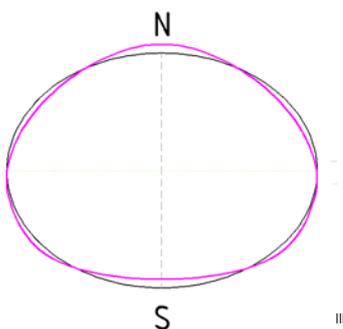


FIG\_2.- Espectro solar y espectro visible por el hombre.

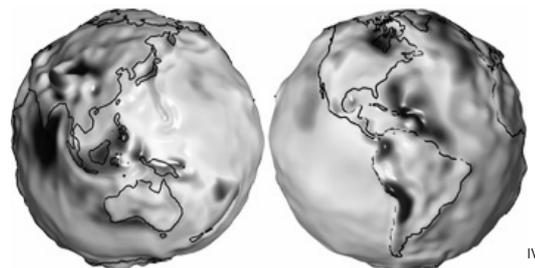
### LA FORMA DE LA TIERRA

El término más común es el de Geoide: “Forma teórica de la Tierra determinada por la geodesia”<sup>4</sup>, pero esta definición resulta insuficiente para describir dicha forma. El término más adecuado es el de esferoide o elipsoide, ya que ninguna forma esférica simple iguala a la de la Tierra, pues ésta presenta un hinchamiento en el medio (el Ecuador) y un achatamiento en los polos, provocado por la rotación rápida alrededor de su eje.

La elipticidad de la Tierra es aproximadamente 0,003353. El semi-eje mayor describe el radio ecuatorial, el cual también se presume es elíptico y el semi-eje menor representa el radio polar. Además, la concentración de masas no es uniforme, debido a la densidad de corteza irregular y la distribución de los océanos. Sin embargo, con el fin de simplificar su análisis se supone la forma de la Tierra esférica y de superficie lisa.



FIG\_3.- Forma de la Tierra con deformaciones ampliadas. En negro está marcada la forma del geoide y en magenta la forma que algunos investigadores concluyeron. El semi-eje mayor en verde y el semi-eje menor en gris.



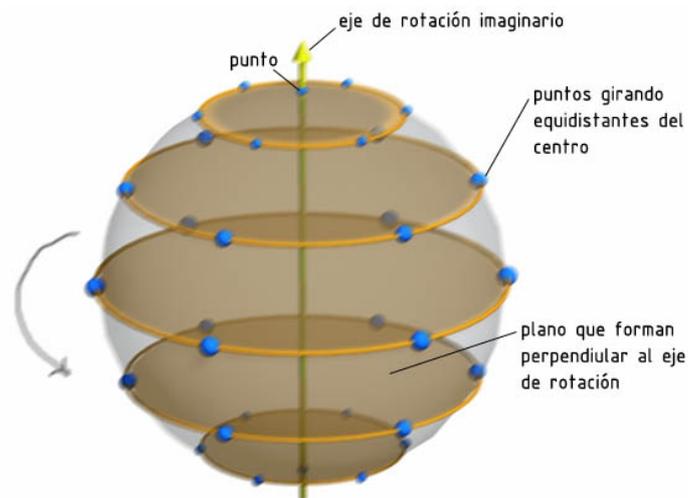
FIG\_4.- Imagen que muestre la superficie irregular de la Tierra, ampliando las deformaciones.

<sup>3</sup> <http://www.uv.es/~visual/solar.pdf>

<sup>4</sup> Diccionario de la lengua española: [http://buscon.rae.es/draef/SrvltConsulta?TIPO\\_BUS=3&LEMA=geoide](http://buscon.rae.es/draef/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=geoide)

## SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS

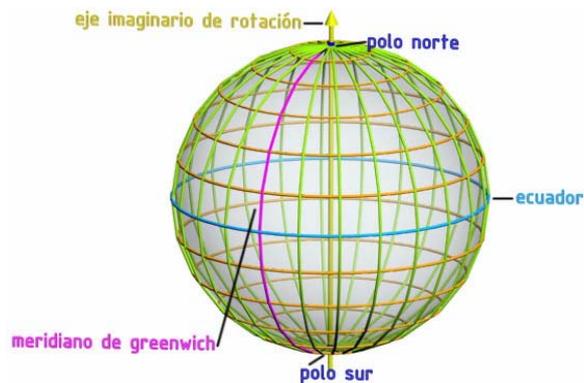
Una vez que se ha supuesto la forma de la Tierra como esférica y lisa, procedemos a describir la esfera. Si se aplica un par de fuerzas a dicha esfera, se provoca un giro sobre su propio eje. El eje descrito no es palpable pero la mente lo sitúa de inmediato. Alrededor de este eje se mueve toda la masa, constituida por una infinidad de puntos que giran de manera equidistante al eje. Al girar dichos puntos generan círculos que se pueden contener en planos, éstos resultan paralelos entre sí y perpendiculares al eje de rotación. Los círculos horizontales que se encuentran en la esfera se denominan paralelos, los cuales se van reduciendo gradualmente de tamaño hasta convertirse en un único punto, el Polo.



FIG\_5.- Figura que describe el movimiento de rotación de la esfera. En color amarillo y en sentido vertical el eje imaginario que se describe durante el movimiento de rotación, en naranja los círculos planos que los puntos describen en dicho movimiento.

El círculo con mayor longitud es trazado por el punto que se encuentra más alejado del eje y pasa por el centro de la esfera. Recibe el nombre de Ecuador y es el único círculo máximo de todos los paralelos. Sobre el eje imaginario de la Tierra, es decir en sentido vertical, encontramos varios círculos máximos. La característica de éstos es que todos son concéntricos a la esfera, tienen la misma circunferencia que ésta y se encuentran anclados en sus polos. Si tomamos la mitad de un círculo máximo se definen los meridianos.

Los paralelos y meridianos especifican el sistema de direcciones geográficas, Norte-Sur, Este-Oeste. El Ecuador se considera el paralelo de referencia y ahí se sitúa el valor de 0, dividiendo a la Tierra en dos hemisferios. La Tierra tiene un campo magnético natural en el que los puntos donde concurren las concentraciones electromagnéticas se denominan por las diferencias de cargas: el positivo se llama Norte y el negativo Sur. De tal manera que los puntos ubicados en el hemisferio Norte tienen un valor positivo y los ubicados en el hemisferio Sur un valor negativo. A diferencia del Ecuador, no existe un meridiano principal, fue fijado por un acuerdo general político en 1884 sobre el Observatorio Real en Greenwich, Reino Unido. Este meridiano tiene el valor de 0 y divide a la Tierra en dos hemisferios: a la derecha del meridiano el hemisferio Este con valor positivo y a la izquierda el hemisferio Oeste, con valor negativo.

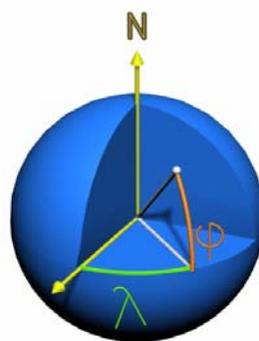


FIG\_6.-Sistema de coordenadas esférico, en color verde los meridianos y en color naranja los paralelos. El ecuador en color azul y el meridiano de Greenwich en color magenta.

A fin de localizar un punto sobre la superficie de la Tierra, se utiliza un sistema polar de coordenadas geográficas. Estas coordenadas se denominan latitud y longitud, ambas basadas en ángulos medidos desde el centro de la Tierra a una línea de referencia y expresados en grados, minutos y segundos.

**Latitud:** es el ángulo que forma la vertical del lugar con respecto al Ecuador, donde se considera el valor de  $0^\circ$ , abarcando de  $0$  a  $90^\circ$ . Considerándose valor positivo para el hemisferio Norte y valor negativo para el hemisferio Sur.

**Longitud:** es el ángulo diedro que forman el meridiano que pasa por el lugar en estudio con respecto al meridiano de Greenwich, ahí se consideran los  $0^\circ$ . Los valores se sitúan entre los  $0^\circ$  y los  $180^\circ$ , siendo positivos hacia el Este y negativos al Oeste.



FIG\_7.- En esta esfera (con un octante quitado para mayor claridad) se observan los orígenes del sistema coordinado. El punto de superficie blanca es localizado usando dos ángulos o coordenadas, llamados longitud ( $\lambda$ ) y latitud ( $\phi$ ).

Los grados de latitud y longitud constituyen un sistema de referencia y no mediciones de distancia sobre la superficie de ella, no es un sistema de coordenadas plano. Todos los puntos sobre un meridiano tienen el mismo tiempo solar o local. Cada lugar de la Tierra queda contenida en un paralelo, el cual se presenta de manera diferente con respecto al Sol. Resulta ser más importante en cuestión de estudios de soleamiento el conocer la latitud del lugar, ya que las variaciones diurnas y anuales son comunes a todos los puntos de la superficie terrestre de igual latitud. La latitud determina la inclinación de los rayos solares y la cercanía al Sol, factores decisivos para la determinación del clima (junto a otros factores como la atmósfera y la energía solar).

## LÍNEAS IMAGINARIAS DE LA TIERRA

La Tierra contiene dos planos que pasan por su centro. El plano orbital que contiene la órbita que se describe en el movimiento de traslación y el plano ecuatorial, definido por el movimiento de rotación, el cual tiene un plano perpendicular a éste y es donde se encuentra el eje de rotación que une sus polos. Si trazamos un plano perpendicular al plano orbital encontramos que se forma un ángulo entre éste y el eje de rotación, el cual se denomina inclinación axial u oblicuidad y su valor es de  $23^{\circ}27'$ . También se denomina así al ángulo que existe entre el plano ecuatorial y el plano orbital. Estos planos definen los cinco paralelos principales:

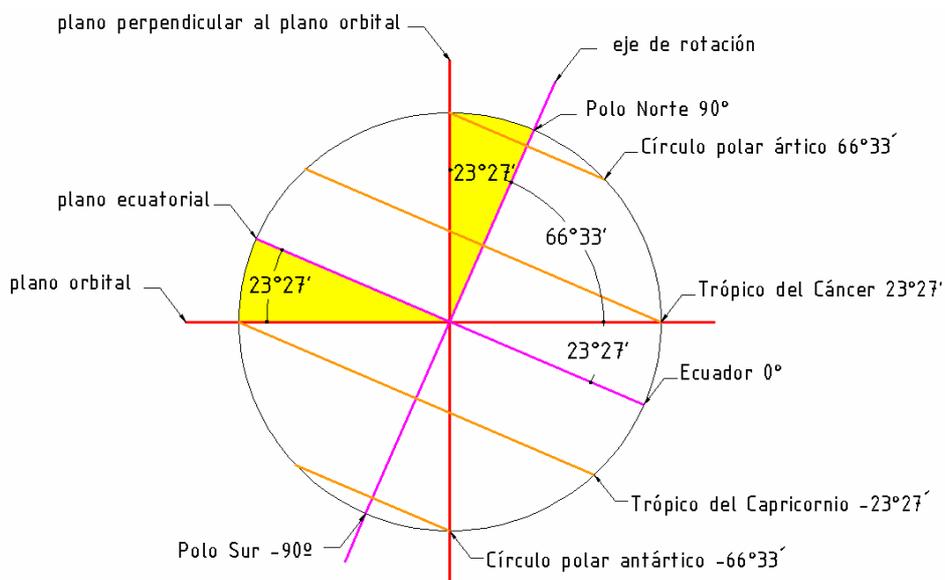
**Ecuador:** Contenido en el plano ecuatorial atravesando el centro de la Tierra y cuyo valor es  $0^{\circ}$ . La palabra "ecuador" significa "línea de la igualdad"; ahí el Sol y las estrellas tardan el mismo tiempo en estar por encima del horizonte que por debajo.

**Trópico del Cáncer:** su latitud corresponde al ángulo formado entre el plano orbital y el ecuatorial, por esta razón su valor es de  $23^{\circ}27'$  y se encuentra en el hemisferio Norte. Si al plano ecuatorial se suma el valor de la inclinación axial se obtiene su latitud.

**Trópico del Capricornio:** su deducción es igual que la anterior, sólo que al Ecuador se resta la inclinación axial por estar contenido en el hemisferio Sur, de tal manera que su valor es de  $-23^{\circ}27'$ .

**Círculo polar ártico:** su latitud es igual al ángulo que existe entre el eje de rotación y el plano orbital, o dicho de otra manera, al ángulo que se forma al restar la inclinación axial al plano perpendicular de la órbita. Su valor es de  $66^{\circ}33'$ , siendo positivo por estar en el hemisferio Norte.

**Círculo polar antártico:** Su deducción es igual que la anterior pero por estar en el hemisferio Sur, su valor es negativo,  $-66^{\circ}33'$ .



viii

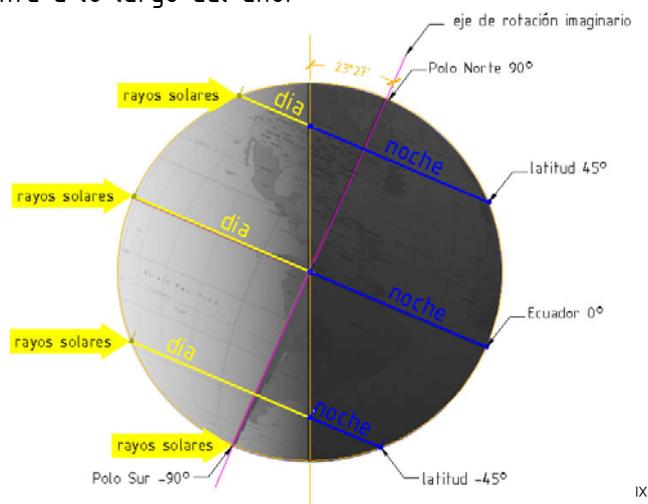
FIG\_8.- Líneas imaginarias de la Tierra. En rojo los planos referidos a la órbita y en magenta los referidos a la rotación. En naranja los paralelos y el área en amarillo es la inclinación axial u oblicuidad.

## MOVIMIENTOS CARACTERÍSTICOS DE LA TIERRA

La Tierra realiza varios movimientos pero, para el análisis solar se consideran los más importantes que son el de rotación y el de traslación. Ambos son movimientos de rotación realizados simultáneamente, el primero sobre su propio eje, generando el ciclo de día-noche, y el segundo alrededor del Sol, que junto a la declinación del ángulo genera los cambios estacionales.

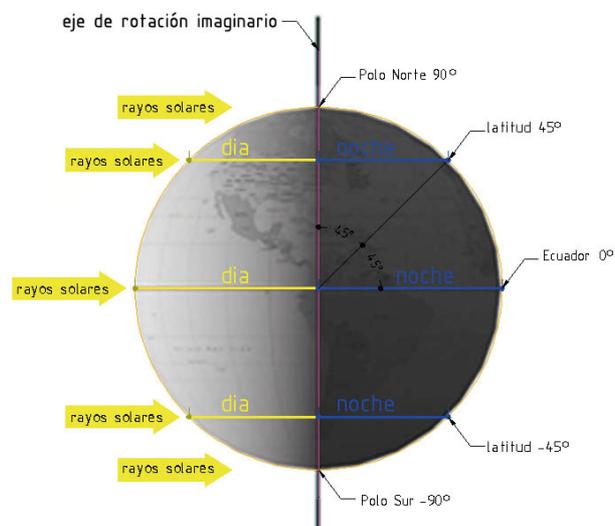
### MOVIMIENTO DE ROTACIÓN

La Tierra gira alrededor de su propio eje, lo cual provoca que la mitad de la Tierra se encuentre frente al Sol y la otra de espaldas, dando lugar al día y la noche. Para realizar dicho giro, la Tierra tarda aproximadamente 24 horas. El eje de la Tierra tiene una inclinación de  $23^{\circ}27'$ , dicha inclinación se mantiene constante durante el movimiento de traslación, lo que provoca que la duración de los días y la oblicuidad de los rayos cambien drásticamente a lo largo del año.



FIG\_9.- Movimiento de rotación de la Tierra. Se aprecia la inclinación del eje de rotación y la diferencia de duración de horas con luz en cada punto de la Tierra.

Si el eje de la Tierra no estuviera inclinado, la duración del día y la noche serían iguales en todos los puntos de la Tierra con una duración de 12 horas, además, no sucedería el cambio de estaciones.



FIG\_10.- Movimiento de rotación de la Tierra sin ángulo de declinación.

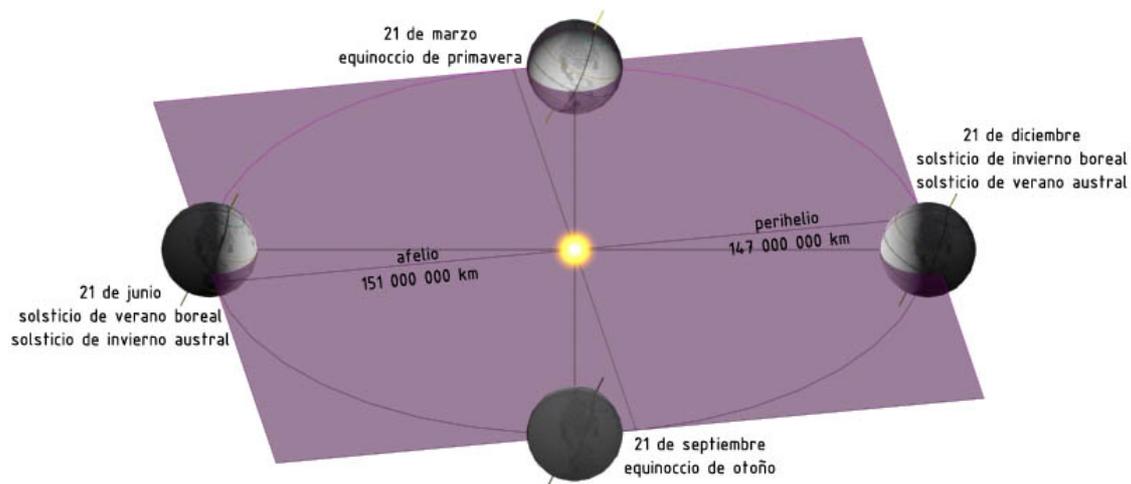
## MOVIMIENTO DE TRASLACIÓN

La Tierra se mueve alrededor del Sol describiendo una órbita elíptica de pequeña excentricidad,  $e=0,017674$ . El Sol ocupa uno de los focos. Este movimiento es periódico, siendo el periodo de un año solar, con una duración de "365 días 5 horas 48 minutos 4 s, y una velocidad de desplazamiento de 29 km/s".<sup>5</sup>

En la órbita de traslación existen dos puntos importantes: el perihelio, cuando la Tierra está más cerca del Sol, ocurre el 1º de enero y su distancia es de 147 000 000 km, y el afelio, cuando se encuentra más alejada del Sol, ocurre el 1º de julio y su distancia es de 151 000 000 km.

La órbita de traslación se divide arbitrariamente en 12 etapas, los 12 meses del año. El plano de la órbita anual o plano de la eclíptica forma con el plano ecuatorial un ángulo diedro de  $23^{\circ}27'$ . Este ángulo es constante durante todo el año. Los rayos del Sol son paralelos, debido a la enorme distancia que separa el Sol de la Tierra.

La máxima intensidad de radiación solar se presenta siempre en un plano perpendicular a su dirección. Debido a que la inclinación del eje de rotación terrestre se mantiene siempre paralelo a sí mismo a lo largo del desplazamiento orbital, los rayos solares inciden perpendicularmente en un punto distinto cada día del año. En la órbita anual, existen cuatro momentos en que los rayos caen de forma particular sobre la superficie terrestre. Estos se dan en dos posiciones extremas de la Tierra que son los solsticios y dos intermedias que son los equinoccios.



FIG\_11.- Movimiento de traslación; se muestra la órbita que describe y el plano que la contiene en color lila

La inclinación del eje de rotación de la Tierra y el movimiento de traslación originan los cambios de estación. Las estaciones del año son los cambios que sufre el clima de un lugar por su latitud en relación con el Sol. Sus características primordiales son el cambio de temperatura, la variación de los rayos infrarrojos por la inclinación del Sol, la diferencia en horas entre el día y la noche, y la intensidad de los rayos ultravioleta.

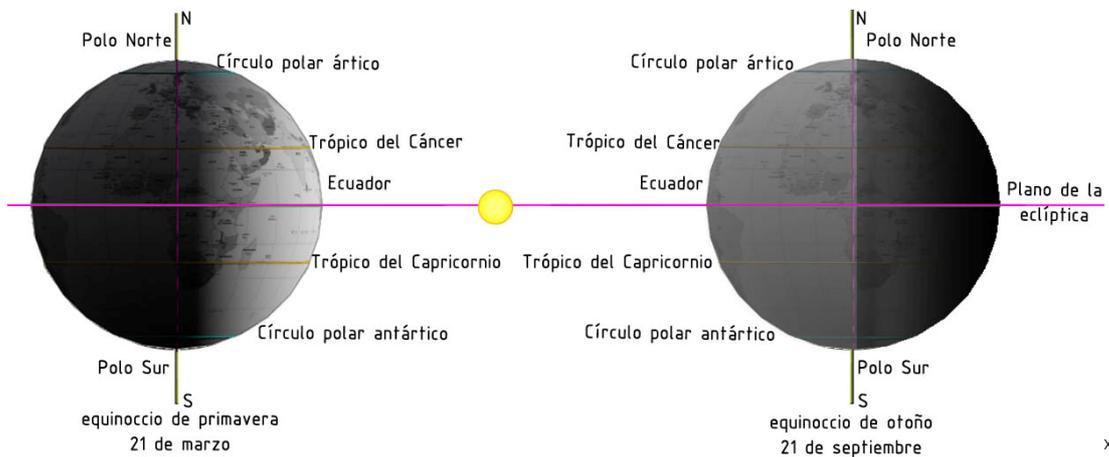
<sup>5</sup> LACOMBA R. *Manual de arquitectura solar*, Trillas, México, pág, 140.

Las fechas más significativas, respecto a la posición de la Tierra en relación con el Sol y la incidencia de sus rayos sobre la superficie terrestre son:

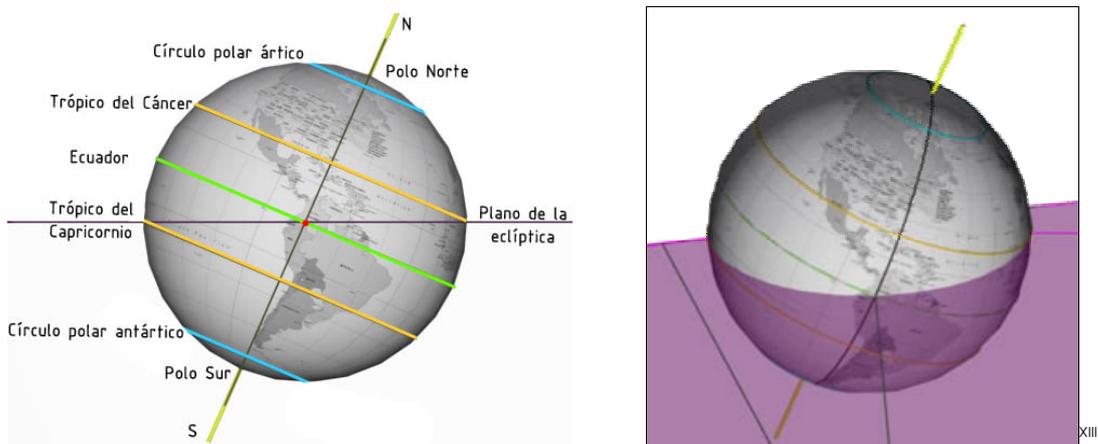
- a) 21 de marzo y 21 de septiembre, equinoccios de primavera y otoño
- b) 21 de junio y 21 de diciembre, solsticios de verano e invierno.

En estas fechas, los rayos solares inciden perpendicularmente lugares particulares de la superficie terrestre, formando, por su movimiento de rotación axial, los círculos imaginarios del Trópico del Cáncer, del Trópico del Capricornio y del Ecuador terrestre.

**Equinoccio:** Del latín *aequinoctium*<sup>6</sup>. Se denomina equinoccio al momento en que un punto de la eclíptica corta al ecuador celeste, por lo que el ángulo de declinación es de 0°. En este momento, la noche y el día tienen la misma duración en todo el mundo. Durante el equinoccio, los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el Ecuador y el Sol alcanza allí su cenit. Eso sucede dos veces al año en fechas que coinciden con la entrada de las estaciones de primavera y otoño: el 21 de marzo (equinoccio de primavera boreal) y el 21 de septiembre (equinoccio de otoño boreal).



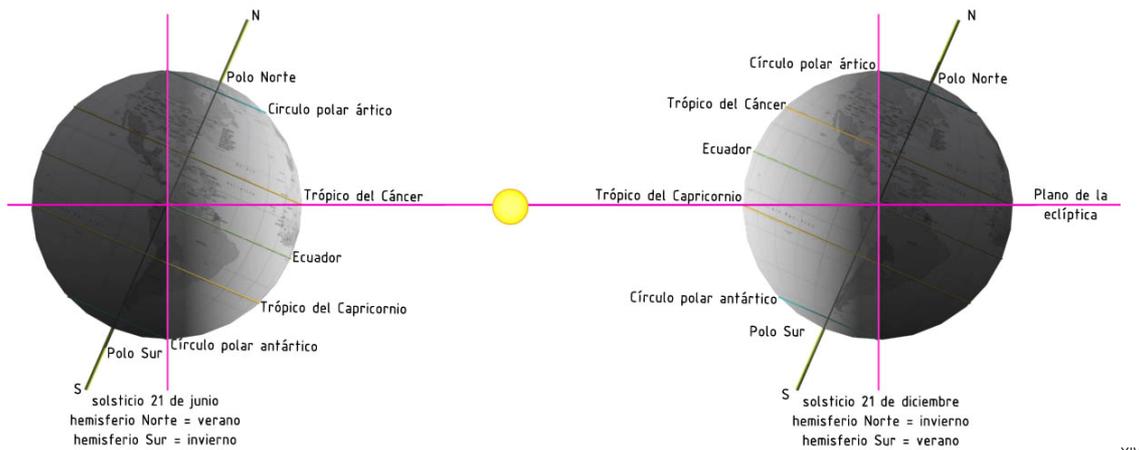
FIG\_12.- Equinoccios de primavera y otoño en el hemisferio Norte.



FIG\_13.- Equinoccio visto desde el Sol, donde se aprecia el punto de intersección entre el plano de la eclíptica y el Ecuador, las líneas imaginarias son mostradas en colores. A la derecha, se aprecia en tres dimensiones.

<sup>6</sup> Diccionario de la lengua española: [http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO\\_BUS=3&LEMA=equinoccio](http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=equinoccio)

**Solsticio:** Del latín *solstitium*<sup>7</sup>. Los solsticios son los dos puntos de la esfera celeste en los que el Sol alcanza su máxima declinación Norte ( $+23^{\circ}27'$ ) y su máxima declinación Sur ( $-23^{\circ}27'$ ). En los solsticios, el Trópico del Cáncer y el de Capricornio tocan a la eclíptica, por lo que los rayos solares caen perpendicularmente en estos sitios, donde el Sol alcanza el cenit. Eso sucede en dos fechas del año que coinciden con la entrada de las estaciones de verano e invierno.



FIG\_14.- Solsticios de verano e invierno.

La inclinación del eje de la Tierra provoca que algunas veces el polo Norte se halle en dirección al Sol y otras sea el polo Sur. El soleamiento cambia totalmente de un periodo a otro, así como la duración de los días y las noches.

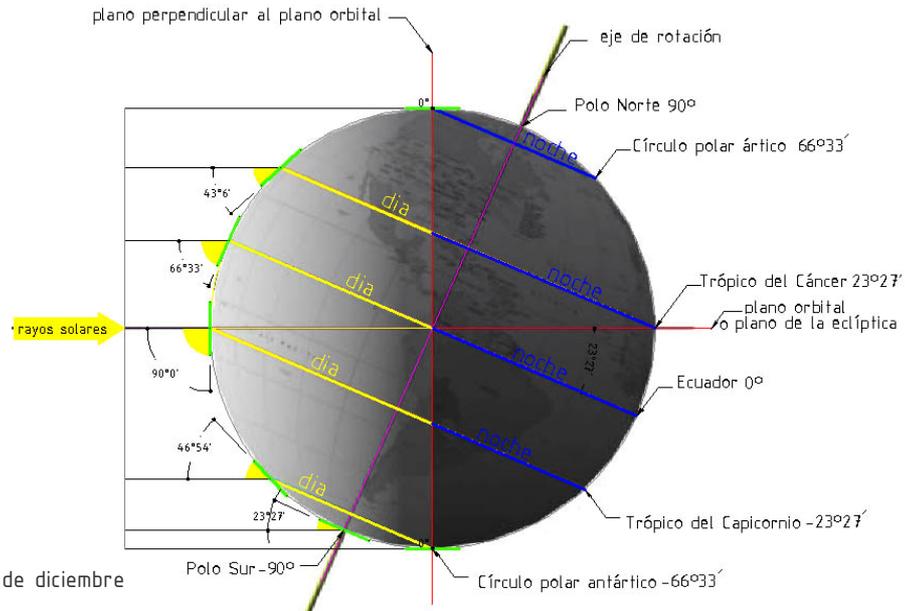
La combinación del número de horas de Sol con la inclinación de los rayos solares es determinante para las estaciones. El invierno es más frío no sólo porque presenta períodos más cortos de luz solar, sino por que se presenta el ángulo más bajo de los rayos solares. El verano es la estación más cálida al presentar una mayor duración de horas de Sol, así como una inclinación superior de los rayos solares. Además, a partir del solsticio del 21 de junio, las regiones ubicadas en el hemisferio Norte se encuentran más cercanas al Sol, por esta razón se comienza el verano, mientras que el hemisferio Sur llega a su posición más lejana del Sol, dando comienzo al invierno.

Los Trópicos del Cáncer y del Capricornio son las latitudes límites donde el Sol puede alcanzar el cenit. Más allá de estas líneas, el Sol nunca alcanza esta posición. Para el análisis solar, se debe tomar en cuenta que los solsticios delimitan el ángulo de declinación más alto y más bajo del Sol de mediodía.

En regiones al Sur del Trópico del Capricornio el Sol parece correr siempre al Norte del observador, alcanzándolo exactamente al mediodía, mientras que en sitios al Norte del Trópico del Cáncer el Sol controla siempre el Sur del observador. En las regiones tropicales, el Sol culmina a veces al Sur, a veces al Norte, dependiendo de la estación.

<sup>7</sup> Diccionario de la lengua española: [http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO\\_BUS=3&LEMA=solsticio](http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=solsticio)

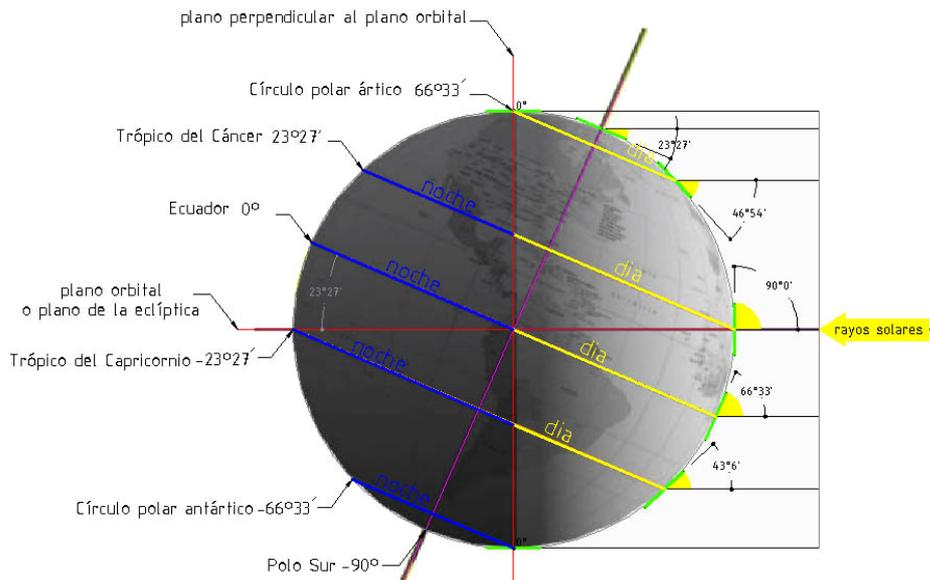
**Solsticio del 21 de diciembre:** el Trópico del Capricornio ( $-23^{\circ}27'$ ) toca el plano orbital, lo que provoca que los rayos solares caigan verticalmente, pues el Sol alcanza el cenit. Éste es el día con mayor número de horas de luz solar del hemisferio Sur, presentándose el solsticio de verano austral. Al contrario, es el día con menor número de horas de luz solar en el hemisferio Norte, por lo tanto solsticio de invierno boreal. En el círculo polar ártico, se sucede un día con oscuridad total, mientras que en el círculo polar antártico se sucede un día de 24 horas de luz solar.



FIG\_16.- Solsticio 21 de diciembre

xv

**Solsticio del 21 de junio:** El Trópico del Cáncer ( $23^{\circ}27'$ ) toca el plano orbital y el Sol alcanza el cenit al mediodía. En el hemisferio Norte, ocurre el solsticio de verano boreal, pues el día con mayor número de horas de luz natural es experimentado. Mientras que en el hemisferio Sur se inicia el solsticio de invierno austral. En el círculo polar ártico se sucede un día de 24 horas de luz solar, mientras que en el círculo polar antártico se presenta un día donde el Sol nunca aparece.



FIG\_16.- Solsticio 21 de junio

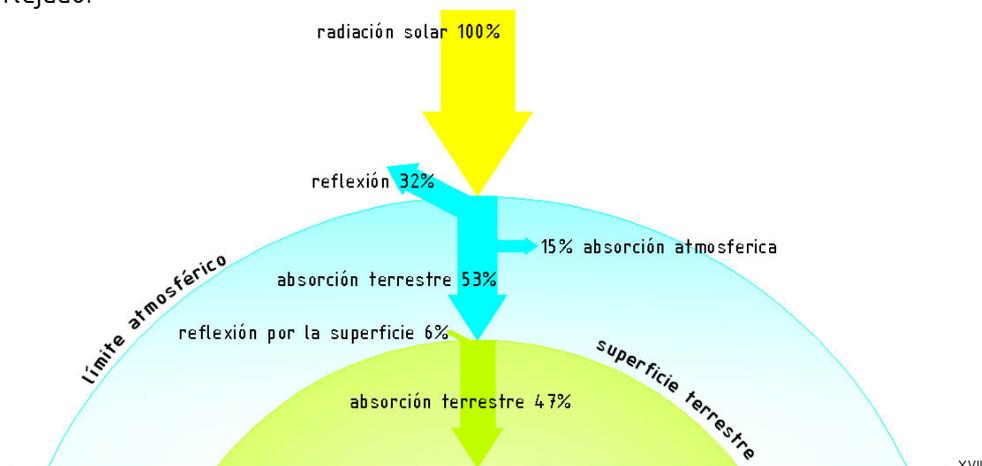
xvi

## RADIACIÓN SOLAR Y LA TIERRA

La radiación solar es imprescindible para la vida en la Tierra. Es la principal fuente de energía natural y no existe ninguna energía equiparable en rendimiento y potencia. La radiación solar se propaga por ondas electromagnéticas atravesando el espacio hasta llegar a la Tierra, donde aporta luz y calor. Al incidir sobre la superficie terrestre, toma distintas formas de energía, estableciendo los ciclos naturales, como el ciclo del carbono y el del agua, dando lugar a otras formas de energía naturales como la eólica y la hidráulica. La atmósfera es de vital importancia para esta transformación, pues actúa como un regulador de flujos de energía, estableciendo un sistema en constante transformación y renovación que crea las condiciones necesarias para la vida.

La atmósfera es un sistema de capas semipermeables que se extiende desde el suelo de la Tierra hasta una altura de 1000 Km. En dichas capas van filtrándose las radiaciones solares según su longitud de onda, bloqueándose o reduciéndose las más peligrosas.

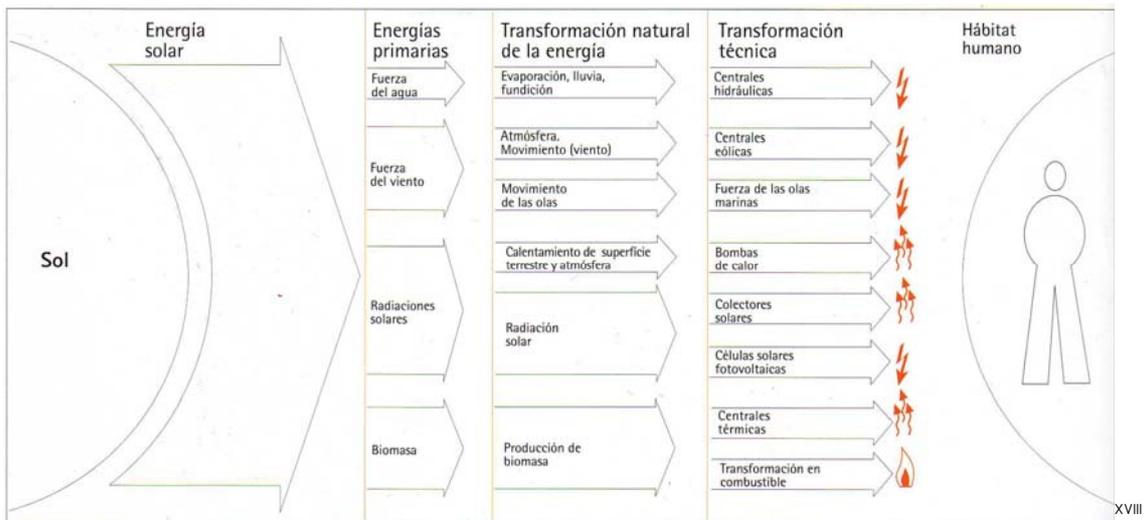
Se establece así un balance energético entre la radiación electromagnética y el planeta con su masa atmosférica. "La superficie a nivel de suelo recibe una cantidad considerablemente menor debido a una serie de pérdidas que se ocasionan al atravesar los rayos solares la atmósfera terrestre"<sup>8</sup>. Dicho balance se realiza mediante procesos simultáneos de reflexión, difusión, absorción y emisión. Del total de radiación solar que llega a la Tierra, 32% es reflejada por la atmósfera al espacio, 15% es absorbida por el oxígeno, el ozono y el vapor de agua contenidos en la atmósfera. El 53% alcanza la superficie de la Tierra. De este valor, 47% es absorbido por la superficie terrestre y 6% reflejado.



Fig\_17.- Figura que muestra el efecto de la radiación al incidir sobre la Tierra.

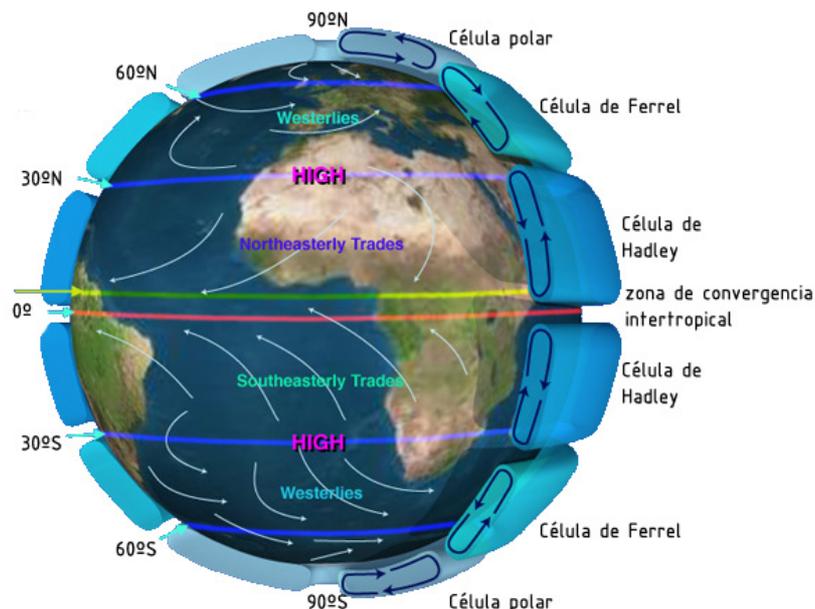
La energía absorbida se transforma en calor, elevando la temperatura del aire, del suelo y de los objetos a su alrededor. Se transforma en diversas formas de energía, algunas se guardan como reserva energética y el resto se utiliza en los ciclos atmosféricos y biológicos. La energía absorbida es devuelta al espacio exterior, bajo una forma degradada de energía: radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre.

<sup>8</sup> OLGAYAY, V, *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, Barcelona, 1998, pág. 32.



Fig\_18.-Esta imagen muestra la transformación que sufre la energía solar al atravesar la atmósfera terrestre. Primero en energías primarias, después en fuentes de energía naturales, las cuales el hombre es capaz de transformar en otras fuentes de energía.

La energía solar es absorbida principalmente en las regiones intertropicales. Esta energía es transmitida como energía térmica o calor latente, en forma de vapor de agua, desde el Ecuador hacia las regiones polares. Eventualmente, esta energía es irradiada al espacio exterior, dejando el sistema Tierra-Atmósfera-Océano en equilibrio. Debido a la absorción diferencial entre las zonas intertropicales y polares, se produce un flujo neto de energía en la atmósfera y el océano. En la atmósfera, la energía se mueve hacia el polo por medio del ciclo de la circulación global. Una forma de llevar esta energía desde latitudes bajas hasta las altas es a través del calor latente mediante el transporte de vapor de agua. Este vapor se condensa y cede la misma cantidad de energía que fue usada para su evaporación en la zona intertropical.<sup>9</sup>



Fig\_19.- Circulación Atmosférica Global

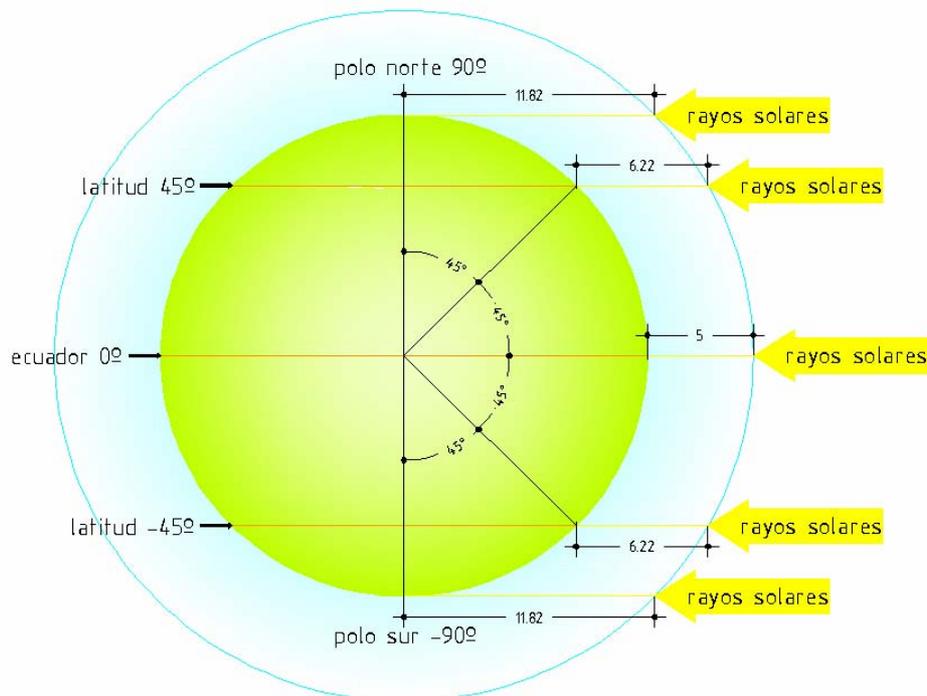
<sup>9</sup> [http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/atmos/atmos\\_lecture\\_es.html](http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/atmos/atmos_lecture_es.html)

La cantidad de energía solar que alcanza la superficie terrestre varía por los siguientes factores:

- La latitud, es decir su posición con respecto al Sol, que determina la dirección de los rayos solares.
- La altitud, entendida como la altura respecto al nivel del mar, pues a mayor altura menor atmósfera que atravesar y por ende menores pérdidas.
- La composición atmosférica, se refiere al contenido de vapor de agua y de nubosidad.

**La latitud:** Debido a la curvatura de la Tierra, existen sitios que quedan con distancia mínima en referencia al Sol, ubicados en el Ecuador, y puntos que quedan con distancia máxima, los polos. En los primeros, existe una mayor concentración de calor por recibir los rayos muy verticalmente. Mientras que los polos alcanzan menor concentración pues los rayos solares deben recorrer una mayor extensión atmosférica, además el rayo solar es tangente y por lo tanto deposita menor cantidad de calor.

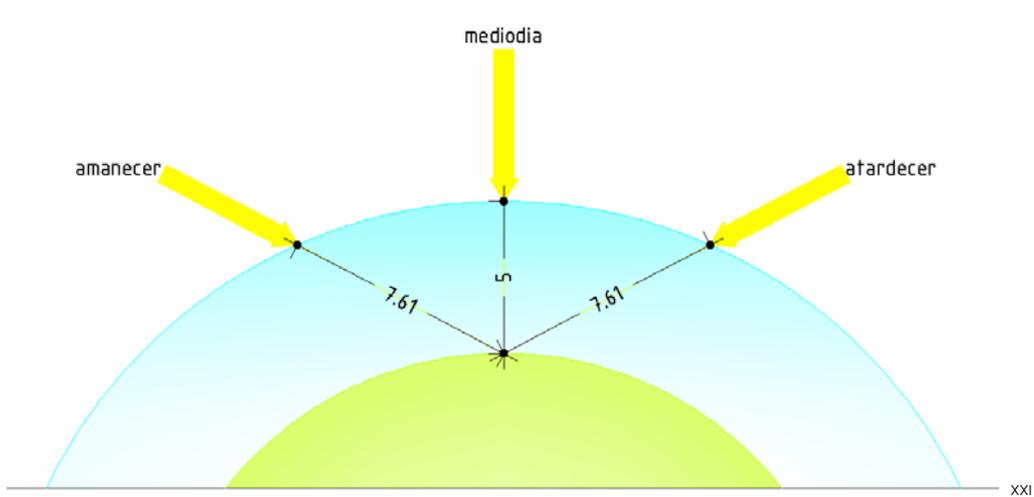
En la siguiente figura, podemos observar la incidencia de los rayos solares en diferentes latitudes. La distancia fijada sirve de referencia para notar la diferencia de longitud atmosférica respecto a una latitud. Esta distancia es equivalente en las latitudes con mismo valor, sin importar el hemisferio en que se encuentren.



xx

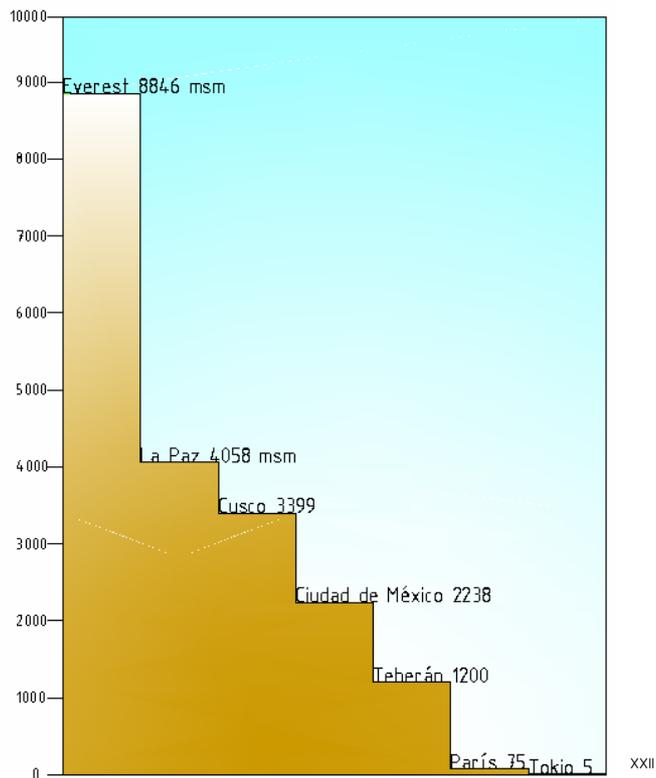
FIG\_20.-Figura de la Tierra con incidencia de rayos solares.

Existe otra variación diaria provocada por la posición del Sol respecto al horizonte. El Sol alcanza su altura máxima al mediodía, en este momento la radiación solar viaja a través de una menor cantidad de atmósfera en su ruta hacia la superficie terrestre. A medida que el Sol se acerca al horizonte, que es al amanecer y atardecer, esta ruta es más extensa (la distancia no es una magnitud real, sirve sólo como referencia).



FIG\_21.-Figura de la Tierra con incidencia de rayos solares.

**La altitud:** la radiación recibida será mayor al resultar menor el espesor de la masa atmosférica. La máxima insolación tiene lugar en las zonas que se encuentran en sitios con mayor altitud, generalmente áridas y con cielos despejados, por encontrarse alejadas de corrientes oceánicas y atmosféricas.



FIG\_22.-Figura que muestra la diferencia de extensión atmosférica entre varias ciudades.

**La composición atmosférica:** se refiere a la cantidad de nubes y humedad contenida en la atmósfera. "La variación de la temperatura diurna depende del estado del cielo. En días claros, la gran cantidad de radiación solar recibida y la libre expansión de la misma originan un amplio margen de variaciones térmicas, mientras que en días nublados dicho margen es inferior.... En verano, los días claros son más calidos, debido a que se

recibe una mayor radiación solar; pero en invierno, un día en las mismas condiciones es generalmente más frío que uno nublado, ya que durante el período nocturno –más amplio que el diurno– el calor producido por la radiación escapa más fácilmente al encontrar una atmósfera más despejada.”<sup>10</sup>

En cuanto a la humedad contenida en las partículas atmosféricas, se refiere al hecho de que éstas reflejan y absorben la radiación, provocando una concentración de radiación difusa. Este factor es determinado por la cercanía con corrientes marinas.

En las siguientes figuras, podemos apreciar la diferencia atmosférica que resume los factores anteriormente descritos. El Sahara, con una altitud promedio de 600 msn<sup>11</sup>, ubicado justo en el Trópico de Cáncer y alejado de corrientes marinas, presenta cielos completamente despejados y precipitaciones casi nulas. (Nótese el azul del cielo); la selva amazónica, situada a menos de 500 msn y ubicada en el cinturón ecuatorial, se caracteriza en cambio por el hecho que la atmósfera tiene un gran contenido de vapor de agua, que absorbe la radiación directa, transformándola en radiación difusa. (Nótese que a pesar de estar el Sol presente, el cielo luce blanquecino).



FIG\_23.-Fotografía del desierto del Sahara



FIG\_24.-Fotografía de la selva amazónica de Venezuela.

## LATITUD Y CLIMA

Son conceptos que están íntimamente ligados: “...la palabra clima, etimológicamente hablando significa inclinación y se refiere a la oblicuidad de los rayos solares que llegan al suelo, la cual varía según las horas del día, la época del año y la latitud del lugar...”<sup>12</sup>

---

<sup>10</sup> OLGAYAY, V, *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, Barcelona, 1998, pág. 32.

<sup>11</sup> <http://encyclopedia.farlex.com/Sahara+Desert>

<sup>12</sup> Yáñez P. G. *Energía solar edificación y clima Elementos para una arquitectura solar*, Tomo I, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1982, pág. 8

## ZONAS CLIMÁTICAS DE LA TIERRA

Según los conocimientos de la calorimetría, la Tierra presenta zonas bien definidas de distribución del calor. La inclinación de los rayos solares sobre la forma redondeada de la Tierra, donde las zonas irradiadas verticalmente se calientan más que las zonas que reciben los rayos en dirección oblicua, provoca que la insolación de la superficie terrestre no sea uniforme. Aparte de la inclinación de los rayos solares en la superficie terrestre, deben considerarse las condiciones atmosféricas que dichos rayos tienen que atravesar.

Debido a este calentamiento no uniforme en el planeta, se producen altas diferencias de presión que originan desplazamientos atmosféricos compensatorios, los cuales constituyen los vientos. Dando lugar al gradiente horizontal de temperaturas conocido como zonas climáticas, que en términos generales se extienden del Ecuador a los polos, existiendo así las siguientes:

1.-Zona ecuatorial (Entre  $10^{\circ}\text{N}$  y  $10^{\circ}\text{S}$ )

2.-Zona tórrida o tropical ( $10^{\circ}$ - $30^{\circ}$ , tanto en el hemisferio Norte como en el Sur).

Según las condiciones atmosféricas podemos encontrar:

- Zona tropical húmeda
- Zona tropical árida

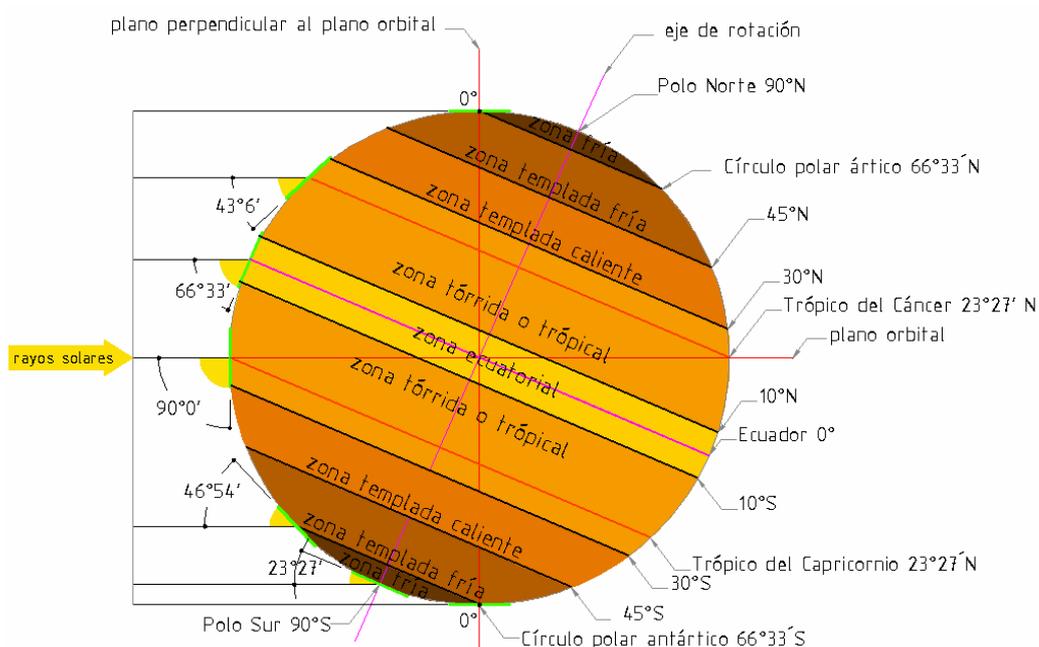
La Zona templada para su estudio se divide en:

3.- Zona templada caliente ( $30^{\circ}$ - $45^{\circ}$ , ambos hemisferios)

4.- Zona templada fría ( $45^{\circ}$ - $66^{\circ}33'$ , ambos hemisferios)

5.-Zona fría ( $66^{\circ}33'$ - $90^{\circ}$ , ambos hemisferios)

La distribución de las zonas climáticas es simétrica a partir del Ecuador, por lo tanto se dan las mismas condiciones en el hemisferio Norte y en el hemisferio Sur. Una ciudad ubicada en el paralelo de  $45^{\circ}$  tiene las mismas condiciones de asoleo que una ubicada en el paralelo  $-45^{\circ}$ , existiendo sólo un desfase de seis meses.



FIG\_25.- Zonas climáticas de la Tierra.

xxv

## 1.-Zona Ecuatorial

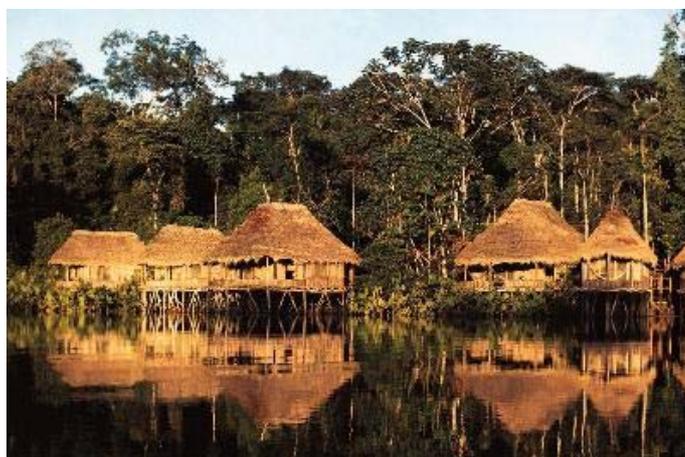
El Ecuador es el paralelo que mantiene su posición más constante con respecto al Sol durante el movimiento de traslación. Los rayos del Sol inciden muy verticalmente y caen perpendicularmente dos veces al año, en el equinoccio de primavera y en el de otoño. Provocando que las regiones que se encuentran dentro de ésta zona reciban una considerable carga de insolación, pero ésta no es tan marcada, debido a la gran humedad contenida en su masa atmosférica. Esta zona cede energía continuamente por medio de corrientes oceánicas y desplazamientos de la masa atmosférica.

Existe poca variación de temperatura y el ambiente se encuentra cargado de humedad. Por lo tanto, el contenido en vapor de agua del aire tiene un mayor efecto de absorción de la radiación directa, presentándose así mayor cantidad de radiación difusa, siendo ésta la que más afecta a estas regiones.

En esta zona, las estaciones no se diferencian, algunas veces sólo lo hacen por el régimen de lluvias y la cantidad de humedad relativa. La radiación es generalmente uniforme a lo largo del año, así como la duración de los días. No existe una oscilación de temperaturas, ni diaria ni anualmente.

La lluvia cae en grandes cantidades con una gran regularidad, incluso diaria. Por esta razón, la cubierta es el elemento principal de la arquitectura. En ésta zona lo importante es protegerse del Sol y de la constante precipitación, por esta razón, las cubiertas son muy elevadas, inclinadas y con aleros, protegiendo así al interior y a los cerramientos verticales de la radiación, tanto directa como difusa, y de la constante lluvia.

Las paredes son irrelevantes, en algunos casos ni siquiera existen, los límites de la vivienda están definidos por la sombra que proyecta la cubierta. La construcción tradicional tiende a ser ligera, así como sus materiales, los cuales deben secarse rápidamente, además carecen de inercia térmica por la poca variabilidad de temperaturas. La principal preocupación es la ventilación, pues permite la evaporación de la humedad, lograda a través de una máxima exposición a las brisas. Las construcciones son generalmente aisladas, despegándose la construcción muchas veces del suelo para permitir la circulación del aire.



FIG\_26.- Viviendas típicas en Ecuador

## 2.- Zona tórrida o tropical (también denominada zona caliente)

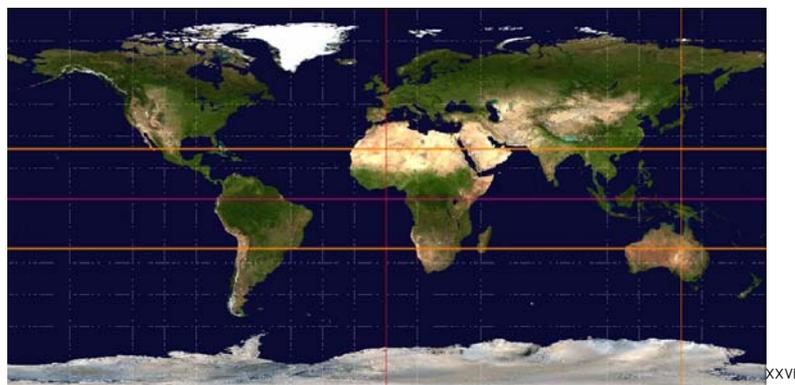
Como su nombre lo indica, se refiere a la zona comprendida entre los trópicos del Cáncer y del Capricornio. Los rayos del Sol caen dos veces al año perpendicularmente, sobre el Trópico del Cáncer el 21 de junio, y sobre el Trópico del Capricornio el 21 de diciembre. En latitudes más allá de los trópicos, no existe un rayo ortogonal en ninguna época del año, pero existen condiciones similares de soleamiento hasta alcanzar la latitud de 30°, donde sucede un cambio drástico, siendo así ésta el límite real de esta zona.

Las regiones que se encuentran dentro de ésta zona reciben la mayor carga de insolación, porque presentan menor contenido de vapor de agua en su masa atmosférica que la zona ecuatorial. En esta zona, las estaciones tampoco se diferencian de forma tan evidente por la temperatura, sólo lo hacen por el régimen de lluvias o la cantidad de humedad relativa. La radiación es generalmente uniforme, y hay poca diferencia en la duración de los días. Se puede sin embargo apreciar las variaciones estacionales y horarias de la intensidad de la insolación, por la variabilidad de la posición del Sol.

De manera general, la principal preocupación es evitar el sobrecalentamiento, protegerse de la intensa radiación, proporcionar espacios con sombra así como refrescar el interior. La cantidad de radiación directa es considerable, por lo tanto la cubierta se utiliza como protección al Sol vertical y a las lluvias, cuando éstas se presentan. Las paredes constituyen el elemento principal, se construyen con materiales como el ladrillo o adobe, el grosor de éstos depende de la oscilación de temperaturas.

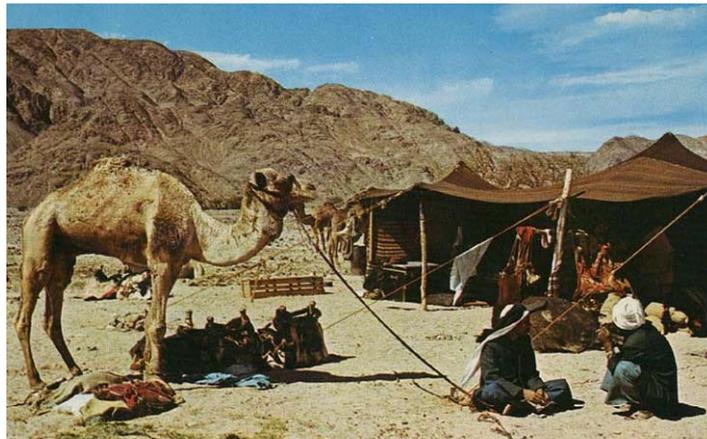
Dentro de esta zona existe una zona caliente árida y otra caliente un poco más húmeda, sin llegar a compararse con la existente en la zona ecuatorial.

**Zona caliente árida:** Presenta temperaturas extremas y marcadas oscilaciones diarias de temperaturas. Estas oscilaciones son provocadas por la baja humedad atmosférica, manifestada por la escasez de nubes y los cielos despejados, lo cual provoca que el calor producido por la radiación durante el día, generalmente excesivo, se disipe por la noche. A consecuencia de la poca humedad, existen pocas precipitaciones la mayor parte del año y en algunos sitios la cantidad es despreciable. Por ende existe poca vegetación. La enorme cantidad de radiación se hace evidente por la presencia de los mayores desiertos del mundo, que coinciden con una ubicación cercana a los trópicos.



FIG\_27.- Mapamundi con vegetación. En naranja, los Trópicos del Cáncer y del Capricornio, en magenta el Ecuador y en rojo el meridiano de Greenwich.

Estos desiertos son lo opuesto al frío extremo de los polos, pero resultan igual de inhabitables. La solución arquitectónica tiene las mismas condicionantes: protección extrema del ambiente, en este caso del Sol. En los desiertos, abundan los asentamientos nómadas (p.e. beduinos, Tuareg), pues no es posible establecer asentamientos sedentarios por las adversas condiciones del medio. Estos nómadas se ven obligados a realizar continuas migraciones, ya que no existe vegetación suficiente para la construcción, ni para el fuego, ni agua, además de las constantes tormentas de arena. De tal forma que sus viviendas son tiendas, fácilmente transportables y desmontables, las cuales son un excelente refugio.



XXVIII

FIG\_28.- Campamento Beduino. Realizan sus migraciones en los desiertos del Sahara, del Sinai, del Negev y de Arabia.<sup>13</sup>

Existen otras zonas áridas donde el hombre ha encontrado la manera de establecerse sedentariamente, pues las condiciones son menos extremas que en el desierto, o bien han encontrado una manera de abastecerse de combustible y agua. En estas zonas, el principal objetivo es guarecerse del Sol, evitar la incidencia directa de radiación en el interior, dejar expuesta la mínima superficie en sus cerramientos, cuya inercia resulta útil para reducir las oscilaciones térmicas entre el calor del día y el frío de la noche.

La arquitectura tiene formas compactas con gruesas paredes hechas de materiales con alta inercia térmica, como el adobe. Estas construcciones aparecen como fortalezas contra el Sol inclemente, existiendo pocas aberturas y en caso de haberlas, se sitúan en patios sombreados.

Las cubiertas suelen ser planas o abovedadas, abovedadas en condiciones extremas pues en la forma semiesférica "... la radiación del Sol en su punto más álgido se diluye sobre la superficie redondeada, dando como resultado una temperatura superficial menor que, además, se va enfriando con el viento. La forma redondeada permite también la descarga nocturna de radiación, facilitando su enfriamiento."<sup>14</sup> Además, el interior puede contener una mayor cantidad de aire fresco y una distribución de éste más uniforme.

<sup>13</sup> <http://www.ikuska.com/Africa/Etnologia/Pueblos/Beduino/index.htm>

<sup>14</sup> OLGAYAY, V, *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, Barcelona, 1998, pág. 32.



FIG\_29.- Sáhara Occidental



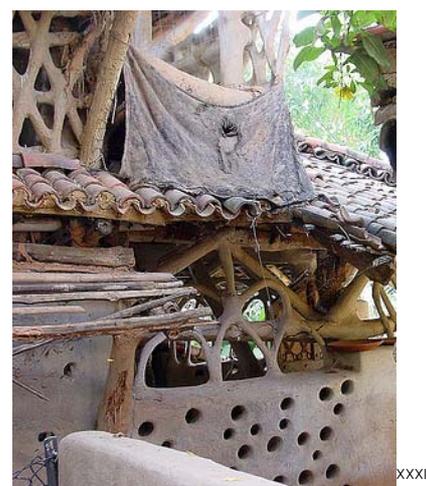
FIG\_30.- Calle en Ghadamés, Libia

La trama urbana se caracteriza por el uso extensivo del suelo, las construcciones se amontonan para reducir la exposición a la radiación, además de sombreadarse mutuamente. Las calles y callejones son estrechos y en caso de ser necesario, son cubiertos con telas, ramas o techumbres. Las calles también están orientadas para permitir el paso de los vientos. El mejor ejemplo de lo anterior, lo constituye el urbanismo islámico.

**Zona caliente húmeda:** se encuentra generalmente cerca de corrientes oceánicas o de ríos, con una baja altitud y con un ambiente cargado de humedad. Presenta una oscilación de temperaturas menor que la anterior, pues los cielos son menos despejados al existir una prolongada temporada de lluvias. La arquitectura requiere una exposición a los vientos, por lo que existen grandes aberturas en los muros, los cuales son menos gruesos pues no existe una marcada oscilación de temperaturas. Los techos son inclinados y sobresalen de los muros, a manera de paraguas, a fin de evitar que la lluvia y la radiación directa los alcance.



FIG\_31.- Aldea con casas Santhali en Sahebganj, West Bengal, India



FIG\_32.- Detalle de casas Santhali. Nótese la perforación en los muros para permitir la ventilación.

## Zona templada

La denominación de esta zona surge al mezclar lo caliente con lo frío, pues está comprendida entre los círculos polares (frío) y los trópicos (calor). Aquí, habría que hacer la corrección de que el verdadero límite de la zona tórrida es el paralelo 30°, tanto en el hemisferio Norte como en el Sur, por lo tanto este será el límite real de la zona templada.

Se trata de una zona extremosa en general, ya que abarca todos los registros de la variación de calor. En esta zona, los cambios de estación se presentan de manera más notoria, pues durante los solsticios varía drásticamente el soleamiento, tanto en la oblicuidad del rayo solar, cantidad de masa atmosférica por atravesar, las horas de asoleo, así como la cercanía al Sol.

Debido a la gran variabilidad existente en esta zona, la arquitectura es adaptable a dichas variaciones. Lo que provoca que las soluciones arquitectónicas sean más complejas y diversas. La arquitectura tradicional presenta sistemas de protección flexibles, para evitar o permitir la radiación directa, contraventanas para proteger pérdidas de calor durante la noche o el invierno, es decir, elementos practicables que algunas veces aprovechan las condiciones climáticas y otras veces las repelen.

Por la gran diferencia existente en esta zona, provocada en gran parte por la amplia magnitud de latitudes y por las diversas condiciones climáticas resultantes, algunos geógrafos dividen la zona templada en dos partes: la caliente, que es la que se encuentra más cerca de los trópicos y la fría, que se encuentra más cerca de los círculos polares.

- **Zona templada caliente:** queda delimitada entre los paralelos 30° y 45° de latitud, tanto en el hemisferio Norte, como en el Sur.
- **Zona templada fría:** comprendida entre los 45° de latitud hasta los círculos polares (66°33').

### 3.- Zona templada caliente

Esta zona presenta un invierno más suave que la templada fría, pues tiene una mayor exposición solar anual y un ángulo de inclinación que permite mantener temperaturas agradables, presentándose únicamente excesivas en verano. Esta zona es la que se ve más beneficiada por los desplazamientos atmosféricos, pues llega el aire caliente proveniente del Ecuador y los trópicos, propiciando temperaturas más cálidas.

En esta zona, se debe hacer una clara división de las condiciones de verano y las de invierno, pues presentan una marcada diferencia. En verano, se necesita la máxima protección al Sol y ventilar con aire enfriado previamente, pues la temperatura exterior resulta incomoda. Mientras que en invierno, se tendrán temperaturas más bajas, dependiendo del nivel de humedad. En las horas de soleamiento, es necesario garantizar la máxima ganancia de radiación al interior. El clima mediterráneo se encuentra dentro de esta zona y la flexibilidad de los sistemas de control ambiental lo demuestra. Los muros constituyen el elemento principal, construidos con piedra o ladrillo. Las cubiertas son planas o ligeramente inclinadas, con tejas de barro. Los

techos se ubican a gran altura. Las ventanas son más amplias y altas, comenzando incluso desde el suelo, para permitir la máxima entrada de radiación en invierno y de ventilación en verano. Pero, presentan además protecciones para evitar el escape de calor, como contraventanas. Predominan verandas, balcones y saledizos. Las casas con patio son un ejemplo de la arquitectura de ésta zona, presentan uso extensivo de vegetación y fuentes, cuando es necesario, pues permiten el enfriamiento del aire y su humidificación.



XXXIII

FIG\_33.- Casa-patio en Córdoba, España



XXXIV

FIG\_34.- Montepulciano en la Toscana, Italia.

#### 4.- Zona templada fría

Se caracteriza por tener temperaturas más bajas, llegando a descender bajo cero en invierno, debido principalmente a las pocas horas de Sol y a la baja inclinación de sus rayos. Se requiere una protección al frío, la cual se consigue a través de formas y emplazamientos compactos para evitar la exposición a los vientos. Se busca la máxima incidencia solar, cuando es posible, pues el requerimiento principal es conservar el calor ganado, o producido, por lo tanto la solución arquitectónica tradicional está basada en el aislamiento de los cerramientos. Existen cabañas con cubiertas poco inclinadas, para que la nieve se acumule y actúe como aislante. Los muros suelen construirse de piedra o de madera (esta última con paneles rellenos de papel, barro, etc.) para lograr un aislamiento. En zonas húmedas, boscosas o con una gran precipitación, predominan los techos altos a más de 45°.



XXXV

FIG\_35.-Pueblo alpino en Mitteldorf, Austria.



XXXVI

FIG\_36.-Casas en Brujas, Bélgica.

## 5.-Zona fría

Queda comprendida entre los círculos polares y los polos de cada hemisferio. Esta zona es la más extrema en cuanto a asoleo, pues entorno al solsticio de invierno el Sol desaparece desde un día hasta seis meses.

Aún cuando esta zona recibe el Sol consecutivamente durante seis meses ininterrumpidos, las temperaturas son bajas durante todo el año, especialmente en invierno. Se debe a la poca inclinación de los rayos solares, lo que provoca que tengan que atravesar mayor cantidad de atmósfera, y por ende mayores pérdidas de radiación solar.

Es la zona menos poblada, ya que es poco habitable, pues comprende los mayores "desiertos" del mundo por la escasa vegetación. Existen muy pocos asentamientos o ciudades, en relación a las existentes en otras zonas, tanto en cantidad como en número de habitantes. Entre los lugares que se encuentran en esta zona, se hallan el Norte de Canadá, Alaska, Groenlandia, Escandinavia, Siberia.

En esta zona, las condiciones de vida son extremas, debido principalmente a la escasa radiación, frío excesivo y la presencia de nieve y hielo. De tal manera que la mayor preocupación es protegerse del frío y de los vientos, para conservar así el poco calor generado. Las construcciones tienen formas compactas y utilizan una mínima exposición de superficies, con pocas aberturas, así como guarnición en subterráneo. El ejemplo característico es el iglú.

El aislamiento es el principal elemento de protección, así como aberturas de mediano tamaño que permitan la entrada de radiación. Las ventanas tienen vidrios dobles, así como contraventanas. La construcción depende de los materiales disponibles, presentándose así construcciones con piedra, pesados leños, o paneles de madera. Todos los cerramientos se aíslan, ya sea con barro, papel, paja, hierbas o cualquier material que cumpla la función de conservar el calor.



FIG\_37.- Hombre Inuit en iglu, Groenlandia



FIG\_38.- Nuorgam, Finlandia

## REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES

---

<sup>i</sup> [http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/visual/daylight/sun\\_sky/images/solar\\_radiation.png](http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/visual/daylight/sun_sky/images/solar_radiation.png)

<sup>ii</sup> [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b6/Electromagnetic\\_spectrum-es.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b6/Electromagnetic_spectrum-es.svg)

<sup>iii</sup> Elaboración gráfica de la autora

<sup>iv</sup> Imagen tomada y modificada [http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Geoids\\_sm.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Geoids_sm.jpg)

<sup>v</sup> Elaboración gráfica de la autora

<sup>vi</sup> *Ibíd.*

<sup>vii</sup> *Ibíd.*

<sup>viii</sup> *Ibíd.*

<sup>ix</sup> *Ibíd.*

<sup>x</sup> *Ibíd.*

<sup>xi</sup> *Ibíd.*

<sup>xii</sup> *Ibíd.*

<sup>xiii</sup> *Ibíd.*

<sup>xiv</sup> *Ibíd.*

<sup>xv</sup> *Ibíd.*

<sup>xvi</sup> *Ibíd.*

<sup>xvii</sup> *Ibíd.*

<sup>xviii</sup> BEHLING, S. *Sol power la evolución de la arquitectura sostenible*, Gustavo Gili, Barcelona, 2002, pág. 28

<sup>xix</sup> Modificado [http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/circulation/6-cell-model\\_nasa\\_jpl\\_large.jpg](http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/circulation/6-cell-model_nasa_jpl_large.jpg)

<sup>xx</sup> Elaboración gráfica de la autora

<sup>xxi</sup> *Ibíd.*

<sup>xxii</sup> *Ibíd.*

<sup>xxiii</sup> <http://www.guajira.com.ar/destinos/europa/Sahara.jpg>

<sup>xxiv</sup> <http://www.roadjunky.com/images/amazonas.jpg>

<sup>xxv</sup> Elaboración gráfica de la autora

<sup>xxvi</sup> <http://www.ecuador.com/pics/kapawi01.jpg>

<sup>xxvii</sup> Elaboración gráfica de la autora, basada en mapa de Google Earth

<sup>xxviii</sup> [http://camelphotos.com/GraphicsP7/bedouin2\\_tent.jpg](http://camelphotos.com/GraphicsP7/bedouin2_tent.jpg)

<sup>xxix</sup> <http://belarrondoko.files.wordpress.com/2007/04/sahara02.jpg>

<sup>xxx</sup> [http://www.h4ppy.com/blog/uploaded\\_images/1389-Old%20Ghadames,%20Libya-708559.JPG](http://www.h4ppy.com/blog/uploaded_images/1389-Old%20Ghadames,%20Libya-708559.JPG)

---

xxxI [http://farm1.static.flickr.com/88/248894560\\_9c3c28746e\\_o.jpg](http://farm1.static.flickr.com/88/248894560_9c3c28746e_o.jpg)

xxxII [http://farm1.static.flickr.com/161/431063977\\_3c4f200696.jpg?v=0](http://farm1.static.flickr.com/161/431063977_3c4f200696.jpg?v=0)

xxxIII [http://farm1.static.flickr.com/52/147435604\\_40c48c8751.jpg?v=0](http://farm1.static.flickr.com/52/147435604_40c48c8751.jpg?v=0)

xxxIV [http://farm2.static.flickr.com/1301/541606433\\_98754472eb.jpg?v=0](http://farm2.static.flickr.com/1301/541606433_98754472eb.jpg?v=0)

xxxV <http://cache.eb.com/eb/image?id=20283&rendTypeld=4>

xxxVI [http://farm1.static.flickr.com/115/313156977\\_4e8fcd9529.jpg](http://farm1.static.flickr.com/115/313156977_4e8fcd9529.jpg)

xxxVII <http://www.webquestuk.org.uk/Shelters/Images/igloo.jpg>

xxxVIII <http://www.tenajokki.fi/tenopaasivut/images/pulmankijoki.jpg>

## 02\_ COMPARACIÓN DE LATITUDES Y ARQUITECTURA

## 02\_COMPARACIÓN DE LATITUDES Y ARQUITECTURA

Este capítulo comprende una comparación de latitudes entre distintas ciudades, lo que nos permite visualizar las similitudes que existen entre puntos que tal vez nos parezcan muy lejanos pero, que en realidad, en cuestión de soleamiento y muchas veces en climas, son bastante similares.

### MAPA MUNDIAL EN PROYECCIÓN PLATE CARRÉE

Para realizar la comparación se utilizó esta proyección, pues tiene las siguientes características:

#### Clasificación:

Cilíndrica, Equidistante

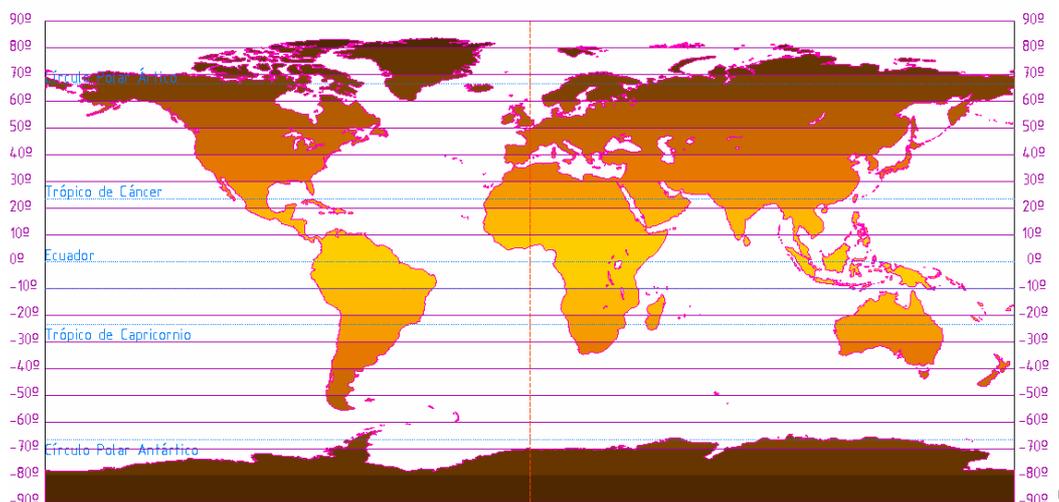
#### Reticula:

- Tiene una retícula más simple que cualquiera otra proyección.
- Meridianos: líneas rectas paralelas espaciadas igualmente de longitud de la mitad de largo que el Ecuador
- Paralelos: líneas rectas paralelas espaciadas igualmente entre ellas y del mismo espaciamiento que existe entre los meridianos, perpendiculares a los meridianos.
- Polos: líneas rectas de igual longitud que el Ecuador
- Simetría: Sobre cualquier meridiano o el Ecuador.

#### Propiedades:

Es una proyección de un cilindro tangente al Ecuador, la distorsión tanto de forma como de área aumenta con la distancia a éste. La escala es verdadera a lo largo de todos los meridianos (es equidistante) y el Ecuador. La escala es constante a lo largo de cualquier paralelo y a lo largo del paralelo del signo opuesto.

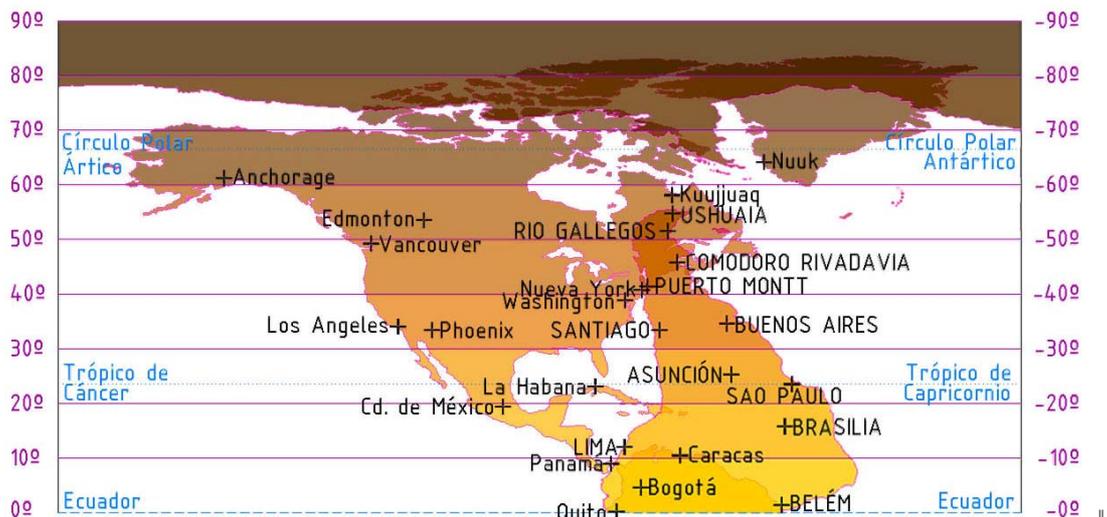
Por todo lo anterior, es la que mejor se adapta para realizar una comparación de puntos, pues es similar al plano cartesiano. Se ha asignado un código de color a fin de facilitar la comparación, la división de paralelos se ha hecho a cada 10°. Las zonas con mayor soleamiento teórico se presentan en color amarillo, gradándose hacia las que tienen menor, en color marrón oscuro.



FIG\_1.- Mapa Mundial en proyección equidistante.

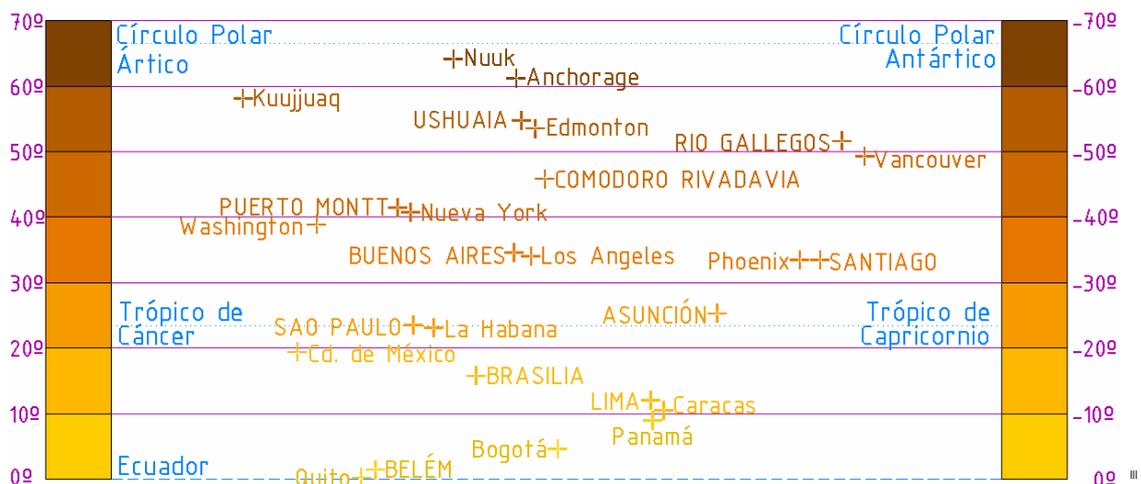
## COMPARACIÓN EN AMÉRICA

Este continente abarca casi todas las latitudes. Han sido ubicadas sólo las ciudades más importantes, o aquellas con una ubicación particular, por ejemplo las más boreales o australes. En la primera imagen, observamos que gran parte de Groenlandia corresponde a la antártica. Canadá y el Sur de Sudamérica se corresponden. Las zonas ecuatoriales son simétricas, muestra de ello la presencia de la selva amazónica. La zona donde se corresponden los trópicos es también interesante, pues Brasil es equivalente a Centroamérica y México, así como Cuba y las islas caribeñas.



FIG\_2.- Comparación en América.

A fin de realizar una mejor comparación, se han agrupado las ciudades similares. Ushuaia tiene similitud con Edmonton, mientras que Río Gallegos es bastante similar a Vancouver. Puerto Montt es casi igual a Nueva York. Buenos Aires se encuentra casi exactamente en Los Ángeles, mientras que Santiago coincide con Phoenix, las anteriores son bastante similares entre ellas. Sao Paulo encuentra a La Habana, siendo similar a la Ciudad de México, curioso que las dos megalópolis sean similares en latitud, así como son similares sus problemas urbanos y ambientales.

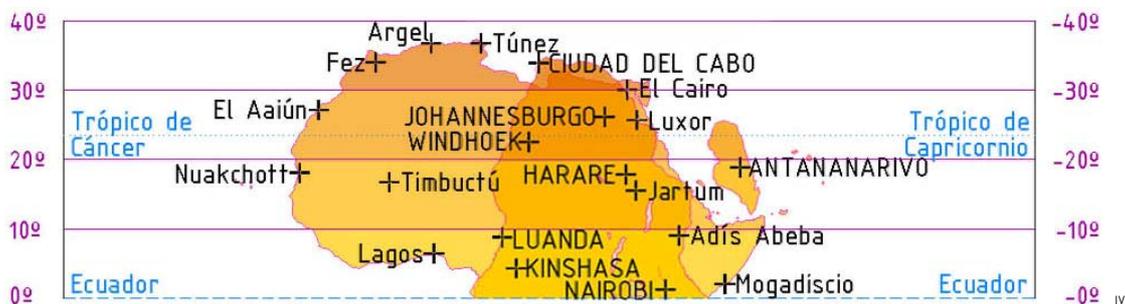


FIG\_3.- Comparación entre ciudades americanas.

## COMPARACIÓN EN ÁFRICA

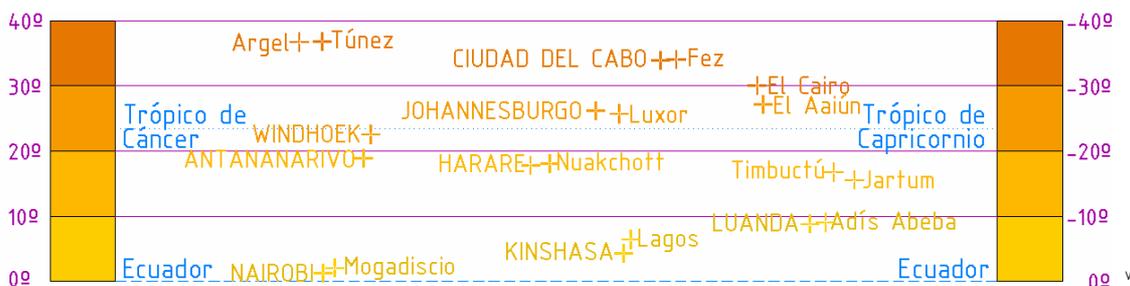
Este continente es bastante simétrico, se localiza *a grosso modo* entre lo 40°N y 40°S. Es el continente que presenta la mayor incidencia de radiación, pues lo atraviesan los trópicos y el Ecuador, muestra de ello los grandes desiertos y las sabanas. En base a este plano, podemos deducir las similitudes que existen en cuanto arquitectura tradicional, pues sus habitantes comparten condiciones climáticas muy similares, las cuales sólo se diferencian por la altitud, la cercanía a corrientes oceánicas y el grado de humedad.

La zona ecuatorial es simétrica. Observamos que la zona donde se encuentran los trópicos coincide con la presencia de los mayores desiertos, el Sahara y el de Kalahari. Nos es fácil comprender que a pesar de las diferencias entre tribus y la lejanía de muchas, los habitantes comparten al mismo enemigo diariamente, el Sol.



FIG\_4.- Comparación en África.

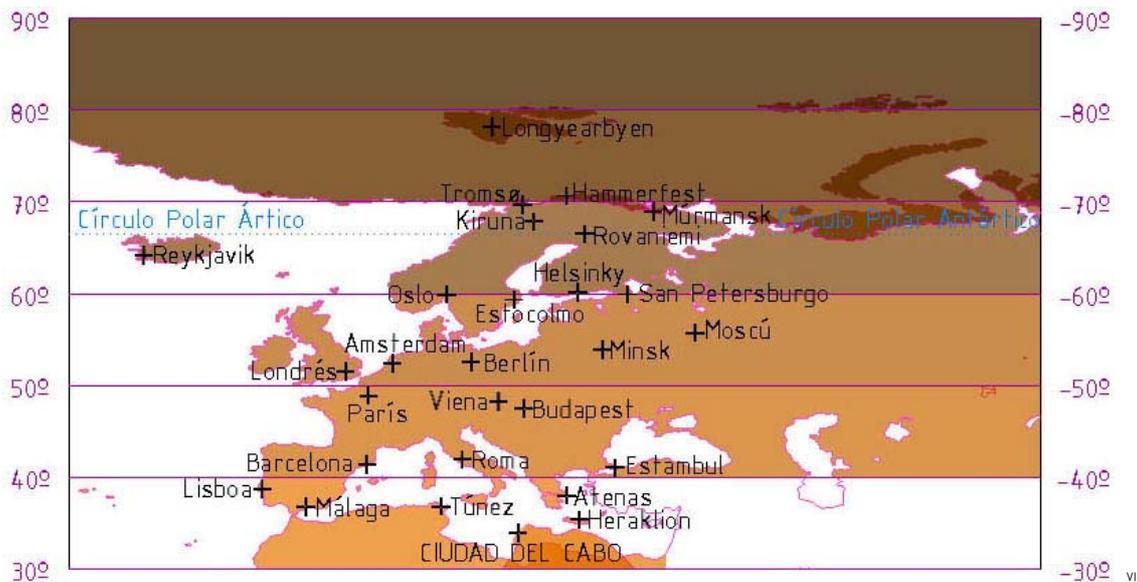
La ciudad de Túnez es equivalente a Argel, mientras que Ciudad del Cabo, asentamiento más austral, corresponde a Fez. Johannesburgo corresponde casi exactamente a Luxor. Timbuctú es muy similar a Jartum, mientras que Adís Abeba corresponde a Luanda.



FIG\_5.- Comparación entre ciudades africanas.

## COMPARACIÓN ENTRE EUROPA Y ÁFRICA

Este continente se localiza exclusivamente en el hemisferio Norte, entre los 35° y 82°, *grosso modo*. Carece de desiertos pues ninguno de los trópicos ni el Ecuador lo atraviesan, únicamente el círculo polar ártico. Las zonas más cercanas a los polos son muy frías, presentan pocas horas de asoleo en invierno, la mayor oblicuidad de los rayos y fríos vientos del Norte. En la zona comprendida entre los 40 y 55°N se sitúan gran parte de las principales ciudades, con similitudes de climas, los cuales se difieren por la altitud y la cercanía a corrientes oceánicas y atmosféricas. Las zonas por debajo de los 40°N son mucho más calurosas y con menor oscilación de temperaturas.



FIG\_6.- Comparación entre Europa y África.

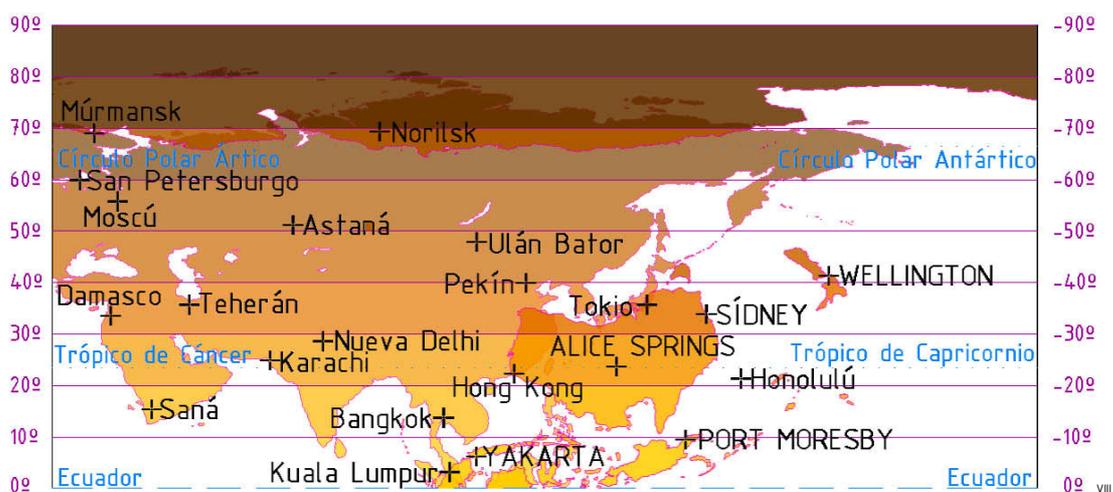
La comparación ha sido complementada con África. Los asentamientos al norte de 70°N son muy pocos. Sobre la línea del círculo polar antártico encontramos ciudades interesantes por haberse adaptado al clima frío y los inviernos tan largos, p.e. Murmansk. Helsinki, Oslo y San Petersburgo son prácticamente iguales. Londres, Ámsterdam y Berlín, se encuentran muy similares, siendo incluso similares a Minsk. Roma, Barcelona y Estambul coinciden en latitud. Lisboa, Atenas y Málaga se corresponden al Norte de África. Túnez y Málaga son prácticamente iguales, no es casualidad que los musulmanes al establecerse en Andalucía continuaran con la tradición arquitectónica, pues se enfrentaban al mismo Sol. Curioso que el punto más al Sur de África coincida con la zona más al Sur de Europa (Heraklion y Ciudad del Cabo)



FIG\_7.- Comparación entre ciudades europeas y africanas.

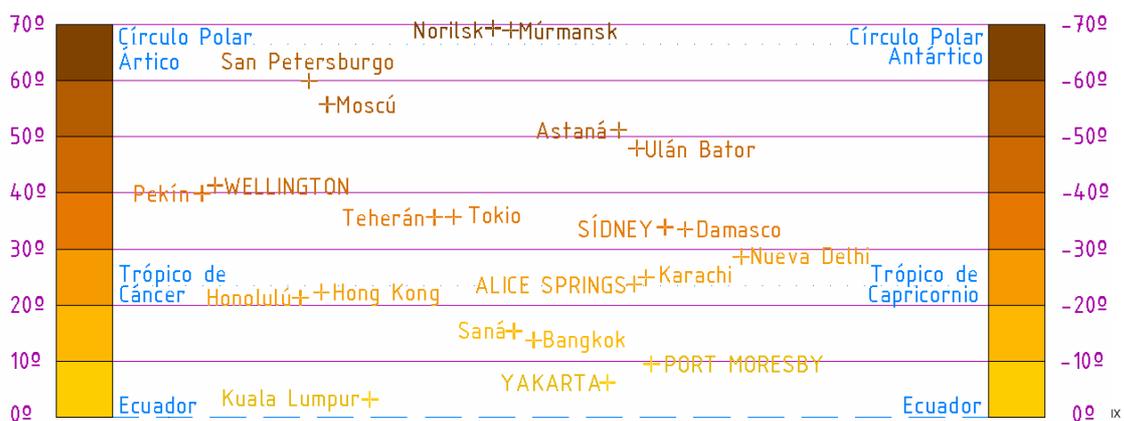
## COMPARACIÓN ENTRE ASIA Y OCEANÍA

La comparación de estos continentes ha sido realizada en el mismo plano, pues nos permite comparar el hemisferio Norte con el Sur. Asia es atravesada por el Círculo Polar Ártico, el Trópico del Cáncer y el Ecuador. Estos paralelos, así como otros factores como los monzones, las diferencias de altitud y la distancia a corrientes oceánicas, propician las variedades climáticas existentes. Por Oceanía atraviesan el Trópico del Capricornio y el Ecuador. Este continente recibe una radiación intensa durante gran parte del año: en este sentido, es parecido a África, reflejado en la presencia de los desiertos australianos. Sin embargo, al estar formado básicamente por islas e islotes, y por su ubicación en la zona ecuatorial, presenta más bien climas ecuatoriales y tropicales húmedos.



FIG\_8.- Comparación entre Asia y Oceanía.

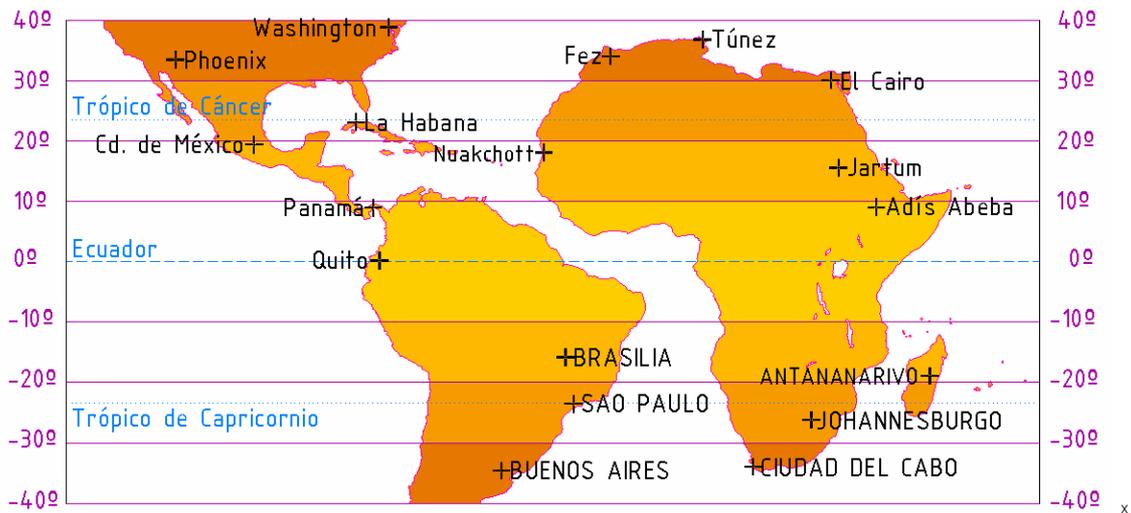
Siberia se corresponde con la antártica. Australia se corresponde con el sureste asiático, India, Pakistán y la península arábiga. En cuanto a las ciudades, encontramos correspondencias interesantes, por ejemplo Wellington, capital de Nueva Zelanda, queda por encima de Pekín. Teherán y Tokio son casi exactamente iguales, así como Sídney y Damasco. Alice Springs, ciudad australiana cercana al desierto de Simpson, es muy similar a Karachi, ciudad Pakistaní y una de las más calurosas del mundo. La zona ecuatorial es simétrica, las islas de la Polinesia, la Micronesia y el sureste asiático presentan el mismo clima húmedo monzónico.



FIG\_9.- Comparación entre ciudades asiáticas y oceánicas.

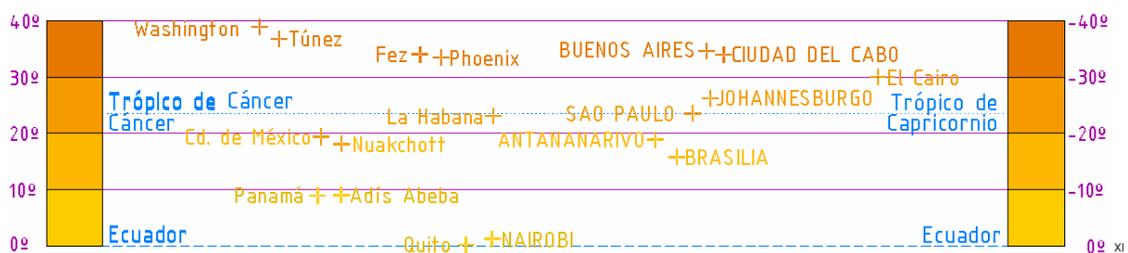
## COMPARACIÓN ENTRE ÁFRICA Y AMÉRICA

África abarca desde la parte central de Estados Unidos, cerca de Washington, hasta casi alcanzar Buenos Aires, Argentina. Parte de Estados Unidos, México, las islas caribeñas, toda Centroamérica y gran parte de Sudamérica, quedarían dentro de los límites de latitud del continente africano. Los desiertos de Sonora (México) y de Arizona (EUA), quedan dentro de los límites del desierto del Sahara. Las zonas ecuatoriales también se corresponden.



FIG\_10.- Comparación entre América y África.

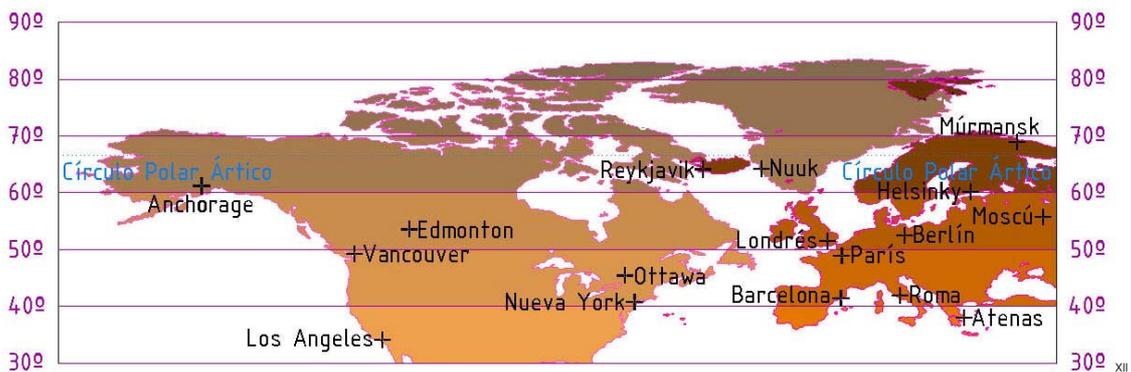
La comparación de ciudades se realizó solapando ambos hemisferios. Observamos que Chile, Argentina y Uruguay quedarían en el desierto del Sahara. Muestra de ello la similitud entre Buenos Aires y Fez, esta última se corresponde casi exactamente a la ciudad de Phoenix. Buenos Aires y Ciudad del Cabo se encuentran casi en la misma latitud. Gran parte del territorio de México queda comprendido dentro del desierto del Sahara, correspondiéndose así la Ciudad de México con Nuakchott. Panamá y Adís Abeba resultan casi exactamente iguales.



FIG\_11.- Comparación entre ciudades americanas y africanas.

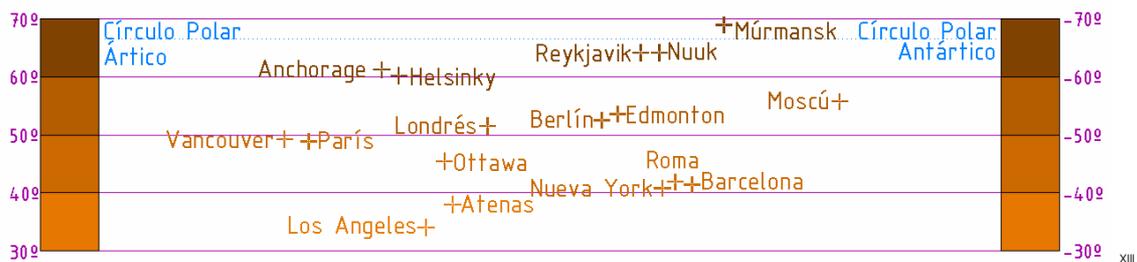
## COMPARACIÓN ENTRE EUROPA Y AMÉRICA (HEMISFERIO NORTE)

Europa queda comprendida en Estados Unidos, incluyendo el estado de Alaska, Canadá y Groenlandia. Estas regiones son atravesadas únicamente por el Círculo polar ártico, de tal manera que comparten características de clima y soleamiento. Sin embargo, las ciudades de Europa de igual latitud que las americanas, presentan temperaturas más cálidas e inviernos menos duros al recibir la corriente del Golfo, como resultado de los desplazamientos oceánicos y atmosféricos. Estas dos zonas contienen gran cantidad de ciudades con latitudes altas, como Múrmansk, Nuuk y Helsinki.



FIG\_12.- Comparación entre Europa y América (Hemisferio Norte).

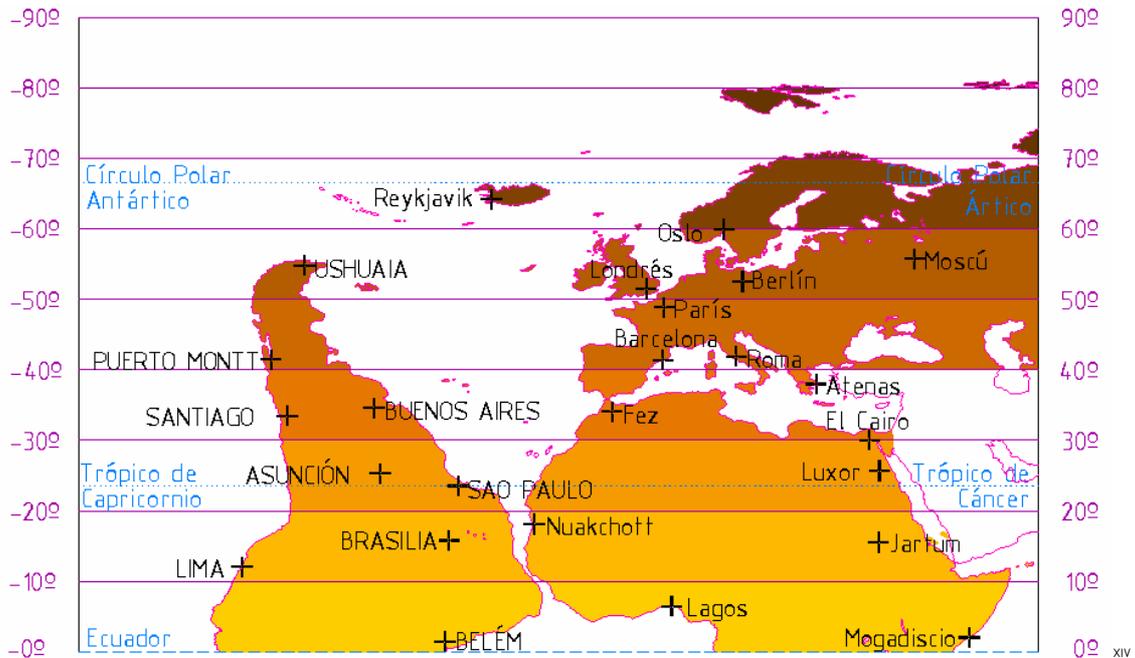
Entre las correspondencia entre ciudades destacamos que Barcelona y Roma quedan similares a Nueva York. La latitud de Vancouver es similar a la de París. La zona donde se ubican muchas de las principales ciudades europeas, como Berlín y Londres, se localizan en Canadá y el Norte de Estados Unidos. La península Escandinava e Islandia encuentran correspondencia con el Norte de Canadá, Alaska y Groenlandia, muestra de ello la correspondencia entre Nuuk y Reykiavik, y entre Anchorage y Helsinki.



FIG\_13.- Comparación entre ciudades americanas y europeas (Hemisferio Norte)

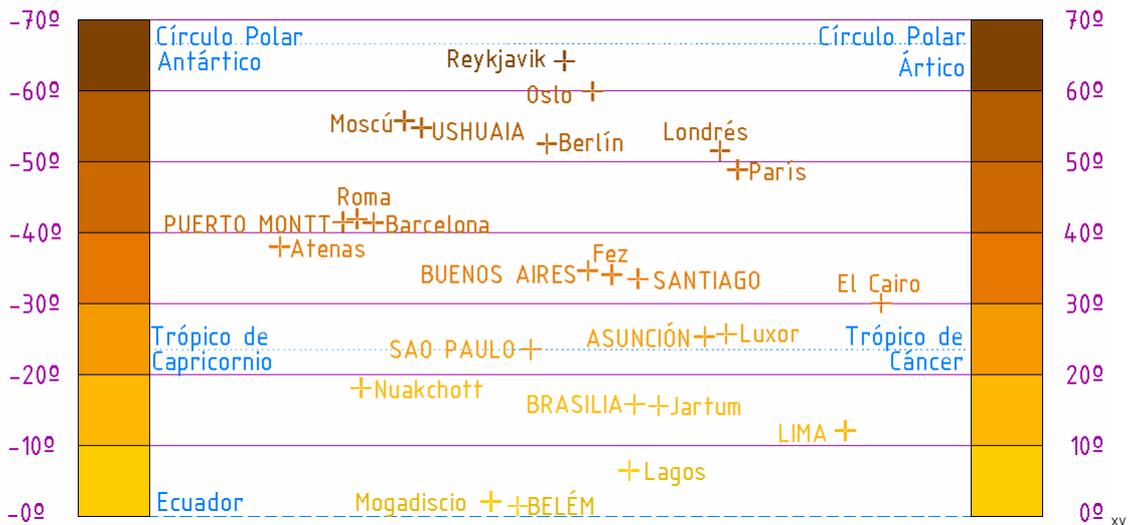
## COMPARACIÓN DE AMÉRICA (HEMISFERIO SUR) CON ÁFRICA Y EUROPA (HEMISFERIO NORTE)

Nos percatamos que existen correspondencias interesantes. Por ejemplo, la parte más austral de Sudamérica, Ushuaia, alcanza casi la latitud de Moscú. La selva amazónica se corresponde con la zona ecuatorial africana. La parte central, donde se encuentran países como Perú, Chile y Argentina, quedarían comprendidos en el desierto del Sahara.



FIG\_14.- Comparación de América (Hemisferio Sur) con África y Europa (Hemisferio Norte)

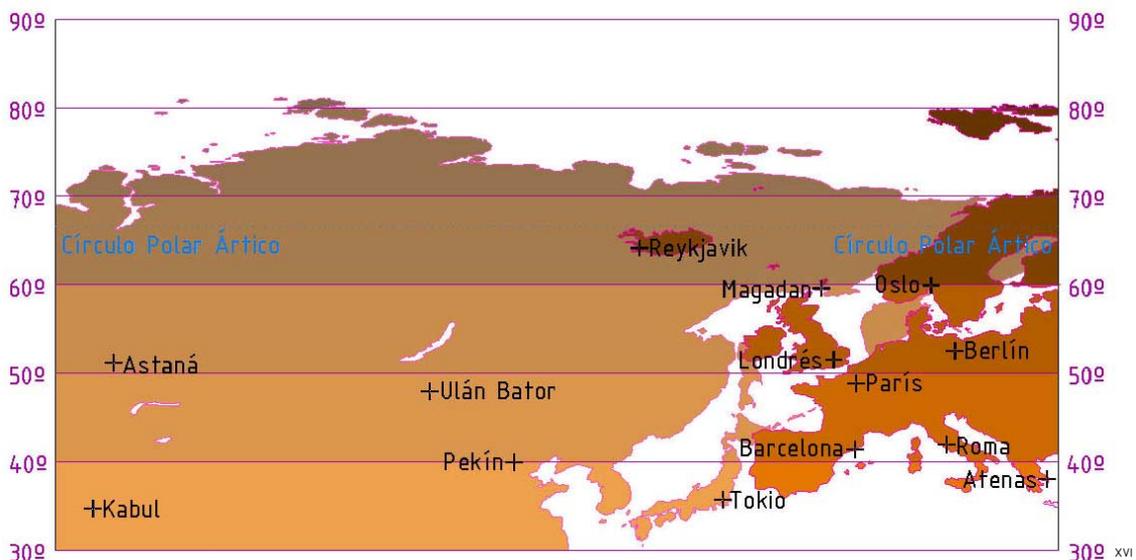
Puerto Montt, ciudad austral de Sudamérica, alcanza la latitud de Roma y Barcelona. Las ciudades de Santiago y Buenos Aires quedan similares a Fez, Marruecos. La capital uruguaya de Asunción es casi igual a Luxor, Egipto. Mogadiscio y Belem se corresponden en latitud. Interesante el observar que Brasilia encuentra casi exactamente a Jartum.



FIG\_15.- Comparación de ciudades americanas (Hemisferio Sur) con ciudades africanas y europeas (Hemisferio Norte)

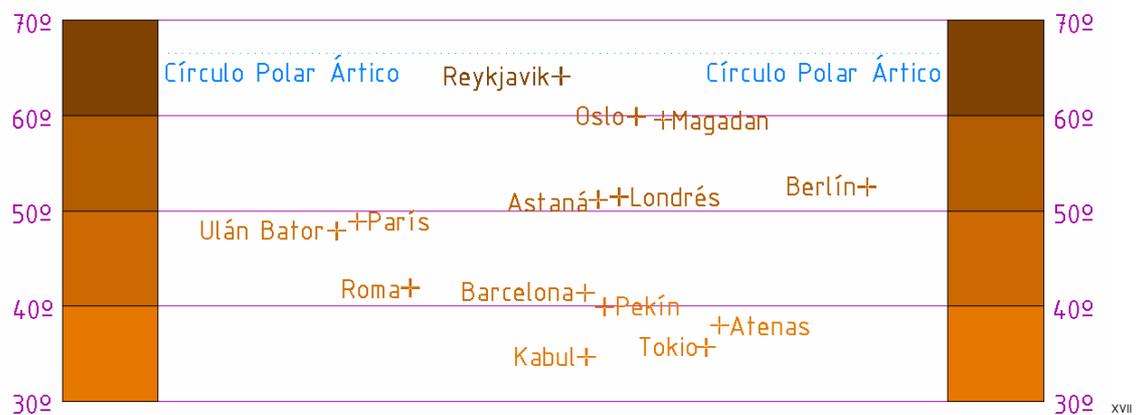
## COMPARACIÓN ENTRE ASIA Y EUROPA (HEMISFERIO NORTE)

Ambos continentes tienen ciudades y asentamientos con latitudes altas, las cuales presentan fríos y largos inviernos. Sin embargo, la zona central del norte asiático, con países como Mongolia y Turkestan, presenta temperaturas más frías aun en latitudes entre los 40 y 50°N, provocadas por su alta elevación respecto al nivel del mar y su ubicación alejada de corrientes oceánicas. Muestra de ello Ulan Bator, capital de Mongolia, con una latitud de 47°55'N y que presenta temperaturas muy frías a lo largo del año. Esta zona presenta vastas regiones semidesérticas y desérticas, muestra de ello la presencia del desierto Gobi, así como extensas estepas. La diferencia de estas zonas, es que no se tiene la presencia del Sol como en los desiertos de los trópicos, sino más bien, se trata de extensiones con escasa vegetación y bajas temperaturas.



FIG\_16.- Comparación entre Asia y Europa (Hemisferio Norte)

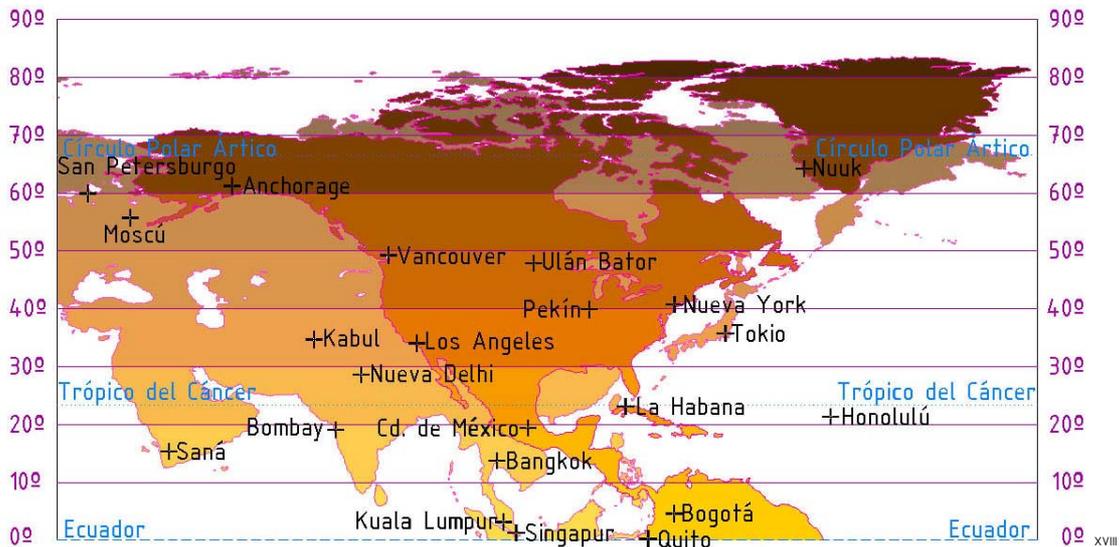
Escandinavia e Islandia se encuentran en Siberia, muestra de ellos la correspondencia entre Magadan y Oslo. Berlín y Londres de encontrarían en Kazajstán, pues se corresponden en latitud con su capital, Astaná. Paris queda por encima de Ulan Bator, es decir que quedaría comprendida en Mongolia. Roma y Barcelona quedan por arriba de Pekín. Mientras que Atenas queda por encima de Tokio.



FIG\_17.- Comparación entre ciudades asiáticas y europeas (Hemisferio Norte)

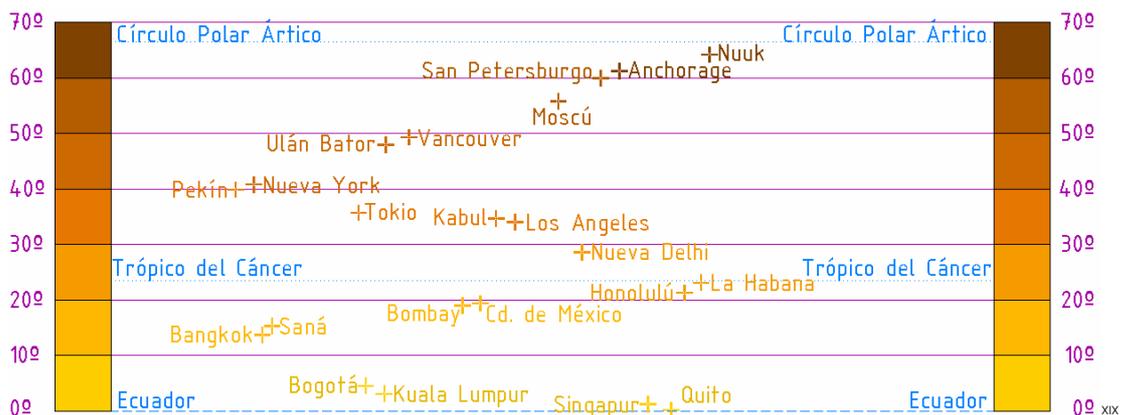
## COMPARACIÓN ENTRE ASIA Y AMÉRICA (HEMISFERIO NORTE)

El Norte de Canadá, Alaska y Groenlandia quedan comprendidos en Siberia. México quedaría en el subcontinente indio, el sureste asiático y la península arábiga. La zona de Centroamérica, quedarían comprendida en el sureste asiático, el Sur de la India y de la península arábiga.



FIG\_18.- Comparación entre Asia y América (Hemisferio Norte)

Anchorage, Alaska, se encuentra por encima de San Petersburgo. Vancouver encuentra a Ulan Bator. Los Ángeles, queda prácticamente igual a Kabul, capital de Afganistán. La Habana queda por encima de Honolulu, Hawaii. La ciudad de México y Bombay son prácticamente iguales. Las ciudades que quedan en el cinturón ecuatorial se corresponden, Bogota queda por encima de Kuala Lumpur, mientras que la ciudad de Quito es casi exactamente igual a Singapur.

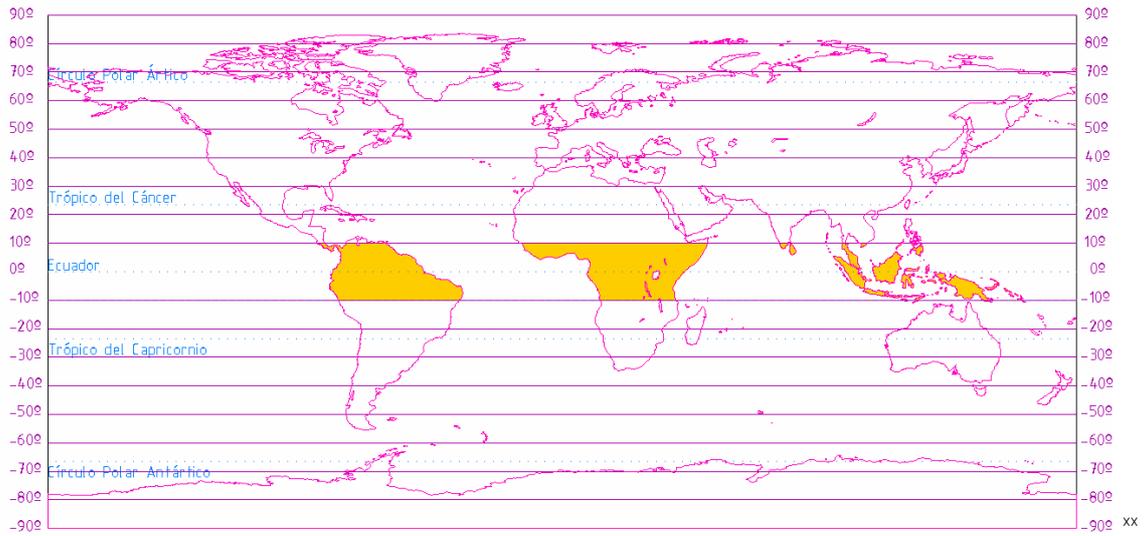


FIG\_19.- Comparación entre ciudades asiáticas y americanas (Hemisferio Norte)

## COMPARACIÓN DE ARQUITECTURA POR ZONAS CLIMÁTICAS

A continuación, procederemos a realizar una comparación visual de edificaciones, las cuales se han agrupado por zonas climáticas. En la selección de imágenes, se trató de encontrar ejemplos de arquitectura tradicional, o bien de la trama urbana de las ciudades. En cada imagen, se señala la latitud. En algunos casos no fue posible asignar una latitud, así que se buscó una aproximación o se omitió el dato.

**Zona ecuatorial. Arquitectura que imita a los árboles**



FIG\_20.- Zona Ecuatorial.



FIG\_21.- Vivienda Cashinahua en Purus, Perú 9°26'S



FIG\_22.- Vivienda Asante en Kumasi, Ghana. 5°27'N



FIG\_23.- Tumba de los reyes en Kasubi, Uganda 0°20'N



FIG\_24.- Viviendas en la selva amazónica de Colombia



FIG\_25.- Aldea de Ambarita, Indonesia 2°40'N



FIG\_26.- Viviendas en el Río Orinoco, Venezuela 7°38'N



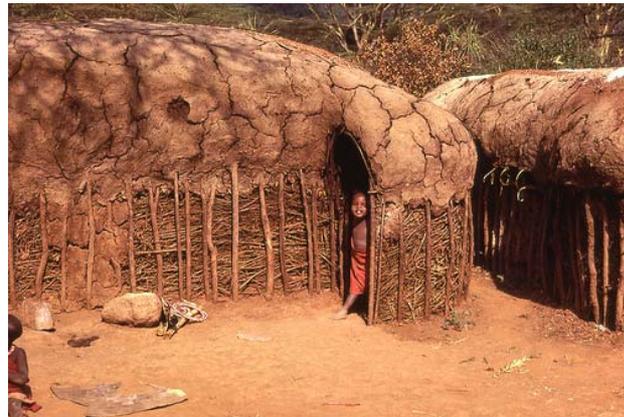
FIG\_27.- Pueblo indígena en Bribri, Costa Rica 9°36'N



FIG\_28.- Viviendas de los Toraja en South Sulawesi, Indonesia. 4°20'S



FIG\_29.- Isla de Mombasa, Kenya 4°04'N



FIG\_30.- Casa Masai en el Sur de Kenya. 1°17'S



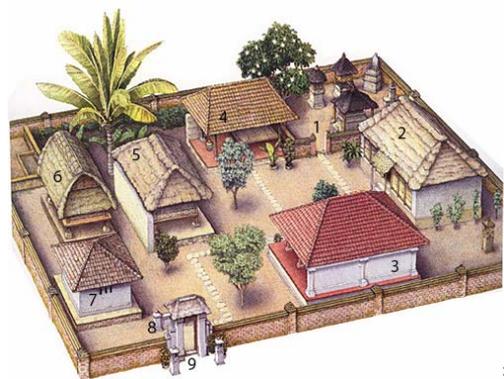
FIG\_31.- Vivienda en la Isla de Falik 7°15'N



FIG\_32.- Provincia de Morobe, Papua Guinea 7°45'S

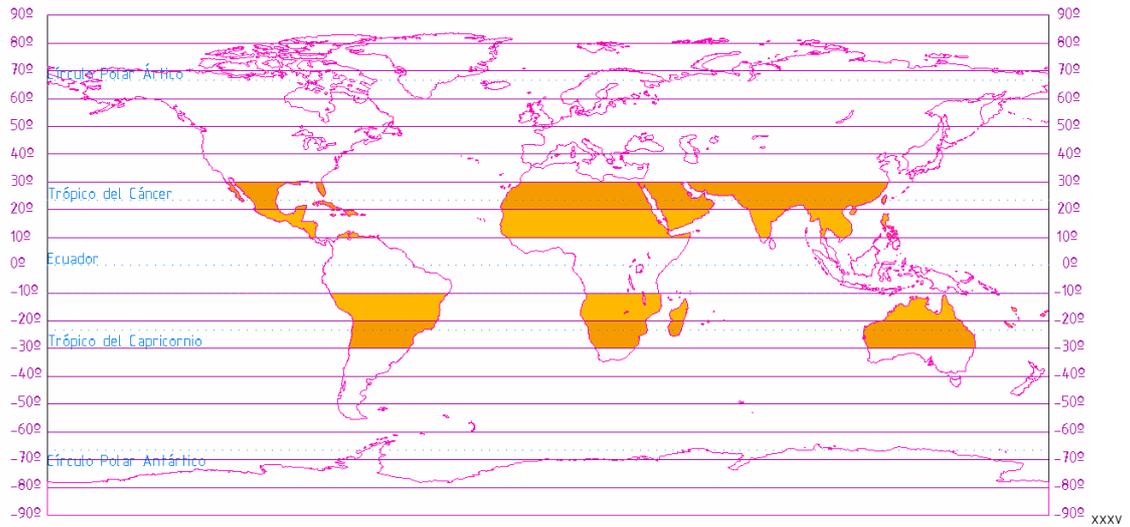


FIG\_33.- Vivienda en Bali, Indonesia 8°27'S



FIG\_34.- Vivienda en Bali, Indonesia

**Zona tropical árida. Arquitectura de fortalezas, tiendas y caparazones contra el Sol**



FIG\_35.- Zona tropical árida.



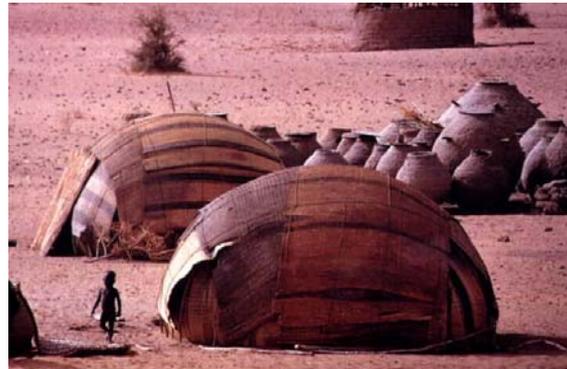
FIG\_36.- Choza en Ngamiland, Botswana 20°S



FIG\_37.- Choza en Kanpur, India 27°27'N



FIG\_38.- Tienda de los Beduinos



FIG\_39.- Viviendas en Barani, Burkina Faso 13°10'N



FIG\_40.- Mezquita de Djenné, Malí 13°54'N



FIG\_41.- Palacio de los vientos en Jaipur, India 27°N



FIG\_42.- Villa Dogon en Bandiagara, Malí 14°20'N



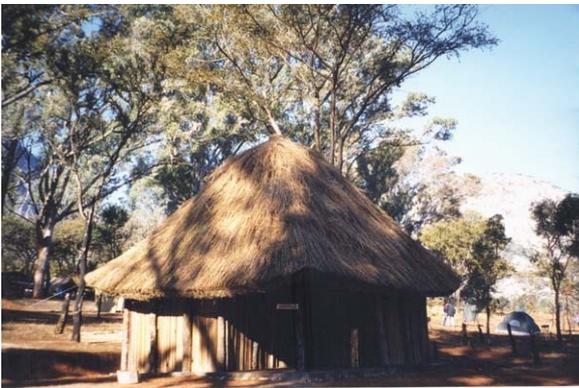
FIG\_43.- Sitio sagrado de los dogones



FIG\_44.- Ruinas de la ciudad de Gaochang cerca de Turfán, China 28°48'N



FIG\_45.- Aldea de los Batammariba en el paisaje de Koutammakou, noreste de la región Togo. 10°04'N



FIG\_46.-Choza en Chimanimani, Mozambique 19°30'S

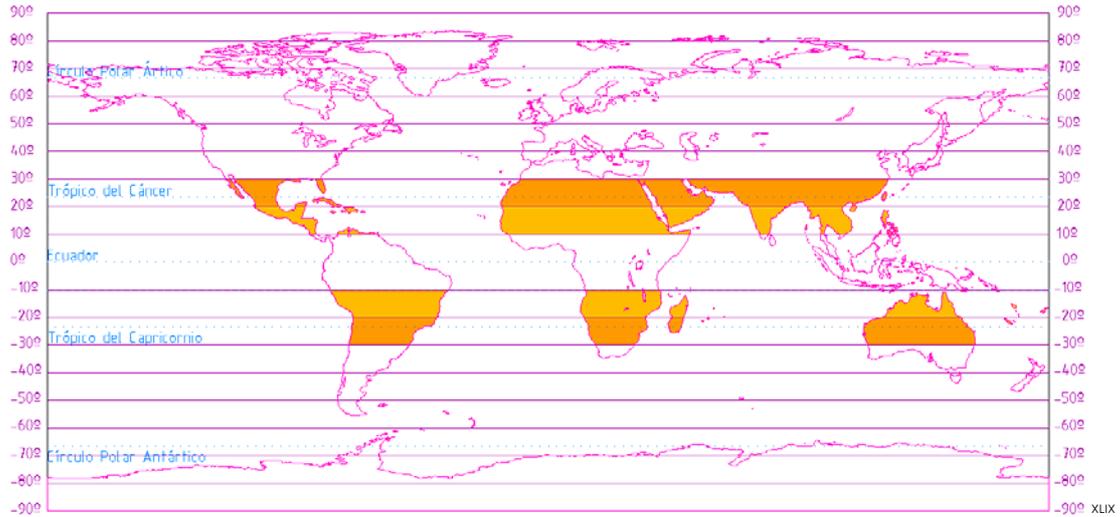


FIG\_47.- Chozas en Bandafassi, Senegal 12°30'N



FIG\_48.-Antigua ciudad amurallada de Shibam, Yemén 15°55'N

Zona tropical húmeda. Arquitectura con paraguas y saledizos contra la lluvia y el Sol



FIG\_49.- Zona tropical húmeda



FIG\_50.-Choza Yasawa en la Isla Waya, Fiji 17°17'S



FIG\_51.- Choza maya cerca de Bonampak, México 16°42'N



FIG\_52.- Reconstrucción de choza hawaiana 21°18'N



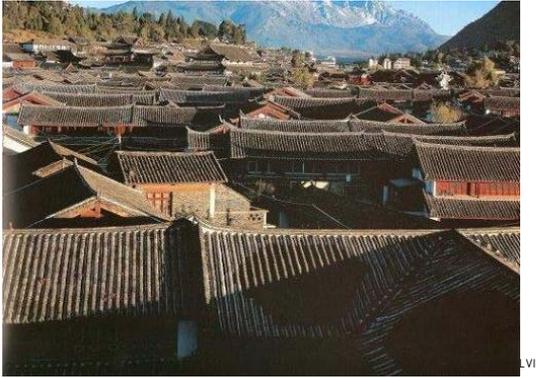
FIG\_53.- Sevagram, Wardha, India 20°44'N



FIG\_54.- Vivienda en Valle de Viñales, Cuba 22°37'N



FIG\_55.- Pueblo antiguo de Hoi An, Vietnam 17°20'N



FIG\_56.- Pueblo antiguo de Lijiang, China 26°51'N



FIG\_57.- Vivienda en Cox's Bazar, Bangladesh 21°27'N



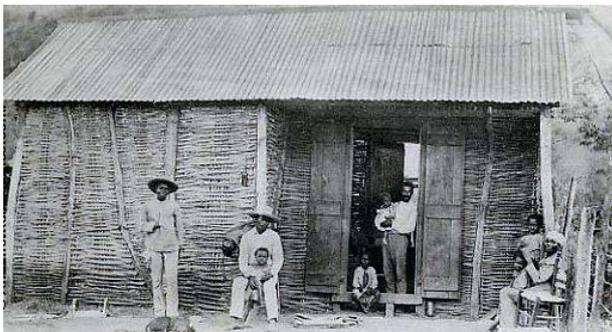
FIG\_58.- Pak Kret, Changwat Nonthaburi Tailandia 13°53'N



FIG\_59.- Residencia de reposo de Ranavalona Iere en Ambohimanga, Madagascar 19°04'S



FIG\_60.- Centro Histórico del pueblo de Diamantina, Brasil 18°12'S

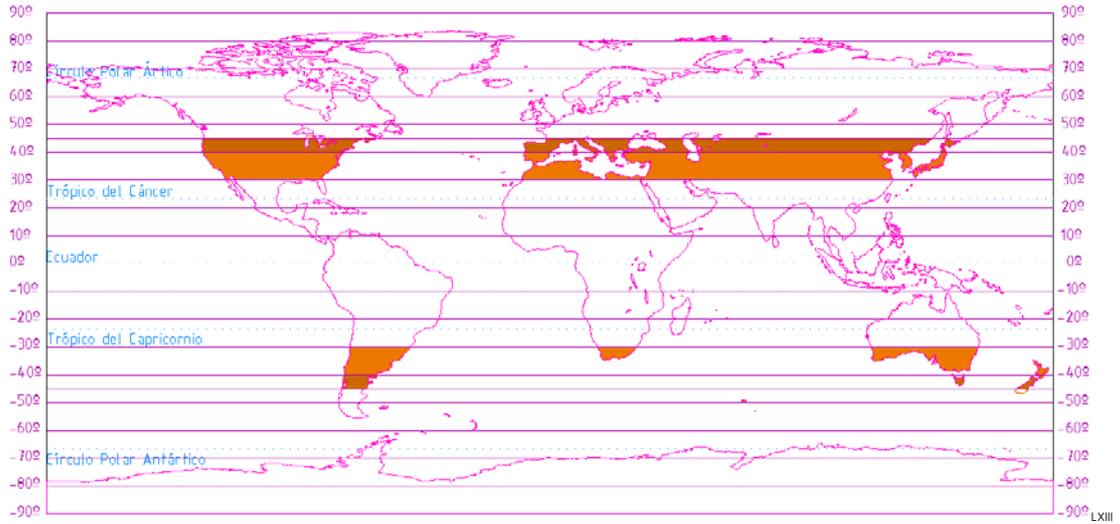


FIG\_61.- Vivienda Tradicional Haití alrededor de los 19°N



FIG\_62.- Convento en Nicaragua alrededor de los 12°N

**Zona templada caliente. Arquitectura de sombras e inercia térmica**



FIG\_63.- Zona templada caliente.



FIG\_64.- Pueblo Taos, EUA 36°24'N



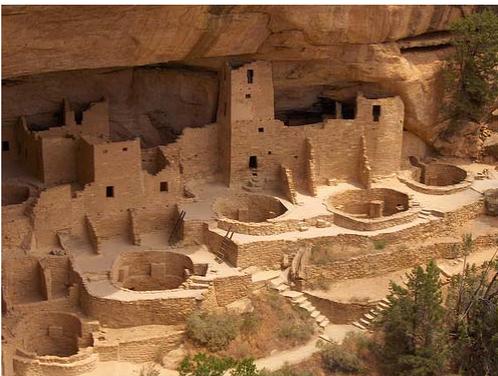
FIG\_65.- Ruinas de Paquimé, México 30°22'N



FIG\_66.- Pueblo bonito, EUA 36° 03'N



FIG\_67.- Modelización de Pueblo Bonito



FIG\_68.- Mesa verde, EUA 37°16'N



FIG\_69.- Hogan de verano de los Navajo, EUA



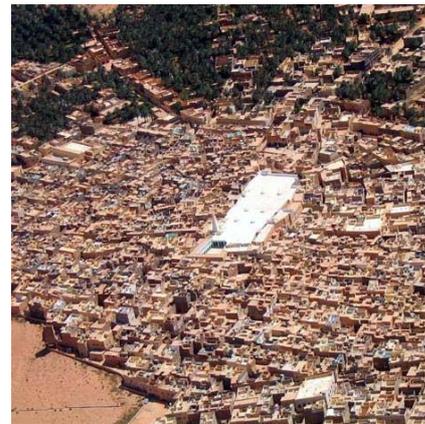
FIG\_70.- Calle en Fez, Marruecos 34°03'N



FIG\_71.- Zoco al-Hamidiyya, en Damasco, Siria



FIG\_72.- Mezquita Fadhloun en Djerba, Madaniyin Túnez 33°53'N



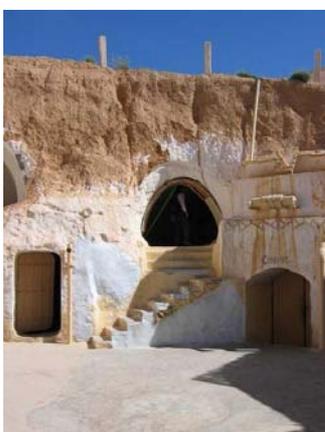
FIG\_73.- M'Zab Valley, Algeria 32°28'N



FIG\_74.- Casa Ndebele en Sudáfrica 24°30'S



FIG\_75.- Palacio de Ali Qapu en Esfahan, Irán 32°39'N

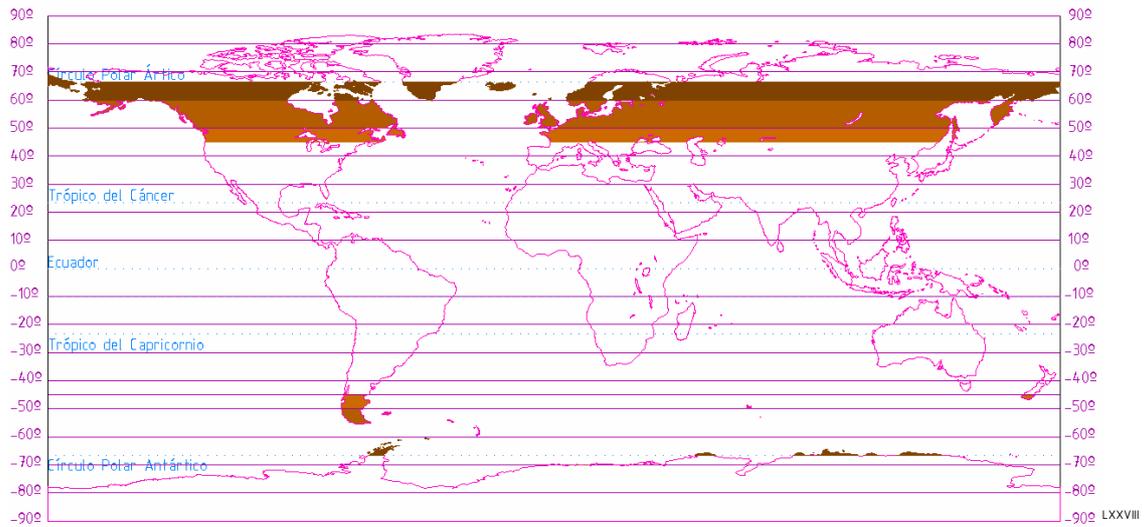


FIG\_76.- Viviendas trogloditas en Matmata, Túnez 33°32'N



FIG\_77.- Cappadocia, Turquía 38°45'N

Zona templada fría. Arquitectura donde el Sol es bienvenido, pero es prioridad conservar el calor generado.



FIG\_78.- Zona templada fría.



FIG\_79.- Yurta en Bulgan, Mongolia 46°05'N



FIG\_80.- Columbia Británica, quizá Nootka, Canadá 49°37'N



FIG\_81.- Reconstrucción vivienda en Hobro, Dinamarca 56°36'N.



FIG\_82.- Vivienda Wealden en Sussex, Reino Unido 50°56'N



FIG\_83.- Vivienda en Dedham, Massachusetts 42°14'N



FIG\_84.- Antiguo pueblo de Visby, Suecia 56°31'N



FIG\_85.- Reykiavik, Islandia 64°08'N



FIG\_86.- Ushuaia, Argentina 54°47'S



FIG\_87.- Vivienda en Río Gallegos, Argentina 52°37'S



FIG\_88.- Viviendas en Vaxjo, Suecia 56°52'N



FIG\_89.- Viviendas en Minsk, Bielorrusia 53°58'N



FIG\_90.-Gammelstad Church en Luleå, Suecia 65°40'N

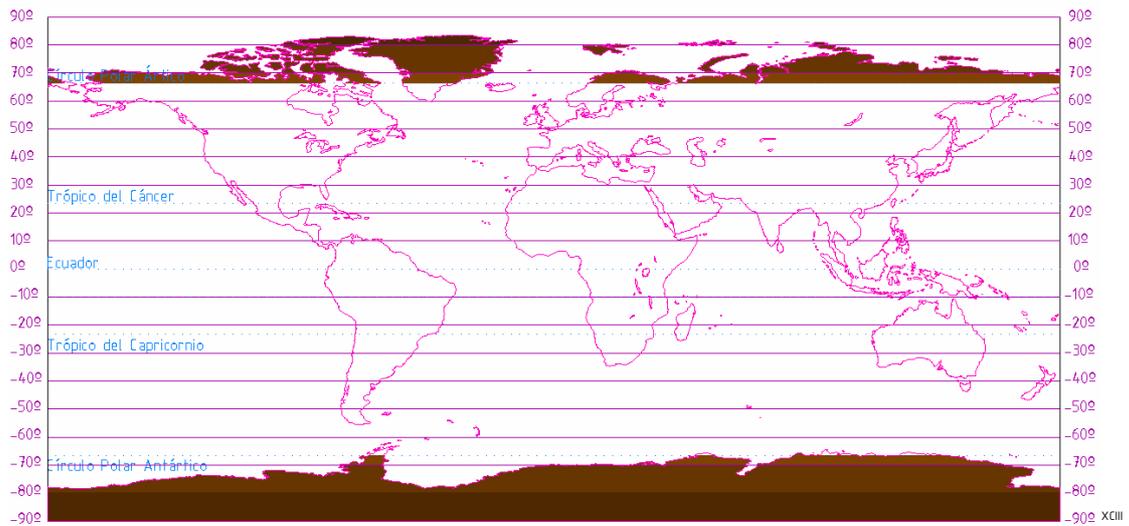


FIG\_91.- Vivienda en República de Carelia, Rusia 66°16'N



FIG\_92.-Anchorage, Alaska 61°13'N

## Zona fría. Arquitectura contra el frío, maestros del aislamiento



FIG\_93.- Zona fría.



FIG\_94.- Norilsk, Rusia 69°20'N



FIG\_95.- Campamento de Verano de los Inuits, Groenlandia, Alaska y Norte de Canadá.



FIG\_96.- Tromsø, Noruega 69°39'N



FIG\_97.- Múrmansk, Rusia 68°N



FIG\_98.- Teatro del Hotel de Hielo en Jukkasjärvi, Kiruna, Suecia 67°51'N



FIG\_99.- Una de las habitaciones del Hotel de Hielo

## CONCLUSIONES

Las similitudes de latitud entre los distintos puntos de la Tierra y las coincidencias climáticas, son los principales condicionantes en la respuesta arquitectónica que el hombre ha desarrollado. En estas respuestas, obviamente tienen que ver los factores culturales y el nivel de desarrollo de cada civilización. Pero, existen puntos tan distantes que el contacto intercultural es imposible y sin embargo, la respuesta en su arquitectura resulta exactamente igual.

A pesar de que en los casos mostrados se encontraron arquitecturas que fueron implantadas a través de procesos de colonización, por ejemplo en asentamientos americanos o gran parte del sureste asiático, podemos apreciar que la arquitectura implantada también se adaptó al clima del lugar. A pesar de que se realizó una construcción dictada por sus tradiciones arquitectónicas, se eligieron las formas adecuadas a las nuevas condiciones ambientales que encontraron.

La arquitectura tradicional es un tema interesante para el arquitecto contemporáneo. La primera respuesta al medio ambiente por parte del hombre fue a través del vestido y la segunda, la construcción de los primeros habitáculos. Estas arquitecturas, a pesar de que muchos críticos no las consideren como tal, representan una adaptación excepcional a las condiciones climáticas y muestran un profundo respeto al medio natural. Es así como hasta nuestros días, somos capaces de encontrar la permanencia de estas arquitecturas en diferentes lugares del mundo. Cualquier arquitecto que intente realizar una arquitectura medioambiental, debe de conocer la arquitectura tradicional de la región, pues está basada en años de experiencia y generalmente construida con materiales de la región. No se trata de copiar o repetir los mismos modelos, sino de asimilar los conocimientos adquiridos y heredados por generaciones. Tal como lo hizo el arquitecto egipcio Hassan Fathy.

Sin embargo, en el quehacer del arquitecto contemporáneo, rara vez se toman en cuenta las condiciones naturales del sitio. Pues la difusión de las energías artificiales nos ha vuelto dar la espalda a la energía natural más importante de nuestro planeta, la radiación solar. Lo que ha provocado la proliferación de obras arquitectónicas descontextualizadas y que no son más que un reflejo de la obstinación del hombre "moderno". El cual no cesa de construir "habitats" inhabitables sin el soporte de energías artificiales, o espacios públicos vacíos, ya sea por exceso de Sol o por la falta de éste. En la actualidad, la mayoría de estos ejemplos de arquitectura los realiza un nuevo agente "conquistador": las corporaciones transnacionales.



FIG\_100.- Rascacielos más altos ubicados en todo el mundo y en todas las zonas climáticas.

Estos son sólo algunos de los ejemplos de edificios completamente descontextualizados en las diferentes zonas climáticas. El principal problema de construir rascacielos con superficies acristaladas, es la cantidad de energía artificial que se utiliza para acondicionarlos. Representa, entre otras cosas, toneladas de dióxido de carbono emitidas diariamente por el funcionamiento de aire acondicionado, así como gastos de energía considerables para su calefacción. Resulta completamente absurdo encontrar edificios de este tipo en zonas ecuatoriales como Bogotá, o en el Trópico del Cáncer, el caso de Sao Paulo. El efecto invernadero en el interior constituye que sean una especie de hornos, como resultado de la radiación que proporciona el Sol continuamente. En estas latitudes, es necesario mantener los sistemas de aire acondicionado durante veinticuatro horas continuas, incluso en los edificios de oficinas, a fin de enfriar el interior durante los periodos nocturnos.

Pero no menos absurdo el tener rascacielos en medio del desierto, como el Hotel Burj Al Arab, o el opuesto en la zona templada fría, Munich. Pues estas zonas climáticas presentan marcadas oscilaciones de temperatura y una necesidad constante de sistemas artificiales de acondicionamiento ambiental. Además las pérdidas de calor o frío que provocan los cerramientos acristalados, constituyen enormes gastos de energía.

**Zona Ecuatorial**



FIG\_101.- Bogota Royal Hotel en Bogota, Colombia

**Zona caliente árida**



FIG\_102.- Hotel Burj Al Arab en Dubai, Emiratos Árabes

**Zona caliente húmeda**



FIG\_103.- Bank Boston en Sao Paulo, Brazil

**Zona templada fría**



FIG\_104.- Munich, Alemania

## REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES

---

<sup>I</sup> Elaboración gráfica de la autora

<sup>II</sup> Ibíd.

<sup>III</sup> Ibíd.

<sup>IV</sup> Ibíd.

<sup>V</sup> Ibíd.

<sup>VI</sup> Ibíd.

<sup>VII</sup> Ibíd.

<sup>VIII</sup> Ibíd.

<sup>IX</sup> Ibíd.

<sup>X</sup> Ibíd.

<sup>XI</sup> Ibíd.

<sup>XII</sup> Ibíd.

<sup>XIII</sup> Ibíd.

<sup>XIV</sup> Ibíd.

<sup>XV</sup> Ibíd.

<sup>XVI</sup> Ibíd.

<sup>XVII</sup> Ibíd.

<sup>XVIII</sup> Ibíd.

<sup>XIX</sup> Ibíd.

<sup>XX</sup> Ibíd.

<sup>XXI</sup> <http://www.mpi.nl/DOBES/projects/cashinahua/maison1Purus.jpg>

<sup>XXII</sup> <http://www.ghanatourism.gov.gh/images/regions/asante11.jpg>

<sup>XXIII</sup> <http://www.visituganda.com/assets/images/people/photos/02-032BugandaKasubiTombs.jpg>

<sup>XXIV</sup> <http://www.colombiaquest.com/img/planes/PRE-Chozas-Amazonas.jpg>

<sup>XXV</sup> <http://www.asiaexplorers.com/indonesia/danautoba/ambarita/01.jpg>

<sup>XXVI</sup> [http://www.aventurismo.com/images/fotos/orinoco100\\_1214.jpg](http://www.aventurismo.com/images/fotos/orinoco100_1214.jpg)

<sup>XXVII</sup> [http://www.1-costaricalink.com/costa\\_rica\\_tours/bri\\_bri\\_indigenous\\_tour/bri\\_bri\\_indigenous\\_tour\\_1.jpg](http://www.1-costaricalink.com/costa_rica_tours/bri_bri_indigenous_tour/bri_bri_indigenous_tour_1.jpg)

<sup>XXVIII</sup> <http://www.indonesiaseoul.org/pictures/Toraja%20House,%20South%20Sulawesi.jpg>

<sup>XXIX</sup> [http://farm1.static.flickr.com/43/101162736\\_fcb6fd0b81.jpg?v=0](http://farm1.static.flickr.com/43/101162736_fcb6fd0b81.jpg?v=0)

<sup>XXX</sup> [http://farm2.static.flickr.com/1298/549127756\\_63544d3015.jpg](http://farm2.static.flickr.com/1298/549127756_63544d3015.jpg)

- 
- XXXI <http://cache.eb.com/eb/image?id=61196&rendTypeld=4>
- XXXII <http://www.islandvulnerability.org/pnghouse1.jpg>
- XXXIII <http://www.gaiacclinic.com/blogimages/Compound.jpg>
- XXXIV <http://www.dee-bali.com/deewp/wp-content/uploads/2006/10/housecompound.jpg>
- XXXV Elaboración gráfica de la autora
- XXXVI [http://www.cs.mcgill.ca/~ydaoud/africa/land/22\\_village.jpg](http://www.cs.mcgill.ca/~ydaoud/africa/land/22_village.jpg)
- XXXVII [http://farm1.static.flickr.com/184/430252066\\_d90bd2caee.jpg?v=0](http://farm1.static.flickr.com/184/430252066_d90bd2caee.jpg?v=0)
- XXXVIII [http://image03.webshots.com/3/0/36/3/10103603sMagSmHvwN\\_ph.jpg](http://image03.webshots.com/3/0/36/3/10103603sMagSmHvwN_ph.jpg)
- XXXIX <http://www.arch.mcgill.ca/prof/schoenauer/arch528/lect02/a49.jpg>
- XL [http://www.sunna.info/souwar/data/media/6/Djenne\\_mosque\\_mali\\_1905.jpg](http://www.sunna.info/souwar/data/media/6/Djenne_mosque_mali_1905.jpg)
- XLI [http://farm1.static.flickr.com/71/165736082\\_51dfef69d5.jpg](http://farm1.static.flickr.com/71/165736082_51dfef69d5.jpg)
- XLII [http://www.burkina-ntic.org/IMG/jpg/pays\\_dogon2.jpg](http://www.burkina-ntic.org/IMG/jpg/pays_dogon2.jpg)
- XLIII <http://cache.eb.com/eb/image?id=5355&rendTypeld=4>
- XLIV <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fb/Turpan-gaochang-d09.jpg>
- XLV <http://www.olympia.fi/pics/journeys/Togo-Tambermalaakso.jpg>
- XLVI <http://dlc.dlib.indiana.edu/DLCImage/images/Mozambique7-99-425-full.jpg>
- XLVII [http://farm2.static.flickr.com/1200/1216090892\\_b4afdc4121.jpg](http://farm2.static.flickr.com/1200/1216090892_b4afdc4121.jpg)
- XLVIII [http://www.yemenincanada.ca/photos/shibam\\_01.jpg](http://www.yemenincanada.ca/photos/shibam_01.jpg)
- XLIX Elaboración gráfica de la autora
- L [http://farm2.static.flickr.com/1398/993392466\\_d9a05e0b8d.jpg](http://farm2.static.flickr.com/1398/993392466_d9a05e0b8d.jpg)
- LI <http://www.unc.edu/~kevinh/xocen/xocencasa1.jpg>
- LII [http://farm2.static.flickr.com/1077/1353902406\\_3cffeefd62.jpg?v=0](http://farm2.static.flickr.com/1077/1353902406_3cffeefd62.jpg?v=0)
- LIII <http://www.mahatmagandhiji.com/bio/bapukutir1.jpg>
- LIV <http://www.twip.org/photo/the-caribbean/cuba/photo-6856-01-04-07-11-22-12.jpg>
- LV [http://hotel.vietnamtradedfair.com/images/phoco\\_hoian\\_vietnam.jpg](http://hotel.vietnamtradedfair.com/images/phoco_hoian_vietnam.jpg)
- LVI <http://chinatour.net/images/tour/yunnan/lijiang.jpg>
- LVII <http://www.rbcradio.com/banglahouse.jpg>
- LVIII [http://p.vtourist.com/3034529-Khlong\\_Khanom\\_Wan\\_Canal\\_Ko\\_Kret-Pak\\_Kret.jpg](http://p.vtourist.com/3034529-Khlong_Khanom_Wan_Canal_Ko_Kret-Pak_Kret.jpg)
- LIX [http://elodieriana.canalblog.com/images/105\\_105.JPG](http://elodieriana.canalblog.com/images/105_105.JPG)
- LX [http://farm1.static.flickr.com/40/104793452\\_bd2c52306b\\_o.jpg](http://farm1.static.flickr.com/40/104793452_bd2c52306b_o.jpg)
- LXI [http://www.antanlontan-antilles.com/\\_pictures/Haiti/images/Haiti-Natives-House.jpg](http://www.antanlontan-antilles.com/_pictures/Haiti/images/Haiti-Natives-House.jpg)

- 
- LXII [http://farm1.static.flickr.com/155/370992405\\_ffe143df17.jpg?v=0](http://farm1.static.flickr.com/155/370992405_ffe143df17.jpg?v=0)
- LXIII Elaboración gráfica de la autora
- LXIV [http://www.ayashbasu.com/photoblog/images/20061130155546\\_faos\\_pueblo.jpg](http://www.ayashbasu.com/photoblog/images/20061130155546_faos_pueblo.jpg)
- LXV <http://www.jornada.unam.mx/viajera/chihuahua/paquime2.jpg>
- LXVI Google Earth
- LXVII [http://www.nasa.gov/images/content/110585main2\\_traditions\\_t.jpg](http://www.nasa.gov/images/content/110585main2_traditions_t.jpg)
- LXVIII [http://farm2.static.flickr.com/1347/916980481\\_650db1e5f1.jpg?v=0](http://farm2.static.flickr.com/1347/916980481_650db1e5f1.jpg?v=0)
- LXIX [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Hogan\\_Navajo.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Hogan_Navajo.jpg)
- LXX [http://static.flickr.com/60/166029241\\_11bd8d4d5e.jpg](http://static.flickr.com/60/166029241_11bd8d4d5e.jpg)
- LXXI <http://www.bmedia.nl/portfolio/souqdamascus.jpg>
- LXXII [http://p.vtourist.com/2264366-The\\_Fadhoun\\_Mosque-Ille\\_de\\_Jerba.jpg](http://p.vtourist.com/2264366-The_Fadhoun_Mosque-Ille_de_Jerba.jpg)
- LXXIII <http://lexicorient.com/algeria/photos/mzab03.jpg>
- LXXIV <http://www.cs.csustan.edu/~rsc/NSF/SquareHouse.jpg>
- LXXV [http://farm1.static.flickr.com/167/410952930\\_721adf4dee.jpg](http://farm1.static.flickr.com/167/410952930_721adf4dee.jpg)
- LXXVI <http://img2.travelblog.org/Photos/17161/88892/f/824742-Matmata-0.jpg>
- LXXVII <http://galen-frysinger.com/regional/cappadocia01.jpg>
- LXXVIII Elaboración gráfica de la autora
- LXXIX <http://i1.trekearth.com/photos/2674/yurt.jpg>
- LXXX BEHLING, S. *Sol power la evolución de la arquitectura sostenible*, Gustavo Gili, Barcelona, 2002, pág.52
- LXXXI <http://www.octavia.net/images/earlyEnglishArchitecture/fyrkatLongHouseExterior.jpg>
- LXXXII <http://www.hiddenhousehistory.co.uk/images/guideimages/architecture/Features/1.%20Wealden%20Hall-house%20c.%201400-1500.JPG>
- LXXXIII [http://www.bc.edu/bc\\_org/avp/cas/fnart/fa267/17th/fairbank.jpg](http://www.bc.edu/bc_org/avp/cas/fnart/fa267/17th/fairbank.jpg)
- LXXXIV [http://farm1.static.flickr.com/107/297941407\\_8f7db710a8.jpg?v=0](http://farm1.static.flickr.com/107/297941407_8f7db710a8.jpg?v=0)
- LXXXV [http://www.blueshawk.info/texasflood/images/iceland-feb06-295\\_edited-1.jpg](http://www.blueshawk.info/texasflood/images/iceland-feb06-295_edited-1.jpg)
- LXXXVI [http://farm1.static.flickr.com/174/382931566\\_a74689d4a9.jpg](http://farm1.static.flickr.com/174/382931566_a74689d4a9.jpg)
- LXXXVII <http://www.interpatagonia.com/riogallegos/imagenes/rio-gallegos.jpg>
- LXXXVIII [http://farm1.static.flickr.com/140/382821712\\_af64d0d686.jpg](http://farm1.static.flickr.com/140/382821712_af64d0d686.jpg)
- LXXXIX <http://www.bluesapphires.net/tour/minsk2.jpg>
- XC [http://farm2.static.flickr.com/1346/1101446441\\_9973da4656.jpg?v=0](http://farm2.static.flickr.com/1346/1101446441_9973da4656.jpg?v=0)
- XCI [http://farm2.static.flickr.com/1302/1385541593\\_c4dd43bd40.jpg?v=0](http://farm2.static.flickr.com/1302/1385541593_c4dd43bd40.jpg?v=0)

---

<sup>xcii</sup> [http://farm1.static.flickr.com/26/37406087\\_3961321e2d.jpg?v=0](http://farm1.static.flickr.com/26/37406087_3961321e2d.jpg?v=0)

<sup>xciii</sup> Elaboración gráfica de la autora

<sup>xciv</sup> [http://crfr.org/db1/00009/crfr.org/\\_uimages/Norilsk-aerial-view.jpg](http://crfr.org/db1/00009/crfr.org/_uimages/Norilsk-aerial-view.jpg)

<sup>xcv</sup> <http://images.encarta.msn.com/xrefmedia/sharemed/targets/images/pho/t041/T041137A.jpg>

<sup>xcvi</sup> [http://farm2.static.flickr.com/1138/1388485467\\_8a4d9a6013.jpg?v=0](http://farm2.static.flickr.com/1138/1388485467_8a4d9a6013.jpg?v=0)

<sup>xcvii</sup> [http://farm2.static.flickr.com/1359/1360824257\\_bee2e73512.jpg?v=0](http://farm2.static.flickr.com/1359/1360824257_bee2e73512.jpg?v=0)

<sup>xcviii</sup> [http://farm1.static.flickr.com/1/178930\\_acc71f1e5a.jpg?v=0](http://farm1.static.flickr.com/1/178930_acc71f1e5a.jpg?v=0)

<sup>xcix</sup> <http://www.eurobookings.com/hotel-guide/files/u1/ice-hotel-8.jpg>

<sup>c</sup> <http://skyscraperpage.com/33worldbuildings/img/01.jpg>

<sup>ci</sup> [http://image.pegs.com/images/UI/14350/14350\\_b2.jpg](http://image.pegs.com/images/UI/14350/14350_b2.jpg)

<sup>cii</sup> [http://www.maximalism.nu/photos/uncategorized/burj\\_al\\_arab\\_hotel\\_2.jpg](http://www.maximalism.nu/photos/uncategorized/burj_al_arab_hotel_2.jpg)

<sup>ciii</sup> <http://www.imoa3.webinfoserver.com/images2/Bank-Boston.jpg>

<sup>civ</sup> [http://farm1.static.flickr.com/128/317919517\\_d682d33e39.jpg](http://farm1.static.flickr.com/128/317919517_d682d33e39.jpg)

03\_ EN ÁFRICA, A LA SOMBRA DE UN  
ÁRBOL

### 03\_EN ÁFRICA, A LA SOMBRA DE UN ÁRBOL

La siguiente narración es del autor polaco Ryszard Kapuściński<sup>1</sup> (1932–2007), periodista y escritor que entre 1958 y 1981, fue corresponsal del *Polish Press* en África.

“El árbol en cuestión crece en una aldea que se llama Adofo<sup>2</sup> y está situada cerca del Nilo Azul, en la provincia etíope de Wollega<sup>3</sup>. Es un inmenso mango de hojas frondosas y perennemente verdes. El que viaja por los altiplanos de África, por la infinitud del Sahel y de la sabana, siempre contempla el mismo y asombroso cuadro que no cesa de repetirse: en las inmensas extensiones de una tierra quemada por el sol y cubierta por la arena, en unas llanuras donde crece una hierba seca y amarillenta, y sólo de vez en cuando algún que otro arbusto seco y espinoso, cada cierto tiempo aparece, solitario, un árbol de copa ancha y ramificada. Su verdor es fresco y tupido y tan intenso que ya desde lejos forma, claramente visible en la línea del horizonte, una nítida mancha de espesura. Sus hojas, aunque en ninguna parte se percibe una sola brizna de viento, se mueven y despiden destellos de luz. ¿De dónde ha salido el árbol en este muerto paisaje lunar? ¿Por qué precisamente en este lugar? ¿Por qué uno solo? ¿De dónde saca la savia? A veces, tenemos que recorrer muchos kilómetros antes de toparnos con otro.

A lo mejor, en tiempos, crecían aquí muchos árboles, un bosque entero, pero se los taló y quemó y sólo ha quedado este único mango. Todo el mundo de los alrededores se ha preocupado por salvarle la vida, sabiendo cuan importante era. Es que en torno a cada uno de estos árboles solitarios hay una aldea. En realidad, al divisar desde lejos un mango de estos, podemos tranquilamente dirigirnos hacia él, sabiendo que allí encontraremos gente, un poco de agua e, incluso, tal vez algo de comer. Esas personas han salvado el árbol porque sin él no podrían vivir: bajo el sol africano, para existir, el hombre necesita sombra, y el árbol es su único depositario y administrador.

Si en la aldea hay un maestro, el espacio bajo el árbol sirve como aula escolar. Por la mañana acuden aquí los niños de todo el poblado. No existen cursos ni límites de edad: viene quien quiere. La señorita o el señor maestro clavan en el tronco el alfabeto impreso en una hoja de papel. Señalan con una vara las letras, que los niños miran y repiten. Están obligados a aprendérselas de memoria: no tienen con qué ni sobre qué escribir.



FIG\_1.- Mujeres y niños de una aldea de Malawi



FIG\_2.- Voluntaria impartiendo clases a adultos.

<sup>1</sup> KAPUŚCIŃSKI, R, *Ébano*, traducido del polaco por Agata Orzeszek, editorial Anagrama, Barcelona, 2000.

<sup>2</sup> Se refiere al nombre de la villa Afodo, Etiopia, otros nombres : Afoda, Afodu, Āfodo.

<sup>3</sup> Mejor conocida como Welega, nombres alternos: Walaga, Wallaga, Wallega, Wellega.

Cuando llega el mediodía y el cielo se vuelve blanco de tanto calor, en la sombra del árbol se protege todo el mundo: los niños y los adultos, y si en la aldea hay ganado, también las vacas, las ovejas y las cabras. Resulta mejor pasar el calor del mediodía bajo el árbol que dentro de la choza de barro. En la choza no hay sitio y el ambiente es asfixiante, mientras que bajo el árbol hay espacio y esperanza de que sople un poco de viento.

Las horas de la tarde son las más importantes: bajo el árbol se reúnen los mayores. El mango es el único lugar donde se pueden reunir para hablar, pues en la aldea no hay ningún local espacioso. La gente acude puntual y celosamente a estas reuniones: los africanos están dotados de una naturaleza gregaria y muestran una gran necesidad de participar en todo aquello que constituye la vida colectiva. Todas las decisiones se toman en asamblea, las disputas y peleas las soluciona la comunidad en pleno, que también resuelve quién recibirá tierra cultivable y cuánta.



iii

FIG\_3.- Fotografía dónde se aprecia la gente en el África reunida bajo la copa del árbol de Mango. Nótese que la sombra proyectada es completamente vertical, deducimos que la foto fue tomada al mediodía.

La tradición manda que toda decisión se tome por unanimidad. Si alguien es de otra opinión, la mayoría tratará de persuadirlo tanto tiempo como haga falta hasta que cambie de parecer. A veces la cosa dura una eternidad, pues un rasgo típico de estas deliberaciones consiste en una palabrería infinita. Si entre dos habitantes de la aldea surge una disputa, el tribunal reunido bajo el árbol no buscará la verdad ni intentará averiguar quién tiene razón, sino que se dedicará, única y exclusivamente, a quitar hierro al conflicto y a llevar a las partes hacia un acuerdo, no sin considerar justas las alegaciones de ambas.

Cuando se acaba el día y todo se sume en la oscuridad, los congregados interrumpen la reunión y se van a sus casas. No se puede debatir a oscuras: la discusión exige mirar al rostro del hablante; que se vea si sus palabras y sus ojos dicen lo mismo.

Ahora, bajo el árbol, se reúnen las mujeres; también acuden los ancianos y los niños, curiosos por todo. Si disponen de madera, encienden fuego. Si hay agua y menta, preparan un té, espeso y cargado. Empiezan los momentos más agradables, los que más me gustan: se relatan los acontecimientos del día y se cuentan historias en que se mezclan lo real y lo imaginario, cosas alegres y las que despiertan terror. ¿Qué ha hecho tanto ruido entre los arbustos esta mañana, ese algo oscuro y furioso? ¿Qué pájaro tan extraño ha levantado el vuelo y ha desaparecido? Unos niños han obligado a un topo a esconderse en su madriguera. Luego la han descubierto y el topo no estaba. ¿Dónde se habrá metido? A medida que avanzan los relatos la gente empieza a recordar que, en tiempos, los viejos hablaban de un pájaro extraño que, en efecto, había levantado el vuelo y había desaparecido; otra persona se acuerda de que, cuando era pequeña, su bisabuelo le dijo que una cosa oscura llevaba tiempo haciendo ruido entre los arbustos. ¿Cuánto? Hasta donde llega la memoria. Aquí, la frontera de la memoria también lo es de la Historia. Antes no había nada. El antes no existe. La Historia no llega más allá de lo que se recuerda.

Aparte del norte islámico, África no conocía la escritura; la Historia nunca ha pasado aquí de la transmisión oral, estaba en las leyendas que circulaban de boca en boca y era un mito colectivo, creado involuntariamente al pie de un mango, en la profunda penumbra de la tarde, cuando no se oían más que las voces temblorosas de los ancianos, puesto que las mujeres y los niños, embelesados, guardaban silencio. De ahí que los momentos en que cae la noche sean tan importantes: es cuando la comunidad se plantea quién es y de dónde viene, se da cuenta de su carácter singular e irreplicable, y define su identidad. Es la hora de hablar con los antepasados, que si bien es cierto que se han ido, al mismo tiempo permanecen con nosotros, siguen conduciéndonos a través de la vida y nos protegen del mal.

Al caer la noche el silencio bajo el árbol sólo es aparente. En realidad lo llenan muchas y muy diversas voces, sonidos y susurros que llegan de todas partes: de las altas ramas, de la maleza circundante, de debajo de tierra, del cielo. Es mejor que en momentos así nos mantengamos unidos, que sintamos la presencia de otros, presencia que nos infunde ánimo y valor. El africano nunca deja de sentirse amenazado. En este continente la naturaleza cobra formas tan monstruosas y agresivas, se pone máscaras tan vengativas y terroríficas, coloca tales trampas y emboscadas, que el hombre, permanentemente asustado y atemorizado, vive sin saber jamás lo que le traerá el mañana. Aquí todo se produce de manera multiplicada, desbocada, histéricamente exagerada. Cuando hay tormenta, los truenos sacuden el planeta entero y los rayos destrozan el firmamento haciéndolo jirones; cuando llueve, del cielo cae una maciza pared de agua que nos ahogará y sepultará de un momento a otro; cuando hay sequía, siempre es tal que no deja ni una gota de agua y nos morimos de sed. En las relaciones naturaleza-hombre no hay nada que las suavice, ni compromisos de ninguna clase, ni gradaciones, ni estados intermedios. Todo -y durante todo el tiempo- es guerra, combate, lucha a muerte. El africano es un hombre que desde que nace hasta que muere permanece en el frente, luchando contra la -excepcionalmente malévol- naturaleza de su continente, y ya el mero hecho de que esté con vida y sepa conservarla constituye su mayor victoria.

Pues bien, ha caído la noche, estamos sentados bajo un árbol enorme y una muchacha me ofrece un vaso de té. Oigo hablar a agentes cuyos rostros, fuertes y brillantes, como esculpidos en ébano, se funden con la inmóvil oscuridad. No entiendo mucho de lo que dicen pero sus voces suenan serias y solemnes. Al hablar se sienten responsables de la Historia de su pueblo. Tienen que preservarla y desarrollarla. Nadie puede decir: leedla en los libros, pues nadie los ha escrito; no existen. Tampoco existe la Historia más allá de la que sepan contar aquí y ahora. Nunca nacerá esa que en Europa se llama científica y objetiva, porque la africana no conoce documentos ni censos, y cada generación, tras escuchar la versión correspondiente que le ha sido transmitida, la cambia, altera, modifica y embellece. Pero por eso mismo, libre de lastres, del rigor de los datos y las fechas, la Historia alcanza aquí su encarnación más pura y cristalina: la del mito.

En dichos mitos, el lugar de las fechas y de la medida mecánica del tiempo –días, meses, años– lo ocupan declaraciones como: «hace tiempo», «hace mucho tiempo», «hace tanto que ya nadie lo recuerda». Todo se puede hacer caber en estas expresiones y colocarlo en la jerarquía del tiempo. Sólo que ese tiempo no avanza de una manera lineal y ordenada, sino que cobra forma de movimiento, igual al de la Tierra: giratorio y uniformemente elíptico. En tal concepción del tiempo, no existe la noción de progreso, cuyo lugar lo ocupa la de durar. África es un eterno durar.

Se hace tarde y todos se van a sus casas. Cae la noche, y la noche pertenece a los espíritus. ¿Dónde, por ejemplo, se reunirán las brujas? Se sabe que celebran sus encuentros y asambleas en las ramas, sumergidas y ocultas entre las hojas. Más vale no molestarlas, mejor retirarse del refugio del árbol: no soportan que se las mire, escuche, espíe. Saben ser vengativas y son capaces de perseguirnos: inocular enfermedades, infligir dolor, sembrar la muerte.

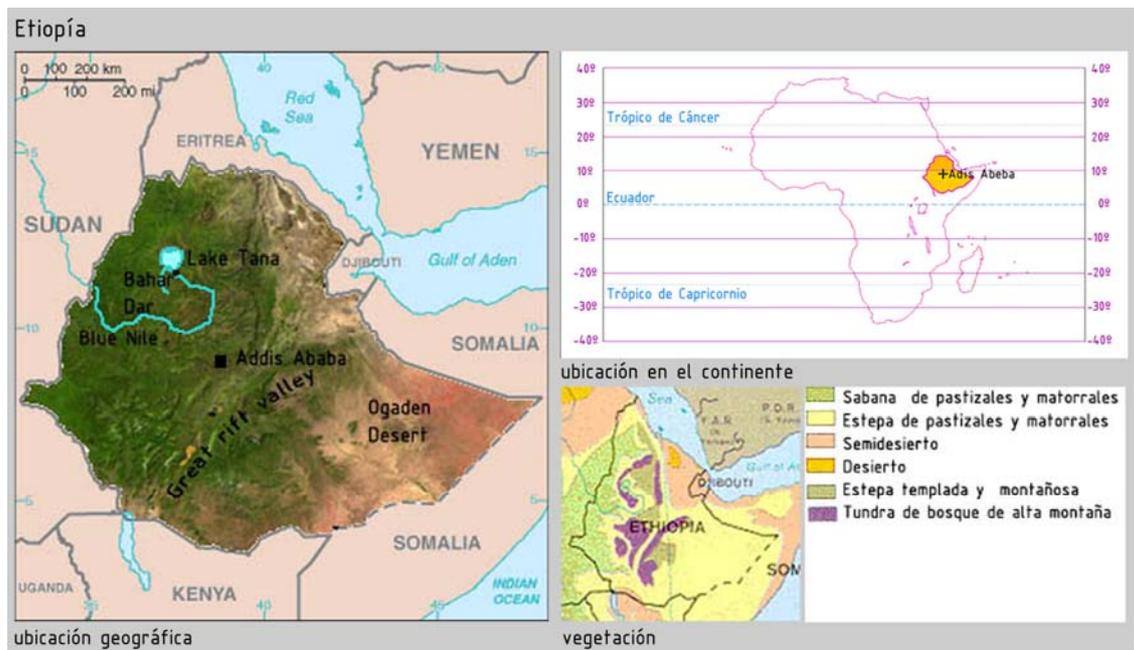
De modo que el lugar bajo el mango permanecerá vacío hasta la madrugada. Al alba en la tierra aparecerán, al mismo tiempo, el sol y la sombra del árbol. El sol despertará a la gente, que no tardará en ocultarse ante él, buscando la protección de la sombra. Es extraño, aunque rigurosamente cierto a un tiempo, que la vida del hombre dependa de algo tan volátil y quebradizo como la sombra. Por eso el árbol que la proporciona es algo más que un simple árbol: es la vida. Si en su cima cae un rayo y el mango se quema, la gente no tendrá dónde refugiarse del sol ni dónde reunirse. Al serle vetada la reunión, no podrá decidir nada ni tomar resolución alguna. Pero, sobre todo, no podrá contarse su Historia, que sólo existe cuando se transmite de boca en boca en el curso de las reuniones vespertinas bajo el árbol. Así, no tardará en perder sus conocimientos del ayer y su memoria. Se convertirá en gente sin pasado, es decir, no será nadie. Todos perderán aquello que los ha unido, se dispersarán, se irán, solos, cada uno por su lado. Pero en África la soledad es imposible; solo, el hombre no sobrevivirá ni un día: está condenado a muerte. Por eso, si el rayo destruye el árbol, también morirán las personas que han vivido a su sombra. Y así está dicho: el hombre no puede vivir más que su sombra.

## DESCRIPCIÓN DEL SITIO

Este texto nos relata cuán importante resulta ser un árbol para los habitantes de la pequeña aldea de Afodo. Es pertinente dar una breve descripción climática del lugar, a fin de comprender mejor la importancia del árbol en su sociedad.

Etiopía se encuentra comprendido entre los paralelos 4° y 15° latitud Norte, por tanto se ubica en la zona del cinturón ecuatorial. El clima predominante es el monzón tropical: temporada de lluvias entre los meses de Junio a Septiembre, precedidas por ligeras precipitaciones de febrero a Marzo, el resto del año es generalmente seco.<sup>4</sup> Pero, existen tres zonas climáticas definidas por la diferencia de su topografía.

- Dega (Zona fría): Áreas por encima de los 2600msn, sus temperaturas varían entre los 0 y los 16°C. La vegetación es la Tundra de bosque de alta montaña.
- Woyina Dega (Zona Templada): Áreas entre los 1,500 y los 2,600 msn, las temperaturas varían entre los 16 y los 30°C. Esta es la zona más poblada.
- Qola (Zona Cálida)-Áreas por debajo de los 1,500 msn, con condiciones ya sea húmedas ó áridas, con temperaturas entre los 27 y los 50°C.<sup>5</sup>



FIG\_4.- Ubicación Geográfica y vegetación de Etiopía. La imagen de la ubicación geográfica se modificó de la original en el *CIA THE WORLD FACTBOOK*,<sup>6</sup> también se amplió el original referente a la vegetación.<sup>7</sup>

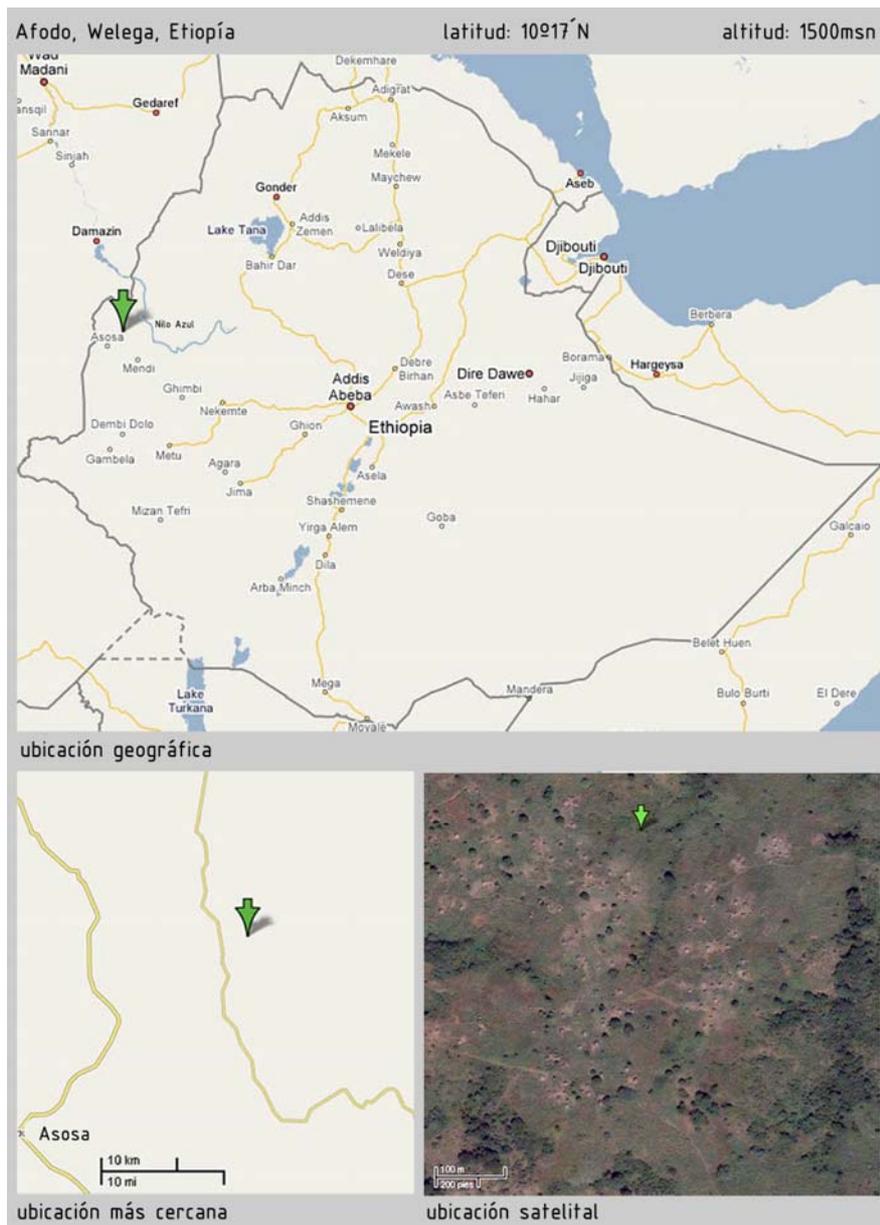
Afodo se localiza en el Oeste de Etiopía, tiene una latitud de 10°17'N y una altura de 1502 msn. La aldea se compone de chozas dispersas, con una población aproximada de 1877 en una radio de 7 Km. desde el punto de ubicación. Se localiza en la Zona Cálida y su vegetación corresponde a la sabana de pastizales y matorrales. La ciudad más cercana es Asosa, de la cual se tomaron los datos climáticos.

<sup>4</sup> <http://www.ethioworld.com/CountryInformation/climate.htm>

<sup>5</sup> <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/et.html>

<sup>6</sup> <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/maps/et-map.gif>

<sup>7</sup> <http://www.lib.berkeley.edu/EART/maps/africa-veg.gif>



FIG\_5.- Ubicación Geográfica de Afodo. En la imagen satelital se aprecian las chozas dispersas en el paisaje.

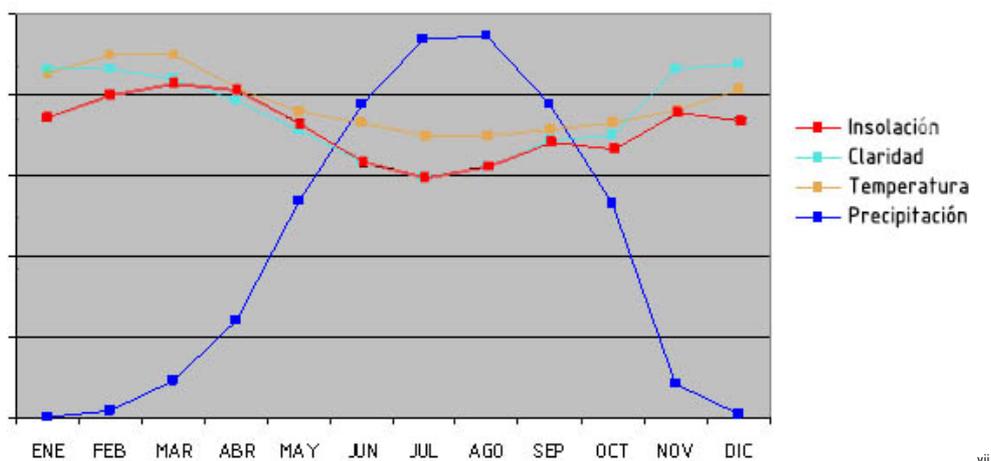
El clima tiene poca variabilidad de temperaturas, mínima 20.80°C en Julio y máxima 26.71°C en Febrero y Marzo, que coincide con la culminación de la temporada seca (Octubre-Marzo). La temporada de lluvias es entre los meses de Abril-Septiembre.

ASOSA		Latitud: 10°04' N						Altitud: 1500 msn				
PARÁMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Insolación	6.00	6.45	6.68	6.53	5.86	5.12	4.80	5.02	5.52	5.37	6.10	5.93
Claridad (0-1)	0.68	0.68	0.66	0.62	0.56	0.50	0.47	0.49	0.54	0.55	0.68	0.69
Temperatura	25.40	26.71	26.71	24.30	22.63	21.71	20.80	20.81	21.25	21.77	22.73	24.19
Vel. viento	3.69	3.80	3.73	3.65	3.37	3.75	3.47	3.07	2.53	2.98	3.75	3.77
Precipitación	0.4	4.2	22.6	60	134.2	194.5	234.4	236.7	194	132.1	20.9	1.6
Temporada	S	S	S	H2	H2	H2	H2	H2	H2	S	S	S
Insolación kWh/m <sup>2</sup> /día		Precipitación mm			Temperatura °C			Velocidad de viento m/s				
Temporada( S=Seca H2=Lluvias principales)								Claridad (0=nuublado 1= despejado)				

FIG\_6.- Tabla de datos climáticos de Asosa, Etiopía. (Ciudad más cercana a Afodo) <sup>vi</sup>

Los datos de los primeros cuatro parámetros fueron obtenidos de la página Web de GAISMA.<sup>8</sup> Los datos de precipitación y temporada se obtuvieron de la página Web de la Agencia Nacional de Meteorología de Etiopía.<sup>9</sup>

Existe una relación entre los niveles de insolación, claridad y temperatura. Los meses con mayor incidencia de radiación son aquellos con días más despejados, por tanto se encuentran comprendidos en la temporada seca. Al comienzo de esta temporada se eleva la temperatura hasta alcanzar la máxima. Al iniciarse la temporada de lluvias existe un descenso de temperaturas, pues incide menos radiación directa. (Ver FIG\_6)



FIG\_7.- Gráfica de parámetros de insolación, claridad, temperatura y precipitación de Asosa.

Los pobladores deben protegerse de la radiación y la lluvia, ambos caen de manera muy vertical durante gran parte del año, debido a su cercanía al Ecuador. Además se requiere una buena ventilación, no es de extrañar que la mejor protección la brinde el árbol del mango, pues permite el paso del viento mientras protege con su sombra.

#### DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL MANGO <sup>10</sup>

El árbol del mango (*Mangifera Indica*) procede del sureste Asiático, especialmente de la parte Este de India, Birmania e Islas Andamán. El árbol está naturalmente adaptado a tierras tropicales entre los 27°N y 27°S, abarcando la zona ecuatorial. El mejor clima para el árbol debe tener una precipitación de 75 a 250 cm durante los cuatro meses de verano (junio-Septiembre), seguido de 8 meses de temporada seca. Existen especies en regiones cercanas a la frontera del desierto de Egipto. La forma de la copa depende del espacio disponible para su desarrollo. La densidad de su copa, los patrones de las ramas y la cantidad de hojas tienen una dependencia geográfica. El árbol promedio mide entre 10 y 40 metros de altura, siempre es verde, con copa simétrica y redonda que va desde la parte baja densa hasta la punta. El tronco es más o menos recto, cilíndrico y de 75-100 cm. Las hojas son alternas, espaciadas irregularmente a lo largo de las ramas, de color verde oscuro brillante por arriba y verde-amarillento por abajo, de 10 a 40 cm de largo y de 2 a 10 cm de ancho.

<sup>8</sup> <http://www.gaisma.com/en/location/asosa.html>

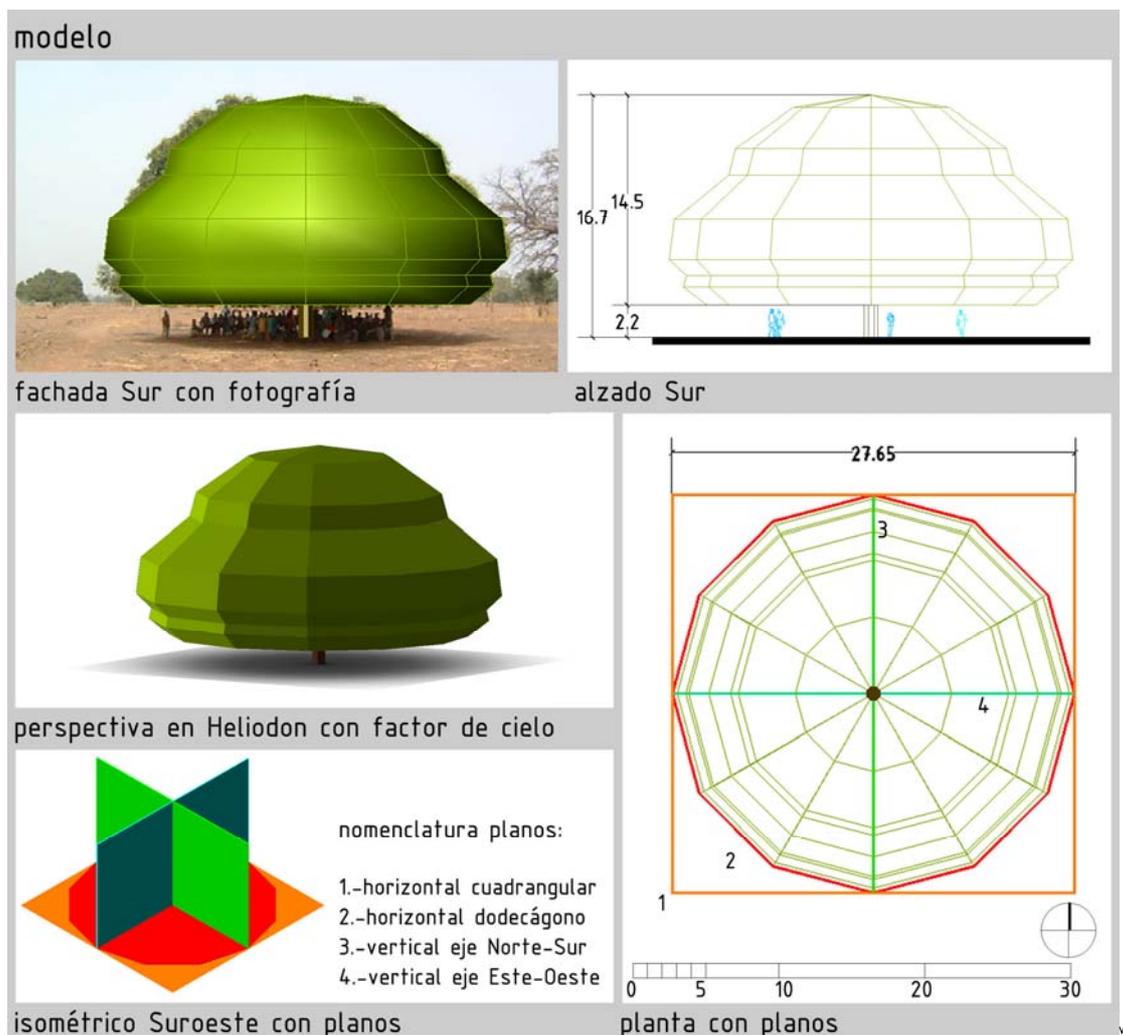
<sup>9</sup> [http://www.ethiomet.gov.et/index.php?Page\\_No=5&item=3&PHPSESSID=b0fcdb335a143b74e43d3cbd6a61ba7a](http://www.ethiomet.gov.et/index.php?Page_No=5&item=3&PHPSESSID=b0fcdb335a143b74e43d3cbd6a61ba7a)

<sup>10</sup> Información traducida y resumida de la página web: <http://www.fao.org/inpho/content/compand/text/Ch20sec1.htm>

## EL MODELO

Se realizó un modelo en base a la fotografía de la FIG\_3. La copa del árbol es de forma simétrica con un diámetro máximo de 27.65 metros y una altura total de 16.70 metros. El tronco es un octágono inscrito en una circunferencia de 1 metro de diámetro, para simplificar la forma cilíndrica, y tiene una altura libre de 2.2 metros, que es donde comienza la copa del árbol. Estas medidas fueron deducidas al escalar la altura de las personas que se encuentran debajo de él, por lo tanto son medida proporcionales, pero podemos comprobar que se encuentran dentro de los parámetros del árbol del mango.

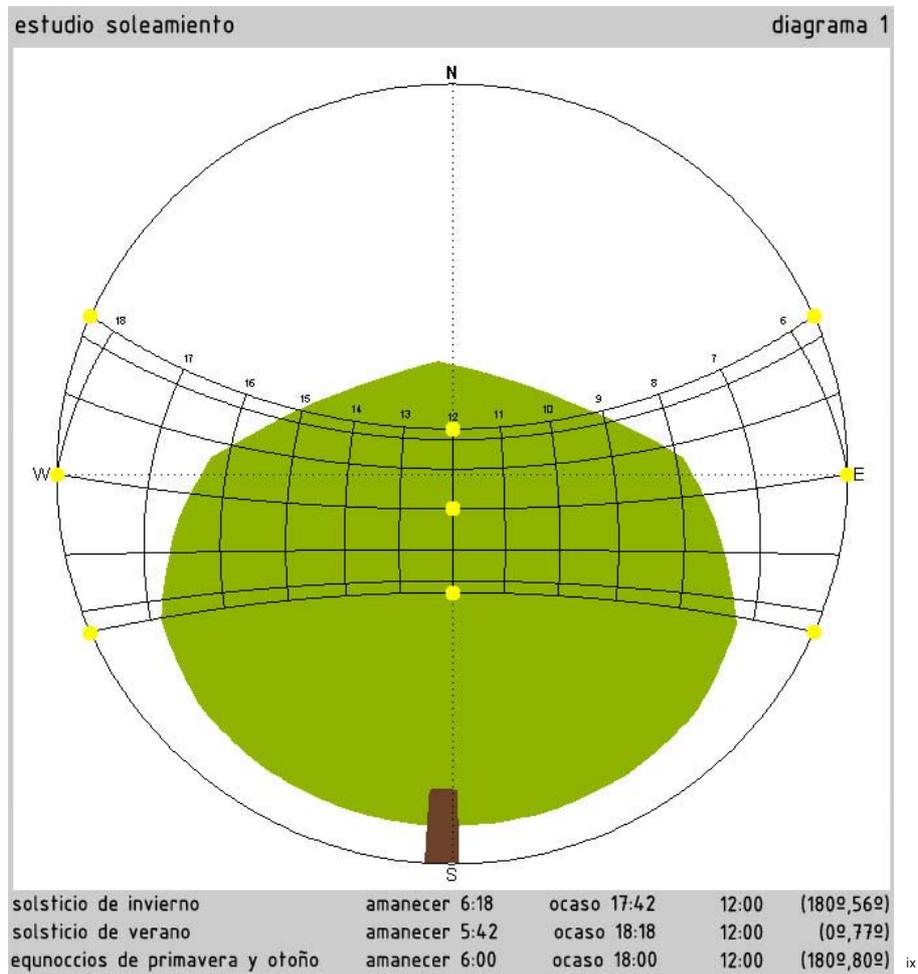
Aparte de este modelo, se han integrado, para el análisis de factor de cielo y de Sol, cuatro planos diferentes. Dos en sentido horizontal y a nivel del suelo. El primero con forma cuadrangular que cubre el espacio debajo del árbol, y el otro reproduce la forma de la copa de éste, un dodecágono (polígono regular de 12 lados). Se ubicaron dos planos verticales, uno dispuesto en el eje Norte-Sur y otro en el eje Este-Oeste. A estos planos se les ha asignado un código de color que aparecerá en los marcos, para que el lector reconozca qué plano esta visualizando.



FIG\_8.- Planos e imágenes del modelo del árbol de mango.

## ESTUDIO DE SOLEAMIENTO

El recorrido solar es muy similar durante todo el año. En el siguiente diagrama se muestra la posición del Sol así como sus coordenadas en las fechas más importantes.

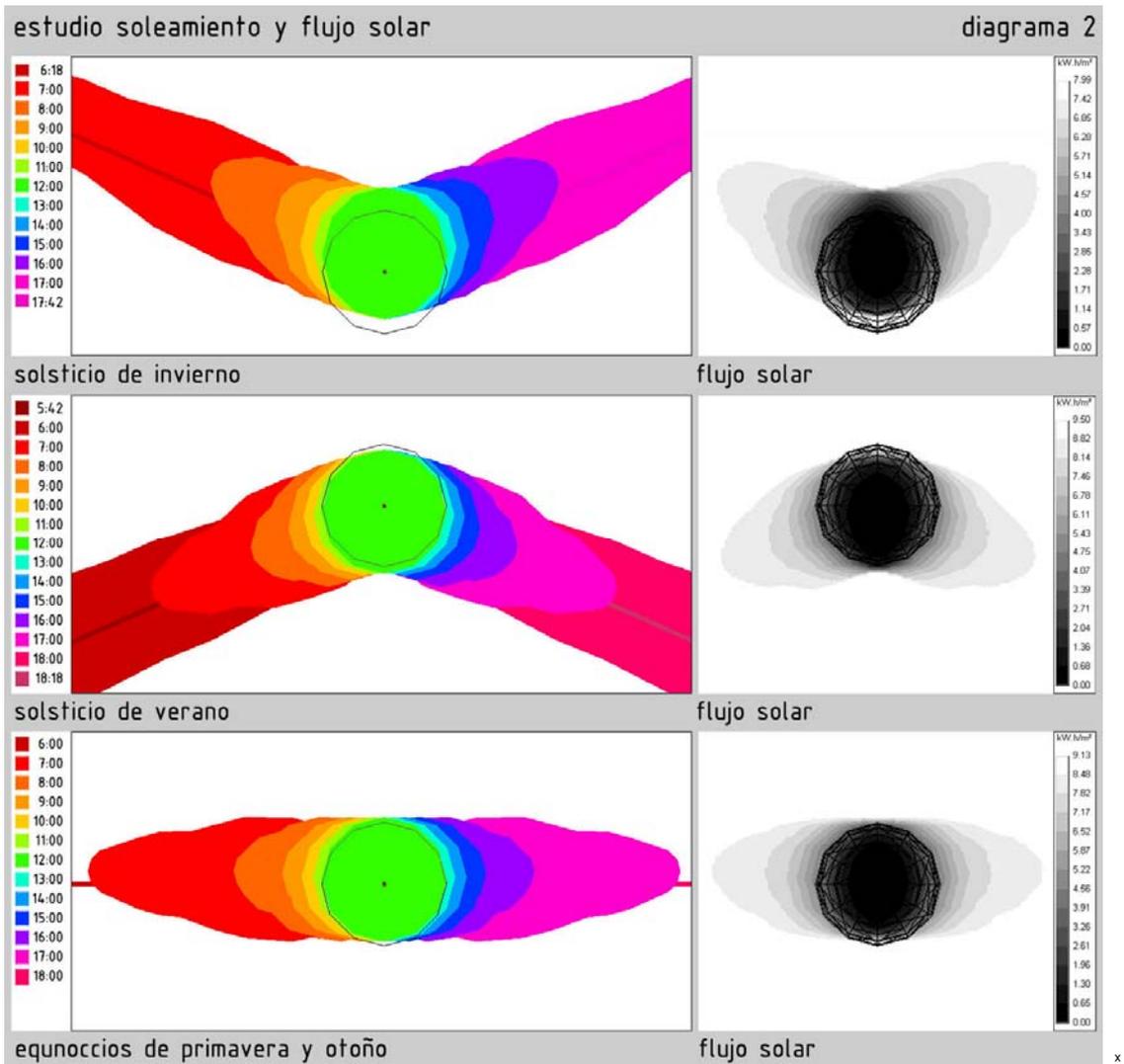


FIG\_9.- Estereografía con trayectorias y coordenadas solares durante las fechas más importantes.

Durante el solsticio de invierno se tiene el día más corto, la diferencia con respecto al día más largo, solsticio de verano, es de tan sólo 36 minutos al amanecer y al atardecer. Durante los equinoccios, el Sol alcanza una altura de 80°, que es la más alta con respecto a los solsticios. Su altura más baja, 56°, es en el solsticio de invierno, mientras que en el solsticio de verano alcanza los 77°, durante esta última fecha el Sol se encuentra en el Norte. En el solsticio de invierno y durante los equinoccios esta exactamente en el Sur, al mediodía.

Existe una marcada división del trayecto solar, a partir del 21 de marzo y hasta el 21 de septiembre el Sol nace en las direcciones Este-Noreste, y se oculta en el Oeste-Noroeste. A partir del 21 de septiembre y hasta el 21 de marzo el Sol nace en las direcciones Este-Sureste, y se oculta en el Oeste-Suroeste. A partir del 17 de abril y hasta el 25 de agosto, el Sol realiza su recorrido del Noreste al Noroeste, ubicándose en el Norte al mediodía, lo que significa que en gran parte de la primavera y verano, cuando el Sol está más alto, realiza su trayecto por el Norte. En otoño e invierno, con rayos más bajos, realiza su trayecto por el Sur.

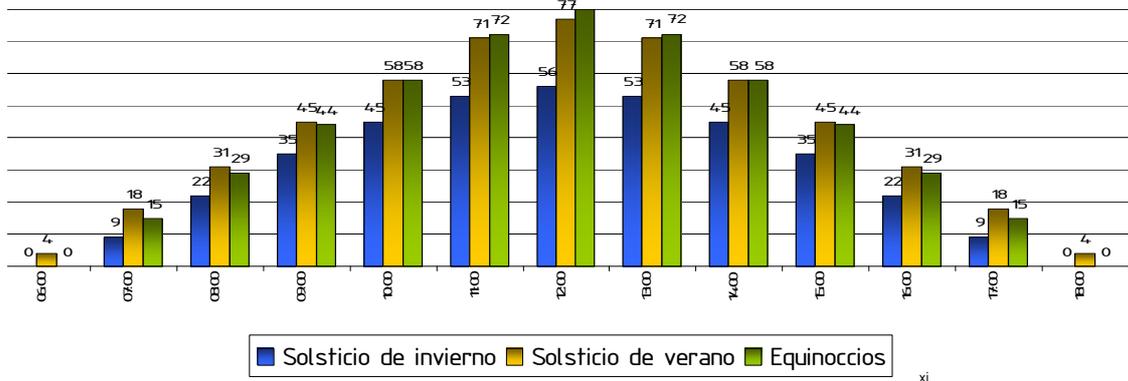
Las sombras más similares son las del solsticio de verano con las de los equinoccios, (7:00-17:00), la variación más importante es en el azimut. En el solsticio de invierno la sombra se proyecta en el Noroeste, Norte y Noreste (direcciones opuestas a su recorrido solar). En el solsticio de verano la sombra se proyecta en las direcciones Sureste, Sur y Suroeste. En los equinoccios realiza su recorrido sobre el eje Este-Oeste. Existe un salto abrupto de valores a las 9:00 y 15:00, el Sol se encuentra por encima de los 35°. Se puede encontrar refugio debajo del árbol en cualquiera de estas fechas casi durante todo el día, pues los rayos tienen una gran altitud, a excepción de las dos primeras y últimas horas, cuando el Sol tiene menor altitud.



FIG\_10.- Diagrama de sombras acumuladas y flujo solar en las fechas más importantes. Se ha asignado un código de color a las sombras para facilitar una comparación. A la derecha aparecen los mapas de flujo solar en escala de grises y en curvas de nivel.

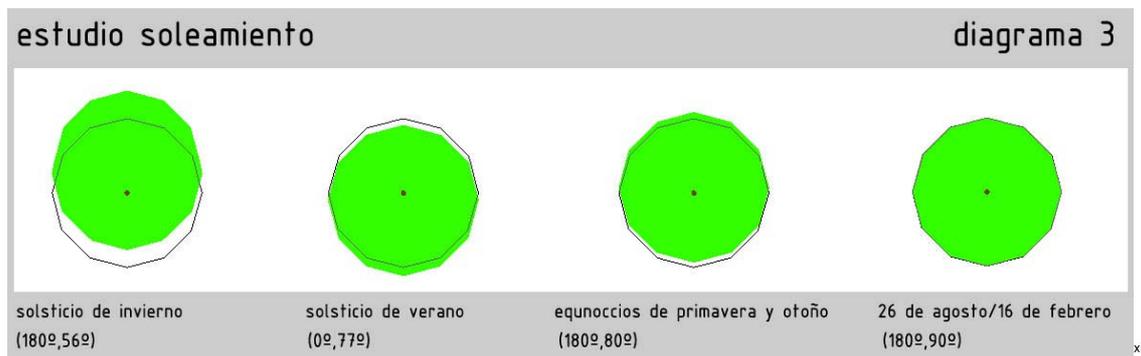
Los mapas de flujo solar son muy útiles, pues nos muestran la misma información, de manera más rápida, que el diagrama de sombras acumuladas, permitiéndonos la posibilidad de evitar la realización del mismo. La diferencia es que nos muestra el flujo solar de manera acumulada, permitiéndonos observar todas las áreas donde incide la radiación. Las sombras son bastante similares, las únicas que no muestra son las de las primeras y últimas horas del día.

En el siguiente gráfico podemos comparar los valores de altitud del Sol. Los del solsticio de verano y de los equinoccios son bastante similares, diferenciándose por sólo unos grados y siendo, incluso, iguales a las 10:00 y 14:00.



FIG\_11.- Gráfica de altitud solar durante las fechas más importantes. Se ha asignado un código de color.

En el solsticio de invierno el Sol alcanza a penetrar por la parte Sur. En el de verano la sombra cubre casi completamente el árbol, el Sol alcanza la parte Norte. En los equinoccios se cubre casi completamente la parte debajo del árbol, el Sol alcanza una pequeñísima parte por el Sur. El Sol alcanza el cenit, al mediodía, los días 24,25,26 de agosto y 16, 17, 18 de abril, la sombra del árbol cubre la totalidad debajo de él.



FIG\_12.- Sombras de mediodía en las fechas más importantes y del 26 de agosto/ 16 de febrero.

### ESTUDIO DE SOLEAMIENTO ANUAL

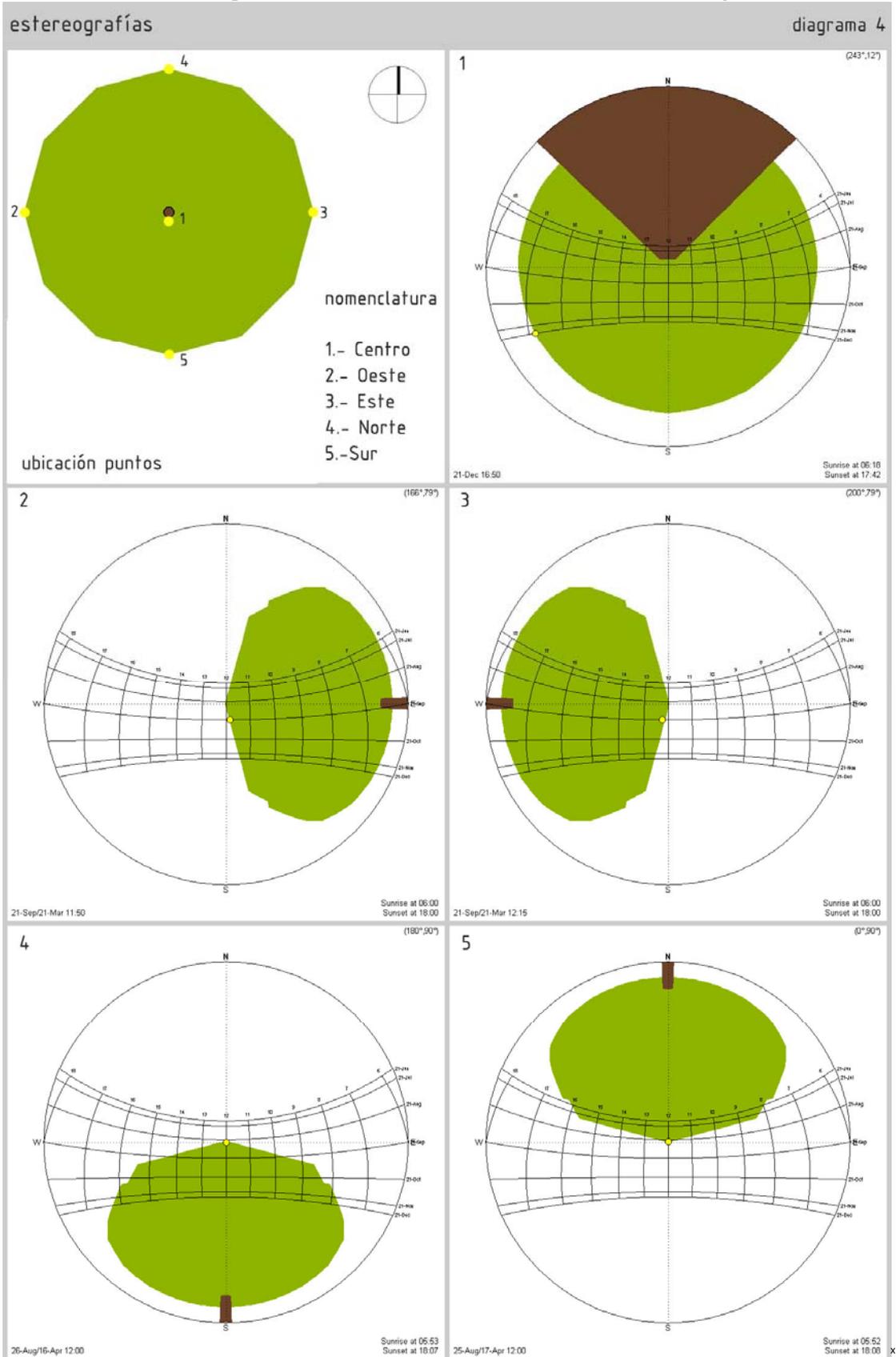
**1.-Centro:** Se tiene sombra durante casi todo el año, el Sol penetra en la primera y última hora del día. Tenemos sombra en los equinoccios entre las 6:50 y las 17:10, en el solsticio de verano entre las 6:35 y las 17:25 y en el de invierno entre las 7:10 y las 16:50.

**2.-Oeste:** Casi toda la mañana tenemos sombra. En el Solsticio de invierno entre las 6:45 y las 11:30, en el de verano entre las 6:10 y las 11:50, en los Equinoccios desde el amanecer hasta las 11:50. Recibe los rayos después del mediodía durante todo el año.

**3.-Este:** Tenemos sombra toda la tarde, en el Solsticio de verano entre las 12:15 y las 17:50, en el de invierno entre las 12:40 y las 17:15, en los Equinoccios a partir de las 12:15 hasta el resto del día. Recibe los rayos de la mañana todo el año.

**4.-Norte:** En el solsticio de verano tenemos Sol todo el día y en el de invierno tenemos sombra entre las 7:45 y las 16:15, en los Equinoccios entre las 9:45 y las 14:25. A partir del 17 de abril hasta al 25 de agosto el Sol comienza su recorrido por el Norte y alcanza este punto.

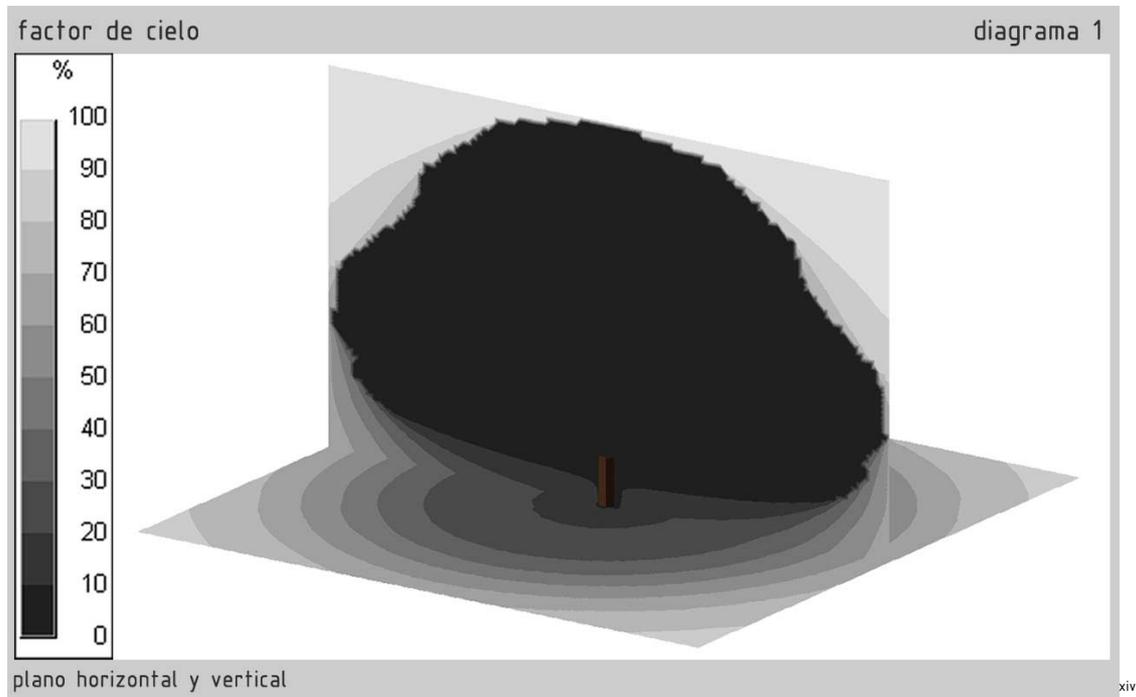
5.-Sur: Punto más expuesto al Sol, solamente queda a la sombra a partir del 16 de abril hasta el 25 de agosto, en el solsticio de verano entre las 8:00 y 16:00hrs.



FIG\_13.- Diagrama de estereografías en cinco puntos debajo del árbol. El mismo razonamiento se puede aplicar a orientaciones de edificios en esta latitud.

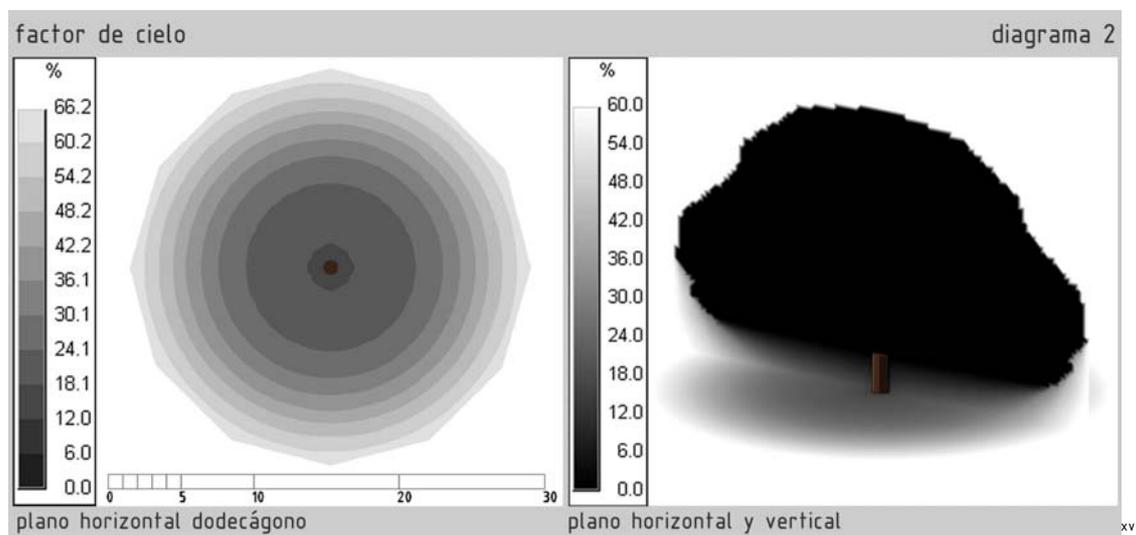
## FACTORES DE CIELO

A fin de visualizar la protección que brinda la copa del árbol se ha realizado el estudio de factor de cielo. En el siguiente diagrama vemos el plano horizontal cuadrangular y el vertical del eje Este-Oeste. Observamos que la frondosidad de la copa del árbol produce que debajo de ésta tengamos hasta un 60%. En el plano vertical y en las zonas cercanas al centro y a la parte inferior de la copa se tiene el valor más bajo (0-10%).



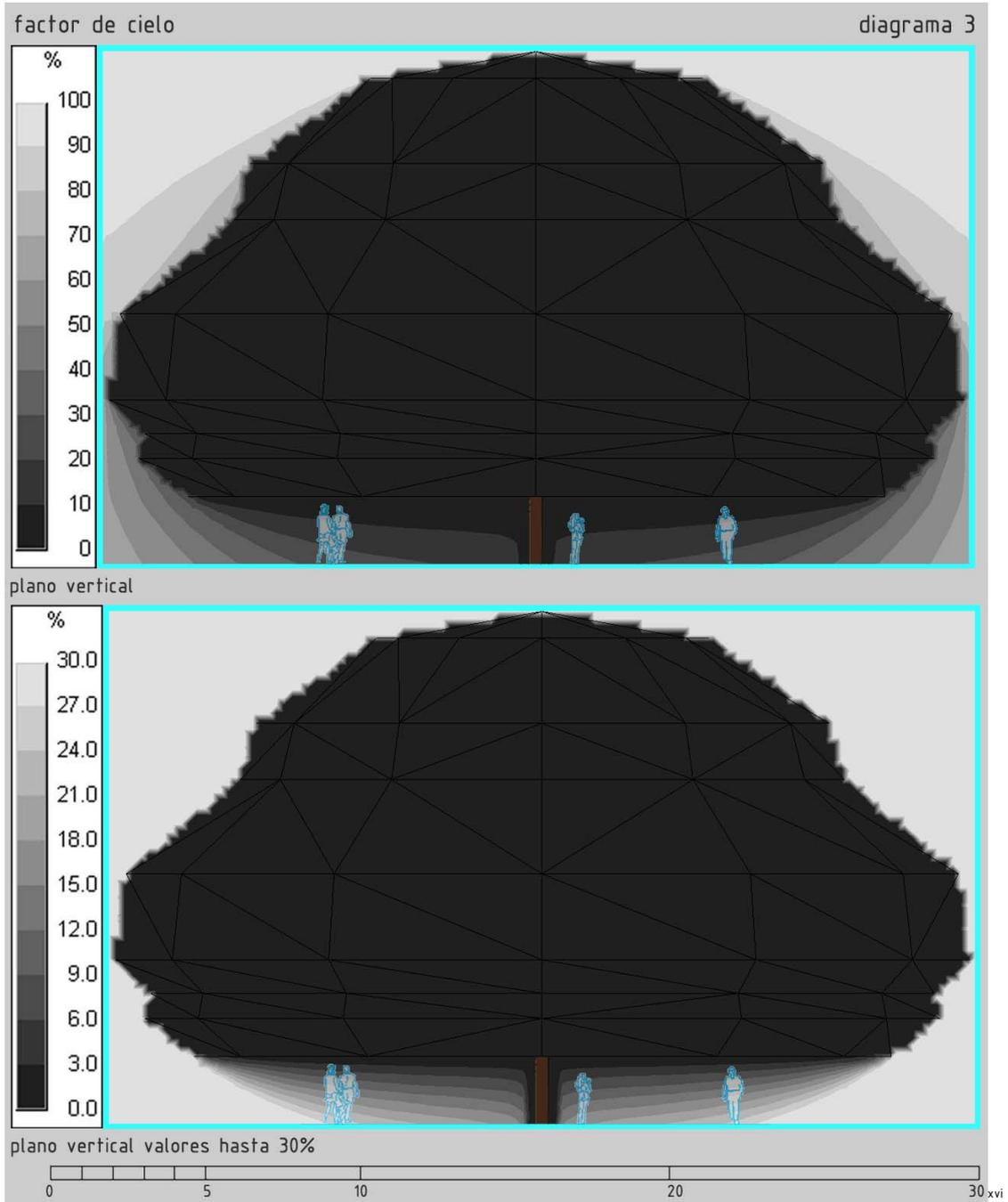
FIG\_14.- Factor de cielo total con curvas de nivel del plano horizontal y vertical.

En el plano horizontal dodecágono la gradación de valores se realiza de manera radial y parte desde el tronco, en el radio más cercano a éste (1.5m) tenemos valores entre 12 y 18.1 %, después y hasta un radio de 6 metros tenemos valores entre 18.1 y 24.1%. En los límites tenemos hasta 66.2%. En la imagen lateral observamos el plano horizontal y el vertical, pero se ha reducido el valor máximo al 60%.



FIG\_15.- Factor de cielo con curvas de nivel del plano dodecágono y del plano horizontal y vertical hasta 60%.

En el plano vertical la distribución se realiza de forma simétrica, parte desde el tronco hacia los extremos. Los valores más bajos se ubican en la zona próxima a la copa del árbol y los más altos en los extremos, en la parte cercana al suelo. En la primera imagen observamos el valor total, el factor de cielo a la altura de la vista es 0-10%. En la imagen inferior se ha reducido el valor hasta 30%, observamos que a la altura de la vista se tiene de 3 a 6%, podemos leer cómodamente debajo del árbol.



FIG\_16.- Factor de cielo total con curvas de nivel del plano vertical y hasta 30%.

Aplicando este razonamiento a la radiación difusa, la cual también calienta, deducimos que debajo del árbol tenemos un espacio más confortable. Pues en esta latitud el cielo se encuentra cargado de humedad y de partículas que absorben la radiación, la parte debajo del árbol no es alcanzada por ésta, lo que produce una zona más fresca.

## FLUJO SOLAR

Nos permiten deducir qué zonas debajo del árbol reciben menor incidencia de radiación, lo que se traduce en menor ganancia energética. Se ha tomado un rango mensual a partir de las fechas más importantes (solsticios y equinoccios) y uno anual que nos indica el total de radiación incidente. El primer diagrama contiene los planos verticales, lo que nos permite visualizar la caída vertical y dirección de los rayos del Sol.

**Radiación invierno:** Se tiene un máximo de 258 Kw.h/m<sup>2</sup> y es el valor más bajo de incidencia de radiación. Debajo del árbol y en las zonas cercadas a la copa y al tronco, la incidencia de radiación es de tan sólo 0-26 Kw.h/m<sup>2</sup>, 10% del total, la copa es capaz de reducir un 90% la radiación total. Existe una gran área con este valor debajo del árbol y es posible estar protegido por él.

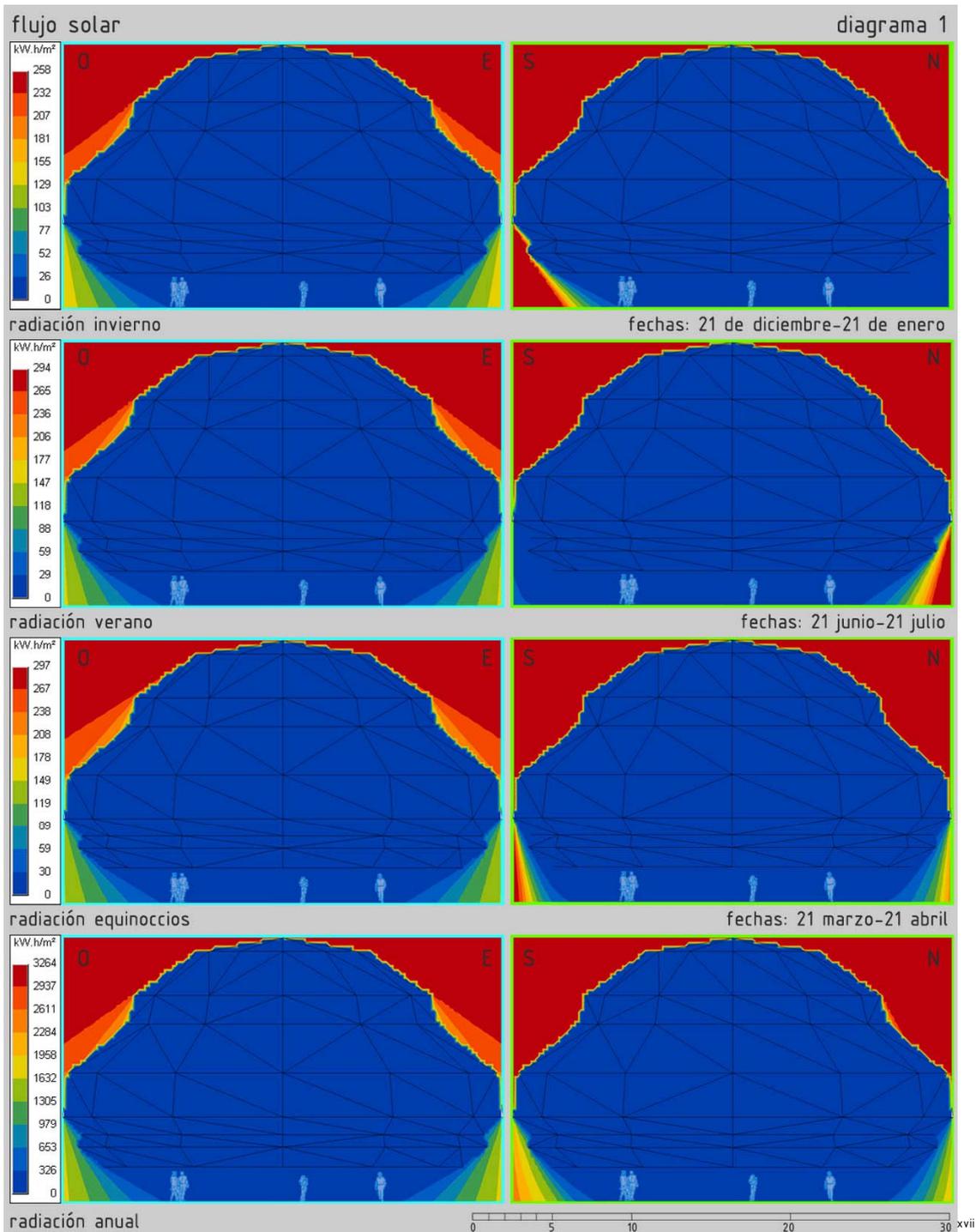
En el plano del eje Este-Oeste existe una mayor penetración en cuanto a superficie alcanzada, pues los rayos son más bajos. En el plano del eje Norte-Sur existe la menor penetración en cuanto a superficie pero la mayor en valor, el Sol penetra por el Sur y la zona más protegida es la Norte, donde se proyecta la sombra.

**Radiación verano:** Se tiene un máximo de 294 Kw.h/m<sup>2</sup>, tan sólo 3 Kw.h/m<sup>2</sup> por debajo de la máxima obtenida durante los equinoccios y 36 Kw.h/m<sup>2</sup> más que en el solsticio de invierno. Debajo de la copa el valor más bajo se ubica entre los 0 y los 29 Kw.h/m<sup>2</sup> (10% del total).

Durante este periodo el Sol se encuentra en el Norte al mediodía, penetrando por esta dirección y proyectando su sombra en el Sur. En el eje Este-Oeste se tiene la mayor penetración de superficie, pero es menor que la de invierno, debido a que los rayos son más verticales en este periodo.

**Radiación equinoccios:** Se tiene el valor más alto de radiación ,297 Kw.h/m<sup>2</sup>, debajo de la copa el valor menor es de 30 Kw.h/m<sup>2</sup>. Durante estas fechas el Sol cae más verticalmente y pasa por el cenit los días 16, 17, 18 de abril.

Durante estas fechas se tiene un patrón mas simétrico en el eje Norte-Sur, pues el recorrido se hace por el eje Este-Oeste, la sombra se proyecta más verticalmente y penetra mayor radiación por el Sur pero más superficie por el Norte.



FIG\_17.- Flujo solar total con curvas de nivel de los planos verticales. El del eje Este-Oeste con marco cian y el del eje Norte-Sur con marco verde.

**Radiación total:** La incidencia máxima es de 3264 Kw.h/m<sup>2</sup> y debajo de la copa entre los 0 y los 326 Kw.h/m<sup>2</sup> (10%). Alcanza a penetrar un área mayor en el plano del eje Este-Oeste pues coincide con la dirección predominante del amanecer y atardecer (rayos más bajos), los cuales son muy similares durante todo el año; por tal razón son orientaciones desfavorables. En el plano del eje Norte-Sur penetra menos radiación, pues coincide con las orientaciones de la altura máxima del Sol, siendo ligeramente mayor el valor de radiación del Sur. La peor orientación es la cenital, tan sólo véase que la copa del árbol se encuentra siempre con el valor máximo de radiación.

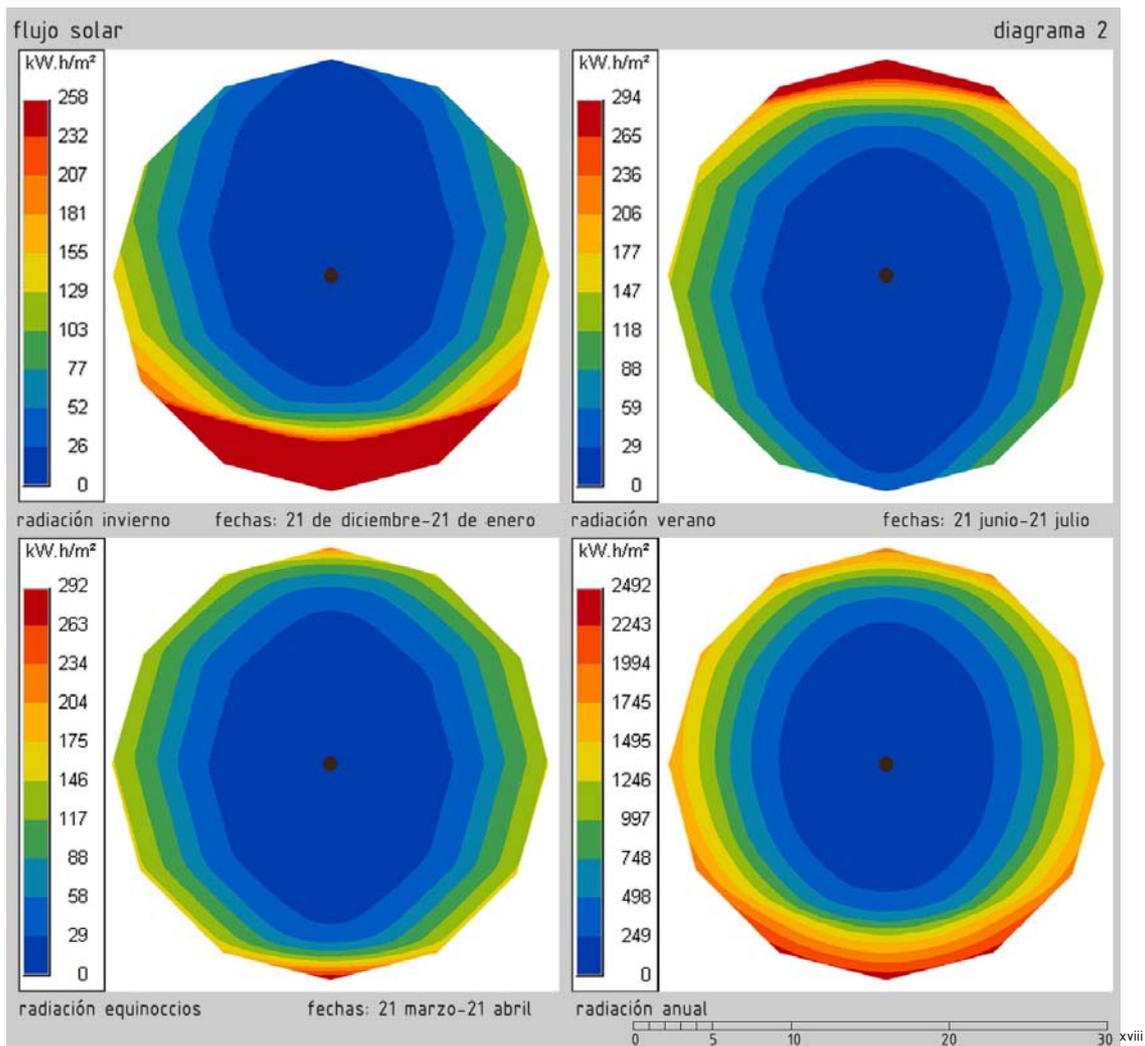
En el plano horizontal dodecágono nos es posible visualizar los valores totales de radiación y comprobar de qué dirección provienen los rayos solares. Además, por la forma del plano, podemos relacionar esa penetración con las diferentes orientaciones.

**Radiación invierno:** En este periodo se tiene la mayor penetración en cuanto a área, gran parte de la zona Sur tiene el valor máximo. Debido a que coincide con la posición del Sol durante su recorrido solar, además de que en este periodo se tienen los ángulos más bajos de todo el año y coincide con la posición del Sol del mediodía. La zona menos alcanzada se localiza en el centro y se distribuye hacia el Norte, pues es donde se proyecta la sombra de la copa del árbol. Las zonas Este y Oeste son alcanzadas en menor valor pero en mayor superficie, pues coinciden con las direcciones de la salida y puesta del Sol. Se tienen valores entre los 26 y los 155 Kw.h/m<sup>2</sup>.

**Radiación verano:** A simple vista el patrón de soleamiento parece simétrico respecto al del solsticio de invierno, la zona alcanzada por el valor máximo se localiza en el Norte, que coincide con la trayectoria solar y con la posición del Sol del mediodía. El área alcanzada es menor que la anterior pues los rayos son más verticales en este periodo. La gradación de valores se da hacia la parte Sur, penetrando por los extremos Noreste y Noroeste, dirección de los rayos del amanecer y atardecer. La penetración en estas direcciones de menor valor, entre los 29 y los 236 Kw.h/m<sup>2</sup>.

**Radiación equinoccios:** La gradación de valores se da de forma más radial y parte del centro del tronco a los extremos. Existe la menor incidencia de radiación, el valor máximo penetra menos de 1 metro por el extremo Sur y se reduce rápidamente al valor dominante de los extremos, 117-146 Kw.h/m<sup>2</sup>. En la zona Norte la penetración es menor que la del Sur, en cuanto a superficie y valores, pues comienza en 263 Kw.h/m<sup>2</sup> y se reduce a 146 Kw.h/m<sup>2</sup> en menos de 1 metro. La menor incidencia de radiación es provocada por la verticalidad de los rayos y porque el recorrido del Sol predominante es en sentido Este-Oeste, de ahí que la penetración en estos extremos sea simétrica.

**Radiación anual:** Al ver este diagrama nos es posible deducir la dirección dominante de los rayos del Sol durante todo el año y apreciar las zonas que tendrán radiación anualmente. La forma general es similar a la de los equinoccios, simétrica y radial, pero existe una penetración en la Zona Sur, Sureste y Suroeste, orientación del recorrido solar durante gran parte del año. En el extremo Sur, apenas se alcanza el valor máximo de radiación, 2492 Kw.h/m<sup>2</sup>, reduciéndose en menos de 5 metros al valor de 748 Kw.h/m<sup>2</sup>. En los límites del Este y Oeste, hasta 1 metro, la radiación que alcanza es entre los 1495 y los 1745 Kw.h/m<sup>2</sup>. En el Norte, 2234 Kw.h/m<sup>2</sup> pero, en 50 cm. se reduce al valor anterior. La zona Este y Oeste constituyen las mayores superficies alcanzadas por la radiación, esta penetración es simétrica (7 metros a cada lado) pues coincide con las direcciones predominantes de los rayos más bajos. La zona con menor radiación, entre 0 y 249 Kw.h/m<sup>2</sup> (nuevamente el 10% del total) se localiza en el centro y se distribuye 6 metros a cada lado en sentido Este-Oeste, 8 metros hacia el Sur y 9 metros hacia el Norte. Debajo del árbol existen zonas con muy bajo nivel de radiación durante todo el año y es posible encontrar refugio debajo de él.



FIG\_18.- Flujo solar en el plano dodecágono, con curvas de nivel.

## COMPARACIÓN DE SOLEAMIENTO A ORIENTACIONES EN EDIFICIOS

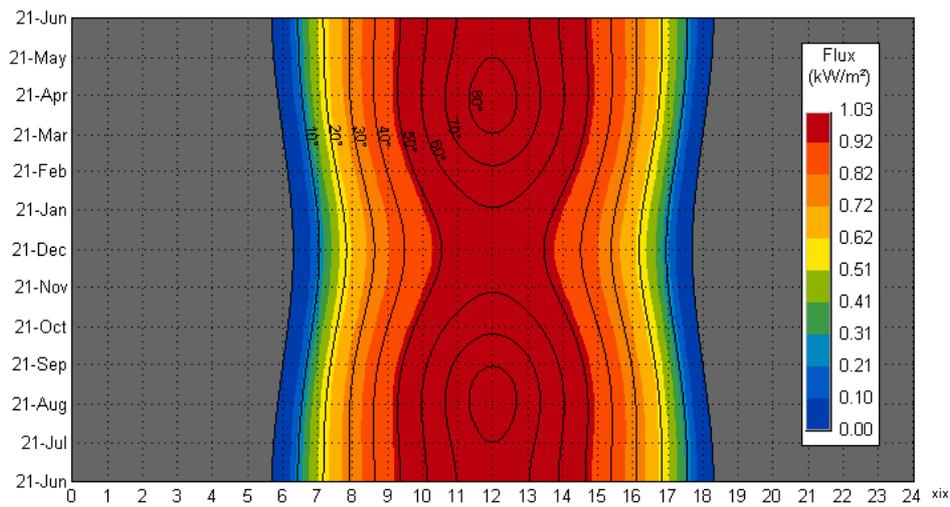
**Orientación Norte:** Es una buena orientación, pues la sombra se proyecta en ella la mayor parte del año y coincide con los rayos más verticales del Sol (recorrido solar de primavera y verano), por lo tanto la penetración al interior es menor, en cuanto área y valor. En caso de ubicar aberturas deben de preverse sistemas de sombreamiento.

**Orientación Sur:** Es una mala orientación pues permite la incidencia de radiación mayor en cuanto a valores y superficie, además de que recibe los rayos mas bajos de otoño e invierno. Debido a que en esta latitud no se requiere ganancia energética pues las temperaturas de invierno son favorables, deducimos que esta es la peor orientación, después de la cenital obviamente.

**Orientación Este y Oeste:** Son simétricas y son malas orientaciones por permitir la mayor entrada del Sol durante todo el año. Debido a la baja altura de los rayos alcanzan a penetrar en un área mayor y durante la mitad del día. La del Oeste es peor pues los rayos del atardecer son más molestos que los del amanecer.

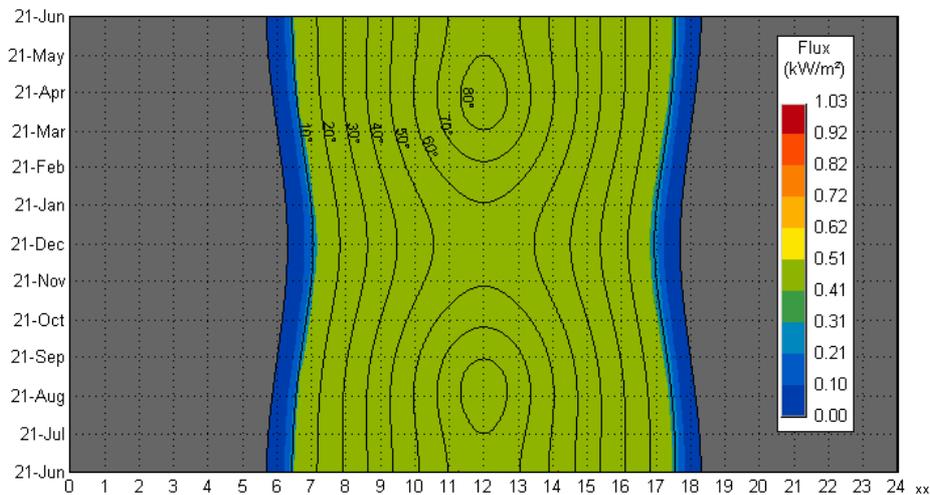
## PROYECCIÓN ISÓCRONA

La proyección fue tomada desde el centro del árbol a un lado Sur del tronco (punto 1 del diagrama de estereografías). En la primera proyección se muestra el total del flujo luminoso que se tiene a lo largo del año. El máximo es de 0.92 a 1.03  $\text{Kw.h/m}^2$  y es provocado por los rayos que tienen una altitud entre  $50^\circ$  y  $90^\circ$ . Estos rayos corresponden a los de las 9:00 y 15:00 horas durante gran parte del año. Solamente se reducen, en periodo de tiempo y altitud, entre el 21 de noviembre y el 21 de enero, entre las 10:30 y las 13:30. Los rayos con una altitud superior a los  $80^\circ$  se comprenden entre el 21 de julio y el 21 de septiembre, y entre el 21 de marzo y el 21 de mayo, a partir de las 11:30 hasta las 12:30.



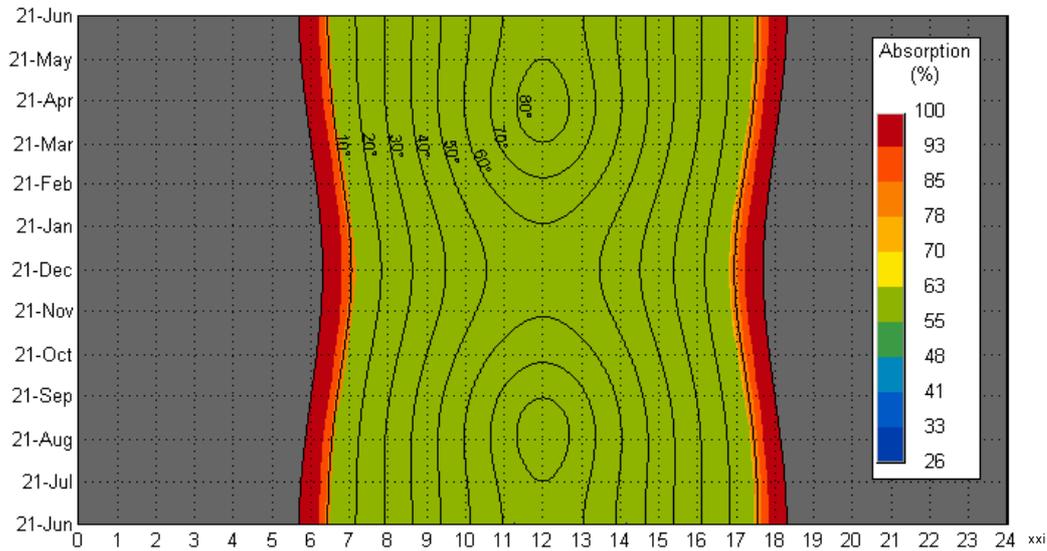
FIG\_19.- Proyección isócrona desde el centro sin la copa del árbol y con valores de flujo luminoso.

La copa deja solamente la incidencia de radiación de la primera y última hora de los meses del año. La cantidad de flujo luminoso que llega a este punto es entre los 0 y los  $0.26 \text{ k.W/m}^2$ . Las superficies iluminadas por el Sol se calientan, por lo tanto la zona por debajo de la copa se mantiene con temperaturas menores al exterior, pues el flujo luminoso es muy poco, además que corresponde a la radiación de las primeras y últimas horas del día. Durante todo el año los aldeanos podrán reunirse a su sombra, con la seguridad de tener suficiente protección de la radiación.



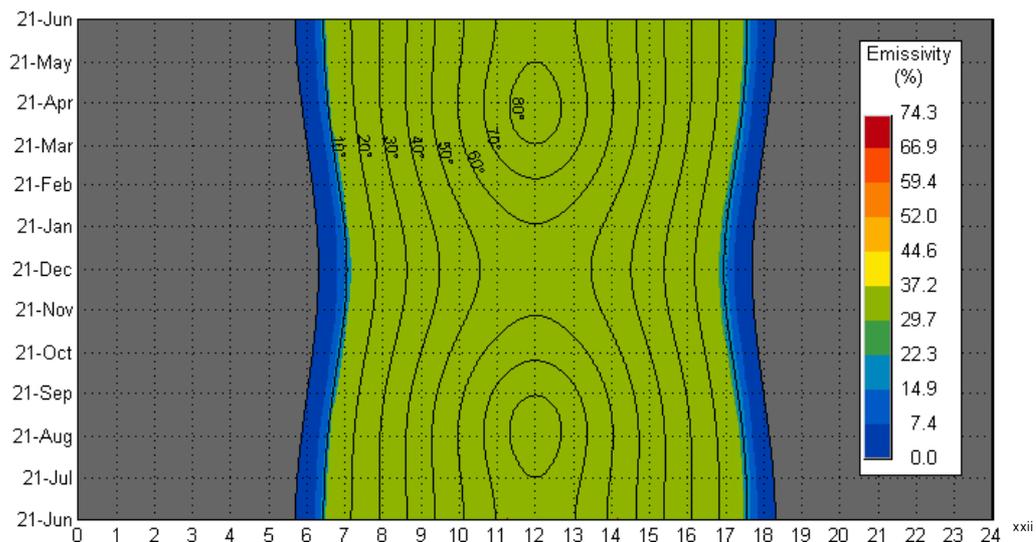
FIG\_20.- Proyección isócrona desde el centro con la copa del árbol y con valores de flujo luminoso.

El siguiente diagrama muestra los valores de absorción de la atmósfera. Los rayos que penetran son los de altitud más baja y oblicuos al horizonte, por lo tanto deben de atravesar mayor cantidad de atmósfera, lo que provoca que la absorción del flujo incidente sea del 78 al 100%. La zona que tiene menos absorción se localiza en la zona con mayor flujo lumínico, anteriormente descrito.



FIG\_21.- Proyección isócrona desde el centro con la copa del árbol con valores de absorción.

Lo anterior produce que la emisividad, es decir la energía que es capaz de incidir, sea entre 0 y 22.3%, predominando el valor mínimo, de 0 a 7.4%. La distribución de porcentajes coincide con la distribución del flujo luminoso, es decir que el porcentaje mayor de emisión se localiza en la misma zona con mayor flujo luminoso (9:00 y 15:00 horas durante gran parte del año).



FIG\_22.- Proyección isócrona desde el centro con la copa del árbol con valores de emisividad.

## CONCLUSIONES

Existe poca variabilidad de radiación y temperaturas a lo largo del año. La única variabilidad estacional la constituye el azimut y las temporadas de lluvias. Los aldeanos deben de protegerse de la radiación y de las lluvias que caen de manera muy vertical durante gran parte del año. La copa del árbol constituye una excepcional protección contra la radiación, evita la incidencia del 90% del total de ésta, además de que proporciona un espacio con movimiento de aire. Los aldeanos encontrarán refugio debajo de él durante todo el año, pues la trayectoria solar es muy similar, solamente la primera y última hora del día penetrarán los rayos a la parte central.

La superficie que recibe mayor incidencia es la cubierta. Cualquier orientación en sentido vertical es peligrosa pues existe una gran cantidad de albedo, radiación difusa, debido a su ubicación latitudinal en el cinturón ecuatorial y a la gran carga de humedad atmosférica.

Se requiere de una arquitectura con paredes permeables que permitan el libre paso del viento. La inercia térmica en los materiales no es muy apropiada, pues no existe una variabilidad de temperaturas y existe una gran carga de radiación, que las paredes absorberán. Deben de evitarse las orientaciones Este, Oeste, Sur y, sobre todo, cenital. Deben de procurarse pocas aberturas y deben estar sombreadas, sobre todo el exterior, para evitar radiación reflejada del terreno adyacente. Techos altos que satisfagan la caída de las aguas, los techos planos no son recomendados pues los rayos son muy verticales durante todo el año.

Estas necesidades han sido resueltas en la arquitectura tradicional rural, la cual ha repetido el patrón de protección del árbol y es más bien una reproducción de éste: "Las casas tradicionales son redondas con paredes cilíndricas hechas de zarzo (Tejido de varas, cañas, mimbres o juncos, que forma una superficie plana) y embadurnadas con barro. Los techos son cónicos y hechos de paja, el poste del centro tiene un significado sagrado en la mayoría de los grupos étnicos, incluyendo el Oromo, Gurage, Amhara, y Tigreans. Existen variaciones sobre este diseño. En la ciudad de Lalibella las paredes de muchas casas son hechas de piedra y son de dos pisos, mientras en las partes de Tigre, las casas son tradicionalmente rectangulares."<sup>11</sup>



FIG\_23.-Vivienda tradicional rural de Etiopía, con forma cilíndrica con paredes hechas en zarzo y techo cónico.

<sup>11</sup> Información traducida de la página web <http://www.everyculture.com/Cr-Ga/Ethiopia.html>

## REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES

---

<sup>i</sup> [http://www.spc.edu/Images/Public%20Relations/Malawi\\_Community.jpg](http://www.spc.edu/Images/Public%20Relations/Malawi_Community.jpg)

<sup>ii</sup> [http://www.spc.edu/Images/Public%20Relations/Malawi\\_Courses.jpg](http://www.spc.edu/Images/Public%20Relations/Malawi_Courses.jpg)

<sup>iii</sup> [http://www.add.org.uk/admin/images/upload\\_originals/Z---meeting-under-a-mango-t.jpg](http://www.add.org.uk/admin/images/upload_originals/Z---meeting-under-a-mango-t.jpg)

<sup>iv</sup> Elaboración gráfica de la autora

<sup>v</sup> *Ibíd.*

<sup>vi</sup> *Ibíd.*

<sup>vii</sup> *Ibíd.*

<sup>viii</sup> *Ibíd.*

<sup>ix</sup> *Ibíd.*

<sup>x</sup> *Ibíd.*

<sup>xi</sup> *Ibíd.*

<sup>xii</sup> *Ibíd.*

<sup>xiii</sup> *Ibíd.*

<sup>xiv</sup> *Ibíd.*

<sup>xv</sup> *Ibíd.*

<sup>xvi</sup> *Ibíd.*

<sup>xvii</sup> *Ibíd.*

<sup>xviii</sup> *Ibíd.*

<sup>xix</sup> *Ibíd.*

<sup>xx</sup> *Ibíd.*

<sup>xxi</sup> *Ibíd.*

<sup>xxii</sup> *Ibíd.*

<sup>xxiii</sup> [http://farm1.static.flickr.com/15/21482285\\_12c1ca55a1.jpg?v=0](http://farm1.static.flickr.com/15/21482285_12c1ca55a1.jpg?v=0)



## 04\_EL PANTEÓN DE ROMA

## 04\_EL PANTEÓN DE ROMA

### *arquitectura de la luz, el color y el espacio, la arquitectura de los césares*

"...Las horas harían su recorrido por el techo pulido tan cuidadosamente por los artistas griegos; el disco de la luz del día se reclinaría suspendido allí como un protector de oro; la lluvia formaría su piscina clara, abajo, en el pavimento, los rezos se levantarían como humo hacia ese vacío donde colocamos a los dioses."

Marguerite Yourcenar

El Panteón – santuario de todos los dioses –, fue concebido como una expresión de significados y simbolismos. Roma fue el templo de todo el mundo antiguo y el Panteón el templo de todo lo que fue Roma. Sin duda alguna es una de las mayores creaciones arquitectónicas de la antigüedad y de todos los tiempos. Marca la madurez de la arquitectura de abovedamiento y es el edificio mejor preservado de su tiempo.

### HISTORIA

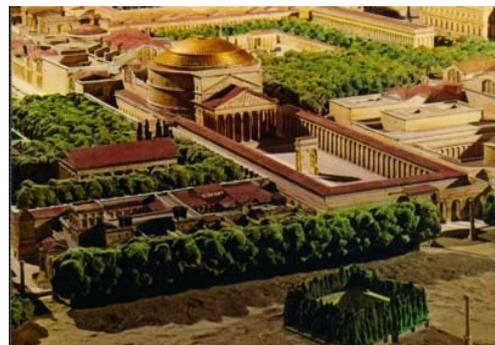
De acuerdo a Ward-Perkins en su libro "Arquitectura Romana"<sup>1</sup>, en el año 33 a.C., durante el gobierno de Augusto, el cónsul Marcus Vipsanio Agrippa inició las obras de un nuevo complejo monumental en el campo de Marte que incluía la Saepta Julia, el Panteón, la Basílica de Neptuno y unas termas. El Panteón se concluyó el 25 a.C. y era una adaptación libre del Erecteion de Atenas. En 80 d.C., se produjo un incendio en el cual se quemó el Panteón. El edificio que hoy día lleva su nombre es obra de Adriano y se construyó del 118 al 128 d.C. desde sus cimientos sobre el viejo Panteón. Adriano restauró y reconstruyó la ciudad dando créditos a sus predecesores, por lo cual mandó escribir en el frontón del pórtico de la fachada principal la siguiente inscripción:

M. AGRIPPA L.F.COS TERTIVM FECIT, que significa "Marco Agrippa, hijo de Lucio, tres veces cónsul, lo construyó."<sup>2</sup>

Cerca del año 609 d.C., el emperador de Constantinopla dio permiso al Papa Bonifacio IV de consagrar el edificio como iglesia, Santa María de los Mártires. Este acontecimiento fue crucial para la preservación del edificio, aunado al deseo existente entre los romanos de preservar sus reliquias de monumentos pasados.



FIG\_1.- Fotografía exterior del Panteón.



FIG\_2.-Maqueta que reconstruye la apariencia de Roma hacia el año 300 d.C. Especial atención merece el techo con las tejas de bronce que Constante II robó en 663 d.C.

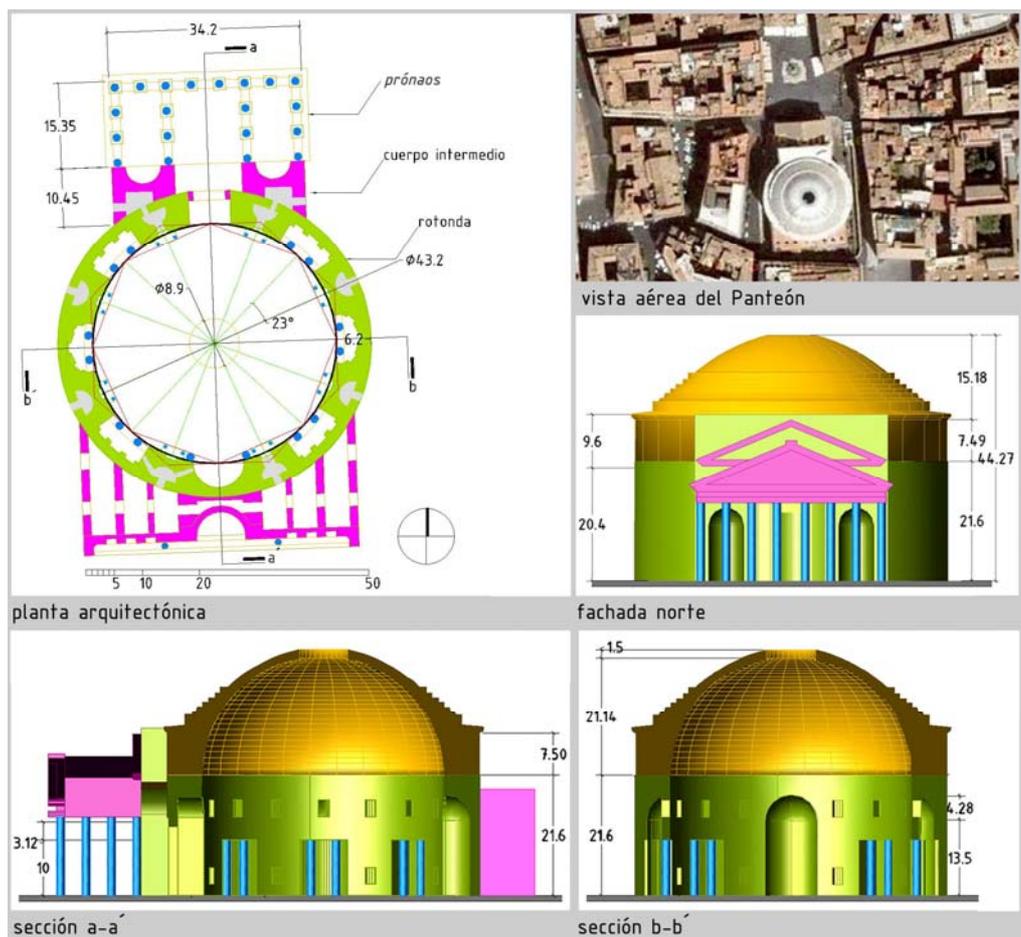
<sup>1</sup> WARD PERKINS. J. B., *Arquitectura romana*, Edit. Aguilar, Madrid, 1989, págs. 44,86-87.

<sup>2</sup> MACDONALD. W. L., *The Pantheon: design, meaning, and progeny*, Harvard University Press, Cambridge, 1976, pág.13

## DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El Panteón se compone de un *prónaos* octástilo, un cuerpo intermedio y una rotonda.<sup>3</sup> El *prónaos* tiene 34.20 m de ancho y 15.6 m de profundidad. Las columnas tienen 1.48 m de diámetro y una altura de 14.15 m. La cubierta es a dos aguas con un frontón. El cuerpo intermedio conecta la rotonda con el *prónaos*, del cual conserva el mismo ancho. Alberga dos nichos con pilastras a cada lado.

La rotonda consta de un tambor cilíndrico cubierto por una cúpula semiesférica. El diámetro del tambor es de 43.20 m. y la altura es igual a su radio 21.60 m, su espesor es de 6,2 m. Dentro del cilindro se inscribe un octógono cuyos ejes definen en el primer nivel ocho grandes aberturas: la entrada que está casi exactamente en el Norte, el ábside en el Sur y seis nichos radiales. Cada uno de éstos tienen dos columnas. Entre estos nichos existen ocho edículos. La segunda zona coincide verticalmente con los elementos existentes en la primera zona, existiendo pilastras y ventanas ciegas. El tambor tiene numerosas cavidades que aligeran el peso muerto de la mampostería. La cúpula de argamasa posee un radio de 21,60 m. Tiene un óculo con 8.90 m de diámetro. El espesor de la cúpula es de 6,2 m. en su aro más bajo y 1.5 m. en la clave. Internamente, está dividida en cinco filas de 28 encofrados, diseñados en base a principios de perspectiva.



FIG\_3.- Planos del Panteón, se ha asignado un código de color. Foto aérea tomada desde Google Earth.

<sup>3</sup> Las medidas se han deducido en base a la información existente en la página web *The Pantheon Project - The Pilot Project of the Karman Center*, <http://www.karmancenter.unibe.ch/pantheon/building/structure>



### Alusiones al misterio planetario

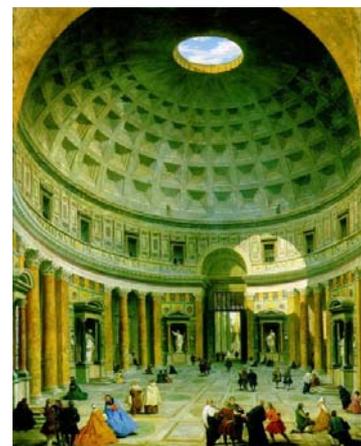
El templo fue concebido como un observatorio del cosmos. De ahí su orientación a Norte, que era inusual. El óculo permite comprender la variación de los astros a lo largo de los días y las noches. Dentro de un contexto religioso, era una especie de planetario. La forma del edificio, el disco de luz, los siete nichos mayores, incluida el ápside, hicieron posible la representación de los planetas conocidos en el mundo antiguo: Mercurio, Marte, Venus, Júpiter, la Luna, el Sol y Saturno. A excepción del Sol, no es posible asignar un lugar específico para estas deidades en el interior de la rotonda.

La cúpula representa la bóveda celeste, y los cinco niveles del artesonado de la cubierta representan las cinco esferas concéntricas del sistema planetario antiguo. En el domo, hay 28 encofrados radiales dispuestos en cinco filas y son en función de los números 7 y 14, con una coordinación a los 4 ejes cardinales. Existen sugerencias de que el número 7 se relaciona con los días de la semana y el 28 con la duración del mes lunar.

El domo es el símbolo de los cielos, la morada de los dioses, regido por Zeus-Júpiter, quien fue la principal deidad del Panteón y es representado a través del óculo. El dios supremo aliado con el gran Sol se encontraba él mismo dentro de la rotonda, con su resplandor visible pero intangible.



FIG\_5.- Fotografía de la cúpula desde el interior de la rotonda. En esta imagen se aprecia cómo el haz de luz dibuja un círculo, representando así al Sol.



FIG\_6.- Pintura del interior del Panteón por Giovanni Paolo Panini

### La luz, como motor de sus más evocativos efectos de intangibilidad

En su interior, se consiguen unos dramáticos efectos lumínicos gracias a la luz solar. Por el óculo entra una luz que baña a la multitud congregada en el templo. Se trata de una arquitectura de efectos puramente visuales, de luz y color, deliberadamente elusivos. Muestra de ello la variedad de mármoles utilizados en el interior con diferentes colores que lo enriquecen visualmente (Ver FIG\_6). Estos mármoles fueron traídos de distintos lugares del imperio, algunos tan distantes como Egipto.

Se trata de un edificio casi hermético con sólo dos aberturas, la del acceso principal, orientado casi exactamente al Norte (inclinación de 2° hacia el Oeste), y la del óculo, con orientación al cenit, que es desde luego la más importante. El interior del edificio es ajeno al exterior, la única relación que establece con éste es a través del óculo. La variación de iluminación depende casi exclusivamente de esta abertura, aislando así el edificio del exterior, ya que la presencia de otros edificios en torno suyo no influye de ningún modo en la iluminación interior, salvo en el muy improbable caso de que existiera un edificio tan alto como para proyectar su sombra en la cumbre del Panteón.

Existe una diferencia de iluminación. Mientras que en el exterior se tiene una luz difusa, que el *prónaos* va oscureciendo, en el interior de la rotonda la iluminación llega sin estorbos desde la parte superior. La iluminación del edificio es uniforme, pues la forma semiesférica de la cúpula permite el reflejo de la luz. Sin embargo, el haz de luz que penetra cobra una corporeidad<sup>5</sup> al destacar sobre la oscuridad del espacio interior, dejando una huella de luz circular que va desplazándose conforme pasa el día.

Efectos de luz y formas, términos de calidades visuales y poder emocional. Las columnas de los nichos no soportan carga alguna, su verdadera función es ensombrecer el nicho. Como la tierra continua girando, el disco brillante y su forma se alteran a lo largo de la forma semiesférica, deslizándose rápidamente por los encofrados y su velocidad se va incrementando a manera que se acerca a la última parte del domo, para repentinamente desaparecer.

El Panteón conecta al individuo con los cielos. La luz aparece en movimiento sobre la arquitectura estática, mostrándose tangible e intangiblemente. El cilindro de luz que se forma por el óculo y que entra a través del edificio es uno de los triunfos de la arquitectura, de la expresión de un sentimiento universal. El Panteón expresa las afecciones generales y define la condición humana. No era un templo en el sentido tradicional religioso, es más bien un templo que expresa el universo y el hombre dentro de él. Los caminos circulares de los planetas debajo del domo representan el cielo y la idea de la circunferencia representa al imperio romano. La rotonda significa la reclamación de un unificado, perfecto y sobretodo ordenado imperio, vigilado y juzgado por los dioses.



FIG\_7.-Fotografía del interior del Panteón

---

<sup>5</sup> Se denomina luz corpórea cuando se crea la ilusión óptica de que se trata de un cuerpo sólido.

## LOS MODELOS

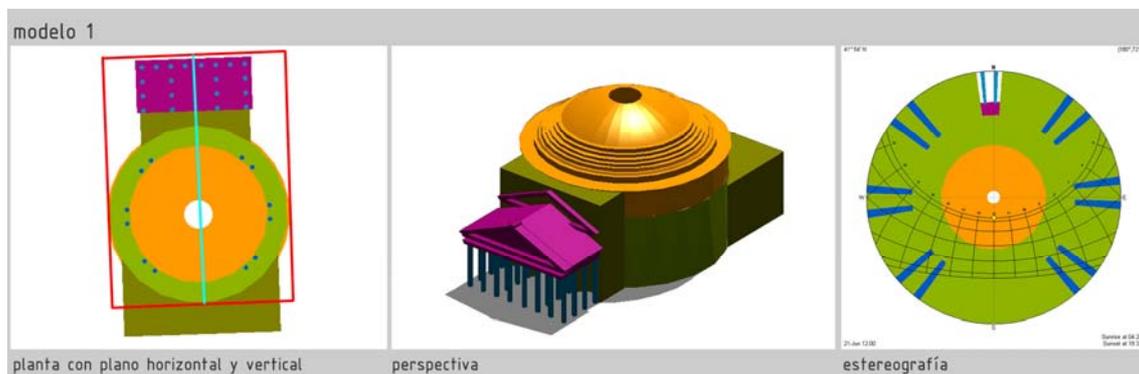
Este estudio aborda la relación de la geometría del Panteón con el Sol, por lo cual se han construido dos modelos a los que se ha asignado el código de color de los planos.

### MODELO 1

Se construyó en base a los planos y al mismo nivel de detalle. En él se realizó el estudio de soleamiento basado en las estereografías y complementado con la vista 3d, el estudio de factor de cielo y el de flujo solar durante las fechas más importantes.

Este modelo se compone de:

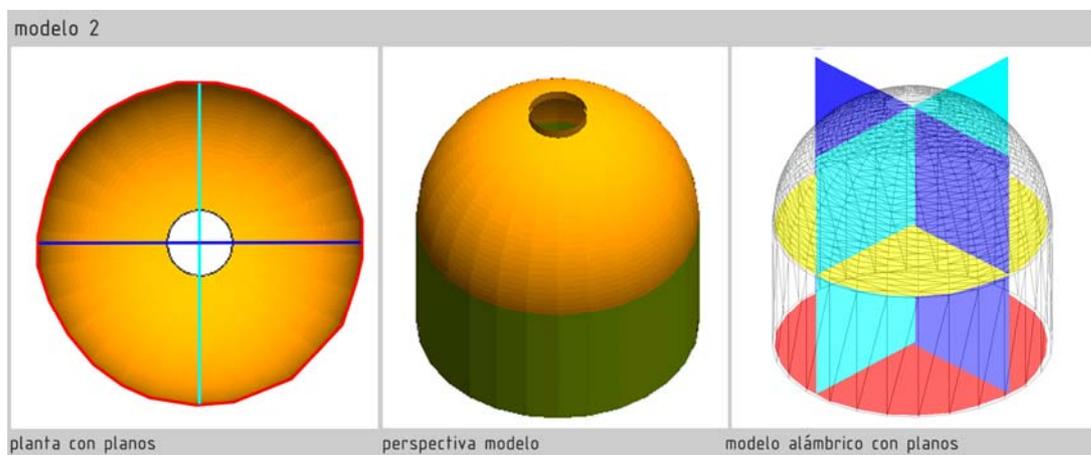
- El *prónaos*, con su cubierta en color violeta y las columnas en color azul.
- El cuerpo intermedio y el cuerpo trasero en color verde oscuro.
- El tambor cilíndrico en color verde y las columnas interiores en color azul.
- La cúpula en color amarillo con su óculo.
- Dos planos rectangulares: uno horizontal a nivel de suelo (en color rojo) y otro vertical sobre el eje Norte-Sur (en color cyan).



FIG\_8.- Modelo 1. Compilación de imágenes de Heliodón V2, la estereografía fue tomada desde el centro. <sup>viii</sup>

### MODELO 2

Se ha dejado la clave y la cara interior de la cúpula, así como la pared interior del tambor cilíndrico. En él se realizó el estudio de flujo solar anual, por lo cual han sido ubicados dos planos verticales, uno sobre el eje Norte-Sur (color cyan) y otro sobre el Este-Oeste (color azul), así como dos planos circulares horizontales, el primero ubicado a nivel de suelo (color rojo) y el segundo a 21.60m (color amarillo).



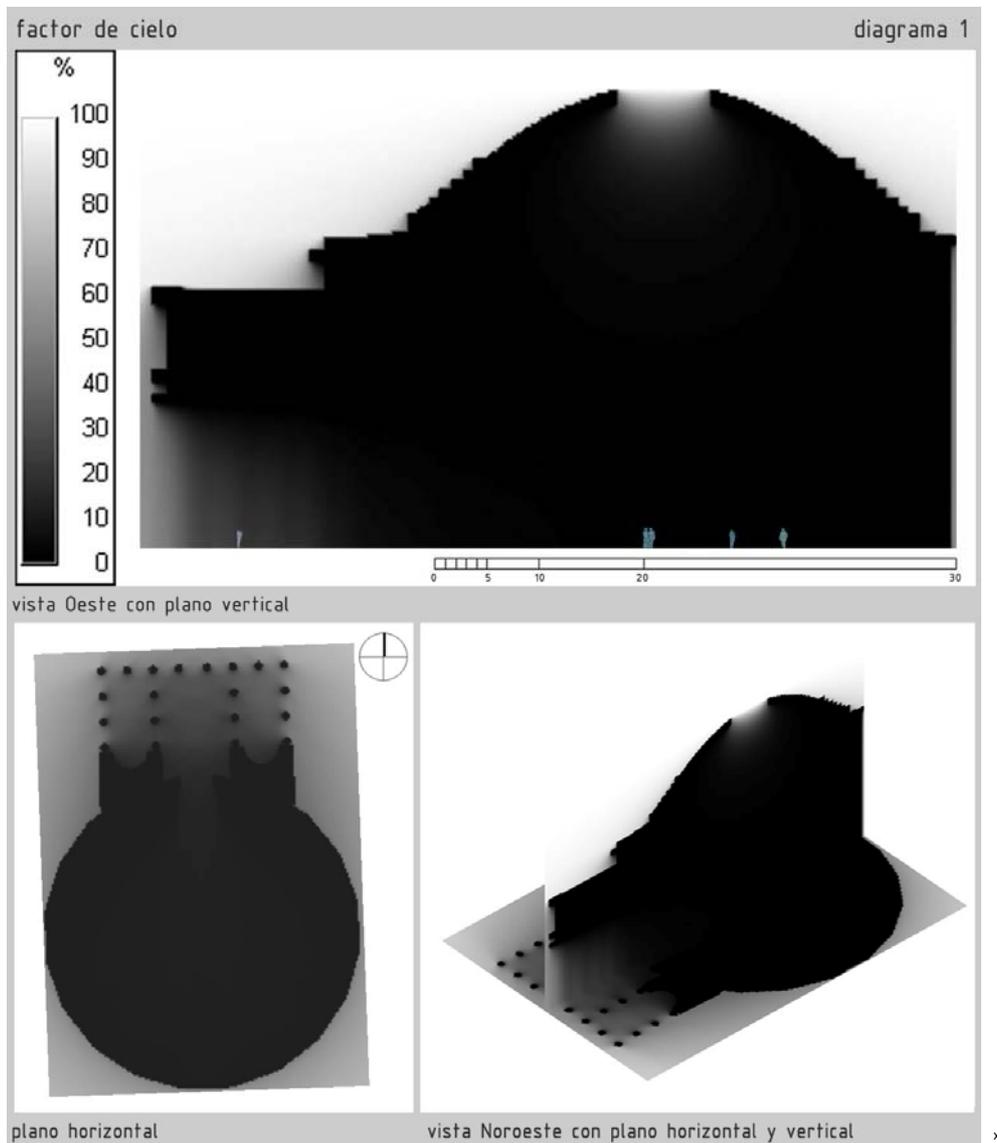
FIG\_9.- Modelo 2. Compilación de imágenes tomadas de Heliodón V2. <sup>ix</sup>

## FACTORES DE CIELO

En el Panteón, los romanos se propusieron moldear la luz del Sol para realizar un efecto lumínico en el interior que se pudiera admirar en cualquier época del año y capaz de sorprender a propios y extraños. Fue a través de los conocimientos que tenían sobre los trayectos solares e iluminación natural que realizaron la obra que hasta el día de hoy no deja de conmover a sus visitantes.

La arquitectura del Panteón fue dictada por el deseo de los romanos de conseguir este efecto. Por esta razón, ubicaron la entrada al Norte, pues en esta orientación se tiene una luz difusa y constante durante todo el año. Una manera de hacer tangible la luz es enfatizarla con un interior oscuro. Para conseguirlo, ubicaron el *prónaos* y el cuerpo intermedio antecediendo la entrada, pues reducen el nivel de iluminación del exterior.

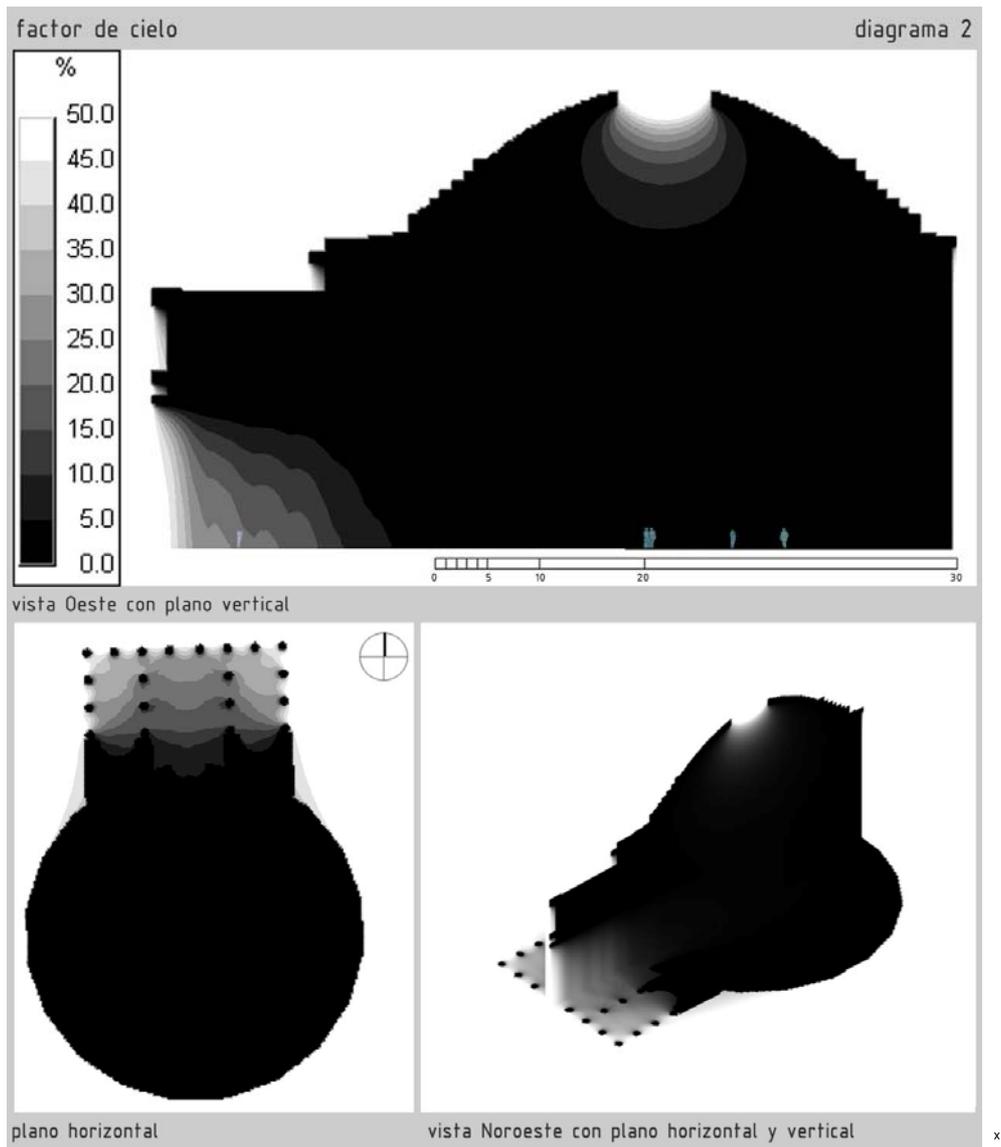
Podemos conocer el nivel de oscuridad del interior a través de los factores de cielo. El siguiente diagrama muestra el factor de cielo total, donde observamos que el interior de la rotonda resulta completamente oscurecido: prevalecen valores inferiores al 10%.



FIG\_10.- Factor de cielo total en gradación.

En el siguiente diagrama, se ha reducido el límite al 50%, para tener una mayor aproximación de los valores, los cuales aparecen en curvas de nivel.

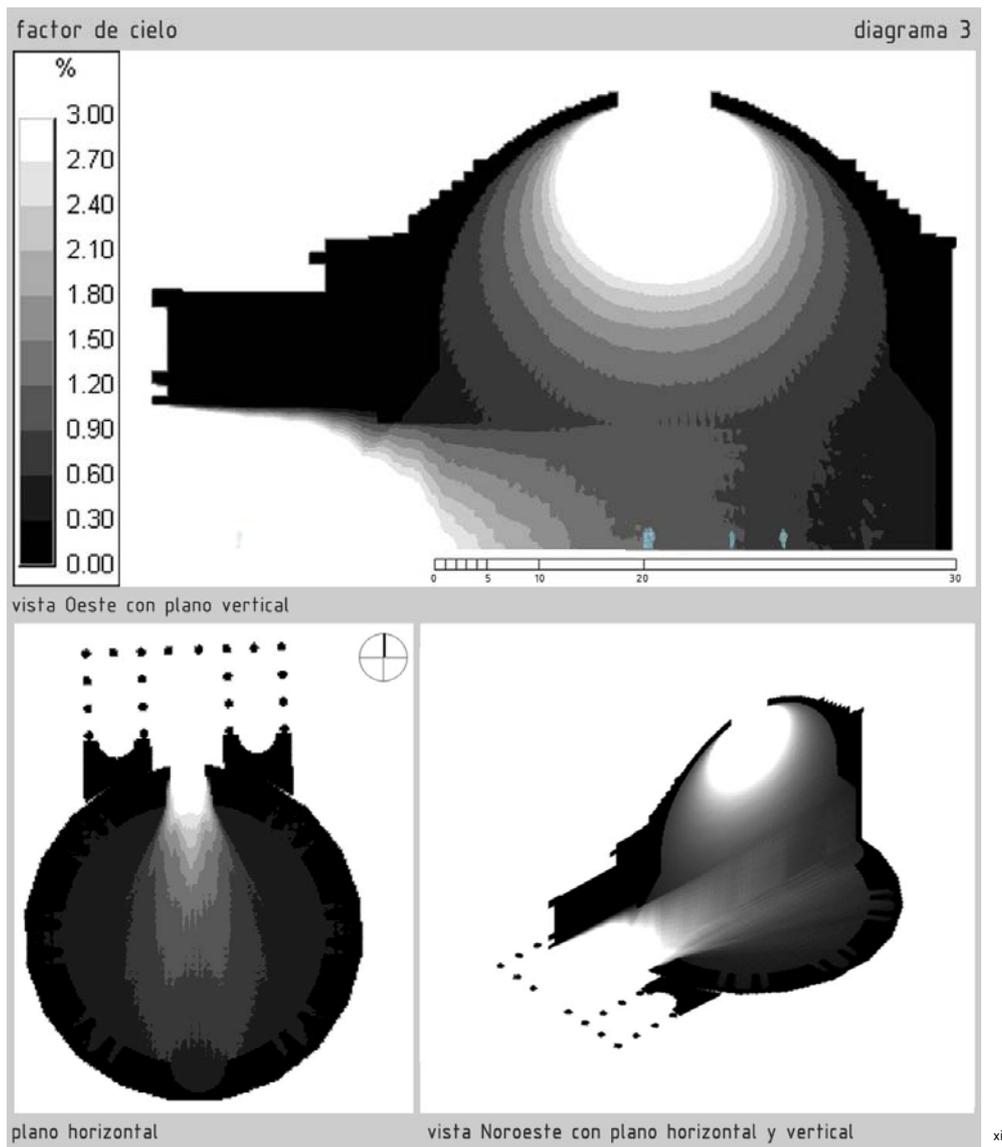
**Plano vertical:** En el óculo se tiene entre el 50 y el 0%, el máximo se encuentra en la parte superior y penetra 3m, donde comienza una gradación que en menos de 14m disminuye al valor predominante del interior, por debajo del 5%. En el *prónaos*, se tiene entre el 50 y el 0%, este último valor se sitúa en la parte más cercana al techo y al cuerpo intermedio, dirección de la gradación.



FIG\_11.- Factor de cielo hasta 50% en curvas de nivel.

**Planta:** En el *prónaos*, se tiene entre el 50 y el 15%, el máximo se ubica en la zona de las columnas exteriores, la gradación se da hacia la parte central y al cuerpo intermedio. Los valores del cuerpo intermedio se sitúan entre el 15 y el 0%, en el umbral de la puerta entre el 10 y el 5%. El valor del interior es inferior al 5%, lo que significa que el *prónaos* es capaz de reducir hasta 95% el valor del factor de cielo.

Se ha reducido el límite al 3%, pues al 5% el interior aún resultaba demasiado oscuro. **Plano vertical:** La gradación desde el óculo descende de manera radial, reproduciendo la forma semiesférica de la cúpula. La zona con mayor factor de cielo se ubica en la parte central y en la parte más cercana al óculo, con valores superiores al 3% hasta 18m por debajo de él. A partir de allí y en los siguientes 10m. se tiene entre 2.7 y 1.2%. A nivel del suelo, justo debajo del óculo, se tiene entre 1.2 y 0.90%, mismo valor que alcanza a penetrar desde el exterior, por lo cual existe un equilibrio entre los valores de ambas entradas. Los valores del *prónaos* y del cuerpo intermedio son superiores al 3%, la gradación comienza una vez atravesada la entrada y disminuye conforme nos alejamos de ésta.



FIG\_12.- Factor de cielo hasta 3% en curvas de nivel.

**Planta:** La parte con mayor factor de cielo se ubica en el umbral de la entrada. En la zona continua, se tienen entre 3 y 1.5%. En la parte central y debajo del óculo, se tiene entre 1.5 y 0.90%. El valor que alcanza el ábside es entre 0.60 y 0.90%, pues aunque es la más alejada se encuentra frente a la entrada y es capaz de ver cielo, en cambio los otros nichos orientados al interior tienen tan sólo entre 0.60 y 0.30%.

## CONCLUSIÓN

Tenemos dos conexiones al exterior, las zonas cercanas a éstas tiene el mayor factor de cielo, la gradación se da conforme a la profundidad. Sin embargo, la abertura más importante es la del óculo, ya que por su forma semiesférica propicia que exista una distribución más uniforme.

Los arquitectos que diseñaron el Panteón capitalizaron sus conocimientos de iluminación natural para crear efectos dramáticos en el interior y no un confort ambiental. Sabían que necesitaban un espacio casi hermético y muy oscurecido, en el cual sin importar la hora o la época del año, los visitantes pudieran apreciar el espectáculo del haz de luz deslizándose. Necesitaban condiciones de iluminación externas uniformes, quizá por esta razón eligieron la orientación de la entrada en el Norte.

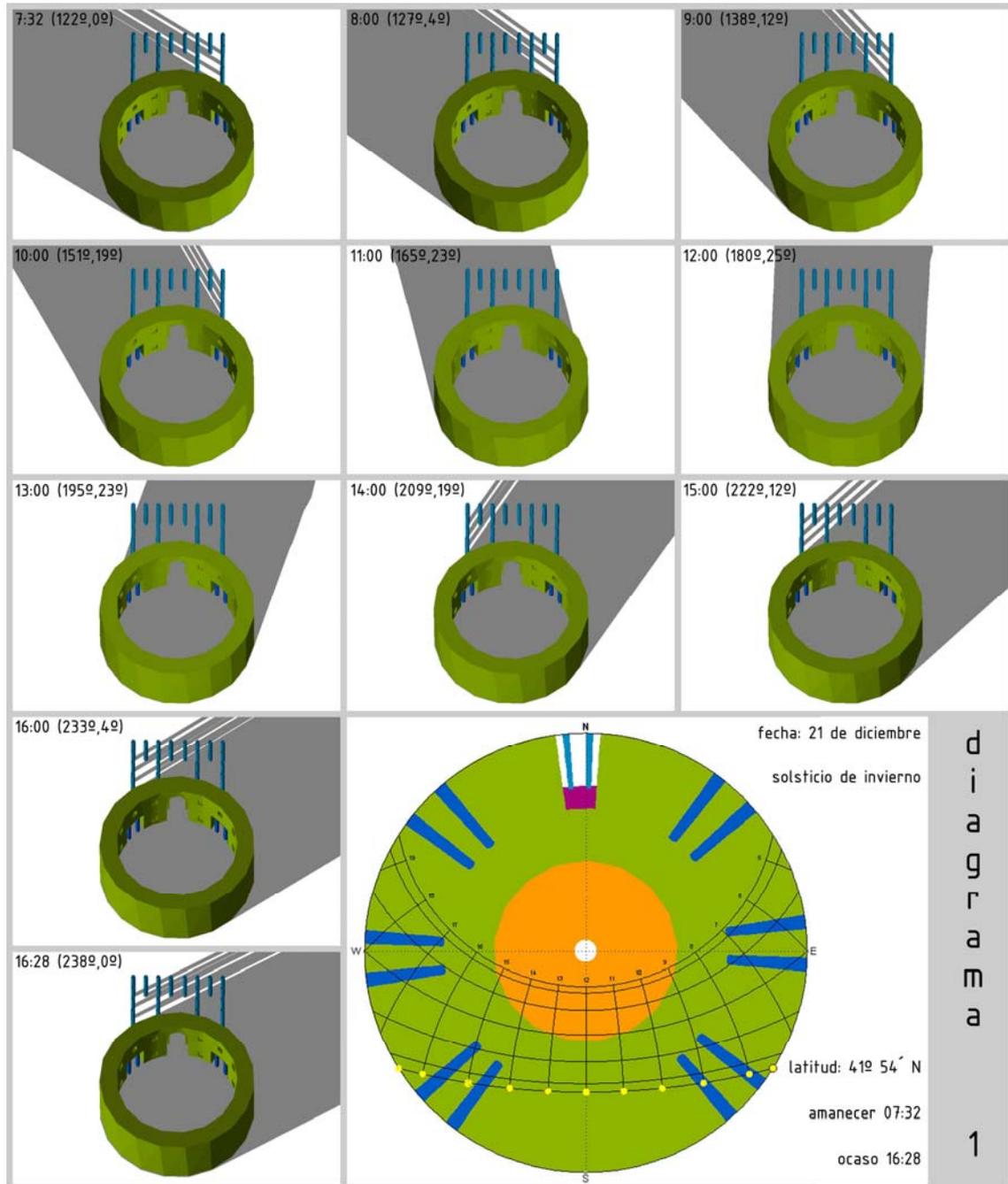
La construcción del *prónaos* y del cuerpo intermedio no corresponde únicamente a motivos estéticos ni un cumplimiento a la tradición arquitectónica griega adoptada. Los romanos conocían las cualidades del *prónaos*, pues es un espacio semiabierto de transición en el cual el visitante se va acostumbrando a la visión de un interior más oscurecido. Además, reduce el nivel de iluminación que llega al interior de la rotonda, a través de su profundidad y con el bloqueo de la radiación directa. Los romanos utilizaron el *prónaos* y el cuerpo intermedio para lograr reducir un 95% el nivel de iluminación exterior, de esta manera prepararon el escenario para que la luz solar cobrase corporeidad.

## ESTUDIO DE SOLEAMIENTO

Hemos comprobado que en el interior del Panteón existen las condiciones necesarias para apreciar el efecto lumínico, ahora nos corresponde indagar en que fechas y en que sitios se dibuja el haz de luz. Podemos conocer estos datos utilizando las herramientas del programa Heliodón V2. Los diagramas de flujo solar son muy útiles pues nos permiten visualizar de manera acumulada las zonas donde inciden los rayos solares, esto se realiza a través de planos que cortan el volumen contenido. Al cuantificar el flujo solar no se toma en cuenta la oblicuidad del rayo solar, por lo cual no deben de tomarse como valor absoluto. Sin embargo, nos dan una aproximación del valor que se tiene pero, sobre todo, nos permiten visualizar las zonas de incidencia del flujo solar, que es lo que en realidad nos interesa. Las estereografías nos muestran el trayecto solar y las coordenadas solares.

Primero analizaremos las fechas más importantes, solsticios y equinoccios. El diagrama de soleamiento contiene las imágenes del espacio 3d, tomadas a cada hora desde el amanecer hasta el ocaso, donde se han ocultado de vista todos los elementos, excepto el tambor cilíndrico y las columnas exteriores e interiores. En cada imagen se muestra la hora y las coordenadas solares. También se observa la estereografía, tomada desde el centro justo debajo del óculo y a nivel de suelo, con las posiciones del Sol de manera acumulada. El diagrama de flujo solar corresponde a la radiación que incide en el plano horizontal ubicado a nivel de suelo y en el plano vertical del eje longitudinal del edificio.

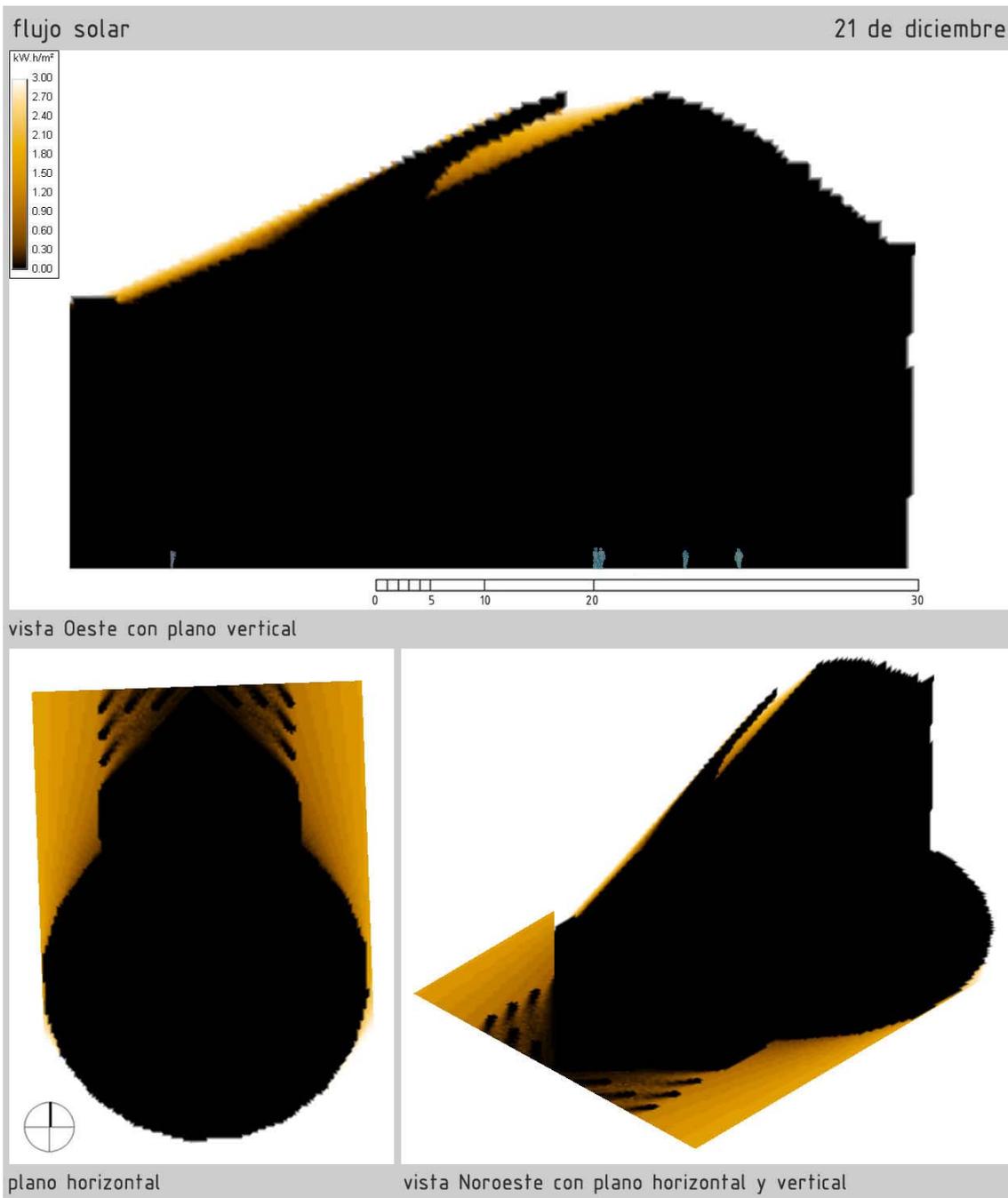
## SOLSTICIO DE INVIERNO



FIG\_13.- Diagrama de soleamiento del 21 de diciembre en el interior del Panteón. <sup>xiii</sup>

Es el día con menor cantidad de horas con luz natural. La altitud máxima del Sol es de tan sólo 25°. El trayecto solar se sucede del Sureste al Suroeste, por lo que sin importar la baja altitud del Sol, éste nunca entrará directamente por la entrada principal, pues está orientada hacia el Norte.

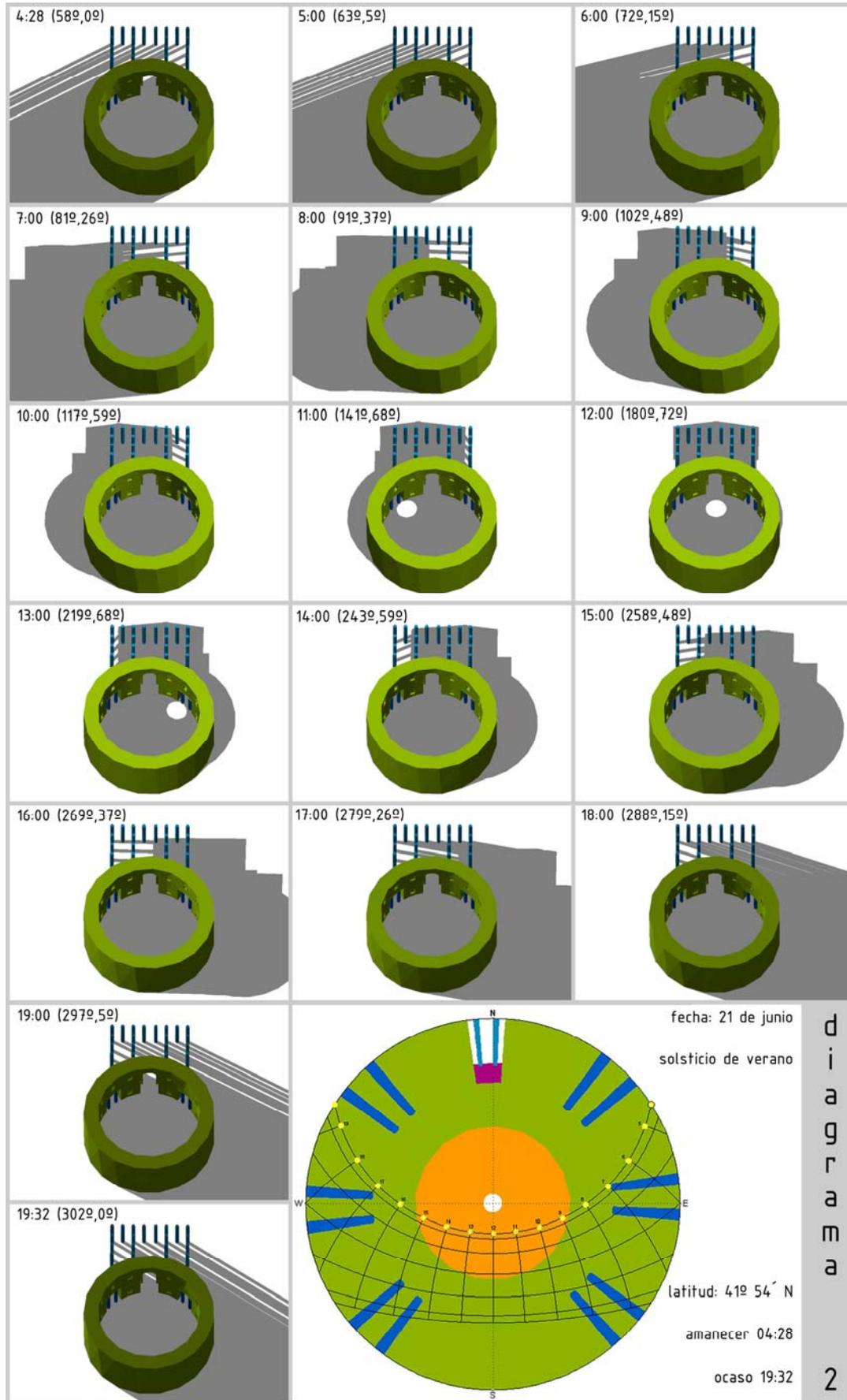
Los rayos son incapaces de alcanzar el suelo del interior de la rotonda debido a su baja inclinación. En el interior de la rotonda, solamente alcanza a incidir en la superficie de la cúpula. Si el edificio hubiese sido construido para ser habitable, estaría pésimamente orientado, pues en invierno se tiene la menor penetración de radiación, lo que se traduce en un interior frío.



FIG\_14.- Diagrama de flujo solar en gradación del 21 de diciembre en el interior del Panteón.<sup>xiv</sup>

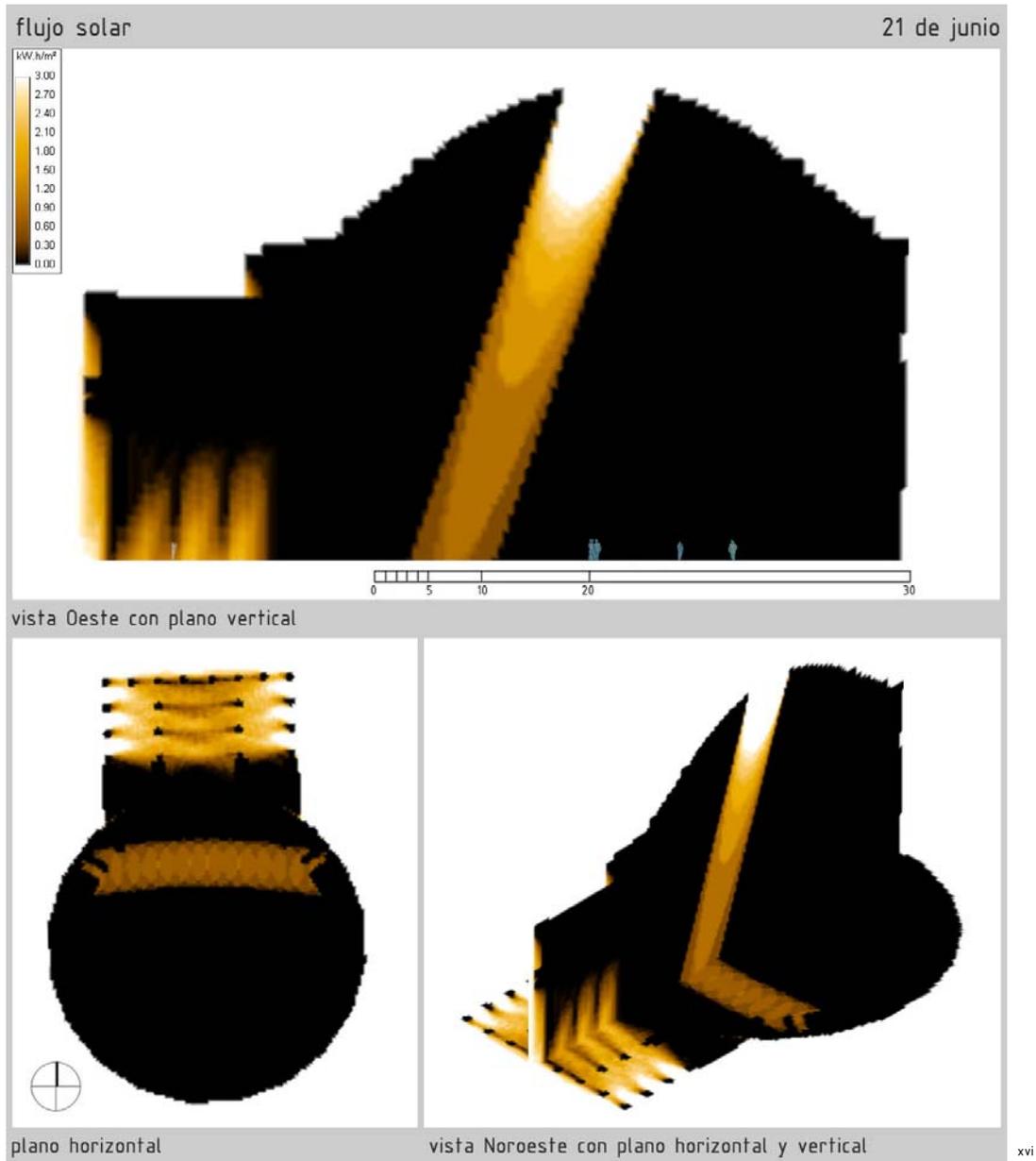
En el plano vertical, observamos la poca penetración solar que se tiene en la rotonda. Los rayos inciden únicamente en la zona superior de la superficie interior de la cúpula, mientras que la parte central del *prónaos* nunca es alcanzada. En el plano horizontal, apreciamos la poca penetración que se tiene en el *prónaos*. Por las imágenes 3d, sabemos que corresponden a los rayos que inciden desde el amanecer y hasta las 10:00, y desde las 14:00 hasta el ocaso.

# SOLSTICIO DE VERANO



FIG\_15.- Diagrama de soleamiento del 21 de junio en el interior del Panteón.

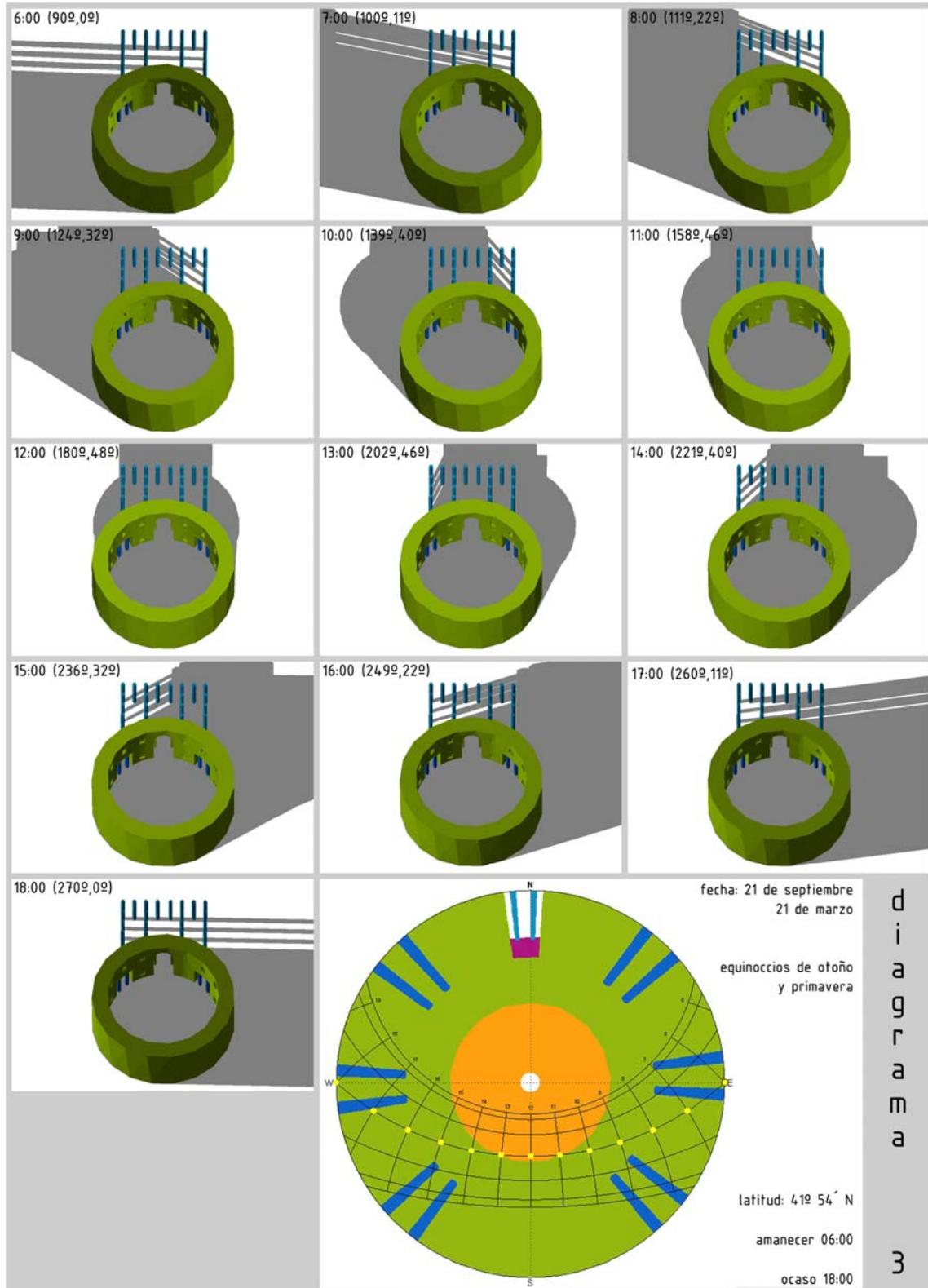
El 21 de junio es el día con mayor número de horas de luz natural. Al amanecer, el Sol se encuentra en el Noreste y en el ocaso en el Noroeste. Al mediodía se ubica exactamente en el Sur. Este día, el Sol podría entrar directamente por el acceso principal entre las primeras y últimas horas, pero las columnas del *prónaos* y el cuerpo intermedio impiden su paso. Al mediodía el Sol alcanza su máxima elevación anual, 72°. Los rayos solares alcanzan el suelo del interior de la rotonda a partir de las 11:00 hasta las 13:00 (*grosso modo*), en la parte Noroeste, Norte y Noreste (direcciones opuestas a la trayectoria solar).



FIG\_16.- Diagrama de flujo solar en gradación del 21 de junio en el interior del Panteón.

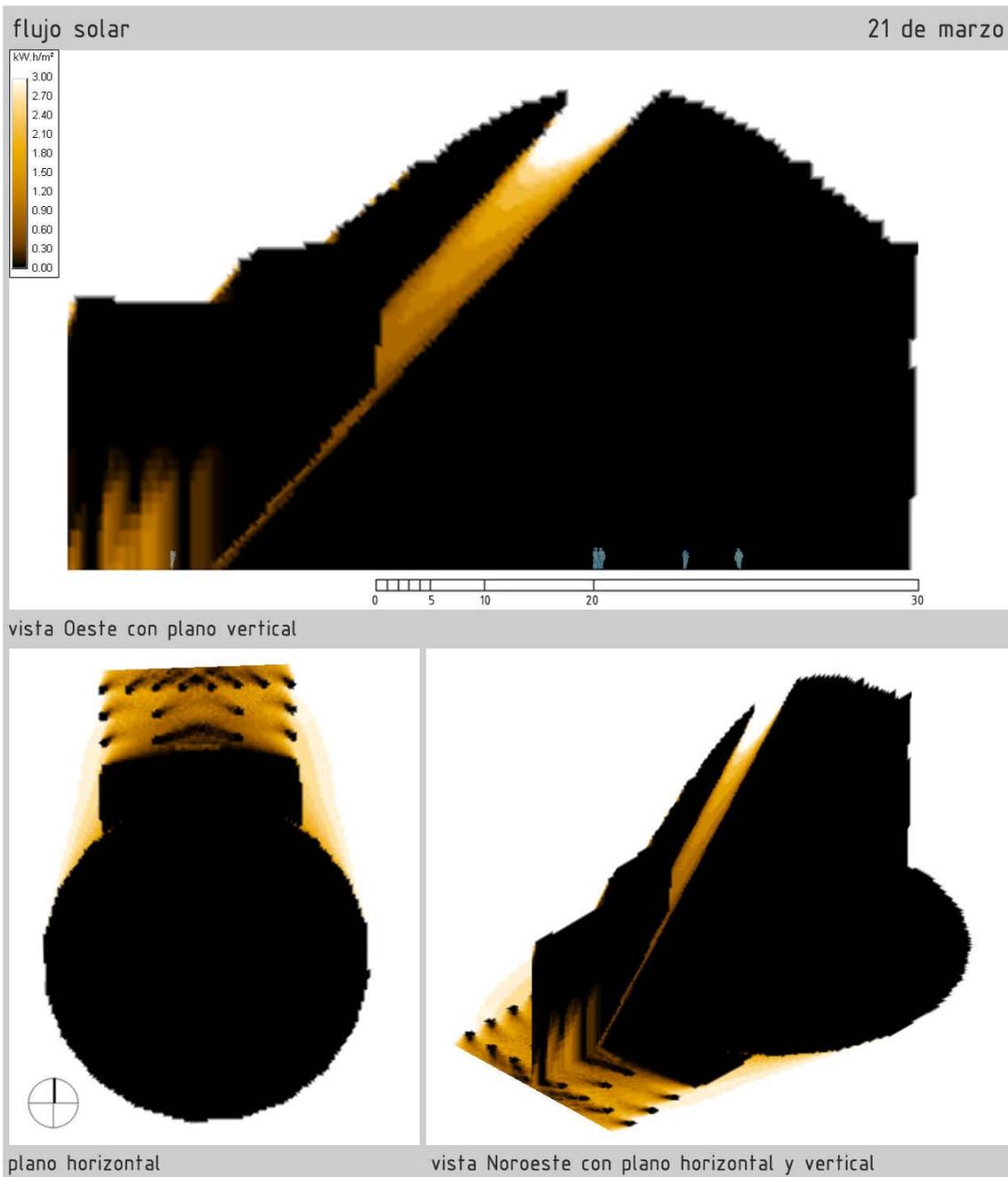
En las imágenes del flujo solar, apreciamos claramente el haz de luz penetrando hasta el suelo del interior de la rotonda. El *prónaos* es alcanzado por el Sol y gracias a la vista 3d deducimos que estos rayos penetran desde el amanecer hasta las 8:00, y nuevamente a partir de las 16:00 hasta el ocaso. Estos rayos tienen un ángulo de inclinación menor, por lo que penetran a mayor altura en el *prónaos*.

## EQUINOCCIOS



FIG\_17.- Diagrama de soleamiento del 21 de septiembre y 21 de marzo en el interior del Panteón.<sup>xvii</sup>

En los equinoccios, el trayecto solar parte del Este y termina en el Oeste, quedando el acceso casi tangencial a los rayos del amanecer y del ocaso. El Sol nunca alcanza el suelo del interior de la rotonda, debido a que su altitud máxima es de 48°, pero al penetrar por el óculo alcanza el suelo del cuerpo intermedio y la entrada.



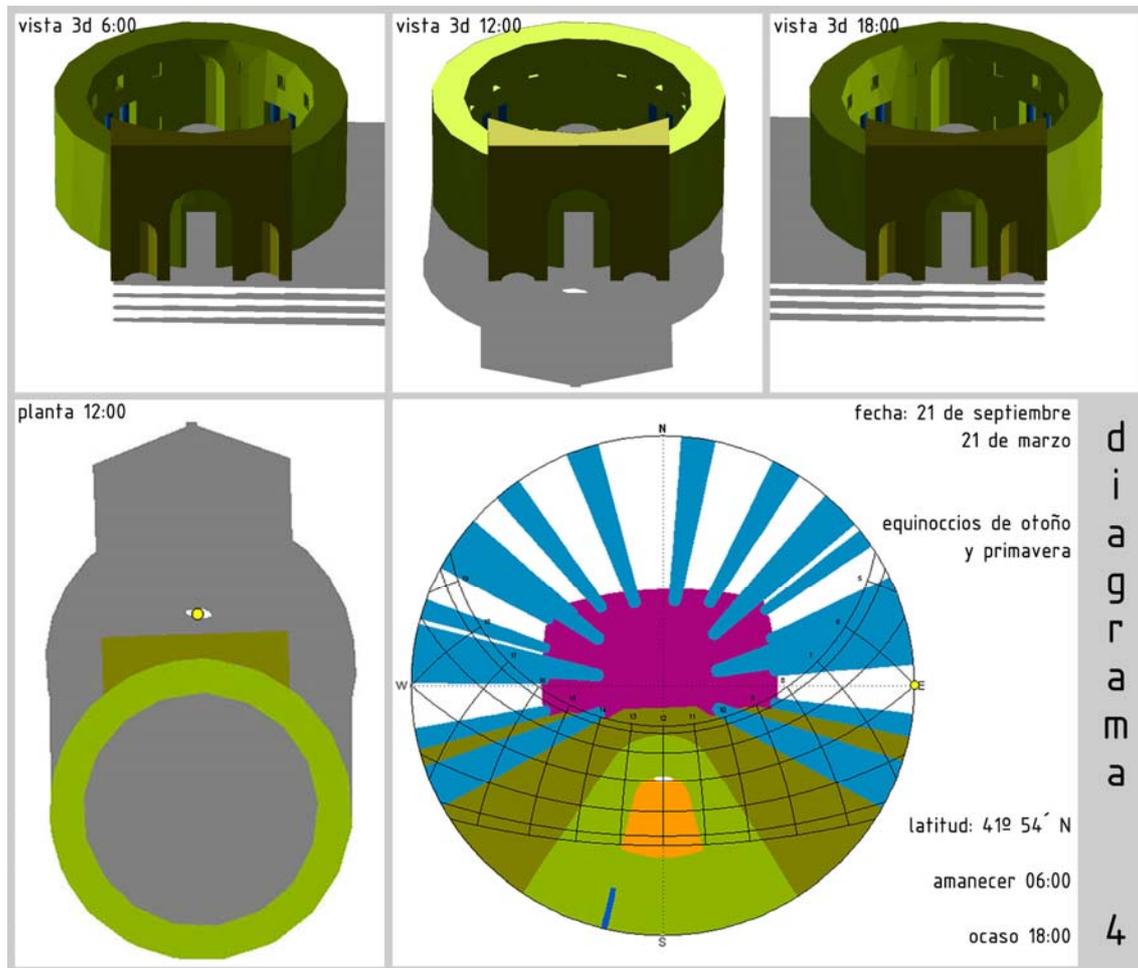
FIG\_18.- Diagrama de flujo solar en gradación del 21 de marzo en el interior del Panteón.<sup>xviii</sup>

En la imagen de flujo solar que incide en el plano vertical, nos es posible visualizar el haz de luz alcanzando el exterior de la rotonda. En el interior de ésta, incide por encima de la entrada principal, pero no en la cúpula, debido a la inclinación de sus rayos. El *prónaos* es alcanzado por los rayos de las primeras y últimas horas, la baja inclinación de éstos provoca que penetren a una altura considerable.

Gracias a la vista 3d, deducimos que los rayos que penetran en el *prónaos* son los del amanecer y hasta las 9:00, por la tarde son los de las 15:00 hasta las 18:00. Debido a que el plano vertical se encuentra sobre el eje Norte-Sur del edificio, podemos deducir que el haz de luz que se visualiza pertenece al del mediodía y vemos que éste siempre incide hacia la dirección Norte, pues el Sol a mediodía siempre está en el Sur.

## ESTUDIO DE SOLEAMIENTO ANUAL

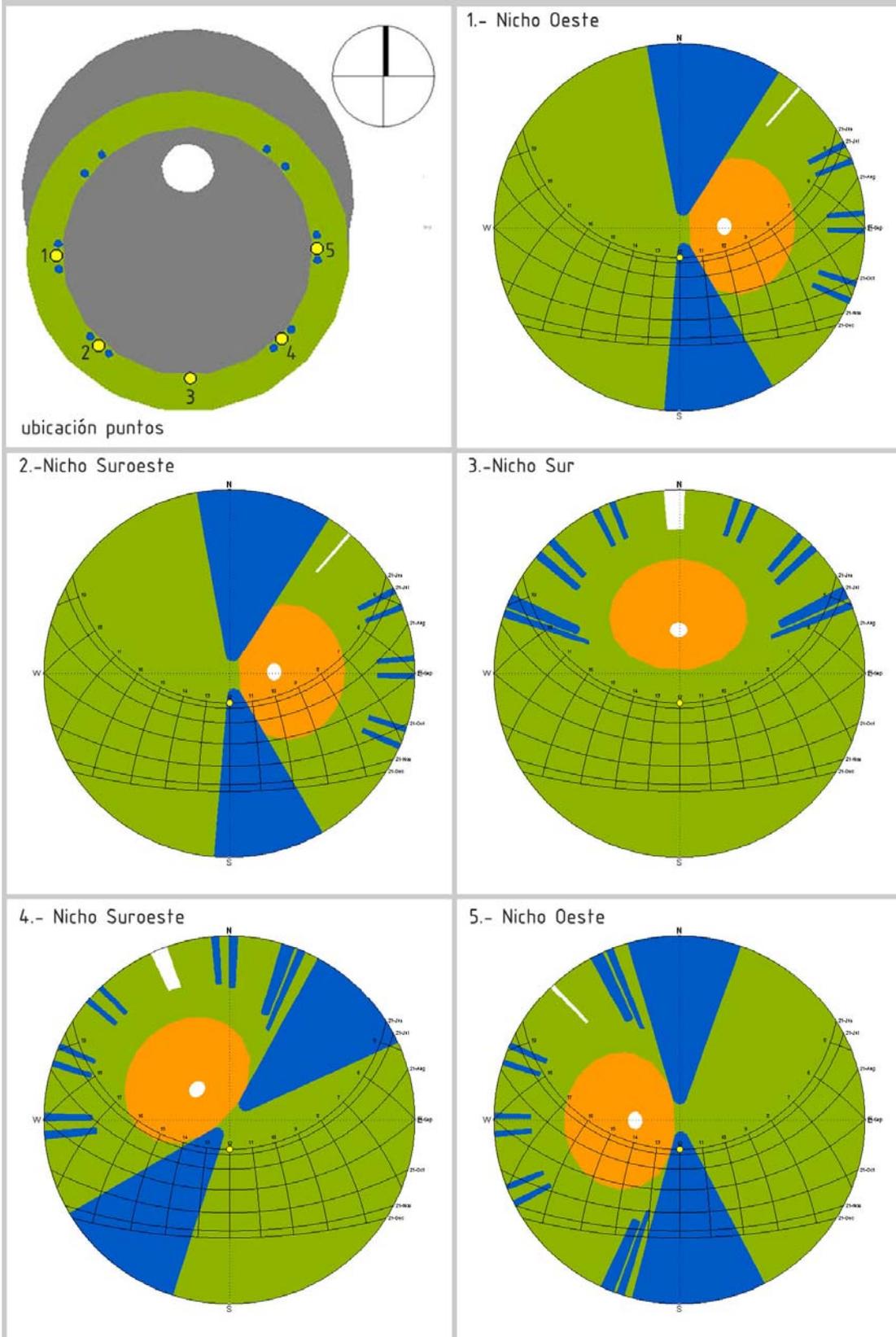
Se ha desplazado el captor al punto alcanzado por el haz de luz que atraviesa el óculo. En los equinoccios, los rayos solares penetran entre las columnas desde el amanecer hasta las 6:40. Inmediatamente después, la columna derecha del nicho bloquea los rayos. Recibe nuevamente los rayos del Sol desde el exterior a partir de las 17:05 y hasta el ocaso. El círculo comienza a dibujarse en el exterior a partir de las 11:25 y hasta las 12:25.



FIG\_19.- Diagrama de soleamiento del 21 de septiembre y 21 de marzo en el *pronaos* del Panteón.<sup>xix</sup>

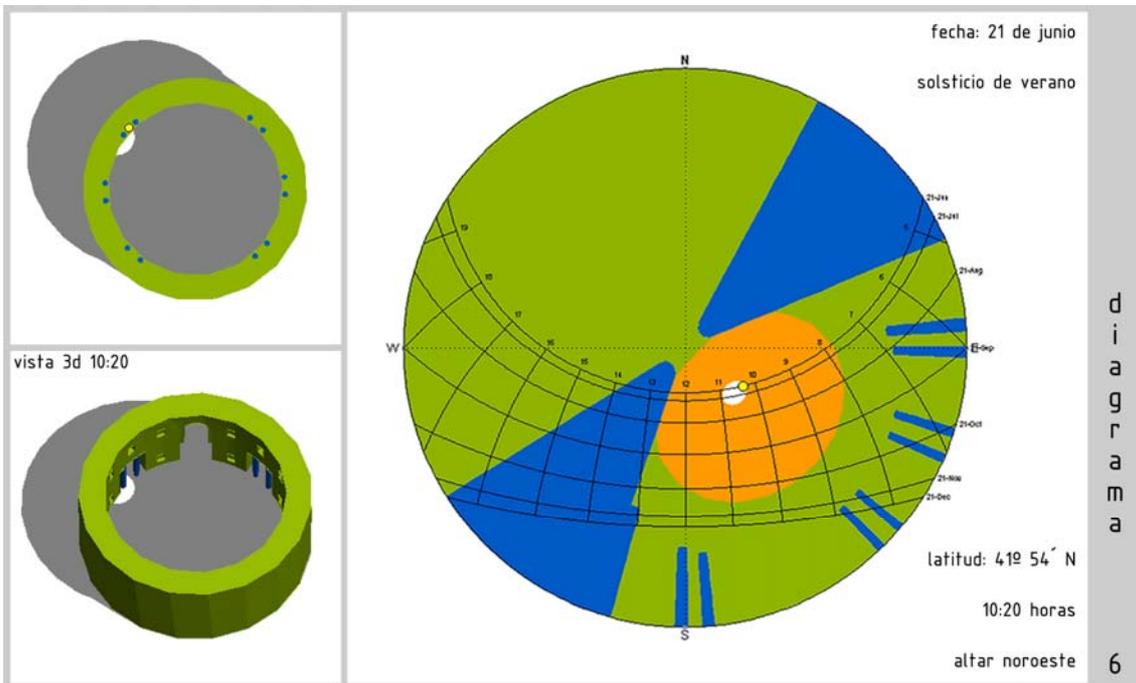
Anualmente, los rayos solares penetran por entre las columnas las primeras y últimas horas entre el 3 de marzo y el 9 de octubre. En el solsticio de verano a partir de las 4:28 hasta las 5:10, y al atardecer entre las 18:15 y las 19:05. Entre los días 21 y 26 de marzo, y a partir del 16 hasta el 21 de septiembre, los rayos que atraviesan el óculo alcanzan este punto.

Se ha desplazado el captor a los nichos Oeste, Suroeste, Sur, Sureste y Este. El siguiente diagrama muestra las estereografías tomadas en cada uno de estos nichos y la planta con la ubicación del captor (círculo amarillo). Comprobamos que nunca son alcanzados ni por los rayos que atraviesan el óculo ni por los de la entrada. La razón es que se encuentran opuestos al trayecto solar, y aunque coinciden con la dirección de los rayos de las primeras y últimas horas de primavera y verano, su baja inclinación no les permite alcanzar el suelo de éstos nichos.



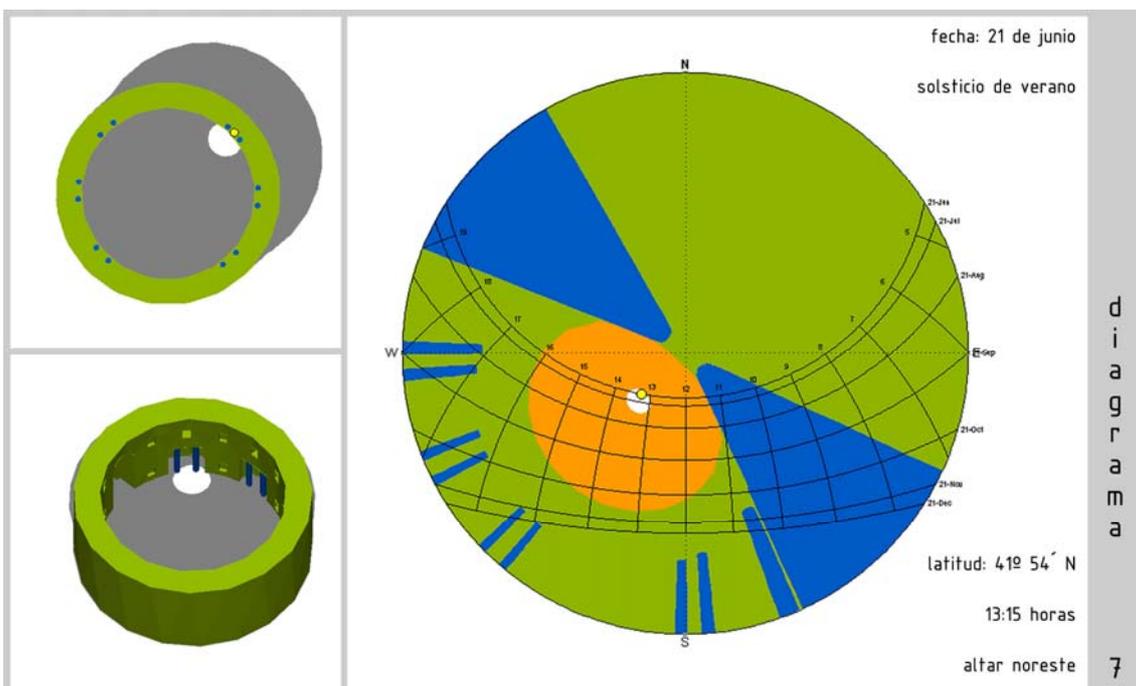
FIG\_20.- Diagrama de soleamiento de nichos Oeste, Suroeste, Sur, Sureste y Este del Panteón.

Se ha situado el captor en el altar Noroeste, pues durante el solsticio de verano es el primero que alcanzan los rayos desde el óculo, éstos lo hacen a partir de las 10:20 y hasta las 10:50. Anualmente es a partir del 9 de mayo hasta el 3 de agosto.



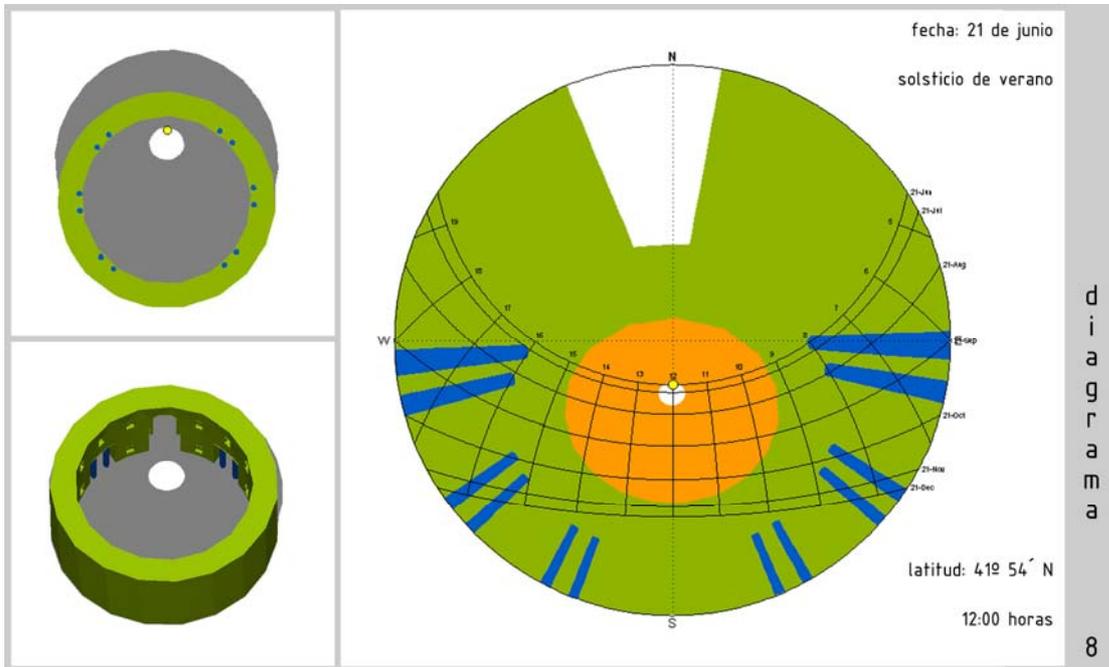
FIG\_21.- Diagrama de soleamiento del nicho Noroeste del Panteón.<sup>xxi</sup>

En el solsticio de verano, los rayos que atraviesan el óculo y alcanzan el altar Noreste lo hacen a partir de las 13:05 y hasta las 13:30. Anualmente entre el 5 de mayo y el 7 de agosto. La máxima duración es el 21 de julio y el 22 de mayo, cuando aparece a partir de las 13:00 hasta las 13:35 horas.



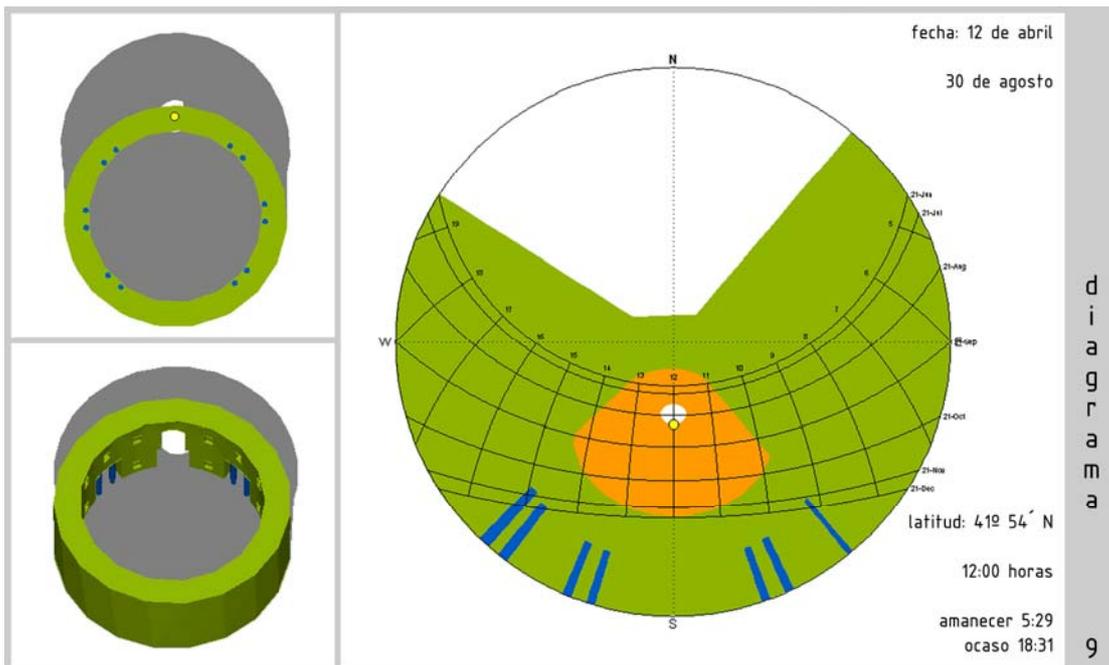
FIG\_22.- Diagrama de soleamiento del nicho Noreste del Panteón.<sup>xxii</sup>

Se ha situado el captor en la parte central, justo dónde se dibuja el círculo. El 21 de junio, los rayos tocan este punto entre las 11:50 y las 12:15. Anualmente a partir del 4 de mayo hasta el 8 de agosto, alrededor del mediodía. El 21 de julio y el 22 de mayo, el círculo se dibuja con mayor duración, a partir de las 11:40 hasta las 12:20.



FIG\_23.- Diagrama de soleamiento del centro-Norte del interior del Panteón.<sup>xxiii</sup>

Se ha situado el captor en el centro de la entrada. Alcanzan este punto sólo los rayos provenientes del óculo, al mediodía y a partir del 12 de abril hasta el 2 de mayo, y nuevamente entre el 10 y el 30 de agosto. Observamos que en este punto los rayos del exterior no penetran, aun y prescindiendo del *prónaos* y el cuerpo intermedio, debido que la orientación Norte del edificio es opuesta al trayecto solar.

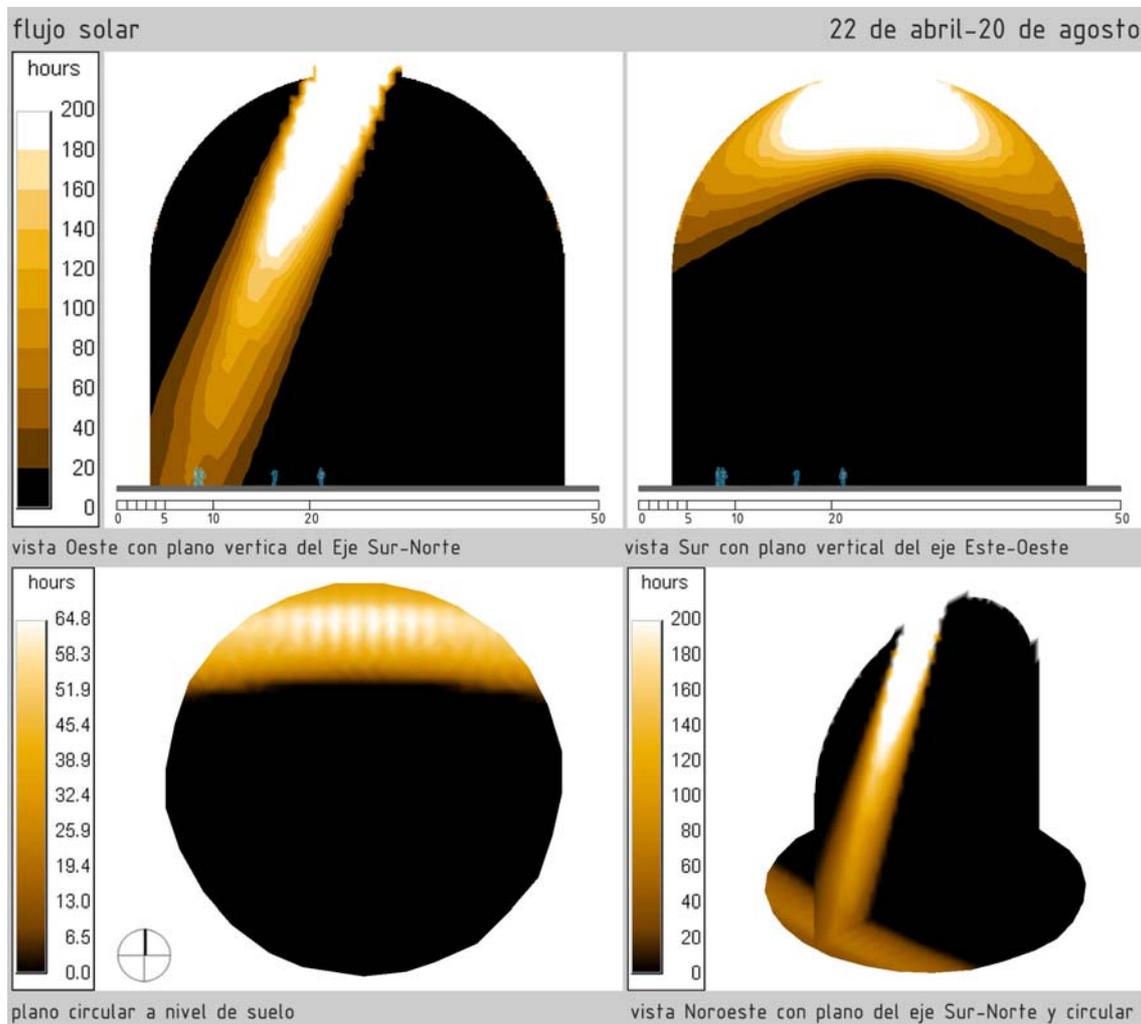


FIG\_24.- Diagrama de soleamiento de la entrada al interior de la rotonda del Panteón.<sup>xxiv</sup>

## FLUJO SOLAR

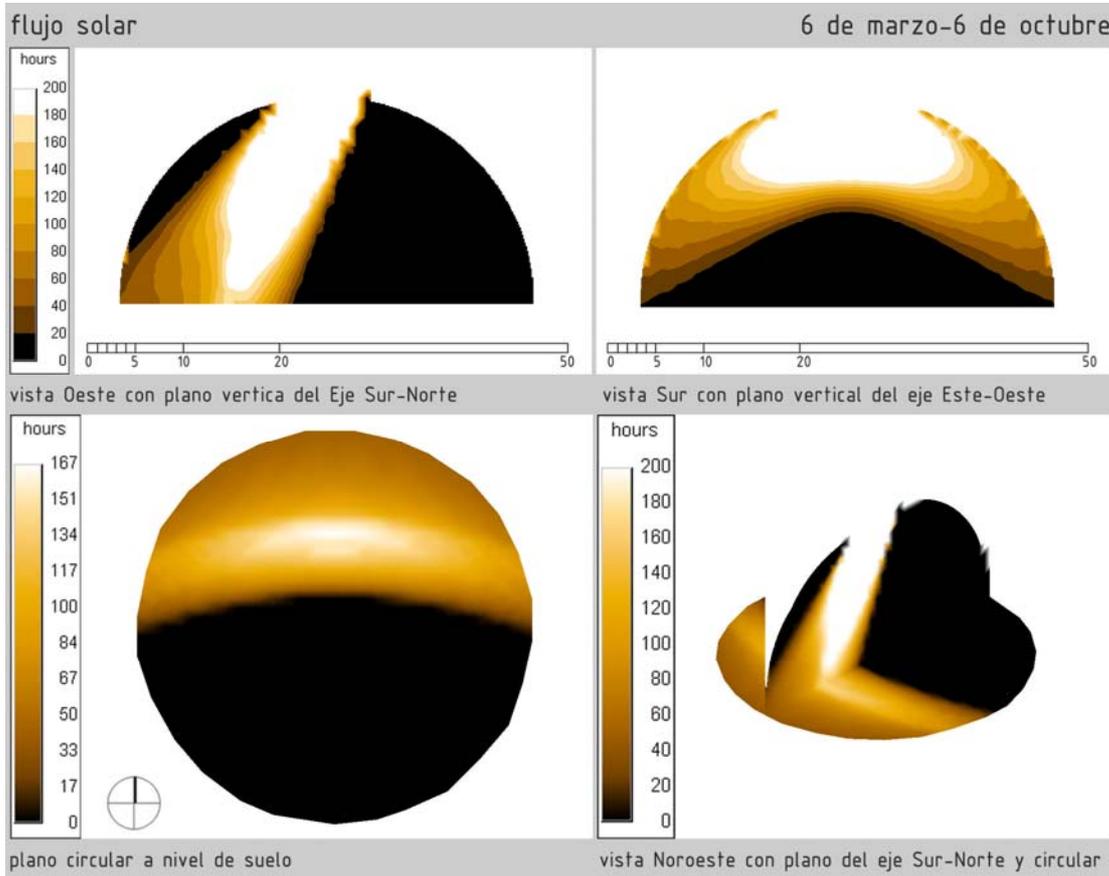
A fin de visualizar las zonas que anualmente son alcanzadas por el haz de luz, se han realizado los estudios de flujo solar. Este estudio se realizó en el plano vertical del eje Norte-Sur, en el del eje Este-Oeste, y en el plano horizontal circular a nivel de suelo. La escala muestra los valores de horas con flujo solar, sin embargo se ha estandarizado el límite a 200 horas. La escala de valores del plano circular horizontal es la única que muestra los valores verdaderos.

El haz de luz alcanza el suelo del interior de la rotonda a partir del 22 de abril hasta el 20 de agosto. Las zonas alcanzadas son la Noroeste, Norte y Noreste. En el plano vertical del eje Norte-Sur, apreciamos que la zona Sur nunca es alcanzada por los rayos, pues el Sol alcanza su altitud máxima cuando se encuentra en el Sur. La superficie interior de la cúpula, sobre el eje Este-Oeste, presenta una incidencia mayor y simétrica, pues los rayos solares son más bajos en estas direcciones.



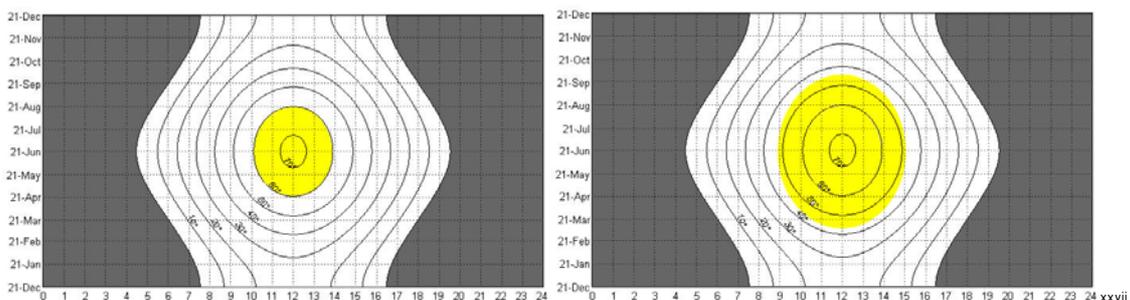
FIG\_25.- Flujo solar en planos verticales y plano horizontal circular del interior de la rotonda del Panteón. xxx

En el siguiente análisis, nos hemos limitado a la cúpula, por tal motivo se realizó el estudio de flujo solar en el plano circular ubicado a 21.60m y sobre los ejes Norte-Sur y Este-Oeste. La incidencia aumenta, tanto en periodo de tiempo como en superficie. El flujo solar alcanza el plano circular a partir del 6 de marzo hasta el 6 de octubre. Gran parte de la superficie Norte es alcanzada por los rayos, mientras que el Sur nunca es alcanzado. En el eje Este-Oeste, se tiene una penetración simétrica.



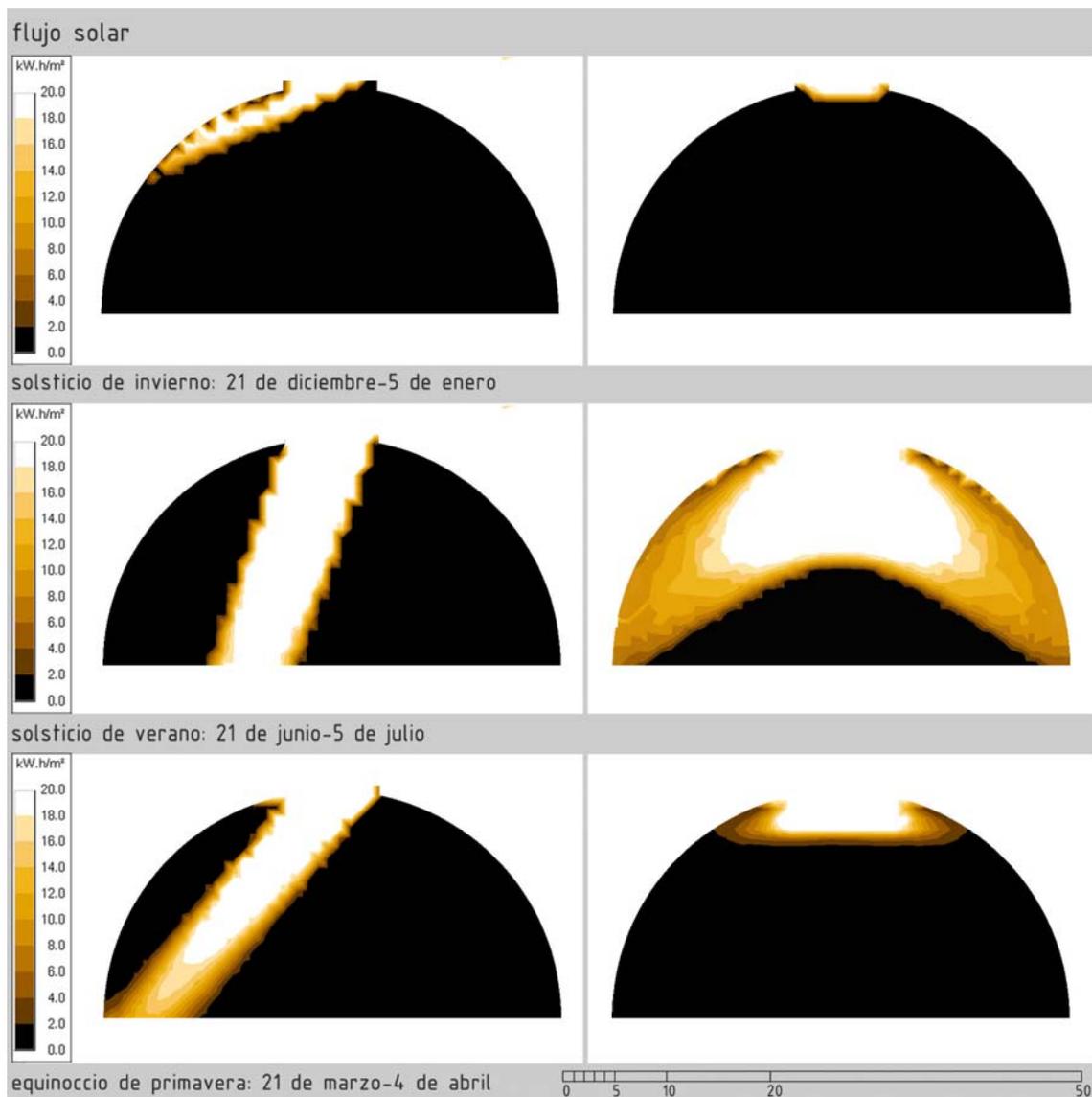
FIG\_26.- Flujo solar en planos verticales y horizontal circular de la cúpula del Panteón.<sup>xxvi</sup>

La proyección isócrona nos permite deducir la altitud de los rayos y las horas en que penetran. Los rayos que alcanzan el suelo (22 de abril-20 de agosto) deben de tener una altitud superior a  $60^\circ$ , ésta altitud se tiene entre las 10:00 y las 14:00. Los rayos que penetran hasta el arranque de la cúpula (6 de marzo-6 de octubre) deben de tener una altitud mayor a  $40^\circ$  la cual se tiene entre las 9:00 y las 15:00.



FIG\_27.- Proyecciones isócronas tomadas desde el centro. Se ha resaltado el periodo de penetración de rayos.

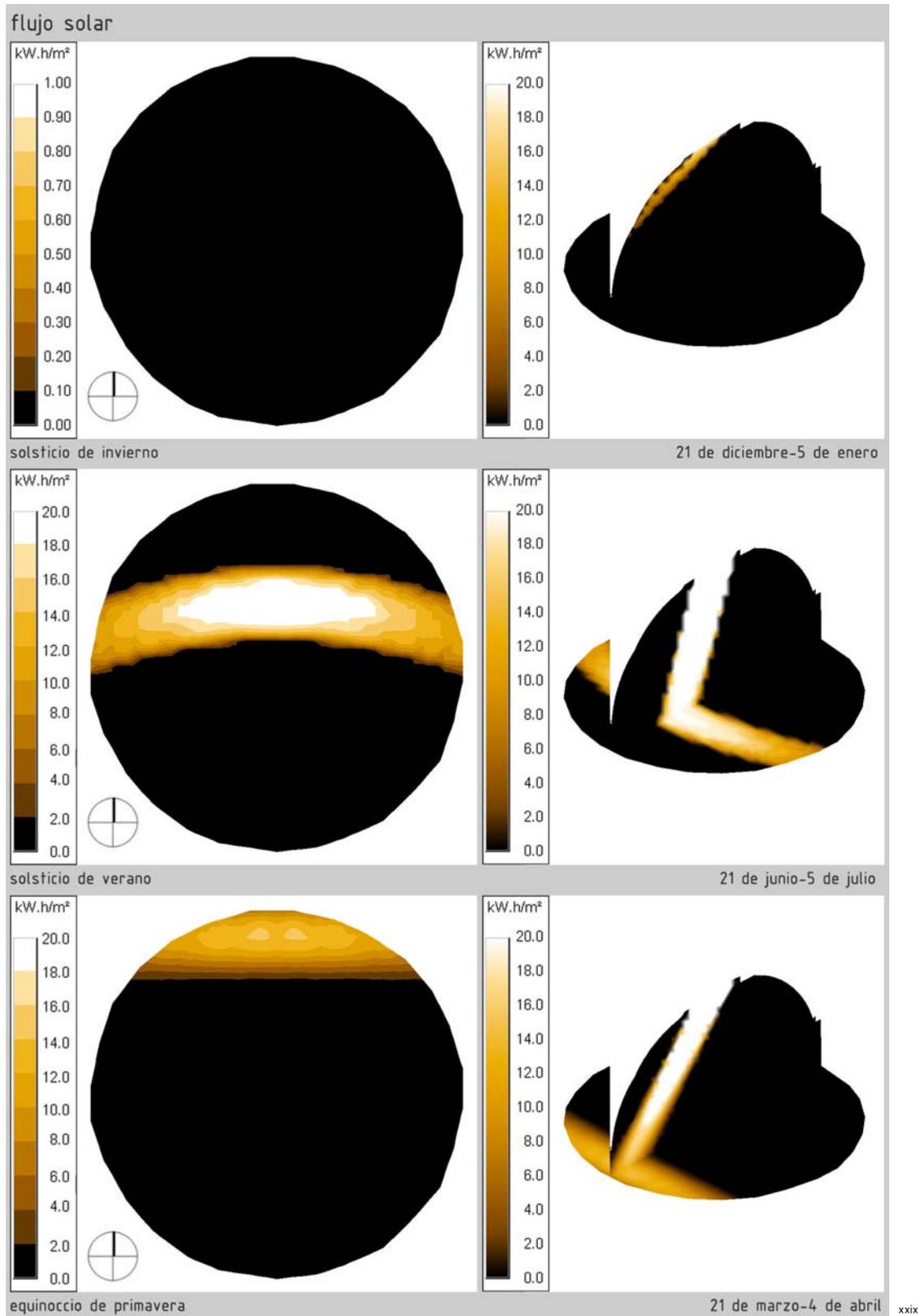
Una vez que hemos conocido la incidencia anual del flujo solar, procederemos a comparar la que se tiene en la cúpula durante las estaciones. Los siguientes diagramas corresponden a un intervalo de tiempo de 15 días posteriores a los solsticios y al equinoccio de primavera. Se ha estandarizado el valor del flujo solar a 20 k.W.h/m<sup>2</sup> para permitir una comparación. Observamos que durante el solsticio de invierno se tiene la menor penetración en ambos ejes. En el eje Norte-Sur se alcanza hasta la mitad de la altura de la cúpula, mientras que en el eje Este-Oeste la penetración es casi nula, debido a la baja inclinación de los rayos. Durante el solsticio de verano, se tiene una mayor penetración, tanto de valor como de superficie. El haz de luz que se dibuja en el eje Norte-Sur nunca alcanza la superficie de la cúpula, mientras que el haz que se dibuja en el eje Este-Oeste alcanza la superficie total de ésta.



FIG\_28.- Flujo solar en planos verticales del eje Sur-Norte y del eje Este-oeste de la cúpula del Panteón.<sup>xxviii</sup>

Durante el equinoccio de primavera, en el eje Norte-Sur, los rayos inciden en la zona donde arranca la cúpula. Mientras que en el eje Este-Oeste la penetración es menor que en verano, pues aunque coincide con la dirección de la salida y puesta del Sol, los rayos de éste son demasiado bajos para penetrar a una mayor profundidad.

En invierno, el plano circular nunca es alcanzado por los rayos. La mayor penetración sigue dándose en verano, sobre todo la parte central pues coincide con la mayor altitud del Sol, mientras que en primavera la penetración es menor, tanto en superficie como en valor.



FIG\_29.- Flujo solar en planos verticales y en el plano horizontal circular de la cúpula del Panteón.

## CONCLUSIONES

Hemos podido comprobar que únicamente la parte Noreste, Norte y Noroeste del suelo del Panteón es alcanzada por los rayos solares, pues es la dirección opuesta a la trayectoria solar predominante (Sureste, Sur y Suroeste). El recorrido solar varía bastante a lo largo del año. Durante la primavera y el verano realiza su recorrido desde el Noroeste al Noreste, penetrando en el *prónaos* durante las primeras y últimas horas. Durante el invierno, se tiene la menor penetración tanto en el interior de la rotonda como en el *prónaos*.

La variabilidad de soleamiento en esta latitud es muy marcada, existe una gran diferencia entre la duración de los días, así como las coordenadas solares. La altitud del Sol es la que tiene más impacto en el soleamiento del interior del Panteón, pues su relación más importante con el exterior es la cenital. Sin embargo, el Sol alcanza siempre su altitud máxima cuando se encuentra en el Sur, al mediodía, de ahí que el haz de luz que alcanza el suelo lo haga en la zona Norte. Debido a la forma semiesférica de la cúpula, podría decirse que está orientada hacia todas las direcciones, lo que provoca una mayor incidencia de los rayos sobre su superficie interior y por estar más cercana al óculo, permite que alcancen incluso los rayos del solsticio de invierno.

El efecto logrado por los romanos sustenta hasta el día de hoy una de las mejores representaciones de la bóveda celeste en la arquitectura, particularmente la que simboliza al Sol desde lo alto manifestándose en su forma circular. Los rayos del Sol son elementos con asociaciones divinas entre muchas culturas del mundo antiguo (babilonios, egipcios, etc.), las cuales fueron adoptadas por la iconografía cristiana.

El Panteón es el modelo primigenio de las iglesias católicas, aunque con variaciones, sustentan el mismo diseño básico: un interior ajeno al mundo exterior iluminado con luz cenital desde lo alto de la cúpula. El efecto provocado por la penetración de los rayos solares en un interior ha fascinado al hombre desde la antigüedad, ya sea por su presencia en sí o por asociaciones religiosas. En el Panteón, los romanos fueron capaces de reproducir este efecto brindando al espacio interior un ambiente dramático, casi teatral.



FIG\_30.-Representación iconográfica católica del Espíritu Santo.



FIG\_31.- Fotografía del interior del Panteón por Giancarlo Gaspon.

## REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES

---

<sup>i</sup> [http://www.artchive.com/artchive/r/roman/roman\\_pantheon.jpg](http://www.artchive.com/artchive/r/roman/roman_pantheon.jpg)

<sup>ii</sup> [http://www.karmancenter.unibe.ch/pantheon/building/bxl\\_pantheon.jpg](http://www.karmancenter.unibe.ch/pantheon/building/bxl_pantheon.jpg)

<sup>iii</sup> Elaboración gráfica de la autora

<sup>iv</sup> Ibíd.

<sup>v</sup> <http://www.lifeinitaly.com/tourism/lazio/img/pantheon-dome.jpg>

<sup>vi</sup> <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/69/Pantheon-panini.jpg>

<sup>vii</sup> [http://www.unpacked.it/up\\_blog/wp-content/uploads/eyal\\_pantheon\\_roma.jpg](http://www.unpacked.it/up_blog/wp-content/uploads/eyal_pantheon_roma.jpg)

<sup>viii</sup> Elaboración gráfica de la autora

<sup>ix</sup> Ibíd.

<sup>x</sup> Ibíd.

<sup>xi</sup> Ibíd.

<sup>xii</sup> Ibíd.

<sup>xiii</sup> Ibíd.

<sup>xiv</sup> Ibíd.

<sup>xv</sup> Ibíd.

<sup>xvi</sup> Ibíd.

<sup>xvii</sup> Ibíd.

<sup>xviii</sup> Ibíd.

<sup>xix</sup> Ibíd.

<sup>xx</sup> Ibíd.

<sup>xxi</sup> Ibíd.

<sup>xxii</sup> Ibíd.

<sup>xxiii</sup> Ibíd.

<sup>xxiv</sup> Ibíd.

<sup>xxv</sup> Ibíd.

<sup>xxvi</sup> Ibíd.

<sup>xxvii</sup> Ibíd.

<sup>xxviii</sup> Ibíd.

<sup>xxix</sup> Ibíd.

<sup>xxx</sup> <http://www.educa.aragob.es/aplicadi/valores/espirtusan.jpg>

---

<sup>xxxi</sup> [http://i10.ebayimg.com/02/i/08/58/66/86\\_1\\_b.JPG](http://i10.ebayimg.com/02/i/08/58/66/86_1_b.JPG)

## 05\_EL PARTENÓN DE ATENAS

## 05\_EL PARTENÓN DE ATENAS

*Monumentalidad: agente de conmemoración, de memoria humana sagrada, de acercamiento a los dioses; mito, metáfora espiritual en piedra, ritual en tres dimensiones.*<sup>1</sup>

“La única luz que entraba en el naos procedía de la puerta. Un visitante pasaba de la brillante luz de Grecia a un salón oscurecido. En la parte posterior de él se levantaba la enorme estatua de Atenea. El oro de su vestido brillaba, como el marfil de su piel, y las gemas de sus ojos destellaban. Había una pequeña piscina delante de la estatua... su agua debía captar la luz y reflejar la estatua.”<sup>2</sup>

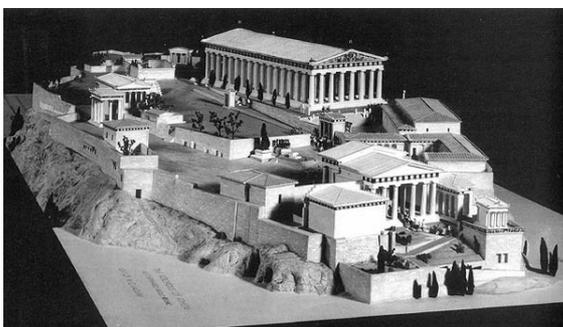
Susan Woodford

### INTRODUCCIÓN

La Acrópolis<sup>3</sup> de Pericles está vinculada a dos conceptos inmediatos: el primero histórico y el segundo directamente relacionado con las tradiciones religiosas. El Partenón y toda la Acrópolis de Pericles fueron en su significado más conceptual y espiritual un monumento a la victoria sobre los persas y una ofrenda de agradecimiento a los dioses. Todo el programa de renovación urbanística que dio luz al complejo arquitectónico es un monumento histórico, un monumento a la memoria y símbolo de la revancha sobre las invasiones persas.

El Partenón es la primera reconstrucción significativa en el interior de la Acrópolis después del saqueo persa del 480 a.C. Reconstruyendo la Acrópolis tal como estaba antes de la invasión persa Pericles trataba de exaltar la resurrección del centro religioso de Atenas después de la guerra, y representar a la ciudad como victoriosa y como nuevo centro cultural e intelectual del mundo. Esta reconstrucción fue concebida y planeada de forma unitaria.

La Acrópolis de Atenas originalmente había sido una ciudadela, pero los griegos gradualmente la convirtieron en el principal santuario de la ciudad para venerar a sus dioses. Era la meta de la procesión de las Panateneas, de la cual se hablará más detalladamente a lo largo de este texto, y lugar en el que se realizaban todos los actos rituales de la fiesta religiosa más importante de la ciudad.



FIG\_1.- Maqueta de reconstrucción de la Acrópolis.  
(Royal Ontario Museum, Toronto)



FIG\_2.-Fotografía de la fachada Oeste del Partenón en su estado actual.

<sup>1</sup> RHODES, R.F., *Architecture and meaning on the Athenian Acropolis*, Cambridge University Press, 1995, pág.6.

<sup>2</sup> WOODFORD, S., *El Partenón*, Akal, Torrejón de Ardoz, 1990, pág.38.

<sup>3</sup> etimológicamente: ciudad alta, la parte superior y fortificada de las ciudades griegas.

## HISTORIA

A finales del verano del año 490 a.C.,<sup>4</sup> los atenienses vencieron a los persas en la llanura de Maratón. Esta victoria rápidamente adquirió dimensiones míticas, pues los atenienses creían que Atenea les había ayudado. Como ofrenda de gratitud a la diosa, decidieron celebrar el triunfo construyendo un templo en el lado Sur de la acrópolis, conocido como el viejo Partenón.

En el año 480 a.C., los persas invadieron y saquearon la ciudad de Atenas quemando y destruyendo todos los edificios existentes. El viejo Partenón aun estaba en construcción. Al finalizar las guerras médicas nació la Confederación de Delos con la finalidad de mantener una flota armada capaz de disuadir nuevas invasiones persas y proteger a las ciudades griegas hermanadas, cada una de las cuales realizaba para mantener dicha flota una contribución en proporción a sus recursos. El liderazgo recayó en Atenas, pues era la que poseía una fuerza naval mayor. Gradualmente la Confederación se convirtió en un imperio de los atenienses, quienes eran los principales administradores del tesoro común. En el año 454 a.C.,<sup>5</sup> éstos transfirieron el tesoro de la Isla de Delos a Atenas, convirtiéndola en una gran ciudad cosmopolita a la que los poetas, filósofos y científicos de todo el "imperio" acudían por su rica vida intelectual.

Hacia el año 449 a.C., Atenas firmó la paz con Persia y Pericles pensó que había llegado el momento de reconstruir los templos. En el año 447 a.C., emprendió la operación de renovación urbanística y arquitectónica de la Acrópolis que comprendía la construcción de los edificios del Partenón, los Propileos, el templo de Atenea Nike y el complejo del Erecteion. Los arquitectos encargados de llevar a cabo la obra fueron Calícrates e Ictino, y el escultor Fidias.<sup>6</sup> El Partenón clásico fue construido entre 447 y 432 a.C., y fue la pieza central de todo el complejo de la Acrópolis. Fue el primer edificio realizado después de la invasión persa y reemplazó al viejo Partenón, del cual utilizó los mismos cimientos, orientación y distribución general. El templo y la estatua criselefantina, que significa de oro y marfil, (VER FIG\_7) fueron terminados en el 438 a.C., el trabajo de las esculturas de sus frontones continuó hasta el año 432. a.C.<sup>7</sup>

Según la arqueóloga Ioanna Venieri<sup>8</sup>, el Partenón permaneció casi intacto hasta el s. VI d.C., cuando fue convertido en iglesia cristiana (dedicada a la Virgen María). Durante el período otomano, de 1456 a 1833, se convirtió en mezquita. En 1687, debido al hecho de que los turcos estaban usando el templo como polvorín, hubo una grande explosión en su interior, provocada por el ataque de los venecianos que asediaban la ciudad; aquella explosión dañó seriamente al templo. En 1801 y 1802, Lord Elgin se apoderó de la ornamentación escultórica llevándola a Londres. En 1822, la Acrópolis volvió a manos de Grecia, que acababa de independizarse de los turcos. Diferentes trabajos de restauración y conservación se realizaron entre 1896 y 1900 y entre 1922 y 1933. En 1975 se emprendió otra restauración, al integrarse el conjunto a la lista oficial de Monumentos del Patrimonio Mundial de la Humanidad de la UNESCO, cuyas obras continúan hasta la fecha de hoy.

---

<sup>4</sup> RHODES, R.F., *Architecture and meaning on the Athenian Acropolis*, Cambridge University Press, 1995, pág.30.

<sup>5</sup> STIERLIN, H., *Grecia de Micenas al Partenón*, Taschen, 2001, pág.183.

<sup>6</sup> ROBERTSON, D.S., *Arquitectura Griega y Romana*, Cátedra, Madrid, 1988, pág.123.

<sup>7</sup> <http://www.ancient-greece.org/architecture/parthenon.html>

<sup>8</sup> [http://odysseus.culture.gr/h/2/eh251.jsp?obj\\_id=912](http://odysseus.culture.gr/h/2/eh251.jsp?obj_id=912)

## MITO Y TRADICIÓN EN LA ARQUITECTURA GRIEGA

La reconstrucción de la Acrópolis es el reflejo de una larga evolución cultural, religiosa e intelectual griega. Es un producto de historia y de cultura, ambas sustentadas en las tradiciones religiosas, las cuales se basaban principalmente en los mitos materializados en la arquitectura de sus templos.

Los templos, como los altares sencillos que les precedieron, son la morada de un Dios. Representado en forma de ídolo, reina en exclusiva en el *naos* al cual sólo los sacerdotes tienen acceso. El templo es el instrumento que polariza las procesiones y las fiestas. Es el lugar donde el Dios recibe las ofrendas y libaciones. El altar ubicado en el exterior se presta a los sacrificios de animales, donaciones simbólicas o específicas que requiere el culto.

En la arquitectura de los templos griegos la orientación Este es la más sagrada. La entrada al templo, los altares exteriores y los elementos escultóricos que representan a los dioses se sitúan frente al Sol del amanecer. La distribución de la Acrópolis está tan íntimamente ligada a sus tradiciones religiosas, que la vía de la procesión de las Panateneas adquiere el importante papel de eje vertebrador de todo el recinto y de los edificios levantados en honor a la diosa.

La Acrópolis está dividida en dos sectores que marcan una división funcional: "En el sector Norte nos encontramos el área cultural, donde se agrupaban los cultos más antiguos e importantes de la ciudad..."<sup>9</sup> En el sector Sur encontramos el área dedicada al culto exclusivo de Atenea "...con sus diversas cualidades, como Poliás (patrona de la ciudad), Partenos (virgen), Pallas, Prómacos (diosa de la guerra), Ergane (diosa de las artesanías) y Nike (Victoria)." <sup>10</sup> (Ver FIG. 3)

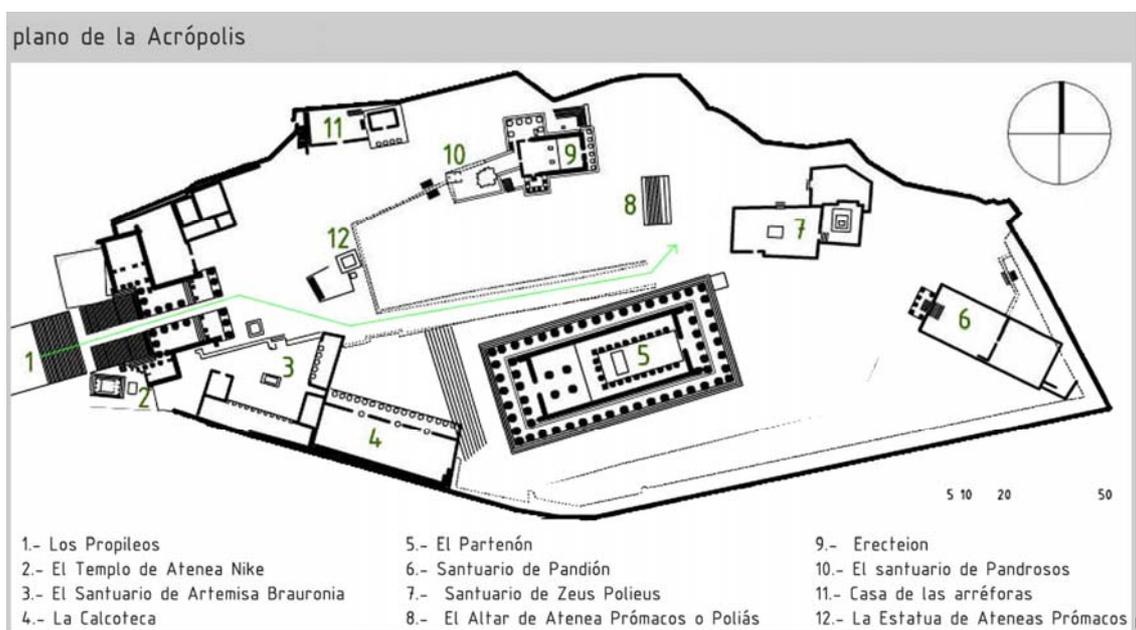


FIG. 3.- Plano de la Acrópolis: se marca el recorrido de la procesión panatenaica con la línea verde según la reconstrucción de De La Nuez Pérez.

<sup>9</sup> DE LA NUEZ PÉREZ M. E., *Las Panateneas: topografía de una fiesta*, en "Gerión" n.22, 2004, págs.112-113.

<sup>10</sup> [http://odysseus.culture.gr/h/3/eh351.jsp?obj\\_id=2384](http://odysseus.culture.gr/h/3/eh351.jsp?obj_id=2384)

En Atenas, se celebraba cada año la más importante fiesta en honor a Atenea: las Panateneas, con una duración de tres días. Cada cuatro años, adquiría una magnificencia mayor, que incluía competiciones atléticas, musicales y un concurso de recitado. A esta fiesta se la denominaba Gran Panatenea, con una duración de una semana, y culminaba con una procesión final.<sup>11</sup>

Los rituales y concursos se celebraban involucrando todos los centros claves de la ciudad. La Academia, el Cerámico, el Ágora y la Acrópolis aparecen ligados durante el desarrollo de los actos festivos, por la vía panatenaica, que era uno de los ejes de comunicación más importantes de la ciudad.<sup>12</sup> (Ver FIG.\_4)

El acto principal de la fiesta era la gran procesión panatenaica, que se celebraba un día de verano, el día 28 Hecatombeon y partía desde la puerta de Dipylon, atravesaba el ágora y entraba a la Acrópolis.<sup>13</sup> Al llegar allí, la procesión entraba por la parte Oeste, los Propileos, y recorría la cima del santuario hacia el Este hasta llegar al gran altar de Atenea. (Ver FIG.\_5)



FIG.\_4.- Recorrido de la procesión panatenaica desde el Pompeion hasta la Acrópolis.



FIG\_5.- Representación de la procesión vista desde el Oeste, en primer plano los Propileos.

“La procesión termina en el gran altar de Atenea, la piedra en la dirección de la entrada de su gran templo. Ahí, directamente enfrente de la puerta de la cella del Partenón.”<sup>14</sup> Sin embargo existen autores que señalan que la procesión no terminaba en el altar del Partenón, “No tenemos restos de altar, ni de culto en el edificio, nada en el ritual de las Panateneas lo vincula a la fiesta a no ser el friso...”<sup>15</sup>

Probablemente la implicación del Partenón con las fiestas debería ir más allá que esta afirmación. Quizá la relación se establezca en base a la orientación, pues el Partenón no se encuentra exactamente orientado al Este. Tal vez esta orientación se haya establecido con el fin de lograr algún efecto lumínico durante las fiestas.

<sup>11</sup> DE LA NUEZ PÉREZ M. E., *Las Panateneas: topografía de una fiesta*, en “Gerión” n.22, 2004, págs.101-102.

<sup>12</sup> Ibid., pág.102.

<sup>13</sup> Ibid., pág.104.

<sup>14</sup> RHODES, R.F., *Architecture and meaning on the Athenian Acropolis*, Cambridge University Press, 1995, pág. 65.

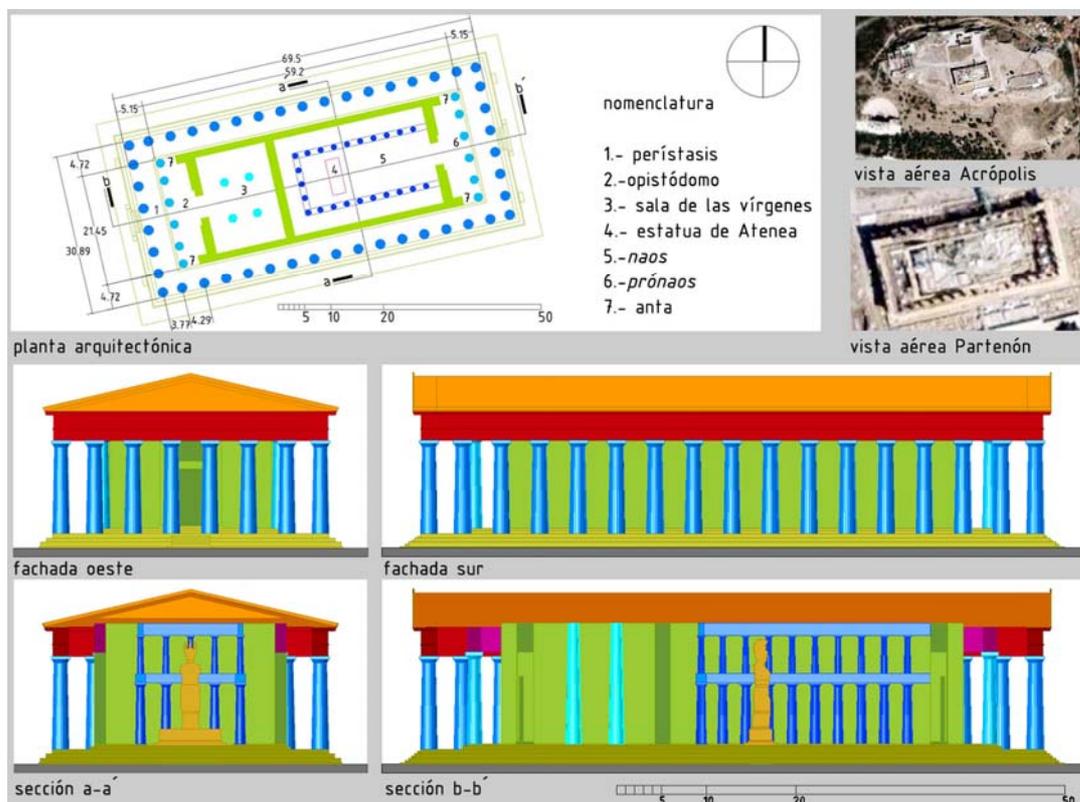
<sup>15</sup> DE LA NUEZ PÉREZ M. E., *Las Panateneas: topografía de una fiesta*, en “Gerión” n.22, 2004, pág. 113.

## DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El Partenón es un templo dórico períptero en el cual se integran elementos y características del orden jónico. Las dimensiones guardan una relación de 4:9. El estilóbato tiene 30.88 m de ancho y 69.50 m de largo. Tiene ocho columnas en las partes frontal y trasera, y diecisiete a los lados. El diámetro de las columnas es de 1.907 m. en su base y una altura de 10.45 metros. La distancia entre los ejes es de 4.29 m. La cornisa alcanza los 13.73 metros de altura.

La cella tiene 21.45 m de ancho por 51.48 m de largo. Se divide en dos sectores independientes, hecho bastante inusual, a los cuales se accedía a través de un pórtico hexástilo con pequeñas antas. El sector oriental es el *prónaos* y el occidental el opistódomo. Las columnas de ambos son del orden dórico, pero ya no se hallan entre las antas, lo cual es una de las características testigos de la introducción del orden jónico en el Partenón. Estas columnas tienen un diámetro en la base de 1.716 m.

En el interior del *naos* existen dos filas de columnas dóricas que corren paralelas a los lados de los muros, dividiendo el *naos* en tres naves. Al fin de evitar una sensación de amontonamiento en el interior, se decidió dividir estas columnatas en dos pisos. La estancia tras el opistódomo es el Partenón en sentido más estricto, pues era la sala de las vírgenes y albergaba el tesoro. Tiene cuatro columnas jónicas. Se ve todavía un friso jónico tallado en bajorrelieve que decora el área sobre el opistódomo y el *prónaos*, así como la parte superior de las paredes laterales de la cella.



FIG\_6.- Las dimensiones se han deducido en referencia el módulo sugerido por Ernst Berger<sup>35</sup> y complementado con las secciones del libro de R.F. RHODES,<sup>36</sup> Las vistas aéreas se han tomado de Google Earth.

<sup>35</sup> STIERLIN, H., *Grecia de Micenas al Partenón*, Taschen, 2001, págs.186, 190, 192.

<sup>36</sup> RHODES, R.F., *Architecture and meaning on the Athenian Acropolis*, Cambridge University Press, 1995.

## MITOS Y TRADICIONES EN EL PARTENÓN

El requerimiento esencial del *naos* del Partenón era el de albergar, proteger y mostrar la imagen del culto. "Pericles concibió consagrar el gran templo de Atenas a la gloria de la diosa Atenea Poliás, protectora de Atenas, exaltando a la Partenos, virgen venerable que había salvado a los helenos."<sup>37</sup>

Ésta estatua constituye la parte más importante de todo el proyecto y fue concebida como un regalo a Atenea. Fidias y Pericles tenían en mente la más grande y ricamente elaborada imagen de la diosa jamás antes creada. Una estatua criselefantina tan alta (10 m) que no podría ser colocada en ningún otro sitio. Su hogar fue diseñado alrededor de este ídolo. Fidias amplió la anchura del *naos* para poder mostrar la magnífica estatua, la cual se ubicó, para ser vista sin obstrucción, sobre el eje longitudinal central del templo. Por primera vez en la arquitectura griega, las columnas a los lados de la estatua pasaban por detrás de ésta, su propósito es puramente decorativo: formar un telón para la estatua.



FIG.\_7.- Reconstrucción del interior del *naos* del Partenón. La primera imagen muestra a la estatua vista de frente con el telón de columnas detrás y la segunda imagen muestra a la estatua mirando hacia el oriente. (Nótese la belleza de su vestido y tocado hechos de oro y el cuerpo de marfil, sostiene en su mano a Nike)

El Partenón es reconocido como la culminación artística del orden dórico. Culminación en el sentido de que fue un edificio de transición, vital en la historia de la arquitectura griega. Con la integración del orden jónico, cambió el significado de las tradiciones arquitectónicas y religiosas. "...Los arquitectos del Partenón capitalizaron las cualidades procesionales y asociaciones del orden jónico para enfatizar el tema tradicional de la Acrópolis al centro de su edificio."<sup>38</sup>

El edificio es el ejemplo supremo de la utilización de los refinamientos arquitectónicos cuyo propósito principal es la creación de efectos ópticos y la corrección de las distorsiones. Estos refinamientos están ligados con teorías contemporáneas de óptica y de ideales geométricos establecidos. Representan un elaborado esfuerzo en la expresión de belleza a través de los números y la geometría.<sup>39</sup>

<sup>37</sup> STIERLIN, H., *Grecia de Micenas al Partenón*, Taschen, 2001, pág.183.

<sup>38</sup> RHODES, R.F., *Architecture and meaning on the Athenian Acropolis*, Cambridge University Press, 1995, pág.75.

<sup>39</sup> *Ibid.*, págs. 76-78.

## EL PROGRAMA ESCULTÓRICO Y LA ORIENTACIÓN

El Partenón fue un edificio único por la riqueza de su decoración. La cantidad de esculturas que adornaban su exterior no tenía paralelo en el mundo griego. El aspecto más interesante es que refleja la materialización de los mitos y las tradiciones griegas a través de la orientación, enfatizando la sacralidad de la dirección Este.

### Las metopas

Eran un total de 92 y se decoraron con esculturas talladas como alegorías míticas de las guerras médicas. Muestran representaciones de batallas heroicas de la mitología griega e historia antigua. En el Oeste, los griegos contra las amazonas; en el Sur, los centauros contra los lapitas; en el Norte, los troyanos. En las metopas en el Este se representan los dioses en su batalla contra los gigantes.

### Frontón Oeste

Corresponde a la parte posterior del templo y es el primero en observarse al acercarse al Partenón. Muestra la competición entre Poseidón y Atenea por el patronazgo de la ciudad, que según la mitología griega tuvo lugar en la Acrópolis.



FIG.\_8.- Fotografía de la reconstrucción del frontón Oeste del Museo de la Acrópolis. Atenas.

### Frontón Este

Aquí el diseño en relación con la orientación y sus mitos resulta explícito. No es de sorprender que en este frontón se encuentren únicamente los Dioses presenciando el nacimiento de Atenea. El paralelismo hacia la orientación solar radica en que esta representación será bañada con la luz del Sol del amanecer: al igual que Atenea, el Sol nace en esa dirección durante las fechas que se supone fue el nacimiento de la diosa, un día de verano. En el centro se encuentra Zeus como Dios principal. Se representan también las fuerzas universales: el día y la noche, simbolizados por los carros de Helios (el Sol) y Selene (la Luna) en las esquinas del frontón.

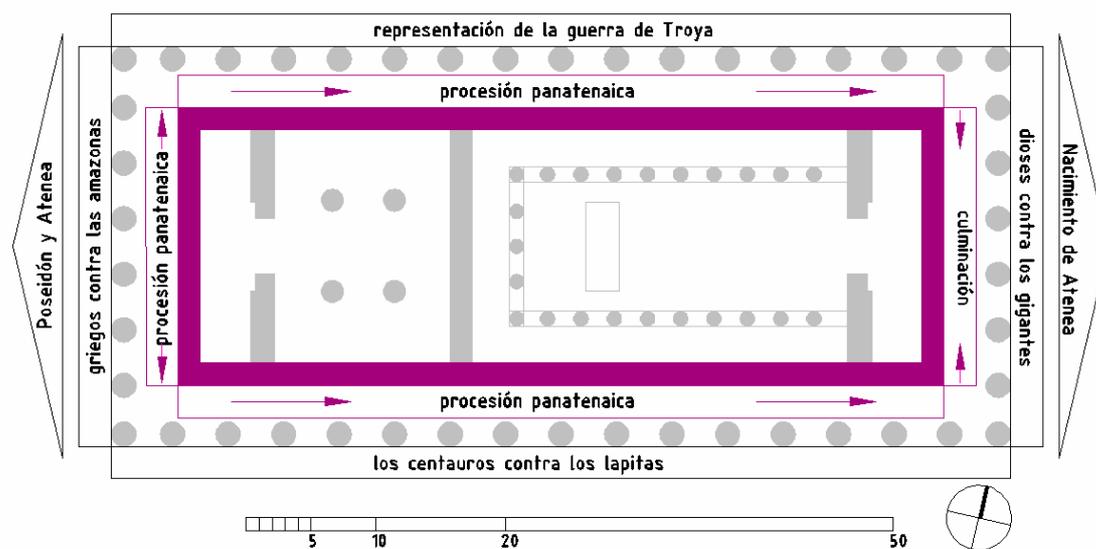
Los caballos de Helios se encuentran en la esquina Sur del frontón. Representados en vigorosa actividad y llenos de energía, como si estuvieran a punto de sobrepasar el horizonte para dejar atrás la luz creadora de la vida. Los caballos de Selene se encuentran en la esquina Norte y hundiéndose en el horizonte. Son representados con ojos saltones, las bocas abiertas y los músculos tensos, haciéndolos parecer fatigados, pues se encuentran al final de su largo viaje a través del cielo nocturno.



FIG.\_9.- Fotografía de la reconstrucción del frontón Este del Museo de la Acrópolis. Atenas.

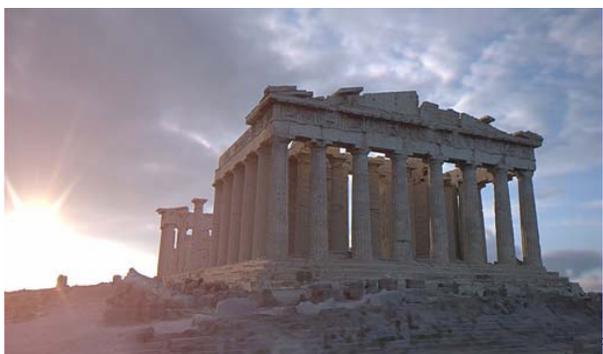
## El friso

El friso jónico narra la procesión de la Gran Panatenea que se realizaba junto a él. Se trata de una procesión esculpida que acompañaba la ruta de una procesión real, para la celebración de la victoria sobre los persas. "Pericles, conciente de la necesidad de exaltar una sólida entidad griega en torno a la divinidad salvadora que representaba Atenea Poliás, la Partenos victoriosa, decidió decorar el Partenón con un friso que sería netamente superior a la obra de Persépolis...".<sup>40</sup> El programa escultórico parte del Oeste y culmina en el Este, justo en el eje del frente de la perístasis, donde se veía el ritual del peplo flanqueado por los dioses más importantes: Zeus y su esposa Hera y la propia Atenea con Hefaiostos a la derecha.

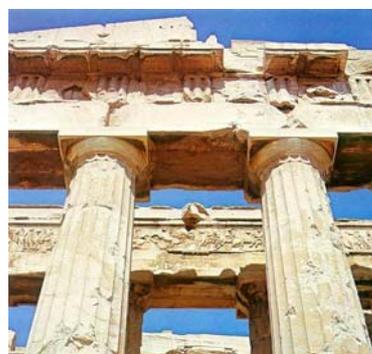


FIG\_10.- Programa escultórico, el friso jónico en color púrpura. Se ha girado el Norte para facilitar la descripción.

La procesión es articulada arquitectónicamente con un grado de cálculo nunca antes visto. La ornamentación del friso está diseñada en función de cómo el visitante se acercaría al edificio: el visitante vería primero el Partenón desde la esquina Noroeste; luego descubriría todo el lado occidental; caminaría entonces por el lado Norte, hasta la parte frontal del templo.



FIG\_11- Vista del Partenón desde el Noroeste



FIG\_12.-Fotografía de la fachada Oeste del Partenón, se aprecia detrás el friso jónico

<sup>40</sup> STIERLIN, H., *Grecia de Micenas al Partenón*, Taschen, 2001, pág.196.

## LOS MODELOS

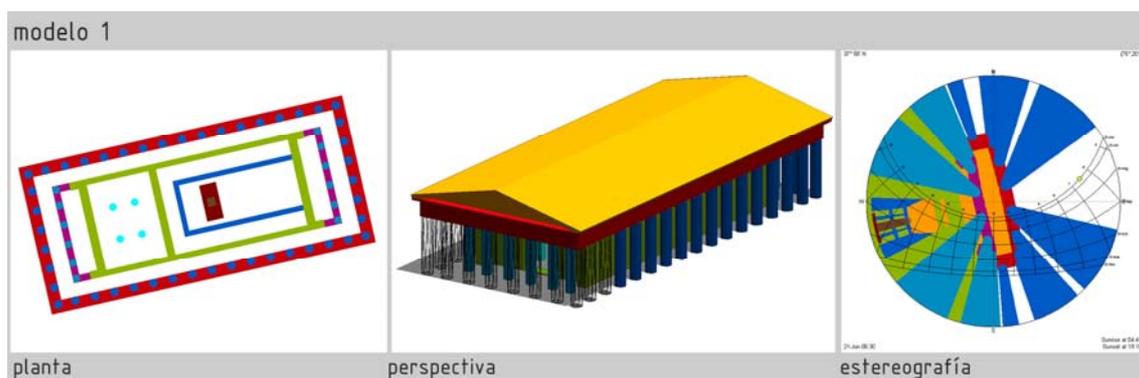
El Partenón es un edificio casi hermético, el *naos* y la sala de las vírgenes tienen solamente una abertura al exterior, la entrada, la cual está protegida por la perístasis. El *naos* está orientado hacia el Este (13° hacia el Norte a partir del Este), mientras que la sala de las vírgenes está orientada hacia el Oeste (13° hacia el Sur). Tienen orientaciones completamente opuestas, determinadas por sus tradiciones religiosas. El objetivo fundamental de este estudio es comprobar y descubrir el diseño solar simbólico del edificio. Por lo tanto se irán retomando ideas basadas en los mitos que podremos comprobar utilizando las herramientas del programa. Para este análisis se han desarrollado dos modelos diferentes.

### MODELO 1

Se construyó en base a los planos mostrados anteriormente. Se ha asignado el mismo código de color y se ha simplificado la geometría de los elementos. Las columnas prescinden de su capitel y se ha sustituido su forma por octágonos. El cuerpo de la estatua se ha sustituido por un prisma rectangular, así como la cabeza, y su tocado se ha simplificado. El nivel de piso se considera el del *prónaos* y del opistódomo. En este modelo se realizarán las estereografías y el estudio de factor de cielo de todo el edificio.

Este modelo se compone de:

- Los muros de la cella en color verde.
- Las columnas del *prónaos* y opistódomo en color azul<sup>41</sup>
- El entablamento que descansa sobre el *prónaos* y opistódomo en color violeta.
- El entablamento de la perístasis en color rojo.
- La cubierta a dos aguas así como los frontones en color naranja.
- La columnata dórica del interior del *naos* en color azul.
- La base de la estatua en color rojo quemado.
- La estatua en color marrón.
- Las columnas jónicas de la sala de las vírgenes en color cyan.



FIG\_13.- En la vista de la perspectiva se aprecia la fachada Oeste del edificio, cuyas columnas se muestran de manera esquemática para permitir ver las del opistódomo. La estereografía fue tomada en la zona Este de la perístasis. <sup>xiii</sup>

<sup>41</sup> las columnas del peristilo y del *naos* tienen el mismo tono, las del opistódomo y del *prónaos* poseen uno más claro.

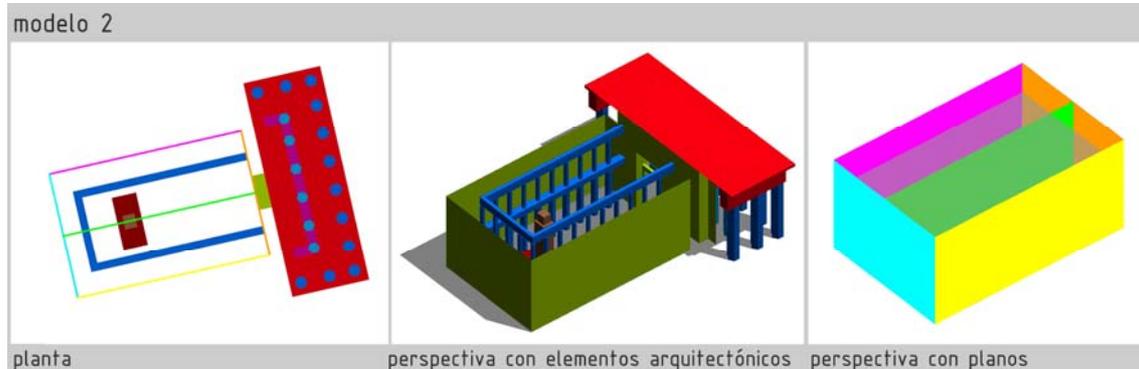
## MODELO 2

El espacio principal del Partenón, al igual que cualquier templo griego, es el *naos*. Por lo cual en este modelo se ha recreado este interior utilizando sólo los elementos del edificio de la parte oriental, simplificándolos aún más. Las columnas ahora son hexágonos y la estatua se ha simplificado a un prisma rectangular con su cabeza cúbica.

Los elementos incluidos en este modelo son:

- Las paredes del *naos*.
- Las columnas del *prónaos*.
- El entablamento que descansa sobre el *prónaos* y el opistódomo.
- El entablamento de la perístasis de la fachada Este.
- El cielo raso del techo.
- La columnata dórica del interior del *naos*.
- La base de la estatua.
- La estatua.

Sería más apropiado decir que este modelo se compone de planos, los cuales se han colocado para realizar los estudios de factor de cielo y de flujo solar. Estos planos se mostrarán en diferentes vistas en los diagramas, por lo que será más importante describir su ubicación. Se ha colocado un plano vertical en cada una de las paredes interiores, uno en el eje central del edificio, un plano horizontal a nivel de piso y otro a la altura de la cara de la estatua (9 m).



FIG\_14.- En la vista de planta se ha designado un color para la identificación de los planos verticales. Los planos horizontales ocupan el espacio delimitado por las paredes interiores. Se aprecia solamente el plano ubicado a 9 metros en color gris y con opacidad.<sup>xiv</sup>

## **ESTUDIO DE SOLEAMIENTO**

Se analizarán doce puntos estratégicos del edificio. Estos puntos y sus respectivas estereografías se han colocado en tres diagramas diferentes. El primer diagrama corresponde al estudio de la perístasis, a fin de conocer la entrada directa del Sol en este espacio semiabierto. Se ha situado el captor en el eje transversal y longitudinal del edificio en las cuatro direcciones más importantes.

### **1.- Perístasis Norte**

Los rayos del Sol provenientes del Este penetran durante las primeras horas de la mañana de verano y primavera; mientras que desde el Oeste serán los rayos del atardecer de otoño e invierno. Los rayos provenientes del oriente penetran del 14 de abril al 28 de mayo, y a partir del 15 de julio al 28 de agosto, desde el amanecer y hasta las 6:30. Los rayos provenientes del Oeste entran del 24 de febrero al 26 de marzo y del 16 de septiembre al 16 de octubre, en un rango horario entre las 16:40 y las 17:30. Durante los solsticios estos fenómenos no se presentan, durante los equinoccios desde las 16:40 y, aproximadamente, hasta las 16:50.

### **2.- Perístasis Sur**

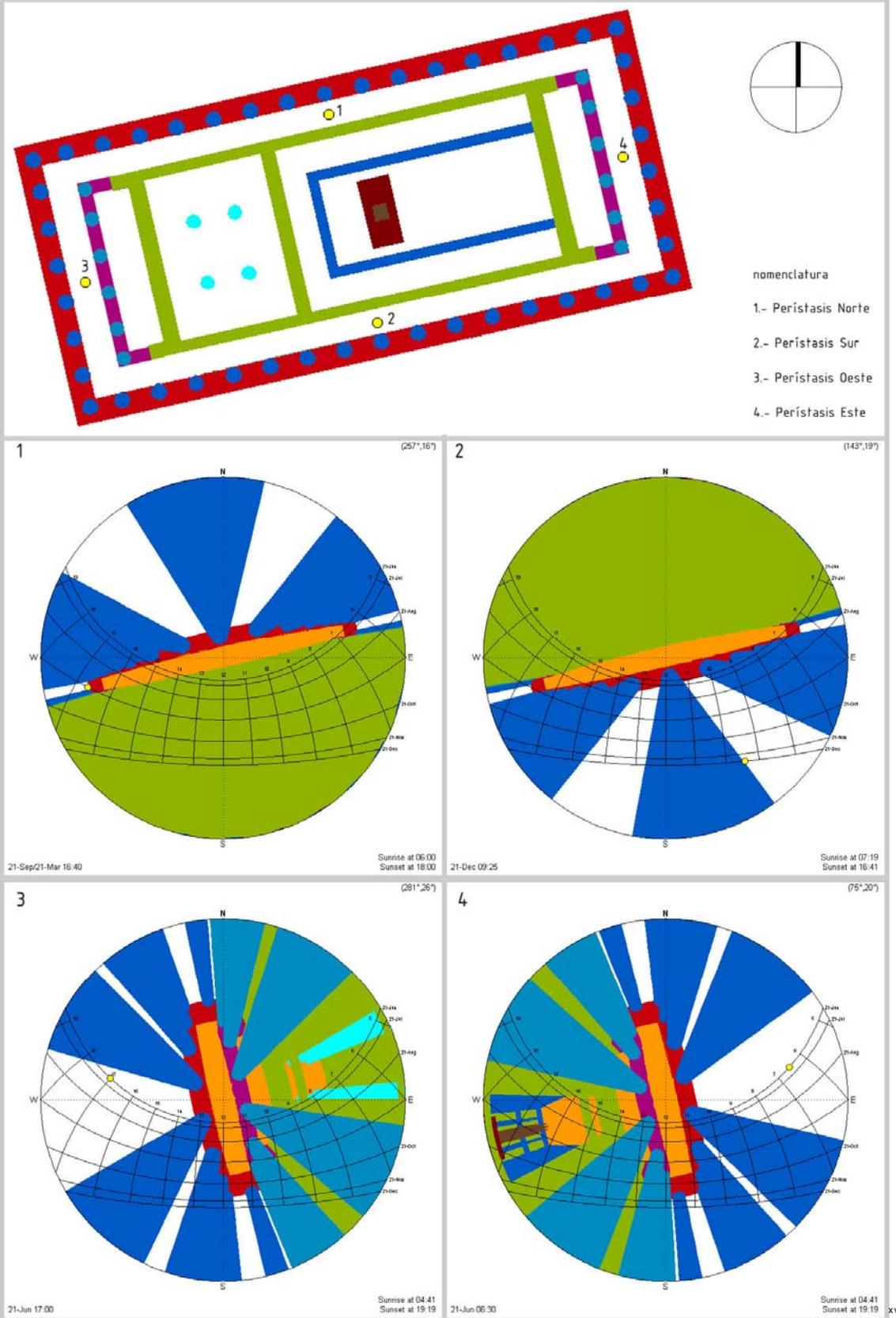
Esta fachada presenta mayor soleamiento que las otras, aunque las columnas y el entablamento bloquean gran parte de los rayos, dejándolos penetrar solamente por cuatro intercolumnios. Los intercolumnios ubicados a los extremos son exactamente iguales a los anteriormente descritos, y coinciden exactamente a los de la fachada Norte. En el segundo intercolumnio el Sol penetra durante casi todo el año, excepto el periodo entre el 15 de mayo y el 28 de julio, alrededor de las 12:20 y 14:40 hrs. El 21 de diciembre el Sol penetra a partir de las 12:40 y hasta las 14:40. En el tercer intercolumnio el Sol penetra alrededor de las 7:10 y hasta las 11:10 durante casi todo el año, mientras que cerca del solsticio de verano el entablamento evita que esto suceda. El 21 de diciembre el Sol penetra desde las 7:19 y hasta las 9:25.

### **3.- Perístasis Oeste**

Por la parte central del edificio los rayos de la tarde alcanzarán este punto durante todo el año, incluso el 21 de diciembre en el ocaso, 16:41 horas. En el intercolumnio siguiente los rayos penetran durante todo el año, excepto desde el 14 de abril hasta el 28 de agosto. El 21 de diciembre los rayos entran a las 10:40, entre las 11:15 y las 11:40, y entre las 13:15 y las 13:40. El 21 de junio desde las 13:30 hasta las 17:40 y en los equinoccios desde las 15:05 hasta las 18:00 horas.

### **4.- Perístasis Este**

Las columnas bloquean gran parte de los rayos de la mañana, dejándolos pasar por la parte central, desde el 25 de febrero hasta el 15 de octubre, a partir del amanecer y cada vez durante más tiempo conforme se acerque al solsticio de verano, cuando los rayos alcanzan penetrar hasta las 9:30. En el segundo intercolumnio el Sol penetra durante todo el año, excepto los días entre el 21 de abril y el 21 de agosto. Los rayos provenientes de la parte Sur alcanzan penetrar desde el 7 de noviembre hasta el 2 de febrero, entre las 10:45 y las 11:30. El 21 de diciembre, a partir de las 8:40 hasta las 9:05, y de las 10:40 hasta las 11:25. El 21 junio, desde el amanecer (4:41) hasta las 9:30. En los equinoccios, desde el amanecer hasta las 7:20, y de las 9:50 hasta las 10:10.



FIG\_15.- Diagrama de la perístasis, las estereografías se han tomado en diferentes fechas y a diferentes horas.

El siguiente diagrama se refiere al interior de la cella, se han colocado en el eje longitudinal cuatro captosres: uno en el umbral de la entrada de la sala de las vírgenes, uno en la pared posterior de la misma, uno en el umbral de la entrada del *naos* y otro justo donde comienza la base de la estatua.

#### **5.- Entrada sala de las vírgenes**

Orientada al Oeste, la protección principal la brindan las columnas, tanto del opistódomo como de la perístasis. El techo y los entablamentos proporcionan una protección durante los meses comprendidos entre el 1º de marzo y el 1º de octubre. En el intercolumnio superior los rayos penetran del 21 de mayo al 21 de julio alrededor de las 18:00 y hasta las 18:20 horas. En el siguiente intercolumnio del 6 de mayo al 6 de agosto un breve intervalo entre las 17:00 y las 17:45. Los rayos penetran por el centro a partir del 12 de marzo y hasta el 7 de mayo, y del 5 de agosto hasta el 30 de septiembre, alrededor de las 15:30 y hasta las 17:05. En el intercolumnio siguiente al del centro los rayos penetran del 2 de febrero al 21 de marzo y del 21 de septiembre al 7 de noviembre, entre las 15:00 y las 16:00 horas. En la parte inferior penetran del 7 de octubre al 5 de marzo.

#### **6.-Sala de las vírgenes**

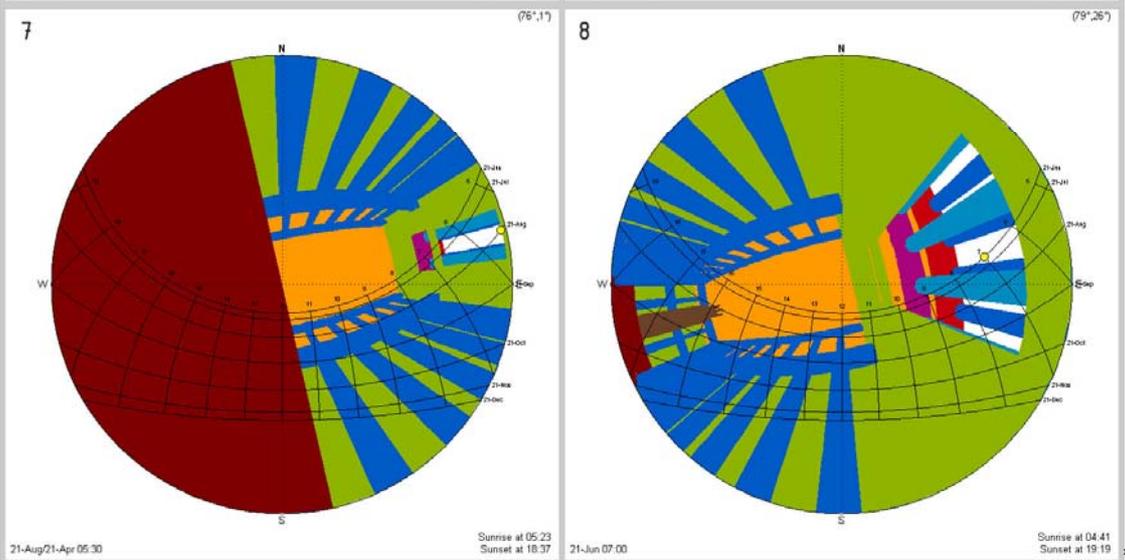
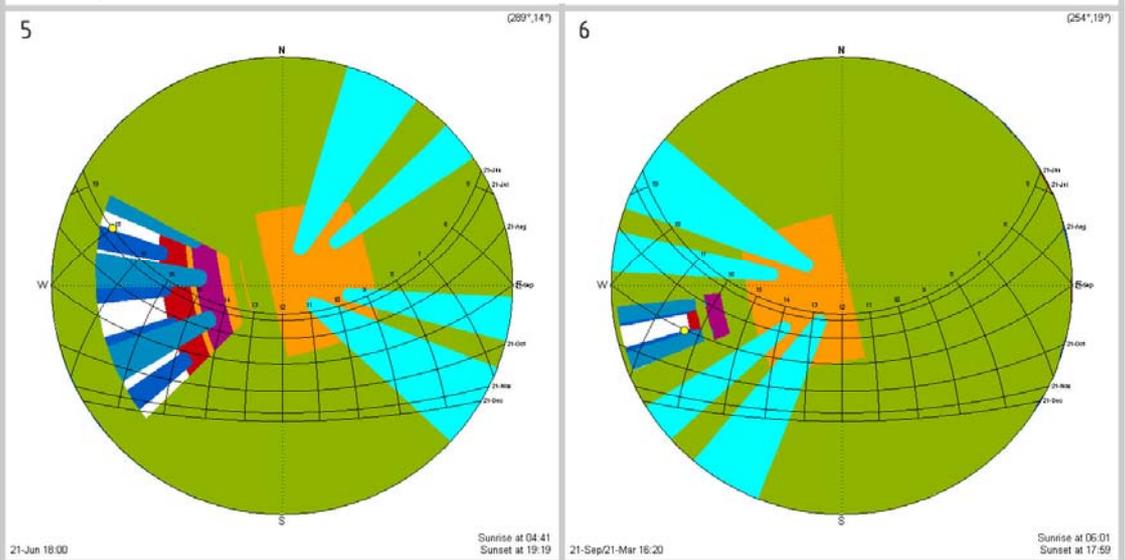
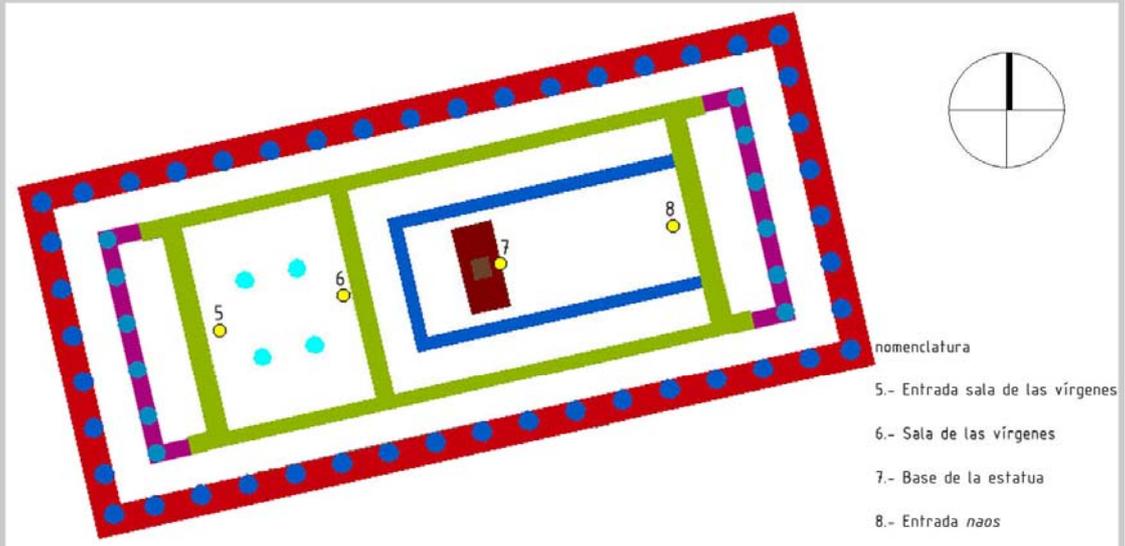
Las columnas del opistódomo y de la perístasis, así como los entablamentos, bloquean gran parte de los rayos solares, dejándolos pasar únicamente del 19 de febrero al 4 de abril, y del 7 de septiembre al 21 de octubre, entre las 16:20 y las 17:15. Durante los equinoccios, a partir de las 16:15 y hasta las 17:00. En ninguno de los solsticios el Sol penetrará en esta zona.

#### **7.-Base de la estatua**

La entrada de Sol hasta este punto tiene lugar del 14 de abril al 28 de agosto, alrededor de las 5:30 y hasta las 6:40. El 18 de agosto y el 24 de abril dura más tiempo, comenzando a las 5:30 y terminando a las 6:00, y esta última es la hora más constante dentro del periodo. El 21 de junio los rayos entran por un breve instante a las 6:23.

#### **8.- Entrada del *naos***

En este punto la protección que brindan las columnas de la perístasis y del *prónaos* es evidente, ya que evitan que gran parte de los rayos del amanecer penetren por la entrada. Los rayos provenientes del centro penetran a partir del 28 de abril y hasta el 14 de agosto, a las 6:15, siendo esta hora la más constante. El día que la penetración de los rayos solares dura más es el 21 de junio a partir de las 6:00 y hasta las 7:20. En el segundo intercolumnio penetran del 21 de marzo al 1º de mayo y del 11 de agosto al 21 de septiembre, entre las 7 y las 8 de la mañana, aproximadamente. En el tercer intercolumnio, a partir del 28 de febrero hasta el 10 abril, y del 1º septiembre al 12 de octubre, entre las 7:30 y las 8:20 horas.



FIG\_16.- Diagrama del interior de la celda, las estereografías se han tomado en diferentes fechas y a diferentes horas.

Se han colocado cuatro captores sobre el eje longitudinal del edificio, ubicando uno en el opistódomo, uno en el *prónaos* y dos en la base de la estatua, a diferentes alturas.

### **9.-Opistódomo**

Las columnas bloquean los rayos del Sol la gran parte del año, dejando sólo cuatro espacios por donde penetran directamente. El Intercolunio superior delimita un periodo del 15 de abril al 27 de agosto entre las 17:10 y las 18:40 horas. El del centro permite el paso de los rayos del Sol a partir del 11 de febrero y hasta el 29 de octubre, entre las 14:40 y las 17:55. Los rayos provenientes del Sur son bloqueados casi totalmente, permitiendo las columnas su paso sólo entre las fechas del 10 de noviembre y el 30 de enero desde las 11:15 hasta las 11:40. El 21 de junio, de las 14:55 hasta las 15:55, y nuevamente de las 17:00 hasta las 18:00 horas. El 21 de diciembre, entre las 11:20 y las 11:40 solamente. En los equinoccios, a partir de las 16:00 y hasta las 18:00.

### **10.-Prónaos**

En el *prónaos* las columnas delimitan un periodo de tiempo inferior de penetración de los rayos y, aunque existen pequeños espacios por los que dejan pasar rayos de luz, estos resultan ser casi instantáneos. Los rayos que entran por el centro del edificio corresponden a los de las primeras horas del amanecer, del intervalo comprendido entre el 3 de abril y el 8 de septiembre, alrededor de las 5:00 y hasta las 7:45. El 21 junio, a partir de las 5:30 hasta las 7:45. El intercolunio inferior permite la entrada del 4 de noviembre al 5 de febrero, alrededor de las 10:40 y hasta las 10:55. El 21 de diciembre, desde las 10:20 hasta las 11:05.

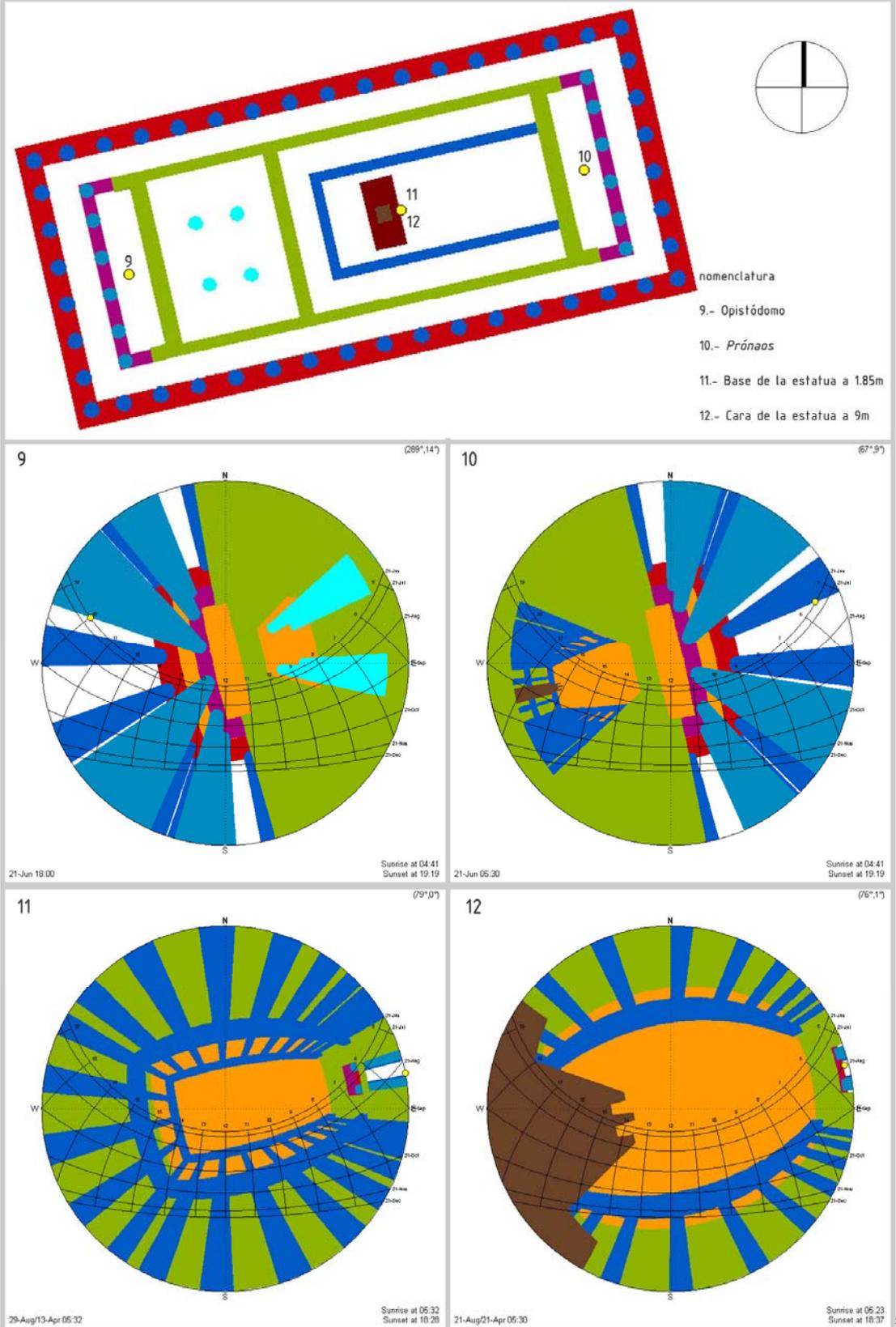
### **11.- Base de la estatua a 1.85 metros**

Para indagar si la ubicación de la estatua de Atenea corresponde a relación simbólica en relación con el Sol, se ha colocado el captor a la altura donde se apoya ésta. El Sol alcanza este punto a partir del 13 de abril hasta el 22 de mayo y del 21 de julio hasta el 29 de agosto, siendo el último periodo el más importante, ya que tiene lugar en verano que es cuando se supone fue el nacimiento de la diosa. Esto sucede entre las 5:23 y las 6:20 horas. Dentro de este periodo la hora más constante es a las 6:00.

### **12.- Cara de la estatua a 9 metros.**

Se ha situado el captor para saber si la cara era alcanzada por los rayos de Sol. En este modelo se ha tenido que reducir la geometría de la estatua, pues el modelo anterior dificultaba los cálculos en el programa, por lo cual la figura aquí utilizada no corresponde exactamente a cómo era la estatua en la realidad. Las fechas que se han analizado con más detenimiento son las de verano, que es cuando se celebraba la Gran Panatenea y el nacimiento de la diosa.

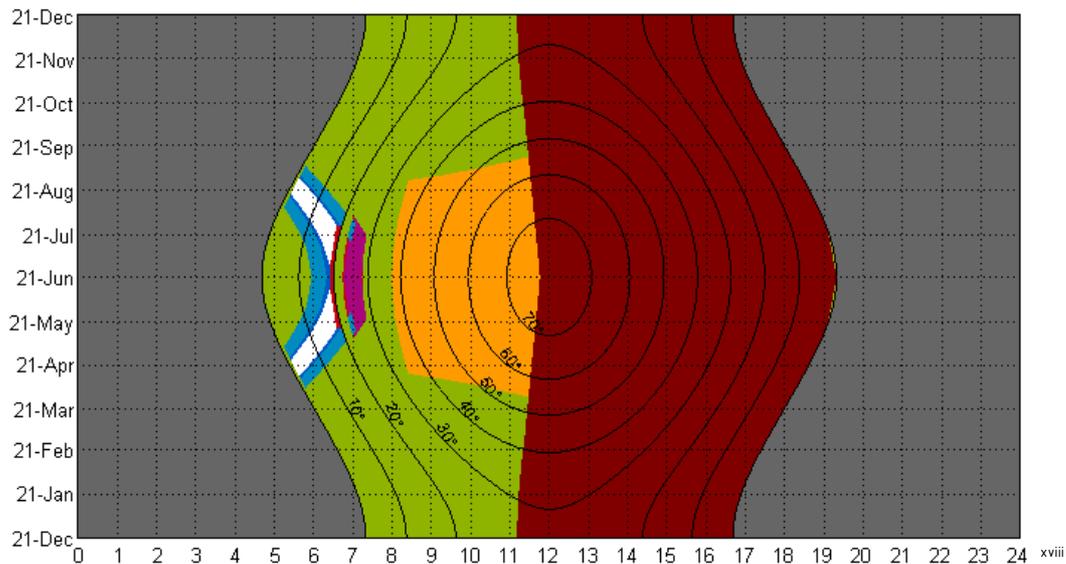
La estereografía nos muestra que efectivamente los rayos del Sol alcanzaban este punto en los periodos comprendidos entre el 11 y el 24 de abril, y del 18 al 31 de agosto. Esto sucede durante las primeras horas del amanecer entre las 5:20 y 5:30 aproximadamente. Los días con mayor duración son el 21 de agosto y 21 de abril de las 5:23 hasta las 5:30. También se han relevado otras fechas en que esto sucede muy fugazmente, alrededor de los días 7 de mayo y 5 de agosto a las 5:10, así como el 8 de septiembre y el 19 de abril a las 5:47.



FIG\_17.- Diagrama del opisthódomo, el *prónaos*, y la estatua. Las estereografías se han tomado en diferentes fechas y a diferentes horas.

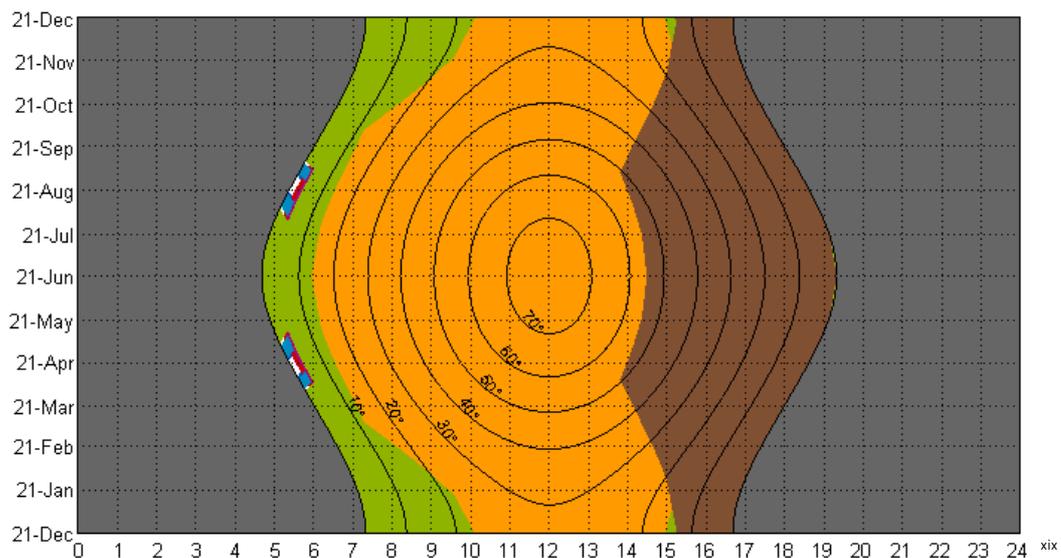
## PROYECCIÓN ISÓCRONA

Para complementar el estudio de asolamiento, se han tomado las proyecciones isócronas desde la base de la estatua, la primera a nivel de suelo y la segunda a la altura de la cara de la estatua. En ambas imágenes podemos observar que las columnas de la perístasis así como su entablamento y el friso jónico, bloquean gran parte de los rayos que serían capaces de penetrar. Las columnas bloquean los rayos de una altitud de 0 a 20°, mientras que los del entablamento y el friso jónico los rayos de 20° a 30° de altitud. Comprobamos que la penetración de radiación directa se da de abril a principios de septiembre, y penetrarán los rayos del amanecer inferiores a 20° de altitud. Estos rayos corresponden a los de las 5:20 y 6:40 (*grosso modo*).



FIG\_18.- Proyección isócrona tomada en el *naos* en la base de la estatua a nivel de suelo.

Los rayos que alcanzan la altura de la cara serán los primeros de la mañana de los días cercanos al 21 de abril y al 21 de agosto, pero, será solamente un breve instante pues tienen que tener una altitud menor a los 5°.



FIG\_19.- Proyección isócrona tomada en el *naos* en la cara de la estatua (a 9 metros de altura del suelo)

## CONCLUSIÓN

La orientación del Partenón está dictada por sus tradiciones religiosas. Quizá se ha desviado la orientación tradicional (Este) 13° hacia el Norte para permitir la entrada de los rayos solares del amanecer de verano y primavera. La función de la perístasis es de ensombrecer previamente el espacio que antecede la cella, disminuyendo el resplandor de la luz exterior. En este espacio se produce un juego de luces y sombras. La función del techo y de los entablamentos es el bloqueo de los rayos solares más verticales, pero son las columnas las que forman una barrera semitransparente que protege y sombrea este espacio semiabierto, pues son las únicas capaces de bloquear los rayos más bajos del Sol, característicos de las orientaciones Este y Oeste. La función de estas columnas así como su ubicación, son vitales sobretodo en estas fachadas.

La orientación del *naos*, así como las dimensiones de su entrada, están calculadas para permitir únicamente la entrada directa de los rayos de Sol en los meses de verano y primavera. Esta entrada se encuentra protegida por las columnas que le preceden, así como por el techo y los entablamentos, los cuales bloquean la entrada directa de luz durante gran parte del año.

Entonces se puede afirmar que la orientación del Partenón corresponde claramente a cuestiones simbólicas. Está orientado para recibir en el interior del *naos* los rayos del amanecer de verano y primavera. Los griegos quizá trataron de relacionar el edificio con la conmemoración del nacimiento de Atenea y la celebración de la Gran Panatenea, pues durante el verano hay varios días y horas en que el edificio se ve perfectamente orientado con la dirección de la salida del Sol.

Al contrario, la orientación de la sala de las vírgenes y del opistódomo no responde un requerimiento especial, pues su función no está ligada a cuestiones simbólicas. En realidad, se crearon estos espacios con el fin de armonizar la distribución de la planta. Los griegos estaban convencidos que se podía conseguir la belleza y armonía de sus templos a través de la simetría y de la correspondencia de los elementos, de tal forma que al *prónaos* le corresponde un espacio igual, el opistódomo, mientras que al *naos* le corresponde la sala de las vírgenes.

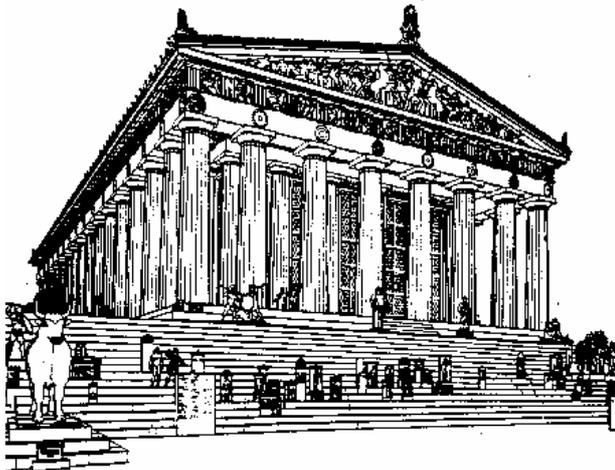
## FACTORES DE CIELO

La columnata exterior de los templos griegos forma un telón solidamente rítmico y a la vez "transparente" alrededor de la cella. La perístasis realzada a plena luz funciona como una pantalla entre el mundo exterior y el oscuro *naos* que alberga la imagen sagrada.

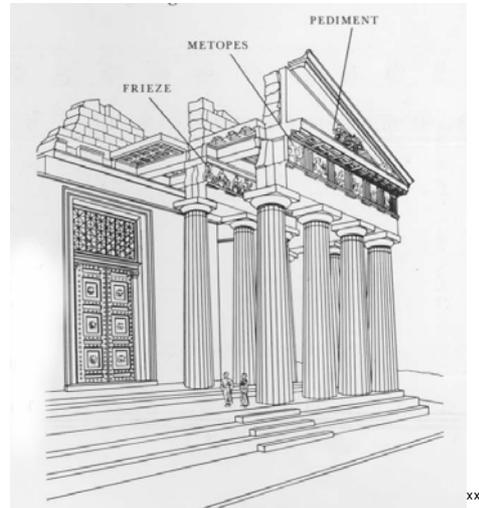
Nuevamente tendremos que remitirnos a las tradiciones arquitectónicas basadas en la religión. "A la luz de los textos y de los mitos antiguos parece necesario relacionar los primeros santuarios con los cultos agrarios, concretamente con el culto del árbol, del bosque sagrado y de la selva... había muchísimos bosques sagrados que cumplían la función de santuarios...En consecuencia, el santuario estaba ritualmente amojonado por los árboles del bosque sagrado ,los cuáles, hablando con rigor, formaban el períbolo, el cercado del terreno divino..."<sup>23</sup>

Estos árboles delimitaban el terreno divino, donde habitaba la deidad. De esta manera la columnata es el recuerdo, la evocación de este bosque y su función es la misma: ensombrecer el recinto habitado por el Dios.

Para comprobar dicha afirmación utilizaremos mapas de factores de cielo que nos indicarán el nivel de oscurecimiento del interior de la cella. En el opistódomo y en el *prónaos* existía un enrejado que ensombrecía aun más estos espacios (Ver FIG\_20). Las entradas al *naos* y a la sala de las vírgenes tenían grandes puertas que, cerradas, oscurecían completamente el interior (Ver FIG\_21).



FIG\_20.- Dibujo que reconstruye la vista Noroeste del Partenón.



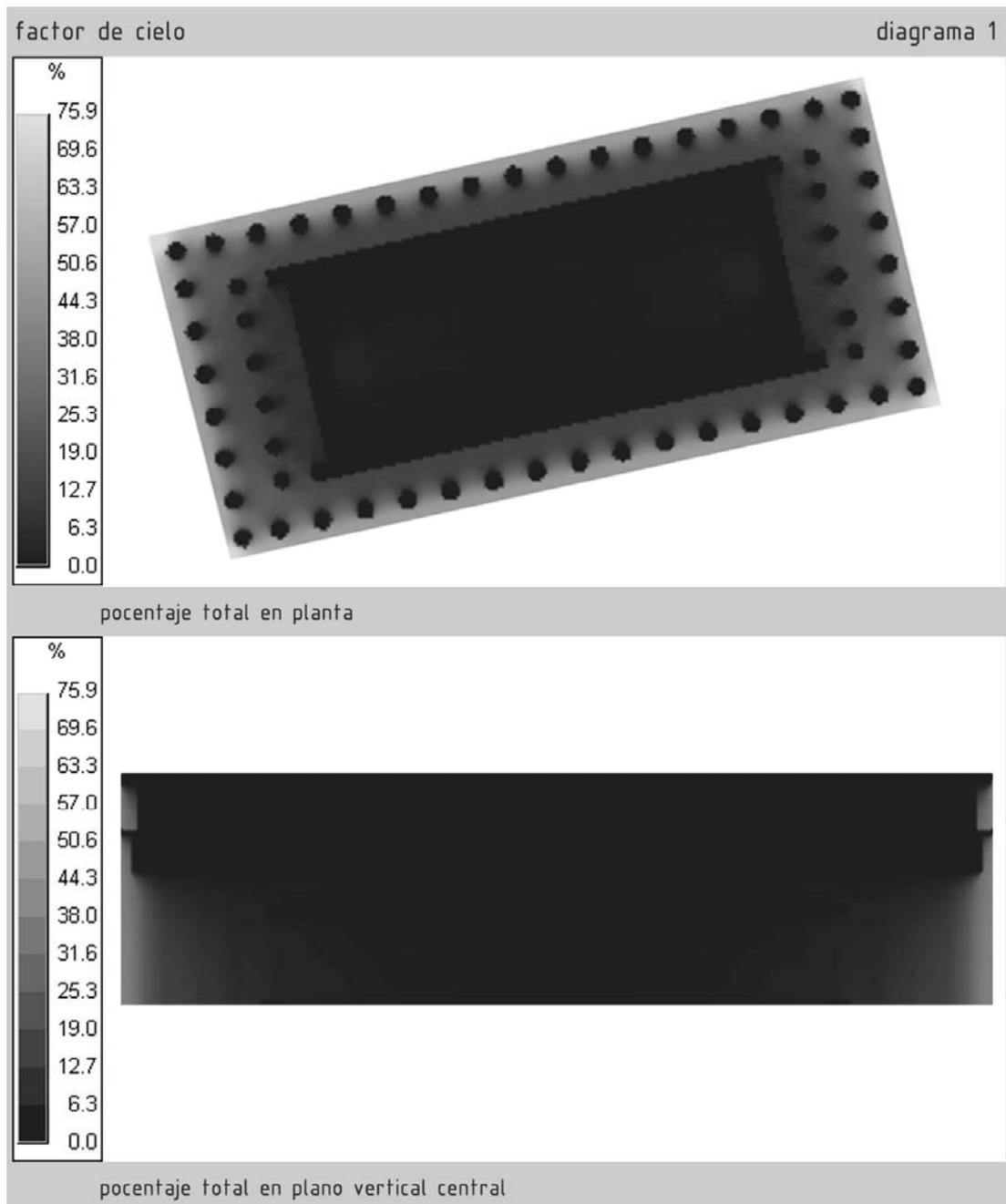
FIG\_21.- Dibujo en perspectiva con sección.

Para que el resultado fuera más claro, este análisis se ha realizado sin las puertas ni los enrejados, a fin de demostrar el efecto de protección que por si mismo brinda la perístasis en el interior de la cella.

<sup>23</sup> STIERLIN, H., *Grecia de Micenas al Partenón*, Taschen, 2001, págs.44-45.

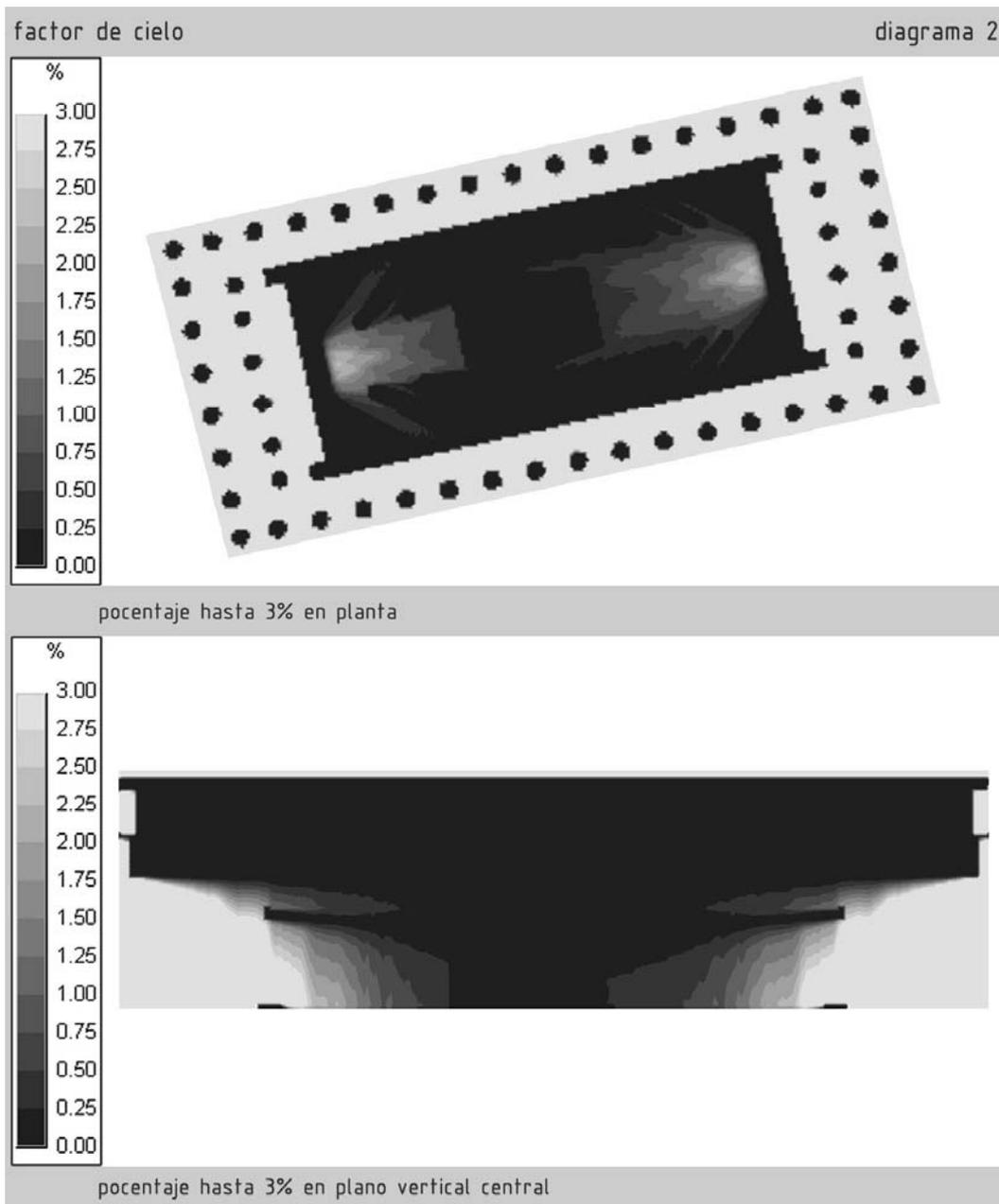
En este diagrama apreciamos que, en efecto, el interior de la celda del Partenón resulta estar muy oscurecido. El contraste con la perístasis es muy marcado, sobre todo si consideramos que en éste el valor máximo del factor cielo es de 75.9%, considerando las esquinas y el perímetro del estilóbato.

En el perístasis (espacio que existe entre la columnata de la perístasis y los muros de la celda, así como del *prónaos* y del opistódomo) disminuye este valor hasta el 12.7%. Es decir que en este pequeño espacio se aprecia una disminución del 63.2%. En el opistódomo y el *prónaos* se obtienen valores entre el 12.7% y el 6.3%. Lo que significa que en el interior de la celda los valores serán inferiores al orden de este último.



FIG\_22.- Diagrama de factor de cielo total en gradación del Partenón.

Se ha reducido el valor máximo al 3%, para conocer con más detalle los valores del factor cielo en el interior del edificio. El siguiente diagrama muestra los mismos planos pero en curvas de nivel, para facilitar la ubicación de los valores. El diagrama es contundente, nos muestra que tenemos un valor mayor al 3% en el exterior y justo en el umbral de ambas entradas, este valor rápidamente va disminuyendo conforme la profundidad. En la sala de las vírgenes se tienen entre 0.50 y 0.25% hasta la pared posterior; debido principalmente a que su profundidad, y entonces su distancia del acceso, es menor que la del *naos*. En esta sala y en el *naos* las partes más oscuras son las que lindan con las paredes perimetrales interiores, ya que la fuente de luz está focalizada en el centro. En el *naos*, tenemos estos mismos valores hasta la base de la estatua. Las paredes interiores son muy oscuras, entre el 0.25 y el 0%, debido a las sombras proyectadas por la columnata dórica y por la estatua.

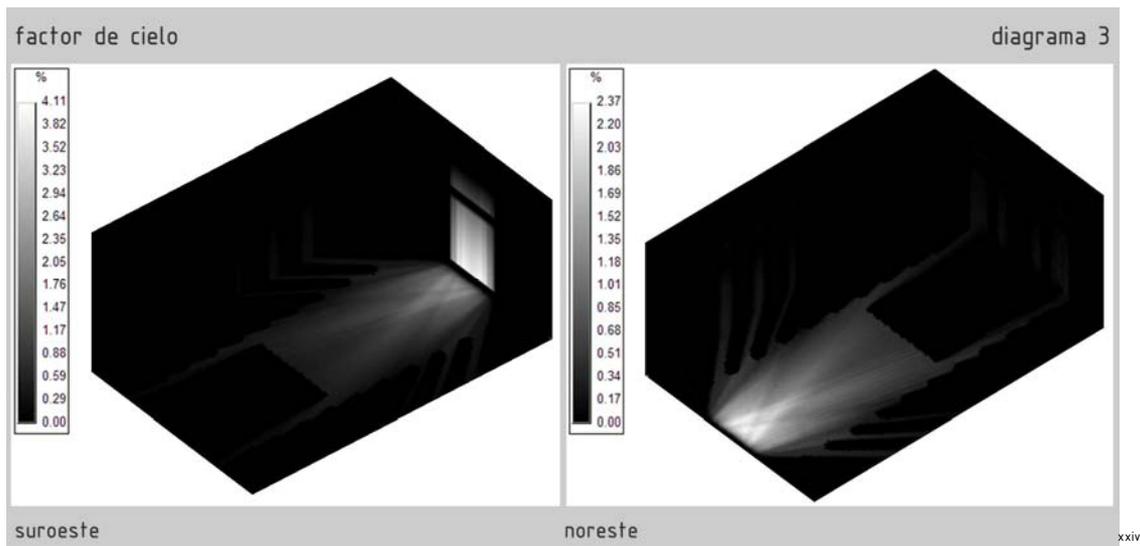


xxiii

FIG\_23.- Diagrama de factor de cielo en curvas de nivel hasta 3% del Partenón.

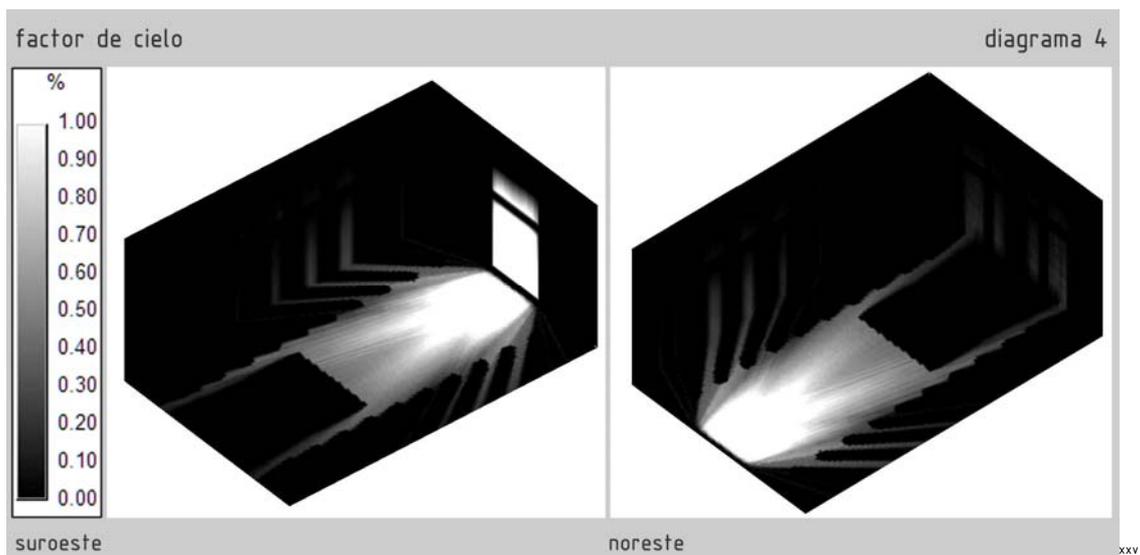
Focalizando ahora la atención en el *naos*, que es el que más interés tiene, para proceder con el análisis ha sido necesario colocar unos paneles en sus paredes y en el pavimento del interior. También se ha colocado un plano vertical justo en el eje longitudinal del edificio, que es donde se ubica la estatua.

En la primera imagen apreciamos que el valor máximo es el de 4.11% y está en el umbral de la puerta, sobre el plano vertical. Este valor se encuentra casi a ras de suelo y va disminuyendo hacia arriba, justo en la zona que sombrean los entablamentos. En el piso del *naos* este valor no supera los 2.37% y el valor que llega a la estatua es del orden de 0.85% a 0.51%.

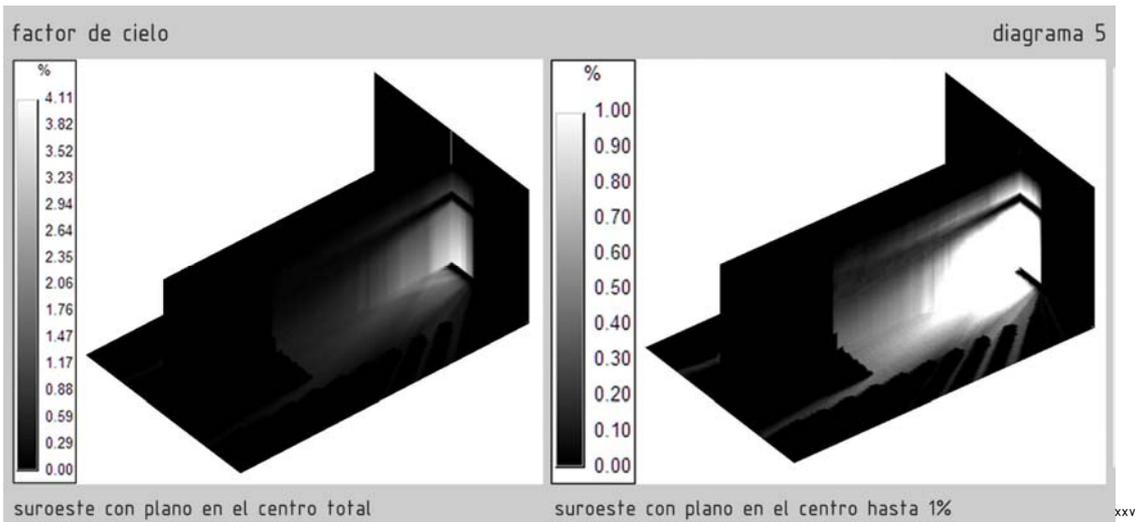


FIG\_24.- Diagrama de factor de cielo total en gradación del *naos*.

Para conocer los valores con una mayor aproximación se ha reducido el valor máximo al 1%. Éste valor no ocupa ni la mitad del *naos*. A nivel del suelo el valor que llega a la base de la estatua oscila entre 0.40% y 0.50%.

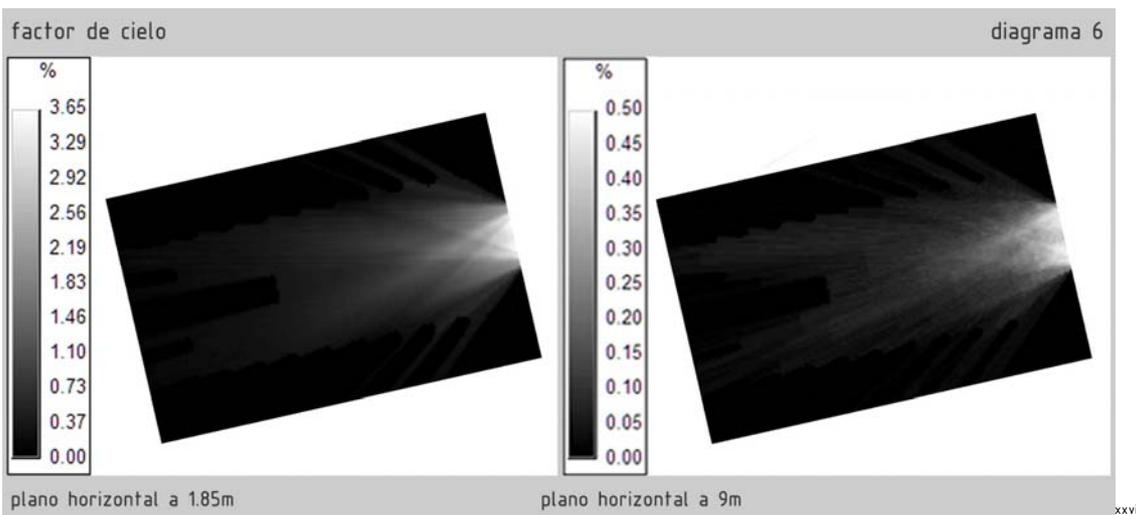


FIG\_25.- Diagrama de factor de cielo en gradación hasta 1% del *naos*.



FIG\_26.- Diagrama de factor de cielo total en plano vertical del *naos* y hasta 1%. La vista con el plano vertical central nos permite apreciar que el valor que llega a la estatua es muy bajo.

Sucesivamente se ha situado el plano horizontal a la altura donde se apoya la estatua (1.85 m), y a la altura donde empieza su cara (9,00 m). Apreciamos que el valor máximo ahora se sitúa en 3.65%. El valor que obtenemos a 9 metros es de tan sólo 0.50% en el umbral de la puerta.



FIG\_27.- Diagrama de factor de cielo total en planta, a 9m y en plano vertical del *naos*.

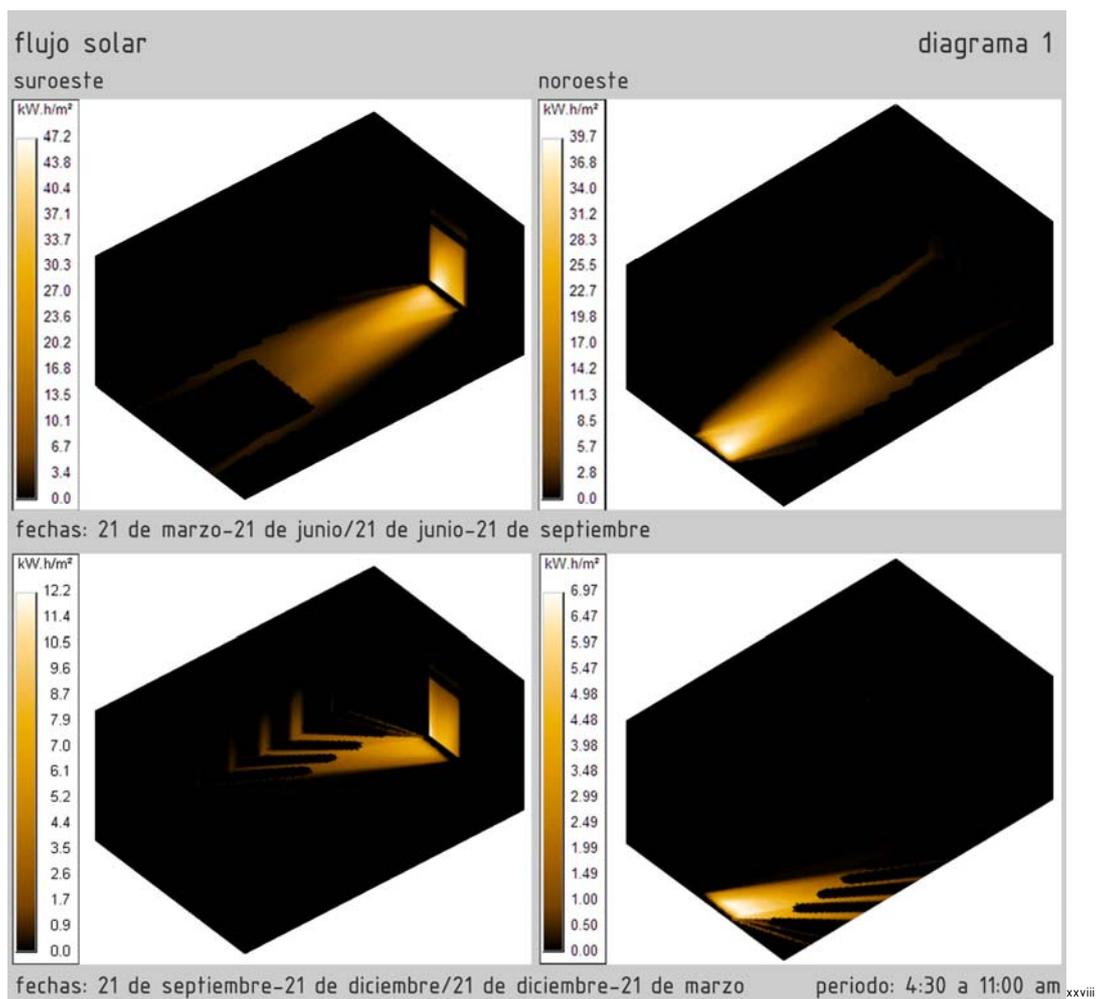
## CONCLUSIÓN

Comprobamos que el interior de la cella se encuentra muy oscurecido, tal como era el deseo de tener un *naos* ensombrecido para albergar a la diosa. Así la función del templo de recrear el bosque sagrado se cumple a la perfección. Esta función se logra gracias a que el *naos* solamente tiene una conexión con el exterior, es decir la entrada, pero también y sobretodo gracias a la protección de la perístasis. En el interior no se toman en cuenta criterios energéticos ni se busca lograr un confort específico, pues este no estaba destinado a albergar a los fieles. Lo que a los griegos les interesaba era tener un espacio casi hermético y separado del mundo exterior; de ahí que su comunicación se daba sólo cuando las puertas se abrían. Sin embargo aún y prescindiendo de ellas, el interior está completamente oscuro.

## FLUJO SOLAR

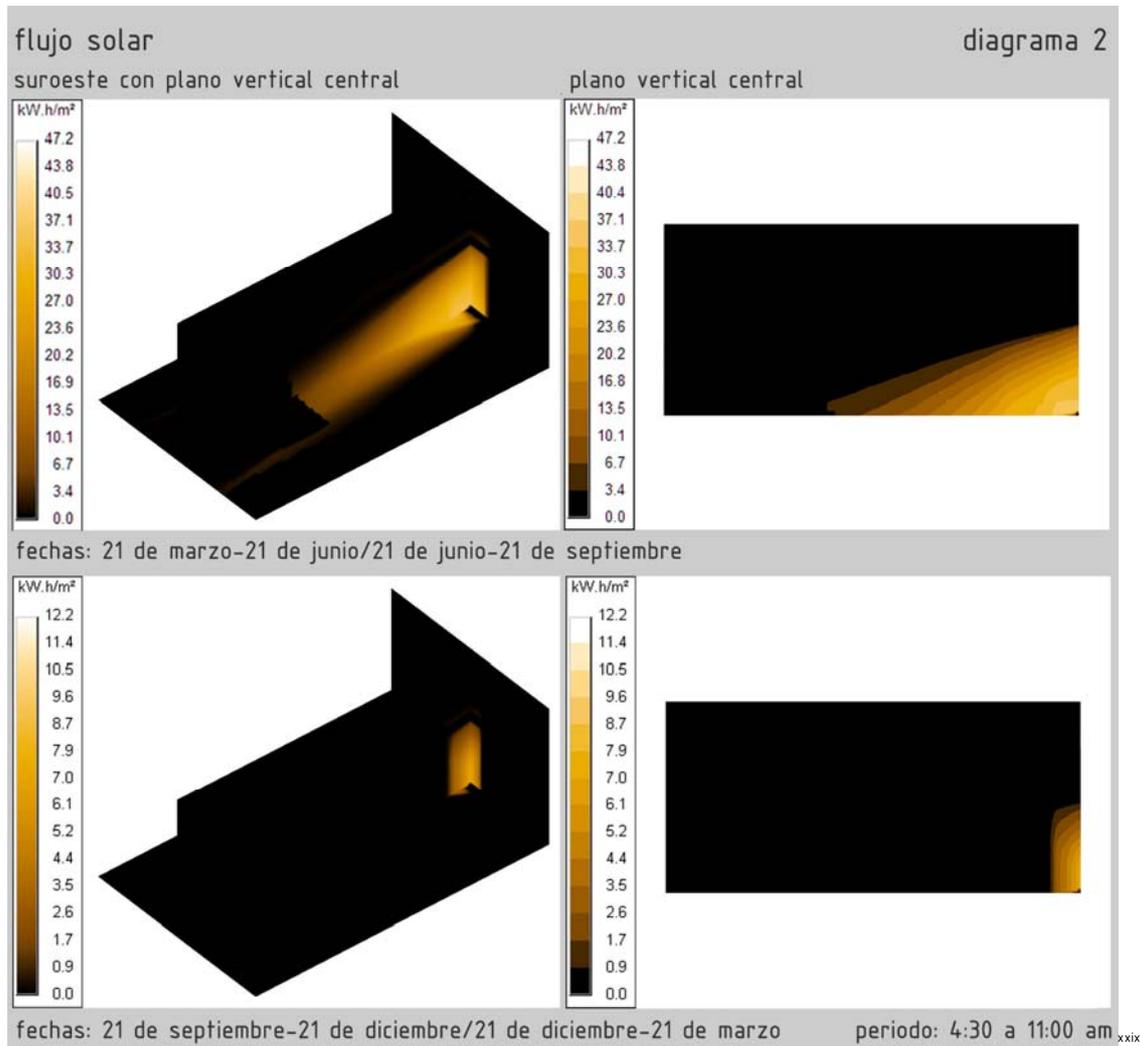
Se ha limitado el área de estudio al *naos*, pues nos interesaba visualizar la huella del haz de luz que se dibuja dentro de este espacio. Los valores de la ganancia energética están presente sólo son como referencia. Se ha dividido el año en cuatro periodos, correspondientes a las cuatro estaciones. Los valores obtenidos en la primavera y verano son casi idénticos, igualmente los valores de otoño e invierno (la variación es de 0.01%). Esto es debido al hecho que las horas de luz son exactamente iguales en los periodos que se corresponden, así como la posición del Sol.

Durante el verano y la primavera los rayos del Sol penetran al *naos* hasta una mayor profundidad, llegando hasta la pared posterior. La parte iluminada se encuentra predominantemente en el centro, pues la dirección de los rayos en este periodo coincide con la orientación del edificio. El haz de luz alcanza la base de la estatua. La ganancia mayor será en el umbral de la puerta, en la parte inferior. Mientras que en el suelo se ubica en un punto muy cercano a la entrada. Durante el invierno y el otoño la penetración solar es mucho menor, tanto en profundidad como en valor energético. Es la orientación del edificio la que provoca la disminución de este valor. Ahora el haz de luz alcanza la pared lateral, ya que la dirección de los rayos proviene del Sureste. Si el edificio tuviera esta orientación se tendría una mayor ganancia en invierno, que es cuando los rayos solares están más bajos.



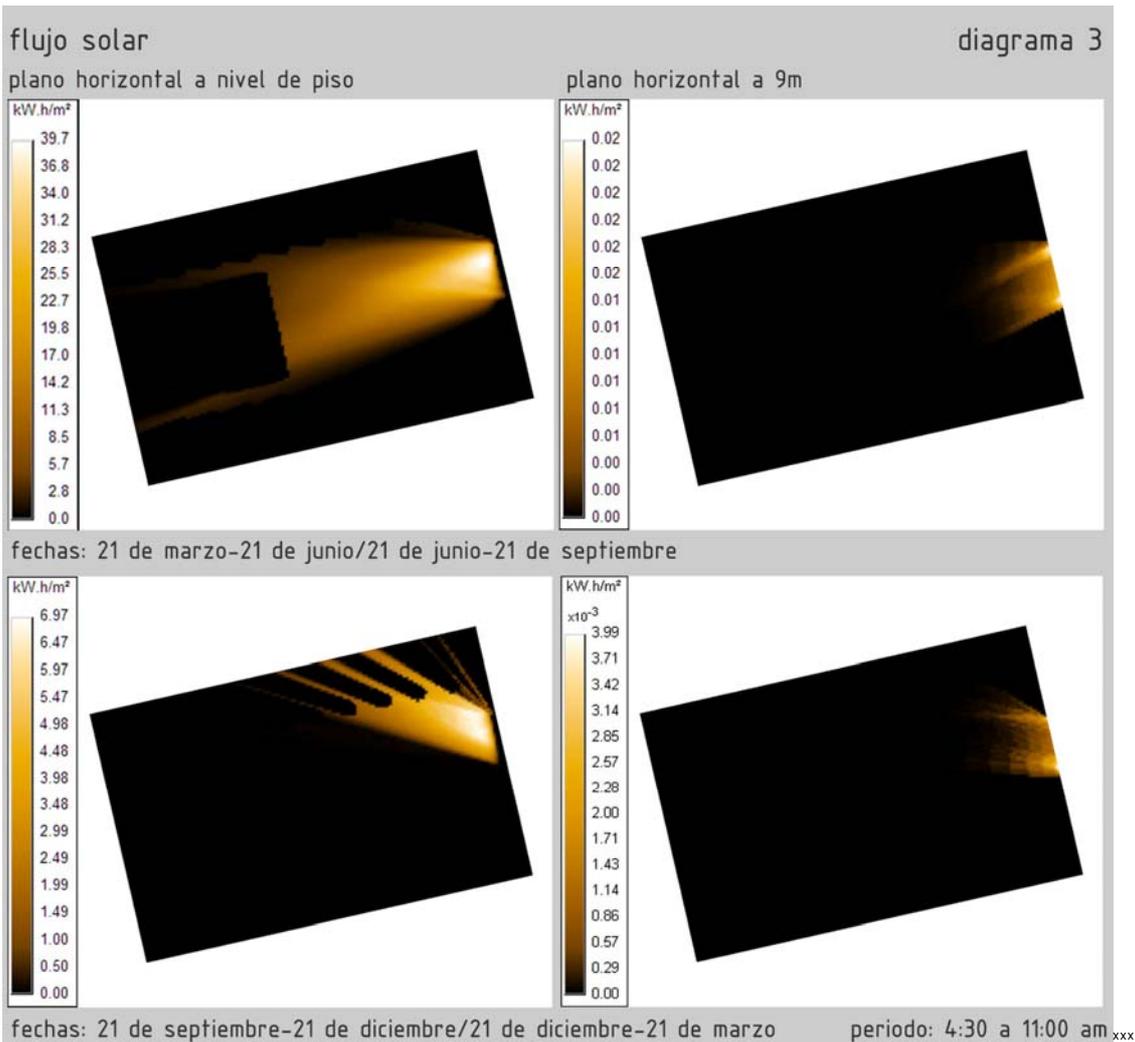
FIG\_28.- Diagrama de flujo solar total, por estaciones, del *naos*.

En la vista suroeste se aprecia el plano vertical central, el plano de la fachada Este y el plano ubicado a nivel del suelo, con la finalidad de apreciar la entrada del haz de luz en el naos. También aparece la imagen frontal del plano vertical central en curvas de nivel. En el plano vertical central se observa que durante el primer periodo se alcanza la base de la estatua, ya que la dirección de los rayos se alinea con el eje del edificio, mientras que en el otro periodo, al ser la dirección diferente, en ningún momento se llega a tocar la base.



FIG\_29.- Diagrama de flujo solar total, por estaciones, en planta, a 9m y en plano vertical del naos.

En el siguiente diagrama se han incluido las imágenes del plano ubicado a nivel del suelo y del plano ubicado a la altura de la cara de la estatua. En el plano horizontal del suelo observamos claramente que el haz de luz alcanza la base de la estatua. A la altura de la cara de ésta, en verano y en primavera, se tiene una ganancia y una penetración mayor, pero la dirección de los rayos que alcanzan esa altura se dirigen más hacia la zona lateral que hacia la estatua. En invierno y en otoño la dirección es la opuesta y el haz de luz menor.



FIG\_30.- Diagrama de flujo solar total, por estaciones, en planta, a 9m y en plano vertical del *naos*.

### CONCLUSIÓN

Durante el verano y la primavera se tiene una penetración directa de los rayos solares mayor que en invierno y en otoño. Es durante el primer periodo que los primeros rayos del amanecer bañan frontalmente la estatua, enfatizando su presencia con un haz de luz en el oscuro *naos*. Se trata así de un edificio pensado en términos teatrales, donde lo que se buscaba era obtener este efecto lumínico.

En la realización de este edificio, sin embargo, no se tuvieron en cuenta las necesidades de confort ambiental, ya que en realidad el usuario para quien fue proyectado era la estatua de la diosa. El control climático es nulo, pues el edificio permite ganancias energéticas cuando no hace falta, primavera y verano, y existe la menor incidencia de radiación, en cuanto a valores y superficie, durante el otoño y el invierno, sobre todo durante este último. Sin olvidar que en cuanto a confort visual el espacio funciona mal por ser demasiado oscuro y por la diferencia de claridades respecto al exterior.

## LA PROCESIÓN PANATENAICA Y EL PARTENÓN

Es natural imaginar que la mayor festividad de la ciudad y su principal edificio tenían que estar vinculados, más allá del programa escultórico y de los rituales que acompañaban las fiestas. Quizá a través de la orientación del edificio los griegos establecieron esta relación.

En este estudio se ha podido comprobar que el edificio está proyectado para recibir en su *naos* los primeros rayos del amanecer de verano, periodo en que se celebraban dichas festividades. Se ha comprobado además que la *perístasis* y el *prónaos* propician un interior oscurecido para realizar un efecto lumínico.

Es de esta manera que tenemos el "teatro montado" (*naos*), con su escenografía (columnata dórica interior), la protagonista (Atenea), los asistentes en el exterior (fieles), y el reflector (el Sol). Ahora surge una pregunta, ¿cuándo se ponía en escena la obra en que la luz iluminaba frontalmente a la protagonista? La culminación de la Gran Panatenea se celebraban el día 28 del Hecatombeon, que era cuando se realizaba la procesión final. Tenemos una fecha específica pero, existe un problema, deducir esa fecha en nuestro calendario.

En el calendario ático los nombres de los meses son en referencia a los festivales de la ciudad de Atenas. El año comienza en el mes Hecatombeon, denominado por la Fiesta de la Hecatombe en honor de Apolo.<sup>24</sup> Este mes se iniciaba con el novilunio inmediato al solsticio de verano.<sup>25</sup>

El novilunio es la fase de la luna nueva en la que, por la conjunción del Sol con la luna, la cara iluminada de ésta no se ve.<sup>26</sup>; Ocurre cada 29 días y medio al completarse un mes sinódico. Por tratarse de un calendario lunisolar, las fechas varían cada año. Si el 21 de junio coincidiera con el novilunio, el mes del Hecatombeon comenzaría ese día, entonces el día 28 del Hecatombeon sería el día 19 de julio. Si el novilunio fuera el 20 de junio, a partir de esa fecha contamos 29 días y medio para saber cuando sería el siguiente novilunio, siendo éste el primero después del solsticio de verano. Entonces el mes del Hecatombeon comenzaría el 19 de julio y el día 28 de este mes correspondería al 16 de agosto. Es decir que el día 28 del Hecatombeon estaría comprendido entre el 19 de julio y el 16 de agosto.

Una vez establecido el posible intervalo de las fechas de la procesión, se ha procedido a realizar los estudios de flujo solar para visualizar el haz de luz que se dibuja en este arco de tiempo. Se ha dividido el estudio en dos periodos de 15 días y se han agrupado en los siguientes diagramas.<sup>27</sup>

---

<sup>24</sup> BURKER. W., *Greek Religion*, Harvard University Press, Cambridge, 1985, págs.226,228.

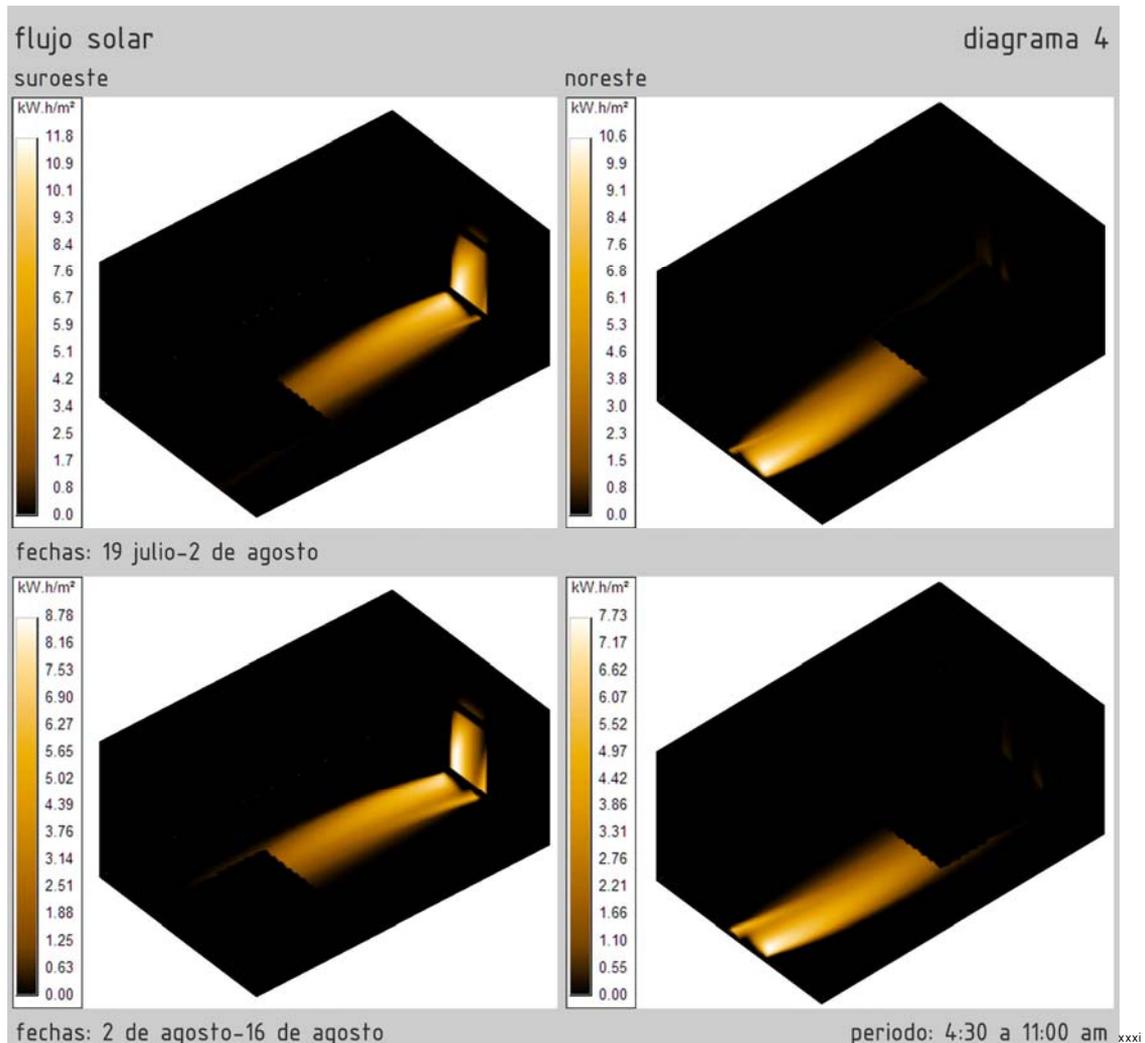
<sup>25</sup> <http://www.contraclave.org/clasicas/ccl6.pdf>

<sup>26</sup> <http://www.wordreference.com/definicion/novilunio>

<sup>27</sup> A manera de comprobación, se han realizado además el estudio de las fechas posteriores al 21 de junio en el mismo periodo de tiempo, las cuales se pueden consultar en el anexo.

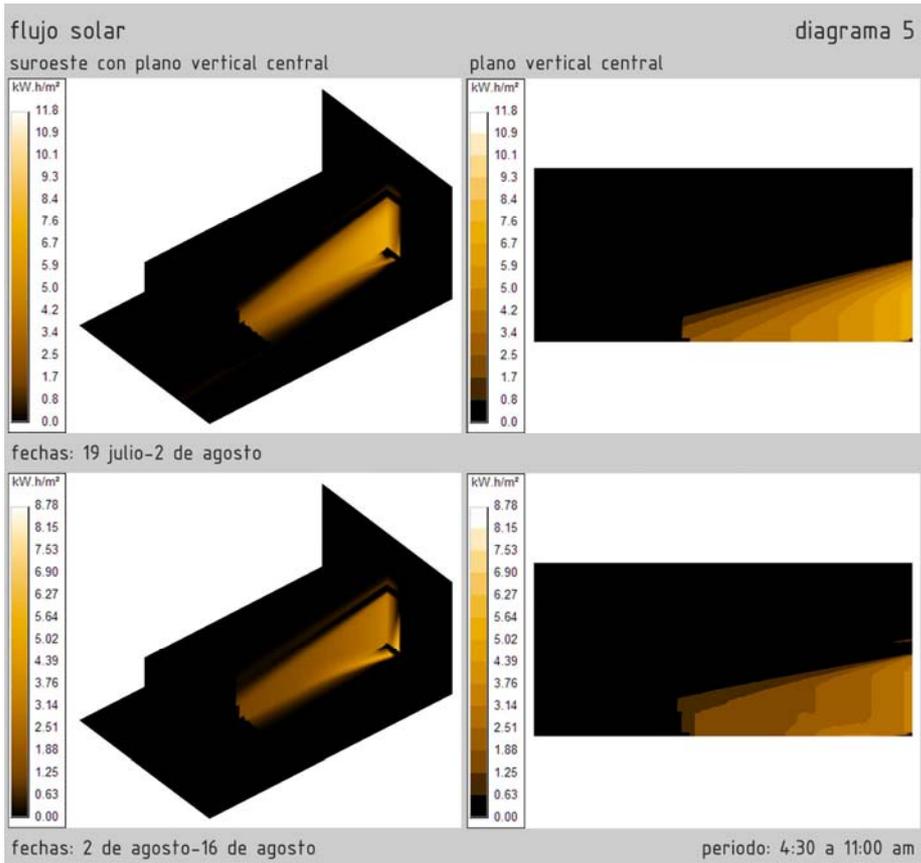
## CONCLUSIÓN

En estas fechas el eje longitudinal del edificio coincide con la dirección del Sol del amanecer y éste ilumina frontalmente la estatua, alcanzando sus rayos la altura máxima en el interior. Entre el 19 de julio y el 2 de agosto la orientación del *naos* coincide con la dirección del Sol naciente y sus rayos alcanzan iluminar frontalmente la estatua. Entre los días 2 y 16 de agosto, el haz de luz se desvía un poco hacia la pared lateral del *naos* y ya no está alineado al eje del edificio.

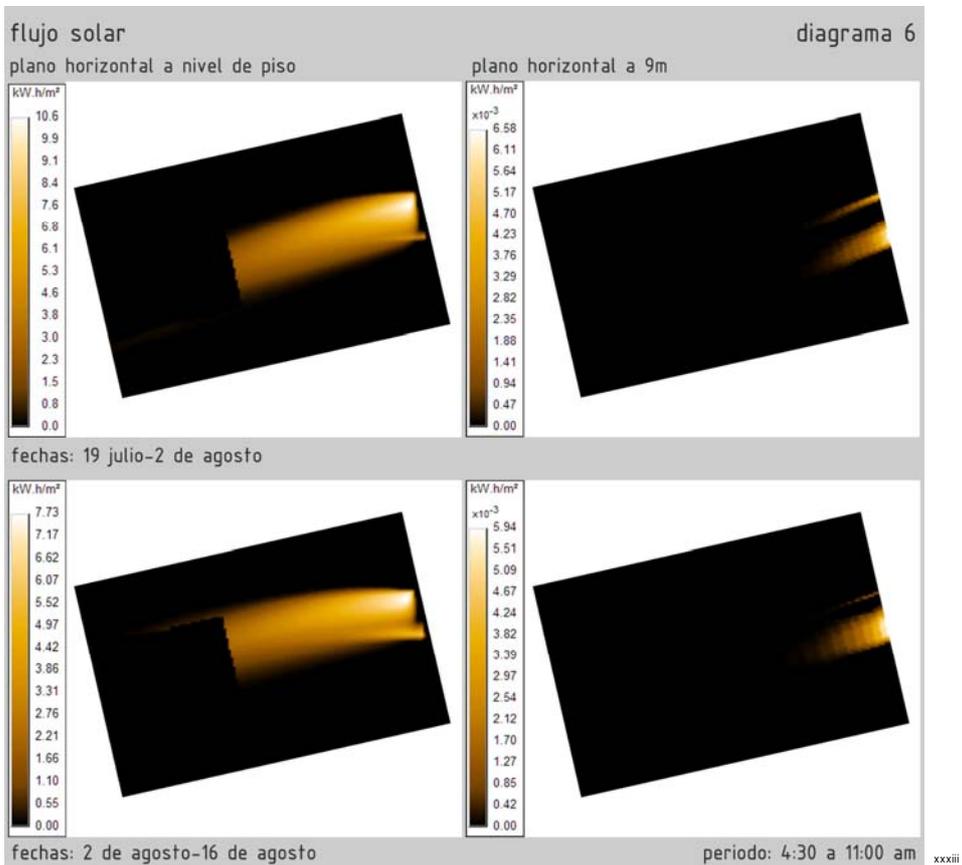


FIG\_31.- Diagrama de flujo solar total del 19 de julio al 16 de agosto, del *naos*.

La altura máxima que alcanzan los rayos del primer periodo es hasta la base de la estatua, los rayos del 2 al 16 de agosto alcanzan a iluminar hasta los pies de la misma. En el plano de nivel de suelo, observamos la dirección de los rayos con mayor claridad. En el plano ubicado a 9m observamos que los rayos no alcanzan a penetrar hasta la cara de la estatua de manera significativa, pues lo hacen fugazmente lo que propicia que no se vea reflejado en el diagrama.



FIG\_32.- Diagrama de flujo solar total del 19 de julio al 16 de agosto, vista suroeste con plano vertical central, así como la vista frontal de éste último en curvas de nivel.



FIG\_33.- Diagrama de flujo solar total del 19 de julio al 16 de agosto, plano horizontal a nivel de piso y a 9m.

## REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES

---

- <sup>i</sup> <http://www.sandrashaw.com/images/AH1L18Acro1.jpg>
- <sup>ii</sup> <http://www.tonyhowell.co.uk/parthenon.jpg>
- <sup>iii</sup> Plano modificado del original en <http://www.ancient-greece.org/images/maps/plans/acropolis-plan.swf>
- <sup>iv</sup> Plano modificado del original. DE LA NUEZ PÉREZ M. E., *Las Panateneas: topografía de una fiesta*, en "Gerión" n.22, 2004, pág.107.
- <sup>v</sup> <http://www.mlahanas.de/Greeks/Arts/Parthenon/Panathenaia.jpg>
- <sup>vi</sup> Elaboraciones gráficas de la autora
- <sup>vii</sup> Imágenes tomadas del filme *The Partenón* de Paul Devedec premiado en Agosto del 2004 en SIGGRAPH 2004 Electronic Theater. Los Angeles. <http://www.debevec.org/Parthenon/Images/>
- <sup>viii</sup> [http://www.ancient-greece.org/images/ancient-sites/acropolis/images/110\\_1033c.jpg](http://www.ancient-greece.org/images/ancient-sites/acropolis/images/110_1033c.jpg)
- <sup>ix</sup> [http://www.ancient-greece.org/images/ancient-sites/acropolis/images/110\\_1033b.jpg](http://www.ancient-greece.org/images/ancient-sites/acropolis/images/110_1033b.jpg)
- <sup>x</sup> Elaboración gráfica de la autora.
- <sup>xi</sup> <http://www.debevec.org/Parthenon/TheParthenon-WideView-Med-sharp.jpg>
- <sup>xii</sup> [http://www.goddess-athena.org/Museum/Temples/Parthenon/Parthenon\\_W\\_from\\_W4.jpg](http://www.goddess-athena.org/Museum/Temples/Parthenon/Parthenon_W_from_W4.jpg)
- <sup>xiii</sup> Elaboración gráfica de la autora.
- <sup>xiv</sup> *Ibíd.*
- <sup>xv</sup> *Ibíd.*
- <sup>xvi</sup> *Ibíd.*
- <sup>xvii</sup> *Ibíd.*
- <sup>xviii</sup> *Ibíd.*
- <sup>xix</sup> *Ibíd.*
- <sup>xx</sup> <http://www.bath.ac.uk/casa/current/parthenon.gif>
- <sup>xxi</sup> [http://puffin.creighton.edu/eselk/Intro-phil\\_on-line-course/Intro-phl-ol\\_images/Parthenon-3types-sculpture.jpg](http://puffin.creighton.edu/eselk/Intro-phil_on-line-course/Intro-phl-ol_images/Parthenon-3types-sculpture.jpg)
- <sup>xxii</sup> Elaboración gráfica de la autora.
- <sup>xxiii</sup> *Ibíd.*
- <sup>xxiv</sup> *Ibíd.*
- <sup>xxv</sup> *Ibíd.*
- <sup>xxvi</sup> *Ibíd.*
- <sup>xxvii</sup> *Ibíd.*
- <sup>xxviii</sup> *Ibíd.*
- <sup>xxix</sup> *Ibíd.*

---

xxx *Ibíd.*

xxxí *Ibíd.*

xxxii *Ibíd.*

xxxiii *Ibíd.*

06\_HEMICICLO SOLAR

## 06\_HEMICICLO SOLAR

### Diseñando con la Naturaleza y el paisaje, la arquitectura de la pradera y el Sol de Wisconsin.

La arquitectura orgánica intenta conseguir un sentido superior de utilidad y un sentido más fino de confort, expresado en una simplicidad orgánica.

Frank Lloyd Wright

#### INTRODUCCIÓN

Frank Lloyd Wright (1867-1958), es uno de los arquitectos más geniales de finales del s.XIX y hasta mediados del s.XX. Su carrera profesional inició en 1887 en Madison, Wisconsin (mientras estudiaba en la universidad) y abarcó más de 70 años de creación. Desarrolló 1141 diseños<sup>1</sup> que revolucionaron la arquitectura e influyeron en la vida doméstica de la sociedad americana. Precursor de la *arquitectura orgánica*, en concepción y materialización, cuya idea central consiste en que la construcción debe derivarse directamente del entorno natural.

Como ejemplos tempranos encontramos las casas de la tipología de "*Prairie house*" (casa de la pradera) desarrolladas entre 1900 y 1911.<sup>2</sup> La pradera, específicamente la del suroeste de Wisconsin, fue la fuente de inspiración de Wright. Fue ahí donde vivió su juventud, dentro de un entorno rural, trabajando en la granja de su tío durante los veranos.<sup>3</sup> En estos periodos aprendió a observar los patrones y ritmos existentes en la naturaleza, estableciendo un profundo conocimiento y respeto hacia ella.

Wright acuñó el término de arquitectura orgánica en su libro "*An organic architecture, the architecture of democracy*" en 1939.<sup>4</sup> En este libro, aparte de otras ideas, Wright establece que "forma y función son uno" y la manera de integrarlos es a través de la naturaleza. Para él la arquitectura orgánica es una reinterpretación de sus principios, que involucra un conocimiento y respeto a las propiedades inherentes de los materiales. La arquitectura orgánica pretende integrar los espacios a un todo: la unión entre contexto y edificio. "Un edificio orgánico siempre armoniza con el presente, con el entorno y con el hombre".<sup>5</sup>

En el invierno de 1943-44<sup>6</sup> Frank Lloyd Wright desarrolló su segundo diseño residencial pionero para Herbert y Catherine Jacobs, de Madison.<sup>7</sup> Este diseño, referido dentro de la literatura como Casa Herbert Jacobs II, pero denominado por Wright "Hemiciclo Solar", fue el único diseño que implicaba una descripción solar explícita. Sustenta, hasta el día de hoy, una de las mejores soluciones de arquitectura medioambiental que utiliza sistemas de control pasivos y aprovecha los aportes directos de energía solar.

---

<sup>1</sup> <http://www.franklloydwright.org/index.cfm?section=research&action=theman>

<sup>2</sup> BROOKS. P. B., *Frank Lloyd Wright: 1867-1959: Construir para la democracia*, Taschen, 2004, pág. 9.

<sup>3</sup> *Ibid.*, pág. 8

<sup>4</sup> WRIGHT. F. LL., *An Organic architecture, the architecture of democracy*, The MIT Press, 1970. Recopilación de las cuatro conferencias pronunciadas para *the Royal Institute of British Architects* (Londres, mayo de 1939)

<sup>5</sup> <http://www.taliesinpreservation.org/frank/faq.htm#orgarchitecture>

<sup>6</sup> <http://digioll.library.wisc.edu/cgi-bin/WI/WI-idx?type=HTML&rgn=DIV1&byte=1003044&q1=solar%20hemicycle>

<sup>7</sup> En 1937, construyó para ellos el primer diseño Usonia de Wright, también conocido como Jacobs I.

## HISTORIA <sup>8</sup>

A fin de escapar del avance urbano y reducir sus gastos en facturas, los Jacobs encargaron a Wright el diseño de una nueva casa en un terreno ubicado en Middleton, Wisconsin (suburbio de la ciudad de Madison). El arquitecto y la pareja coincidían en que muchas de las características de Usonia I tenían que ser incluidas en el nuevo diseño; sin embargo, los Jacobs deseaban una casa sin grandes espacios que calentara durante el invierno, con techos bajos y mezanines "tan atractivo como resultara".

Wright tenía que desarrollar un proyecto que estuviera dentro de las restricciones presupuestarias establecidas por los Jacobs y que garantizara un ahorro en gastos de energía. La solución de Wright fue brillante: La casa fue proyectada en relación al clima del Sur de Wisconsin,<sup>9</sup> respetando e integrando de manera excepcional la naturaleza. Se diseñó para ser protegida, a través de la forma y el paisaje, de los fríos vientos invernales de Middleton, los cuales provienen del Noroeste y del Sur. Se planteó que fuera auto-refrigerante en lo más posible, prescindiendo de la utilización de aire acondicionado durante los calurosos veranos.



FIG\_1.- Reproducción de la perspectiva original presentada por Wright.

En 1980, se realizó una restauración que tenía como principal objetivo mejorar el rendimiento térmico. Para tal efecto se colocaron vidrios dobles en todas las ventanas; se ubicó una cortina interior retractable que cubría todo el ventanal Sur; todas las juntas fueron selladas; se instaló una capa de aislamiento en la superficie exterior del techo; se sustituyó el piso radiante ubicándose aislamiento por debajo de él; se reemplazó la vieja caldera de gasoleo que alimentaba el piso radiante por una nueva y más eficiente estufa de gas.



FIG\_2.- Fotografía de la fachada Sur del Hemiciclo Solar construido de 1946 a 1948.

<sup>8</sup> Información traducida de la página web de "The State of Wisconsin Collection" autor: Donald W. Aitken <http://digicoll.library.wisc.edu/cgi-bin/WI/WI-idx?type=HTML&rqn=DIV1&byte=1581194&q1=Donald%20W.%20Aitken>

<sup>9</sup> Clima húmedo continental de la clasificación de Köppen: Inviernos largos y fríos y veranos cortos y suaves. Las temperaturas se atemperan por la influencia de los Grandes Lagos.

## DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El diseño de Wright parte de una circunferencia, la cual divide en radios a cada 6° para obtener los ejes que ordenan la posición de las vigas, las carpinterías y la distribución de los diferentes espacios. El Hemiciclo Solar es de planta semicircular con una concavidad acristalada hacia el Sur, con vistas a la pradera de Wisconsin. Existe un terraplén en las direcciones Norte, Este y Oeste que llega a la altura de la planta alta, quedando la planta baja enterrada en estas direcciones y abriéndose solamente hacia el Sur. En esta dirección se ubica un jardín hundido, que completa el plan circular del diseño y actúa como superficie captadora de energía solar (Ver FIG\_3).



iii

FIG\_3.- Modelo del Hemiciclo Solar visto desde el Suroeste, render realizado el 21 de diciembre a las 12:00 hrs.

El acceso se realiza por un túnel, ubicado en el Noreste, que atraviesa el terraplén y conduce al jardín circular (Ver FIG\_4). Se accede al interior por cualquiera de las puertas existentes en la superficie acristalada (VER FIG\_5). La cubierta tiene una forma semicircular y crea un voladizo al Sur que deja pasar los rayos solares en invierno y que proyecta sombra sobre el ventanal en verano (Ver FIG\_3).



FIG\_4.- Fotografía tomada desde el Noreste, donde se ubica el túnel que conduce al jardín.



iv

v

FIG\_5.- Fotografía del interior. Se aprecia el ventanal, el estanque y la planta alta en mezanine.

La distribución del espacio interior se realiza aprovechando la misma forma semicircular, que es la que ordena y separa en realidad los espacios, permitiendo al proyecto prescindir de paredes interiores. En la planta baja encontramos: la sala de estar, ubicada a un lado de la chimenea (Ver FIG\_6); en la parte Oeste de la casa y al lado del estanque se encuentra un espacio múltiple, que a veces funcionaba como sala de televisión, de juegos o como oficina; el comedor (Ver FIG\_7) se ubica a un lado del cilindro de piedra, este último alberga el *workspace* wrightiano y contiene los dos lavabos, uno en planta baja y el principal en planta alta, así como la escalera; a un lado del cilindro y en la parte Este de la casa se ubica la cocina (Ver FIG\_7).



vi

FIG\_6.- Fotografía de la sala de estar. El arquitecto utilizó primordialmente materiales naturales, uno de sus favoritos era la madera. En este proyecto, se utiliza en el mobiliario, la división de las habitaciones, el murete de la planta mezanine, los estantes, las ventanas, las vigas y el techo.



vii

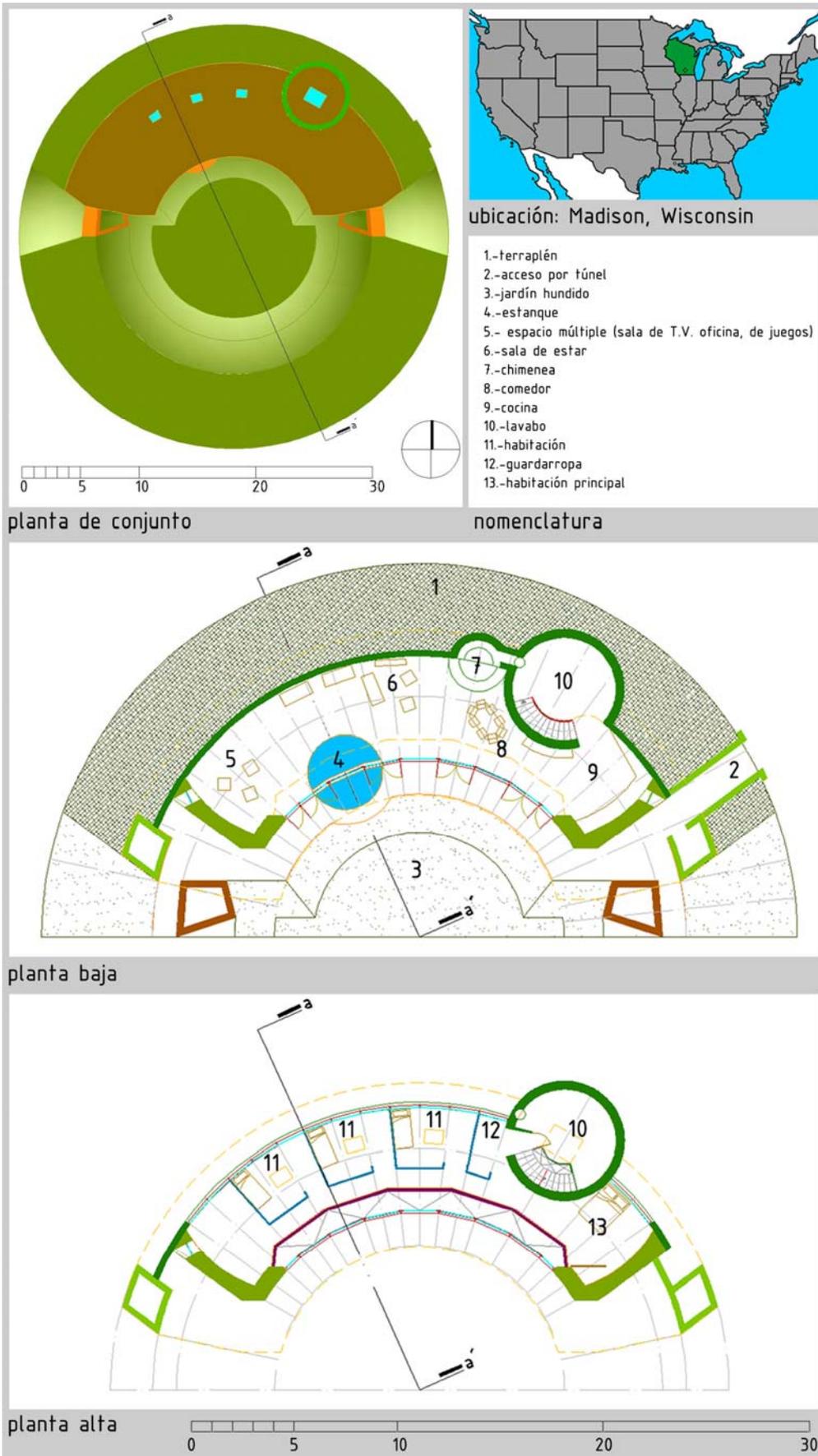
FIG\_7.- Fotografía del comedor y al fondo la cocina. La fluidez del espacio propicia la propagación del flujo de radiación solar admitida (tanto luminícamente como térmicamente). Esta fotografía muestra la iluminación natural que se obtiene en el interior.

La planta alta se encuentra en *mezanine*, se fija al techo mediante unos tirantes de acero y se apoya en el muro Norte, permitiendo que la planta baja sea libre, pues la planta alta no requiere ningún elemento estructural por debajo. La *mezanine* se retira un metro de la fachada, asomándose a la planta baja. Este nivel alberga las habitaciones: la principal se ubica en la parte Este, justo encima de la cocina. La configuración de las otras habitaciones se realiza a través de paneles de madera móviles, permitiendo a los ocupantes modificar la cantidad y dimensión de las habitaciones, hasta un máximo de cuatro. A un lado del cilindro se ubica un guardarropa. (Ver FIG\_8).

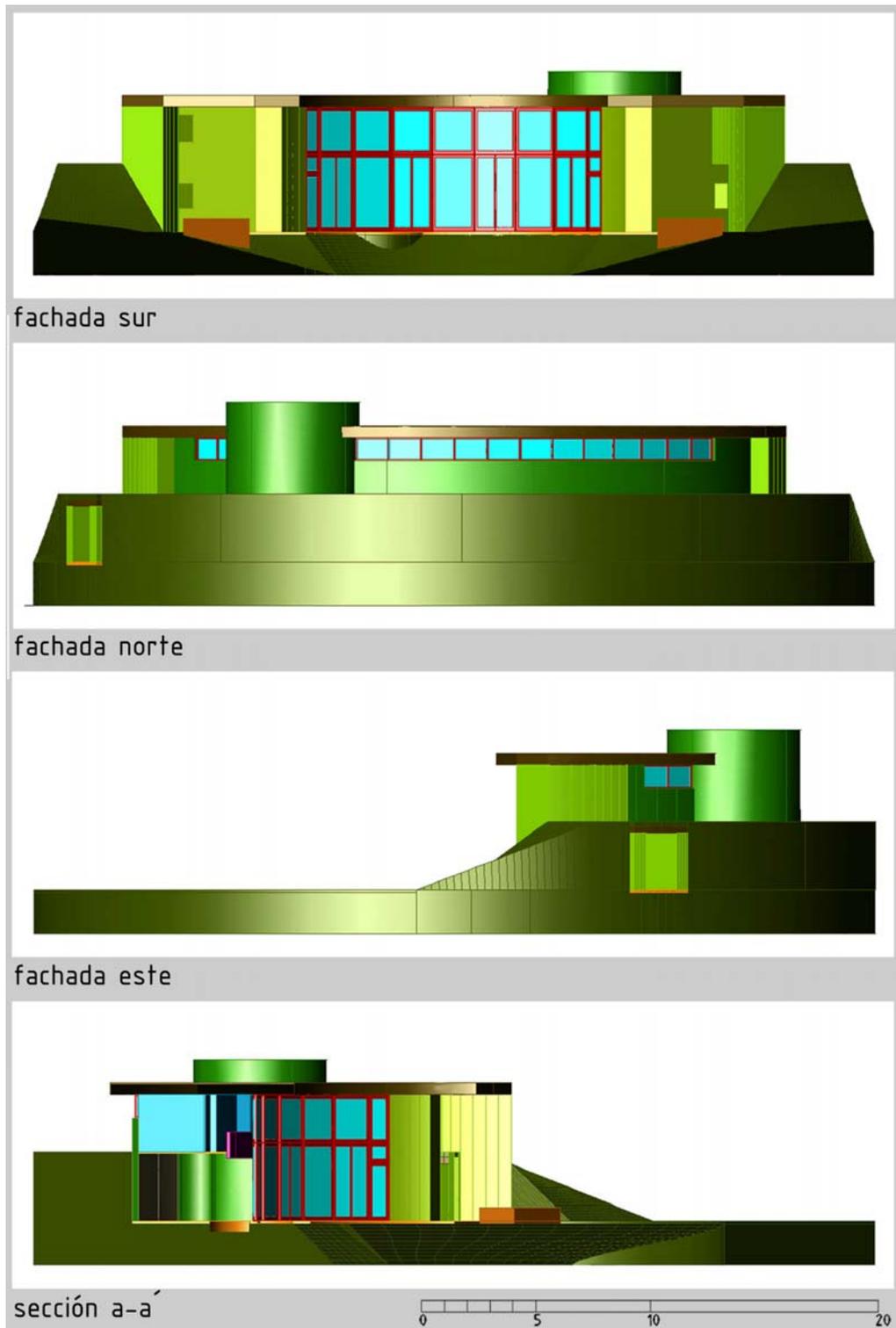


viii

FIG\_8.- Distribución del interior, se ha quitado el techo para facilitar la vista de las habitaciones del mezanine. Render realizado en 3dstudio.



FIG\_9.- Planos del Hemiciclo Solar. Los ejes delimitan los elementos constructivos abarcando 66° de la circunferencia, se ha asignado un código de color. Se ha incluido un mapa de EUA a fin de ubicar al lector.



FIG\_10.- Fachadas y sección del Hemicycle Solar. Se ha incluido el terraplén así como el jardín hundido pues son partes inherentes del proyecto.

Planos interpretados de los elaborados por Jaime Hernández, 2003.<sup>10</sup> Disponibles en el Portal "*Història en Obres*" de la Universidad Politécnica de Cataluña, bajo la coordinación de Fernando Álvarez Prozorovich, Profesor de Historia del Arte y de la Arquitectura en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.

<sup>10</sup> [http://recerca.upc.edu/historiaenobres/imatges/W1944\\_jaco00.pdf](http://recerca.upc.edu/historiaenobres/imatges/W1944_jaco00.pdf)

## ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL

Antes de explicar el sistema de control pasivo, considero importante comentar el clima de Madison.<sup>11</sup> Presenta un clima húmedo continental dentro de la clasificación de Köppen. Se caracteriza por cambios en los patrones climáticos y una gran variabilidad de temperatura entre las estaciones. El invierno es largo y frío con temperaturas bajo cero (temperatura promedio en enero:  $-8.9^{\circ}\text{C}$ ) y continuas nevadas (precipitación de nieve durante los meses de octubre hasta mayo alcanzando los 30 cm). Se presentan moderadas temperaturas en verano (temperatura promedio de julio:  $21.7^{\circ}\text{C}$ ). Persiste un alto nivel de humedad relativa anual, 78%. El porcentaje de días claros para el mes de diciembre es de 40% y para junio 64%. Con un promedio anual de 54%. El Sur es la dirección del viento dominante durante todo el año. En el mes de junio, se tienen vientos dominantes desde esta dirección con una velocidad entre 8.49 y 11.05m/s, al igual que en diciembre, sólo que durante este mes también recibe vientos del noroeste con una velocidad mayor a los 11.05 m/s.<sup>12</sup>

Para este tipo de clima, lo importante es obtener la mayor ganancia de energía solar en invierno, conservar el calor en el interior, establecer un flujo de calor regular y homogéneo, evitar oscilaciones de temperatura, reducir la humedad del aire y minimizar la exposición directa a los fríos vientos. En verano, se necesita garantizar una adecuada ventilación, con la finalidad de renovar el aire interior y generar una sensación de enfriamiento, evitar la exposición del edificio a la radiación solar a fin de evitar cualquier aporte calórico en el interior y establecer ciclos de refrigeración nocturna.

Las características y elementos del proyecto que establecen el control ambiental son:

- Entorno, terraplén y jardín hundido.
- Orientación Solar
- Acción de los vientos
- Materiales y sus propiedades. (Inercia térmica)
- Aislamiento, fijo ó móvil.
- Ubicación y orientación de las aberturas practicables
- Forma del edificio y distribución interior de la planta
- Elementos de protección solar, techo en saledizo

Todos ellos tienen un comportamiento diferente durante el invierno y el verano. Por ejemplo, los materiales con alta inercia térmica proporcionan frescor en verano y calor durante el invierno. Se trata de un diseño revolucionario e innovador para su época, pues abarca los temas del método de diseño ambiental propuesto por Victor Olgyay en su libro *Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*, publicado en 1963. Este autor es considerado como precursor de la arquitectura bioclimática, pero observamos como Wright, 20 años antes, tenía una idea clara de la adaptación de la arquitectura al clima, aunque no había profundizado ni expuesto un método como lo hizo Olgyay.

---

<sup>11</sup> De manera no exhaustiva pues este estudio no pretende hacer un análisis detallado. No se encontraron datos específicos de Middleton, pero, al ser un suburbio de la ciudad de Madison, se consideran válidos estos datos.

<sup>12</sup> Consultar datos en el anexo correspondiente a éste capítulo.

## ESTRATEGIAS GENERALES EN INVIERNO

### 1.-Radicación Solar

Este diseño utiliza el término de ganancia directa debido a que el calor resulta de la radiación solar.<sup>13</sup>

La radicación penetra directamente por la abertura Sur e indirectamente por los cerramientos opacos en forma de calor. En invierno, el más importante es el aporte directo de energía solar que penetra por el ventanal del Sur, que calienta y seca el aire interior.

El cilindro interior del *workspace* wrightiano y la forma semicircular de los muros de piedra caliza de Wisconsin que dan al Sur, fachada principal y posterior, así como la irregularidad de la superficie, proporcionan un aumento de área captora de radiación solar directa. En planta baja se encuentra una losa maciza de concreto que actúa como captador de energía, absorbe la radiación solar directa y la convierte en energía térmica. Existe un estanque de agua que sirve para captar calor en el interior.

El Sol incide libremente en una mayor cantidad de superficie sobre los taludes del jardín hundido, que por la inclinación serán más perpendiculares a sus rayos. El terreno se calienta y cede calor al aire que está en contacto con su superficie.

### 2.-Aislamiento

Refuerzo de aislamiento en la orientación Norte, en la cubierta del edificio y por debajo del piso radiante de la losa maciza de concreto, a fin de conservar el aire caliente del interior para dificultar la pérdida de calor por transmisión. Refuerzo del aislamiento en las zonas expuestas al viento. El muro Norte está construido en dos capas, con aislamiento entre ellas por encima de la línea del terraplén. Debajo de este nivel y en la cara exterior se colocó únicamente escombros. Aislamiento móvil en la ventana Sur, cortina aislante que crea una barrera para evitar la pérdida de calor durante la noche.

### 3.-Forma del edificio.

La forma semicircular así como la orientación permite una mayor superficie expuesta a la incidencia de la radiación. Además, por ser una forma compacta, propicia un flujo de energía homogéneo.

### 4.-Efecto invernadero.

La radiación solar penetra por el gran ventanal y cambia de longitud de onda, evitando que escape por el vidrio, lo que permite que se conserve en el interior.

---

<sup>13</sup> La radiación se transforma en calor al ser absorbida por las superficies. Los cerramientos emiten radiación en su entorno, en el caso de que se den aportes directos de energía solar (reemisión). Parte de la radiación solar penetra directamente al interior por las aberturas y otra parte es absorbida por las paredes, calentando estos elementos constructivos. La energía que se acumula en los cerramientos penetrará en el interior con un retardo y una amortiguación que depende de la inercia térmica del material. Los elementos ceden calor al aire interior, los cerramientos pueden enfriarse en su cara exterior, por emisión de radiación o contacto con el aire en horas nocturnas o en invierno.

## **5.- Materiales con Inercia térmica**

La inercia térmica amortigua en el tiempo los efectos de los cambios de temperatura, dando lugar a flujos de energía más regulares y reduciendo la oscilación de temperaturas en la cara interior respecto a la que actúa sobre la cara exterior. La energía térmica es almacenada, retardando y amortiguando el flujo de calor, para ser utilizado cuando se necesite (Días sin Sol y por la noche).

Uso de agua, pues es un material con capacidad calorífica muy grande, actúa como acumulador de calor en el interior. Uso de muros gruesos de piedra caliza de Wisconsin para los cerramientos opacos. Este material tiene una gran inercia térmica, así como la losa maciza de concreto de la planta baja. Uso extensivo de madera en mobiliario y elementos estructurales. Este material se calienta rápidamente y tiene una alta resistencia al flujo de calor.

El terraplén en contacto con los muros de la planta baja propicia obtener ventajas de la inercia térmica de la tierra, la cual mantiene la temperatura en un nivel medio anual, proporcionando calor durante el invierno y frescor en verano.

## **6.- La distribución de la energía térmica por convección.**

La distribución de calor horizontal es facilitada por la falta de paredes divisorias en la planta baja. Las entradas de las habitaciones se orientan hacia el Sur, con cortinas en lugar de puertas, las cuales se dejan abiertas durante el día a fin de conseguir una distribución horizontal más efectiva de la energía térmica en la planta alta.

La distribución de calor vertical es propiciada por el espacio vacío que existe entre el ventanal y el mezanine; así como por el amplio espacio de la escalera, existe un regreso de aire suficiente hacia la planta baja para completar el ciclo convectivo.

## **7.-Vientos**

La forma semicircular del hemiciclo favorece el paso del viento alrededor de él. El terraplén ubicado al Norte, Este y Oeste, actúa como barrera física al viento proveniente de estas direcciones, evitando la exposición directa y por ende mayor pérdida de calor del muro posterior, además desvía el viento hacia la parte superior de la casa. La contracorriente se establece en el jardín hundido, pues tenemos vientos en direcciones opuestas, reduciendo drásticamente la exposición directa del ventanal al viento. Las puertas y ventanas practicables se encuentran en la zona de sotavento.

## **ESTRATEGIAS GENERALES EN VERANO**

### **1.-Radiación**

Se evita la incidencia de la radiación solar directa sobre la fachada Sur, Sureste y Suroeste, así como la entrada de la misma en los espacios interiores gracias a la orientación al Sur del edificio y por la sombra proyectada por el alero. No existen aberturas en las orientaciones más desfavorables (Este, Oeste). La cortina bloquea, en caso de ser necesario, la entrada de radiación ya sea directa, reflejada o difusa. Disminución de radiación reflejada gracias al hundimiento del jardín. Color claro de los cerramientos exteriores a fin de evitar la absorción de energía.

### **2.- Materiales con Inercia térmica**

El terraplén, con su gran inercia térmica, sirve de estabilizador de la temperatura interior durante el verano y propicia una refrigeración nocturna. Se aplica el mismo principio para los elementos de piedra caliza y para el estanque de agua.

### **3.-Aislamiento**

El aislamiento funciona ahora para conservar el aire fresco del interior

### **4.-Aberturas practicables**

A fin de permitir al usuario regular la dirección y velocidad del flujo de aire interior, generando así una sensación de confort térmico y psicológico.

### **5.-Ventilación transversal**

La ventilación es promovida por la orientación al Sur, dirección del viento dominante. En esta fachada se ubican las puertas y ventanas practicables, y por la banda continua de las ventanas cenitales existentes en el muro Norte, donde se encuentran las habitaciones. Los movimientos del aire son producidos por diferencias de presión, gracias a la distribución interior y al entorno, así como intercambio de aire por diferencia de temperatura, generándose una ventilación transversal reforzada por las aberturas, siempre sombreadas, del Sureste-Suroeste.

## **COMPROBACIÓN DEL DISEÑO SOLAR DURANTE LOS SOLSTICIOS**

El objetivo fundamental de este estudio es comprobar que el diseño solar funciona, conocer si realmente se cumplen las estrategias de control de la radiación y visualizar la manera en que la edificación interactúa con el Sol. En este edificio, los muros y cerramientos verticales son clave importantísima del diseño de control pasivo, de tal manera que se ha optado realizar el estudio de soleamiento de los solsticios en el programa 3dstudio.<sup>14</sup> La orientación del edificio es al Sur y la latitud de Madison, Wisconsin es 43°4' N con una altitud de 286.51 msn.<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Ya que el programa Heliadón V2 no nos permite visualizar la incidencia solar en elementos importados (stl), además se ha incluido en este análisis el jardín hundido, que por su geometría, dificultaría demasiado el modelo en el programa.

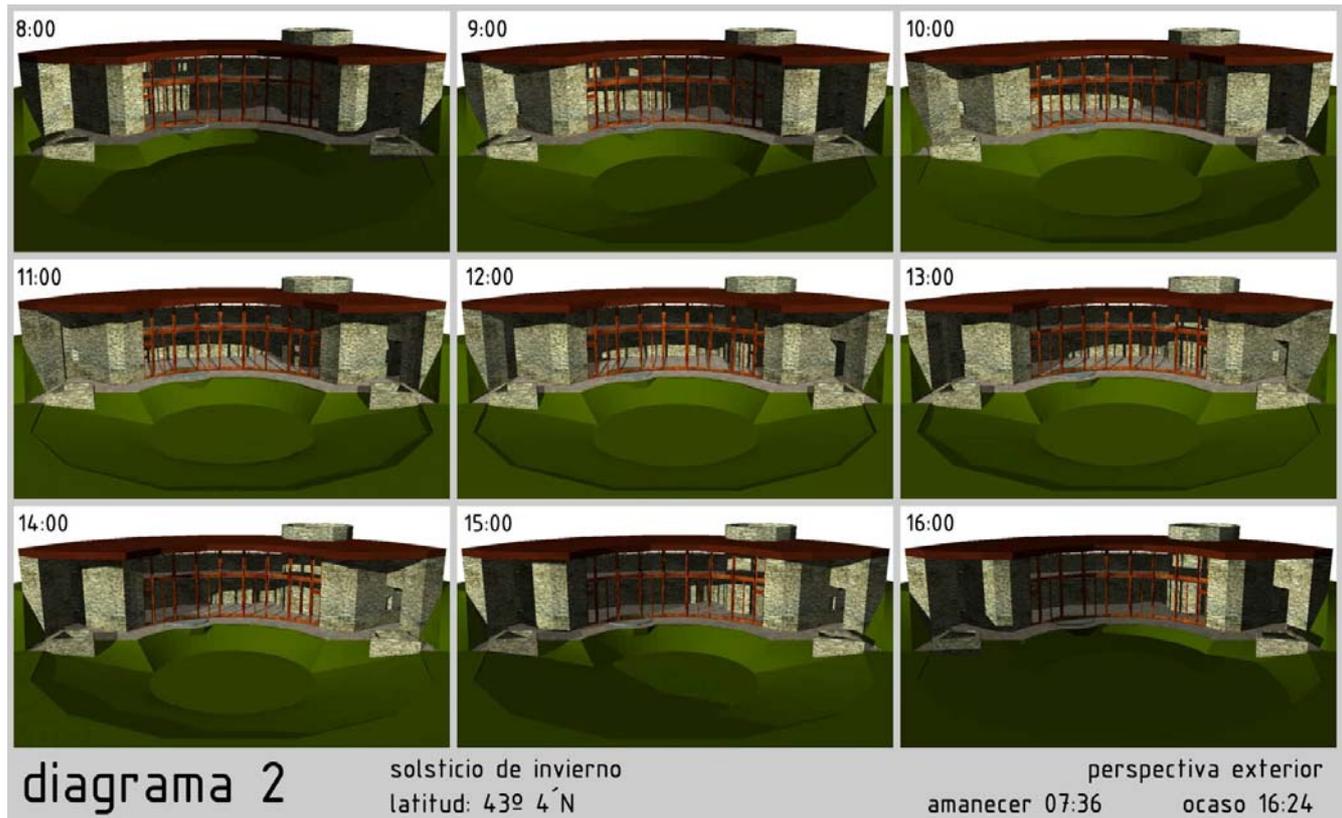
<sup>15</sup> <http://www.idcide.com/citydata/wi/middleton.htm>



### SOLSTICIO DE INVIERNO (EXTERIOR)

El Sol incide casi completamente sobre la fachada Sur, Sureste y Suroeste durante todo el día, el alero sombrea la parte superior. En caso de haber Sol, los cerramientos opacos almacenarán gran cantidad de energía térmica y el ventanal Sur permitirá el paso de la radiación al interior.

El jardín capta una gran cantidad de energía solar, pues no recibe ninguna sombra de la casa, debido a su ubicación respecto a ésta y a la dirección del recorrido solar. Comprobamos que el diseño solar funciona.



FIG\_12.- Estudio de soleamiento durante el solsticio de invierno del exterior del Hemiciclo Solar. Vista Sur. <sup>xii</sup>

Una vez comprobado el funcionamiento de los elementos exteriores del edificio, analizaremos lo que sucede en el interior durante estas fechas, pues ahí se encuentran gran parte de las superficies captadoras de energía solar. Los siguientes diagramas contienen imágenes tomadas del interior, donde se han quitado de vista los muros de las fachadas Sureste y Suroeste, los paneles divisorios de las habitaciones, el techo, así como el murete del mezanine.

## SOLSTICIO DE VERANO (INTERIOR)

### PLANTA BAJA

**Losa de concreto:** Se tiene una pequeña penetración de radiación solar proveniente del ventanal Sur, justo donde se ubican las puertas de los extremos. A partir de las 8:00 hasta las 10:00, en la zona Oeste de la casa (sala de TV) y simétricamente sucede en la parte Este (cocina) a partir de las 14:00 hasta las 16:00 (*grosso modo*).

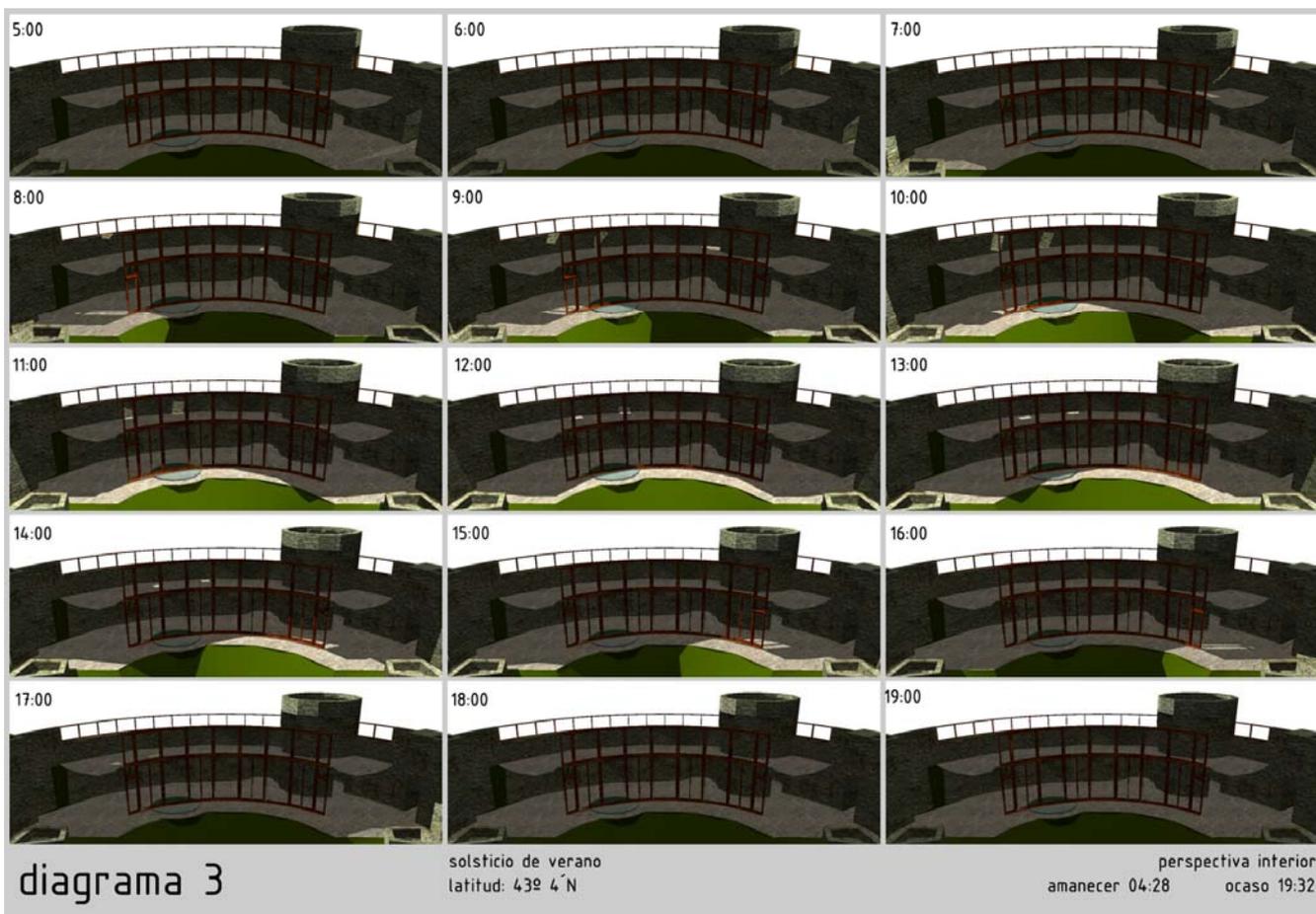
**Estanque de agua:** la parte interior nunca es alcanzada por los rayos, solamente el exterior entre las 9:00 y las 13:00 hrs.

**Muros y cilindro:** Ninguno es alcanzado por el Sol.

### PLANTA ALTA

**Losa:** No recibe entrada directa solar desde el ventanal Sur. Existe una entrada directa proveniente de las ventanas cenitales del techo. Estos rayos alcanzan el suelo de las habitaciones, nunca la principal, a partir de las 8:00 hasta las 14:00. Esta entrada de radiación es negativa, pues la orientación al cenit es la más peligrosa, sobretodo en los meses de verano por la verticalidad del Sol. Las ventanas cenitales del muro Norte permiten una entrada directa a las primeras y últimas horas del día, incidiendo en la cara del cilindro de la habitación principal a las 7:00 hrs.

**Muros y cilindro:** A excepción de lo anterior descrito nunca reciben radiación directa.



FIG\_13.- Estudio de soleamiento durante el solsticio de verano del interior del Hemiciclo Solar. Vista Sur.<sup>xiii</sup>

## SOLSTICIO DE INVIERNO (INTERIOR)

### PLANTA BAJA

**Losa de concreto:** Recibe la incidencia directa a partir de las 8:00 hasta las 16:00. Esta superficie es de vital importancia pues, en caso de haber Sol, funciona durante todo el día, además capta la energía que ha traspasado el ventanal.

**Estanque de agua:** La parte interior recibe la incidencia a partir de las 9:00 hasta las 15:00, la parte exterior desde el amanecer y hasta las 16:00, pero es probable que se encuentre congelada. La ubicación del estanque hubiera sido mejor en la parte del centro del edificio, pues en esta zona se tiene una mayor incidencia solar.

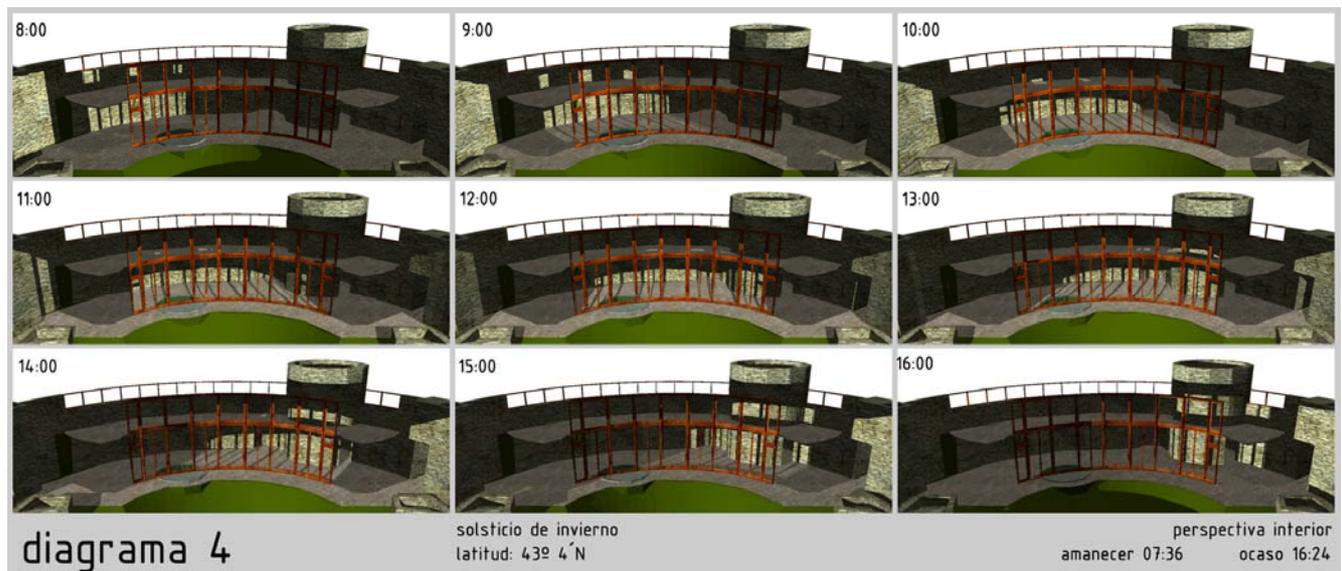
**Muros y cilindro:** El muro Norte o posterior es alcanzado por el Sol entre las 8:00 y las 16:00 sobre una gran superficie. Durante las primeras y últimas horas, alcanza una mayor altura por ser los rayos del Sol más bajos (8:00-9:00, 15:00-16:00). A partir de las 10:00 y hasta las 14:00 se tiene un haz de luz más ancho. Observamos la acertada ubicación del cilindro de piedra, pues recibe la incidencia solar a partir de las 10:00 hasta las 16:00 y por su forma curva permite una mayor captación de energía.

### PLANTA ALTA

**Losa:** Recibe entrada directa solar desde el ventanal Sur a partir de las 9:00 hasta las 14:00 en la parte de las habitaciones (nunca la principal). Sin embargo, esta entrada es muy poca pues gran parte de la radiación que podría entrar es bloqueada por los paneles que dividen las habitaciones, así como por el murete del mezaninne, resultando una ganancia insignificante. No existe entrada directa de radiación desde las ventanas cenitales pues el Sol se encuentra muy bajo e incide en las paredes. Debido a la orientación y la dirección del recorrido del Sol, no penetra radiación directa por las ventanas cenitales del muro Norte.

### Muros y cilindro:

El muro es alcanzado por los rayos que atraviesan el ventanal y que pasan por las entradas de las habitaciones, la incidencia sería mayor si no existieran los paneles ni el murete del mezaninne. Resulta acertada la ubicación del cilindro, pues el Sol incide entre las 14:00 y las 16:00, siendo este último momento cuando recibe una mayor cantidad y a mayor altura.



FIG\_14.- Estudio de soleamiento durante el solsticio de invierno del interior del Hemiciclo Solar. Vista Sur.<sup>xiv</sup>

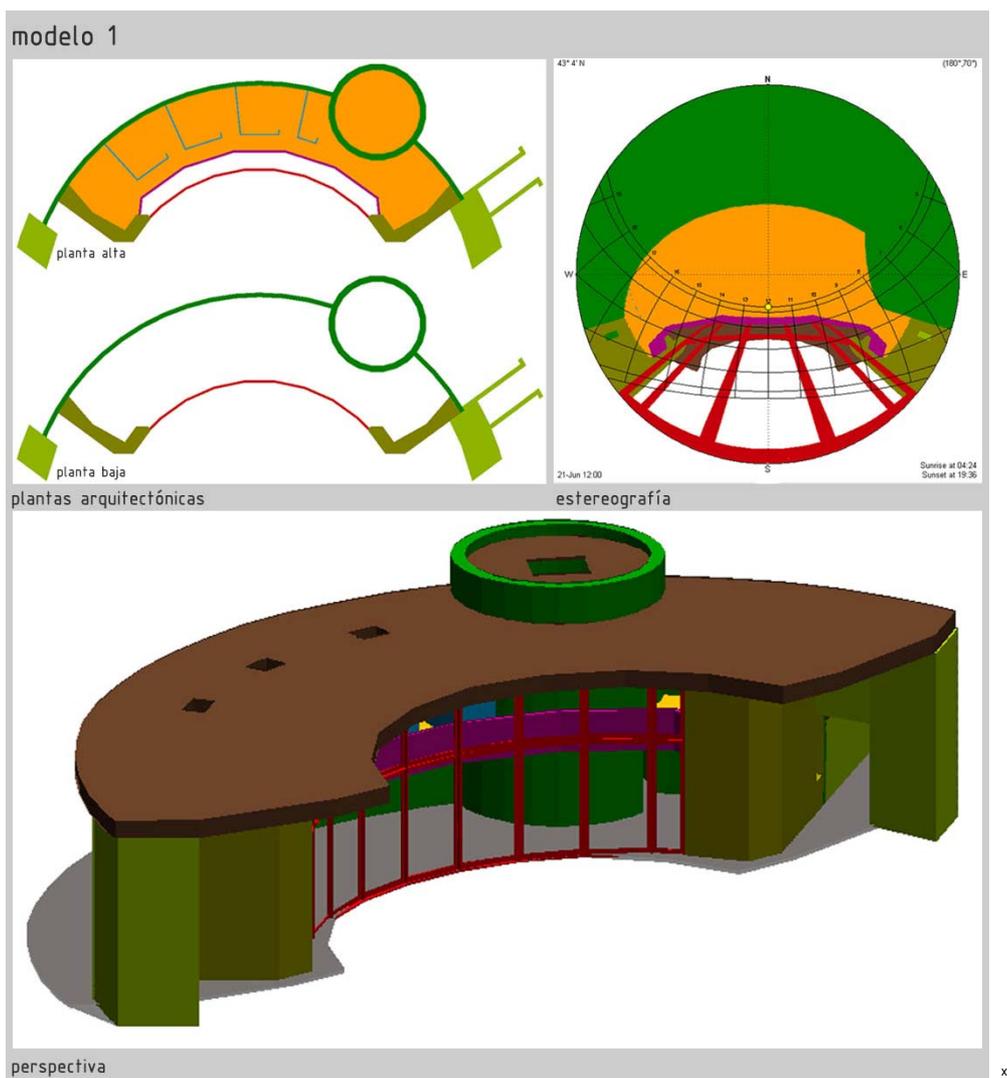
## LOS MODELOS

En el estudio con Heliodon V2, nos centraremos solamente en el edificio. Se han construido dos modelos en los cuales se ha sintetizado la geometría.

### MODELO 1

Se construyó en base a los planos mostrados anteriormente y se ha asignado el mismo código de color. Se han simplificado las superficies curvas. El nivel de suelo se considera el de la planta baja. Este modelo nos servirá para realizar el estudio de soleamiento en base a las estereografías y se compone de:

- Los muros de la fachada Sureste y Suroeste en color verde.
- Los elementos exteriores y el túnel de acceso en color verde más claro.
- El muro posterior Norte en color verde con un tono diferente de los anteriores.
- La estructura de madera de las ventanas y puertas en color rojo.
- El murete de la planta en mezanine en color violeta.
- Los paneles divisorios de las habitaciones y del guardarropa, en color azul.
- La losa de la planta alta en mezanine en color naranja.
- El techo con las aperturas de las ventanas cenitales en color café.



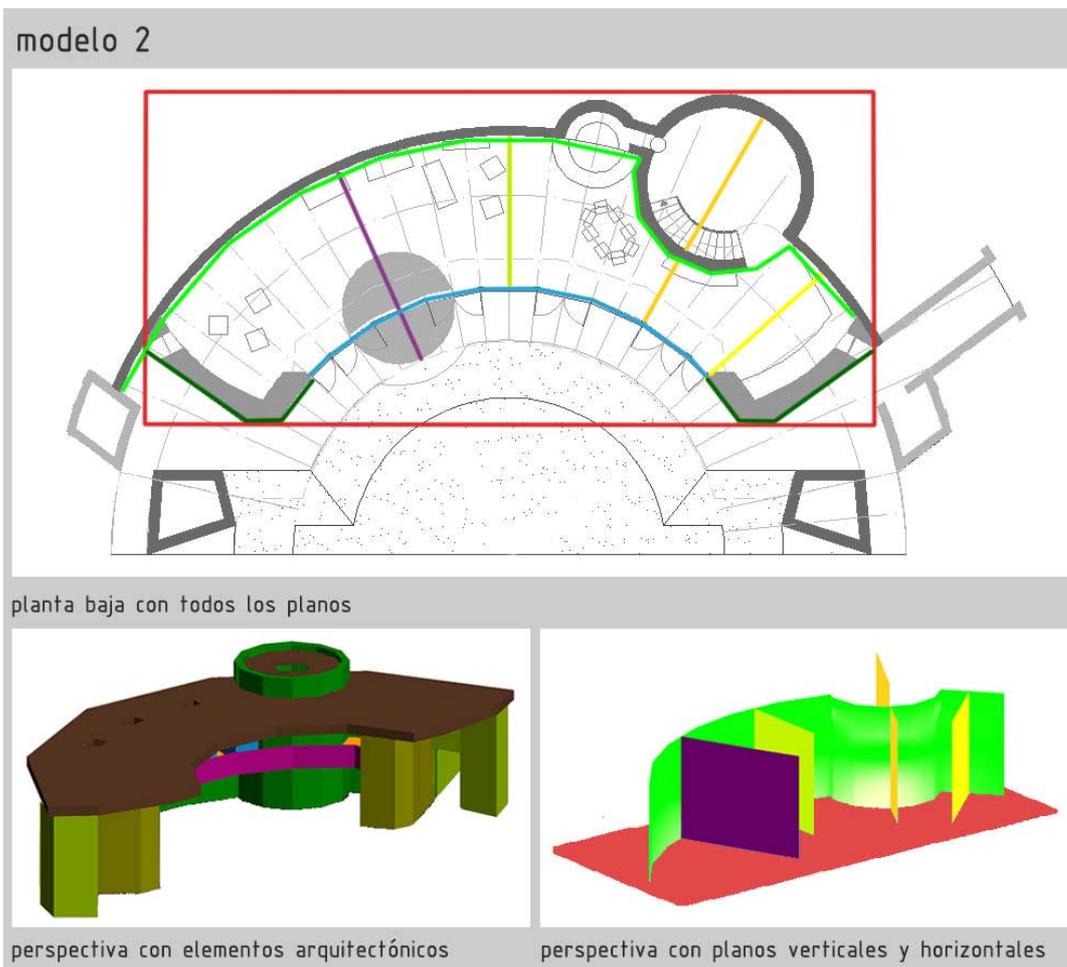
FIG\_15.- Modelo 1. Todas las imágenes fueron tomadas en Heliodon V2 y durante el solsticio de verano.

## MODELO 2

El control ambiental de la casa funciona por ganancia directa, de tal manera que se obtendrá el flujo solar para conocer la ganancia energética que se tiene en las superficies captadoras de energía solar. El factor de cielo nos servirá para tener una aproximación del nivel de iluminación natural que se logra en el interior, así como visualizar qué partes del edificio se encuentran más oscurecidas. Para su construcción, se han conservado todos los elementos arquitectónicos del primer modelo, a excepción de la cancelería de las ventanas. Además, han sido simplificadas las superficies curvas. Los componentes principales de este modelo son los planos donde se realizaron los cálculos, y serán visualizados en sus respectivos diagramas. Se ha ubicado un plano horizontal a nivel de piso en cada planta y los verticales se colocaron de la siguiente manera:

### Planos verticales:

- En la cara exterior de los muros de la fachada Sureste y Suroeste (verde oscuro).
- En las caras interiores del muro posterior y exterior del cilindro (verde claro)
- Planos en lugar de los cristales de las ventanas (azul claro)
- Cinco planos sobre los ejes que atraviesan en planta baja: el estanque (violeta); la parte central del edificio (verde ácido); dos planos, uno interior y otro exterior del cilindro (naranja); y la cocina (amarillo).



FIG\_16.- Modelo 2. Disposición en planta de los planos verticales y horizontales del modelo, así como los elementos arquitectónicos que lo componen. En la perspectiva sólo se muestran algunos planos interiores.

## ESTUDIO DE SOLEAMIENTO

Se analizaron trece puntos estratégicos del edificio. Estos puntos y sus respectivas estereografías se han colocado en cuatro diagramas diferentes para facilitar su comprensión. El primer diagrama corresponde al estudio de la planta baja, a fin de conocer la entrada directa del Sol en las superficies captadoras de energía solar en la parte central, así como en las ventanas del Suroeste y Sureste.

### 1.- Ventana Suroeste

En las estrategias de control ambiental, se supone que esta ventana se encuentra siempre sombreada. Comprobamos que esta afirmación no es del todo cierta, pues existe un breve momento en que los rayos solares alcanzan este punto desde el ventanal Sur. La planta libre favorece que los rayos no encuentren obstáculo alguno, a excepción de los muebles. En los días comprendidos entre el 28 de septiembre y el 14 de marzo, alrededor de las 13:00 horas, los rayos alcanzan este punto. Gracias a la ubicación del elemento exterior y la forma curva del muro posterior, principalmente, se evita que este periodo sea más prolongado, también intervienen en la protección el techo y el espesor del muro. Ni en los equinoccios ni en el solsticio de verano el Sol alcanza este punto, mientras que el 21 diciembre lo hace a partir de las 12:55 y hasta las 13:15. Entre el 21 y el 28 de agosto, a las 6:10, los rayos provenientes del ventanal Sur alcanzan este punto.

### 2.- Ventana Sureste

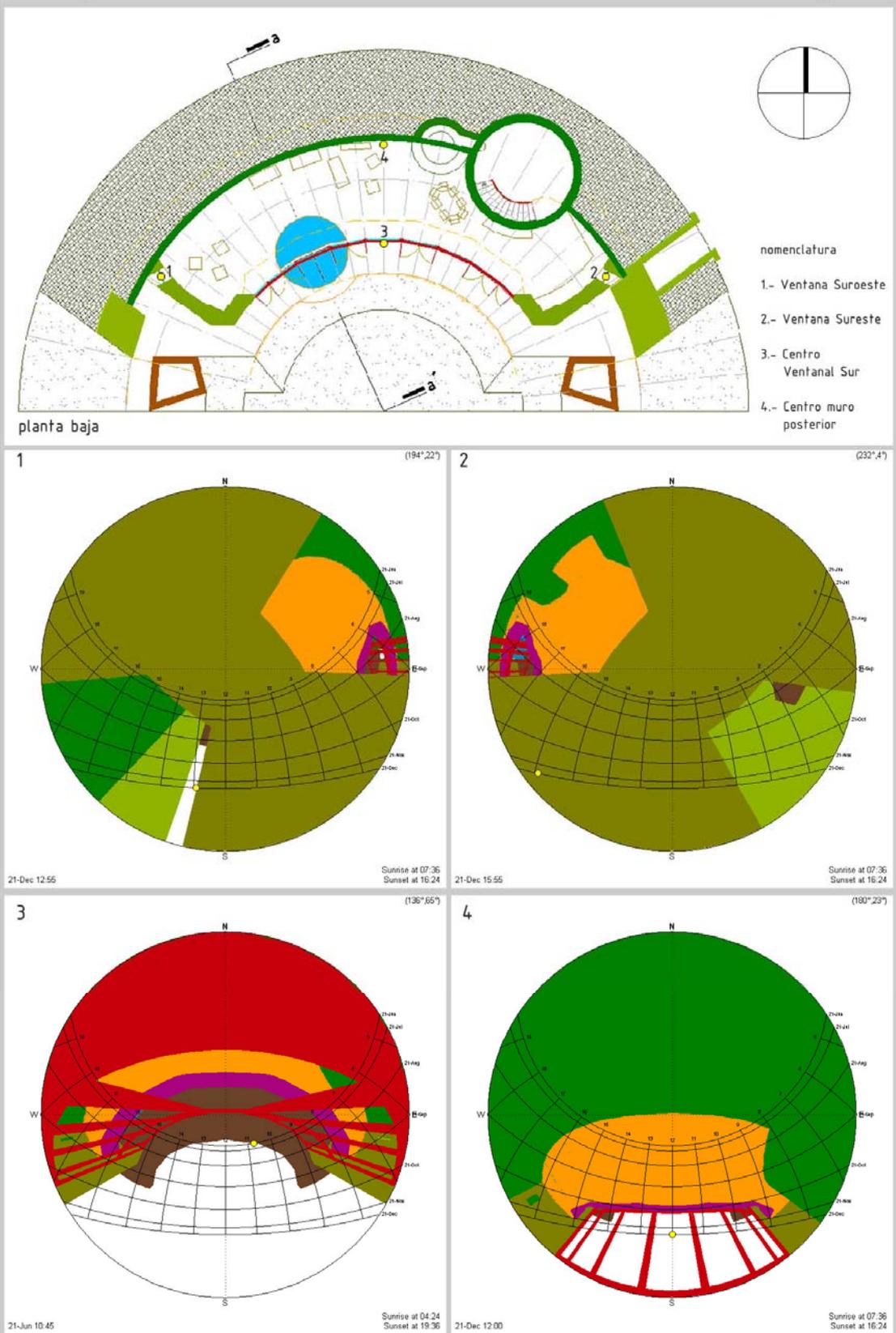
Nunca es alcanzada por los rayos del Sol, en este caso sí se cumple la premisa planteada. La protección principal la tenemos del elemento exterior así como los muros del túnel que atraviesa el terraplén y que bloquean los rayos de la mañana. Si se prescindiera de estos elementos, se obtendría la entrada de radiación directa durante casi todo el año, entre las 6:30 y las 10:30 (*grosso modo*). El techo y el espesor del muro también impiden la entrada de radiación directa.

### 3.- Centro Ventanal Sur

Se ha ubicado el captor justo donde comienza el ventanal, y se comprueba que el 21 de diciembre incide radiación directa durante todo el día. El 21 de junio no se logra una completa protección, pues inciden los rayos a partir de las 10:45 hasta las 13:15. Durante los equinoccios entre las 9:30 y las 14:30 hrs. El techo con su forma curva impide en los extremos la incidencia de radiación a partir del 7 de marzo y hasta el 15 de octubre, entre las 7:00 y 10:45, y entre las 12:15 y 16:00 hrs. Un factor determinante en la incidencia de radiación solar es la forma curva del hemicírculo, es ésta la que permite o bloquea la incidencia de radiación.

### 4.- Centro muro posterior

Se tiene radiación solar directa desde el 28 de octubre hasta el 12 de febrero. El 21 de diciembre es el periodo más largo, a partir de las 9:10 hasta las 14:45, los otros días es en horas similares. El techo bloquea unos pocos rayos, el elemento que bloquea gran parte de éstos es la losa de entresuelo, pero además la forma curva del edificio y los muros de las fachadas Sureste y Suroeste.



FIG\_17.- Diagrama 1 de soleamiento de la planta baja. Las estereografías se han tomado en diferentes fechas y a diferentes horas.

Este diagrama corresponde al estudio de los espacios extremos de la planta baja (sala de televisión y cocina), y de los elementos captadores de energía (estanque y cilindro).

#### **5.-Sala de televisión**

En ninguno de los solsticios se tiene entrada de radiación a éste punto: en él de verano es el techo y los muros los que bloquean los rayos; en él de invierno el muro de la fachada Suroeste y la cancelería del ventanal Sur. Durante los equinoccios, el Sol incide alrededor de las 8:00 hasta las 9:15. Se tiene una penetración de radiación directa entre las 6:00 y las 9:40 (*grosso modo*) durante casi todo el año, excepto del 18 de mayo al 25 de julio, periodo en que el techo bloquea los rayos. La ventana Suroeste no aporta ganancia, la forma curva del muro posterior bloquea los rayos.

#### **6.- Estanque**

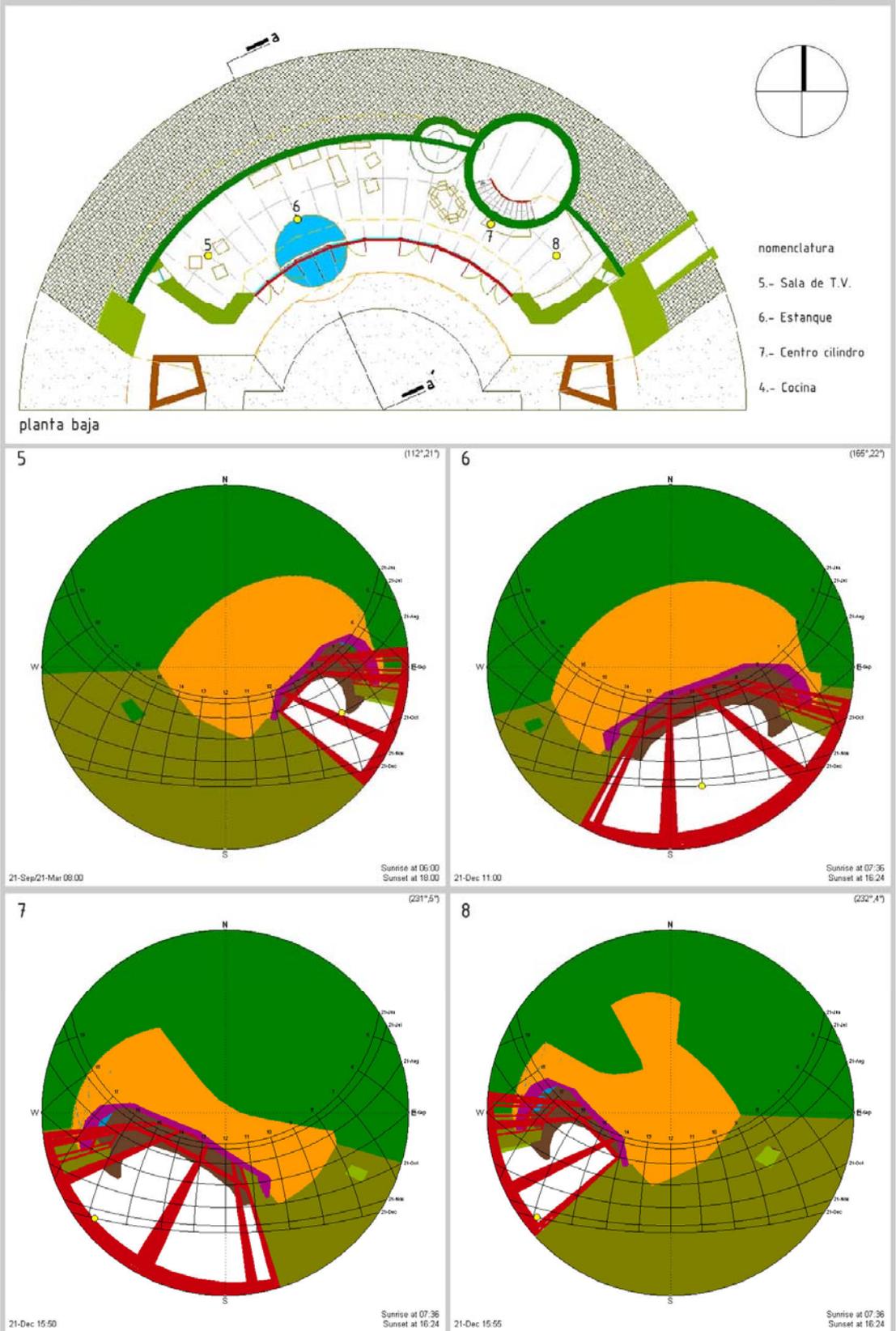
Es una de las principales superficies captadoras de energía, por lo cual se ha ubicado un captor en el extremo más alejado del ventanal. La radiación llega a este punto durante casi todo el año alrededor de las 7:20 hasta las 14:00 hrs. El periodo en que no se tiene ganancia es en los días comprendidos entre el 25 de abril y el 17 de agosto, lo que es favorable pues protege durante los meses más calurosos y en los que el Sol está más vertical. Durante el 21 de junio, no se tiene ganancia alguna, el 21 de diciembre incide entre las 8:20 y las 14:00 y en los equinoccios a partir de las 8:40 hasta las 12:30. La hora que permanece más constante es a las 11:00, lo cual es favorable pues el Sol casi ha alcanzado su altura más vertical y se tiene una ganancia de energética efectiva, aunque lo óptimo sería que recibiera los rayos de las 12:00.

#### **7.-Centro cilindro**

Los rayos alcanzan este punto durante gran parte del año entre las 11:00 y las 16:30, excepto del 25 de abril al 16 de agosto, pues alrededor de las 14:40 el techo comenzará a bloquear los rayos. Esta hora es la más constante durante el periodo en que se tiene un aporte directo de energía solar. En el solsticio de invierno, los rayos penetran a partir de las 11:00 hasta las 16:00, en el de verano nunca y en los equinoccios entre las 12:00 y las 15:35.

#### **8.-Cocina**

En este espacio, se tiene la entrada de radiación entre las 14:00 y las 17:20 durante casi todo el año, excepto del 18 de mayo al 25 de julio. Las 16:00 horas son las más constante, lo cual es favorable, pues a esta hora se tendrá un aporte de energía que calentara el espacio mientras se cocina, además de tener iluminación natural suficiente para la preparación de alimentos. El soleamiento durante los equinoccios es de las 14:40 a las 16:00 horas, el 21 de diciembre unos minutos alrededor de las 15:55 y en el solsticio de verano nunca.



FIG\_18.- Diagrama 2 de soleamiento de la planta baja. Las estereografías se han tomado en diferentes fechas y a diferentes horas.

El siguiente diagrama corresponde a las habitaciones de la planta alta. Se ha decidido analizar dos, en cada una se ha ubicado un captor. Se ha realizado además un estudio donde se prescinde de los paneles que dividen las habitaciones, pues impiden el libre paso de los rayos solares.

#### **9.- Habitación 1**

Se ha ubicado el captor justo enfrente de la entrada a la habitación y a un costado del muro posterior, con la finalidad de conocer si los rayos provenientes del ventanal Sur alcanzan este punto, visualizar el periodo en que los rayos penetran por la entrada y conocer si existe penetración de las ventanas cenitales del muro posterior y de las ventanas del techo. Observamos que tenemos ganancia directa desde la ventana cenital entre las 12:00 y 13:00 de los días comprendidos entre el 28 de julio y el 31 de agosto y entre el 11 de abril y el 15 de mayo. Desde las ventanas ubicadas en el muro posterior, no se tiene nunca penetración de rayos solares. Los rayos provenientes del ventanal Sur penetran por la entrada de la habitación entre el 10 de noviembre y el 30 de enero, a partir las 9:15 hasta las 10:20. De tal forma que ni durante los equinoccios ni en el solsticio de verano se tiene un aporte directo de energía desde esta dirección. Solamente en el solsticio de invierno los rayos alcanzan este punto a partir de las 9:15 hasta las 10:20. Los paneles divisorios aíslan casi completamente el interior de la habitación, este aislamiento tiene repercusiones energéticas y lumínicas importantes.

#### **9'.- Habitación 1 sin paneles divisorios**

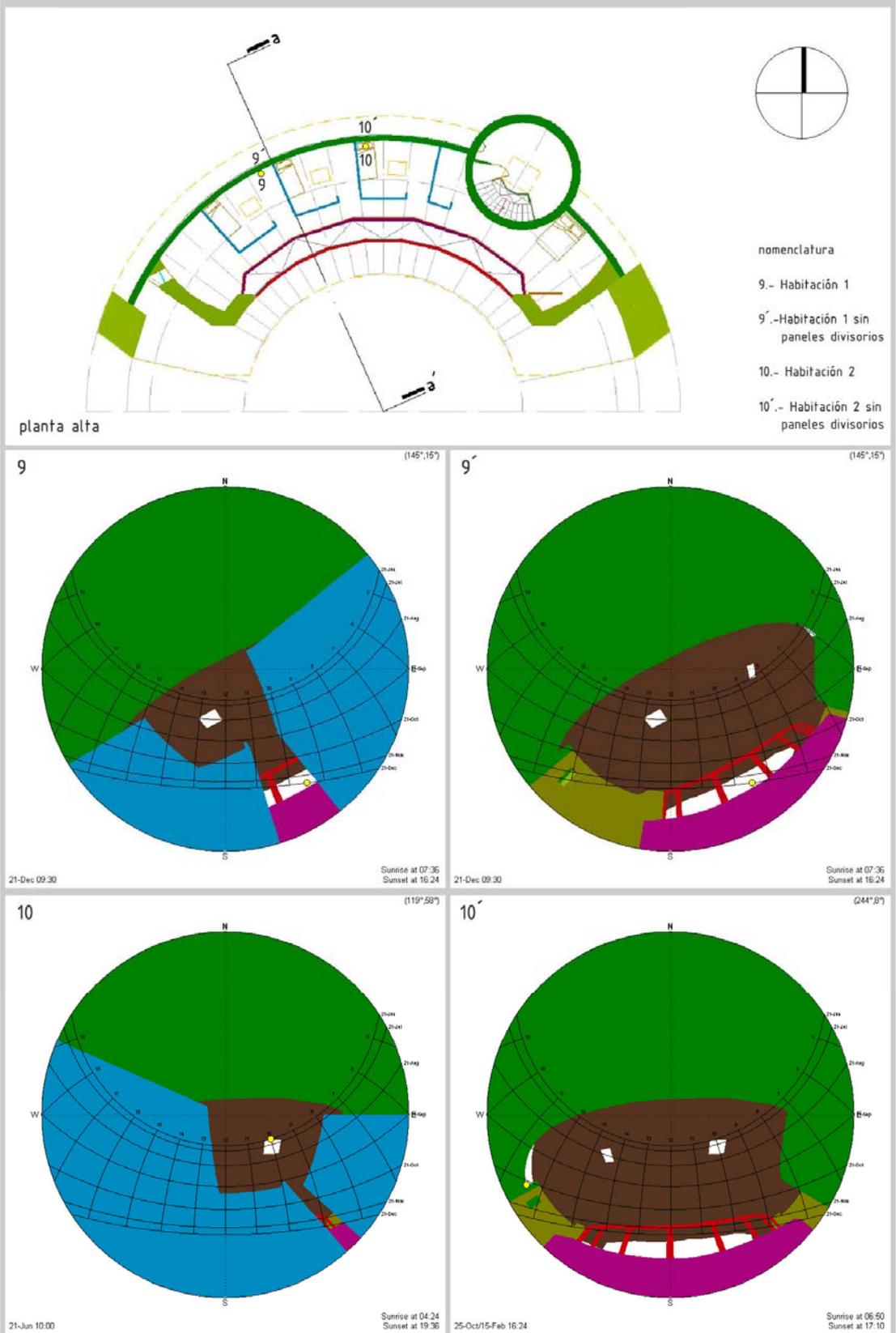
Se ha decidido prescindir de los paneles divisorios. Observamos que sin éstos se amplía el periodo de entrada directa, a partir del 28 de octubre hasta el 12 de febrero, entre las 8:20 y las 10:20. El murete del mezanine bloquea gran parte de los rayos. También se tiene una pequeña ganancia de la otra ventana cenital, entre el 5 de junio y el 7 de julio, alrededor de las 8:30.

#### **10.- Habitación 2**

Se ha ubicado el captor en la cama, justo en la parte donde se ubicaría el rostro de la persona mientras descansa. Observamos que en este punto se tiene únicamente la entrada directa proveniente de la ventana cenital, entre las 9:40 y las 10:20 de los días comprendidos entre el 1º de mayo y el 11 de agosto. El 21 de junio un breve instante alrededor de las 10:00. La sensación del usuario tal vez sea de molestia, pues en estos periodos se tienen los rayos más verticales y coincide con los meses más cálidos, resulta inconveniente la incidencia directa sobre la cara.

#### **10'.- Habitación 2 sin paneles divisorios**

En realidad no se tiene un gran aumento en cuanto a entrada directa de radiación. Se obtiene una penetración de rayos procedentes de las ventanas del muro posterior, entre el 18 de septiembre y el 25 de octubre y del 15 de febrero hasta el 24 de marzo alrededor de las 16:40. Así como la entrada desde otra ventana cenital, alrededor de las 14:30 horas entre el 12 de abril y el 3 de mayo y entre el 9 y el 30 de agosto. Del ventanal Sur no se tiene ninguna ganancia directa, aún y cuando se prescindiera del murete del mezanine, pues son el techo y la forma curva de los muros los que bloquean los rayos.



FIG\_19.- Diagrama 3 de soleamiento de la planta alta. Las estereografías se han tomado en diferentes fechas y a diferentes horas.

El siguiente diagrama corresponde al análisis de la ventana Suroeste de la planta alta, que se supone está siempre sombreada; del balcón del mezanine en la parte central sin el murete que bloquea los rayos provenientes del Sur, ni los paneles divisorios, que bloquean los provenientes del muro posterior; de la habitación principal y se ha realizado un estudio en la misma ubicación prescindiendo del murete del mezanine.

### **11.-Ventana suroeste planta alta**

Se encuentra protegida por el techo, el muro posterior y el elemento exterior, por lo cual no se tiene ganancia directa desde el exterior. Tiene una breve penetración de rayos provenientes del ventanal del muro Norte de la habitación principal las primeras horas, 5:50, del 5 al 12 de septiembre y del 30 de marzo al 6 de abril. Esta ganancia es muy poca y podemos asumir que se cumple la premisa de estar sombreada.

### **12.- Centro sin paneles divisorios ni murete**

Nos permite realizar un estudio de como penetrarían los rayos solares en caso de prescindir de estos elementos, visualizar la entrada que se tiene desde el ventanal Sur y Norte, así como de las ventanas cenitales. Los rayos provenientes de las ventanas cenitales nunca alcanzan este punto. Se tiene una ganancia desde las ventanas del muro posterior entre las 17:00 y las 18:00 horas a partir del 14 de marzo hasta el 28 de septiembre (*grosso modo*). El 21 de junio a partir de las 17:55 hasta las 18:15 hrs. Los días en que los rayos alcanzan este punto desde el ventanal Sur están comprendidos entre el 23 de octubre y el 12 de febrero, alrededor de las 8:30 y 15:30. El 21 de diciembre es a partir de las 9:20 hasta las 14:40. La protección principal la brinda el techo, principalmente, y la forma curva del edificio.

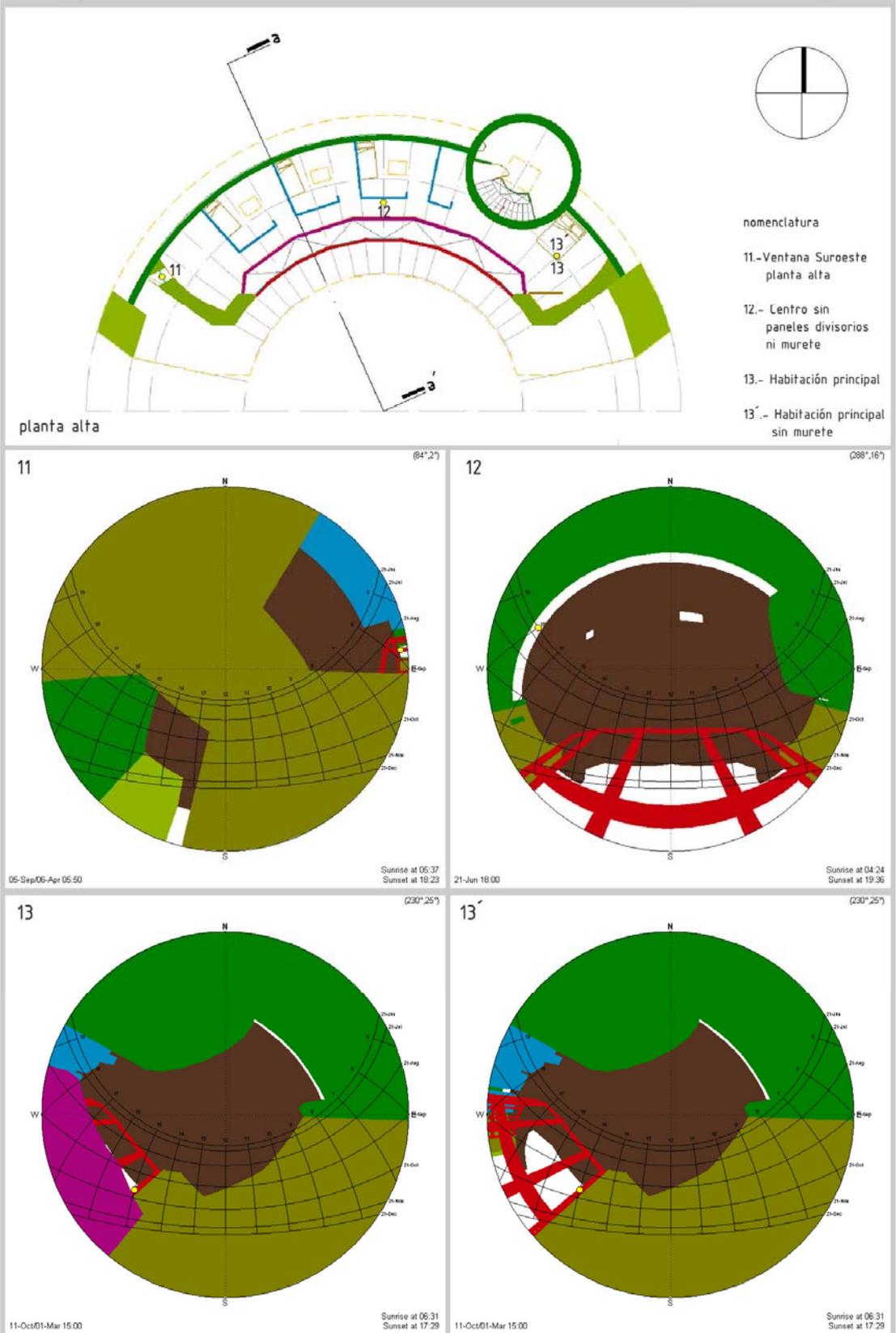
### **13.-Habitación principal**

Esta habitación recibe muy poca penetración directa debido a su configuración espacial. Los rayos solares proveniente de las ventanas del muro posterior no alcanzan este punto. Los rayos del ventanal Sur penetran a partir del 25 de septiembre hasta el 11 de octubre, y entre el 19 y el 17 de marzo, desde las 15:00 hasta las 15:30. El muro Sureste de la fachada bloquea gran parte de la radiación que pudiera penetrar, así como el murete del mezanine.

### **13'.- Habitación principal sin murete**

Si se prescindiera del murete del mezanine, se aumentaría de manera importante la penetración directa de radiación en este punto. El periodo en que los rayos del Sol alcanzan este punto se prolonga hasta poco más de 7 meses, a partir de las 15:00 hasta las 17:30, excepto los días entre el 5 de abril y el 6 de septiembre. En este sentido, vemos como se podría mejorar de manera sencilla el soleamiento del interior, sin sacrificar la superficie captadora de energía térmica que supone el muro Suroeste.

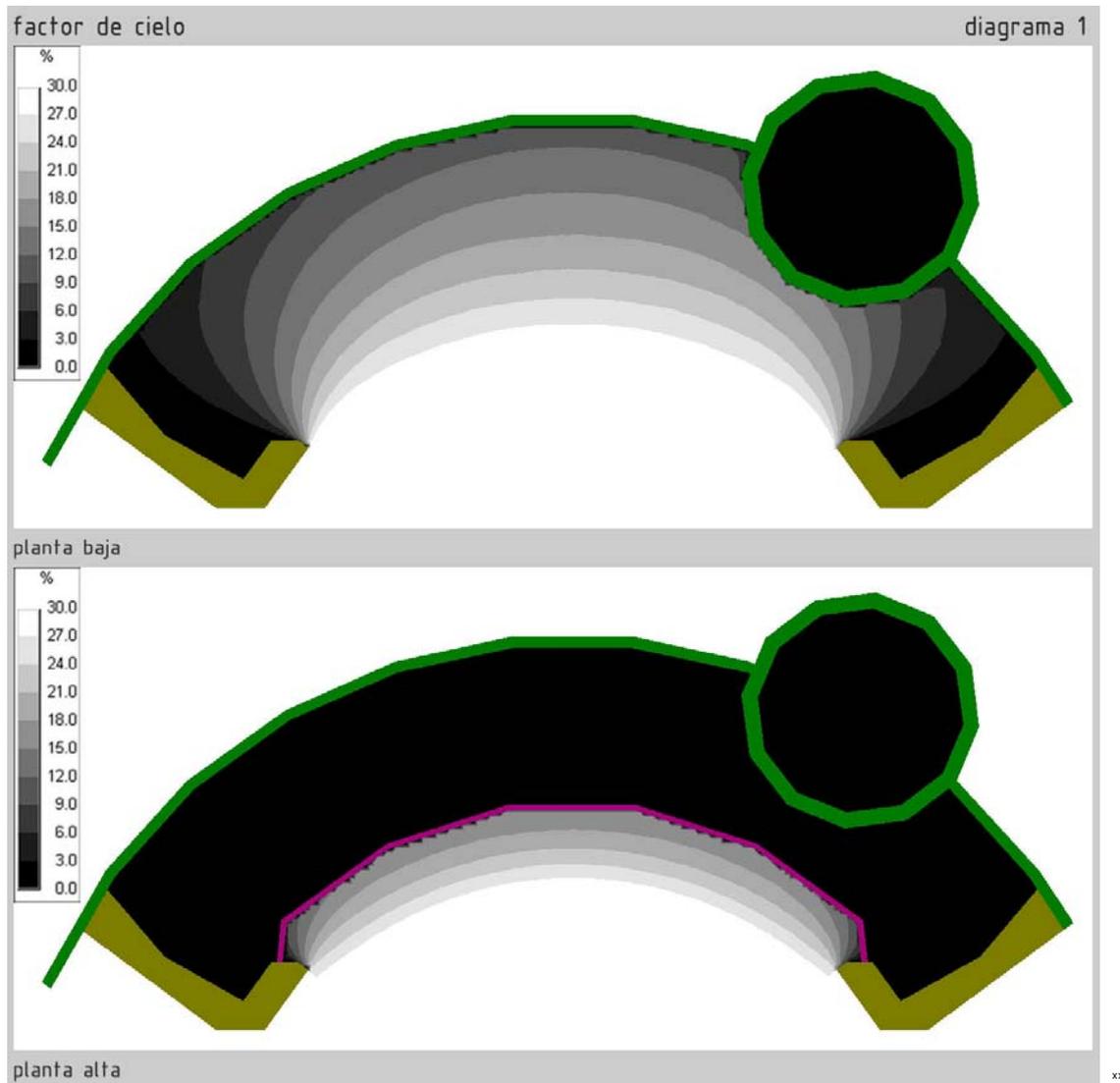
**NOTA:** No se ha realizado el estudio del interior del cilindro que contiene la ventana cenital, pues es claro que nunca penetrara el haz de luz de manera vertical hasta el suelo y si deseamos conocer que zonas es capaz de alcanzar resulta más fácil visualizar el haz de luz con mapas de flujo solar.



FIG\_20.- Diagrama 4 de soleamiento de la planta alta. Las estereografías se han tomado en diferentes fechas y a diferentes horas.

## FACTORES DE CIELO

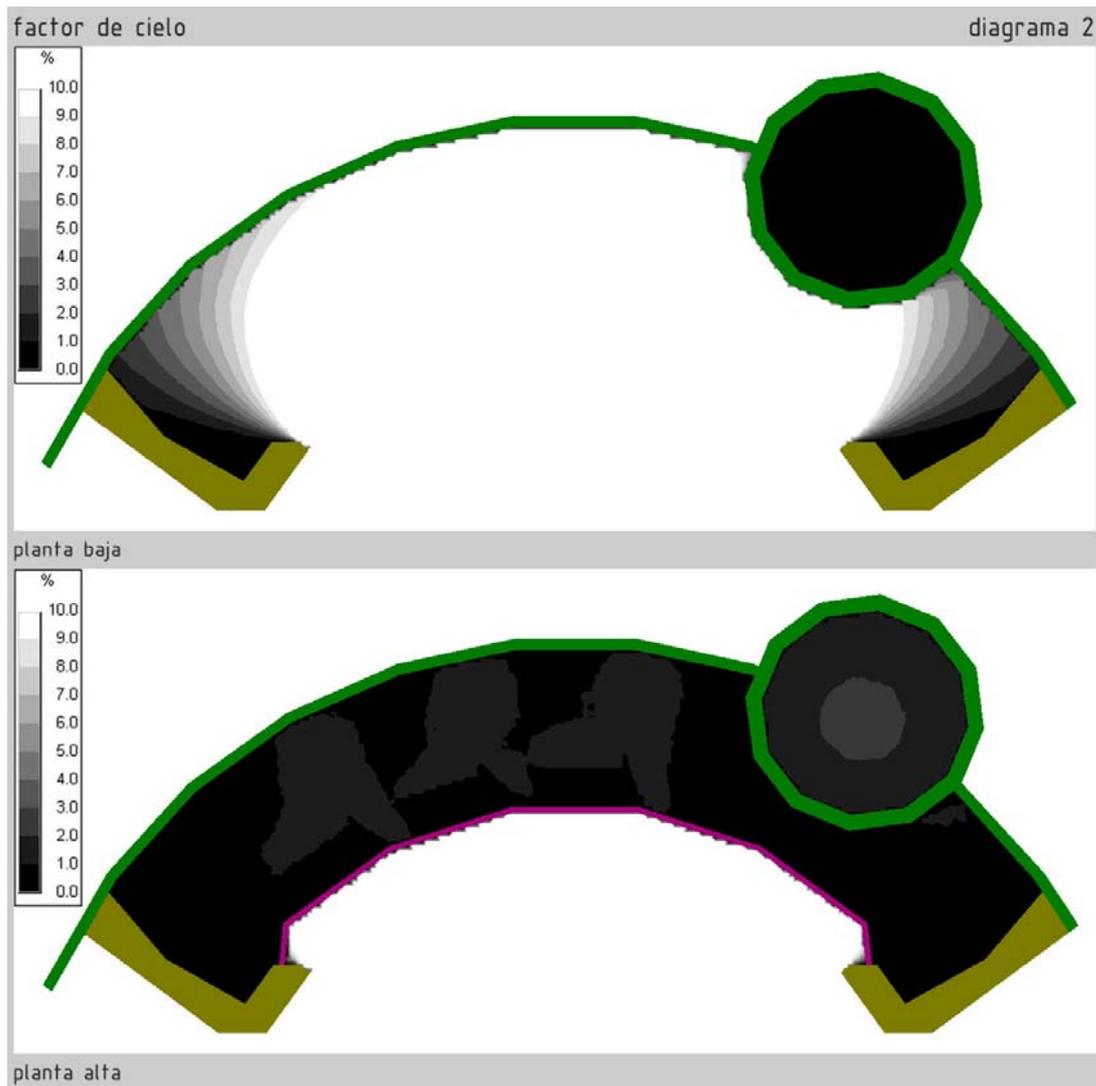
Se han colocado varios planos tanto en sentido horizontal, como en vertical, a fin de conocer el factor de cielo que tiene el interior del edificio y ver en qué zonas tendremos niveles de luz natural adecuados. Comenzaremos por visualizar el factor de cielo que se tiene en planta baja y alta, por lo cual se ha colocado un plano horizontal en cada planta dispuestos a nivel de piso.



FIG\_21.- Diagrama de factor de cielo hasta 30% en planta baja y alta. Se han dejado los muros posteriores y de la fachada como referencia y en planta alta permanece el murete del mezanine.

Existe un contraste contundente en cuanto valores entre ambas plantas. En planta baja tenemos valores entre el 30% justo a un lado del ventanal, alcanzando el muro posterior valores entre el 9 y 12%, pues se encuentra libre de obstrucciones. Las áreas que ven menos cielo se encuentran en los extremos del edificio (cocina y sala de televisión) y en el interior del cilindro (lavabo y escalera). En planta alta tenemos niveles muy inferiores, pues los paneles que dividen las habitaciones y el murete del mezanine actúan como barreras, además esta planta se encuentra más cerca del techo. Observamos que aún y teniendo las ventanas del muro posterior y cenitales, en la planta alta prevalecen niveles de factor de cielo por debajo del 6%.

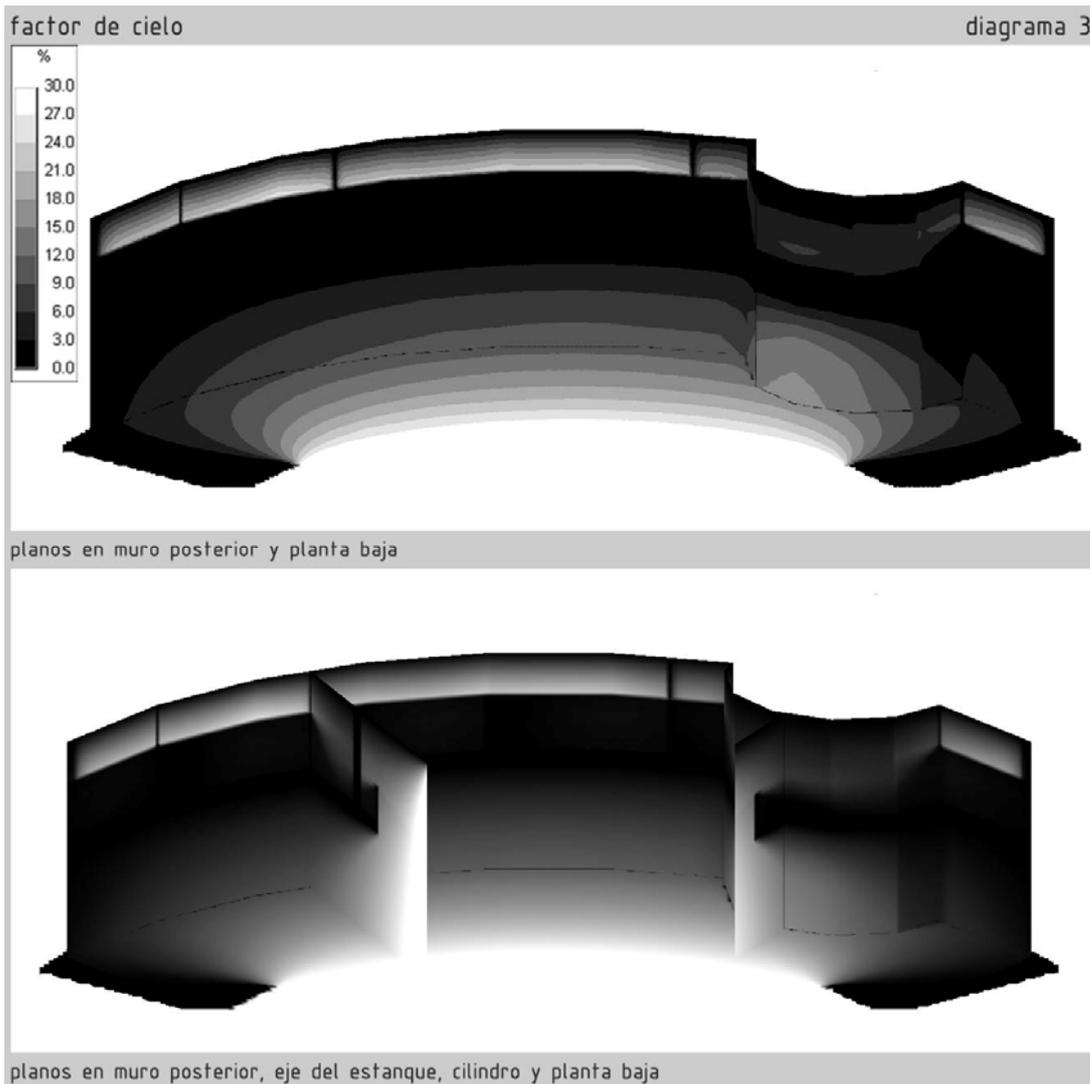
Se ha bajado el límite al 10%, a fin de acercarnos a valores más puntuales del interior. Nuevamente las imágenes resultan contrastantes. En casi toda la planta baja tenemos valores superiores al 10%, repartidos del centro del ventanal Sur a los extremos de forma simétrica, incluso en el muro posterior se tiene este valor. En la cocina y en la sala de T.V. encontramos la gradación de valores, siendo la menor en los muros Sureste y Suroeste. Estos niveles nos permiten utilizar iluminación natural en estas zonas, además la distribución es lo suficiente uniforme para permitir prescindir de energía eléctrica durante el día.



FIG\_22.- Diagrama de factor de cielo hasta 10% en planta baja y alta. Se han dejado los muros posteriores y de la fachada como referencia y en planta alta permanece el murete del mezanine.

La planta alta tiene niveles más bajos, sin embargo permiten una buena iluminación natural. En las habitaciones se tienen valores por debajo del 3%, en la principal y en el extremo Oeste es menor, hasta 2%; el cilindro tiene los valores más altos, del 1 al 4%. La barrera provocada por el mezanine y los paneles que dividen las habitaciones crean un problema de confort visual, pues tenemos un contraste exagerado de claridades, los valores de las habitaciones son muy inferiores a los del vacío del mezanine y más aun con los del exterior, lo que resultará en deslumbramientos en los usuarios.

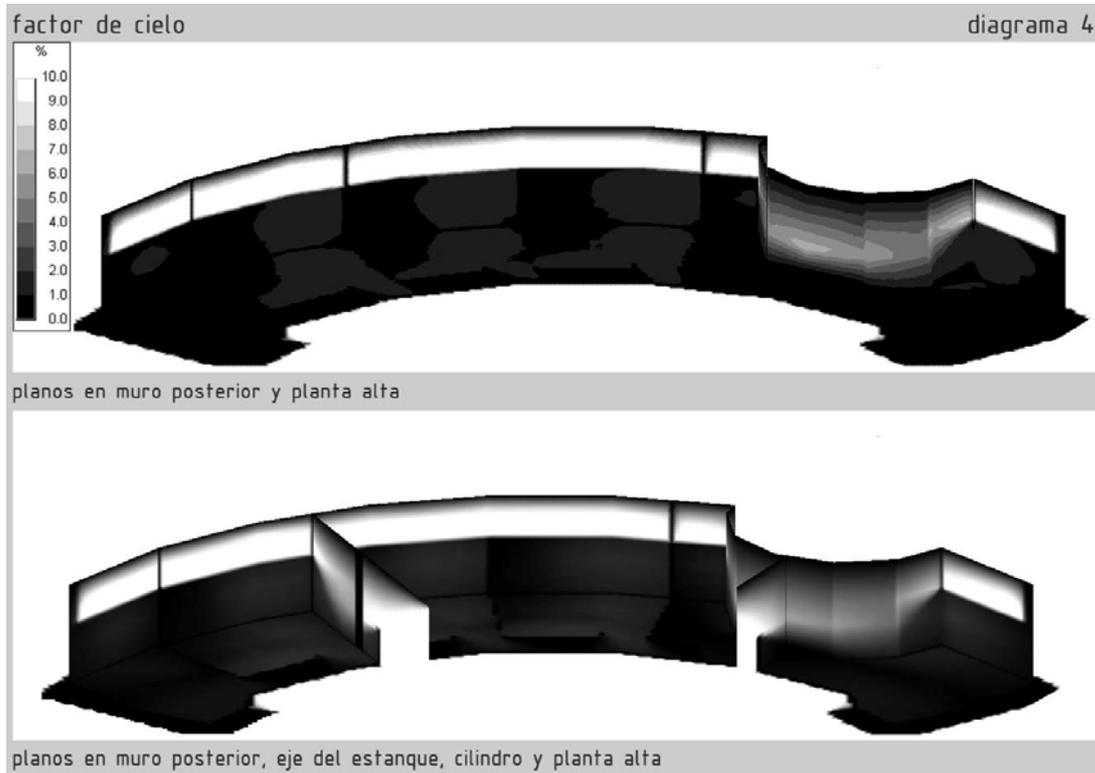
El siguiente diagrama contiene planos verticales y horizontales a fin de visualizar los factores de cielo en tres dimensiones. La imagen superior muestra los planos en curvas de nivel y la segunda en gradaciones continuas. En la primera imagen, observamos que existe una distribución gradual que parte del centro a los extremos y de la parte inferior a la superior. Los niveles que tenemos en planta baja y en los elementos verticales se encuentran entre el 15%, cercano al nivel de piso y hasta el 3%, al alcanzar la losa de la planta alta. Este valor es el que prevalece en la mayoría de la planta alta, a excepción de los planos ubicados en el cilindro y las ventanas del muro posterior.



FIG\_23.- Diagrama de factor de cielo de los planos verticales del muro posterior, del cilindro y del plano horizontal de la planta baja. En la primera imagen tenemos los valores en curvas de nivel mientras que en la imagen inferior se encuentran en gradaciones continuas, además se han agregado a la vista los planos del eje del estanque y del cilindro en la parte exterior.

En la imagen inferior, observamos que en planta baja tenemos valores más altos y una distribución gradual más uniforme, mientras que en la planta alta tenemos valores más bajos y contrastes muy marcados.

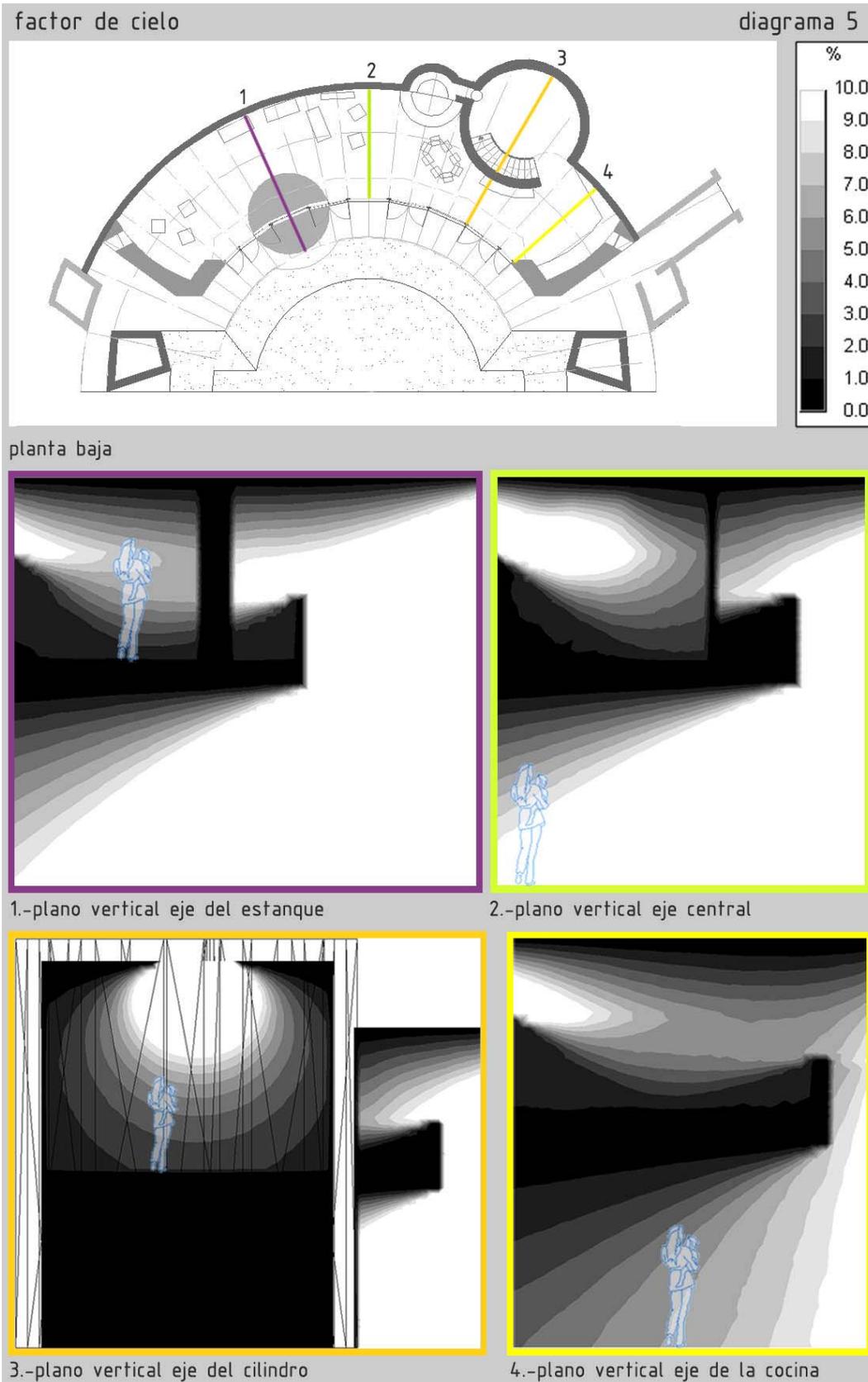
El siguiente diagrama corresponde a la visualización en tres dimensiones de la planta alta. Se ha reducido el valor límite a 10%, pues sus valores se ubican por debajo de éste nivel. En las habitaciones tenemos valores superiores al 10% en las ventanas del muro posterior, por debajo de éstas los valores se encuentran inferiores al 3%. En los muros del cilindro tenemos los valores más altos, hasta un 8%, y los niveles más bajos en el extremo Oeste. A nivel de piso tenemos valores inferiores al 3%, prevalece el valor menor a 1%, la parte más oscura es la zona Oeste.



FIG\_24.- Diagrama de factor de cielo de los planos verticales del muro posterior, del cilindro y del plano horizontal de la planta alta. En la primera imagen tenemos los valores en curvas de nivel, mientras que en la imagen inferior se encuentran en gradación continua. Además, se han agregado a la vista los planos del eje del estanque y del cilindro en la parte exterior.

En la imagen inferior, podemos apreciar el interior de una habitación, del balcón del mezanine y la habitación principal. Observamos que en la habitación se tienen niveles más bajos provenientes de las ventanas del muro posterior que de los del ventanal Sur. Se tienen valores buenos a la altura de los ojos del usuario, sin embargo existen contrastes importantes en sentido vertical, en el interior de las habitaciones respecto el espacio vacío del mezanine, e incluso en el mismo balcón de éste. La habitación principal se encuentra con valores más bajos, pero los muros del cilindro propician un interior mejor iluminado, pues su superficie reflejará la luz. Las zonas más oscuras son la Oeste, las cercanas a las losas y la zona inferior del murete del mezanine.

El siguiente diagrama corresponde al estudio de los planos verticales de los ejes del hemisiclo solar, a fin de visualizar los valores de factor de cielo de los espacios.



FIG\_25.- Factor de cielo de los planos verticales del eje del estanque central, del cilindro y de la cocina. Se ha agregado una escala humana para visualizar los valores a la altura del campo visual y del área de trabajo.

**1.-Plano vertical eje del estanque:** Se tiene un valor superior al 10%, ubicado en la parte continua al ventanal Sur, el vacío del mezanine y gran parte de la planta baja. Este valor alcanza la parte inferior del muro posterior, donde comienza su gradación hacia la parte superior. En planta alta, este valor es interrumpido por el murete del mezanine y por los paneles divisorios de las habitaciones. En la habitación tendremos este valor justo a un lado de las ventanas del muro posterior. A la altura de los ojos y en el área de trabajo, tenemos hasta 7%.

**2.-Plano vertical eje central:** En planta baja, sala de estar, a la altura de los ojos se tiene un valor entre 7 y 8%, el área de trabajo tiene más de 10%. En planta alta, donde se ubica una habitación, se tienen valores superiores al 10% a la altura de los ojos a un lado de la ventana del muro posterior y hasta la parte central, en el área de trabajo es de 6%. Las zonas con valores más bajos son las adyacentes al muro posterior, así como las cercanas a las losas. En el balcón del mezanine y a la altura de los ojos se tiene un valor de hasta 6% y en la parte inferior de 0%.

**3.-Plano vertical eje del cilindro:** En el interior del cilindro, se tienen valores superiores al 10% justo debajo de la ventana cenital. El valor que predomina a la altura de los ojos es de 6% y en el área de trabajo entre 5 y 4%.

**4.-Plano vertical eje de la cocina:** La cocina y la sala de televisión son prácticamente iguales. Así como en planta alta lo son la habitación principal y el extremo Oeste. En planta baja y en el centro de la cocina, el valor a la altura de los ojos es de hasta 4% y a la altura del área de trabajo de 6%. Las zonas con valores más bajos son las cercanas a la losa superior y próxima al muro posterior. En planta alta, en la habitación principal, el valor promedio a la altura de los ojos es del 6%.

## CONCLUSIÓN

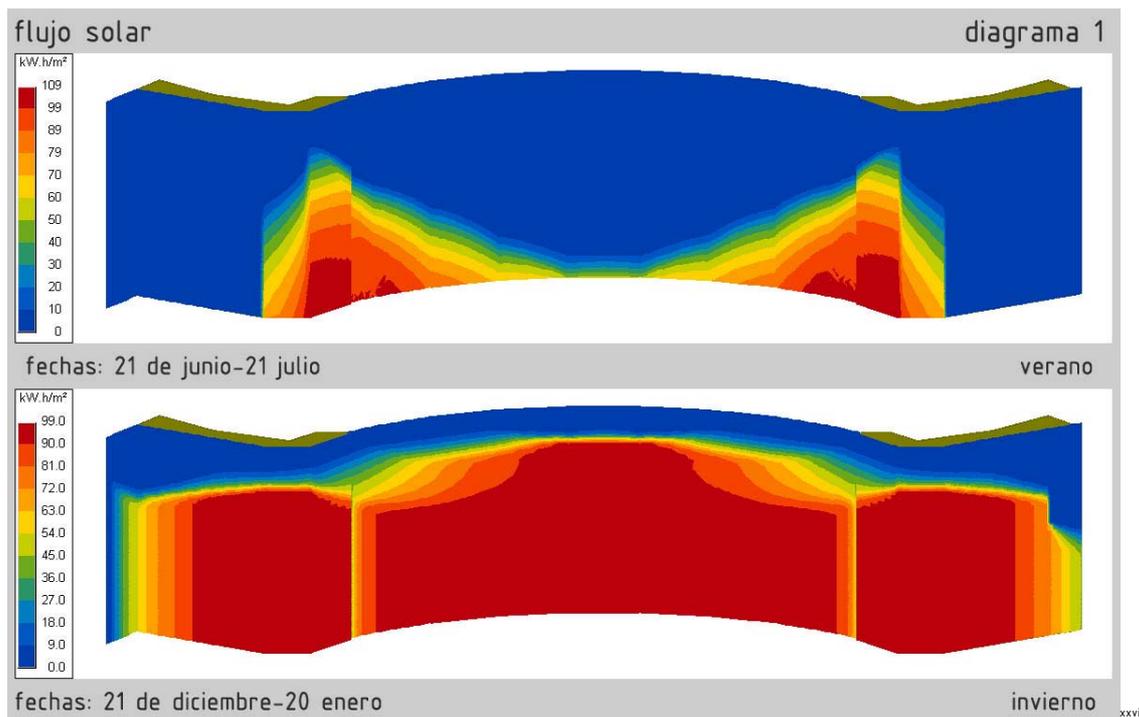
Si tomamos en cuenta los factores de cielo para saber qué nivel de iluminación difusa se tendrá en el interior, podemos afirmar que podremos trabajar con iluminación natural en cualquier espacio. La planta baja es la mejor iluminada, su configuración nos permite tener valores superiores al 10%, además de una gradación uniforme. En esta planta, se tienen valores similares a los del exterior, no existe un contraste de claridades que provoque deslumbramientos. El color claro de los muros de piedra caliza y el resto de mobiliario reflejan la luz, así como la forma cóncava del edificio. El eje central del edificio tiene mayor factor de cielo, quizás hubiese sido más conveniente ubicar ahí la cocina, a partir de este eje, los valores se distribuyen de manera simétrica.

En planta alta, se tienen niveles suficientes para poder trabajar: a nivel de los ojos tenemos 6% y en el área de trabajo 5 y 4%. El problema es el contraste de valores que prevalece, pues la comodidad visual o visibilidad depende de las relaciones entre las claridades y al existir una gran claridad al exterior se obliga a la visión a reducir su sensibilidad, creando efectos de deslumbramiento. Los paneles divisorios y el murete del mezanine propician una reducción de valores y una barrera para la luz. Además, por ser de color oscuro, evitan que la luz que alcanza a penetrar se refleje nuevamente. Sería mejor prescindir de éstos elementos, o al menos cambiar a un color más claro, o por materiales que permitan el paso de la luz.

## FLUJO SOLAR

Este estudio nos permite conocer la radiación que incide en las superficies durante los meses de los solsticios, así como visualizar en qué zonas se concentra esta energía. Es importante recordar que estos planos realizan un corte en el volumen, mostrando el valor de flujo solar que atraviesan. Además, en la cuantificación no se toma en cuenta la oblicuidad del rayo solar por lo cual no deben de tomarse estos valores como absolutos, sino como una aproximación. Sin embargo, estos mapas son muy útiles al mostrar las zonas atravesadas por el flujo solar. El primer diagrama corresponde al estudio del ventanal Sur y los muros de la fachada Sureste y Suroeste.

En el periodo de verano, tenemos una menor incidencia de radiación, aunque el valor máximo es de 109 KW.h/m<sup>2</sup>, sólo incide en los muros Sureste y Suroeste en la parte inferior y una pequeña parte de los extremos del ventanal. Predomina el valor de 0 a 10 KW.h/m<sup>2</sup> en gran parte de la superficie, sobretodo en la más peligrosa: el ventanal Sur. En este sentido, podemos afirmar que sería conveniente la ampliación del alero, o mejor aún colocar paneles móviles que propicien un mayor sombreado durante el verano en la fachada Sur. Podemos concluir que el diseño funciona, aunque sería mejor realizar la mejora mencionada.

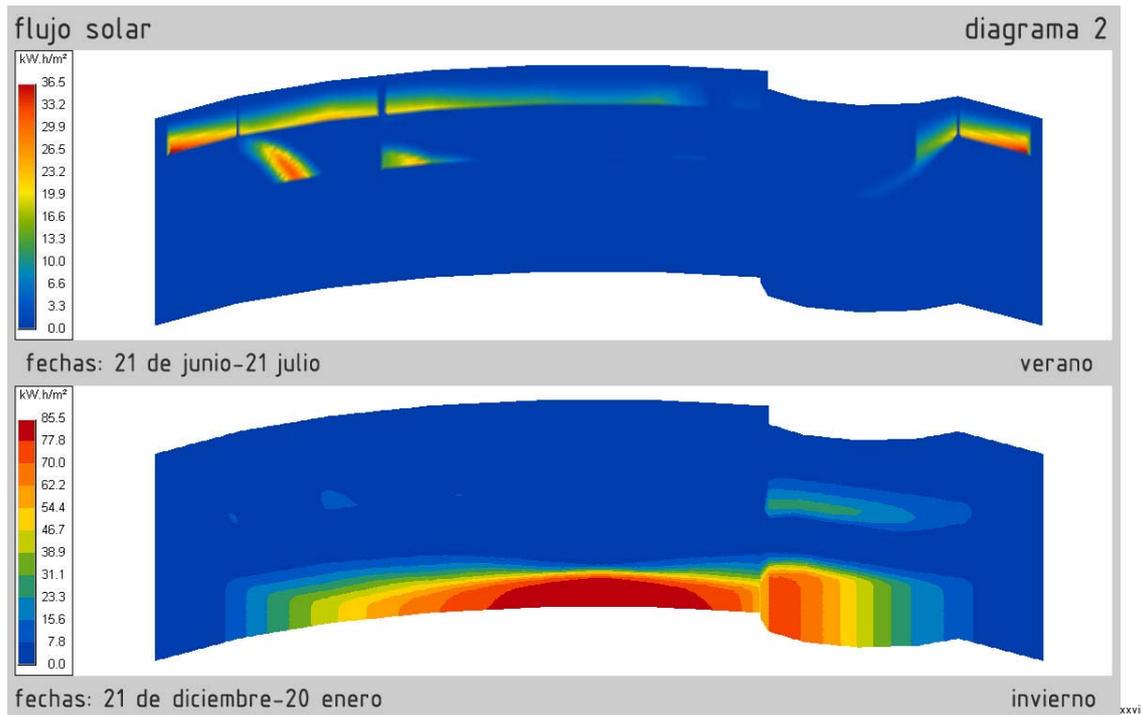


FIG\_26.- Flujo solar de verano e invierno del ventanal de la fachada Sur y la cara exterior de los muros Sureste y Suroeste.

En invierno, el diseño funciona muy satisfactoriamente. Gran parte de la superficie recibe una adecuada incidencia de radiación, alcanzando como máximo 99 kW.h/m<sup>2</sup>. Este valor se ubica en la mayoría de la superficie, sobretodo en el ventanal Sur, lo que resulta en un aporte de energía importante al interior. El ventanal Sur, justo en el eje del edificio, tiene la mayor incidencia en invierno y la menor en verano. Podemos comprobar que la premisa de radiación es cumplida, por lo cual afirmamos que el diseño solar funciona y que la mejor orientación es la del Sur.

El siguiente diagrama contiene el análisis del muro posterior y del cilindro, que por estar hechos con piedra caliza, constituyen superficies captadoras de radiación.

En verano se tiene muy poca incidencia de radiación, prevalece el valor de 0 a 3.3 Kw.h/m<sup>2</sup> en casi toda la superficie, en toda la planta baja se tiene este el valor. El valor máximo es de 36.5 Kw.h/m<sup>2</sup> y se ubica en los extremos de las ventanas del muro posterior, que coincide con la dirección del amanecer y del ocaso durante estos meses, así como la proveniente de las ventanas cenitales. Podemos afirmar que el diseño funciona en verano, pues se tiene muy poca ganancia energética en el interior.



FIG\_27.- Flujo solar de verano e invierno del muro posterior y de la cara exterior del cilindro.

En invierno, la radiación alcanza el muro posterior y el cilindro. En el muro incide en la parte inferior central, 85.5 Kw.h/m<sup>2</sup>, y se reparte hacia los extremos. En la sala de televisión y la cocina se tiene la menor incidencia, entre 0 y 7.8 Kw.h/m<sup>2</sup>, así como en gran parte de la planta alta. El cilindro constituye una superficie importante de captación de energía. Por su ubicación es capaz de recibir hasta 77.8 Kw.h/m<sup>2</sup>, esta radiación se reparte hacia los lados y predomina en la planta baja.

En la mayor parte del muro posterior de la planta alta, tenemos valores inferiores a 7.8 Kw.h/m<sup>2</sup>, sólo una pequeña franja alcanza 31.1 Kw.h/m<sup>2</sup>. Este muro es alcanzado por muy pocos rayos solares debido a la cercanía con el techo y por la presencia de los paneles divisorios y el murete del mezanine. Podemos afirmar la inconveniencia de estos elementos, sobretodo del murete, pues los paneles divisorios brindan privacidad a las habitaciones y son necesarios, sin embargo el murete podría ser un simple barandal o cambiar a un material con inercia térmica, pues irradiara la energía obtenida al interior.

El siguiente diagrama corresponde al estudio del plano horizontal de la planta baja, pues ahí se encuentran la losa maciza y el estanque de agua, que son las superficies más importantes para la captación de energía solar.

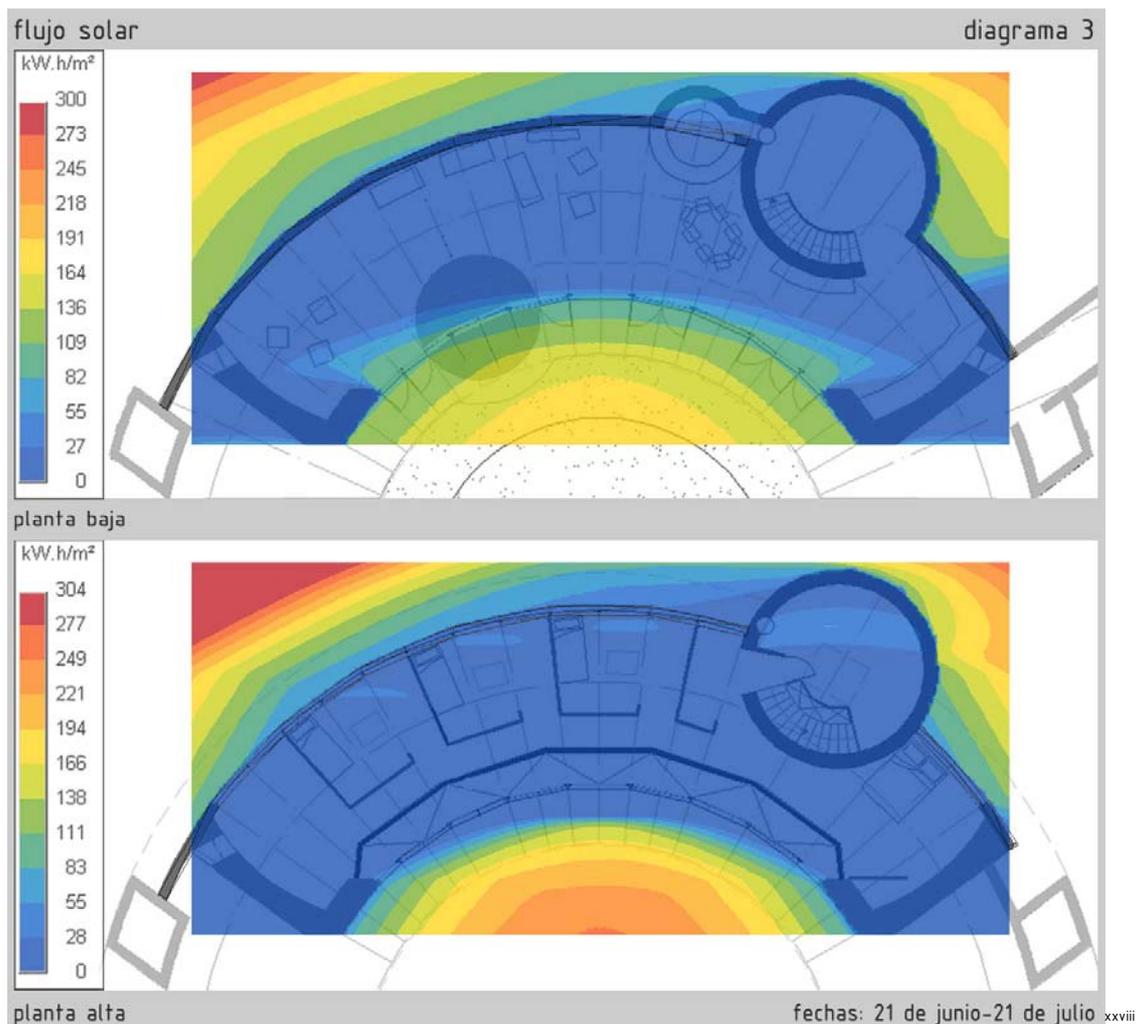
### VERANO

**Losa de concreto:** Los valores van de 0 a 136 Kw.h/m<sup>2</sup>, prevalece el valor más bajo de 0 a 27 Kw.h/m<sup>2</sup> en la mayoría de la superficie. Sólo las áreas cercanas al ventanal y a los extremos, donde se ubican la cocina y la sala de televisión, tienen valores hasta de 136 Kw.h/m<sup>2</sup>. El eje con menor radiación es el central, orientado exactamente al Sur.

**Estanque:** En la parte interior de éste inciden hasta un máximo de 136 Kw.h/m<sup>2</sup> en la parte más cercana al ventanal pero mayormente valores inferiores a 27 Kw.h/m<sup>2</sup>. En el exterior tiene valores entre 82 y 164 Kw.h/m<sup>2</sup>.

**Exterior:** Las condiciones exteriores de radiación son importantes pues de éstas depende la ventilación cruzada del edificio. La ventilación cruzada por diferencia de temperatura se cumple, pues en la fachada Norte tenemos una menor incidencia de radiación y en la fachada Sur tenemos valores superiores entre 109 y 191 Kw.h/m<sup>2</sup>.

**Planta alta:** Predomina el valor de 0 a 27 Kw.h/m<sup>2</sup>, la única penetración es la proveniente de las ventanas cenitales, que alcanza valores de 28 a 55 Kw.h/m<sup>2</sup>.



FIG\_28.- Flujo solar de verano de los planos horizontales de planta baja y alta. Se han superpuesto los planos arquitectónicos de las respectivas plantas.

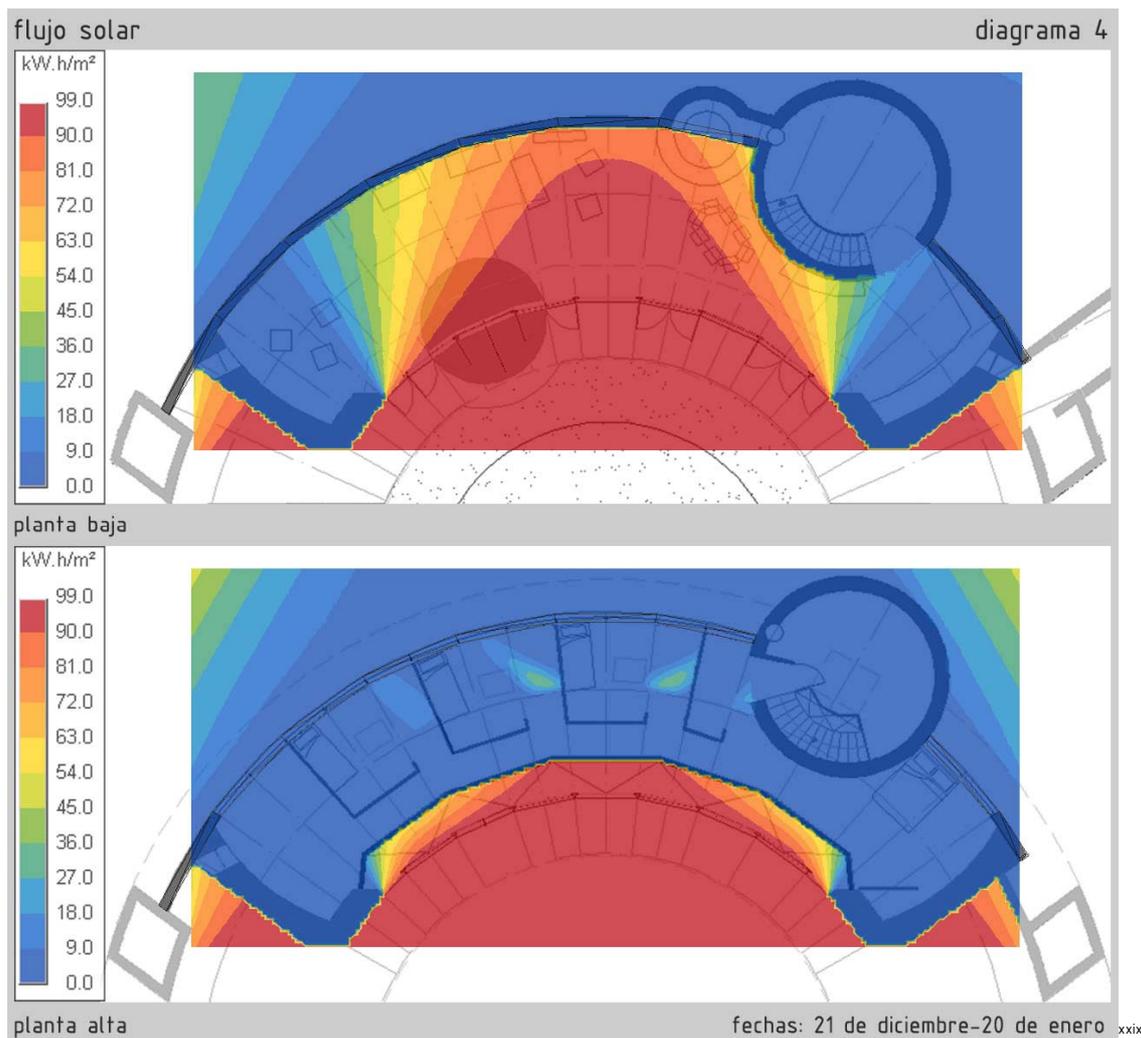
## INVIERNO

**Losa de concreto:** El valor máximo de radiación es de 99 Kw.h/m<sup>2</sup>, se localiza en el centro (orientación Sur) y se reparte de manera simétrica a los extremos. Este valor ocupa toda la superficie donde descansa el ventanal Sur, la sala de estar y una parte del comedor. Los valores más bajos se ubican en la cocina, la sala de televisión y el interior del cilindro (0-9 Kw.h/m<sup>2</sup>). El eje con mayor radiación es nuevamente el central.

**Estanque:** Predomina el valor más alto (99 Kw.h/m<sup>2</sup>) en gran parte de su superficie, completamente en el exterior y más de la mitad del interior. Existe una buena incidencia de energía, y por la inercia térmica del agua será importante el aporte energético. Sin embargo, la mejor orientación hubiese sido exactamente al Sur pues ahí se tendría el valor máximo en todo el estanque y el menor en verano.

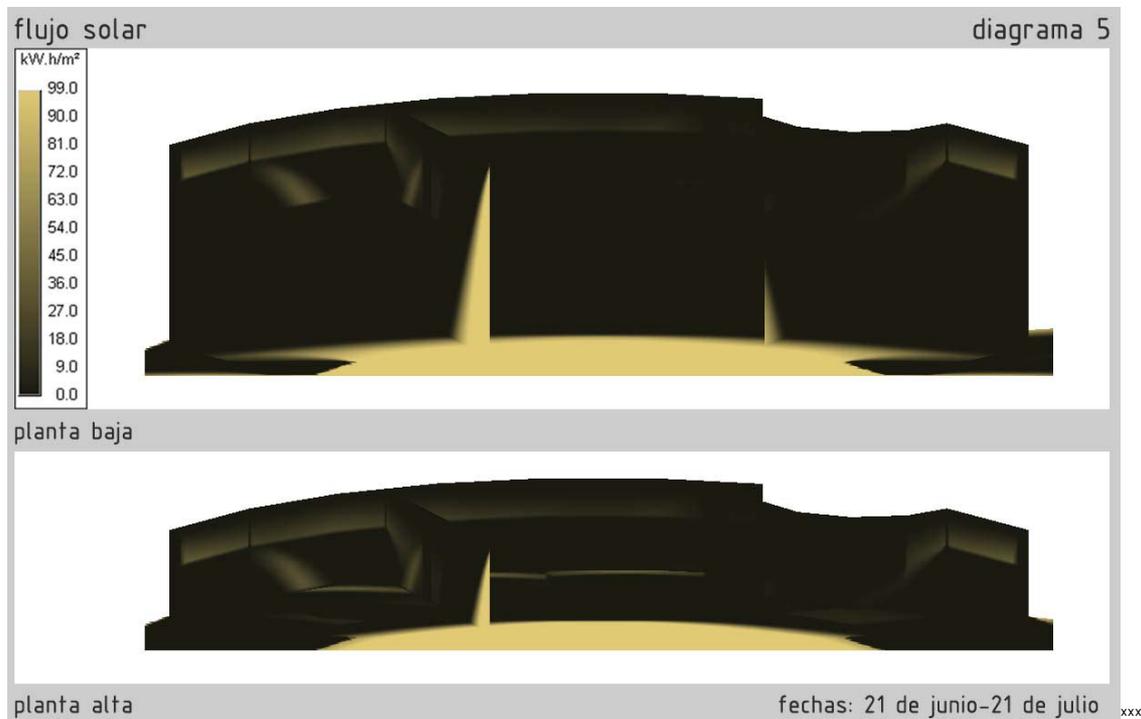
**Exterior:** En la fachada Norte, tenemos una menor incidencia de radiación ,0-9 Kw.h/m<sup>2</sup>, y en la fachada Sur tendremos valores entre 90 y 99 Kw.h/m<sup>2</sup>.

**Planta alta:** Existe una incidencia de radiación muy baja, predomina el valor de 0 a 9 Kw.h/m<sup>2</sup>, la energía proveniente de las ventanas cenitales es de 9 a 36 Kw.h/m<sup>2</sup>. Existe una penetración importante desde el ventanal Sur que alcanza el murete del mezanine, este elemento bloquea el paso de la radiación al interior. La solución sería prescindir de él, o bien sustituir la madera por un material con alta inercia térmica.



FIG\_29.- Flujo solar de verano de los planos horizontales de planta baja y alta.

Los siguientes diagramas muestran la incidencia de radiación en tres dimensiones. Han sido ubicados los paneles del muro posterior y del cilindro, el del eje del estanque y del cilindro en la parte exterior, así como los planos horizontales de cada planta. Se ha asignado un código de color diferente que muestra una gradación, pues el anterior no facilitaba la comprensión.

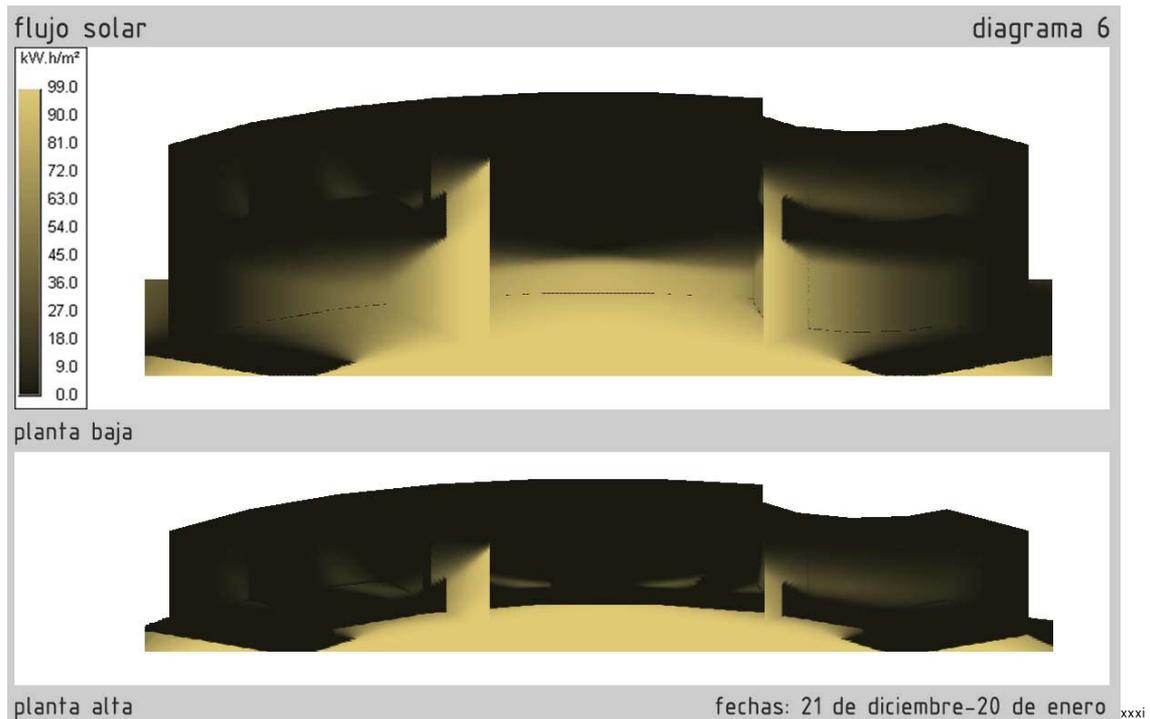


FIG\_30.- Flujo solar de verano del muro posterior y del cilindro, del eje del estanque y del cilindro en la parte exterior, así como los planos horizontales de cada planta.

En verano, tenemos la menor incidencia de radiación proveniente del ventanal Sur, en planta baja la radiación que alcanza a penetrar se localiza en la superficie donde descansa el ventanal Sur, en la cocina y en la Sala de televisión.

En planta alta, la radiación proveniente del ventanal Sur es incapaz de alcanzar el muro posterior, debido principalmente a la verticalidad de los rayos. En esta planta tenemos la mayor incidencia proveniente de las ventanas del muro posterior y de las cenitales, debido a la orientación del muro posterior, pues durante estos meses el Sol nace en el Noreste y se pone en el Noroeste, además de que alcanza su altura más vertical.

En invierno se tiene una incidencia de radiación mucho mayor, observamos como gran parte de la planta baja es alcanzada por ésta, lo que se traduce en un aporte de energía importante. La radiación en planta baja, alcanza los muros posteriores y el cilindro. El aporte energético más importante es el que penetra por el ventanal Sur debido al efecto invernadero, posteriormente el que incide en la losa maciza y en el estanque de agua, y por último, pero no menos importante, el de los muros posteriores y del cilindro. Nótese como gran parte de la superficie de este último es alcanzado por la radiación.

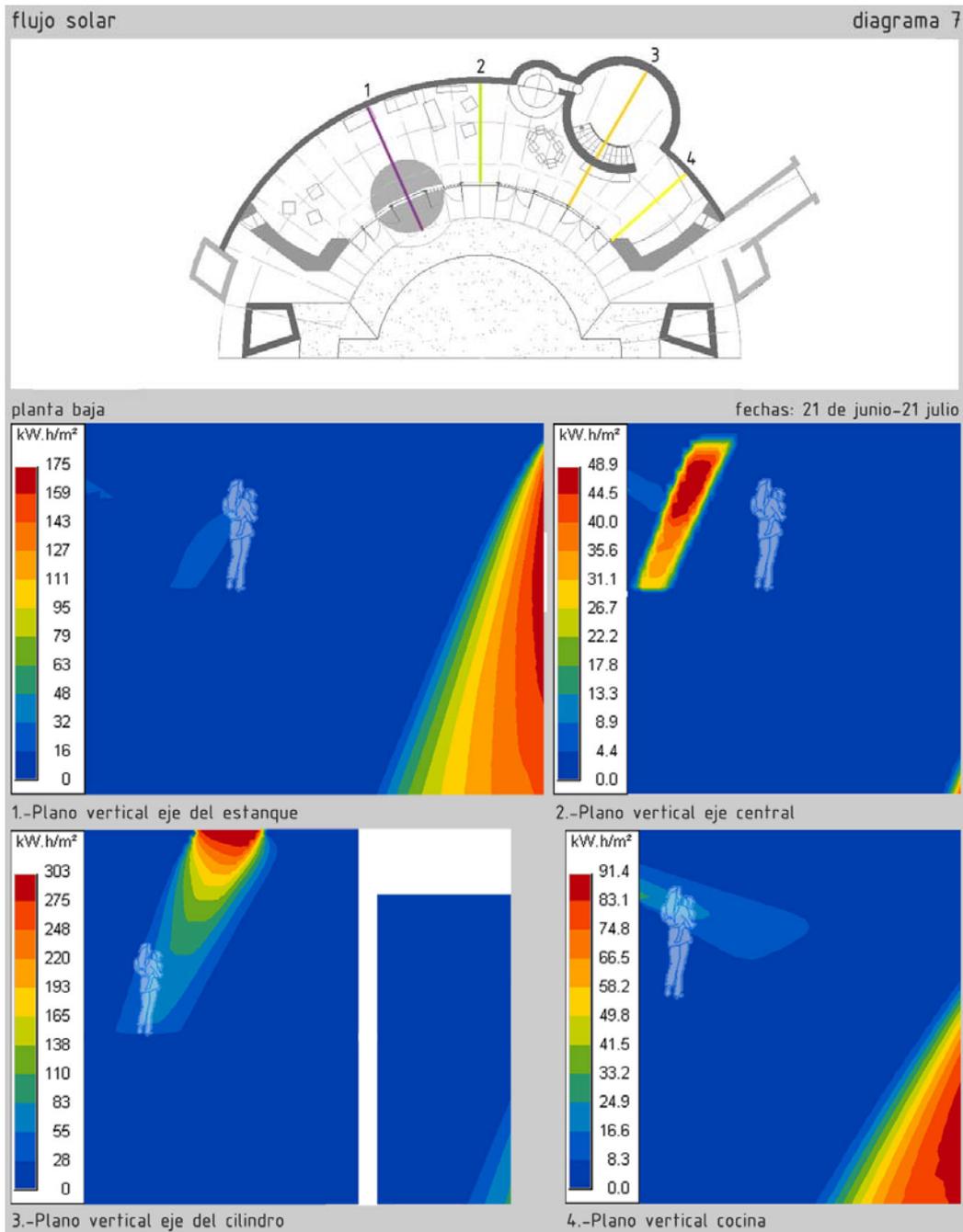


FIG\_31.- Flujo solar de invierno del muro posterior y del cilindro, del eje del estanque y del cilindro en la parte exterior, así como lo planos horizontales de cada planta.

En planta alta, tenemos la menor incidencia solar. Incluso en invierno, predominan valores muy bajos focalizados en el muro posterior, el extremo Oeste de la planta y la habitación principal. La energía procedente del ventanal Sur incide en el murete del mezanine, en los paneles divisorios, en el cilindro y una pequeña parte penetra por las entradas de las habitaciones. Sin embargo, los paneles divisorios y el mezanine, contruidos en madera, impiden el paso de la radiación al interior y por sus cualidades térmicas no constituyen un aporte importante de energía al interior.

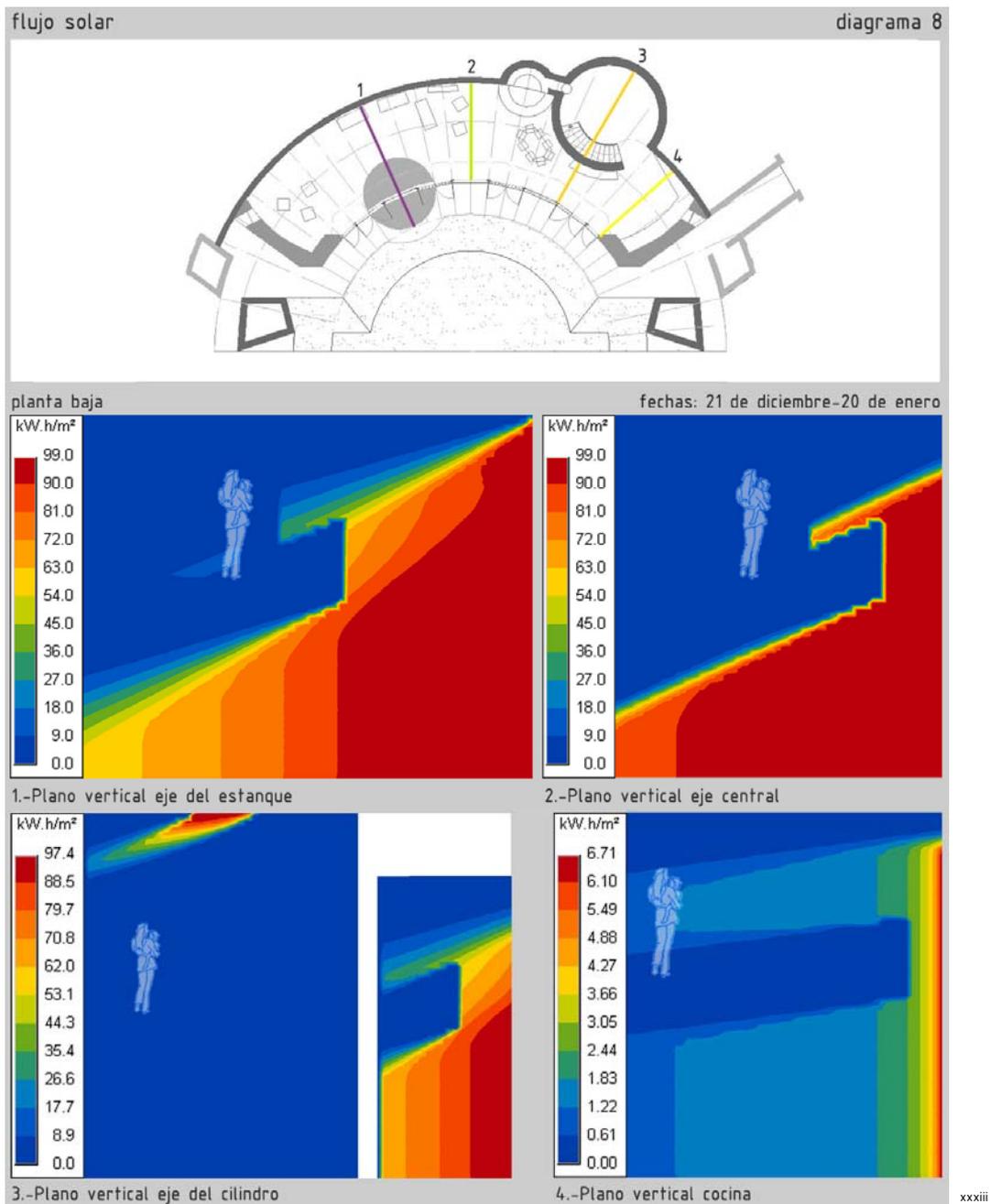
De las ventanas del muro posterior no se tiene ningún aporte de energía durante este periodo, pues ahora el Sol nace en la dirección Sureste y se pone en el Suroeste. En estas fechas tenemos los rayos solares más bajos, por lo cual la incidencia de radiación proveniente de las ventanas cenitales es muy baja.

Los siguientes diagramas muestran los valores que se tienen en cada uno de los paneles verticales ubicados en los ejes. Se ha reanudado al código de color de los primeros diagramas de flujo solar a fin da facilitar la ubicación de valores.



FIG\_32.- Flujo solar de verano en planos verticales sobre algunos ejes del Hemiciclo.

- 1.- Se tiene una incidencia de radiación hasta de 175 Kw.h/m<sup>2</sup> ubicada en el exterior del hemiciclo y que incide en gran parte del estanque. En el interior predomina el valor de 0 a 16 Kw.h/m<sup>2</sup>.
- 2.- Tiene la incidencia menor de radiación, predomina el valor de 0 a 4.4 Kw.h/m<sup>2</sup>. El máximo, 48.9 Kw.h/m<sup>2</sup>, proviene de la ventana cenital alcanzando el piso de la planta alta. De las ventanas del muro posterior penetran hasta 8.9 Kw.h/m<sup>2</sup>.
- 3.- La ventana cenital constituye el mayor aporte energético, hasta 303 Kw.h/m<sup>2</sup> en la parte superior y en el piso 55 Kw.h/m<sup>2</sup>.
- 4.- La cocina es en verano el espacio que tiene la mayor incidencia de radiación proveniente del ventanal Sur, 91.4 Kw.h/m<sup>2</sup>. En la habitación principal, se tiene una ganancia de hasta 24.9 Kw.h/m<sup>2</sup> proveniente de las ventanas del muro posterior.



FIG\_33.- Flujo solar de invierno en planos verticales sobre algunos ejes del Hemiciclo.

- 1.- El valor más alto, 99 Kw.h/m<sup>2</sup>, se ubica en el exterior y cerca del ventanal. En el muro posterior se alcanza 63 Kw.h/m<sup>2</sup> y en el murete 72 Kw.h/m<sup>2</sup>. La radiación del ventanal Sur que alcanza la habitación y la planta alta es de tan sólo 27 Kw.h/m<sup>2</sup>.
- 2.- Tiene la incidencia mayor de radiación, 99 Kw.h/m<sup>2</sup>, prevalece en gran parte de la planta baja y alcanza el murete del mezanine. En el muro posterior alcanzan los 90 Kw.h/m<sup>2</sup>. En planta alta y en la habitación predomina el valor más bajo, 0 a 9 Kw.h/m<sup>2</sup>. Las ventanas del muro posterior y cenitales no propician un aporte de energía.
- 3.- La entrada de radiación de la ventana cenital del cilindro es de 97.4 Kw.h/m<sup>2</sup>, así como la de la zona continua al ventanal Sur, en el cilindro incide hasta 70.8 Kw.h/m<sup>2</sup>, y en el murete 62 Kw.h/m<sup>2</sup>.
- 4.- Es la zona que tiene menor radiación, como máximo 6.71 Kw.h/m<sup>2</sup>, predomina el valor de 1.22 a 1.83 Kw.h/m<sup>2</sup>. El valor que alcanza el muro posterior es de 0.61 a 1.22 Kw.h/m<sup>2</sup>.

## CONCLUSIONES

Este diseño solar tiene un correcto acondicionamiento ambiental. La forma semicircular del edificio y el saledizo bloquean la entrada de los rayos solares durante el verano y permiten la entrada directa a la casa durante el invierno, cuando el Sol realiza su trayectoria del Suroeste al Sureste.

En invierno, se alcanza una buena captación de radiación. Deducimos que en el interior se alcanza una confortable temperatura aún y cuando en el exterior existan temperaturas bajo cero. Resulta muy claro que las superficies captadoras (muros, losa maciza y estanque de agua) almacenan una buena cantidad de energía térmica. A medida que el clima se vuelve más frío de otoño a invierno, se da la geometría más favorable, ya que los rayos de Sol alcanzan la menor altitud (aunado al aumento de la reflexión provocada por la nieve).

La refrigeración en verano se consigue a través de la adecuada sombra proyectada por el alero sobre la fachada Sur, por la ventilación transversal promovida por la ubicación de aberturas practicables que comunican dos zonas exteriores con condiciones de temperatura, de presión y de viento distintas (Norte-Sur, planta baja-planta alta), así como por la gran inercia térmica del terraplén, los muros y el agua.

Podemos afirmar que el hemisiciclo solar está correctamente diseñado, ya que garantiza las ventajas económicas y el confort que proporciona una casa medioambiental. En este sentido, hemos podido comprobar con las herramientas del programa Heliodón V2, que el diseño de Wright funciona exitosamente. Es importante resaltar que este arquitecto logró materializar su concepto de arquitectura orgánica de manera excepcional, pues esta casa integra, para su acondicionamiento ambiental, el entorno natural. A pesar de la antigüedad del edificio, éste alcanza e incluso excede los estándares de arquitectura solar actuales, a pesar del extremado frío de Wisconsin.

## REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES

---

<sup>i</sup> <http://www.planetclaire.org/fllw/fllwimag/miscella/shdaeria.jpg>

<sup>ii</sup> <http://www.inmadcity.com/solarhemicyclo/p13l.jpg>

<sup>iii</sup> Elaboración gráfica de la autora

<sup>iv</sup> <http://www.dgunning.org/architecture/Wisc/images/jacobsll1.jpg>

<sup>v</sup> <http://www.inmadcity.com/solarhemicyclo/p15l.jpg>

<sup>vi</sup> <http://www.inmadcity.com/solarhemicyclo/p16l.jpg>

<sup>vii</sup> <http://www.inmadcity.com/solarhemicyclo/p18l.jpg>

<sup>viii</sup> Elaboración gráfica de la autora

<sup>ix</sup> Ibíd.

<sup>x</sup> Ibíd.

<sup>xi</sup> Ibíd.

<sup>xii</sup> Ibíd.

<sup>xiii</sup> Ibíd.

<sup>xiv</sup> Ibíd.

<sup>xv</sup> Ibíd.

<sup>xvi</sup> Ibíd.

<sup>xvii</sup> Ibíd.

<sup>xviii</sup> Ibíd.

<sup>xix</sup> Ibíd.

<sup>xx</sup> Ibíd.

<sup>xxi</sup> Ibíd.

<sup>xxii</sup> Ibíd.

<sup>xxiii</sup> Ibíd.

<sup>xxiv</sup> Ibíd.

<sup>xxv</sup> Ibíd.

<sup>xxvi</sup> Ibíd.

<sup>xxvii</sup> Ibíd.

<sup>xxviii</sup> Ibíd.

<sup>xxix</sup> Ibíd.

<sup>xxx</sup> Ibíd.

---

xxxí Ibíd.

xxxíi Ibíd.

xxxíiii Ibíd.

## 07\_ CONCLUSIONES

## 07\_CONCLUSIONES

Es necesario que el arquitecto retome una conciencia acerca de la importancia del Sol, sus trayectorias y el impacto que su energía provoca en los edificios. El programa Heliodon V2 nos permite conocer estos aspectos e interpretar la información que nos brinda, para así dar respuestas arquitectónicas adecuadas. En el análisis de los casos estudios, se ha demostrado la utilidad de las diferentes herramientas del programa. Observamos cómo cada uno de los ejemplos pudo ser analizado e interpretado con estas herramientas de manera satisfactoria. Si bien en este caso se trató del análisis de edificios construidos, el principal objetivo del programa es apoyar al arquitecto en la fase de diseño del proyecto.

Aunque este programa está en fase de desarrollo, nos proporciona la información necesaria para llevar a cabo un análisis completo de la interacción entre la geometría de la arquitectura y el Sol. Sin embargo, faltan mejoras y sería incorrecto decir que las herramientas del programa han encontrado su fase de culminación. A continuación se realizará una serie de recomendaciones y conclusiones acerca de cada una de las herramientas del programa.

### LA PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

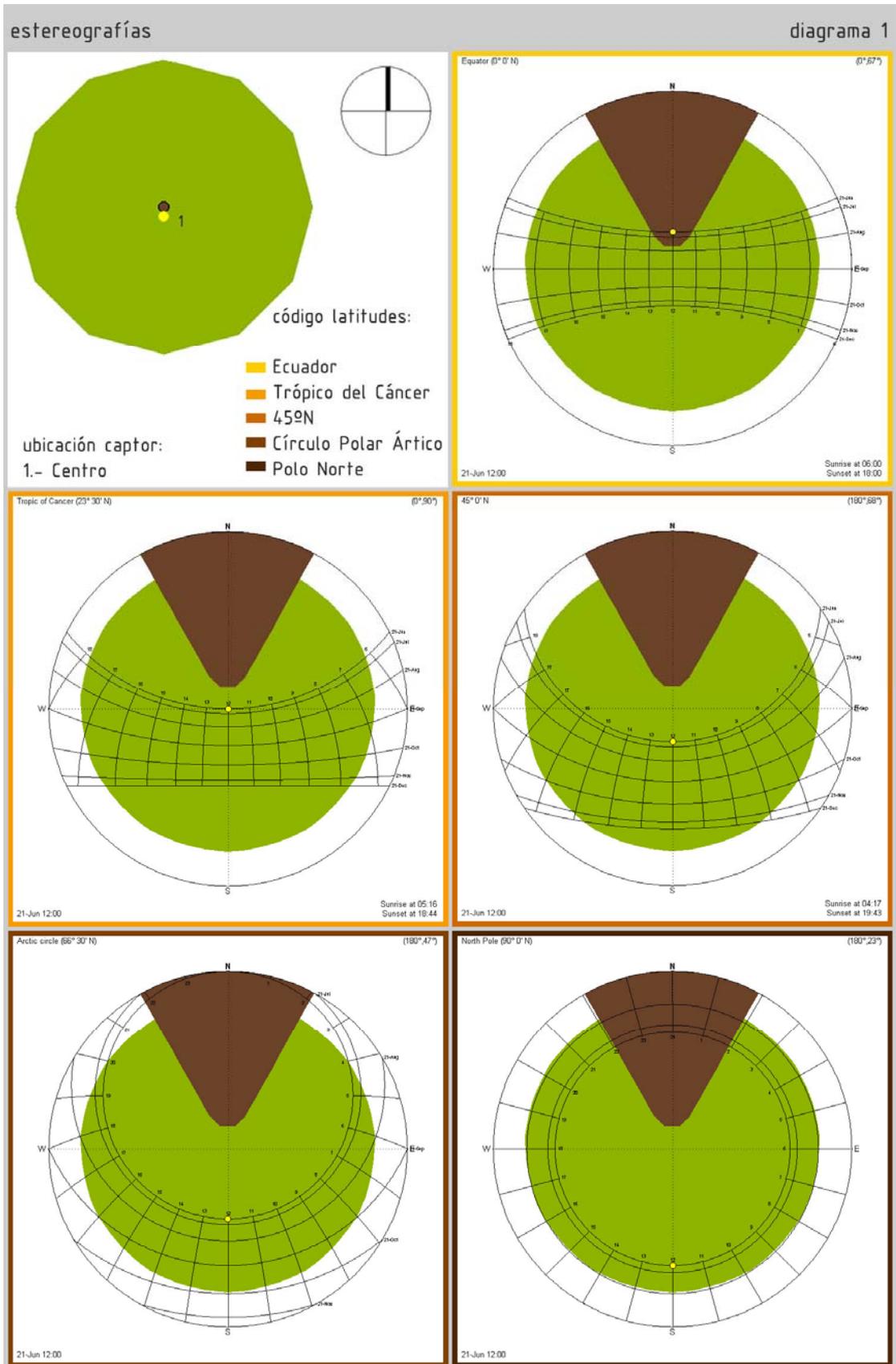
Es un tipo de proyección azimutal, donde la esfera se proyecta sobre un plano desde el punto opuesto al punto de tangencia (desde el nadir). Las principales ventajas son:

- es conforme, es decir: se conservan los ángulos de las líneas homólogas (un ángulo trazado sobre la superficie esférica tiene la misma amplitud que su proyección en el plano).
- una circunferencia trazada en la superficie esférica se proyecta como otra circunferencia en el plano.
- por proyectarse desde el nadir, no chafa demasiado los objetos cercanos al horizonte.

La estereografía es una proyección adecuada para el análisis de soleamiento en el interior de los edificios. Nos muestra, en un sólo gráfico, el comportamiento anual del Sol en la bóveda celeste, así como las coordenadas solares. La utilización de esta proyección es de utilidad al momento de proyectar espacios urbanos y edificios, pues nos permite desplazarnos entre latitudes de manera sencilla, así como observar el comportamiento de la geometría de los elementos en diferentes épocas del año y diferentes horas.

El hecho de que el programa realice esta proyección de manera casi instantánea supone una enorme ventaja para quien proyecta. Pues, para la construcción manual de cualquier tipo de proyección se requiere bastante tiempo. La principal desventaja que tiene esta proyección, que no se debe a los autores del programa sino a la naturaleza de la proyección, es que ésta se realiza puntualmente en el lugar donde se ubica el captor. La información que nos brinda cambia al desplazarnos de ese punto específico. Sin embargo, esta proyección resulta útil, pues muchas de las veces deseamos conocer el soleamiento de puntos específicos. Nos brinda una información general, la cual tendremos que ir acotando y deduciendo.

En el siguiente ejemplo, se muestran las estereografías en diferentes latitudes y tomadas desde el mismo captor. El ejemplo utilizado es el del mango.

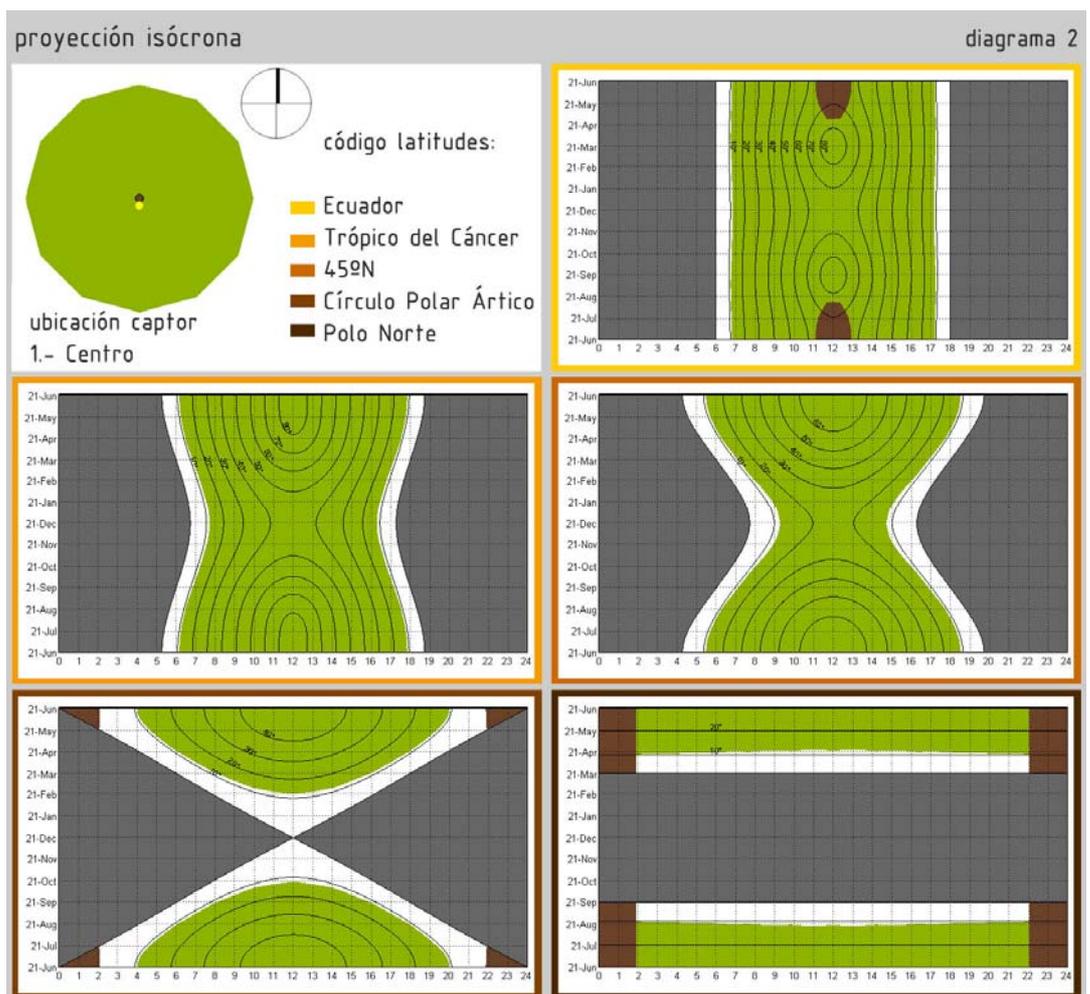


FIG\_1.- Diagrama de proyecciones estereográficas.

## LA PROYECCIÓN ISÓCRONA

Esta proyección es original de los autores del programa. Proporciona una información muy interesante, la cual debe de complementarse siempre con la proyección estereográfica. Esta proyección presenta la ventaja de que el tiempo no está deformado, los días y las horas se hallan regularmente espaciados. En cambio, sólo se ve la parte del cielo donde se mueve el Sol, por lo cual es más difícil orientarse en ella espacialmente.

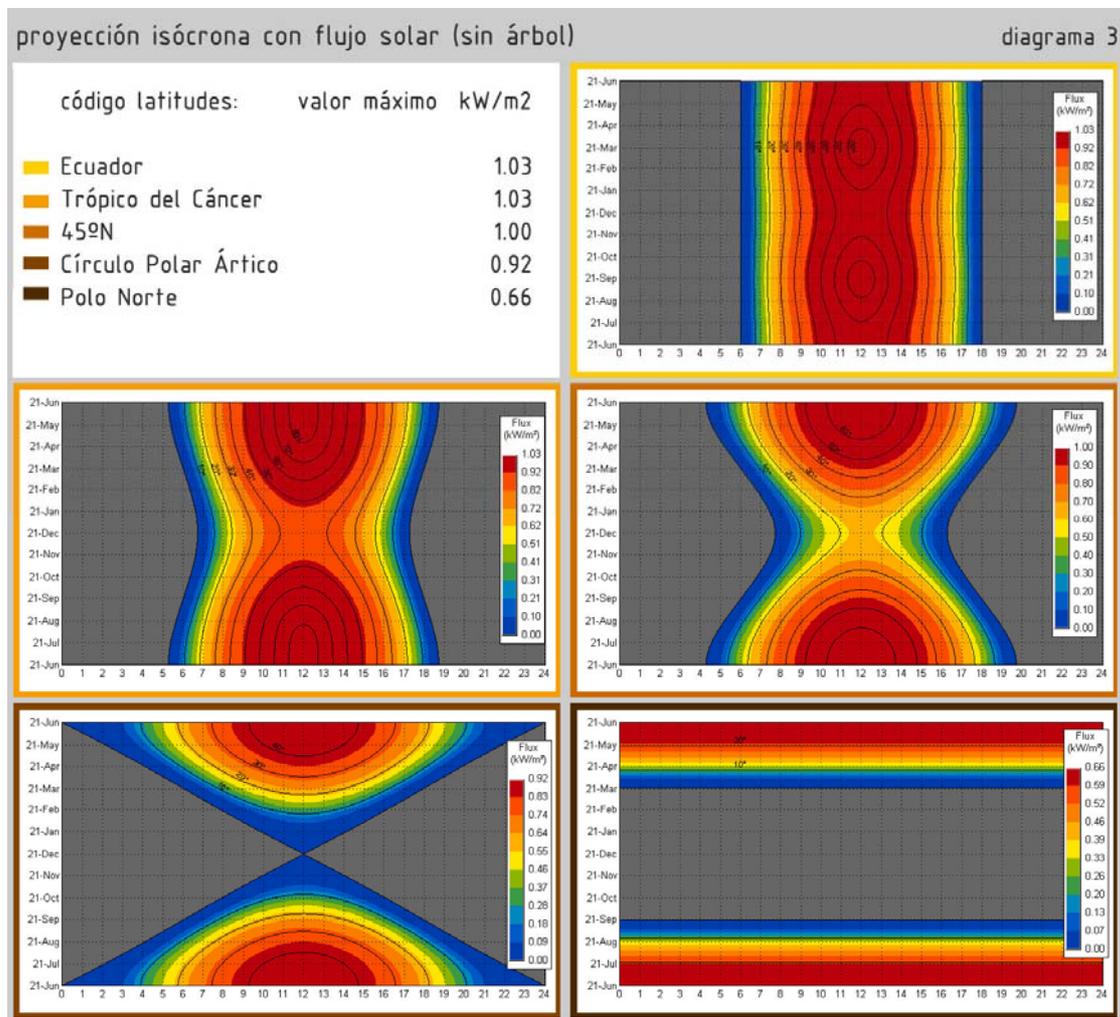
El ejemplo corresponde al mismo árbol y la proyección fue tomada desde el mismo punto que la estereografía. En el Ecuador los días y las coordenadas solares son muy similares. A lo largo de todo el año entra el Sol en las mismas horas. En el Trópico del Cáncer comienza la variación, sin embargo esta no es tan acusada como en latitudes más altas. Al llegar a latitud de 45°N, se tiene una marcada variación de soleamiento, así como una diferencia en la duración de periodos con Sol. En la proyección del Círculo polar, se aprecia que el 21 de diciembre no aparece nunca el Sol, mientras que el 21 de junio aparece todo el día. Además, la penetración de los rayos solares es muy diferente, presentándose periodos en que el Sol penetra completamente. En el Polo Norte, observamos que existen seis meses en que el Sol nunca aparece, entre el 21 de septiembre y el 21 de marzo. En este punto, el Sol penetra todos los días entre el 21 de marzo y el 21 de abril, y entre el 21 de agosto y el 21 de septiembre.



FIG\_2.- Diagrama de proyecciones isócronas.

Una ventaja importante de esta proyección, es que nos muestra los valores de flujo solar, de absorción y de emisividad. Permittiéndonos la posibilidad de modificar la altitud del sitio estudiado. Sin embargo, en la cuantificación de flujo solar no es tomado en cuenta la oblicuidad del rayo incidente. Es recomendable que en futuras versiones, el programa sea capaz de considerar este aspecto, pues los resultados serán más certeros.

Seria conveniente poder modificar el nivel de claridad del cielo, pues se maneja un valor estándar. Sin embargo, existen ubicaciones como las ecuatoriales, que tienen una presencia de nubosidad constante, o latitudes en que el nivel de nubosidad varía notablemente entre los meses. Si el usuario tuviera la posibilidad de introducir estos datos para periodos específicos, como meses del año, se tendrían cuantificaciones más cercanas a la realidad. En este ejemplo se observan los diferentes valores en la misma proyección, pero sin el árbol.



FIG\_3.- Diagrama proyección isócrona con flujo solar.

## MAPAS DE FACTOR DE CIELO

El factor de cielo es el porcentaje de la bóveda celeste que se puede ver desde un punto de la escena, es decir, corresponde a la iluminación difusa por parte del cielo. Un ejemplo del razonamiento que se utiliza para deducir al nivel de iluminación natural en los interiores es el siguiente: en el clima mediterráneo, el cielo de un día soleado puede aportar niveles de iluminancia de unos 50 000 luxes. Si en un interior tenemos un factor de cielo de 1%, significa que tendremos aproximadamente la centésima parte de la iluminancia exterior, es decir, unos 500 luxes, nivel suficiente para trabajar con iluminación natural.

En estos cálculos se supone un día nublado y se desprecia la reflexión difusa sobre los elementos. Lo que produce que estos valores correspondan a un mínimo (en realidad, siempre habrá más luz). Por lo cual, sería conveniente que el programa pudiera tomar en cuenta la reflexión difusa. Sin embargo, la información que nos brindan nos es de gran utilidad al momento de proyectar o analizar cualquier ejemplo, como se demostró en todos los casos estudiados. Pues nos permiten tener una aproximación de iluminación natural brindada por el cielo. Además, las plantas se enriquecen con esta información de manera rápida y sobre todo muy gráfica. Resulta interesante realizar estos factores en planos verticales, pues podemos visualizar el espacio en tres dimensiones, lo cual enriquece aun más la información gráfica. Es necesaria la ubicación de cada uno de estos planos, lo que nos proporciona la posibilidad de cortar el volumen, brindándonos la posibilidad de conocer lo que pasa en el interior de los espacios y no sólo en los cerramientos. Sin embargo, sería útil que las caras de los elementos STL pudieran transformarse en mapas, para realizar sobre ellos estos cálculos. Lo anterior agilizaría el análisis, evitándonos la necesidad de ubicar cada uno de los planos.



FIG\_4.- Mapa de factor de cielo en la planta alta del Hemiciclo Solar. Valores en gradación continua hasta 2%.



FIG\_5.- Mapa de factor de cielo en la planta alta del Hemiciclo Solar. Valores en gradación continua hasta 5%.

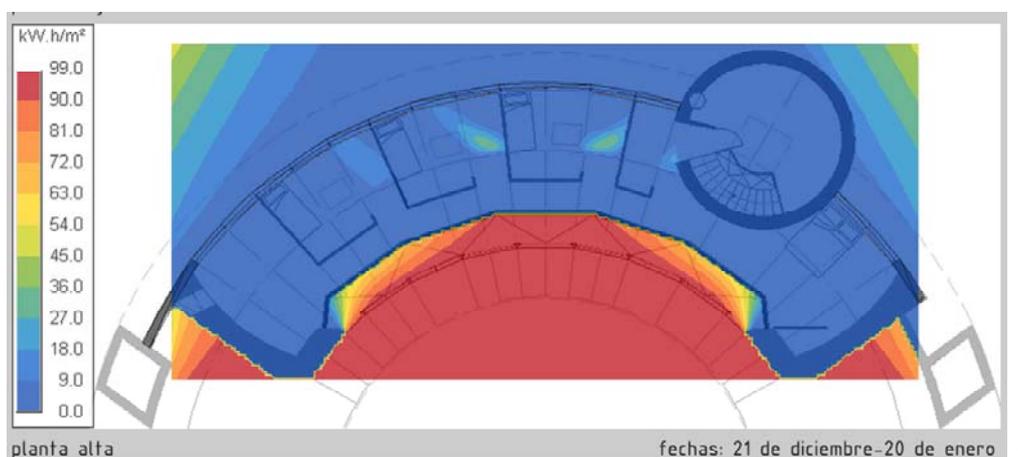
## MAPAS DE FLUJO SOLAR

Estos mapas se realizan en planos que cortan el volumen, la información que nos muestran es el flujo solar que atraviesa el plano durante el periodo que se ha asignado. El desarrollo de esta herramienta es satisfactorio, pues nos permite conocer los valores de flujo solar en diferentes unidades. Las unidades que muestra son: horas de incidencia de flujo solar, porcentaje de asoleo con respecto a lo que recibiría un terreno despejado, y flujo luminoso en  $\text{kW}/\text{m}^2$ , al tomar en cuenta la absorción atmosférica. Podemos modificar el periodo de cálculo, lo cual es muy útil si se requiere conocer el asoleo en fechas y horas específicas. En este sentido, podemos considerar que esta herramienta es muy útil en el proceso de diseño del proyecto.

Las aplicaciones que tiene esta herramienta dependen del usuario. Podemos utilizarla si deseamos realizar de manera mucho más rápida y sencilla diagramas de sombras acumuladas, como se demostró en el caso del mango, o bien conocer las superficies que son alcanzadas por el flujo solar, como se demostró en el ejemplo del Hemiciclo Solar.

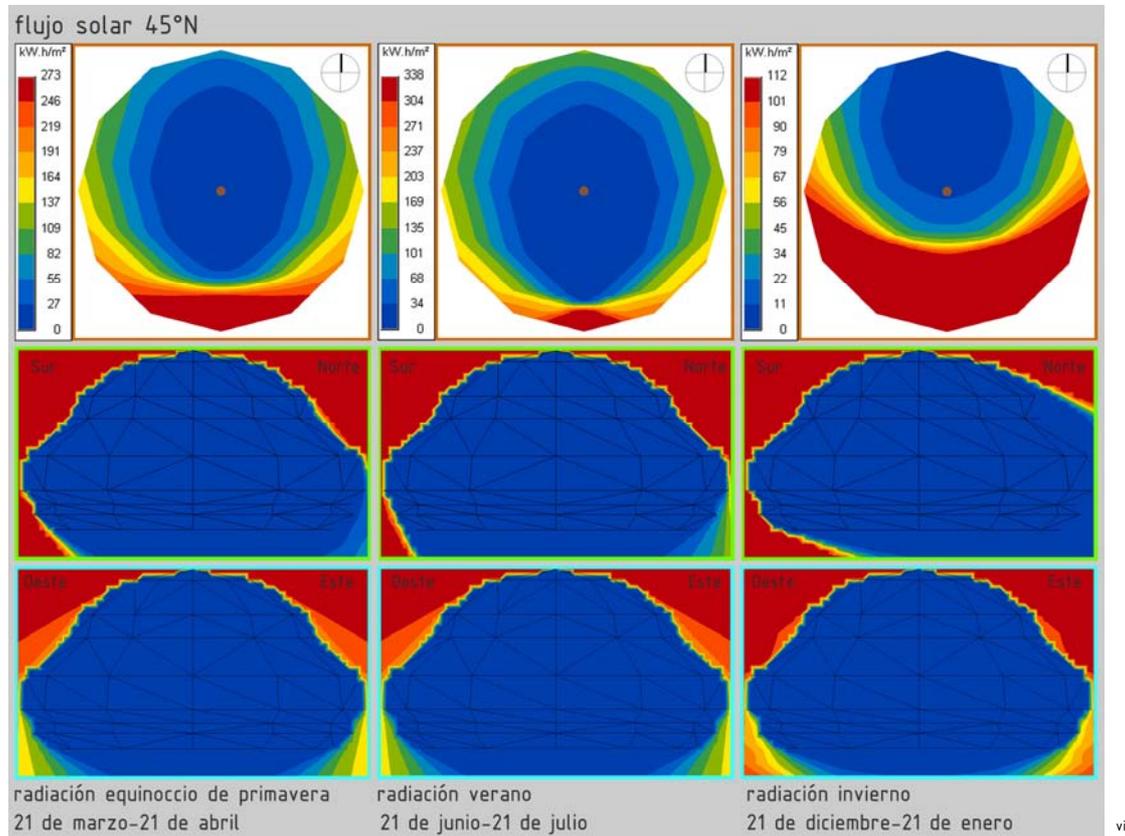
Al calcular el flujo solar en un periodo determinado, tenemos la posibilidad de visualizar de forma acumulada la huella del haz de luz en las diferentes superficies y planos, como se realizó en el ejemplo del Panteón de Roma. Esta herramienta resulta ser más innovadora respecto a otros programas de soleamiento, pues ninguno nos ofrece la oportunidad de acumular la radiación que incide y mucho menos de mostrar los valores de la misma.

La realización de estos mapas es igual que los mapas de factor de cielo, es decir que se ubican planos que cortan el volumen. Lo anterior nos permite tener una visión del comportamiento de la energía solar dentro de nuestros espacios, lo cual es importante, pues al final de cuentas habitamos el volumen contenido en los cerramientos. De lo contrario, si nos interesara conocer el nivel de radiación que se tiene en los cerramientos, como se estudió en el caso del Hemiciclo Solar, sería conveniente que los elementos STL pudieran transformarse en planos donde realizar los mapas de flujo solar, lo cual agilizaría el análisis de los modelos. Otra mejora que se tendría que hacer, es que en los cálculos el programa considerase la incidencia de los rayos solares, aspecto que actualmente se está desarrollando.



FIG\_6.- Mapa de flujo solar en planta alta del hemiciclo solar. Valores en curvas de nivel.

En el siguiente ejemplo, podemos apreciar la importancia de que los estudios de flujo solar se realicen en el volumen. El diagrama corresponde al estudio de flujo solar del mango en la latitud de 45°N. Se observa la radiación obtenida en diferentes planos: el dodecágono horizontal, que nos permite realizar una comparación con orientaciones de edificios, y los dos planos verticales sobre los ejes Norte-Sur y Este-Oeste.



FIG\_6.- Mapa de flujo solar en planta alta del hem ciclo solar. Valores en curvas de nivel.

En el dodecágono, podemos observar claramente porqué la orientación Sur es la más apropiada en estas latitudes, pues permite la entrada de radiación cuando hace falta, en invierno y se tiene la menor penetración de radiación cuando no se requiere, en verano. También podemos deducir porqué la orientación Norte es la menos adecuada en estas latitudes. Se tiene la menor penetración de radiación anual, y menos aún en el invierno, cuando más hace falta.

Existe otra recomendación relacionada con los archivos STL, los cuales son importados en el programa a fin de obtener el modelo en 3d. Considero necesario que las sombras se proyecten en estos elementos y no solamente en el plano de trabajo. Pues enriquecería la información brindada.

Otra recomendación importante, es que al momento de modificar la altura en que se sitúa el captor, se modificase la altura del plano de trabajo del espacio 3d, con la finalidad de que las sombras se proyectasen en este plano. Pues esto sólo sucede en el espacio 2d. Esta mejora sería de bastante utilidad cuando se trabaja con edificios en varios niveles, pues nos permitiría realizar el análisis de manera más sencilla y sin necesidad de importar el modelo de cada una de las plantas.

Para finalizar, me gustaría expresar una serie de reflexiones personales derivadas de los problemas y dificultades que se tuvieron al realizar esta investigación. El objetivo principal de esta tesina, fue el análisis de ejemplos de arquitectura en el programa de Heliodon V2, participando así en la etapa de ilustración. Sin embargo, desde un principio me encontré con muchos problemas al momento de seleccionar y recabar la documentación de los ejemplos, debido a la falta de información útil para el desarrollo de los modelos. Es increíble que algunos de los principales edificios históricos, como es el caso del Partenón y el Panteón, no cuenten con planos que contengan la información suficiente para realizar un debido análisis.

Generalmente, las editoriales de libros y revistas se conforman con mostrar imágenes "bellas" de la arquitectura. En las cuales, ha sido seleccionada una perspectiva interesante o muestran infinidad de detalles que tienen más que ver con la apariencia y nada con el funcionamiento del edificio. Raras veces las imágenes están complementadas con planos realmente interesantes, muchas veces ni siquiera se encuentran alzados o secciones. El lenguaje del arquitecto es el gráfico y el visual, por lo cual aquí se trató en lo más posible realizar información gráfica que acompañase las explicaciones.

Al realizar esta tesina, nunca se pretendió encontrar "el hilo negro" entre la relación de la geometría y el Sol. Lo que se intentó, básicamente, es comprobar las afirmaciones que se hacen de los edificios y mostrarlos al lector, permitiéndole además la posibilidad de interpretaciones y observaciones personales.

Como es el caso del Hemiciclo Solar de Wright. En el que todos y cada uno de los libros consultados decían "el ventanal Sur permite la entrada de radiación en invierno e impide la entrada de la misma en verano". Sin embargo, ninguno mostraba una fotografía donde se comprobara que dicha afirmación es cierta, ni un plano con la orientación que nos permitiese deducir la certeza de tal afirmación, en ninguno se mencionaba siquiera la latitud del lugar.

Considero que en las facultades de arquitectura y en el quehacer de la misma, se hace más hincapié en cuestiones estéticas, económicas y de ejecución de obras, y se nos hace olvidar que estamos construyendo sobre la Tierra. Los planos parecieran estar en un espacio abstraído, ajenos a la realidad. Rara vez se hace conciencia de que ésta Arquitectura tiene un contexto, unas condiciones climáticas definidas y que invariablemente cada día el Sol aparecerá sobre el horizonte y azotará con su radiación el edificio. Si no somos capaces de prever qué tipo de relación queremos mantener con el Sol, será él quien se defina como amigo o enemigo de nuestra Arquitectura.

Al final de cuentas, al usuario poco le va a importar si su sala de estar tiene el diseño de última generación, si en el interior es imposible de estar por el exceso de radiación o la falta de ésta. Si no se realiza un estudio de las condiciones climáticas y de asoleo en los espacios públicos, se continuará repitiendo el modelo de estos espacios con un paisajismo espectacular, pero realizados para la simple observación, pues resulta casi imposible estar en ellos por el mal diseño ambiental que tienen.

## REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES

---

<sup>i</sup> Elaboración gráfica de la autora

<sup>ii</sup> *Ibíd.*

<sup>iii</sup> *Ibíd.*

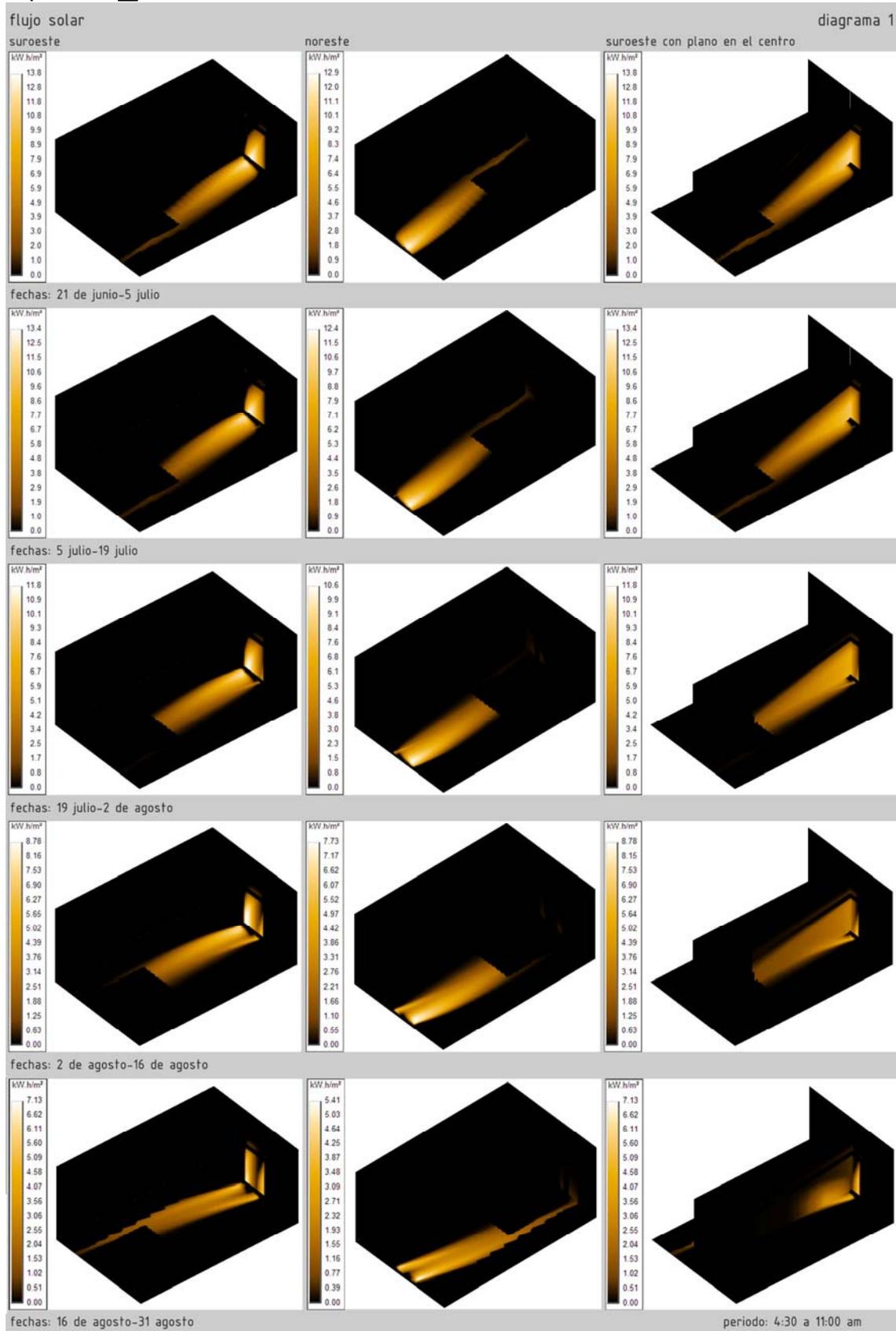
<sup>iv</sup> *Ibíd.*

<sup>v</sup> *Ibíd.*

<sup>vi</sup> *Ibíd.*

08\_ ANEXOS

Capítulo 05\_El Partenón de Atenas



FIG\_1.- Mapa de flujo solar en gradación continua del Partenón de Atenas.

## Capítulo 06\_Hemiciclo Solar

### Madison

The tables below display average monthly climate and weather indicators in Madison Wisconsin.

Temperature by: [Fahrenheit](#) / Centigrade

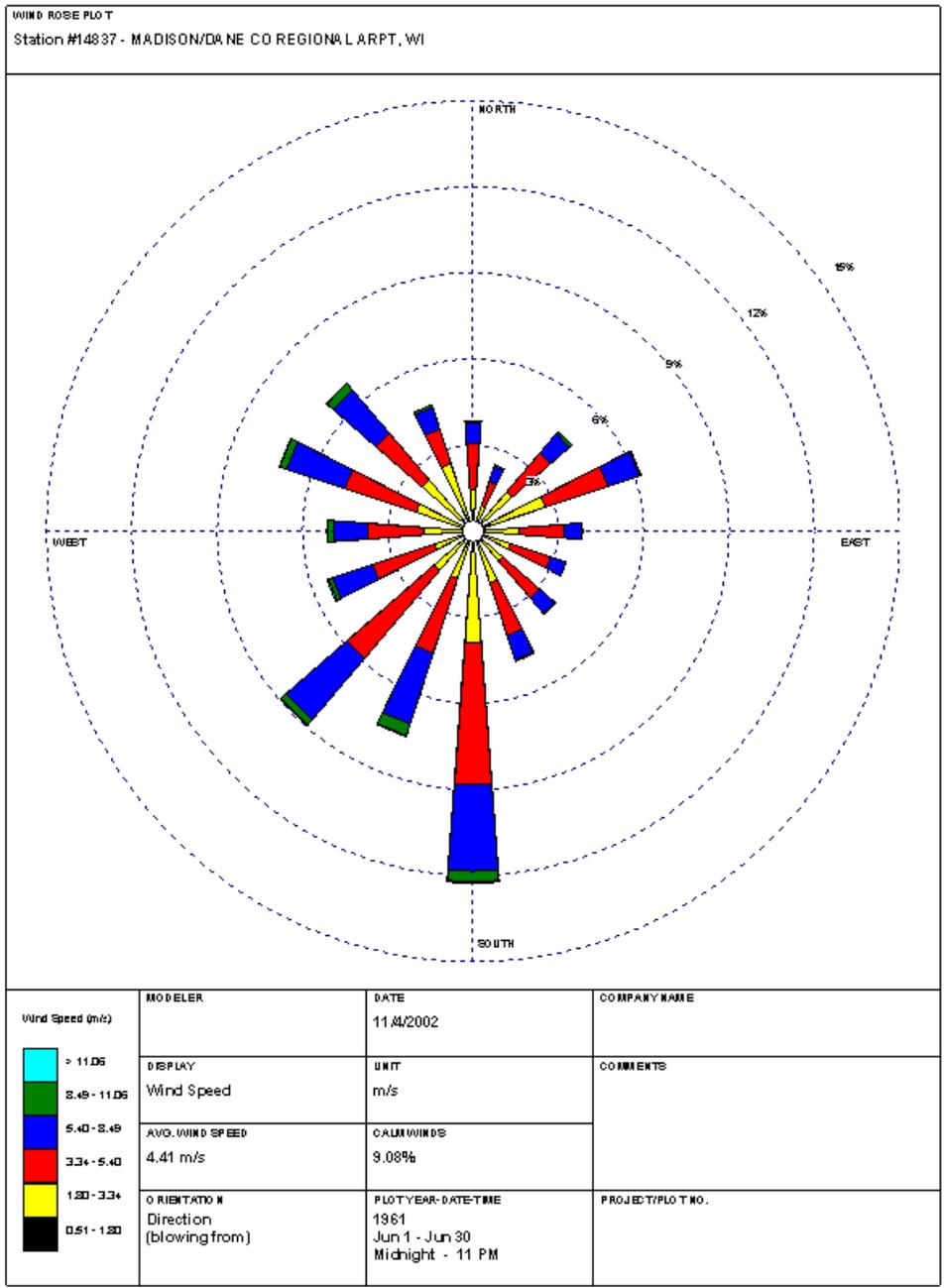
<b>Madison Temperature</b>	<b>Jan</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Apr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Aug</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>	<b>Annual</b>
Avg. Temperature	-8.9	-6.3	0.2	7.4	13.6	19.0	21.7	20.2	15.4	9.4	1.9	-5.7	7.3
Avg. Max Temperature	-4.0	-1.1	5.3	13.7	20.5	25.7	28.0	26.4	21.9	15.5	6.7	-1.2	13.1
Avg. Min Temperature	-13.8	-11.6	-5.0	1.2	6.8	12.3	15.3	13.8	9.0	3.2	-2.9	-10.3	1.5
Days with Max Temp of 32 C or Higher	0.0	0.0	0.0	< 0.5	< 0.5	3.0	5.0	3.0	1.0	< 0.5	0.0	0.0	11.0
Days with Min Temp Below Freezing	30.0	27.0	25.0	13.0	3.0	< 0.5	0.0	0.0	1.0	10.0	22.0	29.0	160

<b>Madison Heating and Cooling</b>	<b>Jan</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Apr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Aug</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>	<b>Annual</b>
Heating Degree Days	1519	1243	1014	588	294	68.0	12.0	38.0	168	499	888	1342	7673
Cooling Degree Days	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	104	198	141	12.0	0.0	0.0	0.0	485

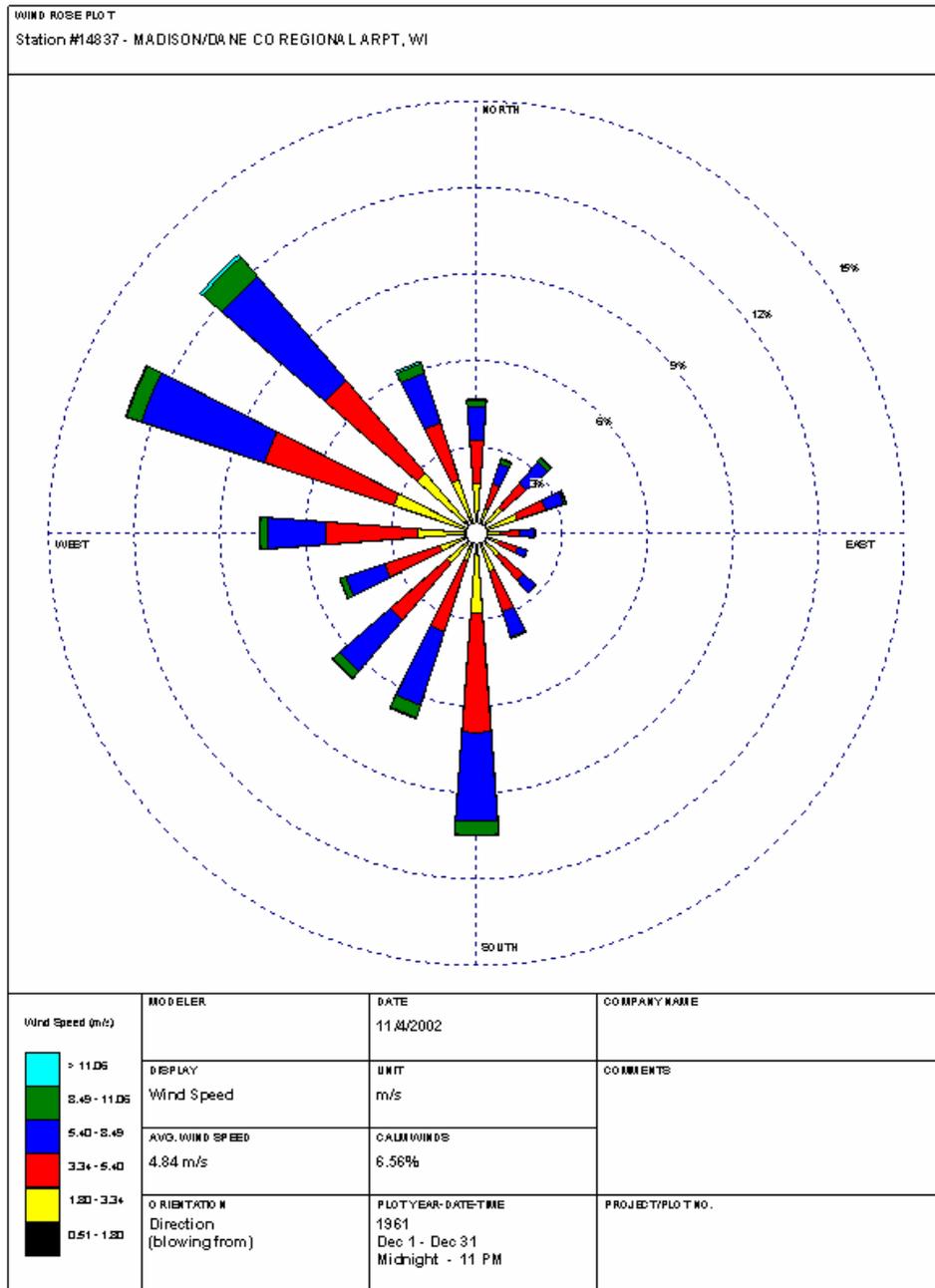
<b>Madison Precipitation</b>	<b>Jan</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Apr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Aug</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>	<b>Annual</b>
Precipitation (inches)	1.1	1.1	2.2	2.9	3.1	3.7	3.4	4.0	3.4	2.2	2.1	1.8	30.9
Days with Precipitation 0.01 inch or More	10.0	8.0	11.0	12.0	11.0	10.0	10.0	10.0	9.0	9.0	10.0	10.0	120
Monthly Snowfall (inches)	10.9	7.7	8.2	2.5	0.1	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.3	3.7	10.8	44.2

<b>Other Madison Weather Indicators</b>	<b>Jan</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Apr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Aug</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>	<b>Annual</b>
Average Wind Speed	10.4	10.3	11.1	11.3	10.0	9.0	8.0	7.9	8.5	9.6	10.6	10.0	9.7
Clear Days	7.0	7.0	6.0	6.0	7.0	7.0	9.0	9.0	9.0	9.0	5.0	6.0	89.0
Partly Cloudy Days	6.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	10.0	8.0	7.0	6.0	6.0	96.0
Cloudy Days	17.0	15.0	17.0	16.0	15.0	13.0	11.0	12.0	12.0	14.0	18.0	19.0	180
Percent of Possible Sunshine	47.0	51.0	52.0	52.0	58.0	64.0	67.0	64.0	60.0	54.0	39.0	40.0	54.0
Avg. Relative Humidity	59.0	75.0	74.0	71.5	68.0	68.5	71.5	75.0	76.0	74.5	72.0	75.5	78.0 <sup>ii</sup>

FIG\_2.- Datos climáticos de Madison, Wisconsin.



FIG\_3.- Rosa de Vientos del mes de Junio en Madison, Wisconsin.



FIG\_3.- Rosa de Vientos del mes de diciembre en Madison, Wisconsin.

## REFERENCIAS ILUSTRACIONES

<sup>i</sup> Elaboración gráfica de la autora.

<sup>ii</sup> [http://www.climate-zone.com/climate/united-states/wisconsin/madison/index\\_centigrade.htm](http://www.climate-zone.com/climate/united-states/wisconsin/madison/index_centigrade.htm)

<sup>iii</sup> [ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/downloads/climate/windrose/wisconsin/madison/madison\\_jun.gif](ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/downloads/climate/windrose/wisconsin/madison/madison_jun.gif)

<sup>iv</sup> [ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/downloads/climate/windrose/wisconsin/madison/madison\\_dec.gif](ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/downloads/climate/windrose/wisconsin/madison/madison_dec.gif)

