

TRAYECTORIAS SOLARES

Dentro de los conceptos en que más ampliamente nos ocuparemos el desarrollo del presente trabajo, estarán el despliegue de descripciones entorno a las ciencias de la astronomía y geodesia. Dichas citas atienden el interés de obtener fundamentos con solidez que referencien la determinación de descripciones, a partir del manejo de terminología adecuada para el entendimiento de analogías de orientación, describiendo las razones de origen a su utilización.

GEODESIA

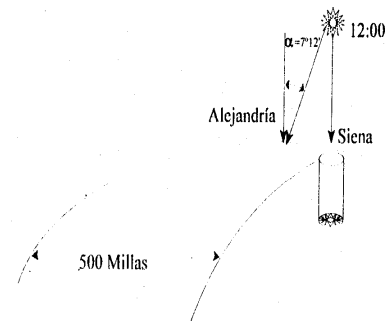
Desde hace siglos la humanidad se ha interesado por todo lo relativo a la tierra en que vive. En los tiempos más remotos este interés se limitó, únicamente las inmediaciones de su entorno u hogar; después este interés fue creciendo conforme sus propios intereses le marcaban necesidades, tal resultó el incentivo mercantil en donde pudieran realizar las labores de intercambio y finalmente, con el desarrollo de los medios de transporte y de

J. Javier Ruiz O.

medición. El hombre hasta nuestros días se ha interesado en conocer el mundo entero, con todas sus características y descripciones. Mucho de su antiguo "interés Mundial" se mostraba igualmente por la especulación relativa a las dimensiones, forma y composición de nuestra esfera celeste.

La cultura griega tuvo sus aportaciones referenciadas por medio de especulaciones y teorización. En un inicio, **Homero** concibe la superficie terrestre como un disco plano evolucionando hacia la figura esférica de **Pitágoras**; postergada para su sostenimiento distando un siglo por **Aristóteles**. La referencia más rescatable en nuestros días es el de pertenecerle una figuración esférica, aunque la fundamentación que rigue a este criterio en un inicio, es por la formación matemática del mismo **Pitágoras**, al reconocer, que cualquier figura no puede ser tan perfecta como la esfera misma. **Anaximandro**, venerado por los griegos como padre de la cartografía, apoyó la teorización del pertenecer a un cuerpo cilíndrico suspendido en el espacio y **Anaximenes**, un antiguo griego, sostenía la idea rectangular de la tierra. Quizás hoy en día nos parezcan absurdas todas estas referencias, pero al situarnos con sus mismos nos percatamos de que la demostración nos impone un reto en el cual, de no contar con la instrumentación adecuada difícilmente podríamos obtener mucho con la simple intuición derivada de la observancia de los fenómenos naturales. Siendo la forma esférica la más ampliamente sostenida en el mundo griego, se hicieron esfuerzos para determinar sus dimensiones en una forma lógica. **Platón** determinó que la longitud de la tierra era de 40,000 millas, mientras que **Arquímides** la estimó en 30,000 millas. La cifra dada por **Platón** eran una estimación y la de **Arquímides**, una aproximación más conservadora.

Mientras tanto, en Egipto, un griego erudito y filósofo, que para su época se manifestaba con una clara tendencia sólida, y precisa en sus aportaciones, destacaba muy especialmente en las ciencias naturales y sociales con gran soltura, demostrando en todas sus trabajos una inclinación más científica. **Eratóstenes**, se dedicó a realizar medidas más precisas (para esos tiempos), tomando consideraciones elementales y haciendo uso de recursos a su alcance, nada que pudiera tener complicaciones en nuestros días para su entendimiento; sus aportaciones se desprendían del gusto por la investigación, con arraigo en la creatividad y el ingenio de reconocer fehacientemente los fenómenos que estudiaba, siendo su aportación más grande a la astronomía, el cálculo de la circunferencia terrestre más aproximado al real y como antecedente histórico el primer acierto utilizando herramientas naturales. Había observado que



E. Javier Ruiz D.

en **Siena**, los días del solsticio de verano, el sol a punto de medio día, no provocaba sombra alguna en los elementos verticales; tomando como referencia este efecto, observó que de igual manera, la proyección de los rayos solares hacían iluminar y reflejarse en el fondo de un pozo, asumiendo una condición de perpendicularidad entre ese punto de la superficie terrestre y el astro solar. Al mismo día del solsticio, notó que en **Alejandro** el sol no se encontraba precisamente por encima, sino que proyectaba una sombra con respecto a la vertical de dicho lugar, equivalente a 1/50 parte del círculo o igual a $7^{\circ}12'$. a estas observaciones, Eratóstenes agregó hechos conocidos (ya en aquellos tiempos). El día del solsticio de verano, el sol a medio día estaba directamente sobre la línea del Trópico de Verano o Trópico de Cáncer, -por eso quedó Siena sobre esta línea; la distancia lineal entre Alejandro y Siena la supuso de 500 millas (medidas en millas camello por día y aproximadamente 800 kilómetros). Además que **Alejandro** y **Siena** quedaban en una dirección norte-sur.

Como apoyo a sus cálculos, **Eratóstenes** tomó como distancia lineal entre Alejandro y Siena 500 millas (después de mandarla medir), es decir 1/50 de la circunferencia de la tierra, de allí que $50 \times 500 = 25,000$ millas ($50 \times 800 = 40,000$ kilómetros). La precisión de sus resultados es muy notable, aún si se toma en cuenta que fue obtenida con la mayor parte de las suposiciones y conclusiones incorrectas.

ASTRONOMÍA

La astronomía, si no es la ciencia mas antigua, es una de ellas dentro del área de las ciencias naturales, si bien es cierto los astrónomos de las primeras épocas se limitaban a observar la salida y puesta de las principales estrellas, los eclipses del sol y de la luna, a seguir el movimiento de estos astros y de los planetas conocidos, refiriéndolos a las estrellas fijas para lo cual el cielo se dividía (para ellos) en constelaciones.

Las observaciones astronómicas más antiguas proceden de la cultura China, quienes cultivaban la astronomía ya unos 2,000 años antes de nuestra era con el fin de que sirviera de base a las ceremonias religiosas.

Los tiempos que sucedieron a los chinos en el estudio de esta ciencia, descubrieron el período denominado Saros, de 223 meses lunares, después del cual nuestros satélites vuelve a ocupar la misma posición relativa con respecto a sus nodos y al Sol, de modo que los eclipses observados en ese período se producen en lo sucesivo en el mismo orden.

A cerca de la astronomía de los egipcios, no se tienen datos e informaciones suficientes, creyéndose hoy, contrariamente a lo que se supuso durante mucho tiempo, que sus

conocimientos no eran muy profundos. Por otra parte, las concepciones astronómicas de los griegos, de acuerdo con la tendencia especulativa de este pueblo, están mezcladas con hipótesis y puntos de vista filosóficos referentes, a la constitución de los mundos, la habitabilidad de los mismos, etc.

En realidad, el carácter científico de la astronomía es debido a **Hiparco de Nicea** (190-125 a de J. C.). Llamado el padre de la Astronomía, quien además de fijar las leyes del movimiento aparente de los planetas, reconoció que la Astronomía sólo puede estar fundada en observaciones exactas y no en especulaciones.

Los más importantes trabajos científicos de este astrónomo fueron:

- 1 El descubrimiento del fenómeno de la precisión de los equinoccios.
- 2 La construcción de un catálogo general de estrellas, iniciado a raíz de la situación de una estrella nueva.
- 3 La introducción de las coordenadas geográficas para fijar la posición de un punto en la superficie de la tierra.
- 4 La determinación de la duración del año trópico y el reconocimiento de la desigualdad de las estaciones.

A partir de Hiparco, se distinguen en el desarrollo de la Astronomía dos períodos perfectamente definidos, en cada uno de los cuales predomina un sistema o teoría diferente sobre la constitución del universo:

- 1 El sistema de Ptolomeo (en realidad debido a Hiparco) en el que se supone que la tierra está inmóvil y que el sol, los planetas y las estrellas se mueven alrededor de ella.

Esta teoría será tomada para el presente trabajo, por la concepción del concepto práctico del tránsito solar aparente. Dicha teoría, fue publicada inicialmente por el astrónomo alejandrino *Claudio Ptolomeo* (140 a. de J. C.) en su obra titulada *Gran compendio de astronomía o Alma gesta*, y prevaleció hasta mediados del siglo XVI (año 1543) en que apareció la obra de Nicolás Copérnico, de *Revolutionibus* con la teoría heliocéntrica.

- 2 El sistema de Copérnico, en el cual se supone que el sol es el centro del sistema planetario y que la tierra gira alrededor de aquél.

J. Javier Ruiz D.

En 1916, Albert Einstein, nacido en 1879, publicó la teoría de relatividad generalizada y la teoría, a cerca de gravitación, en la que después de hacer una crítica rigurosa de los postulados de la Mecánica de Newton, de las nociones de espacio y tiempo de la propagación instantánea de las acciones a distancia, así como de analizar el hecho experimental e inexplicable de la proporcionalidad entre la masa inerte y la pensante, expone su teoría gravitatoria, que si bien cualitativamente y para las velocidades de los cuerpos celestes, se aparta sumamente poco de ésta, pudiendo explicar la diferencia en el movimiento del perihelio de mercurio sin ninguna hipótesis complementaria.

ELEMENTOS ASTRONÓMICOS

Dentro de la astronomía, que es el estudio completo de los astros, se subdivide en tres ramas del saber:

a) **Astronomía de posición.** Estudia las posiciones y movimientos de los astros sin tener en cuenta las causas que los producen; es por así decir, la cinemática de las astronomía.

b) **Mecánica celeste.** Es la dinámica celeste: estudia las causas de los movimientos de los astros y predice los efectos de los mismos.

c) **Astronomía física.** Constituye la física y la química del Universo, e investiga la naturaleza y constitución física y química de los cuerpos celestes.

Físicamente, a las tres partes ya mencionadas se suele agregar la *cosmogonía* que estudia los orígenes de nuestro Universo, tratando de descubrir el origen y la formación de los mundos.

Cosmografía. La Cosmografía es una ojeada o estudio elemental de la astronomía, en ella se estudian, aplicando conocimientos elementales de las ciencias Físico-Matemáticas, la posición y movimientos absolutos y relativos de los astros, las consecuencias que derivan de dichos movimientos, así como sus formas, masas, volúmenes y constitución física.

LA BÓVEDA CELESTE

Un observador situado en un punto cualquiera del mar o de una llanura, experimenta la impresión de que la superficie de la tierra se halla cubierta por una especie de esfera hueca. Esta esfera se denomina cielo o firmamento y su línea de contacto con la tierra es el horizonte sensible o simplemente horizonte, cuyo centro se encuentra en el ojo del observador. Si éste se mueve, el horizonte se desplaza sin que su radio varíe, pero si el

J. Javier Ruiz D.

observador se eleva a cierta altura sobre el suelo, comprobará que el círculo del horizonte ha aumentado, pudiendo ver muchos cuerpos que previamente no le era posible contemplar.

La esfera celeste que habremos de denominar como cielo o firmamento, es azul en los días sin nubes y negra durante la noche. Además, dicha bóveda aparece aplastada en la dirección vertical a causa de que las estrellas situadas en el Zenit presentan mayor luminosidad que las que se encuentran cerca del horizonte. Este hecho origina la ilusión óptica que nos hace suponer que las estrellas cercanas al horizonte se hallan más alejadas que aquellas situadas en la proximidad del Zenit. La causa verdadera de la menor luminosidad de las primeras, es que los rayos luminosos horizontales atraviesan capas de aire de mayor densidad y que contienen mayor cantidad de vapor de agua, cuyo coeficiente de absorción de la luz es más elevado.

Astros. Basta observar el cielo de día o de noche serena y sin nubes, para poder ver en el ciertos cuerpos brillantes a los que denominamos astros. Los más importantes son el sol y la luna. Por lo general durante el día vemos el sol y a veces la luna, durante la noche no se ve el sol, sino generalmente la luna y numerosos puntos brillantes que llamamos estrellas, son cuerpos similares a aquel situados a distancias enormes. Además del sol, la luna y las estrellas, existen ciertos cuerpos celestes, llamados planetas semejantes a la tierra y finalmente otros como los cometas, nebulosas, etc.,

Aislamiento de la Tierra en el espacio. Es un hecho de todos conocido que el Sol aparece sobre el horizonte por el Oriente y que después de describir un arco sobre la esfera celeste durante el día, se oculta o desaparece por el Occidente.

Si observamos el cielo durante varias horas en una noche clara y sin nubes, comprobaremos que las estrellas, de igual modo que el Sol, también aparecen sobre el horizonte por el éste y que, después de describir curvas paralelas entre sí, desaparecen, o mejor dicho se ocultan por el oeste. Por otra parte, si el observador se encuentra en el hemisferio Norte (el nuestro), comprobará que ciertas estrellas como las cercanas a la estrella polar (como la constelación de la osa mayor), permanecen constantemente sobre el horizonte describiendo circunferencias concéntricas alrededor de un punto fijo al cual denominaremos como *Polo Norte Celeste*. Con respecto a este punto nuestra referencia se sitúa como las descripción de orientación más común dentro de nuestra área, en la cual es evidente la influencia postergada por generaciones al situar dicha referencia en las orientaciones de nuestros trabajos de campo.

J. Javier Ruiz D.

CÁLCULO DE TRAYECTORIAS SOLARES

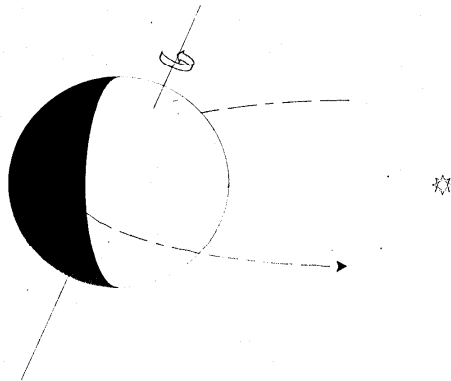
Objetivo: Presentar un procedimiento para calcular la dirección de los rayos solares; sus ángulos de incidencia a cualquier hora y día del año, en un lugar sobre la superficie terrestre donde sean conocidas las coordenadas geográficas.

Se trata de presentar un desarrollo analítico que sirva como base para la deducción de formulas, para la cual se propone, como referencia, un modelo geométrico del campo visual en el que se facilita la representación de los desplazamientos virtuales del sol y la definición de su comportamiento para interpretarlo mediante expresiones matemáticas. A través del pleno conocimiento de los ángulos de incidencia a cualquier hora y día del año, en un lugar sobre la superficie terrestre, siendo conocidas las coordenadas geográficas.

Este procedimiento resulta útil como auxiliar en los diseños constructivos; particularizando en los efectos que producen los rayos solares sobre las condiciones térmicas y/o lumínicas en las edificaciones. También incide en el tratamiento formal, ayudan a preveer las variaciones de sombra en el mismo diseño, presentando la opción de mejorar en algunos elementos de fachadas de una manera estética y funcional.

MODELO GEOMÉTRICO.

Reconocemos la tierra como un cuerpo esférico que se desplaza en el espacio siguiendo una trayectoria elíptica al rededor del sol y girando sobre su propio eje con una inclinación aproximada de $23^{\circ}27'$, (I. III. 1).



Presentando una variación de iluminación en el día (una revolución sobre su propio eje).

Ilustración 1

E. Javier Ruiz D.

CONSIDERACIONES (Hipótesis)

- La dirección de los rayos es la misma (I. III.2).
- El horizonte es equidistante al observador (I. III.3).
- El sol gira alrededor de la tierra (I. III.4).
- Campo visual circular (bóveda celeste) (I. III.4).
- Referenciar sobre el Hemisferio Norte (I. III.5).

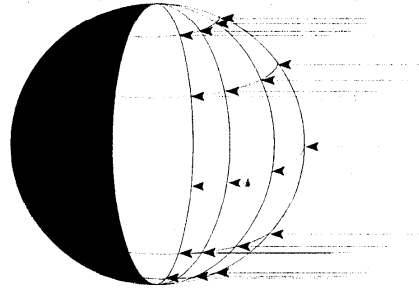


Ilustración 2

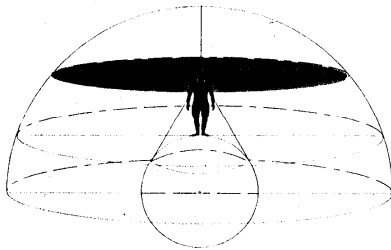


Ilustración 3

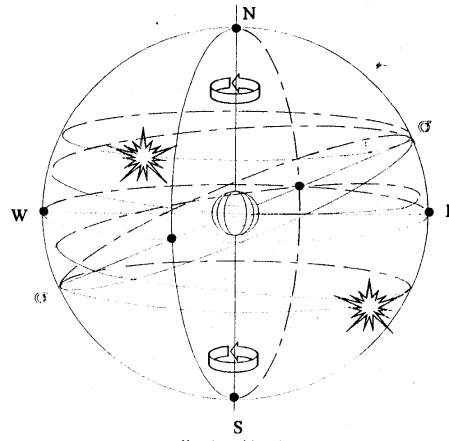


Ilustración 4

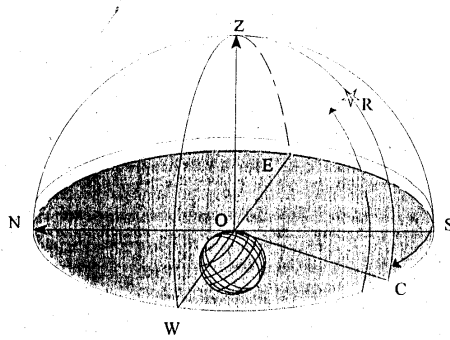


Ilustración 5

Para la localización de un punto situado sobre nuestro hemisferio es necesario localizar un sistema que nos permita hacer referencia a cualquier posición por medio de elementos invariables. La más común a utilizarse es la concerniente a los puntos cardinales y la altitud o verticalidad. Ofreciéndonos un sistema de líneas conjugadas con planos ortogonales de los cuales parten a facilitar el reconocimiento de una posición, cualesquiera que ésta fuera en la parte superior de la superficie u espacio, por medio de la relación de tipo angular o de distancias que sea apropiada establecer con respecto a los ejes.

REFERENCIAS

Puntos cardinales y verticalidad.

Sistema de líneas y planos ortogonales.
(I. III. 6).

Relación angular o distancias a los ejes (con respecto al tiempo).

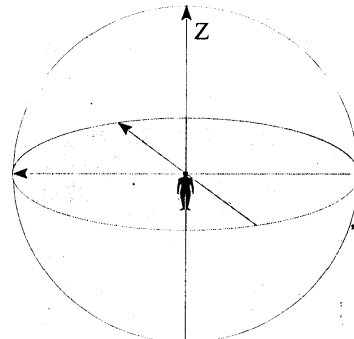


Ilustración 6

En este sistema, la posición de un punto en la bóveda celeste se determina con el auxilio de los elementos astronómicos de azimut y altura (I. III. 7).

Dando una facilidad a los cálculos u operaciones para determinar la posición solar, se ha desarrollado un sistema analítico referenciando el sistema de ejes coordenados (que en la práctica son los mismos), observándose una diferencia con

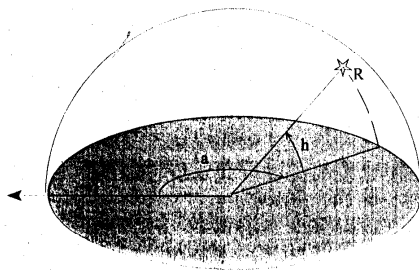


Ilustración 7

E. Javier Ruiz D.

respecto a la convención de la dirección, sentido angular y puntos de referencia¹, modificándose aún a este sistema para simplificar el procedimiento en algunas partes.

SISTEMAS DE REFERENCIAS

Para obtener de manera confiable las dirección y posición geográfica de los puntos sobre la superficie terrestre y esfera celeste, es necesario recurrir a las observaciones y cálculos astronómicos, por su precisión e invariabilidad. Para situar los puntos sobre la superficie terrestre y esfera celeste se utilizan sistemas de coordenadas que tienen como base el plano del ecuador.

Sistema de Coordenadas Locales:

Azimet- Ángulo medido a partir del norte en sentido horario con desplazamiento en el plano horizontal.

Altura- Ángulo vértice entre el plano y la línea que une al punto con el sitio de observación.

Sistemas de Coordenadas Ecuatoriales Terrestres:

Latitud- Es el ángulo que forma la vertical del lugar con respecto al plano del ecuador; se mide sobre un plano normal al ecuador (meridiano del lugar), de 0 a 9° hacia el Norte o hacia el Sur.

Longitud- Es el ángulo medido sobre el plano del ecuador a partir del meridiano de origen (meridiano de Greenwich), hasta el meridiano del lugar. Se mide generalmente hacia el oeste de 0 a 24 horas o de 0° a 360° (1h=15°).

¹ la dirección para los valores positivos en los ejes coordenados es :
Y > a la izquierda, X > al fondo y Z > hacia arriba.

El giro de los ángulos se considera positivo cuando se realiza en dirección contraria a las manecillas del reloj.

E. Javier Ruiz D.

Sistemas de Coordenadas Ecuatoriales celestes:

El plano del ecuador, al prolongarlo en todos sus sentidos, se construye en el plano del ecuador de la esfera celeste, y el eje polar de la tierra, también al prolongarlo resulta el eje polar de la esfera celeste.

Si el plano del meridiano del lugar se prolonga hasta la esfera celeste, pasará por los polos y el eje polar celeste, y también por el zenit del lugar que es el punto donde la vertical llega a la esfera celeste. Al imaginarnos la esfera celeste con las estrellas proyectadas en ella, la tierra se considera como un punto (sin dimensiones), centro de la esfera celeste.

Declinación- Es el ángulo de elevación de una visual a una estrella, sobre el plano del Ecuador, y se mide a partir de este plano, de 0° a 90° hacia el Norte o hacia el Sur, positiva y negativa respectivamente.

Ascensión recta- Es el ángulo medido sobre el plano del ecuador, a partir del punto vernal (punto del equinoccio de primavera), hasta el Círculo Horario de la Estrella, se mide hacia el este de 0 a 24 horas o de 0° a 360° .

La relación que existe entre el sistema de coordenadas ecuatorial y el local consiste: la latitud de un lugar cualquiera de la superficie terrestre, es igual a la altura del polo sobre el horizonte de ese lugar.

PRESENTACIÓN DE DATOS:

El cálculo de los ángulos de incidencia de los rayos solares, anticipa de manera práctica, las condiciones que se habrán de tomar en cuenta para la determinación de las formas a presentar de manera precisa para cualquier construcción, de los múltiples juegos de sombras que provocan; modificando las relaciones térmicas, características de la penetración de los rayos solares hacia el interior, dando calentamiento a las superficies exteriores principalmente; o en su mejor caso, hacer una conjugación con los aspectos lumínicos que beneficien a las condiciones de iluminación natural. Determinando previamente el ángulo de incidencia con representaciones gráficas en donde estos modelos se tornan de lo más útil, siendo este medio el de más común análisis con que se cuenta en el desarrollo de un proyecto.

F. Javier Ruiz D.

Las proyecciones a considerar serán las que se plasmen tan sólo en dos planos: el horizontal y el vertical (sobre el eje Norte-Sur) para posteriormente trasladarlas a plantas y alzado, y en el mejor de los casos hacer la presentación en planos ortogonales con la interacción de los datos recabados (I. III.8).

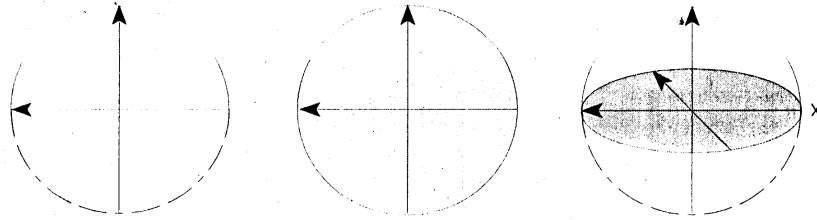


Ilustración 8

Al presentarse en nuestro globo terrestre las condiciones equinociales, el mismo presenta las características de dicha órbita al localizar el eje de rotación perpendicular a la dirección del sol. Para las fechas que se presenta este fenómeno, el astro rey ilumina de igual modo los dos hemisferios que componen nuestra esfera, recibiendo la línea ecuatorial, la parte central de iluminación. (I. III.9).

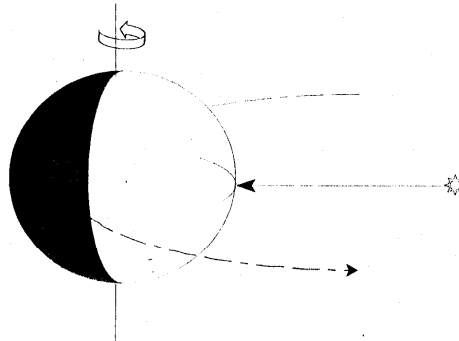


Ilustración 9

E. Javier Ruiz D.

Bajo esta circunstancia, toda incidencia de los rayos sobre la línea ecuatorial se plasman paralelos.

Si esta dirección se perpetúa invariable en cualquier punto de la parte iluminada, al alejarse de la línea ecuatorial, el ángulo de incidencia de los rayos solares desplazan con respecto a la vertical, una abertura equivalente al ángulo de latitud (ℓ), (I. III.10).

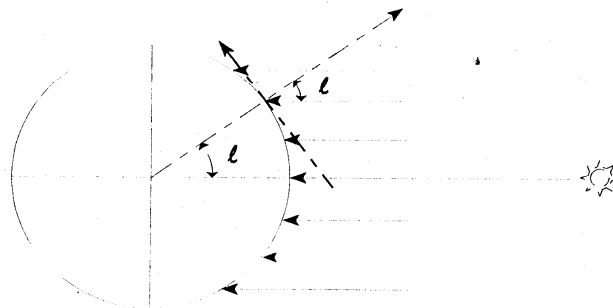


Ilustración 10

Por lo anterior, el ángulo de incidencia de los rayos solares en la misma situación horaria solar (12:00 Hrs.) en las condiciones equinocciales sobre el hemisferio que nos corresponde (Norte), forma con respecto a la vertical del lugar la formación angular (ℓ) correspondiente a la latitud, definiendo una abertura con dirección al sur del hemisferio. (I. III.11).

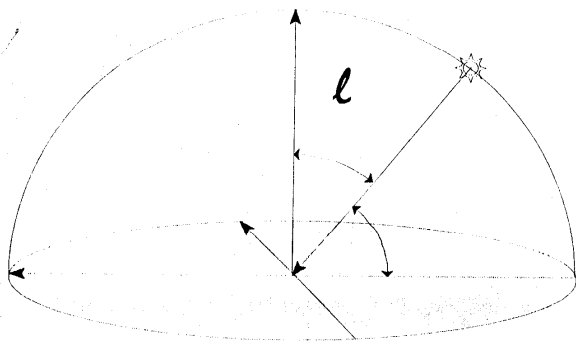


Ilustración 11

F. Javier Ruiz D.

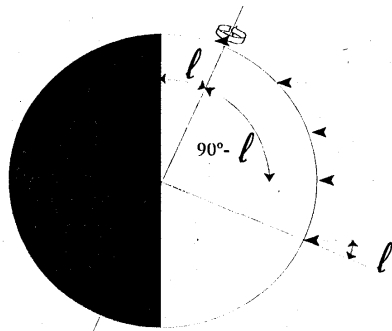


Ilustración 12

imaginario eje de rotación tiende a virar gradualmente hacia el sol, teniendo como destino los solsticios, alineándose aproximadamente $23^{\circ}27'$ en su inclinación, produciéndose sobre la superficie iluminada variaciones según transcurra el tiempo. Sobre el ecuador se presenta en los solsticios la misma variación angular. (I. III.13).

Rescatando, que el ángulo de incidencia equinoccial en el hemisferio norte a las 12:00 Hrs, es equivalente a la expresión $Ae_{12} = (90^{\circ} - l)$. (I. III.12).

Al desplazarse la tierra sobre su órbita, posterior a la llegada de un equinoccio el

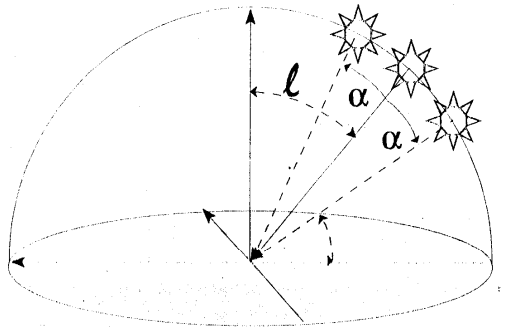


Ilustración 13

De conservar la referencia con respecto al ángulo equinoccial $Ae_{12} = (90^{\circ} - l)$ cada día que transcurra, dicho ángulo de incidencia presentará una variación (α) sobre el eje Norte-Sur igual a $23^{\circ}27'/T^2$ referenciada a la condición inicial. Dicho ángulo es posible calcularlo para cualquier fecha dependiendo de la relación de la variación diaria y los días transcurridos (t).

$$23^{\circ}27'/T = \alpha \quad \text{Tal que} \quad \alpha = 23^{\circ}27' t/T$$

² T= tiempo transcurrido en días de un solsticio a un equinoccio o viceversa.

E. Javier Ruiz D'

CONSIDERACIONES PARA LA DEFINICIÓN DE VALORES:

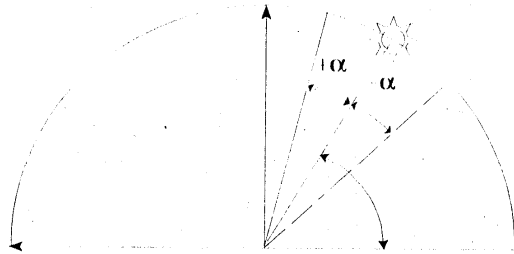


Ilustración 14

1. En nuestro hemisferio (Norte), de las estaciones de primavera a otoño el ángulo de incidencia con respecto a la inclinación se acentúa hacia el norte mismo de la posición equinoccial; a esta variación la denotaremos como positiva, o sea $+\alpha$, por el contrario al presentarse la variación de otoño a primavera el ángulo de incidencia se presenta hacia el sur de la misma referencia equinoccial y su valor es contrario, $-\alpha$. (I. III. 14).

2. Los tiempos de variación equinoccial y solsticio, o viceversa, son variables:

- Del equinoccio de primavera al solsticio de verano $T_p = 92$ días.
- Del solsticio de verano al equinoccio de otoño $T_v = 94$ días.
- Del equinoccio de otoño al solsticio de invierno $T_o = 90$ días.
- Del Solsticio de invierno al equinoccio de primavera $T_i = 89$ días.

Esta situación se explica dada la excentricidad de la órbita de la tierra en su movimiento alrededor del sol y la variación de la velocidad de traslación en su recorrido.

Superada la parte, la fórmula para calcular el ángulo de incidencia de los rayos solares a las 12:00 Hr. de cualquier día del año, queda de la siguiente forma:

$$An_{12} = (90^\circ - i) \pm \alpha$$

An_{12} = Ángulo de incidencia equinoccial

α = Ángulo de variación entre la inclinación de la fecha y el equinoccio.

Para Hermosillo:

$$i = 29.08^\circ$$

$$An_{12} (\text{máx}) = (90^\circ - i) + 23^\circ 27'$$

$$An_{12} (\text{min}) = (90^\circ - i) - 23^\circ 27'$$

F. Javier Ruiz D.

Cuando se considera el comportamiento de las variación anual horaria distintas, se deberá tomar en cuenta la posición paralela distinta de la vertical; consecuentemente, define su campo con la misma inclinación. Partiendo de esta observación, en los procedimientos operativos para el cálculo de las proyecciones se combinan las condiciones del comportamiento anual y diario, generalizando de esta manera el procedimiento.

En el plano vertical, la línea que une la posición del sol con los equinoccios (Pe12) y el observador representa a la proyección del recorrido solar; de esta manera, sobre esta línea se proyectarán las posiciones del sol (Peh) a cualquier hora de esa misma fecha.

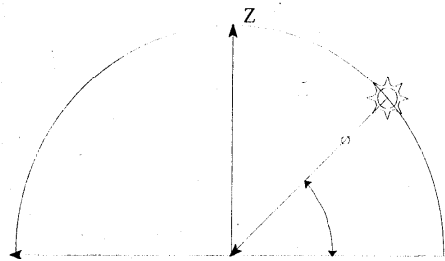


Ilustración 16

Para calcular la posición respectiva de las demás horas, previamente es necesario analizar el comportamiento del recorrido diario sobre el plano en que se desarrolla, que es en la dirección este-oeste. (I. III. 16)

En el transcurso de los días equinociales, el sol sigue en el firmamento una trayectoria aparente circular describiendo un arco de 180° de este a oeste, en 12:00 Hrs. (I. III. 17).

Referenciando como un punto de partida las consideraciones anotadas, es posible establecer una serie de condiciones referidas a las coordenadas, para calcular las posiciones solares en el curso del día equinoccial.

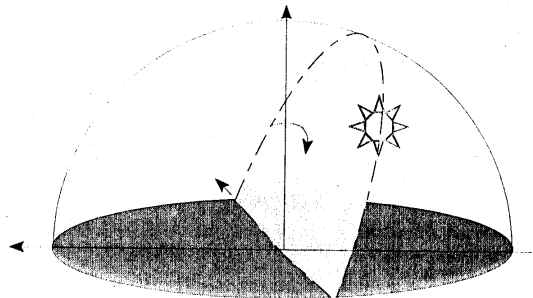
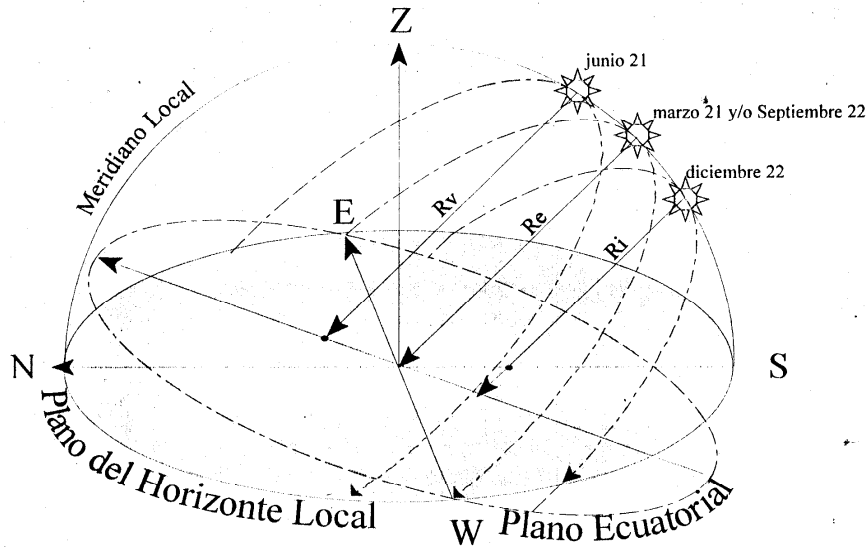


Ilustración 17

F. Javier Buix D.

PROYECCIONES VERTICALES, EJE ESTE-OESTE



Para el análisis de esta parte, consideraremos el movimiento aparente del sol (de una fecha equinoccial), en cualquier lugar situado sobre el ecuador (latitud 0°), en el que el recorrido se efectúa justamente sobre el eje este-oeste.

Posiciones del sol horario, para un equinoccio.

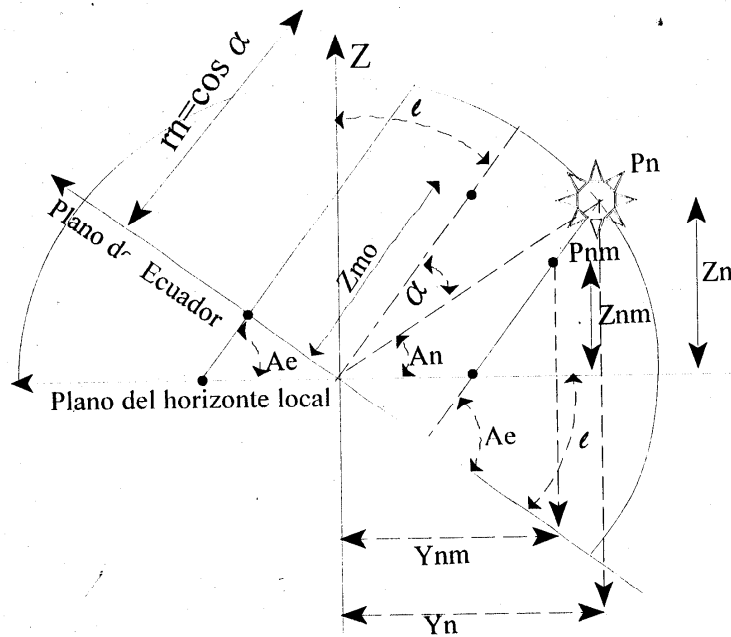
Consideraciones:

1. Las diferentes posiciones del sol se localizan en la trayectoria del recorrido diario.
2. A su vez, estos recorridos se desplazan permanentemente en el curso del período anual.
3. Como el ángulo de variación (α) es constante de un día a otro para una hora determinada, cualquiera que sea, se deduce que estos recorridos o los planos que los contienen son paralelos entre sí.

S. Javier Ruiz D.

4. En los equinoccios el ángulo de incidencia (Ae_{12}) forma parte del plano del recorrido, por lo tanto, este plano representa la misma inclinación ($90^\circ - l$) y como los demás recorridos son paralelos, tendrán la misma inclinación.

5. Tanto los recorridos como las posiciones permanecen en la superficie de la esfera (casquete).



Las primeras posiciones que es posible representar, son las correspondientes a las 12:00 Hrs. en cualquier día del año, para esto, se conocen ya los respectivos ángulos de incidencia para cualquier día del año An_{12} ó $An_{12} = 90^\circ - l \pm \alpha$.

La posición del sol a las 12:00 Hrs. (Pn_{12}) cualquier día del año, se define por sus coordenadas (Yn_{12}, Zn_{12}) .(I. III.18). Si el radio de la esfera en el modelo es igual a la

E. Javier Ruiz D.

unidad, $R=1$, los valores de las coordenadas se obtiene despejando las funciones del ángulo de incidencia:

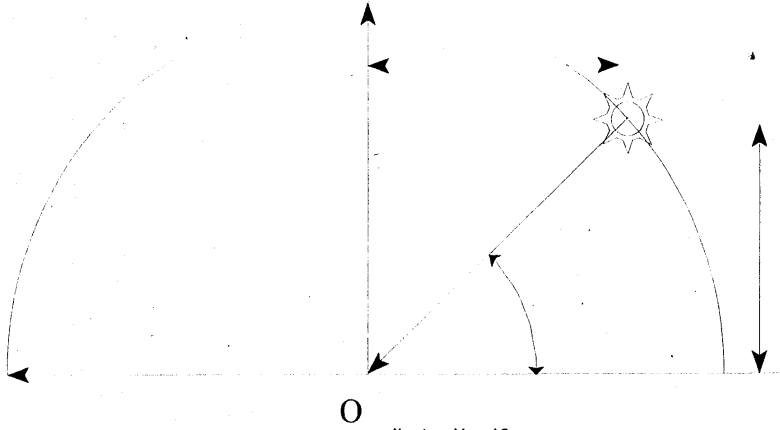


Ilustración 18

$\text{Sen } An_{12} \text{ Z/R, } \text{Cos} An_{12} \text{ Y/R}$

$$Y_{n12} = \text{Cos } An_{12} ;$$

$$Z_{n12} = \text{Sen } An_{12} ;$$

$$P_{n12} = (\text{Cos } An_{12}, \text{Sen } An_{12}).$$

J. Javier Ruiz ©.

Partiendo de estas condiciones, el ángulo de posición del sol (θ_m) está en función directa del tiempo transcurrido (t) a partir de la hora de salida (que supondremos las 6:00 hrs.). Para el cálculo del ángulo de posición, hay que establecer la relación simple entre el tiempo de recorrido $Th = (h-6:00)$ con los parámetros máximos: $T=12$ horas, $\theta_{m\acute{a}x}=180$. (I. III.19).

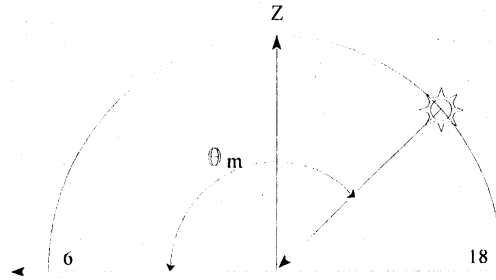


Ilustración 19

Para determinar las coordenadas de posición $(h(Y_h, Z_h))$ se utilizan las funciones trigonométricas:

$$\text{sen } \theta_m = Z/r, \text{ cos } \theta_m = Y/r, r=1.$$

De acuerdo a lo anterior, la proyección de una posición correspondiente a cualquier hora distinta a las 12:00 (P_{em}), para un lugar de lat. 0° , se localiza sobre el eje de proyecciones verticales, y su valor es:

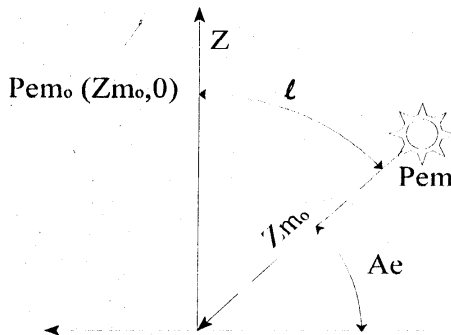


Ilustración 20

$$Z_m = \text{sen } \theta_m.$$

Si el punto de observación se ha ubicado en un lugar distinto, la distancia del origen a la proyección se mantiene constante ($Z_{m_0} = \text{sen } \theta_m$); siendo para este caso, la proyectada en el recorrido oblicuo de $A_e = 90^\circ - l$. (I. III.20).

J. Javier Ruiz D.

Consecuentemente, los valores Y y Z que definen esta posición Pem (Yem,Zem) son:

$$Yem=(Zmo)(\cos Ae)= \text{Sen } \theta \text{ m. Cos Ae}$$

$$Zem=(Zmo)(\text{sen Ae})= \text{Sen } \theta \text{ m. Sen Ae}$$

Y bien, tomando ahora cualquier otro día del año que no fuese en equinoccio, la posición que tomaría el sol a cualquier hora, se localizará dentro del plano vertical sobre la proyección de sus recorridos, notandose un desplazamiento hacia el centro de la esfera (el cual supondremos unitario), es así como disminuyen sus dimensiones proporcionalmente a la separación, y el radio (r n) puede calcularse con el ángulo de variación (α).

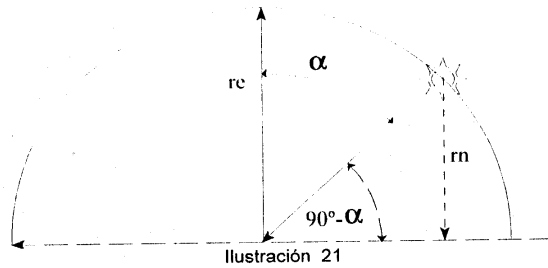


Ilustración 21

(I. III.21).

Tomando esta inclinación (Ae) notada en los recorridos (en medida de su alejamiento norte de su posición equinoccial), se amplía el semicírculo que describe la trayectoria diaria, alargandose las líneas de proyección.

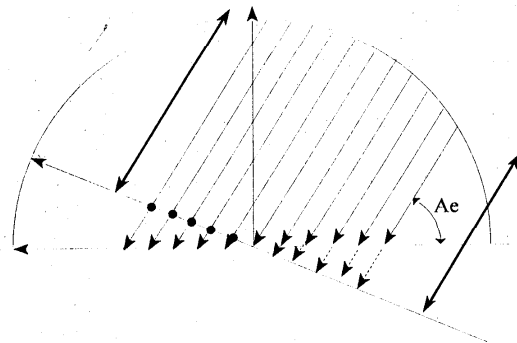
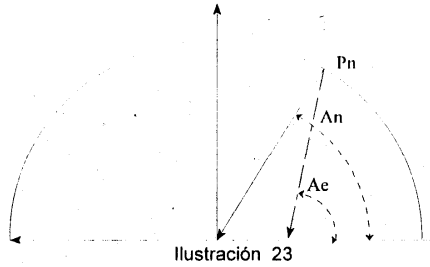


Ilustración 22

Implica pues por su posición oblicua del eje de rotación del planeta, que éste se orienta gradualmente hacia el sol, provocando una ampliación del día solar, en cuanto a los recorridos en posición contraria (hacia el sur) disminuyen.

(I. III.22).

J. Javier Ruiz S.



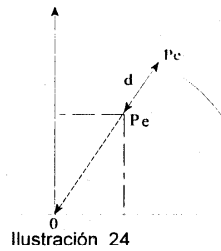
Impidiéndose en las proyecciones, la obtención directa de las posiciones, sin embargo el conocimiento de la posición de medio día (12:00 hrs), y la inclinación del recorrido en cualquier día, las posiciones solares a cualquier hora, se obtienen con la diferencia de la posición extrema (Pn12) en la proyección, la distancia que la separa de la posición buscada (Pnm), (I. III.23).

Volviendo a las proyecciones del recorrido equinoccial, la distancia entre la posición correspondiente a las 12:00 hrs. (Pe12) y la proyección de cualquier otra posición (Pem) es idéntica a $1 - \text{Sen } \theta_m$, Con $r=1$, $Z_{m0} = \text{Sen } \theta_m$ -proy. vert. de θ -. (I. III.24).

Para conocer esta distancia una vez desplazada del equinoccio, deberá tomarse en cuenta la modificación correspondiente al radio ($r_n = \text{Cos } \alpha$); por lo tanto, la distancia es:

$$(1 - Z_{m0}) \cos \alpha = P_{n12} - P_{nm} =$$

$$(1 - \text{Sen } \theta_m) \cos \alpha = d.$$



Al conocer esta distancia, se obtienen los elementos para el cálculo de las coordenadas de posición Pnm.

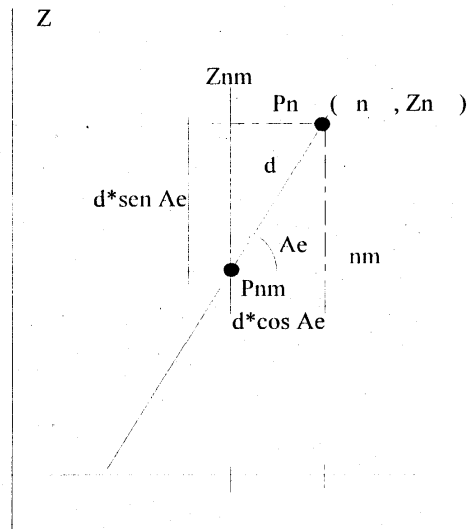
$$Y_{nm} = Y_{n12} - d \cos A_e \quad (Y_{n12} = \text{Cos } A_{n12})$$

$$Z_{nm} = Z_{n12} - d \text{ Sen } A_e \quad (Z_{n12} = \text{Sen } A_{n12})$$

Siendo:

$$\cos A_e = \text{Sen } l \quad \text{y} \quad \text{Sen } A_e = \cos l$$

E. Javier Ruiz ©.



En definitiva, la proyección vertical de la posición solar a una hora determinada en cualquier día del año (Pnm), se determina por sus coordenadas (Ynm,Znm). Sustituyendo:

$$Y_{nm} = \text{Cos } A_{n12} - (1 - \text{Sen } \theta_m) \cdot \text{Cos } \alpha \cdot \text{Sen } l$$

$$Z_{nm} = \text{Sen } A_{n12} - (1 - \text{Sen } \theta_m) \cdot \text{Cos } \alpha \cdot \text{Cos } l \quad (I. III.25).$$

Ilustración 25

La representación de las posiciones (Pnm) en el plano horizontal, se define por las coordenadas (Xnm,Ynm). (I. III.26).

Se obtuvo Xnm, con respecto a las proyecciones del plano vertical, por lo tanto se toma el mismo valor.

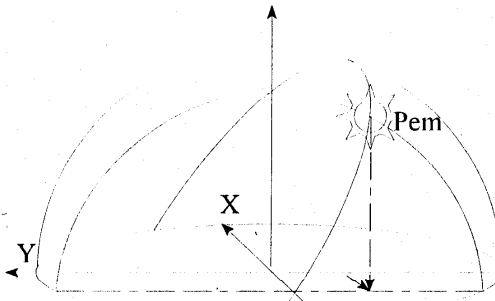


Ilustración 26

En cuanto al valor de "Y", al analizar el recorrido diario del sol en los equinoccios, se determinó la proyección de la posición solar sobre el eje Y, el valor obtenido correspondiente a cualquier punto situado sobre el ecuador

J. Javier Ruiz D.

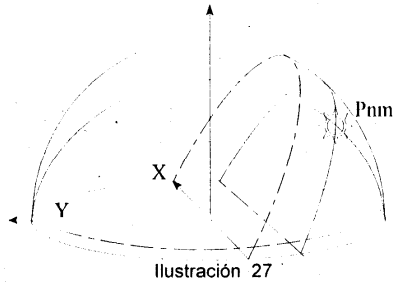


Ilustración 27

(Lat. 0), presentando inalteración alguna al inclinarse el plano que lo contiene por el cambio de latitud. (I. III.27).

$$Xh = Xem = \cos \theta m$$

sin embargo, al desplazarse los recorridos de las posiciones equinociales, el radio de los mismos disminuye en consecuencia:

$$Xnm = (Xem) \cos \alpha.$$

Así pues, Pnm en el plano horizontal se determina por sus coordenadas (I. III.28):

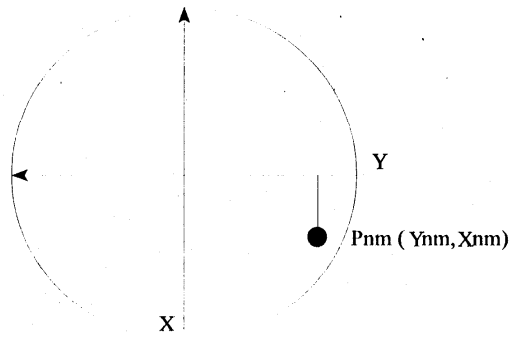


Ilustración 28

$$Ynm = \cos \alpha n \cdot (1 - \sin \theta m) \cos \theta \sin \alpha$$

$$Xnm = \cos \theta m \cos \alpha$$

J. Javier Ruiz D.

FÓRMULAS GENERALES.

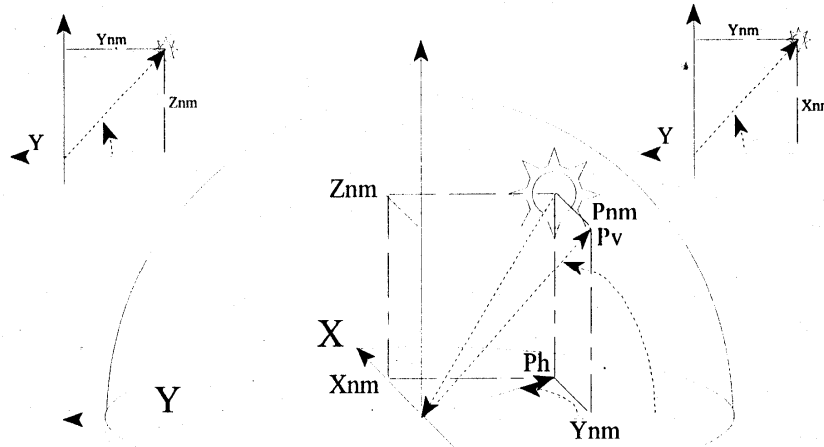


Ilustración 29

Las coordenadas para definir la posición del sol (Pnm), para cualquier hora y día del año en cualquier lugar son (I. III.29):

$$Pnm (Xnm, Ynm, Znm)$$

$$Xnm = \cos \theta_m \cos \alpha;$$

$$Ynm = \cos \alpha \sin 12 - (1 - \sin \theta_m) \cos \alpha \sin /; \quad Znm = \sin \alpha \sin 12 - (1 - \sin \theta_m) \cos \alpha \cos /$$

La proyección del ángulo de incidencia de los rayos solares (Ai) en los planos vertical (Aiv) y horizontal (Aih), se obtiene por la pendiente de la línea que une la proyección de las posiciones con el origen en los planos correspondientes:

$$\text{Pend.} = \text{Tan} = \text{Absisa} / \text{Ordenada.}$$

- $\text{Tan Aiv} = Znm / Ynm = \frac{\sin \alpha \sin 12 - (1 - \sin \theta_m) \cos \alpha \cos /}{\cos \alpha \sin 12 - (1 - \sin \theta_m) \cos \alpha \sin /}$
 $\text{Tan Aih} = Xnm / Ynm = \frac{\cos \theta_m \cos \alpha}{\cos \alpha \sin 12 - (1 - \sin \theta_m) \cos \alpha \sin /}$

E. Javier Buixá ©

MEDIDAS DEL TIEMPO

En la medición del tiempo son utilizadas las horas basadas en la posición de las estrellas, considerando dicha condición se toma como base las propiedades de la circunferencia que a manera de grados se dividen entre sus 360° las 24 horas de duración, dándole el nombre de **hora sideral**. De manera práctica la posición del sol (nuestra estrella) brinda la utilización de las horas en su apego, como: la hora verdadera o local y la hora media legal. Entonces, la **hora sideral** es el ángulo o tiempo transcurrido desde la culminación superior del punto vernal en el meridiano del lugar, medido en sentido astral (este-oeste) de 0° a 360° ó de 0 a 24 horas, conociendolo también como **ángulo horario**, que en sumatoria con la ascensión recta nos da la **hora sideral**.

Hora verdadera o civil

Tiempo ó ángulo solar transcurrido desde su culminación inferior en el meridiano del lugar de 0 a 24 horas, dependiendo individualmente cada lugar geográfico, sin considerar la trayectoria elíptica del sol, la velocidad angular, ni la variación de los días con sol. Como uso arbitrario tenemos la **hora solar media** o tiempo transcurrido desde la culminación inferior del **sol medio**, que es un cuerpo ficticio solar que se mueve a velocidad constante para el meridiano del lugar. La hora de nuestro reloj.

TIEMPO MEDIO = TIEMPO VERDADERO + ECUACIÓN DEL TIEMPO (M +V)

ECUACIÓN DEL TIEMPO

Es un factor de corrección astronómica debido a la diferencia de la hora oficial y la hora real referida al meridiano del lugar el cual se calcula de la siguiente manera por la ecuación de Siebers:

$$ET = -(0.1236 \text{ Sen } \theta - 0.004289 \text{ Cos } \theta + 0.1539 \text{ Sen } 2 \theta + 0.06078 \text{ Cos } 2 \theta)$$

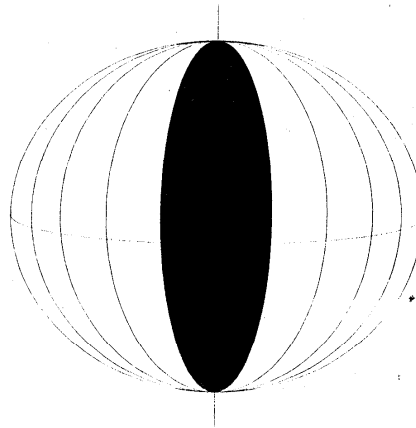
$\theta = (2\pi \times DJ) / 365.242$; Donde DJ= es igual al día juliano (número de día consecutivo a partir del primero de enero al 31 de diciembre).

J. Javier Ruiz D.

AJUSTE: HORA CIVIL A HORA SOLAR.

En el transcurso del día se observa el desplazamiento solar, el cual permite establecer períodos correspondiente a sus posiciones. Determinando la hora solar en cualquier lugar de la superficie terrestre. Esta hora solar, distinta de la hora civil del lugar, se diferencian por una convención establecida con respecto a los horarios.

Dicho de otra manera, nuestra esfera terrestre se divide, en una forma imaginaria, por 24 husos horarios concierne a la duración de un día en rededor de ella, que en terminos cuantitativos le corresponde 15° para cada cambio de hora, dicha medición parte del meridiano de Greenwich (0°), generando el razonamiento de que para cada región es la misma que en el meridiano inferior múltiplo de 15° (mr). Definiendo la hora que por convención y propiedad haremos uso, se determina la conversión de la hora local o civil a hora solar. Procediendo con el auxilio de la fórmula para ello. (I. III.30).



$$H_s = H_c - ((m_l - m_r) / 60) / 15^\circ$$

Donde:

H_s = Hora solar.

H_c = Hora civil.

m_l = Meridiano local.

m_r = Meridiano de referencia.

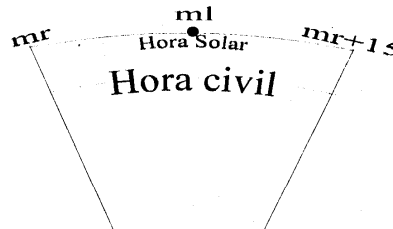
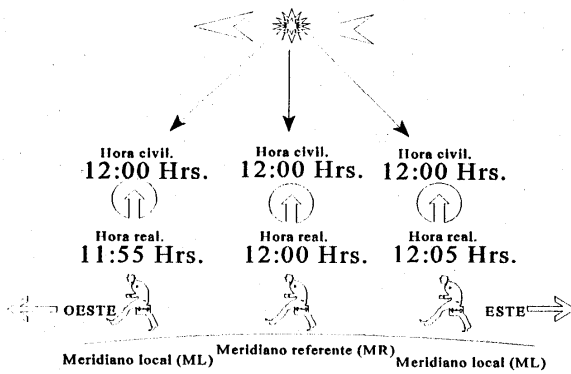


Ilustración 30

F. Javier Ruiz D.

AJUSTE: TIEMPO SOLAR MEDIO A TIEMPO REAL

Del movimiento supuesto del sol se generan dichas ecuaciones, que sólo se interpreta su razonamiento de manera conciente al ubicar dicha consideración al sustentarse en los fines que se pretenden con el trabajo, siendo de tal manera una aproximación a las manifestaciones reales de dichos desplazamientos. Previendo considerar los ajustes en el proceso del cálculo para depurar los resultados.



Se considera en el recorrido del sol, en respeto invariable de su trayectoria, que para la hora de las 12:00 el sol se localiza en la mitad de su recorrido y por lo tanto en su punto más alto, esto debiera ser si en nuestra localización coincidiéramos con las condiciones de latitud en múltiplo de 15º, el que de manera horaria (solar) da lugar al

intervalo por donde atraviesa su referencia. Observándose períodos en que las posiciones ocurren después de la hora de referencia o se adelantan, según sean la posición del señalamiento referido, de acuerdo a una variación gradual diaria. Esta

variación modifica al conjunto de las posiciones, es decir, se adelanta o atrasa el recorrido diario, en determinados períodos y la coincidencia con las posiciones del esquema de referencia se presentan muy pocas veces al año. (I. III.31).

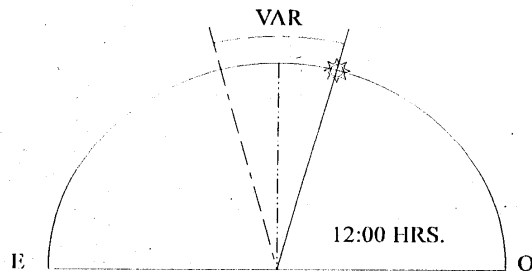


Ilustración 31

S. Javier Ruiz D.

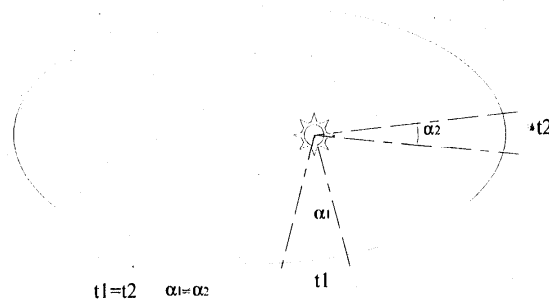


Ilustración 32

Generalizando términos, este hecho se explica dada las características elípticas de la trayectoria terrestre en el espacio, que al no conservar la órbita una trayectoria uniforme, los desplazamientos que angularmente se denotan y permanecen distintos, impidiendo la regularidad entre el movimiento de rotación y el de traslación.

Como en el planteamiento general se ha tomado como referencia un comportamiento regular en el movimiento aparente del sol, perteneciente al tiempo solar medio, para tratar de representar una posición, es necesario el ajuste para la obtención del tiempo solar real. (I. III.32).

HUSOS HORARIOS

Para facilitar la medida del tiempo, para cada lugar geográfico del planeta se ha dividido en 24 partes iguales de la esfera con valor de 15 cada uno, y todos los lugares en ese intervalo mantienen una misma hora a daptandose en la práctica a la división política y geográfica de los países y estados.

En México se presentan tres husos horarios, los correspondientes a los meridianos secuenciales de 15°, que son el meridiano 90°, 105° y 120°, correspondiendole a la mayor parte de nuestro país el huso horario de los 90° (hora del centro), el de 105° a Sonora, Sinaloa, Nayarit y Baja California Sur (hora del pacífico), y el del 120° a Baja California Norte.

J. Javier Ruiz D.