

2  
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**"DETERMINACION DE LAS COORDENADAS  
GEOGRAFICAS MEDIANTE METODOS  
ASTRONOMICOS"**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA  
P R E S E N T A :  
ALEJANDRA GUZMAN CORTES**

**ASESOR DE TESIS: ING. ADOLFO REYES PIZANO**



**MEXICO, D. F.**

**1997.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-068/97

Señorita  
**ALEJANDRA GUZMAN CORTES**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ADOLFO REYES PIZANO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA.

**"DETERMINACION DE LAS COORDENADAS GEOGRAFICAS MEDIANTE METODOS ASTRONOMICOS"**

- I. INTRODUCCION
- II. SISTEMAS DE COORDENADAS
- III. CORRECCION A LAS COORDENADAS
- IV. DETERMINACION DE LA LONGITUD
- V. DETERMINACION DE LA LATITUD
- VI. DETERMINACION DEL AZIMUT
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitario a 4 de agosto de 1997.  
EL DIRECTOR.

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

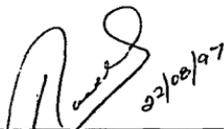
JMCS/GMP\*lmf

REVISION DE TESIS

22-VIII-97

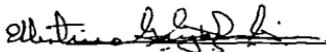


VO.BO. ING. ADOLFO REYES PIZANO  
DIRECTOR DE TESIS



VO.BO. VICTOR ROBLES ALMERAYA  
COORDINADOR DE LA CARRERA DE  
INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA

26-08-97



VO.BO. ING. UBERTINO GONZALEZ G.  
JEFE DEL DEPTO. DE TOPOGRAFIA



VO.BO. ING. RAYMUNDO ARVIZU D.  
JEFE DEL DEPTO. DE CARTOGRAFIA Y  
GEODESIA

## **AGRADECIMIENTOS**

## AGRADECIMIENTOS

HOY AL CONCLUIR UNA DE LAS METAS DE MI VIDA SIENTO LA NECESIDAD DE RECONOCER A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE ME AYUDARON A LOGRARLO. ASÍ QUE DOY GRACIAS :

A MI MADRE ELIA POR SU PACIENCIA.

A MI PADRE ANTONIO.

A MI HERMANO EDMUNDO POR TODO LO QUE HA CONTRIBUIDO EN MI SER.

A MI HERMANA ADRIANA Y JUAN CARLOS POR ESTAR SIEMPRE CONMIGO.

A MIS SOBRINOS SAMUEL, BARBARA, REBECA Y SARA POR SER LA SONRISA QUE NECESITO Y QUE SIEMPRE ESTA CONMIGO.

A MIS ABUELOS SAMUEL, ESPERANZA, EMILIO Y TOMASA POR SER LA BASE DE MI ORIGEN.

ESPERANZA Y EMILIO q. e. d.

A CARMEN, TOÑO, LALO, DEYANIRA Y LAURA POR LA TRANQUILIDAD QUE ME HAN BRINDADO EN LOS MOMENTOS DIFICILES.

A MIS TIOS RICARDO, MARIO, REMEDIOS, MARTA, ISABEL, CONCEPCIÓN, EMILIO, AGUSTIN, TERE, LILIA, IRMA, BLAN Y SUS RESPECTIVAS FAMILIAS POR ENSEÑARME LA ESCENCIA DE LA FAMILIA Y TODO LO QUE ELLO SIGNIFICA.

EMILIO q. e. d.

A PABLO, LALO, ISAÍAS, GIL, MARIO, GLORIA Y RANA PORQUE NO SOLO SON MIS AMIGOS, SINO MIS HERMANOS.

A NORMA, GABY, JAIME, RAÚL, PEZ, ANDRÉS, CARLOS, LAURA, ELIA, LUCY, LUCY E., TERE, MIGUEL, NOÉ, ZÉCUA, LUIS ALFONSO, TOÑO O. Y HUGO O. POR RE-ENSEÑARME EL VALOR DE LA AMISTAD

A MIGUEL A. L. M POR SER MI CONCIENCIA EXTERNA.

A EL NIÑO X NO SOLO POR SU GRAN AYUDA EN LAS FIGURAS DE ESTE TRABAJO, SINO POR TODO LO QUE SIGNIFICA SU EXISTIR EN MI VIDA.

A μδκ POR TODO LO QUE HA COMPARTIDO CONMIGO, LO CUAL HA CONTRIBUIDO NOTABLEMENTE A MI CRECIMIENTO PERSONAL

A LOS INGENIEROS JESUS MA. RUIZ GALINDO Y ADOLFO REYES PIZANO POR COMPARTIRME PARTE DE SUS CONOCIMIENTOS Y EXPERIENCIAS, ADEMAS DE SU VALIOSA COLABORACION EN ESTE TRABAJO.

A LOS INGENIEROS VICTOR ROBLES, UBERTINO GONZALEZ, RAFAEL OCHOA, CASIANO JIMENEZ, RAYMUNDO ARVIZU Y A TODOS MIS PROFESORES POR LO BRINDADO A LO LARGO DE MI ESTANCIA EN LA FACULTAD DE INGENIERIA.

A ABISAIL, EL NIÑO NOÉ, DARIO, ALEJANDRO O., ERIK, DIEGO M., DANTE Y A TODOS MIS DEMAS COMPAÑEROS POR COMPARTIR MÁS QUE UNAS CLASES; SINO POR COMPARTIR PARTE DE SU ESCENCIA CONMIGO.

A TODO EL PERSONAL DE LA DICTYG.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

A ALEGUZCO POR EL SOLO HECHO DE EXIRTIR Y NO DEJARSE VENCER EN LOS MOMENTOS MAS DIFICILES.

A TODAS Y CADA UNA DE LAS PERSONAS ANTES MENCIONADAS POR BRINDARME TAMBIEN SU APOYO Y CONFIANZA, Y CONTRIBUIR ASI A LA FORMACION DE MI VIDA PROFESIONAL Y PERSONAL.

ALEGUZCO

1997

## **LIBERTAD**

**Eduardo Malpica Ortega**

Cuando te sientas triste,  
mira al cielo,  
y quizás, entre destellos  
puedas hallar consuelo.

Cuando quieras llorar  
por tener algún pesar,  
mira la luna de coral;  
su brillo, seguramente, te guiará  
a un lugar lejano  
donde tu pena pasará.

Cuando solo creas estar  
y con alguien quieras hablar,  
conversa con las estrellas  
cuéntales tu mal;  
ellas, buenas consejeras,  
la solución te darán.

Y recuerda:  
si tus temores te encierran,  
no estás preso;  
el firmamento te espera;  
deja a un lado tus miedos,  
abre tus alas y vuela...

## INDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAG.</b>
<b>PROLOGO</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCION</b>	
La Esfera Celeste .....	4
El Triángulo Astronómico .....	9
<b>CAPITULO I. SISTEMAS DE COORDENADAS</b>	
I.1. Tipos de Sistemas de Coordenadas Celestes .....	13
I.1.1. Sistema Horizontal .....	16
I.1.2. Primer Sistema Ecuatorial .....	16
I.1.3. Segundo Sistema Ecuatorial .....	16
I.2. Sistema de Coordenadas Geográficas .....	20
<b>CAPITULO II. CORRECCIONES A LAS COORDENADAS</b>	
II.1. Refracción Atmosférica .....	24
II.2. Paralaje .....	31
<b>CAPITULO III. DETERMINACION DE LA LONGITUD</b>	
III.1 Tiempo .....	37
III.2. Sistemas de Tiempo .....	38
III.3. Relación entre Tiempo y Longitud .....	41
III.4. Transformación de Tiempo Medio a Siderio .....	41
III.5. Marcha Horaria .....	42
III.6. Métodos Astronómicos para determinar el Tiempo.....	42

III.6.1. Método de Alturas Absolutas .....	43
III.6.1.a. Metodología de Campo .....	43
III.6.1.b. Cálculo .....	47
III.6.2. Método de Alturas Iguales de dos Estrellas Observadas a la misma altura, una al Este y otra al Oeste .....	52
III.6.2.a. Metodología de Campo .....	52
III.6.2.b. Cálculo .....	59

#### **CAPITULO IV. DETERMINACION DE LA LATITUD**

IV.1. Método de Pasos Meridianos .....	67
IV.1.a. Metodología de Campo .....	67
IV.1.b. Cálculo .....	69
IV.2. Método de Alturas Circunmeridianas .....	73
IV.2.a. Metodología de Campo .....	73
IV.2.b. Cálculo .....	73
IV.3. Método de Littrow .....	78
IV.3.a. Metodología de Campo .....	78
IV.3.b. Cálculo .....	82

#### **CAPITULO V. DETERMINACION DEL AZIMUT**

V.1. Por Alturas Absolutas .....	87
V.1.a. Metodología de Campo .....	87
V.1.b. Cálculo .....	91
V.2. Determinación del Angulo Horario en función del Azimut .....	95
V.2.a. Metodología de Campo .....	95
V.2.b. Cálculo .....	96
V.3. Determinación del Azimut por observaciones a una Estrella Circumpolar en función de la Distancia Zenital y el Angulo Horario .....	99
V.3.a. Metodología de Campo .....	99
V.3.b. Cálculo .....	102

<b>CAPITULO VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>106</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>114</b>

## **PROLOGO**

La Astronomía de Posición es una base para la Geodesia; por tal motivo, en este trabajo no pretendo dar a conocer mi interés personal sobre el tema ni pretendo profundizar en él, ya que existe una amplia bibliografía al respecto, así que solo se expondrán los aspectos que son más relevantes para la vida profesional del Ingeniero Topógrafo y Geodesta. Ya que es lamentable ver que en la actualidad un gran número de profesionistas creen que la tecnología de punta es lo mejor, olvidándose así de las bases científicas.

Por tal motivo en este trabajo expongo de una forma breve y concisa la teoría, la metodología de campo y el cálculo para determinar las coordenadas astronómicas de un lugar cualquiera, empleando los métodos astronómicos que a menudo suelen despreciarse por considerarlos obsoletos y engorrosos o por ignorancia.

Así mismo pretendo que este trabajo sirva como base para que alguien continúe en el tema y se abra un campo de investigación en el área de la Ingeniería Topográfica y Geodésica.

**ALEJANDRA GUZMAN CORTES**  
**AGOSTO 1997**

## **INTRODUCCION**

## INTRODUCCION

Desde la existencia del hombre este ha sentido gran curiosidad por conocer la forma de la Tierra, sus dimensiones, la distancia existente entre la Tierra y los astros, la sucesión del día y la noche, los eclipses y todos los fenómenos astronómicos, debido ha esto surgió el nacimiento de las investigaciones astronómicas, las cuales se pueden dividir en tres etapas :

- a ) La observación y el estudio de los movimientos de los astros, lo que motivo que se establecieran algunos principios.
- b ) La ubicación de los cuerpos celestes, lo que generó la deducción de las ecuaciones matemáticas y las leyes de la física que rigen el Universo.
- c ) El estudio de la composición física y química de los astros , que en la actualidad ha tomado gran auge debido a los vuelos espaciales, el equipo y técnicas actuales.

Tomando en cuenta lo anterior se puede definir lo que es la Astronomía y sus diferentes ramas.

Del griego

**ASTRON** ( αστρον ) .- Astro y

**NOMOS** ( νομος ) .- Ley

que traducido literalmente sería Ley de los Astros.

**Astronomía** : Es la ciencia que permite el estudio de los astros, sus posiciones, sus movimientos tanto reales como aparentes, las leyes que los rigen, su estructura física y su composición química.

De la definición de Astronomía se puede observar que su estudio abarca muchos aspectos, haciendo necesario dividirla en ramas para su mejor análisis, las ramas que se mencionaran son las que se consideran más importantes para este trabajo.

***Astronomía Práctica*** .- Es la que se ocupa del uso de los instrumentos astronómicas, los métodos de observación y la eliminación de los errores.

***Astronomía de Posición*** .- Es la que estudia la relación geométrica entre los cuerpos celestes, posición, distancia, dimensión, detallándonos además sus movimientos reales y aparentes. Así mismo, tiene por objeto la solución de problemas relacionados con la determinación de las Coordenadas Geográficas de un lugar y el Azimut de una dirección, por observaciones a los astros.

***Astronomía Mecánica Celeste o Astronomía Matemática*** .- Establece las Leyes matemáticas que rigen el estado de equilibrio de los cuerpos celestes.

***Astrofísica*** .- Determina las características físicas y químicas de los astros con ayuda de estudios espectrales.

Una vez clasificadas las ramas de la Astronomía, se verá que desde el punto de vista astronómico, la Tierra tiene la forma de una esfera, desde cuya superficie se observan un gran número de cuerpos celestes pertenecientes al Universo. Estos cuerpos celestes son los que se utilizarán para determinar los resultados de la Astronomía de Posición que será desarrollada en este trabajo; por tal motivo es necesario definir lo que es la Esfera Celeste y los elementos que la componen.

## **LA ESFERA CELESTE**

### **DEFINICION**

Se define esta como una esfera de radio infinito sobre la superficie de la cual se encuentran proyectados todos los astros, incluyendo al Sol y la Luna, y en donde el centro de la misma lo ocupa la Tierra, es decir el propio observador.

## **DEFINICION DE LOS ELEMENTOS DE LA ESFERA CELESTE**

**Vertical del Lugar:** si se suspende una plomada sobre la superficie de la Tierra y se prolonga su hilo indefinidamente en ambas direcciones, este tocará a la Esfera Celeste en dos puntos, uno arriba y otro abajo, llamados Zenit y Nadir respectivamente. La línea recta definida por estos dos puntos y que pasa por el centro de la Tierra se llama Vertical del Lugar. Cada punto de la Tierra tiene su propia vertical de lugar.

**Círculos Máximos:** son todos aquellos que contienen el diámetro de la Esfera Celeste.

**Círculos Verticales:** son todos los círculos máximos que contienen a la vertical del lugar.

**Horizonte:** es el círculo máximo perpendicular a la vertical del lugar.

**Almicantaras:** son todos los círculos paralelos al Horizonte

**Eje del Mundo:** si se prolonga el eje de rotación de la Tierra en ambas direcciones, este tocará a la Esfera Celeste en los Polos Celestes. Conocido dicho Eje como eje del Mundo

**Círculos Horarios:** son todos los círculos máximos que contienen al eje del mundo.

**Ecuador:** es el círculo máximo perpendicular al eje del mundo.

**Meridiano:** es el círculo máximo que contiene al eje del mundo y a la vertical del lugar.

**Círculos Menores o de Declinación :** son todos los círculos paralelos al Ecuador, y representan las trayectorias aparentes de los astros en su movimiento diario. Se dice trayectorias aparentes, porque en realidad es la Tierra la que gira alrededor de los astros.

**Primer Vertical:** es el círculo vertical perpendicular al Meridiano.

**Eclíptica:** es la trayectoria aparente del Sol en su movimiento diario alrededor de la Tierra, y forma un ángulo aproximado de  $23^{\circ} 27'$  con el Ecuador, además que define los llamados Trópicos de Capricornio y Cáncer al Norte y al Sur del Ecuador respectivamente.

**Línea de los Equinoccios:** se define como la traza definida por el plano del Ecuador y el plano de la Eclíptica, siendo esta línea la que toca a la Esfera Celeste en el Equinoccio de Otoño y en el Equinoccio de Primavera, también conocido este último como Punto Gamma, Punto Primavera ( Punto Vernal ) o Punto Aries.

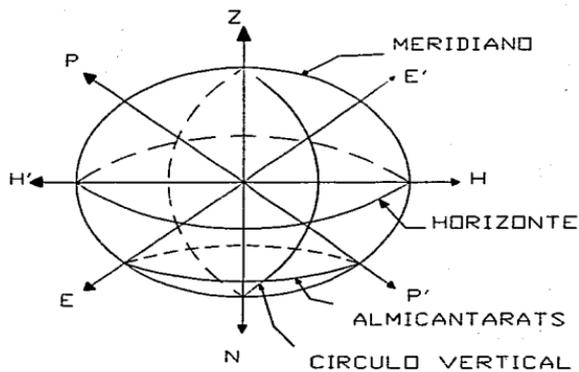
**Coluro de los Equinoccios :** se llama así al círculo horario que pasa por los puntos Equinociales.

**Línea de los Solsticios:** se define como la traza determinada por el Meridiano y la Eclíptica, definiendo esta línea en la Esfera Celeste a los Solsticios de Verano e Invierno.

**Coluro de los Solsticios :** es el círculo horario que pasa por los puntos solsticiales.

**Meridiana:** se le llama así a la traza definida por el plano del Horizonte y el plano del Meridiano, tocando esta línea a la Esfera Celeste en los Puntos Cardinales Norte y Sur. La traza definida por el Primer Vertical y el plano del Horizonte toca a la Esfera Celeste en los Puntos Cardinales Este y Oeste.

Nota: ver las figuras 1, 2 y 3 para identificar los elementos de la Esfera Celeste.



**DONDE**

Z= ZENIT

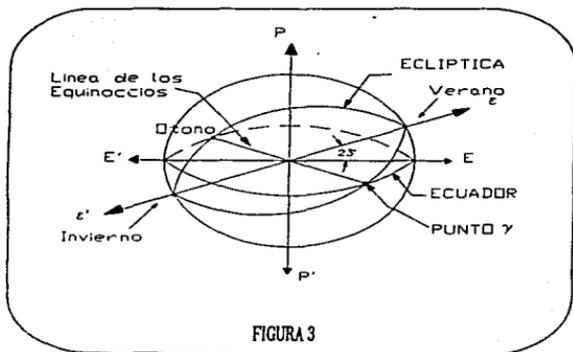
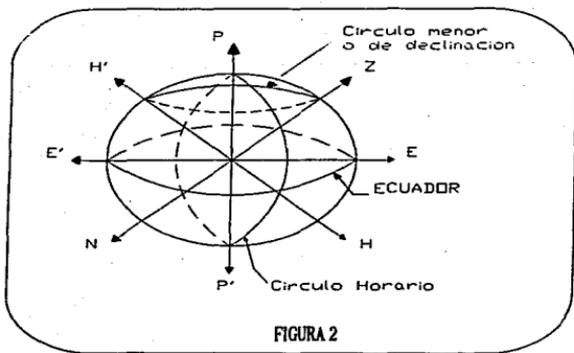
N= NADIR

ZN= VERTICAL DEL LUGAR

P,P'= POLOS

PP'= EJE DEL MUNDO

**FIGURA I**



## **EL TRIANGULO ASTRONOMICO**

### **DEFINICION**

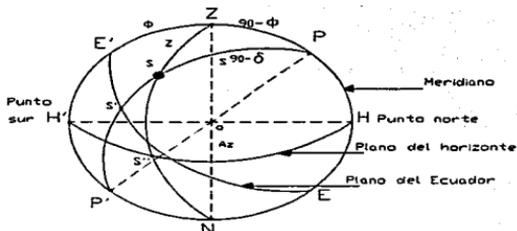
El Triángulo Astronómico en la Esfera Celeste queda definido por tres puntos, el Polo Celeste, el Zenit del observador y el Astro observado.

### **LADOS DEL TRIANGULO ASTRONOMICO**

Los lados del Triángulo Astronómico son : un arco de Círculo Vertical que pasa por el astro, medido a partir del Horizonte hasta el astro mismo y se llama Altura, a la cual se designará con la letra " A ", esta se mide de  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  y a su complemento se le llama Distancia Cenital, es decir  $90 - A$  y se designará con la letra " Z ". Un arco de Meridiano medido a partir del Ecuador hasta el Zenit del observador cuyo nombre es Latitud y se identificará con la letra "  $\varphi$  "; se mide de  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  a partir del Ecuador y puede ser Latitud Norte (  $\varphi N$  ) o Latitud Sur (  $\varphi S$  ), según el punto considerado se encuentre al Norte o al Sur del Ecuador respectivamente ; al complemento de la Latitud se le llama Colatitud, es decir  $90-\varphi$  . Un arco de Círculo Horario que pasa por el astro, medido a partir del Ecuador hasta el astro mismo y recibe el nombre de Declinación y se conoce con la letra "  $\delta$  "; la declinación es positiva cuando el astro declina al Norte y negativa cuando el astro declina al Sur, el complemento de la Declinación es la Codeclinación o Distancia Polar, de decir  $90-\delta$  y se identificará con la letra " P ", ver figura 4.

### **ANGULOS DEL TRIANGULO ASTRONOMICO**

Los ángulos del Triángulo Astronómico quedan definidos : por un arco de Ecuador medido a partir del Meridiano del observador, hasta el Círculo Horario que pasa por el astro y se llama Angulo Horario, identificado con la letra " H "; este arco se mide de  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$  o de 0h a 24h en el sentido de las manecillas del reloj , es decir hacia el Oeste. Un arco de Horizonte medido a partir del meridiano del observador, hasta el Círculo Vertical que pasa por el astro considerado



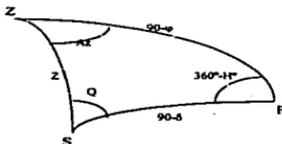
**DONDE**

- A = Altura (arco S'S)
- Az = Azimut (arco HS')
- $\phi$  = Latitud EZ (arco EZ)
- Colatitud =  $90 - \phi$  (arco PZ)
- z = Distancia zenital (arco zS)
- S = Astro observado
- $\delta$  = Declinacion (arco s'S)
- P = Distancia polar =  $90 - \delta$  (arco PS)
- H = Angulo horario (arco ES')

**FIGURA 4**

y se llama Azimut , al cual se designara como " Az ", este arco se mide de  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$  en el sentido de las manecillas del reloj. Por último se dice que el ángulo definido por el Círculo Horario y el Círculo Vertical que pasan por el astro en el astro mismo recibe el nombre de Angulo Paraláctico y será conocido con la letra " Q ", ver figura 4 .

Nota : Tanto los ángulos como los lados del Triángulo Astronómico, se miden en unidades de arco.



**CAPITULO I**  
**SISTEMAS DE COORDENADAS**

## **CAPITULO I**

### **SISTEMAS DE COORDENADAS**

Considerando que en cualquier sistema de referencia la mejor forma de determinar la ubicación de un punto será por medio de las coordenadas del punto en cuestión, en la Astronomía de Posición, la ubicación de un punto sobre la superficie de la Tierra o un astro perteneciente a la Esfera Celeste se dará por medio de sus respectivas coordenadas.

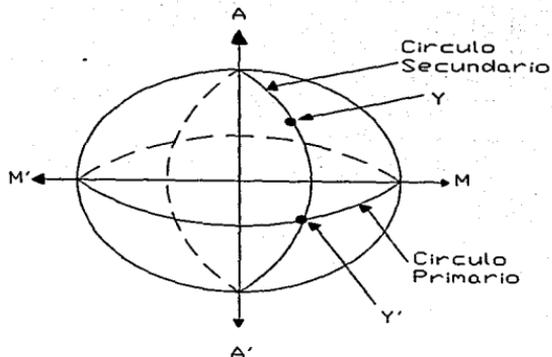
#### **DEFINICION**

En una esfera un punto de la misma queda definido por medio de dos arcos de círculo máximo, medidos estos sobre planos de  $90^\circ$  y estos dos arcos constituyen las coordenadas esféricas del punto considerado. Una coordenada se mide sobre un círculo máximo llamado círculo primario y por eso se llama la primer coordenada del punto; la segunda coordenada se mide sobre un círculo máximo perpendicular al círculo primario, llamado círculo secundario y por eso se dice que es la segunda coordenada del punto, ver figura I. 1.

#### **I. 1. TIPOS DE SISTEMAS DE COORDENADAS CELESTES**

En general las coordenadas de los astros en la Esfera Celeste se miden también sobre un Círculo Primario y un Círculo Secundario, recibiendo el Sistema de Coordenadas Celestes el nombre del círculo máximo que funge como primario; dicho esto se pueden clasificar a los Sistemas de Coordenadas Celestes como se indica en la tabla I. 1.

## SISTEMA DE COORENADAS



**DONDE**

El arco  $Y'Y$  es la primer coordenada

El arco  $MY'$  es la segunda coordenada

**FIGURA I.1**

<b>NOMBRE DEL SISTEMA DE COORDENADAS CELESTES</b>	<b>CIRCULO PRIMARIO</b>	<b>PRIMER COORDENADA</b>	<b>CIRCULO SECUNDARIO</b>	<b>SEGUNDA COORDENADA</b>
SISTEMA HORIZONTAL	HORIZONTE	AZIMUT (Az)	CIRCULOS VERTICALES	ALTURA (A)
PRIMER SISTEMA ECUATORIAL	ECUADOR	ANGULO HORARIO (H)	CIRCULOS HORARIOS	DECLINACION ( $\delta$ )
SEGUNDO SISTEMA ECUATORIAL	ECUADOR	ASCENSION RECTA ( $\alpha$ )	CIRCULOS HORARIOS	DECLINACION ( $\delta$ )

**TABLA I. 1.**

### **I. 1. 1. SISTEMA HORIZONTAL**

Como se puede observar en la tabla anterior, en este sistema, el círculo primario lo constituye el Horizonte y los círculos secundarios son los Círculos Verticales, por tal motivo la primer coordenada de este sistema será el Azimut (  $Az$  ) y la segunda coordenada la Altura (  $A$  ), ver figura I. 2.

### **I. 1. 2. PRIMER SISTEMA ECUATORIAL**

Observando la tabla I. 1 se puede apreciar que en este primer sistema ecuatorial el círculo primario lo constituye el Ecuador y siendo la primer coordenada es el Angulo Horario (  $H$  ); los círculos secundarios serán los Círculos Horarios, resultando ser la segunda coordenada de este sistema la declinación (  $\delta$  ), ver figura I. 3.

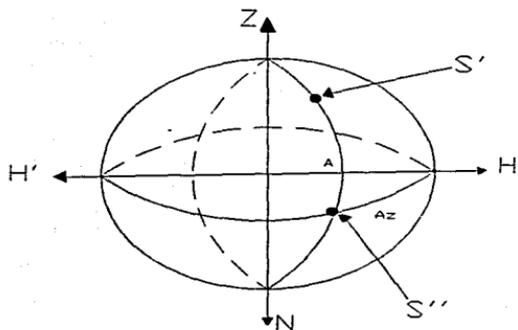
### **I. 1. 3. SEGUNDO SISTEMA ECUATORIAL**

Como se puede notar en la tabla I. 1, el círculo primario en este sistema de coordenadas es el mismo que en el primer sistema ecuatorial, es decir el Ecuador y los círculos secundarios son los círculos horarios, pero a diferencia del primer sistema ecuatorial la primer coordenada de este segundo sistema ecuatorial se llama *Ascensión Recta*.

La Ascensión Recta es un arco de ecuador medido a partir del punto gamma, punto vernal o equinoccio de primavera, hasta el círculo horario que pasa por el astro observado y se mide de 0 h a 24 h o de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  en el sentido contrario a las manecillas del reloj.

Cabe señalar que las posiciones de los astros referidas en el Anuario del Observatorio Astronómico Nacional, vienen dadas en las coordenadas de este sistema, ya que las estrellas guardan una posición relativa con respecto al origen del sistema y por lo tanto la Ascensión Recta y la Declinación serán siempre las mismas para todas las estrellas, ver figura I. 4

## SISTEMA HORIZONTAL



**DONDE**

A = ALTURA ( ARCO  $SS''$  )

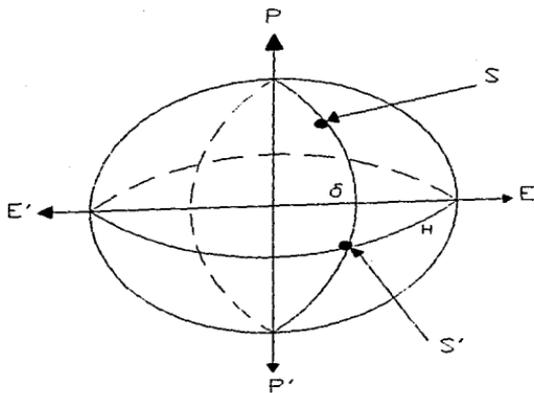
Az = AZIMUT ( Arco  $HS'''$  )

S = Astro observado

S''' = Interseccion del plano del  
horizonte con el circulo vertical  
que pasa por el astro observado

**FIGURA 12**

PRIMER SISTEMA ECUATORIAL



DONDE

$\delta$  = Declinacion (arco  $SS'$ )

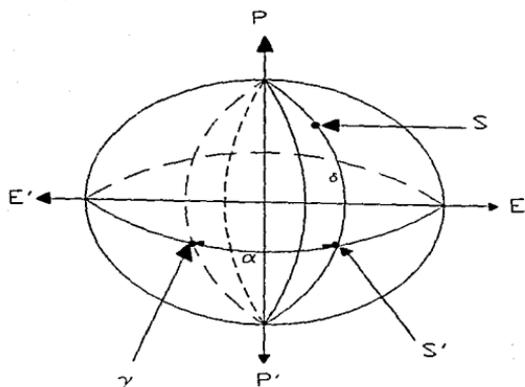
H = Angulo Horario (arco  $ES'$ )

S = Astro observado

S' = Interseccion del plano del ecuador  
con el circulo horario que pasa  
por el astro observado

FIGURA 1.3

SEGUNDO SISTEMA ECUATORIAL



DONDE

$\delta$  = Declinacion ( arco  $SS'$  )

$\alpha$  = Ascension Recta ( arco  $\gamma S'$  )

$\gamma$  = Punto Vernal

S = Astro Observado

S' = Interseccion del plano del Ecuador con el circulo horario que pasa por el astro observado

FIGURA 14

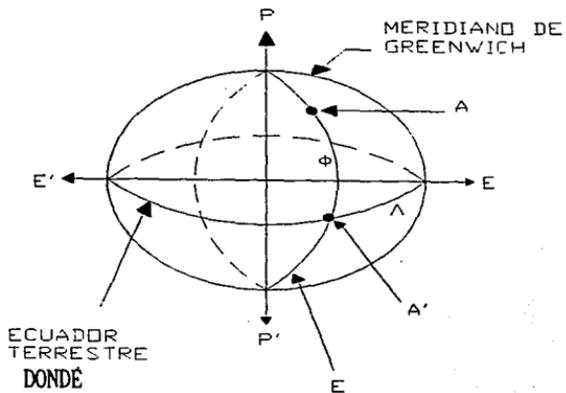
## **I. 2. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRAFICAS O TERRESTRES**

### **DEFINICION**

En este sistema el círculo primario es el Ecuador Terrestre y el secundario el Meridiano Terrestre, este último resulta de la intersección del Círculo Horario con la Superficie de la Tierra.

Las coordenadas del observador o del punto sobre el cual se encuentra este, serán un arco de Ecuador medido a partir de un meridiano origen, que en este caso es el Meridiano de Greenwich, hasta el meridiano del observador, siendo esta coordenada la Longitud (  $\lambda$  ), la cual se mide de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  o bien de 0h a 12h, pudiendo ser longitud Este o longitud Oeste, según que el punto considerado se encuentre al Este o al Oeste del meridiano de Greenwich respectivamente. La segunda coordenada geográfica es el arco de Meridiano medido a partir del Ecuador, hasta el observador o hasta el punto sobre el cual se encuentra este, siendo esta coordenada la Latitud (  $\phi$  ), la cual se mide de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , pudiendo ser Latitud Norte o Latitud Sur, para los puntos que se encuentran al Norte o al Sur del Ecuador respectivamente. El arco de Ecuador medido entre dos meridianos cualesquiera se llama diferencia de longitudes (  $\Delta\lambda$  ), ver figuras 1. 5 y 1. 6.

SISTEMA DE COORDENADAS  
GEOGRAFICAS



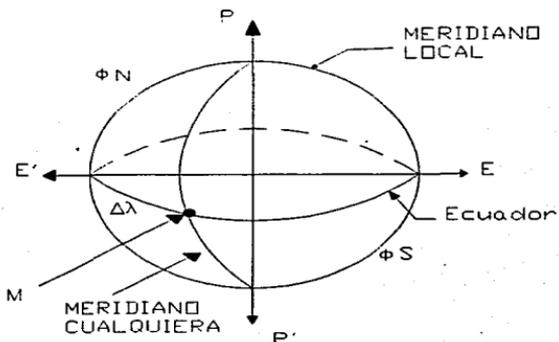
ECUADOR  
TERRESTRE  
DONDE

$\phi$  = Latitud Terrestre (arco A'A')

$\lambda$  = Longitud (ARCO EA')

FIGURA 1.5

SISTEMA DE COORDENADAS  
GEOGRAFICAS



DONDE

$\Delta\lambda$ =Diferencia de longitudes (arco ME')

$\phi_N$ =Latitud Norte (arco E'P)

$\phi_S$ =Latitud Sur (arco EP)

FIGURA 1.6

**CAPITULO II**  
**CORRECCIONES A LAS COORDENADAS**

## CAPITULO II

### CORRECCIONES A LAS COORDENADAS

Las observaciones a los astros nos, proporcionan datos que deben ser corregidos, ya que estos valores están influenciados por causas como :

- a ) La imperfección de los instrumentos
- b ) Que el rayo luminoso emanado por el astro, al penetrar a la atmósfera terrestre recorre una trayectoria curva debido a la creciente densidad de la misma
- c ) Que el punto desde el cual observamos el astro se encuentra sobre la superficie terrestre y no en el centro de la Tierra.

En este capítulo solo se tratarán dos tipos de correcciones, la Corrección por Refracción Atmosférica y la Corrección por Paralaje, dejando las correcciones no tratadas para estudio del lector.

#### II. 1. REFRACCION ATMOSFERICA

##### DEFINICION

La refracción atmosférica se define como la desviación que sufre el rayo luminoso que emana de un astro al atravesar la atmósfera terrestre, de tal modo que dicho rayo al pasar del vacío al aire empieza a curvarse en cada punto de la atmósfera, describiendo así, una trayectoria curva hasta llegar a la visual del observador; el cual verá al astro observado en una dirección tangente a dicha curva ( ver figuras II. 1 y II. 2 ). Esta desviación del rayo luminoso que emana del astro observado se debe a que la atmósfera es una capa de aire de espesor indeterminado que rodea a la Tierra, que está formada por Nitrógeno, Oxígeno y el resto contiene vapor de agua y otros gases, entre esos gases se encuentra el Ozono que detiene las radiaciones de menos de  $3000 \text{ \AA}$  de longitud de onda. Así mismo se sabe que las características de la

atmósfera cambian de una capa a otra y se va haciendo menos densa a medida que se aleja de la tierra, hasta llegar al vacío total, además de que se ha comprobado que su temperatura disminuye a razón de  $1^\circ$  por cada 215 metros que se ascienden.

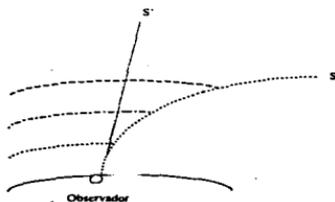


FIGURA II. 1

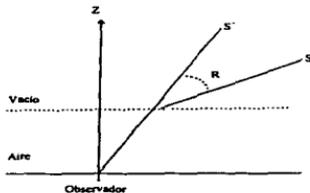


FIGURA II. 2

#### Consecuencias de la Refracción Atmosférica.

El efecto de la Refracción Atmosférica debido a todas las características citadas anteriormente, provoca ciertos efectos en las observaciones a los astros.

- a ) Los astros se ven más altos de lo que en realidad están.
- b ) Adelanta la salida de los astros y retrasa su puesta.
- c ) El Sol y la Luna se ven achatados cerca del Horizonte.
- d ) Provoca el Centello de las estrellas, que consiste en la variación de la coloración e intensidad de las mismas.

Debido a esto el valor de la Refracción será más grande en el horizonte, puesto que la distancia que recorre la luz a través de la atmósfera es mayor, originando esto que si un astro se observa en el Horizonte en realidad estará debajo de él.

Por lo mencionado anteriormente es necesario aplicar a los datos obtenidos en las observaciones de los astros una corrección por refracción atmosférica, la cual a pesar de estar basada en procedimientos matemáticos y experimentos, no es la expresión que los hombres de

ciencia desearían, y las causas que originan la incertidumbre para la determinación de una expresión precisa para calcular la Refracción son:

- 1.- El espesor indeterminado de la atmósfera.
- 2.- La variación de la temperatura atmosférica.
- 3.- La desigual presión atmosférica.
- 4.- La humedad variable.
- 5.- Las corrientes de aire.

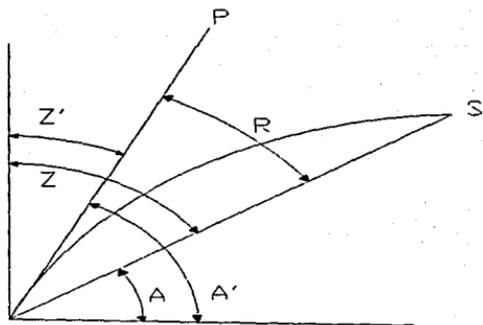
Lo que lleva a apoyarse en las leyes físicas conocidas como Ley de la Refracción de Willebroro Snellius ( científico holandés del siglo XVII ), llamada Ley de Snell, y que se enuncia a continuación :

- 1 ) Al pasar un rayo luminoso de un medio a otro de mayor densidad el ángulo de incidencia es mayor que el de refracción.
- 2 ) Los rayos de incidencia y refracción se encuentran en un mismo plano.
- 3 ) La refracción de los senos de los ángulos de incidencia y refracción es constante para dos medios determinados, dicha constante se llama " Índice de Refracción ".
- 4 ) De un medio a otro los senos de los ángulos de incidencia y refracción son inversamente proporcionales a los índices de refracción de dichos medios.

De la Ley de Snell, se puede inferir que para la deducción de la expresión matemática con la que se calculará el valor de la Refracción, se deberán de considerar ciertas condiciones ideales, como:

- a ) Que las capas de la atmósfera son concéntricas y siguen la curvatura de la Tierra.
- b ) Que la densidad de las mismas, disminuye con la altura.
- c ) Que la Refracción se efectúa en una zona de capas atmosféricas sensiblemente planas, esto si el rayo luminoso no es muy inclinado.

Una vez mencionadas las condiciones ideales para poder deducir la expresión para la Corrección por Refracción, se dará paso a dicha deducción.



**DONDE**

- S'=Estrella ficticia (aparente)
- S= Estrella Verdadero
- Z'= Distancia zenital observada
- Z= Distancia zenital verdadera
- A'= Altura observada
- A= Altura verdadera
- R= Rayo refractado

**FIGURA II.5**

De la figura II. 3, se observa que:

$$Z = Z' + R$$

$$A = A' - R$$

$$\text{SEN } Z \cong \text{SEN } Z'$$

$$\text{SEN } Z = \mu' \text{ SEN } Z'$$

donde:

$\mu'$  = Índice de refracción en cualquier capa

$$\text{SEN } (Z' + R) = \mu' \text{ SEN } Z'$$

$$\text{SEN } Z' \text{ COS } R + \text{COS } Z' \text{ SEN } R = \mu' \text{ SEN } Z'$$

si  $\text{SEN } R = R \text{ SEN } 1''$  y  $\text{COS } R \rightarrow 1$  por que el ángulo de Refracción es muy pequeño y el coseno de  $0^\circ$  es igual a 1, tenemos que:

$$\text{SEN } Z' + R \text{ SEN } 1'' \text{ COS } Z' = \mu' \text{ SEN } Z'$$

$$R \text{ SEN } 1'' \text{ COS } Z' = \mu' \text{ SEN } Z' - \text{SEN } Z'$$

$$R = \frac{\text{SEN } Z' (\mu' - 1)}{\text{COS } Z' \text{ SEN } 1''} \dots \dots \dots (1)$$

Pero como se puede apreciar en la expresión ( 1 ), falta considerar lo siguiente :

- a ) La densidad del aire
- b ) La presión atmosférica.
- c ) La temperatura ambiente
- d ) El coeficiente de dilatación del aire

para que la corrección por Refracción este completa, de la misma expresión ( 1 ), se puede considerar que  $\mu' - 1$  varia con la densidad del aire y de acuerdo a la figura II. 4 se puede expresar como:

$$\frac{\mu' - 1}{\mu - 1} = \frac{W'}{W} \dots\dots (2)$$

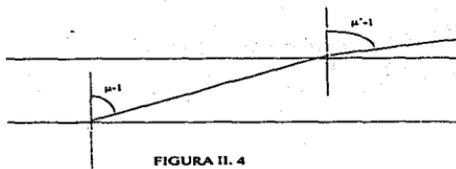


FIGURA II. 4

de donde:

$\mu'$  = Índice de Refracción en cualquier capa atmosférica.

$\mu$  = Índice de Refracción a una temperatura de 0° C y una presión normal de 762 mm/Hg = 1.000294

$W'$  = Densidad del aire en cualquier capa atmosférica.

$W$  = Densidad del aire a 0° C a una presión normal de 762 mm/Hg.

Por otra parte se tiene que el valor de la presión atmosférica en una capa cualquiera (  $p$  ), está en función de la densidad del aire en dicha capa (  $W'$  ) y el volumen de un prisma de aire sobre la unidad de superficie en dicha capa (  $v'$  ), lo que conduce a las siguientes expresiones:

$$p' = v' W' \dots\dots\dots (3)$$

$$p = v W \dots\dots\dots (4)$$

dividiendo las expresiones ( 3 ) y ( 4 ), tenemos:

$$\frac{p'}{p} = \frac{v' W'}{v W} \dots\dots\dots (5)$$

y considerando que la variación de los volúmenes está en función de la temperatura del aire, se tiene:

$$v' = v(1 + \alpha t)$$

$$\Rightarrow \frac{v'}{v} = 1 + \alpha t \dots \dots \dots (6)$$

donde:

$\alpha$  = Coeficiente de dilatación del aire = 0.004

$t$  = Temperatura del aire.

Sustituyendo ( 6 ) en ( 5 )

$$\frac{P'}{P} = \frac{W'}{W}(1 + \alpha t)$$

$$\Rightarrow \frac{W'}{W} = \left( \frac{P'}{P} \right) \left( \frac{1}{1 + \alpha t} \right) \dots \dots \dots (7)$$

sustituyendo ( 7 ) en ( 2 ) y despejando  $\mu' - 1$ ,

$$\mu' - 1 = (\mu - 1) \left( \frac{P'}{P} \right) \left( \frac{1}{1 + \alpha t} \right) \dots \dots \dots (8)$$

Sustituyendo ( 8 ) en ( 1 ), tenemos:

$$R = \frac{\text{sen } Z'(\mu - 1)}{\cos Z' \text{ sen } 1''} \left( \frac{P'}{P} \right) \left( \frac{1}{1 + \alpha t} \right)$$

$$\Rightarrow R = 60.6 \tan Z'(B)(T) \dots \dots \dots (9)$$

$$B = \left( \frac{P'}{762} \right)$$

$$T = \left( \frac{1}{1 + 0.004t} \right)$$

En donde la expresión ( 9 ) resulta ser la Corrección por Refracción, pudiendo expresarla como:

$$R = r B T$$

donde:

R = Corrección por Refracción.

r = Refracción media =  $60.76 \tan z$

$$B = \text{Factor Barométrico} = \frac{p'}{p} = \frac{p'}{762}$$

$$T = \text{Factor Termométrico} = \frac{1}{1 + \alpha t} = \frac{1}{1 + 0.004t}$$

Así mismo se sabe que:

$\mu$  = Índice de Refracción a 0° C y una presión normal de 762 mm/Hg = 1.000294 ( valor obtenido por los científicos franceses Biot y Arago ).

z = Distancia cenital observada

p' = Presión atmosférica en el momento de la observación.

p = Presión atmosférica normal a 0° C = 762 mm/Hg .

$\alpha$  = Coeficiente de dilatación del aire = 0.004 ( valor de terminado por los científicos franceses Biot y Arago ).

t = Temperatura del aire a la sombra en el momento de la observación.

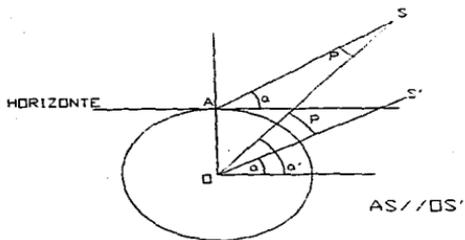
Cabe mencionar que la Corrección por Refracción será positiva para las Distancias cenitales y negativa para las Alturas ( ver figura II. 3 ).

## II. 2. CORRECCIÓN POR PARALAJE

### DEFINICION

A los datos de los astros observados desde la superficie de la Tierra debe de aplicárseles una corrección para hacer estos datos al centro de la misma, llamada esta corrección por paralaje. La paralaje se define como el ángulo bajo el cual se ve el radio de la Tierra desde el astro observado.

PARA ALTURAS

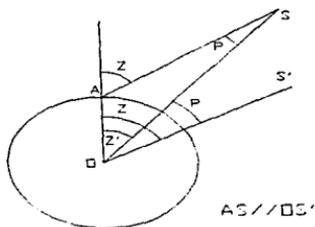


$a'$  = Altura verdadera

$a$  = Altura observada

FIGURA 11.5

PARA DISTANCIAS ZENITALES



$Z$  = Distancia zenital observada

$Z'$  = Distancia Zenital verdadera

FIGURA 11.6

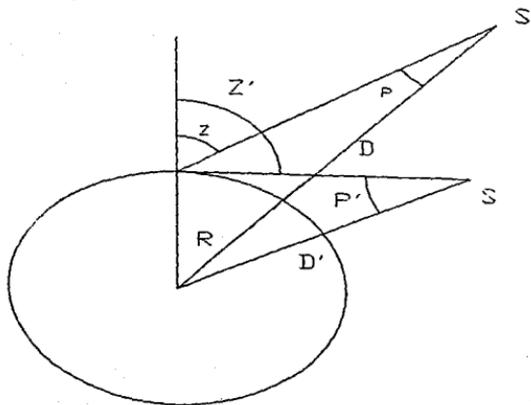


FIGURA II.7

También se puede definir la Paralaje como el ángulo que forman dos visuales dirigidas a un mismo astro, una desde la superficie de la Tierra y la otra desde el centro de la misma. en el mismo instante físico.

De las figuras II. 5 y II. 6 se tiene que:

$$Z' = Z - p$$

$$A' = A + p$$

Como se puede observar también en las figuras II. 5 y II. 6 el valor de la Paralaje es cero cuando el astro se encuentra en el Zenit y tiene un valor máximo cuando la distancia cenital vale 90°, es decir cuando el astro se encuentra en el horizonte y se llama Paralaje Horizontal.

Cabe mencionar que la paralaje solamente se aplica a las observaciones hechas al Sol, ya que las estrellas se presentan como puntos luminosos y por tanto esta corrección será cero.

Deduciendo ahora la corrección por paralaje, de la figura II. 7 se tiene que:

$$\frac{SENP}{R} = \frac{SEN(180 - z)}{D}$$

$$SEN(180 - Z) = SENZ$$

$$SENP = \frac{R}{D} SENZ \dots \dots \dots (1)$$

Del paralaje Ecuatorial u Horizontal p'

$$SENP' = \frac{R}{D'} \dots \dots \dots (2)$$

Como D = D'

$$SEN P = SENP' SENZ$$

sustituyendo los arcos por los senos

$$P = P' SENZ \dots \dots \dots (3)$$

donde el valor del ángulo de paralaje  $P'$ , llamada paralaje horizontal no es constante debido a que la órbita que describe la Tierra alrededor del Sol es Eclíptica, por lo que la distancia entre ambos cambia de acuerdo a la época del año, por tal motivo en 1886 en la Conferencia de París se estableció como constante astronómica el valor de  $8.8''$  para el ángulo de paralaje horizontal, lo que hace que la expresión ( 3 ) quede :

$$P = 8.8'' \frac{SENZ'}{R}$$

Esta corrección es aditiva para las alturas observadas de los astros y sustractiva para las Distancias cenitales.

Una vez deducidas las correcciones por Refracción y Paralaje se tiene que:

$$Z_c = Z + R - P$$

en donde:

$Z_c$  = Distancia cenital corregida.

$Z$  = Distancia cenital observada.

$R$  = Corrección por refracción (  $rBT$  ), en donde ya se dijo que  $r$  es la Refracción media,  $B$  es el factor barométrico y  $T$  es el factor termométrico y sus ecuaciones están descritas anteriormente.

$P$  = Corrección por Paralaje.

Cabe mencionar que la expresión  $Z_c = Z + R - p$  será empleada en los capítulos posteriores.

**CAPITULO III**  
**DETERMINACION DE LA LONGITUD**

## CAPITULO III

### DETERMINACION DE LA LONGITUD

En el Capitulo I se definió a la Longitud como un arco de Ecuador medido a partir del Meridiano de Greenwich ( Meridiano origen ), hasta el meridiano del observador, la cual se mide de  $0^{\circ}$  a  $180^{\circ}$  o bien de 0h a 12h, pudiendo ser Longitud Este o longitud Oeste, según que el punto considerado se encuentre la Este o al Oeste del Meridiano de Greenwich, lo que origina la necesidad de definir el tiempo, los Sistemas de Tiempo empleados en la Astronomía de Posición, la relación existente entre estos tiempos y lo más importante, los Métodos Astronómicos empleados para determinar el Tiempo, así como también la relación existente entre el Tiempo y la Longitud.

#### III. 1 TIEMPO

Una de las más grandes inquietudes del ser humano desde su existencia es la de medir la duración de los acontecimientos de su vida cotidiana. Para tal efecto, consideró la sucesión del día y la noche como el punto de partida en el que basó la definición de Tiempo.

Del Latín

Tempus.- Duración de los fenómenos.

Así mismo, relacionó el día con el movimiento del Sol y a la noche con el movimiento de los astros, dividió el día en 24 partes que las llamó " Horas ", una hora la dividió en 60 partes y las llamó " Minutos " y un minuto lo dividió a su vez en 60 partes, obteniendo así lo que se conoce como " Segundos ".

Consideró también la secuencia de las estaciones y el movimiento de la Luna, para definir tiempos mayores que el día, surgiendo así los meses y años.

En lo anteriormente expuesto, se ve claramente que los movimientos de Rotación y Traslación de la Tierra son los que originaron la concepción del Tiempo.

Cabe mencionar que el sistema sexagesimal adoptado para la medición del Tiempo se debe a la relación existente entre los 360° de la circunferencia de la Tierra y el Tiempo que tarda ésta en dar una vuelta completa a la Tierra.

### III. 2. SISTEMAS DE TIEMPO

En la Astronomía existen tres sistemas de tiempo, los cuales son:

- a ) Tiempo Siderio [ 1 ]
- b ) Tiempo Solar Verdadero
- c ) Tiempo Solar Medio

estos tres tiempos tienen una cosa en común y es que en cierto momento el tiempo resulta ser el ángulo horario de un punto que constituye el origen del sistema. Así mismo, el origen del tiempo en cualquier sistema es el instante en que el punto cero del sistema pasa por el Meridiano, y dos pasos consecutivos por el Meridiano formaran un intervalo llamado Día y constituirá la unidad.

Las características y orígenes de estos sistemas son:

1.- El Tiempo Siderio tiene como origen el Punto Vernal, el cual es sumamente apropiado para medir el movimiento de las estrellas, además este sistema se basa en el verdadero tiempo de una rotación de la Tierra con respecto al punto vernal; llamándose Día Siderio al intervalo que transcurre entre dos pasos consecutivos del mismo Meridiano por el punto vernal. Se mide de 0 a 24 h, siendo las 0h 0m 0.0s en el momento en que el punto vernal culmina y como es un tiempo uniforme ( ver figura III. 1 ), se puede expresar:

$$T_s = \alpha + H$$

siendo:

$$T_s = \text{Tiempo siderio.}$$

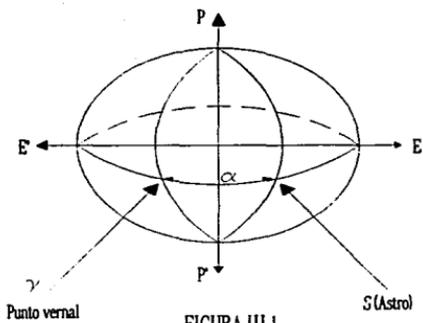


FIGURA III.1

VISTA DESDE EL POLO

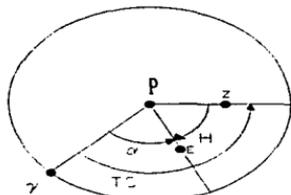


FIGURA III.2

$\alpha$  = Ascensión Recta del astro ( arco  $\gamma S$  ).

H = Angulo Horario del Astro ( arco ES ).

Así mismo el día sidereal empleado en Astronomía resulta inadecuado en la vida cotidiana, ya que las costumbres de las sociedades están vinculadas a la luz solar.

Cabe mencionar que el Sol solo coincide una vez al año con el punto vernal y la Ascensión Recta de este varía en el transcurso de un año de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , resultando que las 0h sidereal puede ocurrir tanto en la luz solar como en la oscuridad de la noche, dependiendo de la época del año y el año, así como cualquier hora sidereal. lo que no permite tomarlo como sistema de referencia para las actividades cotidianas, es por esto que se requiere de un tiempo que tenga como origen el movimiento del Sol y no el de las Estrellas.

2.- En el Tiempo Solar Verdadero tiene su origen en el centro del Sol, el cual cambia de posición con respecto a las estrellas, de un día a otro en virtud de que la Tierra completa una vuelta en un año sobre su órbita. Siendo su órbita la Eclíptica y la cual esta inclinada con respecto al Ecuador. El cambio de posición del origen de este sistema de tiempo no es uniforme, llamándose esta variación *aceleración de las estrellas fijas*.

Así mismo en este sistema de tiempo se tiene el Día Solar Verdadero que es el intervalo entre dos tránsitos superiores o inferiores consecutivos del centro del Sol por el Meridiano, midiéndose de 0h a 24h, siendo la hora solar verdadera el Angulo Horario del centro del Sol, si se considera el tránsito superior como origen del sistema. Pero como comienzo del Día Solar Verdadero se toma el tránsito inferior del Sol por el Meridiano, siendo este tiempo igual al Angulo Horario del Sol más 12 h.

3.- Para el Tiempo Solar Medio el origen es un punto imaginario llamado Sol Medio.

Debido a que la duración del Día solar verdadero es diferente para las distintas épocas del año y las actividades del ser humano están regidas por la luz solar, se vio la necesidad de emplear una unidad de tiempo constante relacionada con el movimiento del Sol, surgiendo así un Sol ficticio cuyo movimiento es uniforme y que se conoce como Sol Medio. Recibiendo el tiempo de este sistema el nombre de Tiempo Solar Medio o simplemente Tiempo Medio.

En este sistema de tiempo al intervalo comprendido entre dos pasos consecutivos del Sol Medio por el mismo Meridiano lo llamaremos Día Solar Medio, siendo este intervalo igual para todas las épocas del año. Se mide también de 0h a 24 h, y empieza a contarse en el momento que el Sol Medio tiene su tránsito inferior por el Meridiano, siendo la hora media al Angulo Horario del Sol Medio más 12h ( $T_m = H + 12h$ ), aclarando que cuando esta suma sea mayor de 24h deberá de restársele 24 horas.

### III. 3. RELACION ENTRE TIEMPO Y LONGITUD

La diferencia entre dos tiempos será la diferencia entre ángulos horarios, y si esta diferencia ocurre en el mismo instante físico constituirá la diferencia de longitud entre los meridianos considerados.

### III. 4. TRANSFORMACION DE TIEMPO MEDIO A SIDERIO

A lo largo de este trabajo se verá la necesidad de obtener el tiempo siderio a una hora de tiempo medio en un lugar determinado, de aquí la importancia de conocer la relación para realizar esta transformación de tiempos. Sea:

$$TsL = To + TsM90 + \Delta\lambda \text{ o bien } TsL = To + Tm + C1 + \Delta\lambda$$

Donde:

TsL = tiempo siderio local

To = tiempo siderio origen en el M90

TsM90 = tiempo siderio a la hora media propuesta referida al Meridiano 90 W. G. ( M90 )

$\Delta\lambda$  = diferencia de longitudes entre el M90 y el meridiano local

Tm = tiempo medio propuesto

C1 = corrección aplicable al Tm para transformarlo en tiempo siderio.  $C1 = 0.0027379 \cdot Tm$

Cabe mencionar que en los Anuarios de 1994, 1995 y 1996 los valore de C1 de las 0h a las 23h 59m vienen tabulados minuto a minuto, ver Anexo 2.

### III. 5. MARCHA HORARIA

Es la cantidad que se atrasa o se adelanta un reloj en una hora. Y esta dada por la expresión:

$$m = \frac{\Delta t' - \Delta t}{t' - t}$$

Donde:

m = marcha horaria

t = lectura del reloj en un momento dado.

$\Delta t$  = corrección para la lectura t.

t' = lectura del reloj en otro momento dado.

$\Delta t'$  = corrección para la lectura t'.

Cabe mencionar que siempre que se observe tanto al Sol como a las estrellas será necesario medir el  $\Delta t$  del reloj antes y después de cada observación para determinar si este no tiene marcha horaria y en caso de tenerla, se efectuaran los cálculos correspondientes para determinar el  $\Delta t$  a la hora de la observación.

De la expresión de la marcha horaria se puede ver que el  $\Delta t$  es una diferencia de tiempos entre el tiempo patrón y el cronómetro empleado en las observaciones a los astros, pero esta diferencia puede ser constante o no; principalmente en los relojes de cuarzo o digitales el  $\Delta t$  es casi constante, pero en los relojes de manecillas no, y esa variación es la que definimos como marcha horaria.

### III. 6. METODOS ASTRONOMICOS PARA DETERMINAR EL TIEMPO

Como ya se explicó con anterioridad para poder obtener el valor de la Longitud, será necesario determinar el tiempo en el lugar de la observación. Además se sabe que ( ver figura III. 1 ) :

$$\theta = \alpha + H$$

donde :

$\theta$  = Tiempo correcto.

$\alpha$  = Ascensión recta de la estrella observada.

H = Angulo Horario del astro observado.

Pero además sabemos que el tiempo correcto es igual a  $\theta = T + \Delta t$ , en donde :

T = Tiempo cronometrado

$\Delta t$  = corrección aplicable al tiempo ( T ) para obtener el tiempo correcto

es por ello que :

$$T + \Delta t = \alpha + H \Rightarrow \Delta t = \alpha + H - T \text{ o bien } H = T + \Delta t - \alpha$$

de donde:

H = Angulo horario del astro.

T = Tiempo cronometrado del astro observado.

$\Delta t$  = corrección aplicable al Tiempo ( T ), para igualar este tiempo al Tiempo patrón.

$\alpha$  = Ascensión Recta del astro observado

Por lo expuesto anteriormente en este Capitulo se encontrarán las expresiones matemáticas para obtener el valor del Angulo Horario ( H ) y así poder determinar el valor del Tiempo utilizando los distintos métodos astronómicos. Así mismo se verán las distintas metodologías de campo empleadas en cada caso.

### III. 6. 1. METODO DE ALTURAS ABSOLUTAS

#### III. 6 1. a. Metodología de Campo

Para aplicar este método será necesario observar al astro tanto en la mañana como en la tarde, ya que el astro a observar es el Sol.

1.- Identificar y materializar el punto que servirá de vértice.

2.- Centrar y nivelar el aparato que se empleará durante la observación.

3.- Obtener el  $\Delta t$  del reloj que se empleará durante la observación.

El método que se empleará es el de Coincidencias, el cual consiste en comparar a oído un reloj que marque Tiempo medio con una señal de radio que marque el Tiempo medio del meridiano origen, esto se hace observando el reloj al momento en que el radio marque un minuto de tiempo en el meridiano origen, se anota la hora que marca el reloj y la hora dada por el radio y a la diferencia entre estos dos tiempos se le llamará  $\Delta t$  ( Diferencia de Tiempos ). Ver registro III.1. Para obtener un valor confiable de  $\Delta t$  se realizarán un mínimo de tres coincidencias y se promediarán los valores obtenidos. Cabe señalar que si la hora del reloj es menor que la marcada por el radio, el  $\Delta t$  será positivo y si la hora marcada por el reloj es mayor que la dada por el radio, el valor del  $\Delta t$  será negativo.

4.- Observar el astro.

Astro a observar	Sol
Datos que se registran en campo Ver registro III. 1.	Presión atmosférica. Temperatura. Tiempo al momento de la observación. Angulo vertical al Sol. Nombre del Observador. Nombre del anotador. Lugar de la observación. Fecha de la observación.
Equipo a emplear	Tránsito o teodolito. Reloj con segundero. Filtro o tarjeta blanca. Termómetro. Aneroide. Radio de onda corta.

Registro III. 1

Santiago Cuatlalpan, Edo. de Mex.  
Observaciones al Sol mañana

31/ Mayo /97

observó: AGC  
anotó: ARP  
t = 19.2° C

$\Delta t = 1.0 s$

P = 772.5 mbar/Hg  
Vh<sub>0</sub> = 21.0"

$\delta = 21^{\circ} 51' 21''$

RADIO

RELOJ

8 20 8 19 59.0

8 21 8 20 59.0

8 22 8 21 59.0

EST	PO	TIEMPO	C.V.			Z	
V	Sol	9 12 57.9	47	16	47.0	47 16 47.0	
		9 13 28.0	47	10	8.0	47 10 8.0	
	Sol	9 14 29.0	313	37	11.0	46 22 49.0	
		9 14 53.9	313	42	58.0	46 17 2.0	
	Sol	9 13 55.9				46 46 54.5	
		9 13 58.5				46 46 28.5	
		9 13 57.2				46 46 41.5	
	V	Sol	9 15 28.5	313	50	49.0	46 9 11.0
			9 16 13.3	313	1	7.0	45 58 53.0
		Sol	9 17 33.0	46	13	14.0	46 13 14.0
			9 18 2.8	46	6	42.0	46 6 42.0
		Sol	9 16 45.6				46 7 56.5
9 16 53.2						46 6 3.5	
V	Sol	9 16 49.4				46 7 0.0	
		9 18 58.2	45	54	0.0	45 54 0.0	
	Sol	9 19 21.3	45	48	24.0	45 48 24.0	
		9 20 26.2	315	0	29.0	44 59 31.0	
	Sol	9 20 56.0	315	6	32.0	44 53 28.0	
		9 19 57.1				45 23 46.0	
	Sol	9 19 53.8				45 23 57.5	
		9 19 55.4				45 23 50.8	
		0.0					
	V	Sol	9 22 29.8	315	20	42.0	44 39 18.0
			9 22 35.0	315	27	49.0	44 32 11.0
		Sol	9 23 6.5	44	49	33.0	41 49 33.0
9 24 3.2			44	42	39.0	44 42 39.0	
Sol		9 23 2.4				44 40 58.5	
		9 23 2.8				44 40 52.0	
V	Sol	9 23 33.8				44 40 55.2	
		9 25 25.9	44	24	33.0	44 24 33.0	
	Sol	9 25 58.0	44	17	8.0	44 17 8.0	
		9 27 7.0	316	31	42.0	43 28 18.0	
	Sol	9 27 32.8	316	37	39.0	43 22 21.0	
		9 26 29.4				43 53 27.0	
	Sol	9 26 32.5				43 53 14.5	
		9 26 31.9				43 53 20.8	

Registro III. I

Santiago Cuatlaplan, Edo. de Mex.  
Observaciones al Sol tarde

$\Delta t = + 1.8$  s  
 $\delta = 21^{\circ} 51' 21''$

31/ Mayo /97

observó: AGC

anotó: ARP

$t = 24^{\circ}$  C

P = 770 mbar/Hg  
Vh $\delta$  = 21.0"

EST	PO	TIEMPO	C.V.			Z	
V	Sol	15 52 17.9	46	14	45.0		46 10 33.0
	Sol	15 52 39.8	46	19	51.0	R	43.7
	Sol	15 53 30.9	314	1	20.0	P	6.4
	Sol	15 54 15.0	314	51	4.0	Zc	46 11 10.3
		15 53 16.4				S	21 51 21.0
		15 53 5.4				C	5 33.6
		15 53 10.9				So	21 56 54.6
						Z	46 48 2.8
						R	4.6
V	Sol	15 54 49.3	313	43	12.0	P	6.4
	Sol	15 55 27.5	313	34	52.0	Zc	46 48 41.0
	Sol	15 56 21.8	47	11	15.0	S	21 51 21.0
	Sol	15 56 54.4	47	19	0.0	C	5 34.6
		15 55 51.8				So	21 56 55.6
		15 55 54.2				Z	47 28 35.5
		15 55 52.5				R	54.7
						P	6.5
						Zc	47 29 14.7
V	Sol	15 57 36.3	47	28	8.0	S	21 51 21.0
	Sol	15 58 6.8	47	35	17.0	C	5 35.6
	Sol	15 59 36.5	312	37	24.0	So	21 56 56.6
	Sol	15 0 0.4	312	31	39.0	C	3 18.3
		15 58 48.4				Z	47 28 8.0
		15 58 51.6				R	17.0
		15 58 50.0				P	6.5
						Zc	47 28 21.0
						S	21 51 21.0

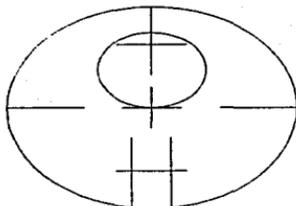


FIGURA III.3a

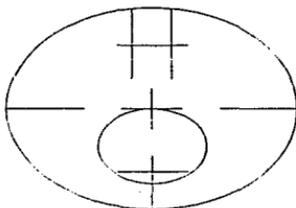


FIGURA III.3b

Del equipo enlistado el termómetro y el anerode servirán para corregir las Distancias Centiales por Refracción y Paralaje. El radio de onda corta servirá para obtener el  $\Delta t$  del reloj por el método descrito en el paso tres de este tema.

Una vez centrado y nivelado el equipo en el vértice, se proyecta el astro en la tarjeta blanca, aclarando los hilos de la retícula, posteriormente se harán dos tangencias del astro con el hilo horizontal, del lado opuesto a los hilos dobles del hilo vertical ( ver figura III. 3. a. ). En el momento en que el astro haga cada una de las tangencias, el observador se lo indicará al anotador, para que éste, anote los tiempos de estas y los ángulos verticales dictados por el observador. Después se hará un cambio de posición de la visual y se harán otras dos tangencias del astro en el hilo horizontal del lado opuesto a lo hilos dobles del hilo vertical ( ver figura III. 3. b. ). A cuatro tangencias ( dos en posición directa y dos en posición inversa ) del astro con sus respectivos tiempos y ángulos verticales se les llama serie. Una vez realizadas tres o cinco series se procede a calcular .Ver registro III. 1.

### III. 6. 1. b. Cálculo

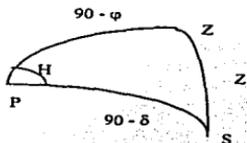
Para poder calcular el valor de la Longitud será necesario saber que:

$$\text{COSZ} = \text{SEN}\varphi\text{SEN}\delta + \text{COS}\varphi\text{COS}\delta\text{COSH}$$

$$\text{COSH} = \frac{\text{COSZ} - \text{SEN}\varphi\text{SEN}\delta}{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta}$$

$$1 + \text{COSH} = \frac{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta + \text{COSZ} - \text{SEN}\varphi\text{SEN}\delta}{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta}$$

$$1 - \text{COSH} = \frac{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta - \text{COSZ} + \text{SEN}\varphi\text{SEN}\delta}{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta}$$



$$2\text{COS}^{\frac{1}{2}}H = \frac{\text{COS}Z + \text{COS}(\varphi + \delta)}{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta}$$

$$2\text{SEN}^{\frac{1}{2}}H = \frac{\text{COS}(\varphi - \delta) - \text{COS}Z}{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta}$$

$$\text{COS}p + \text{COS}q = 2\text{COS}\frac{1}{2}(p+q)\text{COS}(p-q)$$

$$\text{COS}p - \text{COS}q = -2\text{SEN}\frac{1}{2}(p+q)\text{SEN}(p-q)$$

$$2\text{COS}^{\frac{1}{2}}H = \frac{2\text{COS}\frac{1}{2}(Z + \varphi + \delta)\text{COS}\frac{1}{2}(Z - \varphi - \delta)}{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta}$$

$$2\text{SEN}^{\frac{1}{2}}H = \frac{2\text{SEN}\frac{1}{2}(\varphi - \delta + Z)\text{SEN}\frac{1}{2}(\varphi - \delta - Z)}{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta}$$

$$2S = Z + \varphi + \delta \Rightarrow S = \frac{1}{2}(Z + \varphi + \delta)$$

$$2S - 2Z = \varphi + \delta - Z \Rightarrow (S - Z) = \frac{1}{2}(Z + \delta - \varphi) - (S - Z) = \frac{1}{2}(Z - \varphi - \delta)$$

$$2S - 2\varphi = Z + \delta - \varphi \Rightarrow (S - \varphi) = \frac{1}{2}(Z + \delta - \varphi) - (S - \varphi) = \frac{1}{2}(\varphi - Z - \delta)$$

$$2S - 2\delta = Z + \varphi - \delta \Rightarrow (S - \delta) = \frac{1}{2}(Z + \varphi - \delta)$$

$$2\text{COS}^{\frac{1}{2}}H = \frac{2\text{COS}\text{COS}(S - Z)}{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta}$$

$$2\text{SEN}^{\frac{1}{2}}H = \frac{2\text{SEN}(S - \delta)\text{SEN}(S - \varphi)}{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta}$$

$\text{COS}\frac{1}{2}H = \sqrt{\frac{\text{COS}\text{COS}(S - Z)}{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta}}$
$\text{SEN}\frac{1}{2}H = \sqrt{\frac{\text{SEN}(S - \delta)\text{SEN}(S - \varphi)}{\text{COS}\varphi\text{COS}\delta}}$
$\text{TAN}\frac{1}{2}H = \sqrt{\frac{\text{SEN}(S - \delta)\text{SEN}(S - \varphi)}{\text{COS}\text{COS}(S - Z)}}$

Una vez conocidas las expresiones que servirán para determinar el valor de la Longitud, se deberá proceder como a continuación se indica:

1.- Obtener los promedios de tiempos y distancias cenitales de los datos registrados en campo. Para obtener el promedio del tiempo de una serie se debe sacar el promedio entre el primer y el último tiempo cronometrados y el promedio entre el segundo y el tercer tiempo cronometrado; y una vez obtenidos estos dos promedios se obtiene el promedio de estos. En

otras palabras para obtener los promedios se promedian extremos con extremos y medios con medios y al último, se obtiene el promedio de promedios. Ver registro III. 1.

Para obtener los promedios de las Distancias Centales se sigue el mismo procedimiento que para el tiempo, con la diferencia de que primero se obtienen los ángulos verticales directos y se trabaja con estos valores. Ver registro III. 1.

2.- Corregir los promedios de las Distancias Centales por Refracción y Paralaje.

<p>Expresiones a emplear Ver registro III. 1.</p>	$Z_c = Z + R - P$ $R = r B T$ $r = 60. "OTANZ$ $B = \frac{Pr}{762}$ $T = \frac{1}{1+0.004t}$ $P = 8. "SENZ$
<p>Datos que se emplearán</p>	<p><math>Z</math> = Distancia Cenital promedio observada.  <math>Pr</math> = Presión atmosférica al momento de la observación.  <math>t</math> = Temperatura al momento de la observación.</p>

3.- Obtener la Declinación del astro para los tiempos promedios de cada serie.

<p>Expresiones a emplear Ver registro III. 1.</p>	$\delta_o = \delta + C$ $C = Vh\delta_x Hr$
<p>Datos que se emplearán</p>	<p><math>\delta_o</math> = Declinación del astro al momento de la observación.  <math>\delta</math> = Declinación del astro a las 0h del M90 W.G., dato del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional.</p>

	<p>C = Corrección que se aplica a la Declinación del Sol para obtener la Declinación en el momento de la observación.</p> <p>Vhδ = Variación horaria de la Declinación, dato del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional.</p> <p>Hr = Hora promedio al momento de la observación.</p>
--	---

4.- Calcular la Longitud.

<p>Expresión a emplear</p> <p>Ver registro III. 2.</p>	$\tan \frac{1}{2} H = \sqrt{\frac{\text{sen}(S - \delta) \text{sen}(S - \varphi)}{\text{cos} S \text{cos}(S - Zc)}}$
<p>Datos que se emplearán</p>	<p>δ = Declinación del astro en el momento de la observación.</p> <p>φ = Latitud del lugar.</p> <p>Zc = Distancia Cenital corregida por Refracción y Paralaje.</p> <p>S = ( δ + Zc + φ )/2</p> <p>H = Angulo horario en grados ( H° ).</p> <p>Hh = Angulo horario en horas = H°/15</p> <p>HM90 = Hora de paso del Sol por el Meridiano 90 W. G. Dato del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional</p>

Una vez obtenido el valor del Angulo Horario en grados ( H° ), se deberá obtener este mismo dato en horas ( Hh ), para que a la hora de paso del Sol por el Meridiano 90 al W. G. ( HM90 ) se le reste este valor y obtener así, la hora local. Una vez obtenido el valor de la hora local se hace la diferencia de ésta con la hora promedio más su respectivo Δt ( Hobs+ Δt ) y esta

Registro III. 2

Santiago Cuatlalpan, Edo. de Mex.

31/ Mayo /97

observó:AGC  
calculó: AGC

Cálculo de las observaciones al Sol mañana

P = 772.5 mbar/Hg

t = 19.2° C

$\Delta t = + 1.0$  s

Vh $\delta = 21.0''$

$\delta = 21^{\circ} 51' 21''$

So	21	54	34,9	21	54	35,9	21	54	37,0	21	54	38,1	21	54	39,3
Zc	46	47	20,6	46	7	38,2	45	24	27,9	44	41	31,3	43	53	55,9
$\varphi$	19	40	51,8	19	40	51,8	19	40	51,8	19	40	51,8	19	40	51,8
S	44	11	23,6	43	51	33,0	43	29	58,4	43	8	30,6	42	44	43,5
H°	50	12	51,1	49	29	54,1	48	42	54,6	47	56	20,2	47	4	44,6
Hh	3	20	51,4	3	17	59,0	3	14	1,6	3	11	45,4	3	8	19,0
H M90	11	57	41,0	11	57	41,0	11	57	41,0	11	57	41,0	11	57	41,0
HL	8	36	49,6	8	39	42,0	8	42	49,4	8	45	55,6	8	49	22,0
Hobs	9	13	58,2	9	16	50,4	9	19	56,4	9	23	3,8	9	26	32,0
$\Delta\lambda$		37	8,6		37	8,4		37	7,0		37	8,2		37	10,0
$\Delta\lambda$ prom		37	8,4												

Santiago Cuatlalpan, Edo. de Mex.

31/ Mayo /97

observó:AGC  
calculó: AGC

Cálculo de las observaciones al Sol tarde

P = 770 mbar/Hg

t = 24° C

$\Delta t = + 1.8$  s

Vh $\delta = 21.0''$

$\delta = 21^{\circ} 51' 21''$

So	21	56	54,6	21	56	55,6	21	56	56,6						
Zc	46	11	10,3	46	48	41,0	47	29	14,7						
$\varphi$	19	40	51,8	19	40	51,8	19	40	51,8						
S	43	54	28,4	44	13	14,2	44	33	31,6						
H°	49	33	52,9	50	14	36,7	50	58	40,3						
Hh	3	18	15,5	3	20	58,4	3	23	54,7						
H M90	11	57	41,0	11	57	41,0	11	57	41,0						
HL	15	15	56,5	15	18	39,4	15	21	35,7						
Hobs	15	53	12,7	15	55	54,3	15	58	51,8						
$\Delta\lambda$		37	16,2		37	14,9		37	16,1						
$\Delta\lambda$ prom		37	15,7												
$\Delta\lambda$ prom mañana y tarde					37	11,2									

Nota: El tiempo no fue corregido por Marcha Horaria, ya que se usaron diferentes relojes para la mañana y la tarde

diferencia de tiempos entre dos meridianos será la Diferencia de Longitudes (  $\Delta\lambda$  ) entre dichos meridianos. En el caso de los ejemplos de este trabajo la diferencia de longitudes será la existente entre el meridiano 90 al W. G y el meridiano donde se haya realizado la orientación.

Nota: la diferencia de longitudes obtenida está dada en horas; así que para obtener este dato en grados se deberá multiplicar el valor calculado por 15 y para obtener el valor de la Longitud a la diferencia de longitud en grados se le sumarán 6 horas. Ver registro III. 2.

### III. 6. 2. POR ALTURAS IGUALES DE DOS ESTRELLAS OBSERVADAS A LA MISMA ALTURA, UNA AL ESTE Y OTRA AL OESTE

#### III. 6. 2. a. Metodología de Campo

Como su nombre lo indica, en este método se observarán dos estrellas a la misma altura, una al Este y otra al Oeste.

- 1.- Identificar y materializar dos vértices, uno será donde se ubique el aparato ( vértice ) y el otro será la señal. De la línea definida por estos dos vértices se debe conocer su Azimut.
- 2.- Determinar la hora sideria de un tiempo medio propuesto.

Expresión a emplear Ver registro III. 3.	$TsL = To + Tm + Cl + \Delta\lambda$
Datos que se requieren	<p><math>To</math> = Tiempo siderio origen en el M90 al W.G. Dato del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional.</p> <p><math>Tm</math> = Tiempo medio propuesto.</p> <p><math>Cl</math> = Corrección aplicable al <math>Tm</math> para transformarlo en tiempo siderio = <math>0.0027379 \times Tm</math>. Dato obtenido del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional.</p> <p><math>\Delta\lambda</math> = Diferencia de Longitudes entre el M90 al</p>

Registro III. 3

Campo deportivo "El Charco", Uriangato, Gto.  
Comparaciones del reloj

26-27/ Enero /96

To	8 15	21.8			8 19	18.4		8 19	18.4
Tm	21 35	0.0			21 25	0.0		21 31	0.0
C1	3	32.7			3	31.1		3	32.1
	5 53	54.5			5 47	49.5		6 53	50.5
Δλ	40	32.6			44	31.2		44	31.2
Tsl	5 13	21.9			5 3	18.3		5 9	19.3
					5 3	19.7		5 9	20.8
						-1.4			-1.5
Radio			Reloj	Δt					
	21 24		5 2	19.4					
	21 25		5 3	19.7	-1.4	8 19	18.4	8 19	18.4
	21 26		5 4	19.9		23 29	0.0	23 32	0.0
						3	51.5	3	52.0
	21 30		5 8	20.6		7 52	9.9	7 55	10.4
	21 31		5 9	20.8	-1.5	44	31.2	44	31.2
	21 32		5 10	21.0		7 7	38.7	7 10	39.2
						7 7	39.8	7 10	40.7
	23 28		5 6	40.1			-1.1		-1.5
	23 29		5 7	39.8	-1.1				
	23 30		5 8	40.2		8 23	14.9		
						2 10	0.0		
	23 31		6 9	40.4		0	21.4		
	23 32		6 10	40.7	-1.5	10 33	36.3		
	23 33		6 11	40.7		44	31.2		
						9 49	5.1		
	2 9		6 48	6.2		9 49	6.5		
	2 10		6 49	6.5	-1.4				
	2 11		6 50	6.8					

3.- Obtener el  $\Delta t$  del reloj.

Una vez calculado el tiempo siderio de la hora media propuesta, se pone a andar un reloj en el tiempo calculado y se aplica el mismo método de coincidencias descrito anteriormente en este capítulo, con la diferencia de que los tiempos a comparar serán el tiempo medio dado por el radio y el tiempo siderio marcado por el reloj en el mismo instante. Después de tres coincidencias ( una serie ), se obtiene el tiempo siderio del promedio del tiempo medio cronometrado y se hace la diferencia entre este tiempo calculado y el promedio del tiempo siderio cronometrado. Cabe señalar, que si el tiempo calculado es mayor que el cronometrado, el  $\Delta t$ , será positivo y si el tiempo calculado es menor que el cronometrado, el  $\Delta t$ , es negativo. Ver registro III. 3.

4.- Determinar varios pares de estrellas. Ver registro III. 4.

Expresiones a emplear	$T = (\alpha e + \alpha w) / 2$ $T_e = T - 4min$ $T_w = T + 4min$ $H_e = T_e - \alpha e$ $H_w = T_w - \alpha w$ $H_e = H_w = Hh$ $H^\circ = Hh \times 15$ $COSZ = SEN\varphi SEN\delta + COS\varphi COS\delta COSH^\circ$ $\delta = (\delta w + \delta e) / 2$ $COSAz_e = \frac{SEN\delta_e - COSZ SEN\varphi}{SENZCOS\varphi}$ $COSAz_w = \frac{SEN\delta_w - COSZ SEN\varphi}{SENZCOS\varphi}$ $Az_e = Az_e$ $Az_w = 360^\circ - Az_w'$
-----------------------	---

PREPARACION DE PARES DE ESTRELLAS

LUGAR Orizaba, Gto.

FECHA 26/Ene/96

LATITUD 20° 06' 46" LONGITUD 100° 08' 10"

BRIGADA \_\_\_\_\_

P. - La Parroquia  $\Delta$  7 00 40" 32.2'

A.B.P.

ENTADA	PAR No	ESTRELLA ESTE				DIST.ZENITAL	ESTRELLA OESTE			
		NOMBRE	MIC	HORA	AZIMUT		NOMBRE	MIC	HORA	AZIMUT
	71	$\alpha$ Orión	1	02 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	94° 18'	45° 54'	$\omega$ Piscium	4	03 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	259° 42'
	78	$\alpha$ Orión	1	03 17	102 42	40 06	$\delta$ Piscium	5	03 25	257 24
	86	$\lambda$ Canis minor	1	03 44	96 12	58 24	$\omega$ Piscium	4	03 52	265 36
	90	$\beta$ Canis minor	3	04 03	95 48	50 30	$\delta$ Piscium	5	04 11	263 00
	95	$\beta$ Canis	4	04 23	92 06	56 12	$\delta$ Piscium	5	04 35	265 36
	100	$\epsilon$ Hydrae	4	04 45	96 06	57 30	$\epsilon$ Piscium	4	04 53	266 24
	104	$\beta$ Canis	4	05 17	97 18	45 18	$\beta^2$ Ceti	4	05 25	261 48
	108	$\alpha$ Hydrae	2	05 34	110 36	64 18	$\epsilon$ Ceti	4	05 42	247 00
	111	$\delta$ Canis	4	05 53	85 06	40 06	$\delta$ Arietis	5	06 01	277 12
	113	$\gamma$ Leonis	5	06 09	93 18	56 42	$\beta^2$ Ceti	4	06 17	266 24
	116	$\rho$ Leonis	4	06 24	90 24	60 18	$\beta^2$ Ceti	4	06 32	268 12
	122	$\epsilon$ Leonis	4	06 41	76 06	42 30	$\eta$ tauri	3	06 49	284 00
	124	$\alpha$ Leonis	1	06 59	92 36	45 36	$\lambda$ tauri	4	07 07	268 00
	127	$\rho$ Leonis	4	07 19	95 30	47 42	$\mu$ tauri	4	07 27	263 36
	131	$\delta$ Leonis	3	07 46	79 42	48 34	$\epsilon$ tauri	4	07 54	278 12
	135	$\beta$ Leonis	2	08 07	86 30	52 24	$\alpha$ tauri	1	08 15	275 48
	141	$\epsilon$ Virginis	3	08 26	86 24	66 06	$\lambda$ tauri	4	08 34	275 06
	150	$\eta$ Virginis	4	08 51	105 36	54 48	$\delta$ Orionis	2	08 54	254 48
	160	$\beta$ Leonis	2	09 12	91 42	37 42	$\delta$ Orionis	3	09 20	265 12
	172	$\epsilon$ Virginis	3	09 30	101 18	63 00	$\epsilon$ Orionis	2	09 38	257 48
	176	$\alpha$ Virginis	1	10 05	117 42	58 24	$\theta$ Canis Minor	4	10 13	241 00

Ts 0<sup>h</sup> 40 W G - 08 19 184

T. M. L - 19 00 000

C - 03 07.3

03 22 25.1

$\Delta$   $\lambda$  - 40 32.6

T. S. L - 02 41 53.1

REGISTRO III.4



Datos que se requieren	Dos estrella con sus coordenadas $\alpha$ y $\delta$ , datos obtenidos del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional. $\varphi$ = Latitud del lugar de observación.
------------------------	--

Cabe señalar que la  $\delta_e$ , debe variar de la  $\delta_w \pm 2^\circ$ , y deben de ser casi iguales a la Latitud del lugar.

El Tiempo ( T ) obtenido con las Ascensiones Rectas de las estrellas seleccionadas debe de ser casi igual del Tiempo siderio calculado para la hora media propuesta para la observación. Para tal efecto será necesario que las Ascensiones Rectas de las estrellas elegidas estén en un rango de  $\pm 2$  horas con respecto al Tiempo siderio calculado.

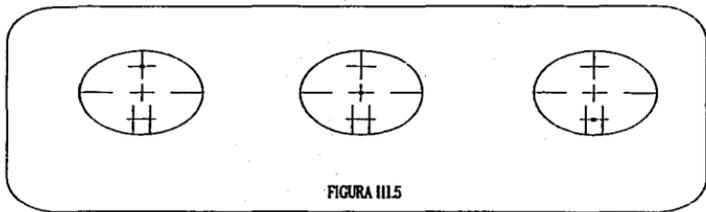
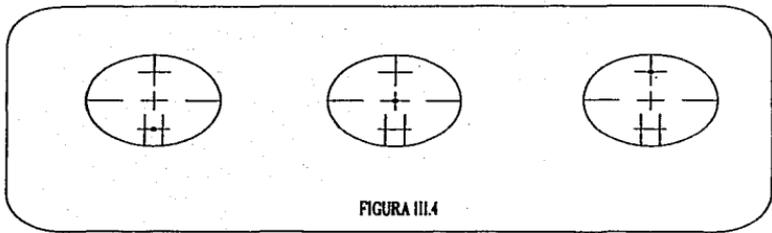
Nota : La estrella de mayor Ascensión Recta será la estrella al Este y la de menor Ascensión Recta será la estrella al Oeste.

Cabe mencionar que el registro III. 4. solo muestra los datos que serán empleados en campo.

5.- Observar los pares de estrellas

Astros a observar	Dos estrellas, una al Este y otra al Oeste, con la misma altura a tiempos diferentes.
Datos que se registran en campo Ver registro III. 5.	Tres tiempos de la estrella al Este. Tres tiempos de la estrella al Oeste. Una lectura del Angulo Vertical al Este. Una lectura del Angulo Vertical al Oeste.
Equipo a emplear	Teodolito. Sistema de iluminación. Reloj con segundero. Radio de onda corta

Una vez centrado y nivelado el aparato en el vértice elegido se le coloca su sistema de iluminación y se procede a observar la señal en posición directa del telescopio marcando en el



Registro III.5

Campo deportivo "El Charco", Uriangato, Gto.

26/ Enero /96

Pares de estrellas  $t=12^{\circ}\text{C}$   $P=596 \text{ mm/Hg}$

Par No	Estrella al Este	Difs	Estrella al Oeste	Difs	Par No	Estrella al Este	Difs	Estrella al Oeste	Difs
95 AGC	4 27 16,8	13,7	4 36 38,7	13,4	118	6 24 43,0	12,2	6 34 54,1	13,7
	4 28 30,5		4 35 25,6			6 25 55,2		6 33 40,4	
			4 34 12,2			6 27 7,5		6 32 27,0	
	4 27 16,8		4 35 25,4			6 25 55,2		6 33 40,6	
	4 27 16,8		4 35 25,6			6 25 55,2		6 33 40,5	
56 12 59,5		4 35 25,5							
4 46 32,2		56 11 51,2			60 18 15,0		60 18 29,0		
100 JMRG	4 47 46,1	13,9	4 55 54,3	13,3	122	6 41 1,1	14,7	6 47 22,3	16,7
	4 47 46,1		4 54 27,8			6 42 15,8		6 46 5,6	
	4 47 46,1		4 55 41,0			6 43 31,7		6 44 45,9	
			4 55 41,0			6 42 16,4		6 46 9,7	
			4 55 41,0			6 42 16,1		6 46 4,8	
57 30 8,0		57 30 2,0			42 30 0,0		42 30 5,0		
104 JMRG	5 17 35,3	14,5			124	6 59 36,8			
	5 18 49,8					AGC			
	45 18 2,0								
180 JMRG	5 32 13,3	17,3	5 43 0,5	19,3	127	7 18 31,8	13,5	7 29 0,8	14,3
	5 33 30,6		5 41 41,2			7 19 45,3		7 27 46,5	
	5 34 47,9		5 40 21,9			7 20 53,9		7 26 33,4	
	5 33 30,6		5 41 41,2			7 19 42,8		7 27 47,1	
	5 33 30,6		5 41 41,2			7 19 44,0		7 27 46,8	
64 18 0,0		64 18 13,0			47 42 0,0		47 42 18,2		
111 JMRG	5 53 15,2	11,7	6 3 54,9	13,9					
	5 54 26,9		6 2 41,0						
	5 55 38,6		6 1 26,9						
	5 54 26,9		6 2 40,9						
	5 54 26,9		6 2 41,0						
40 6 11,0		40 6 17,6							
113 JMRG	6 9 10,2	13,7	6 19 31,8	13,8					
	6 10 23,9		6 18 18,0						
	6 11 37,7		6 17 4,2						
	6 10 24,0		6 18 18,0						
	6 10 24,0		6 18 18,0						
56 42 4,0		56 42 13,0							

Registro III. 5

Campo deportivo "El Charco", Uriangato, Gto.  
Pares de estrellas  $t=10^{\circ}\text{C}$   $P=596\text{ mm/11g}$

27/ Enero /96

Par No	Estrella al Este	Difs	Estrella al Oeste	Difs	Par No	Estrella al Este	Difs	Estrella al Oeste	Difs
131 AGC	7 45 17,4	15,2 13,3	7 56 13,8	14,2 14,3	176 MGP	10 3 5,8	23,1 23,0	10 13 30,0	24,1 23,9
	7 46 32,6		7 54 59,6			10 4 28,9		10 12 25,9	
	7 47 45,9		7 53 45,3			10 5 51,9		10 11 2,0	
	7 46 31,6		7 54 59,6			10 4 28,8		10 12 26,0	
	7 46 32,1		7 54 59,6			10 4 28,8		10 12 26,0	
48 24 0,0		48 24 35,1			58 24 0,0		58 24 33,8		
135 AGC	8 8 22,5	12,3 13,5	8 18 22,1	13,6 14,6	183 MGP	10 22 37,0	18,0 18,0	10 34 20,1	16,9 17,1
	8 9 34,8		8 17 8,5			10 23 55,0		10 33 3,2	
	8 10 48,3		8 15 53,9			10 25 13,0		10 31 46,1	
	8 9 35,4		8 17 8,0			10 23 55,0		10 33 3,1	
	8 9 35,1		8 17 8,2			10 23 55,0		10 33 3,2	
52 24 0,0		52 24 25,5			38 54 10,0		42 54 37,5		
141 AGC	8 23 25,3	8,5	8 37 21,2	13,8 13,1	188 CGP	10 43 7,8	22,1	10 53 11,5	3,5 22,5
	8 24 33,8		8 36 7,4			10 44 29,9		10 49 45,5	
			8 35 54,3			10 43 7,8		10 51 28,0	
						10 43 7,8		10 51 18,0	
66 5 55,8		66 6 35,0			70 41 56,0		70 42 22,4		
150 IBR	8 51 10,5	14,7 14,7	9 1 13,9	16,2 16,1	193 CGP	11 3 33,5	21,0 22,0	11 15 10,6	42,1 46,6
	8 52 25,2		8 59 57,7			11 4 54,5		11 13 12,5	
	8 53 39,9		8 58 41,6			11 6 16,5		11 11 55,9	
	8 52 25,2		8 59 57,8			11 4 55,0		11 13 43,0	
	8 52 25,2		8 59 57,8			11 4 55,8		11 13 27,8	
54 47 53,0		54 48 23,0			61 42 8,7		61 42 37,3		
162 MGP	9 11 2,9	14,0 14,0	9 22 11,9	14,7					
	9 12 16,9		9 20 57,2						
	9 13 30,9								
	9 12 16,9		9 20 57,2						
	9 12 16,9		9 20 57,2						
37 42 0,0		37 42 1,7							
170 MGP	9 29 52,6	19,3 19,4	9 39 44,3	11,4 11,6					
	9 31 11,9		9 38 32,9						
	9 32 31,3		9 37 21,3						
	9 31 12,0		9 38 32,8						
	9 31 12,0		9 38 32,8						
63 0 4,0		63 0 36,0							

círculo horizontal el Azimut de la línea, se marca el Azimut y la Distancia Zenital de la estrella al Este en el círculo horizontal y vertical respectivamente, y aproximadamente dos minutos antes de la hora marcada en el registro III. 4 se fija el observador por la visual para esperar que entre la estrella al campo visual del telescopio, cabe mencionar que las estrellas se verán como puntos luminosos entrando a la visual, no solo la estrella esperada, sino mas estrellas, las cuales desaparecerán al encender el sistema de iluminación, quedando solamente la estrella esperada en la visual, cabe decir también, que es de gran importancia conocer la magnitud de la estrella esperada para poder identificarla más fácilmente, así como su nombre y constelación a la que pertenece. Una vez encendido el sistema de iluminación se verán los hilos de la retícula y se podrá indicar el momento en que la estrella cruza los tres hilos horizontales. Se debe mencionar que el observador irá metiendo a la estrella al centro del hilo vertical esperando así solo el cruce por los hilos horizontales. En cada cruce por los hilos, el observador se lo indicará al anotador para que este cronometre los tiempos en que la estrella paso por cada hilo, para concluir con una lectura del círculo vertical. Esta manera de observar se realizará tanto para las estrellas al Este como al Oeste, señalando que para la estrella al Este, el primer cruce será con el hilo inferior, el segundo, con el hilo medio y por último con el hilo superior ( ver figura III. 4 ) y para la estrella al Oeste el cruce por los hilos será de arriba hacia abajo ( ver figura III. 5 ). Ver registro III. 5.

### III. 6. 2. b. Cálculo

a ) para la estrella al Este

$$Te + \Delta te = \alpha e - He \dots\dots\dots(1)$$

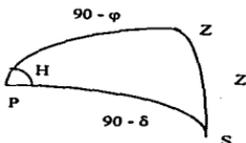
donde:

$Te$  = Tiempo de la estrella al Este.

$\Delta te$  = Diferencia de tiempo de la estrella al Este.

$\alpha e$  = Ascensión recta de la estrella al Este.

$He$  = Angulo Horario de la estrella al Este.



b ) para la estrella al Oeste

$$Tw + \Delta w = \alpha w + Hw \dots\dots\dots(2)$$

donde:

$Tw$  = Tiempo de la estrella al Oeste.

$\Delta w$  = Diferencia de tiempo de la estrella al Oeste.

$\alpha w$  = Ascensión recta de la estrella al Oeste.

$Hw$  = Angulo Horario de la estrella al Oeste.

sumando las expresiones ( 1 ) y ( 2 ), tenemos:

$$Te + Tw + \Delta te + \Delta Tw = \alpha e + \alpha w - He + Hw$$

$$\Delta te + \Delta Tw = \alpha e + \alpha w + (Hw - He) - (Tw + Te)$$

$$\frac{1}{2}(\Delta te + \Delta Tw) = \frac{1}{2}(\alpha e + \alpha w) + \frac{1}{2}(Hw - He) - \frac{1}{2}(Tw + Te)$$

sea :

$$\frac{1}{2}(\Delta te + \Delta Tw) = \Delta t$$

$$\frac{1}{2}(Hw - He) = \Delta H$$

$$\Delta t = \frac{1}{2}(\alpha e + \alpha w) + \Delta H - \frac{1}{2}(Tw + Te) \dots\dots\dots(3)$$

Como se puede apreciar, en la expresión ( 3 ) se tienen dos incógnitas, el  $\Delta t$  y el  $\Delta H$ , así que para solucionar esto, se considerará el triángulo astronómico definido por cada estrella, como sigue :

a ) para la estrella al Este  $\cos Ze = \sin \varphi \sin \delta e + \cos \varphi \cos \delta e \cos He$

b ) para la estrella al Oeste  $\cos Zw = \sin \varphi \sin \delta w + \cos \varphi \cos \delta w \cos Hw$

y sea:

$$Z = \frac{Zw + Ze}{2}$$

$$\delta = \frac{\delta w + \delta e}{2}$$

$$H = \frac{Hw + He}{2}$$

$$B = \frac{Zw - Ze}{2}$$

$$D = \frac{\delta w - \delta e}{2}$$

$$\Delta H = \frac{Hw - He}{2}$$

$$\begin{aligned}\cos(Z - B) &= \sin \varphi \sin(\delta - D) + \cos \varphi \cos(\delta - D) \cos(H - \Delta H) \\ \cos(Z + B) &= \sin \varphi \sin(\delta + D) + \cos \varphi \cos(\delta + D) \cos(H + \Delta H)\end{aligned}$$

desarrollando y sumando las expresiones anteriores se tiene:

$$\begin{aligned}\sin Z \sin B &= -\cos \delta \sin D \sin \varphi + \cos H \cos \Delta H \sin \delta \sin D \cos \varphi + \sin H \sin \Delta H \cos \delta \cos D \cos \varphi \\ B \sin Z &= -D \cos \delta \sin \varphi + D \cos H \sin \delta \cos \varphi + \Delta H \sin H \cos \delta \cos \varphi\end{aligned}$$

$$\Delta H = \frac{B \sin Z}{\sin H \cos \delta \cos \varphi} + \frac{D \cos \delta \sin \varphi}{\sin H \cos \delta \cos \varphi} - \frac{D \cos H \sin \delta \cos \varphi}{\sin H \cos \delta \cos \varphi}$$

$$\Delta H = \left[ \frac{\tan \varphi}{\sin H} - \frac{\tan \delta}{\tan H} \right] D + \frac{B}{\sin Az \cos \varphi}$$

$$\frac{\sin Z}{\sin H} = \frac{\cos \delta}{\sin Az}$$

$$\frac{1}{\sin Az} = \frac{\sin Z}{\sin H \cos \delta}$$

$$\Delta H = \left[ \frac{\tan \varphi}{\sin H} - \frac{\tan \delta}{\tan H} \right] \frac{1}{30} (\delta_w - \delta_e) + \frac{Z_w - Z_e}{30 \sin Az \cos \varphi}$$

$$\Delta H = \frac{1}{30} \left[ \frac{\tan \varphi}{\sin H} - \frac{\tan \delta}{\tan H} \right] (\delta_w - \delta_e) + \frac{Z_w - z_e}{30 \sin Az \cos \varphi}$$

$\delta$  = declinación media

$\varphi$  = latitud del lugar

$$T_e = \alpha_e - H_e \Rightarrow H_e = \alpha_e - T_e$$

$$T_w = \alpha_w - H_w \Rightarrow H_w = T_w - \alpha_w$$

$$T_w - T_e = \alpha_w - \alpha_e + H_w + H_e$$

$$H_w + H_e = T_w - T_e - \alpha_e - \alpha_w$$

$$\frac{1}{2}(H_w + H_e) = \frac{1}{2}(T_w - T_e) + \frac{1}{2}(\alpha_e - \alpha_w)$$

$$H = \frac{T_w - \alpha_w + \alpha_e - T_e}{2}$$

$$H = \frac{1}{2}(T_w - T_e) + \frac{1}{2}(\alpha_e - \alpha_w)$$

Una vez que se tienen las ecuaciones que se emplearán para el cálculo se deberá:

- 1.- Obtener los promedios de los tiempos cronometrados en cada par de estrellas.
- 2.- Calcular los pares de estrellas:

<p>Expresiones a utilizar Ver registro III. 6.</p>	$\Delta t = \frac{1}{2}(\alpha e + \alpha w) + \Delta H - \frac{1}{2}(T w + T e)$ $\Delta H = \frac{(\delta w - \delta e) \times 3600}{30} \left[ \frac{\tan \varphi}{\text{sen } H^\circ} - \frac{\tan \delta}{\tan H^\circ} \right] + C$ $C = \frac{Z w - Z e}{30 \text{sen } Az \cos \varphi}$ $H = \frac{1}{2}(T w - T e) + \frac{1}{2}(\alpha e - \alpha w)$
<p>Datos que se necesitan para el cálculo</p>	<p>Te = Tiempo promedio de la estrella al Este.  Tw = Tiempo promedio de la estrella al Oeste.  <math>\alpha e</math> = Ascensión Recta de la estrella al Este.  <math>\alpha w</math> = Ascensión Recta de la estrella al Oeste.  H = Angulo Horario en horas.  H° = Angulo Horario en grados = H x 15  <math>\delta e</math> = Declinación de la estrella al Este.  <math>\delta w</math> = Declinación de la estrella al Oeste.  <math>\delta</math> = Declinación promedio = ( <math>\delta e</math> + <math>\delta w</math> )/2  <math>\varphi</math> = Latitud del lugar de observación.  Ze = Distancia cenital leída después de observar la estrella al Este.  Zw = Distancia cenital leída después de observar la estrella al Oeste.  Az = Azimut promedio = ( <math>Aze</math> + <math>Azw</math> )/2</p>

Nota : tanto las Declinaciones y las Ascensiones Rectas de ambas estrellas son datos obtenidos del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional.

Registro III. 6

CALCULO DE TIEMPO POR ALTURAS IGUALES DE DOS ESTRELLAS

ESTACION Unaguabo  
OBSERVADOR

☉ 20°08 35 9"  
CRONOM AGC

FECHA 26-27ENERO-96

Par No Estrella	108		111		113		130		170	
	E o Hydraz W Ceti	E o Hydraz W Ceti	E o Cassio W & Anates	E o Cassio W & Anates	E o Leoas W & Ceti	E o Leoas W & Ceti	E o Virgins W & Orionis			
Ta	5 33 30.6	5 34 26.9	6 10 24.0	6 10 24.0	8 52 25.2	8 52 25.2	9 31 12.0	9 31 12.0		
Tb	5 41 41.2	6 2 41.0	6 18 18.0	6 18 18.0	8 59 37.8	8 59 37.8	9 38 32.8	9 38 32.8		
Ta-Tb	0 8 10.6	0 8 14.1	0 7 54.0	0 7 54.0	0 7 32.6	0 7 32.6	0 7 20.8	0 7 20.8		
1/2(Ta-Tb)	0 4 5.3	0 4 7.0	0 3 57.0	0 3 57.0	0 3 46.3	0 3 46.3	0 3 40.4	0 3 40.4		
Tc	11 15 11.8	11 57 7.9	12 28 42.0	12 28 42.0	8 56 11.5	8 56 11.5	9 34 52.4	9 34 52.4		
Td	5 37 35.9	5 58 34.0	6 14 21.0	6 14 21.0	12 19 43.5	12 19 43.5	13 34 30.7	13 34 30.7		
Tc-Td	9 27 24.9	8 44 29.1	10 0 1.6	10 0 1.6	5 31 49.6	5 31 49.6	5 36 2.0	5 36 2.0		
ae	1 51 17.1	3 11 25.7	2 27 58.3	2 27 58.3	5 47 53.9	5 47 53.9	7 58 28.7	7 58 28.7		
af	7 36 7.8	5 35 3.4	3 46 1.6	3 46 1.6	3 23 57.0	3 23 57.0	3 59 14.4	3 59 14.4		
ag	3 48 3.9	2 46 3.4	7 32 3.3	7 32 3.3	6 47 53.9	6 47 53.9	7 58 28.7	7 58 28.7		
1/2(ae-af)	11 18 42.0	11 55 54.8	12 27 56.9	12 27 56.9	17 51 33.1	17 51 33.1	19 10 32.9	19 10 32.9		
ah	5 39 25.0	5 27 57.4	6 14 0.0	6 14 0.0	8 55 46.6	8 55 46.6	9 35 16.4	9 35 16.4		
1/2(ah-ai)	3 52 9.2	2 50 38.7	3 49 58.6	3 49 58.6	3 27 43.3	3 27 43.3	4 2 54.8	4 2 54.8		
aj	58 2 18.0	42 47 10.5	37 29 39.0	37 29 39.0	51 55 49.5	51 55 49.5	60 43 42.0	60 43 42.0		
ak	8 28 36.0	18 10 1.0	8 3 40.0	8 3 40.0	38 30.0	38 30.0	34 42.0	34 42.0		
al	-10 21 8.0	19 42 49.0	8 26 40.0	8 26 40.0	18 6.0	18 6.0	-1 12 14.0	-1 12 14.0		
am	-18 19 44.0	37 52 50.0	16 30 20.0	16 30 20.0	56 50.0	56 50.0	-1 66 56.0	-1 66 56.0		
1/2(am-an)	-9 29 52.0	18 56 25.0	8 15 10.0	8 15 10.0	28 28.0	28 28.0	53 28.0	53 28.0		
ao	-1 42 32.0	1 32 48.0	0 23 0.0	0 23 0.0	0 20 44.0	0 20 44.0	17 32.0	17 32.0		
ap	-1 50.1	31.4	15.8	15.8	19.9	19.9	-30.9	-30.9		
1/2(ap-aq)	5 37 30.9	5 58 28.8	6 14 15.8	6 14 15.8	8 56 5.6	8 56 5.6	9 34 45.3	9 34 45.3		
aq	5 37 35.9	5 58 34.0	6 14 21.0	6 14 21.0	8 56 11.5	8 56 11.5	9 34 52.4	9 34 52.4		
Arrows		-5.0	-5.2	-5.2	-5.9	-5.9	-6.9	-6.9		
Ar	64 18 0.0	40 6 11.0	56 42 4.0	56 42 4.0	34 47 13.0	34 47 13.0	63 0 4.0	63 0 4.0		
As	64 18 13.0	40 6 17.0	56 42 13.0	56 42 13.0	34 48 23.0	34 48 23.0	63 0 36.0	63 0 36.0		
Zw					10.0	10.0	32.0	32.0		
Za-Ze					0.3	0.3	3.2	3.2		
C					-1.8	-1.8	-2.7	-2.7		
CH-C										

Registro III. 6

CALCULO DE TIEMPO POR ALTURAS IGUALES DE DOS ESTRELLAS

ESTACION Urungao-Gto  
OBSERVADOR

φ 20°08'35" S  
CROMOM

FECHA: 26/ENERO/96

Par No Estrella	93		100		118		122		127						
	E δ Cencri W δ Piscium		E δ Hydraf W δ Piscium		E ρ Leonis W ρ Ceti		E ε Leonis W η Tauri		E ρ Leonis W μ Tauri						
Te	4	27	16,8	4	47	40,1	6	25	55,2	6	42	16,1	7	19	44,0
Tu	4	35	25,5	4	55	41,0	6	33	40,5	6	46	4,8	7	27	46,4
Tu-Te	0	8	8,7	0	7	54,9	0	7	45,3	0	3	48,7	0	8	2,8
1/2(Tu-Te)	0	4	4,4	0	3	57,4	0	3	52,6	0	1	54,4	0	4	1,4
Tu-Te	9	2	42,3	9	43	27,1	12	59	35,7	13	28	20,9	14	47	30,8
1/2(Tu-Te)	4	31	21,2	4	51	43,6	6	29	47,8	6	44	10,4	7	23	45,4
ac	8	16	19,5	8	37	28,2	10	32	37,6	9	45	39,1	10	32	37,6
aw	0	48	30,0	1	2	45,6	2	27	58,5	3	47	16,5	4	15	20,8
awaw	7	2*	49,3	7	34	42,6	8	4	39,3	5	58	22,8	6	17	17,9
1/2(awaw)	3	43	54,8	3	47	21,3	4	2	19,6	2	59	11,3	3	8	38,5
awaw	9	4	49,3	9	40	13,8	13	0	35,9	13	32	55,6	14	47	58,2
1/2(awaw)	4	32	24,8	4	50	6,9	6	30	18,0	6	46	27,8	7	23	59,1
H	3	47	59,2	3	51	18,7	4	6	12,2	3	1	5,7	3	12	39,9
H*	50	59	48,0	5*	49	40,5	6†	33	3,3	45	16	25,5	48	9	58,5
de	9	11	47,0	9	42	58,0	9	19	29,0	23	47	25,9	9	19	29,0
de	7	33	57,0	7	52	16,0	8	26	40,0	24	5	40,0	8	53	1,0
de-de	16	45	44,0	13	35	14,0	17	46	9,0	47	53	5,0	18	12	30,0
1/2(de-de)	8	22	52,0	6	47	37,0	8	58	4,5	23	56	32,5	9	6	15,0
de-de	-1	37	50,0	2	9	18,0		52	49,0	0	18	15,0		26	28,6
ΔH			-1			32,7			-35,0			2,8			-18,5
1/2(awaw)-ΔH	4	31	17,9	4	51	39,6	6	29	43,0	6	46	30,5	7	23	40,6
Cromom	4	31	21,2	4	51	43,6	6	29	47,8	6	44	10,4	7	23	45,4
Δt			-3,3			-6,0			-8,8			20,5			-4,8
Ze	56	12	59,5	57	30	8,0	60	18	15,0	42	30	0,0	47	42	0,0
Zw	56	11	51,2	57	30	2,0	60	18	29,0	42	30	5,0	47	42	18,2
Zw-Ze			-1			8,3			14,0			5,0			18,2
C			-0,3			-0,6			1,4						1,8
ΔH-C			-3,0			-6,6			-3,4						-3,0

Registro III. 6

CALCULO DE TIEMPO POR ALTURAS IGUALES DE DOS ESTRELLAS

ESTACION Urungano,Go  
OBSERVADOR

@ 20°08'35" P  
CRONOM

FECHA 27/ENERO/96

Par No	131			135			162			176			183		
Estrella	E α Leonis			E β Leonis			E β Leonis			E α Virginis			E β Comae		
Estrella	W 4 Tauri			W α Tauri			W α Gemminum			W 6 Can Majors			W β Gemminum		
Te	7	46	32.1	8	9	35.1	9	12	16.9	10	4	28.8	10	23	55.0
Tu	7	54	59.6	8	17	8.2	9	20	57.2	10	12	26.0	10	33	3.2
Tu-Te	0	8	27.5	0	7	33.1	0	8	40.3	0	7	57.0	0	9	8.2
1 2(Tu-Te)	0	4	13.8	0	3	46.6	0	4	20.2	0	3	58.6	0	4	34.1
Tu-Te	15	41	31.7	16	26	43.3	18	33	14.1	20	16	54.8	20	56	58.2
1 2(Tu-Te)	7	50	45.8	8	13	21.6	9	16	37.0	10	8	27.4	10	28	29.1
ae	11	13	55.3	11	48	52.7	11	48	52.7	13	25	0.4	13	11	42.3
aw	4	28	24.6	4	35	43.1	6	45	5.5	6	54	1.5	7	45	5.4
ae-aw	6	45	30.7	7	13	9.6	5	3	47.2	6	30	58.6	5	26	36.4
1 2(ae-aw)	3	22	45.4	3	38	34.8	2	31	53.6	3	15	29.4	2	43	18.2
ae-aw	15	42	19.9	16	34	35.8	18	33	58.2	20	19	1.9	20	56	48.2
1 2(ae-aw)	7	51	10.0	8	12	17.9	9	16	59.1	10	9	31.0	10	28	24.1
H	3	26	59.2	3	40	21.4	2	36	13.8	3	19	28.0	2	47	52.3
H'	51	44	48.0	55	5	21.0	39	3	27.0	49	52	0.0	41	58	4.5
de	20	32	34.0	14	35	29.0	14	35	29.0	-11	8	36.0	27	53	48.0
de'	19	10	22.0	16	30	8.0	12	53	58.0	-12	2	3.0	28	2	5.0
Aw-de	30	42	56.0	31	5	37.0	27	29	27.0	-22	49	21.0	55	56	3.3
1 2(Aw-de)	19	51	28.0	15	32	48.3	13	44	43.5	-11	24	40.5	27	58	1.5
de-de'	-1	22	12.0	1	54	39.0	-1	41	31.0	-1	6	33.0	0	8	17.0
M			-30.0			58.0			-57.0			-1	8.1		-0.7
1 2(Aw-de)-M	7	50	40.0	8	13	15.9	9	16	2.1	10	8	22.9	10	28	23.1
Cronom	7	50	49.8	8	13	21.6	9	16	37.0	10	8	27.4	10	28	29.1
M			-5.8			-5.7			11.7			-4.5			-5.7
Zc	48	24	0.0	52	24	0.0	37	42	0.0	58	24	0.0	38	54	10.0
Zw	48	24	35.1	52	24	25.3	37	42	1.7	58	24	33.8	38	54	37.5
Zw-Zc			35.1			25.3			1.7			33.8			27.5
C			1.3			0.9						1.4			1.3
M+C			-4.5			-4.8						-3.1			-4.4

Registro III. 6

CALCULO DE TIEMPO POR ALTURAS IGUALES DE DOS ESTRELLAS

ESTACION Urungato, Gto  
OBSERVADOR

φ 20°08'35.9"  
CRONOMETRO

FECHA 27/ENERO/96

Par No Estrella	188			193		
	E α Hydrae			E β Cassio		
	W	Cen	W	Cen	W	Cen
Te	10	43	7.8	11	4	54.8
Tu	10	51	18.0	11	13	27.8
Tu-Te	0	8	10.2	0	8	33.0
1 2(Tu-Te)	0	4	5.1	0	4	16.5
Tu-Te	21	34	25.8	22	18	22.6
1 2(Tu-Te)	10	17	12.9	11	9	11.3
ue	14	50	40.9	15	34	32.3
uw	6	44	59.3	6	43	43.0
ue-uw	8	5	41.4	8	50	49.3
1 2(ue-uw)	4	2	50.7	4	25	24.6
ue-uw	21	35	40.4	22	18	15.3
1 2(ue-uw)	10	17	50.2	11	9	7.6
H	4	6	53.8	4	29	41.1
H'	61	43	57.0	67	25	16.3
de	-16	1	39.0	26	43	35.0
du	-16	42	44.0	29	8	1.0
du-de	-32	44	23.0	31	51	40.0
1 2(du-de)	-16	22	11.5	25	25	50.0
du-de	-	41	3.0	-1	35	30.0
M	-	-	-17.2	-	-	0.0
1 2(ue-uw)-M	10	17	3.0	11	9	7.6
Cronom	10	17	12.9	11	9	11.3
M	-	-	-9.0	-	-	-3.7
Zc	70	41	56.0	61	42	8.7
Zu	70	42	22.4	61	42	37.3
Zu-Zc	-	-	26.4	-	-	28.6
C	-	-	2.8	-	-	1.1
M-C	-	-	7.1	-	-	-2.6

REGISTRO III. 7

TIEMPOS			$\Delta t$								
5	37	35,9	-4,5	t	21	31	$\Delta t$	-1,5			
5	58	34,0	-5,0	t'	23	29	$\Delta t'$	-1,1			
6	14	21,0	-4,9		1	58		0,4			
8	56	11,5	-4,8	Aplicando la ecuación de la Marcha							
7	50	45,8	-4,5	m = +0.20339							
8	13	21,6	-4,8								
10	8	27,4	-3,1								
10	28	29,1	-4,4								
11	9	11,3	-2,6	21	31 =	5	9	20,8	$\Delta t$	-4,6	
4	31	21,2	-3,6			7	31	50,4		-4,1	
4	51	43,6	-4,6	Dif =		2	22	29,6			
6	29	47,8	-3,4	m x Dif = c =	0,5						
7	23	45,4	-3,0								
Prom. Tiempos y $\Delta t$											
7	31	50,4	-4,1	TL =		5	9	16,2			
				TM90 =		5	53	50,5			
				$\Delta\lambda$ =		44	34,3				
				25	29 =	7	7	39,8	$\Delta t$	-4,0	
						7	31	50,4		-4,1	
				Dif =		0	24	10,6			
				m x Dif = c =	0,1						
				TL =		7	7	35,8			
				TM90 =		7	52	9,9			
				$\Delta\lambda$ =		44	34,1				
$\Delta\lambda$ prom =	44	34,2									

Una vez obtenido el  $\Delta t$  por la observación de los pares de estrellas, obtenemos la Marcha horaria con las comparaciones hechas del reloj, mediante la expresión:

$$m = \frac{\Delta t' - \Delta t}{t' - t}$$

donde  $t < t'$ .

Se obtiene el intervalo entre ya sea  $t$  o  $t'$  con la hora promedio de las observaciones de los pares, obteniendo una diferencia ( Dif ). Se multiplica la diferencia obtenida por la marcha (  $m$  ) y se obtiene así la corrección correspondiente a la hora promedio de observación.

Mediante los  $\Delta t$  y  $\Delta t'$  se analiza el signo de la corrección para el  $\Delta t$  observado que al tiempo  $t$  o  $t'$  de comparación del reloj. Se aplica la corrección al tiempo  $t$  o  $t'$ , obteniendo un tiempo corregido  $t_c$ .

La diferencia entre el  $t_c$  y el tiempo siderio del M90 al W. G. del tiempo medio correspondiente al  $t$  o  $t'$ , será el  $\Delta\lambda$ . Ver registro III. 7.

**CAPITULO IV**  
**DETERMINACION DE LA LATITUD**

## CAPITULO IV

### DETERMINACION DE LA LATITUD

Como ya se dijo en la Introducción, la Latitud es un arco de meridiano medido a partir del Ecuador hasta el zenit del observador, se designará con la letra  $\phi$  y se mide de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  a partir del Ecuador, y puede ser Latitud Norte o Latitud Sur, según que el punto considerado se encuentre al Norte o al Sur del Ecuador respectivamente.

Una vez recordada la definición de Latitud, en este capítulo se verán las ecuaciones que nos servirán para obtener el valor de esta.

#### IV. 1. METODO DE PASOS MERIDIANOS

##### IV. 1. a. Metodología de Campo

Para aplicar este método será necesario observar al astro a la hora de su paso por el meridiano local, cabe mencionar que el astro empleado será el Sol.

- 1.- Identificar y materializar el vértice del que se desea conocer su Latitud.
- 2.- Centrar y nivelar el aparato que se empleará durante la observación.
- 3.- Obtener el  $\Delta t$  del reloj que se empleará durante la observación, por el método de Coincidencias visto en el Tema " Determinación del Tiempo por el Método de Alturas Absolutas ". Capítulo III. Ver registro IV. 1.
- 4.- Obtener la hora del paso del Sol por el Meridiano local

Esta hora de paso se obtiene con la siguiente expresión:

$$H_{\text{pasoM90}} + \Delta\lambda \dots\dots\dots( 1 )$$

Donde:

H<sub>pasoM90</sub> = Hora de paso del Sol por el Meridiano 90 al Oeste de Greenwich, correspondiente al día de la observación. Valor que se obtiene del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional.

$\Delta\lambda$  = Diferencia de Longitud entre el M90 y el Meridiano local.

Cabe mencionar que la suma de la expresión ( 1 ), será algebraica. Ver registro IV. 1.

5.- Observar el astro a la hora de su paso por el Meridiano local.

Astro a Observar	Sol
Datos que se registran en campo Ver registro IV. 1.	Presión atmosférica del lugar al momento de la observación. Temperatura. Tiempo al momento de la observación. Angulo horizontal del Sol. Nombre del Observador. Nombre del Anotador. Nombre del lugar de observación. Fecha de observación.
Equipo a emplear	Teodolito. Acodados con filtro. Reloj con segundero. Una tarjeta blanca. Termómetro. Aneroide. Radio de Onda corta.

Del equipo que se enlista anteriormente el termómetro y el aneroide serán necesarios para corregir la Distancia Cenital por Refracción y Paralaje.

El radio de onda corta servirá para obtener el  $\Delta t$  del reloj.

Una vez obtenida la hora de paso del astro por el meridiano local se procede a observar al astro de 15 a 20 minutos antes y después de que este pase por el Meridiano local, esto se hace porque observar el astro en el momento de su paso, resulta bastante complejo y es por ésto que se observa antes y después de esta hora, para que con los promedios de tiempo y Distancia Cenital podamos obtener el valor de la Latitud.

Para observar el Sol antes y después de su hora de paso será necesario colocarle al telescopio del aparato que se empleará sus acodados y filtro, posteriormente se observará al astro como se hace en el " Método de Alturas Absolutas para la Determinación del Tiempo ", visto en el Capítulo III.; con la única diferencia de que la posición del telescopio con la que se inicia será la misma con la que se concluye; además de que se deberá observar los mismos minutos antes y después de la hora del paso. Es decir, que si se empieza 15 min. antes, se deberá concluir 15 min. después de la hora de paso.

#### IV. 1. b. Cálculo

Para poder calcular el valor de la Latitud será necesario saber que:

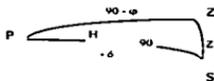
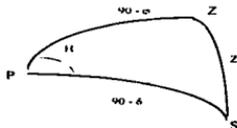
$\varphi = \delta - Z'$  cuando el astro declina al Norte del Zenit ( ver figura IV. 1 )

$\varphi = \delta + Z$  cuando el astro declina al Sur del Zenit ( ver figura IV. 2 )

En el Triángulo Astronómico tenemos que:

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H \dots\dots\dots ( 2 ) ;$$

pero como el astro se encuentra en el Meridiano en el momento de su paso, entonces  $H = 0$ , lo que quiere decir que el Polo ( P ), el Zenit ( Z ) y el astro ( S ) estarán sobre un mismo arco (el Meridiano ), para comprender mejor esto, veamos las siguientes figuras



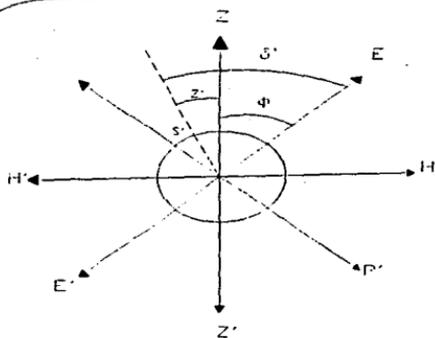


FIGURA IV.1

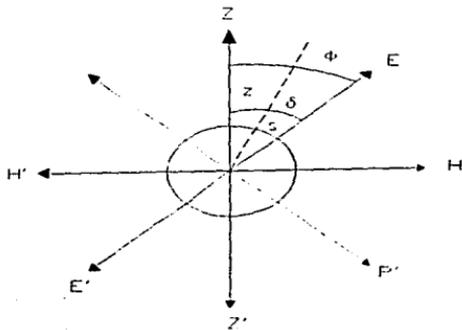


FIGURA IV.2

como podemos apreciar en las dos figuras del triángulo astronómico si el ángulo  $H \rightarrow 0$  ( arco SZ ), el arco PS tenderá a acercarse al arco PZ , hasta que se conviertan en un solo arco cuando  $H = 0$ , quedando la ecuación ( 2 ) como se anota a continuación:

$$\begin{aligned} \cos Z &= \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta + \operatorname{cos} \varphi \operatorname{cos} \delta \\ \cos Z &= \operatorname{cos}(\varphi - \delta) = \operatorname{cos}(\delta - \varphi) \\ Z &= \varphi - \delta = \delta - \varphi \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \varphi = Z + \delta \\ \varphi = \delta - Z \end{cases}$$

aclarando que de las dos últimas ecuaciones, la primera se aplicará cuando el astro decline al Sur del Zenit y la segunda expresión cuando el astro decline al Norte del Zenit, donde:

$\delta$  = Declinación del astro observado a la hora de observación

Z = Distancia cenital corregida por refracción y paralaje

Una vez obtenidas las expresiones que nos servirán para obtener el valor de la Latitud se procede de la siguiente manera :

- 1.- Obtener los promedios de Tiempos y Distancias Cenitales de los datos obtenidos en campo. Para determinar los promedios de las Distancias Cenitales, será necesario obtener los valores directos de los ángulos medidos y promediar una observación directa con una inversa; ver registro IV. 1. Para los promedios de los tiempos se realiza de la misma manera, ver el mismo registro que para los ángulos verticales. La finalidad de obtener los promedios de las lecturas inversas y directas es para poder apreciar la existencia de los errores en el caso de que estos se presenten.
- 2.- Corregir el promedio de la mínima Distancia Cenital obtenida, por Refracción y Paralaje, de la misma manera que en el Método de Alturas Absolutas para la determinación del Tiempo, del Capítulo III. Ver registro IV. 1.
- 3.- Obtener la Declinación del astro para el momento de la observación, en este caso se usará la hora promedio correspondiente a la mínima Distancia Cenital obtenida, y se procederá de la misma manera que en el Método de Alturas Absolutas para la determinación del Tiempo, del Capítulo III. Ver registro IV. 1.

Registro IV.1

Campo Deportivo "El Charco", Uriangato, Gto.  
 Pasos Meridianos anotó: AGC  
 $\Delta t = + 0.5$  s P = 594.9 mm/Hg  
 $\delta = -18^{\circ} 52' 48''$  Vh $\delta = 37.5''$

26/ Enero /96

observó: JMRG  
 calculó: JMRG  
 t = 24° C

HrpasoM90 12 12 30,0  
 $\Delta\lambda$  44 31,2  
 HrpasoML 12 57 1,2

EST	PO		TIEMPO		C.V.			
V	Sol		12 52 9,0		39 10 14,7		39 10 14,7	
	Sol	12 52 31,4	12 52 53,8	321 22 42	38 37 18		38 53 46,4	
	Sol		12 53 31,8	321 22 50,7	38 37 9,3			
	Sol	12 53 55,8	12 54 19,9	39 9 12,2	39 9 12,2		38 53 10,8	
	Sol		12 54 50,9	39 9 4,3	39 9 4,3			
	Sol	12 55 38,4	12 56 25,9	321 23 26,8	38 36 33,2		38 52 48,8	
	Sol		12 56 47,0	321 23 27,0	38 36 33,0			
	Sol	12 57 12,9	12 57 38,8	39 8 50,3	39 8 50,3		38 52 41,6	
	Sol		12 58 3,0	39 8 53,7	39 8 53,7			
	Sol	12 58 28,5	12 58 54,0	321 23 16,2	38 36 43,8		38 52 48,8	
	Sol		12 59 13,8	321 23 12,7	38 36 47,3			
	Sol	12 59 39,0	13 0 4,2	39 9 12,2	39 9 12,2		38 52 59,8	
	Sol		13 0 27,8	39 9 23,0	39 9 23,0			
	Sol	13 0 57,3	13 1 26,8	321 22 34,0	38 37 26,0		38 53 24,5	

Z 38 52 41,6  $\delta$  -18 52 48,0  
 R 36,3 C 8 5,7  
 P 5,5  $\delta_0$  -18 44 42,3  
 Zc 38 53 12,4

Zc	38 53 12,4
$\delta_0$	-18 44 42,3
$\phi$	20 8 30,1

4.- Calcular la Latitud del vértice deseado.

Expresiones a utilizar. Ver registro IV. 1	$\varphi = Zc + \delta$ $\varphi = \delta - Zc$
Datos que se emplearán.	$\delta$ = Declinación del astro al momento de la observación. $Zc$ = Mínima Distancia Cenital corregida por Refracción y Paralaje.

Nota : se dan las dos expresiones para el cálculo de la Latitud, para conocerlas, aunque solo se empleé una, según sea el caso.

## IV. 2. METODO DE ALTURAS CIRCUNMERIDIANAS

### IV. 2. a. Metodología de Campo

Será la misma que en el Método de Pasos Meridianos visto en este Capítulo. Ver registro IV. 2.

### IV. 2. b. Cálculo

Para poder calcular la Latitud empleando este método será necesario saber que:

$$Z = \xi + x \Rightarrow \xi = Z - x$$

donde:

$\xi$  = Distancia Cenital Meridiana, ósea aquella que se observaría si el astro estuviese en el Meridiano local. En este instante el astro adquirirá su mínima Distancia Cenital.

$x$  = Corrección aplicable a  $Z$ , para hacer esta al meridiano.

$Z$  = Distancia Cenital observada.

$$\cos Z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H$$

$$\cos(\xi + x) = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta (1 - 2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} H)$$

$$\cos H = 1 - 2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} H$$

$$\cos \xi \cos x - \operatorname{sen} \xi \operatorname{sen} x = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta (1 - 2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} H)$$

$$\cos \xi \cos x - \operatorname{sen} \xi \operatorname{sen} x = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta - 2 \cos \varphi \cos \delta \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} H$$

desarrollando  $\operatorname{sen} x$  y  $\cos x$  por serie de McLaurén, obtendremos:

$$\operatorname{sen} x = x - \frac{x^3}{3!}$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!}$$

sustituyendo los valores obtenidos en la última expresión:

$$\cos \xi \left(1 - \frac{x^2}{2!}\right) - x \operatorname{sen} \xi = \cos(\varphi - \delta) - 2 \cos \varphi \cos \delta \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} H$$

$$\varphi - \delta = Z \therefore \varphi - \delta = \xi$$

$$\cos \xi - \frac{x^2}{2} \cos \xi - x \operatorname{sen} \xi = \cos \xi - 2 \cos \varphi \cos \delta \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} H$$

$$x = \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\operatorname{sen} 1''} 2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} H - \frac{x^2 \cot \xi}{2 \operatorname{sen} 1''} \quad \text{Ecuación para obtener la corrección por reducción al}$$

meridiano.

Sea  $Z$  = Distancia Cenital Meridiana =  $\xi$ , entonces:

$$\varphi = Z + \delta \therefore \varphi = \xi + \delta \Rightarrow \varphi = \delta + Z - x$$

$$x = \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\operatorname{sen} \xi} 2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} H$$

$$x = \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\operatorname{sen} \xi} 2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} H - \left(\frac{\cos \varphi \cos \delta}{\operatorname{sen} \xi}\right)^2 \frac{4}{2} \operatorname{sen}^4 \frac{1}{2} H \cot \xi$$

si:

$$B = \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\operatorname{sen} \xi}, m = \frac{2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} H}{\operatorname{sen} 1''}, n = \frac{2 \operatorname{sen}^4 \frac{1}{2} H}{\operatorname{sen} 1''}$$

$$x = B 2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} H - B^2 2 \operatorname{sen}^4 \frac{1}{2} H \cot \xi$$

$$\therefore x = Bm - B^2 n \cot \xi$$

$$\Rightarrow \varphi = \delta + Z - Bm + B^2 n \cot \xi$$

Una vez obtenidas las expresiones que nos servirán para obtener el valor de la Latitud se realizará lo siguiente :

- 1.- Obtener los promedios de Tiempos y Distancias Cenitales de los datos obtenidos en campo. Se realiza de la misma manera que en el Método de Pasos Meridianos. Ver registro IV. 2.
- 2.- Corregir las Distancias Cenitales obtenidas por Refracción y Paralaje. Se realiza de la misma manera que en el Método de Pasos Meridianos. Ver registro IV. 3.
- 3.- Obtener la Declinación del astro para el momento de la Observación. Una vez obtenido el tiempo correspondiente a la mínima Distancia Cenital, se procederá de la misma manera que en el Método de pasos Meridianos. Ver registro IV. 2.
- 4.- Obtener el valor de la Latitud.

<p>Expresiones a utilizar. Ver registro IV. 3.</p>	$\varphi = \delta + Zc - Bm + B^2 n \cot \xi$ $B = \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\operatorname{sen} \xi}$ $m = \frac{2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} H''}{\operatorname{sen} 1''}$ $n = \frac{2 \operatorname{sen}^4 \frac{1}{2} H''}{\operatorname{sen} 1''}$
<p>Datos que se emplearán</p>	<p><math>\delta</math> = Declinación del astro al momento de la observación, valor correspondiente a la hora de la mínima distancia cenital.  <math>Zc</math> = Mínima Distancia Cenital corregida por Refracción y Paralaje.  <math>\xi</math> = Distancias Cenitales corregidas por Refracción y Paralaje.  <math>\varphi</math> = Latitud obtenida con el Método de Pasos Meridianos.  <math>H'' = Hh \times 15</math> = Angulo horario en grados.</p>

Registro IV.2

Santiago Cuautlalpan, Edo. de Mex. 1º Junio /97  
 Pasos Meridianos anotó: AGC  
 $\Delta t = + 2.2$  s P = 771 mbar/Hg  
 $\delta = 22^\circ 3' 40''$  Vh $\delta = 20.0''$

observó: ARP  
 calculó: JMRG  
 $t = 22^\circ$  C

HrpasoM90 11 57 50.0  
 $\Delta\lambda$  37 11.4  
 HrpasoML 12 35 1.4

EST	PO	TIEMPO		C.V.			
V	Sol		12 30 13,0	2 56 54,6	2 56 54,6		
	Sol	12 30 37,8	12 30 58,2	357 38 58,1	2 21 1,9	2 38 58,2	
	Sol		12 31 21,2	357 41 26,1	2 18 33,9		
	Sol	12 31 43,8	12 32 1,9	2 48 28,0	2 48 28,0	2 33 31,0	
	Sol		12 32 22,9	2 46 47,2	2 46 47,2		
	Sol	12 32 44,6	12 33 2,0	357 47 12,1	2 12 47,9	2 29 47,6	
	Sol		12 33 22,0	357 48 29,1	2 11 30,9		
	Sol	12 33 44,2	12 34 2,0	2 42 8,0	2 42 8,0	2 26 49,4	
	Sol		12 34 20,2	2 41 20,9	2 41 20,9		
	Sol	12 34 40,2	12 34 55,9	357 49 51,2	2 10 8,8	2 25 44,8	
	Sol		12 35 22,5	357 50 25,5	2 9 34,5		
	Sol	12 35 45,2	12 36 3,4	2 43 20,6	2 43 20,6	2 26 27,6	
	Sol		12 36 26,9	2 43 53,0	2 43 53,0		
	Sol	12 36 45,4	12 36 59,6	357 46 50,0	2 13 10,0	2 28 31,5	
	Sol		12 37 23,0	357 46 11,4	2 13 48,6		
	Sol	12 37 13,8	12 37 0,1	2 48 55,1	2 48 55,1	2 31 21,6	
	Sol		12 38 29,5	2 50 14,1	2 50 14,1		
Sol	12 38 48,6	12 39 3,4	357 38 56,0	2 21 4,0	2 35 39,0		
Sol		12 39 45,0	357 36 17,2	2 23 42,8			
Sol	12 40 49,4	12 40 24,0	3 0 51,1	3 0 51,1	2 42 16,6		

Z 2 25 44,8  $\delta$  22 3 40,0  
 R 1,8 C 4 12,3  
 P 0,4  $\delta_o$  22 7 52,3  
 Zc 2 25 46,2

Zc	2 25 46,2
$\delta_o$	22 7 52,3
$\varphi$	19 42 6,1

REGISTRO IV.3

Santiago Cuautlalpan, Edo. de Mex.

1º Junio /97

observó:ARP

Cálculo de Circunferencias

cálculo: JMRG

M = 2.2 s

P = 771 mbar/1g

t = 22°C

$\delta = 22' 340''$

Vbs = 20.0"

TIEMPO	C V	R.P	Zc	Hh	H'	m'	Bm
12 30	37.8	2 38 58.2	1 4'	2 38 59.6	0 4 23.6	1 5 54.0	37.2 0 12 45.2
12 31	43.8	2 33 31.0	1 4'	2 33 32.4	0 3 17.6	0 49 24.0	21.6 0 7 59.4
12 31	44.6	2 29 47.8	1 4'	2 29 49.0	0 2 16.8	0 34 12.0	10.2 0 3 29.9
12 33	44.2	2 26 49.4	1 4'	2 26 50.8	0 1 17.2	0 19 18.0	3.2 0 1 53.1
12 34	40.2	2 25 44.8	1 4'	2 25 46.2	0 0 21.2	0 5 18.0	0.3 0 0 6.1
12 35	45.2	2 26 27.6	1 4'	2 26 29.0	0 0 43.6	0 10 57.0	1.1 0 0 22.6
12 36	45.4	2 28 31.5	1 4'	2 28 32.9	0 1 44.0	0 26 0.0	5.5 0 2 34.3
12 37	13.8	2 31 21.6	1 4'	2 31 23.0	0 2 12.4	0 33 6.0	9.5 0 3 15.5
12 38	48.6	2 35 39.0	1 4'	2 35 40.4	0 3 47.2	0 56 48.0	28.2 0 9 50.5
12 40	49.4	2 42 16.8	1 4'	2 42 18.0	0 5 45.8	1 28 27.0	64.8 0 22 33.9

Zc-Bm
2 26 14.4
2 25 33.0
2 26 19.1
2 24 57.7
2 25 40.1
2 26 6.4
2 25 58.6
2 28 7.5
2 25 49.9
2 19 44.1

Zc-prom	2 27 1.3
$\delta$	22 7 52.3
$\phi$	19 40 51

Nota: El valor de Zc-prom es el promedio de Zc-Bm y se despreció el valor de B2ncot  $\zeta$  por ser valores muy pequeños

Cabe mencionar que el valor de Hh en horas se obtiene restando de la hora promedio correspondiente a la mínima Distancia Zenital ( hora considerada como hora de paso ) los promedios de tiempo cronometrados antes y después de la hora de paso. Ver registro IV. 3.

Nota: se debe recordar que los valores de m y n están en segundos de arco.

### IV. 3. METODO DE LITTROW

#### IV. 3. a. Metodología de Campo

Este método será empleado para observaciones realizadas a la Estrella Polar ( Polaris,  $\alpha$  Umi ), además de que se requiere un dominio de los temas de Transformación de Tiempo Medio a Siderio y Marcha horaria vistos en el Capítulo III.

- 1.- Obtener el Tiempo Siderio a una hora media propuesta. Ver registro IV. 4.
- 2.- Poner el reloj que se empleará durante la observación en el tiempo siderio calculado.
- 2.- Obtener el  $\Delta t$  del reloj que se empleará al momento de la observación por el Método de Coincidencias. Ver registro IV. 4.
- 3.- Identificar y materializar el vértice del que se desea conocer su Latitud.
- 4.- Centrar y nivelar el aparato con el cual se observará
- 5.- Observar el astro.

Astro a observar	Estrella Polar ( Polaris $\alpha$ Umi )
Datos que se registrarán en campo Ver registro IV. 5.	Presión atmosférica. Temperatura. Tiempo al momento de la observación. Angulo Horizontal de la Polar. Nombre del observador. Nombre del anotador. Nombre del lugar de observación. Fecha.



Equipo a emplear	Teodolito. Sistema de iluminación. Lámpara sorda. Reloj con segundero. Aneroide. Termómetro. Radio de onda corta.
------------------	---

Del equipo enlistado el termómetro y el aneroide serán necesarios para corregir las Distancias Zenitales por Refracción. El radio de onda corta será necesario para poner el reloj a emplear en Tiempo Siderio y obtener el  $\Delta t$  del reloj.

Para observar el astro será necesario ponerle al equipo su sistema de iluminación, una vez realizado esto se procede a identificar el astro que se observará y meterlo al campo visual del aparato, para identificar la Estrella Polar en el cielo a Simple vista, se puede hacer ubicando primero la Osa Mayor, siendo esta muy fácil de identificar por su forma de papalote (ver figura IV. 3. ), una vez identificada la Osa Mayor veremos que las dos estrellas  $\alpha$  y  $\beta$  que la forman, definen una línea que al prolongarla para abajo nos dará la posición de la Estrellas Polar, siendo esta la mas brillante de dicha línea ( ver figura IV. 3 ). Una vez identificada la estrella con la pinula superior o inferior del aparato se vera a la estrella haciendo coincidencia como si fuera un rifle, y veremos que al asomarnos al objetivo del aparato, la estrella se encuentra dentro del campo visual, cabe mencionar que en caso de no verse la estrella siguiendo lo mencionado anteriormente será necesario mover el tornillo de enfoque hasta identificar las estrellas, las cuales se verán como puntos luminosos.

Ya teniendo la estrella en el campo visual se procede a encender el sistema de iluminación para poder ver los hilos de la retícula, cabe mencionar que si la estrella está bien identificada al momento de encender el sistema de iluminación, esta se verá perfectamente y las estrellas de su alrededor desaparecerán de la visual. Posteriormente se llevara la estrella lo más próximo al cruce de los hilos horizontal y vertical y se tomaran dos lecturas del círculo vertical cuando la estrella se encuentre en el cruce de los hilos, así mismo se anotará el tiempo al momento de cada cruce. Se cambiará de posición el aparato y se tomarán otras dos lecturas cuando la estrella

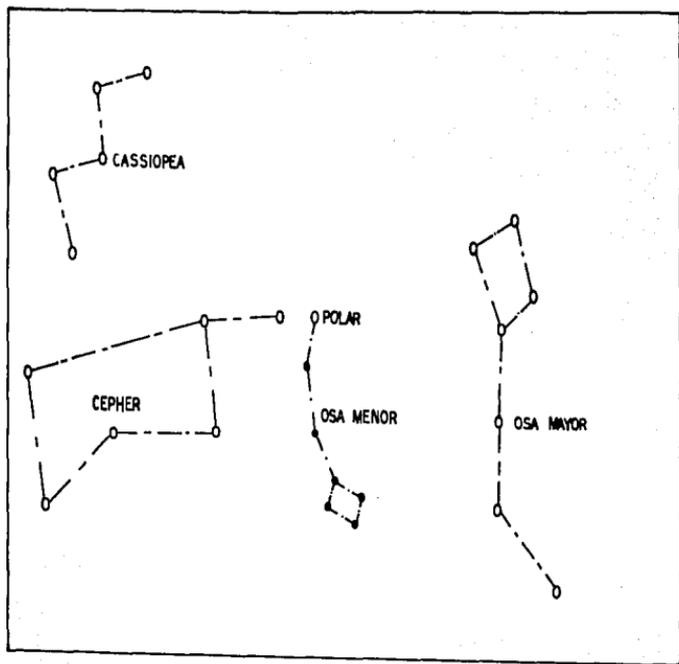
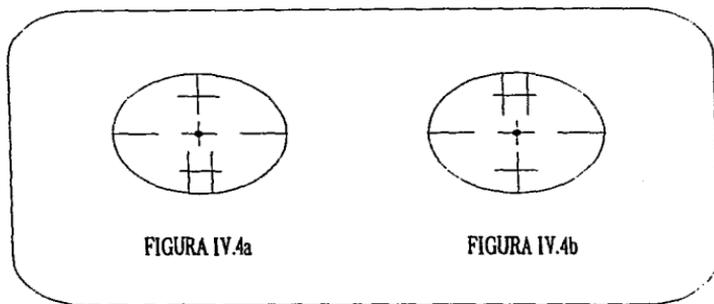


FIGURA IV.3

se encuentre en el cruce de los hilos, debemos recordar que no importa la posición en la que se empiece a observar ( ver figuras IV. 4a. y IV. 4b. ). A cuatro lecturas del círculo vertical ( dos en posición directa y dos en posición inversa ) se le llama serie y debemos de realizar de tres a cinco series para obtener un resultado aceptable. Ver registro IV. 5.



### IV. 3. b. Cálculo

Para poder calcular el valor de la Latitud empleando este método será necesario saber que en este capítulo solo se mencionará la ecuación para obtener la Latitud empleando este método, dejando la deducción de esta ecuación para que el interesado ahonde por su cuenta.

$$\varphi = A - P \cos H + \frac{1}{2} P^2 \operatorname{sen}^2 H \tan^2 \delta \operatorname{sen}^2 l$$

REGISTRO IV. 5

Santiago Cuautlalpan, Edo. de Mex

6/ Dic /96

observó:ARP

Observaciones a la Polar

P = 771 mbar/Hg

t = 7.5° C

anotó: AGC

δ = 89° 15' 09."4

α = 02h 30m 27.8s

EST	PO	TIEMPO	C.V.					
V	Polar	2 43 14,8	69 32	17,0	69 32	1,0	69 31	58,2
	Polar	2 44 26,1	69 32	12,1	69 32	4,5	1	59,6
	Polar	2 47 26,8	290 28	53,7	69 31	54,9	69 33	57,8
	Polar	2 48 39,8	290 28	6,2	69 31	52,0		
		2 45 57,3			69 31	56,8		
		2 45 56,4			69 31	59,7		
		2 45 56,9			69 31	58,2		
V	Polar	2 50 11,2	290 28	34,1	69 32	4,1	69 32	19,4
	Polar	2 51 25,1	290 28	40,6	69 31	50,0	1	59,6
	Polar	2 53 59,8	69 32	7,8	69 32	55,5	69 34	19,0
	Polar	2 54 55,5	69 32	54,2	69 32	27,7		
		2 52 33,4			69 32	15,9		
		2 52 42,4			69 32	22,8		
		2 52 37,9			69 32	19,4		
V	Polar	2 57 59,0	69 32	1,3	69 32	33,5	69 32	53,6
	Polar	2 59 11,5	69 32	44,6	69 32	33,0	1	59,7
	Polar	3 1 46,0	290 26	30,0	69 33	12,9	69 34	53,3
	Polar	3 2 44,9	290 26	34,5	69 33	14,8		
		3 0 22,0			69 32	54,2		
		3 0 28,8			69 32	53,0		
		3 0 25,4			69 32	53,6		

Para poder obtener el valor de la Latitud, será necesario:

1.- Determinar los promedios de Tiempo y Angulos Verticales; se realizará de la misma forma que en el Método de Alturas Absolutas para la determinación del Tiempo, visto en el Capítulo III. Ver registro IV. 5.

2.- Corregir los promedios de las Distancias Centales por Refracción. Cabe mencionar que se hará de la misma manera que en el Método de Alturas Absolutas para la determinación del Tiempo, visto en el Capítulo III. Ver registro IV. 5.

3.- Calcular la Latitud.

<p>Expresiones a utilizar Ver registro IV. 6.</p>	$\varphi = A - Sg + Tr$ $Sg = P \cos Hg$ $Tr = 0.5(P \times 3600)^2 \text{sen}^2 Hg \tan A \text{sen}''$ $H = T - \alpha$
<p>Datos que se emplearán</p>	<p><math>A = 90^\circ - Zc = \text{Altura}</math>  <math>Zc = \text{Distancia Cental corregida por Refracción.}</math>  <math>P = 90^\circ - \delta = \text{Distancia polar.}</math>  <math>\delta = \text{Declinación de la Polar, dato obtenido del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional.}</math>  <math>Hg = Hh \times 15 = \text{Angulo Horario de la Polar en grados.}</math>  <math>T = \text{Tiempo cronometrado.}</math>  <math>Hh = \text{Angulo horario de la Polar en horas.}</math>  <math>\alpha = \text{Ascensión Recta de la Polar, dato obtenido del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional.}</math></p>

Registro IV. 6

Santiago Cuautlalpan, Edo. de Mex 6/ Dic /96

observó:ARP

Cálculo de las observaciones a la Polar

calculó: AGC

P = 771 mbar/Hg

t = 7.5° C

δ = 89° 15' 09."4

α = 02h 30m 27.8s

Zc	69	33	57.8	69	34	19.0	69	34	53.3
A	20	26	2.2	20	25	41.0	20	25	6.7
δ	89	15	9.4	89	15	9.4	89	15	9.4
P	0	44	50.6	0	44	50.6	0	44	50.6
T	2	45	54.3	2	52	35.3	3	0	22.8
α	2	30	27.8	2	30	27.8	2	30	27.8
Hh	0	15	26.5	0	22	7.5	0	29	55.0
A	20	26	2.2	20	25	41.0	20	25	6.7
PcosH	-	44	44.5	-	44	38.1	-	44	27.7
3er.sum			0.0			0.1			0.1
φ	19	41	17.1	19	41	3.0	19	40	39.1
φ prom	19	40	59.7						

**CAPITULO V**  
**DETERMINACION DEL AZIMUT**

## CAPITULO V

### DETERMINACION DEL AZIMUT

El Azimut es un arco de Horizonte medido a partir del meridiano del observador, hasta el Círculo Vertical que pasa por el astro considerado y se mide de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  en el sentido de las manecillas del reloj. Y la Meridiana Astronómica o Línea Norte-Sur se define por la intersección de los planos del Horizonte y el Meridiano del lugar y proporcionando el Norte Astronómico.

En este capítulo se verán algunos de los Métodos para determinar el Azimut.

#### V. 1. METODO DE ALTURAS ABSOLUTAS

Este método será empleado para observaciones al Sol.

##### V.1 . a. Metodología de Campo

- 1.- Identificar y materializar dos vértices que formen la línea de la cual se desea conocer su azimut.
- Uno de los dos vértices será donde se coloque el aparato y el otro será la señal.
- 2.- Centrar y nivelar el aparato que se utilizará para la orientación.
- 3.- Obtener el  $\Delta t$  del reloj a utilizar durante la orientación.
- 4.- Observar el astro.

Astro a Observar	Sol
Datos que se registran en campo	Presión atmosférica del lugar al momento de la observación.
Ver registro V.1.	Temperatura.

	Tiempo al momento de la observación. Círculo Horizontal del Sol y de la línea. Círculo vertical del Sol. Nombre del observador. Nombre del anotador.
Equipo a emplear	Teodolito o Transito. Reloj con segundero. Filtro o tarjeta blanca. Termómetro. Aneroide. Radio de onda corta.

Del equipo que se en lista anteriormente el termómetro y el aneroides serán necesarios para poder tener la presión y temperatura a la hora de la observación y poder corregir las Distancias Zenitales por Refracción.

El radio de onda corta nos servirá para poder obtener el  $\Delta t$  del reloj, empleando el Método de coincidencias visto en el Capítulo III, Tema III. 6. 1. " Determinación del Tiempo por el Método de Alturas Absolutas ".

Una vez centrado y nivelado el aparato en el vértice se observa al otro punto llamado señal y se dicta el ángulo horizontal que marque el aparato, haciendo cambio de posición se vuelve a observar la señal y se lee el ángulo horizontal; en esa misma posición se ubica al sol con la ayuda de la tarjeta blanca, una vez proyectado el Sol en la tarjeta se mueve el tornillo del enfoque para definir perfectamente al astro, es decir observar a este como un círculo perfecto, así mismo se deberán definir perfectamente los hilos de la retícula. Una vez bien definida la imagen aproximamos al astro a uno de los dos cuadrantes opuestos a los hilos dobles del hilo vertical y esperamos a que el astro toque simultáneamente los hilos vertical y horizontal ( ver figura V. 1a. ), en ese instante se le indica al anotador , para que este registre el tiempo y las lecturas de los círculos vertical y horizontal leídos por el observador. Siguiendo el método de

Registro V.1

Campo deportivo "El Charco", Uriangato, Gto.  
Observaciones al Sol tarde

25/ Mayo /96

observó: AGC

anotó: ARP

t = 33° C

$\Delta t = + 0.4$  s

p = 594 mm/Hg

$\delta = 21^{\circ} 00' 14''$   $Vh\delta = 26.4''$

EST	PO	TIEMPO	C. H.			C. V.						
V	Señal		313	59	46.5							
	Señal		133	59	57.1	133	59	51.8				
V	Sol	17 2 50.0	175	32	47.0	60	54	22.1	60	54	22.1	Zc 61 2 30.7
	Sol	17 3 39.2	175	35	4.8	61	6	11.1	61	6	11.1	So 21 7 44.8
	Sol	17 5 21.7	355	3	15.2	299	3	4.5	60	56	55.5	
	Sol	17 6 9.4	355	5	49.4	298	51	56.5	61	8	3.5	
	Sol	17 4 29.7	175	19	18.2				61	1	12.8	
	Sol	17 4 30.4	175	19	10.0				61	1	33.3	
	Sol	17 4 30.0	175	19	14.1				61	1	23.0	
V	Sol	17 11 48.0	355	25	10.9	297	34	58.6	62	25	1.4	Zc 63 2 36.7
	Sol	17 12 39.0	355	28	16.1	297	23	21.0	62	36	39.0	So 21 7 48.6
	Sol	17 13 50.3	176	9	15.6	63	25	4.9	63	25	4.9	
	Sol	17 14 49.9	176	12	38.2	63	38	44.6	63	38	44.6	
	Sol	17 13 19.0	175	48	54.6				63	1	53.0	
	Sol	17 13 14.6	175	48	45.8				63	0	52.0	
	Sol	17 13 16.8	175	48	50.2				63	1	22.5	
V	Sol	17 15 55.0	176	15	55.5	63	53	34.1	63	53	34.1	Zc 64 0 4.1
	Sol	17 16 37.0	176	18	34.8	64	2	47.6	64	2	47.6	So 21 7 50.5
	Sol	17 18 12.0	355	47	20.5	296	7	49.5	63	52	10.5	
	Sol	17 19 15.0	355	51	8.0	295	53	26.1	64	6	33.9	
	Sol	17 17 35.0	176	3	31.8				64	0	4.0	
	Sol	17 17 24.5	176	2	57.6				63	57	29.0	
	Sol	17 17 29.8	176	3	14.7				63	58	46.5	
V	Señal		313	59	53.9							
	Señal		133	59	59.9	133	59	56.9	133	59	54.4	

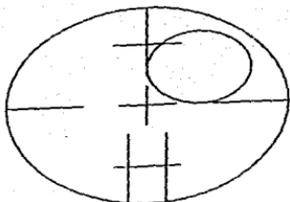


FIGURA V.1a

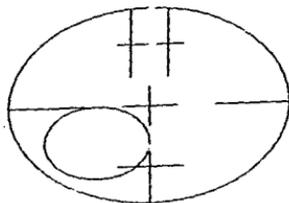


FIGURA V.1b

la doble tangencia se hace una lectura más en la misma posición del aparato y al finalizar se realiza un cambio de posición realizando en esta dos tangencias más en el cuadrante opuesto al empleado inicialmente ( ver figura V. 1b ). A las cuatro tangencias en dos posiciones diferentes ( dos directas y dos inversas ) se les llama serie, así que después de realizar tres o cinco series se procede a observar a la señal nuevamente haciendo dos lecturas del círculo horizontal ( una en posición directa y una en posición inversa ) . Ver registro V. 1.

### V. 1. b. Cálculo

Para poder calcular el azimut de un línea empleando este método será necesario saber primero lo siguiente:

Sea:

$$\text{sen } \delta = \text{sen } \varphi \cos Z + \cos \varphi \text{ sen } Z \cos Az$$

$$\cos Az = \frac{\text{sen } \delta - \text{sen } \varphi \cos Z}{\cos \varphi \text{ sen } Z}$$

$$\cos(a \pm b) = \cos a \cos b \pm \text{sen } a \text{ sen } b$$

$$a = b$$

$$\cos 2a = \cos^2 a - \text{sen}^2 a$$

$$1 = \cos^2 + \text{sen}^2 a$$

$$1 + \cos 2a = 2 \cos^2 a \Rightarrow 1 + \cos a = 2 \cos^2 \frac{1}{2} a$$

$$1 - \cos 2a = 2 \text{sen}^2 a \Rightarrow 1 - \cos a = 2 \text{sen}^2 \frac{1}{2} a$$

$$2 \cos^2 \frac{1}{2} Az = \frac{\cos \varphi \text{ sen } Z + \text{sen } \delta - \text{sen } \varphi \cos Z}{\cos \varphi \text{ sen } Z} \dots\dots\dots(1)$$

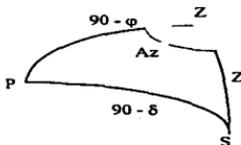
$$2 \text{sen}^2 \frac{1}{2} Az = \frac{\cos \varphi \text{ sen } Z - \text{sen } \delta + \text{sen } \varphi \cos Z}{\cos \varphi \text{ sen } Z} \dots\dots\dots(2)$$

$$d\epsilon(1)$$

$$2 \cos^2 \frac{1}{2} Az = \frac{\text{sen } \delta - \text{sen}(\varphi - Z)}{\cos \varphi \text{ sen } Z}$$

$$d\epsilon(2)$$

$$2 \text{sen}^2 \frac{1}{2} Az = \frac{\text{sen}(\varphi + Z) - \text{sen } \delta}{\cos \varphi \text{ sen } Z}$$



$$\operatorname{sen}(a \pm b) = \operatorname{sen} a \cos b \pm \operatorname{sen} b \cos a$$

$$a + b = p, a - b = q$$

$$2a = p + q \Rightarrow a = \frac{p+q}{2}$$

$$2b = p - q \Rightarrow b = \frac{p-q}{2}$$

$$\operatorname{sen} p = \operatorname{sen} \frac{1}{2}(p+q) \cos \frac{1}{2}(p-q) + \cos \frac{1}{2}(p+q) \operatorname{sen} \frac{1}{2}(p-q)$$

$$\operatorname{sen} q = \operatorname{sen} \frac{1}{2}(p+q) \cos \frac{1}{2}(p-q) - \cos \frac{1}{2}(p+q) \operatorname{sen} \frac{1}{2}(p-q)$$

$$\operatorname{sen} p + \operatorname{sen} q = 2 \operatorname{sen} \frac{1}{2}(p+q) \cos \frac{1}{2}(p-q)$$

$$\operatorname{sen} p - \operatorname{sen} q = 2 \cos \frac{1}{2}(p+q) \operatorname{sen} \frac{1}{2}(p-q)$$

$$\operatorname{sen} \varphi + z = q$$

$$2 \cos^{\frac{1}{2}} Az = \frac{2 \cos \frac{1}{2}(\delta + \varphi - z) \operatorname{sen}(\delta - \varphi + z)}{\cos \varphi \operatorname{sen} z}$$

$$2 \operatorname{sen}^{\frac{1}{2}} Az = \frac{2 \cos \frac{1}{2}(\delta + \varphi + z) \operatorname{sen}(-\delta + \varphi + z)}{\cos \varphi \operatorname{sen} z}$$

$$2S = \varphi + z + \delta \Rightarrow S = \frac{1}{2}(\varphi + z + \delta)$$

$$(S - \varphi) = \frac{1}{2}(z + \delta - \varphi)$$

$$(S - z) = \frac{1}{2}(\varphi + \delta - z)$$

$$(S - \delta) = \frac{1}{2}(\varphi + z - \delta)$$

$$2 \cos^{\frac{1}{2}} Az = \frac{2 \cos(S - z) \operatorname{sen}(S - \varphi)}{\cos \varphi \operatorname{sen} z}$$

$$2 \operatorname{sen}^{\frac{1}{2}} Az = \frac{2 \cos S \operatorname{sen}(S - \delta)}{\cos \varphi \operatorname{sen} z}$$

$$\cos^{\frac{1}{2}} Az = \sqrt{\frac{\cos(S - z) \operatorname{sen}(S - \varphi)}{\cos \varphi \operatorname{sen} z}}$$

$$\operatorname{sen}^{\frac{1}{2}} Az = \sqrt{\frac{\cos S \operatorname{sen}(S - \delta)}{\cos \varphi \operatorname{sen} z}}$$

$$\tan^{\frac{1}{2}} Az = \sqrt{\frac{\cos S \operatorname{sen}(S - \delta)}{\cos(S - z) \operatorname{sen}(S - \varphi)}}$$

Ecuaciones para obtener el azimut por el método de Alturas

Absolutas.

Una vez deducidas las expresiones que servirán para determinar el azimut utilizando este método, procedemos a:

1.- Determinar los promedios de Tiempos, Angulos Horizontales ( tanto del Sol como de la señal ) y Angulos verticales. Ver registro V.1.

Nota : en este Capitulo solo se darán los resultados, ya que el procedimiento para obtener los promedios de las observaciones se explicó en el tema " Método Astronómico de Alturas Absolutas para determinar el Tiempo " del Capitulo III.

2.- Corregir los promedios de los ángulos verticales por Refracción y Paralaje.

En este Capitulo no se verán las expresiones ni los pasos a seguir para determinar dichas correcciones, ya que estas se han venido empleando a lo largo de este trabajo. Así que por tal motivo solo se presentaran los resultados. Ver registro V.1.

3.- Determinar la Declinación del astro observado al momento de la observación.

Debido a que a lo largo de este trabajo ya se explicó el modo de determinar el valor de la Declinación del astro ( Sol ) al momento de la observación, en este Capitulo solo daremos los resultados. Ver registro V.1.

4.- Calcular el Azimut de la línea deseada.

Expresión a utilizar Ver registro V.2	$\tan \frac{1}{2} Az = \sqrt{\frac{\cos S \operatorname{sen}(S - \delta)}{\cos(S - Zc) \operatorname{sen}(S - \varphi)}}$
Datos que se emplearán en la expresión	$\delta$ = Declinación del astro al momento de la observación. $Zc$ = Distancia Zenital corregida por Refracción y Paralaje. $\varphi$ = Latitud del lugar. $S = (\delta + Zc + \varphi) / 2$

Se debe aclarar que la ecuación para determinar el Azimut no nos proporciona el valor del Azimut de la línea, sino el valor del Azimut del Sol, por tal motivo el resultado de esta

Registro V.2

Campo deportivo "El Charco", Uriangato.Gto. 25/ Mayo /96

observó:AGC

Cálculo de la observaciones al Sol tarde

calculó: AGC

$$\Delta t = + 0.4 \text{ s}$$

$$P = 59.4 \text{ mm/Hg}$$

$$t = 33^\circ \text{ C}$$

$$\delta = 21^\circ 00' 14''$$

$$Vh\delta = 26.4''$$

So	21	7	44.8	21	7	48.6	21	7	50.5
Zc	61	2	30.7	63	2	36.7	64	0	4.1
qp	20	8	30.1	20	8	30.1	20	8	30.1
S	51	9	22.8	52	9	27.7	52	38	12.4
Az	76	21	27.8	75	51	46.4	75	37	15.8
Ah sol	175	19	14.1	175	48	50.2	176	3	14.7
Az 0°	108	19	8.1	108	19	23.4	108	19	29.5
A señal	133	59	54.4	133	59	54.4	133	59	54.4
Az señal	242	19	2.5	242	19	17.8	242	19	23.9
Az prom	242	19	14.7						

expresión en el registro V.2. estará dado por las letras " Az ". Posteriormente en el mismo registro V.2. se anota el promedio del ángulo horizontal del Sol ( H sol ), valor que deberá ser restado al valor del Azimut ( Az ) para obtener el valor del Azimut origen ( Az 0° ), sumándole a este último valor el promedio del ángulo horizontal de la señal ( A señal ), siendo el resultado el valor del Azimut de la línea orientada ( Az señal ). Cabe mencionar que el valor que se considerará como bueno será el promedio de los resultados obtenidos de cada serie, realizada tanto en la mañana como en la tarde.

Se debe aclarar que las horas recomendables para aplicar este método serán entre las 8:30 y las 10:30 y las 15:30 y las 18:00 horas.

## V. 2. DETERMINACION DEL AZIMUT Y EL ANGULO HORARIO SIMULTÁNEAMENTE

### V. 2. a. Metodología de Campo.

Se emplea la misma que en el caso de Alturas Absolutas. Ver registro V. 3.

### V.2. b. Cálculo.

Para poder obtener la ecuación que nos permita calcular el Angulo Horario en función del Azimut, se retomara la expresión:

$$\tan \frac{1}{2} H = \sqrt{\frac{\text{sen}(S - \delta) \text{sen}(S - \varphi)}{\cos S \cos(S - z)}} \dots\dots\dots(1)$$

obtenida en el Capítulo III " Determinación de la Longitud ", en el Método de Alturas Absolutas, además de recordar la ecuación obtenida en este capítulo para el cálculo del Azimut por el Método de Alturas Absolutas:

Registro V.3

Campo deportivo "El Charco", Uriangato, Gto.

26/ Enero /96

observ: JMRG

Observaciones al Sol mañana

anod: AGC

$\Delta t = +0.5 s$

$p = 594.9 \text{ mm}^2/\text{kg}$

$t = 24^\circ \text{C}$

$\Delta = -18^\circ 52' 48''$

$Vh\delta = 37.5^\circ$

ENT	PO	TIEMPO	C. H.		C. V.					
V	Señal		14	4	50.3					
	Señal		194	4	59.5	14	4	54.9		
V	Sol	9 46 11.8	81	28	19.3	299	32	39.0	60 27 21.0	Zc 60 28 27.9
	Sol	9 47 33.9	81	36	50.8	299	42	16.7	60 17 43.3	So -18 46 40.4
	Sol	9 48 46.8	262	26	50.0	60	36	8.8	60 36 8.8	
	Sol	9 49 31.9	262	34	4.7	60	27	44.0	60 27 44.0	
	Sol	9 48 6.8	262	1	12.0				60 27 32.5	
	Sol	9 48 10.4	262	1	50.4				60 26 56.0	
	Sol	9 48 8.6	262	1	31.4				60 27 14.2	
V	Sol	9 54 57.8	263	29	28.2	59	27	15.2	59 27 15.2	Zc 58 58 40.1
	Sol	9 55 42.6	263	37	17.0	59	19	1.2	59 19 1.2	So -18 46 35.4
	Sol	9 56 38.0	83	8	50.0	301	23	19.3	58 36 40.7	
	Sol	9 57 30.9	83	18	4.0	301	32	53.2	58 27 6.8	
	Sol	9 56 14.4	263	23	46.1				58 37 11.0	
	Sol	9 56 10.3	263	23	3.5				58 57 51.0	
	Sol	9 56 12.4	263	23	24.8				58 57 31.0	
V	Sol	10 2 35.9	84	12	21.0	302	28	15.7	57 31 44.3	Zc 57 33 14.9
	Sol	10 3 40.9	84	24	9.5	302	40	15.0	57 19 45.0	So -18 46 30.4
	Sol	10 4 32.0	265	11	55.2	57	42	19.1	57 42 19.1	
	Sol	10 5 14.9	265	19	41.3	57	34	48.7	57 54 48.7	
	Sol	10 3 55.4	264	46	1.2				57 33 16.5	
	Sol	10 4 6.9	264	48	2.4				57 31 7.0	
	Sol	10 4 0.9	264	47	1.8				57 32 9.2	
V	Sol	10 12 31.9	266	41	40.7	56	16	58.8	56 16 58.8	Zc 55 48 48.5
	Sol	10 13 12.9	266	49	31.3	56	9	50.3	56 9 50.3	So -18 46 24.4
	Sol	10 14 17.0	86	22	18.5	304	33	27.8	55 26 32.2	
	Sol	10 15 6.9	86	31	55.7	304	42	8.6	55 17 51.4	
	Sol	10 13 49.4	266	36	48.2				55 47 25.1	
	Sol	10 13 45.0	266	35	54.9				55 48 11.2	
	Sol	10 13 47.2	266	56	21.6				55 47 48.2	
V	Sol	10 19 13.9	87	20	5.8	305	25	8.3	54 34 51.7	Zc 54 38 11.9
	Sol	10 20 1.9	87	29	35.3	305	33	24.0	54 26 36.0	So -18 46 20.2
	Sol	10 21 9.0	268	23	10.0	54	47	6.0	54 47 6.0	
	Sol	10 21 47.9	268	30	56.7	54	40	22.9	54 40 22.9	
	Sol	10 20 30.9	267	55	31.2				54 37 37.3	
	Sol	10 20 35.4	267	56	22.6				54 36 51.0	
	Sol	10 20 33.2	267	55	56.9				54 37 14.2	
V	Señal		14	4	49.0					
	Señal		194	4	49.0	14	4	49.0		

$$\tan \frac{1}{2} Az = \sqrt{\frac{\cos S \sin(S - \delta)}{\cos(S - z) \sin(S - \varphi)}} \dots \dots \dots (2)$$

dividiendo la expresión ( 1 ) entre la ( 2 )

$$\frac{\tan \frac{1}{2} H}{\tan \frac{1}{2} Az} = \sqrt{\frac{\sin(S - \delta) \sin^2(S - \varphi) \cos(S - z)}{\cos^2 S \cos(S - z) \sin(S - \delta)}}$$

despejando:

$\tan \frac{1}{2} H$ , tendremos

$$\tan \frac{1}{2} H = \frac{\sin(S - \varphi)}{\cos S} \tan \frac{1}{2} Az$$

siendo las expresiones:

$\tan \frac{1}{2} Az = \sqrt{\frac{\cos S \sin(S - \delta)}{\cos(S - Zc) \sin(S - \varphi)}} \dots \dots \dots (3)$
$\tan \frac{1}{2} H = \frac{\sin(S - \varphi)}{\cos S} \tan \frac{1}{2} Az \dots \dots \dots (4)$

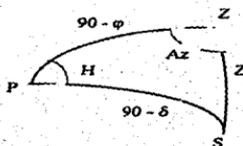
las que se emplearán en este trabajo para el cálculo del Azimut y el Angulo Horario de las observaciones realizadas en este caso al Sol, donde:

$$S = (\delta + Zc + \varphi) / 2$$

$\delta$  = Declinación del astro a la hora de la observación.

$Zc$  = Distancia Cenital corregida por Refracción y Paralaje.

$\varphi$  = Latitud del lugar de observación



Cabe señalar que las expresiones y el procedimiento para el cálculo de  $\delta$  y  $Zc$  ya se vieron, así que en este ocasión solo se darán los resultados. Ver registro V. 3.

$$\tan \frac{1}{2} Az = \sqrt{\frac{\cos S \operatorname{sen}(S - \delta)}{\cos(S - z) \operatorname{sen}(S - \varphi)}} \dots\dots\dots(2)$$

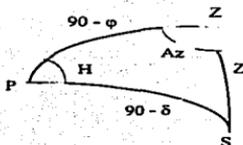
dividiendo la expresión ( 1 ) entre la ( 2 )

$$\frac{\tan \frac{1}{2} H}{\tan \frac{1}{2} Az} = \sqrt{\frac{\operatorname{sen}(S - \delta) \operatorname{sen}^2(S - \varphi) \cos(S - z)}{\cos^2 S \cos(S - z) \operatorname{sen}(S - \delta)}}$$

despejando:

$\tan \frac{1}{2} H$ , tendremos

$$\tan \frac{1}{2} H = \frac{\operatorname{sen}(S - \varphi)}{\cos S} \tan \frac{1}{2} Az$$



siendo las expresiones:

$$\tan \frac{1}{2} Az = \sqrt{\frac{\cos S \operatorname{sen}(S - \delta)}{\cos(S - Zc) \operatorname{sen}(S - \varphi)}} \dots\dots\dots(3)$$

$$\tan \frac{1}{2} H = \frac{\operatorname{sen}(S - \varphi)}{\cos S} \tan \frac{1}{2} Az \dots\dots\dots(4)$$

las que se emplearán en este trabajo para el cálculo del Azimut y el Angulo Horario de las observaciones realizadas en este caso al Sol, donde:

$$S = ( \delta + Zc + \varphi )/2$$

$\delta$  = Declinación del astro a la hora de la observación.

$Zc$  = Distancia Cenital corregida por Refracción y Paralaje.

$\varphi$  = Latitud del lugar de observación

Cabe señalar que las expresiones y el procedimiento para el cálculo de  $\delta$  y  $Zc$  ya se vieron, así que en este ocasión solo se darán los resultados. Ver registro V. 3.



De la expresión ( 3 ) se puede apreciar que el valor del Azimut corresponde al Azimut del Sol, así que será necesario seguir el mismo modo de cálculo que en el Método de Alturas Absolutas para determinar el Azimut de la línea descada, así que solo se darán los resultados. Ver registro V.4.

De la expresión ( 4 ) se puede observar que si con el valor obtenido del Angulo Horario ( H ), deseamos conocer la diferencia de Longitudes (  $\Delta\lambda$  ) del lugar debemos de seguir la misma forma de calculo que en el tema de " Método Astronómico de Alturas Absolutas para determinar el Tiempo ", visto en el Capitulo III. Ver registro V. 4.

### V. 3. DETERMINACION DEL AZIMUT POR LA OBSERVACION DE UNA ESTRELLA CIRCUMPOLAR EN FUNCION DEL ANGULO HORARIO Y LA DISTANCIA CENTAL.

#### V. 3. a. Metodología de Campo

- 1.- Identificar y materializar dos vértices que formen la línea de la cual se desea conocer su azimut.
- 2.- Uno de los dos vértices será donde se ubique el aparato y el otro será la señal.
- 3.- Centrar y nivelar el aparato que se utilizará para la orientación.
- 3.- Colocarle al aparato que se empleará para la orientación su sistema de iluminación.
- 4.- Determinar el Tiempo Siderio Local para una hora media propuesta.
- 5.- Obtener el  $\Delta t$  del reloj a utilizar durante la orientación.
- 6.- Observar el astro.

Astro a Observar	Estrella Polar ( Polaris, $\alpha$ Umi )
Datos que se registran en campo	Presión atmosférica.
Ver registro V.5.	Temperatura.
	Tiempo Siderio al momento de la

	<b>observación.</b> <b>Círculo Horizontal del astro y de la línea.</b> <b>Círculo vertical del astro.</b> <b>Nombre del observador.</b> <b>Nombre del anotador.</b>
<b>Equipo a emplear</b>	<b>Teodolito con sistema de iluminación.</b> <b>Reloj con segundo.</b> <b>Termómetro.</b> <b>Aneroide.</b> <b>Radio de onda corta.</b> <b>Lampara sorda.</b>

Del equipo que se en lista anteriormente el termómetro y el aneroides serán necesarios para poder tener la presión y temperatura a la hora de la observación y poder corregir las Distancias Zenitales por Refracción.

El radio de onda corta nos servirá para poder obtener el  $\Delta t$  del reloj, por el método de coincidencias visto en el Capítulo III. Tema III. 6. 2. " Determinación del Tiempo por el Método de Alturas Iguales de dos Estrellas Observadas a la misma Altura, una al Este y otra al Oeste ".

Una vez centrado y nivelado el aparato en el vértice se observa al otro punto llamado señal y se dicta el ángulo horizontal que marque el aparato, haciendo cambio de posición se vuelve a observar la señal y se lee el ángulo horizontal; en esa misma posición se ubica y se observa al astro de la misma manera que en el tema " Determinación de la Latitud por el Método de Littrow ", visto en el Capítulo IV.

Cabe mencionar que en este método no solo se tomarán tiempos y lecturas del círculo vertical, sino también al momento de cada cruce del astro por los hilos horizontal y vertical se tomarán las lecturas del círculo horizontal. Ver registro V. 5.

Registro V. 5

Lagunilla del Encinal, Uriangato.Gto.

25/ Enero /97

observó:AGC  
cronométró:ASF

Observaciones a la Polar

P = 797 mbar/Hg

t = 7.5° C

α = 02h 29m 22.9s

δ = 89° 15' 19."3

EST	PO	TIEMPO	C.H		C.V.						
V17	A		99	34	22,8						
			279	33	52,8	279	34	31,0			
V17	Polar	9 16	32,8	20 40	34,2	69 59	39,1	69 59	39,1	Z	70 0 6,6
	Polar	9 17	23,6	20 39	33,5	70 0	10,9	70 0	10,9	R	2 2 6,8
	Polar	9 19	55,6	200 39	34,7	290 0	7,5	69 59	52,5	Zc	70 2 13,4
	Polar	9 21	7,4	200 40	43,5	289 59	16,0	70 0	44,0		
		9 18	50,1	20 40	8,8			70 0	11,6		
		9 18	39,6	20 40	4,1			70 0	1,7		
		9 18	44,8	20 40	6,4			70 0	6,6		
V17	Polar	9 22	26,8	200 41	6,2	289 59	20,1	70 0	39,9	Z	70 1 24,7
	Polar	9 23	18,2	200 39	43,9	289 59	7,4	70 0	52,6	R	2 2 7,0
	Polar	9 25	30,8	20 41	10,1	70 1	47,0	70 1	47,0	Zc	70 3 31,7
	Polar	9 26	34,6	20 39	58,9	70 2	19,2	70 2	19,2		
		9 24	30,7	20 40	32,6			70 1	29,6		
		9 24	24,5	20 40	27,0			70 1	19,8		
		9 24	27,6	20 40	29,8			70 1	24,7		
V17	Polar	9 27	48,8	20 40	1,5	70 1	49,0	70 1	49,0	Z	70 1 57,5
	Polar	9 29	16,2	20 41	24,5	70 1	48,0	70 1	48,0	R	2 2 7,0
	Polar	9 30	52,6	200 40	17,6	289 57	51,1	70 2	8,9	Zc	70 4 4,5
	Polar	9 32	5,2	200 41	27,8	289 57	55,7	70 2	4,3		
		9 29	57,0	20 40	44,6			70 1	56,6		
		9 30	4,4	20 40	51,0			70 1	58,4		
		9 30	0,7	20 40	47,8			70 1	57,5		
V17	A			99	34	4,5					
	A			279	33	52,0	279	33	58,2		
							279	34	3,0		

### V. 3. b. Cálculo

Para poder determinar el Azimut de una línea empleando este método debemos saber que:

$$\frac{\text{sen } Az}{\text{cos } \delta} = \frac{\text{sen } H}{\text{sen } z}$$

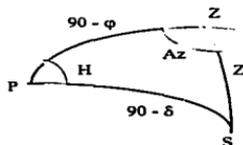
$$\Rightarrow \text{sen } Az = \text{sen } H \text{cos } \delta \text{csc } z \dots\dots\dots (5)$$

de donde:

$$H = T - \alpha \dots\dots\dots (6)$$

$\delta$  = Declinación del astro observado

$z$  = Distancia Cenital del astro observado



Nota :  $\alpha$  y  $\delta$  son datos obtenidos del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional.

T es el promedio del tiempo cronometrado al momento de la observación.

Se debe recordar que para hacer uso de las expresiones ( 5 ) y ( 6 ) será necesario emplear los promedios de las observaciones y las Distancias Centales corregidas por Refracción ( ver registros V.5 y V.6 )

La forma de obtener los promedios de los tiempos y ángulos es la misma que se emplea en el tema de " Método Astronómico de Alturas Absolutas para determinar el Tiempo ", visto en el Capítulo III. por tal motivo aquí solo se darán los resultados ( ver registro V.5. ).

Cabe señalar además que la ecuación ( 5 ) nos proporciona el valor del Azimut de la Polar ( expresado en el registro V. 6 como " Az polar " ) y como el objetivo es determinar el Azimut de la línea establecida debemos realizar un proceso muy parecido al del Azimut por

Registro V.6

Lagunilla del Encinal, Uriangato, Gto.  
Cálculo de las observaciones a la Polar

25/ Enero /97

observó: AGC  
calculó: AGC

P = 797 mbar/Hg  
 $\delta = 89^{\circ} 15' 19.73$

$t = 7.5^{\circ} C$   
 $\alpha = 02h 29m 19.3s$

Zc	70	2	13,4	70	3	31,7	70	4	4,5
$\delta$	89	15	19,3	89	15	19,3	89	15	19,3
T	9	18	44,8	9	24	27,6	9	30	0,7
$\alpha$	2	29	22,9	2	29	22,9	2	29	22,9
Hh	6	49	21,9	6	55	4,7	7	0	37,8
Az polar	0	46	26,2	0	46	9,7	0	45	52,3
Ah polar	20	40	6,4	20	40	29,8	20	40	47,8
Az 0°	21	26	32,6	21	26	39,5	21	26	40,1
Ah señal	279	34	3,0	279	34	3,0	279	34	3,0
Az señal	258	7	30,4	258	7	23,5	258	7	22,9
AZ prom	258	7	25,6						

observaciones al Sol, en el cual intervendrán el ángulo horizontal a la Polar ( Ah polar ) y al ángulo horizontal a la señal ( A señal ). Ver registro V.6.

## **CAPITULO VI CONCLUSIONES**

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES

1.- Durante el desarrollo de este trabajo tanto en campo como en gabinete pude darme cuenta que el Ingeniero Topógrafo y Geodesta de nuestros tiempos no solo debe conocer la tecnología de punta como son los Sistemas de Posicionamiento Global y Local ( GPS y GPL ), sino además debe de dominar las bases de esta tecnología como lo es la Astronomía de Posición y la Geodesia Geométrica, ya que para poder comprender el funcionamiento de cualquier aparato moderno debemos conocer el más clásico.

Así mismo pude apreciar que hasta el momento en nuestro país no son obsoletos los posicionamientos clásicos, a pesar de la existencia de los receptores GPS; ya que no toda la gente cuenta con este tipo de tecnología ya sea por su costo o por su poca información sobre esta.

Por otra parte tenemos que tomar en cuenta que no siempre la tecnología de vanguardia es útil para todos los trabajos de campo, con esto me refiero a que aunque en la actualidad ya se cuenta con computadoras portátiles ( LapTop Computer ), estas no son lo totalmente convenientes para un trabajo de campo, orillándonos esto al empleo de una calculadora científica con capacidad mediana y de uso rudo. Así mismo cito el ejemplo de las estaciones totales, las cuales no son recomendables para observaciones al Sol, ya que cuentan con un diodo para la lectura de las distancias con rayo laser que al contacto con una luz diferente provoca que el diodo se quemé. Otro ejemplo de que no todo lo nuevo es útil son los teodolitos electrónicos, los cuales con la humedad ambiente de una noche de observaciones a los astros pierden su visibilidad.

Con lo anterior no pretendo decir que lo nuevo es malo, mas bien lo que pretendo decir es que debemos de tomar siempre en cuenta las características del trabajo a realizar, así como las

características de los equipos modernos para no tener problemas a la hora de desarrollar cualquier trabajo.

2.- Durante las observaciones realizadas en El campo deportivo " El Charco " en Uriangato, Gto., la experiencia de uno de los ingenieros fue de gran importancia para determinar la existencia de un error en el Anuario del Observatorio Astronómico Nacional.

El error se encontró en el Capítulo Poblaciones. Posiciones Geográficas, ya que en el valor de la Longitud de Uriangato, Gto., es de 100° debiendo ser de 101°.

Este error nos llevó a que en Enero de 1996 cuando se realizaba la observación de los pares de estrellas estos entraban con un retraso constante de 4 minutos, además de entrar bastante distantes del hilo vertical de la retícula del aparato con el que se estaba observando, este retraso llevó a que el ingeniero encargado se pusiera a revisar el Anuario para ver si los datos con los que se habían calculado los pares de estrellas correspondían al lugar de observación y en efecto, correspondían, pero cabía la duda de que existiera un error, ya que en el valor de la Longitud del Municipio de Moroleón es de 101°, y dicho lugar se encuentra a un lado del Municipio de Uriangato siendo su diferencia de longitudes menor de un grado.

Una vez analizadas las condiciones se llegó a la conclusión de que el valor del Anuario estaba mal, llevando esto a que a los tiempos cronometrados para las observaciones de la Estrella Polar se les tuvieran que restar 4 minutos para que con estos nuevos tiempos se procediera a recalcular el Azimut de la línea orientada; así como también la Latitud del vértice donde se encontraba centrado el aparato.

Los valores obtenidos al principio son:

$$Az = 239^{\circ} 03' 11.3''$$

$$\varphi = 20^{\circ} 09' 12.8''$$

Los valores obtenidos con la corrección de los 4 minutos son:

$$Az = 239^{\circ} 03' 42.5''$$

$$\varphi = 20^{\circ} 08' 35.9''$$

Nota el oficio enviado al Instituto de Astronomía de la UNAM, para la modificación del valor del Anuario se incluye en los anexos ( anexo 3 ).

Como se puede apreciar en los resultados anteriores la diferencia es demasiado significativa para la determinación de las coordenadas geográficas de un lugar.

Con lo expuesto anteriormente pretendo decir que no solo debemos de dominar los conocimientos teóricos, sino que debemos de conocer el trabajo de campo, para ser unos profesionistas completos.

3.- Esta tercera conclusión esta referida a otro error encontrado en el Anuario del Observatorio Astronómico Nacional.

El error en cuestión es referente a las efemérides del Sol de 1997, ya que las que aparecieron en un principio en el Anuario están referidas a las 12 horas del meridiano 90 W. G. y tienen escrita como referencia las 0 horas. Esto nos da un error en los resultados obtenidos de la Declinación del Sol a la hora de observación, llevándonos a errores en el cálculo de las orientaciones realizadas con este astro.

Este error también fue detectado por la experiencia de un ingeniero, ya que al calcular la diferencia de longitudes de la Facultad de Ingeniería con unas observaciones realizadas en dicho lugar durante este año, el valor obtenido varía un minuto de tiempo con el valor ya conocido, esto es que en vez de dar como resultado 36m, daba 35m, lo cual es imposible de que suceda por ser un punto orientado durante casi todos los sábados de cada año. Así que por tal diferencia el ingeniero encargado de la asignatura de Astronomía de Posición, dedujo que existía un error en el Anuario, ya que todos los alumnos habían cronometrado los mismos

tiempos. Este error se confirmó con la Fe de erratas del Anuario, proporcionada en Mayo del año en curso.

De las dos conclusiones anteriores puedo decir que para un alumno o un profesional novato es muy difícil determinar la causa del error, si es que encuentra el error. En los dos casos se puede apreciar que la experiencia fue factor fundamental para determinar la existencia de un error, lo cual nos lleva a repetir que la práctica profesional es de vital importancia.

Con estas conclusiones se desea que el lector se prepare más de lo que le proporciona la escuela, ya que en el caso de que las efemérides del Sol estén referidas a las 12 horas sepa como calcular la Declinación del astro para cualquier otra hora o bien pueda elegir la tecnología de acuerdo a sus necesidades y características propias de cada producto.

Así mismo hago una atenta invitación para que haya más Ingenieros Topógrafos y Geodestas que se dediquen a la investigación, sin importar los obstáculos a vencer.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Apuntes Inéditos de Astronomía de Posición.  
Ing. Jesús Ma. Ruiz Galindo.  
México, D. F. 1994
- 2.- Elementos de Astronomía de Posición.  
Ing. Manuel Medina Peralta.  
Ed. Limusa  
Segunda Reimpresión  
México, D. F. 1986
- 3.- Astronomía de Posición para Topógrafos  
Tomos I y II  
Ing. Alberto González Mata.  
México, D. F., 1985
- 4.- Anuario del Observatorio Astronómico Nacional 1996.  
Instituto de Astronomía de la UNAM  
México, D. F.
- 5.- Anuario del Observatorio Astronómico Nacional 1997.  
Instituto de Astronomía de la UNAM  
México, D. F.
- 6.- Métodos Topográficos.  
Ing. Ricardo Toscano.  
Ed. Porrúa.  
México, D.F., 1960

**7.- Física. Conceptos y Aplicaciones**

**Paul E. Tippens**

**Ed. McGraw - Hill**

**México, D. F. 1986**

**ANEXOS**

## GLOSARIO

**Å:** angstrom. Unidad de medida empleada para la longitud de onda; es equivalente a 0.01 nm.

**Anuario del Observatorio Astronómico Nacional:** guía de deposiciones de objetos celestes y eventos astronómicos que se publica cada año por el Instituto de Astronomía de la UNAM.

**Apoceo:** punto orbital más alejado de un cuerpo respecto a la Tierra.

**Constelación:** grupo de estrellas, cuya asociación esquemática o mítica, sirve para identificar cierta región de la Esfera Celeste, en la actualidad el cielo está dividido en 88 grupos estelares.

**Culminación:** paso de un cuerpo celeste por el meridiano de observador o punto en el que alcanza la máxima altura máxima altura en su movimiento diurno.

**Declinar:** inclinarse. Aproximarse a un fin.

**Efemérides:** lista de posiciones astronómicas de un cuerpo.

**Estrella:** esfera de gas incandescente cuya fuente de energía son las reacciones nucleares.

**Greenwich:** Región conurbada de Londres cerca de Río Támesis, donde se encontraba un Observatorio Astronómico. El Meridiano del lugar se toma como origen, es decir, es el Meridiano cero.

**Hemisferio:** se llama así a la mitad de la Esfera Celeste y la Tierra, designando a las dos partes de cada una como Hemisferio Norte o Boreal y Hemisferio Sur o Austral.

**Luna:** satélite natural de la Tierra. Después del Sol, es el objeto más brillante del Cielo. Su diámetro es de 3476 km y su masa es de  $7.35 \times 10^{22}$ , apenas 1.22% de la terrestre.

**Meridiano 90° W.G.** : Meridiano que atraviesa la Península de Yucatán. Se encuentra a 90° al Oeste del Meridiano de Greenwich, Inglaterra. Define el uso horario de 6 horas al Oeste de Greenwich y la llamada Hora del Centro en la República Mexicana. Difiere de la hora local del Distrito Federal en 36 minutos 37 segundos.

**Movimiento Diurno:** movimiento aparente de los cuerpos celestes, causado por la rotación de la Tierra, que hace ver que la Esfera Celeste se mueve de Este a Oeste.

**Nadir:** punto de la Esfera celeste diametralmente opuesto al Zenit.

**nm:** nanómetro. Es la unidad del SI para cuantificar la longitud de onda, equivale a una billonésima parte del metro.

**Orbita:** trayectoria de un cuerpo celeste al rededor de otro.

**Paso superior por el Meridiano:** tránsito de un objeto celeste por el Meridiano del observador.

**Perigeo:** punto en el cual un cuerpo en órbita en torno a la Tierra alcanza su menor distancia a ésta.

**Perihelio:** punto en el cual un cuerpo en órbita en torno al Sol, alcanza su menor distancia a éste.

**Planeta:** cuerpo celeste esférico de tamaño considerable de al menos 1000 km de diámetro. No emite luz propia. Su masa es tal que la energía liberada por las reacciones nucleares en su interior, no son suficientes para que se convierta en una estrella.

**Polar :** Estrella Polar,  $\alpha$  UMi . Se localiza a tan solo 0.9° del Polo Norte Celeste.

**Polos Celestes:** son los puntos donde el eje del rotación de la Tierra prolongado corta a la Esfera Celeste.

**Polo Norte Celeste:** punto de intersección de la proyección del eje de rotación terrestre (ideal) con el Círculo Vertical que pasa por la Estrella Polar.

**Polos Terrestres:** son los puntos donde el eje de rotación de la Tierra atraviesa la superficie terrestre.

**Sideral:** término relativo a las estrellas.

**Sol:** estrella más cercana a la tierra. Estrella clasificada como enana amarilla y de magnitud absoluta 4.8 .

**Tierra:** planeta rocosa. Su distancia al Sol es una Unidad Astronómica; tiene un satélite natural, la luna. La masa terrestre es de  $5.98 \times 10^{27}$  g.

**Tránsito:** paso de un objeto celeste por un Meridiano.

**Unidad Astronómica U.A. :** distancia media entre la Tierra y el Sol (150 millones de km aproximadamente).

**Zenit o Cenit:** punto de la Esfera Celeste que se encuentra exactamente encima del observador.

**ANEXO 2**  
**TABLAS DE CORRECCIONES PARA LA**  
**TRANSFORMACION DE TIEMPO MEDIO A SIDERIO**

---

Conversión de hora legal a hora sideral

	0h		1h		2h		3h		4h		5h			
	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s		
0	0	0.00	0	9.86	0	19.71	0	29.57	0	39.43	0	49.28	0	0.00
1	0	0.16	0	10.02	0	19.89	0	29.73	0	39.59	0	49.45	1	0.00
2	0	0.33	0	10.18	0	20.04	0	30.00	0	39.75	0	49.61	2	0.01
3	0	0.49	0	10.35	0	20.21	0	30.06	0	39.92	0	49.78	3	0.01
4	0	0.66	0	10.51	0	20.37	0	30.23	0	40.08	0	49.94	4	0.01
5	0	0.82	0	10.68	0	20.53	0	30.39	0	40.25	0	50.10	5	0.01
6	0	0.99	0	10.84	0	20.70	0	30.55	0	40.41	0	50.27	6	0.02
7	0	1.15	0	11.01	0	20.86	0	30.72	0	40.58	0	50.43	7	0.02
8	0	1.31	0	11.17	0	21.03	0	30.88	0	40.74	0	50.60	8	0.02
9	0	1.48	0	11.33	0	21.19	0	31.05	0	40.90	0	50.76	9	0.02
10	0	1.64	0	11.50	0	21.36	0	31.21	0	41.07	0	50.92	10	0.03
11	0	1.81	0	11.66	0	21.52	0	31.38	0	41.23	0	51.09	11	0.03
12	0	1.97	0	11.83	0	21.68	0	31.54	0	41.40	0	51.25	12	0.03
13	0	2.14	0	11.99	0	21.85	0	31.70	0	41.56	0	51.42	13	0.04
14	0	2.30	0	12.16	0	22.01	0	31.87	0	41.73	0	51.58	14	0.04
15	0	2.46	0	12.32	0	22.18	0	32.03	0	41.89	0	51.75	15	0.04
16	0	2.63	0	12.48	0	22.34	0	32.20	0	42.05	0	51.91	16	0.04
17	0	2.79	0	12.65	0	22.51	0	32.36	0	42.22	0	52.07	17	0.05
18	0	2.95	0	12.81	0	22.67	0	32.53	0	42.38	0	52.24	18	0.05
19	0	3.12	0	12.98	0	22.83	0	32.69	0	42.55	0	52.40	19	0.05
20	0	3.29	0	13.14	0	23.00	0	32.85	0	42.71	0	52.57	20	0.05
21	0	3.45	0	13.31	0	23.16	0	33.02	0	42.88	0	52.73	21	0.06
22	0	3.61	0	13.47	0	23.33	0	33.18	0	43.04	0	52.90	22	0.06
23	0	3.78	0	13.63	0	23.49	0	33.35	0	43.20	0	53.06	23	0.06
24	0	3.94	0	13.80	0	23.66	0	33.51	0	43.37	0	53.22	24	0.07
25	0	4.11	0	13.96	0	23.82	0	33.68	0	43.53	0	53.39	25	0.07
26	0	4.27	0	14.13	0	23.98	0	33.84	0	43.70	0	53.55	26	0.07
27	0	4.44	0	14.29	0	24.15	0	34.00	0	43.86	0	53.72	27	0.07
28	0	4.60	0	14.46	0	24.31	0	34.17	0	44.03	0	53.88	28	0.08
29	0	4.76	0	14.62	0	24.48	0	34.33	0	44.19	0	54.05	29	0.08
30	0	4.93	0	14.78	0	24.64	0	34.50	0	44.35	0	54.21	30	0.08
31	0	5.09	0	14.95	0	24.81	0	34.66	0	44.52	0	54.37	31	0.08
32	0	5.26	0	15.11	0	24.97	0	34.83	0	44.68	0	54.54	32	0.09
33	0	5.42	0	15.28	0	25.13	0	34.99	0	44.85	0	54.70	33	0.09
34	0	5.59	0	15.44	0	25.30	0	35.15	0	45.01	0	54.87	34	0.09
35	0	5.75	0	15.61	0	25.46	0	35.32	0	45.18	0	55.03	35	0.10
36	0	5.91	0	15.77	0	25.63	0	35.48	0	45.34	0	55.20	36	0.10
37	0	6.08	0	15.93	0	25.79	0	35.65	0	45.50	0	55.36	37	0.10
38	0	6.24	0	16.10	0	25.96	0	35.81	0	45.67	0	55.52	38	0.10
39	0	6.41	0	16.26	0	26.12	0	35.98	0	45.83	0	55.69	39	0.11
40	0	6.57	0	16.43	0	26.28	0	36.14	0	46.00	0	55.85	40	0.11
41	0	6.74	0	16.59	0	26.45	0	36.30	0	46.16	0	56.02	41	0.11
42	0	6.90	0	16.76	0	26.61	0	36.47	0	46.33	0	56.18	42	0.11
43	0	7.06	0	16.92	0	26.78	0	36.63	0	46.49	0	56.35	43	0.12
44	0	7.23	0	17.08	0	26.94	0	36.80	0	46.65	0	56.51	44	0.12
45	0	7.39	0	17.25	0	27.11	0	36.96	0	46.82	0	56.67	45	0.12
46	0	7.56	0	17.41	0	27.27	0	37.13	0	46.98	0	56.84	46	0.13
47	0	7.72	0	17.58	0	27.43	0	37.29	0	47.15	0	57.00	47	0.13
48	0	7.89	0	17.74	0	27.60	0	37.45	0	47.31	0	57.17	48	0.13
49	0	8.05	0	17.91	0	27.76	0	37.62	0	47.48	0	57.33	49	0.13
50	0	8.21	0	18.07	0	27.93	0	37.78	0	47.64	0	57.50	50	0.14
51	0	8.38	0	18.23	0	28.09	0	37.95	0	47.80	0	57.66	51	0.14
52	0	8.54	0	18.40	0	28.26	0	38.11	0	47.97	0	57.82	52	0.14
53	0	8.71	0	18.56	0	28.42	0	38.28	0	48.13	0	57.99	53	0.15
54	0	8.87	0	18.73	0	28.58	0	38.44	0	48.30	0	58.15	54	0.15
55	0	9.04	0	18.89	0	28.75	0	38.60	0	48.46	0	58.32	55	0.15
56	0	9.20	0	19.06	0	28.91	0	38.77	0	48.63	0	58.48	56	0.15
57	0	9.36	0	19.22	0	29.08	0	38.93	0	48.79	0	58.65	57	0.16
58	0	9.53	0	19.38	0	29.24	0	39.10	0	48.95	0	58.81	58	0.16
59	0	9.69	0	19.55	0	29.41	0	39.26	0	49.12	0	58.97	59	0.16

Conversión de hora legal a hora sideral

	h <sub>l</sub>					h <sub>s</sub>				
	m	s	m	s	s	m	s	m	s	s
0	059.14	1 9.00	1 18.85	1 28.71	1 38.56	1 48.42	0 00.00			
1	059.20	1 9.16	1 19.02	1 29.07	1 38.73	1 48.59	1 00.03			
2	059.47	1 9.32	1 19.18	1 29.04	1 38.89	1 48.75	2 00.01			
3	059.43	1 9.48	1 19.34	1 29.20	1 39.06	1 48.91	3 00.04			
4	059.80	1 9.65	1 19.51	1 29.37	1 39.22	1 49.08	4 00.02			
5	059.96	1 9.82	1 19.67	1 29.53	1 39.39	1 49.24	5 00.01			
6	0 1.2	1 9.98	1 19.84	1 29.9	1 39.55	1 49.41	6 00.02			
7	0 2.29	10 1.14	20 00	1 29.86	1 39.71	1 49.57	7 00.02			
8	0 4.45	10 3.31	20 17	1 30.02	1 39.88	1 49.74	8 00.03			
9	0 6.62	10 4.47	20 33	1 30.19	1 40.04	1 49.90	9 00.02			
10	0 7.78	10 6.64	20 49	1 30.35	1 40.21	1 50.06	10 00.03			
11	0 9.95	10 8.80	20 66	1 30.51	1 40.37	1 50.23	11 00.03			
12	1 1.11	10 9.97	20 82	1 30.68	1 40.54	1 50.39	12 00.03			
13	1 2.27	111.13	20 99	1 30.84	1 40.70	1 50.56	13 00.04			
14	1 4.44	11 2.29	21 15	1 31.01	1 40.86	1 50.72	14 00.04			
15	1 6.60	11 4.46	21 32	1 31.17	1 41.03	1 50.88	15 00.04			
16	1 7.77	11 6.62	21 48	1 31.34	1 41.19	1 51.05	16 00.04			
17	1 1.93	11 7.79	21 64	1 31.50	1 41.36	1 51.21	17 00.05			
18	2 10	11 9.95	21 81	1 31.66	1 41.52	1 51.38	18 00.05			
19	2 22.6	12 1.12	21 97	1 31.83	1 41.69	1 51.54	19 00.05			
20	2 42	12 2.28	22 14	1 31.99	1 41.85	1 51.71	20 00.05			
21	2 59	12 44	22 30	1 32.16	1 42.01	1 51.87	21 00.06			
22	2 7.5	12 6.1	22 47	1 32.32	1 42.18	1 52.03	22 00.06			
23	2 9.92	12 7.27	22 63	1 32.48	1 42.34	1 52.20	23 00.06			
24	3 30.8	12 9.54	22 79	1 32.65	1 42.51	1 52.36	24 00.07			
25	3 3.25	13 10	22 96	1 32.81	1 42.67	1 52.53	25 00.07			
26	3 4.41	13 27	23 12	1 32.98	1 42.84	1 52.69	26 00.07			
27	3 5.57	13 43	23 29	1 33.14	1 43.00	1 52.86	27 00.07			
28	3 7.4	13 59	23 45	1 33.31	1 43.16	1 53.02	28 00.08			
29	3 9.90	13 7.6	23 62	1 33.47	1 43.33	1 53.18	29 00.08			
30	3 10.7	13 9.92	23 78	1 33.64	1 43.49	1 53.35	30 00.08			
31	3 12.23	13 29	23 94	1 33.80	1 43.66	1 53.51	31 00.09			
32	3 14.40	13 4.25	24 11	1 33.96	1 43.82	1 53.68	32 00.09			
33	3 14.56	13 4.42	24 27	1 34.13	1 43.99	1 53.84	33 00.09			
34	3 14.72	13 4.58	24 44	1 34.29	1 44.15	1 54.01	34 00.09			
35	3 14.89	13 4.74	24 60	1 34.46	1 44.31	1 54.17	35 00.10			
36	3 5.05	13 4.91	24 77	1 34.62	1 44.48	1 54.33	36 00.10			
37	3 5.21	13 5.07	24 93	1 34.79	1 44.64	1 54.50	37 00.10			
38	3 5.38	13 5.24	25 09	1 34.95	1 44.81	1 54.66	38 00.10			
39	3 5.55	13 5.40	25 26	1 35.11	1 44.97	1 54.83	39 00.11			
40	3 5.71	13 5.57	25 42	1 35.28	1 45.14	1 54.99	40 00.11			
41	3 5.87	13 5.73	25 59	1 35.44	1 45.30	1 55.16	41 00.11			
42	3 6.04	13 5.89	26 15	1 35.61	1 45.46	1 55.32	42 00.11			
43	3 6.20	13 6.06	26 32	1 35.77	1 45.63	1 55.48	43 00.12			
44	3 6.37	13 6.22	26 48	1 35.94	1 45.79	1 55.65	44 00.12			
45	3 6.53	13 6.39	26 64	1 36.10	1 45.96	1 55.81	45 00.12			
46	3 6.70	13 6.55	26 81	1 36.26	1 46.12	1 55.98	46 00.13			
47	3 6.86	13 6.72	26 97	1 36.43	1 46.29	1 56.14	47 00.13			
48	3 7.02	13 6.88	26 74	1 36.59	1 46.45	1 56.31	48 00.13			
49	3 7.19	13 7.04	26 90	1 36.76	1 46.61	1 56.47	49 00.13			
50	3 7.35	13 7.21	27 07	1 36.92	1 46.78	1 56.63	50 00.14			
51	3 7.52	13 7.37	27 23	1 37.09	1 46.94	1 56.80	51 00.14			
52	3 7.68	13 7.54	27 39	1 37.25	1 47.11	1 56.96	52 00.14			
53	3 7.85	13 7.70	27 56	1 37.41	1 47.27	1 57.13	53 00.15			
54	3 8.01	13 7.87	27 72	1 37.58	1 47.44	1 57.29	54 00.15			
55	3 8.17	13 8.03	27 89	1 37.74	1 47.60	1 57.46	55 00.15			
56	3 8.34	13 8.19	28 05	1 37.91	1 47.76	1 57.62	56 00.15			
57	3 8.50	13 8.36	28 22	1 38.07	1 47.93	1 57.78	57 00.16			
58	3 8.67	13 8.52	28 38	1 38.24	1 48.09	1 57.95	58 00.16			
59	3 8.83	13 8.69	28 54	1 38.40	1 48.26	1 58.11	59 00.16			

Instituto de Astronomía

Conversión de hora legal a hora sideral

	19h		10h		11h		12h	
	m	s	m	s	m	s	m	s
0	1 58.28	2 8.13	2 17.99	2 27.85	2 37.70	2 47.56	0 00.00	0 00.00
1	1 58.44	2 8.30	2 18.15	2 28.01	2 37.87	2 47.72	1 00.00	1 00.00
2	1 58.61	2 8.46	2 18.32	2 28.18	2 38.03	2 47.89	2 00.00	2 00.00
3	1 58.77	2 8.63	2 18.48	2 28.34	2 38.20	2 48.05	3 00.00	3 00.00
4	1 58.93	2 8.79	2 18.65	2 28.50	2 38.36	2 48.22	4 00.00	4 00.00
5	1 59.10	2 8.96	2 18.81	2 28.67	2 38.52	2 48.38	5 00.00	5 00.00
6	1 59.26	2 9.12	2 18.98	2 28.83	2 38.69	2 48.55	6 00.00	6 00.00
7	1 59.43	2 9.28	2 19.14	2 29.00	2 38.85	2 48.71	7 00.00	7 00.00
8	1 59.59	2 9.45	2 19.30	2 29.16	2 39.02	2 48.87	8 00.00	8 00.00
9	1 59.76	2 9.61	2 19.47	2 29.33	2 39.18	2 49.04	9 00.00	9 00.00
10	1 59.92	2 9.78	2 19.63	2 29.49	2 39.35	2 49.20	10 00.00	10 00.00
11	2 00.08	2 9.94	2 19.80	2 29.65	2 39.51	2 49.37	11 00.00	11 00.00
12	2 00.25	2 10.11	2 19.96	2 29.82	2 39.67	2 49.53	12 00.00	12 00.00
13	2 00.41	2 10.27	2 20.13	2 29.98	2 39.84	2 49.70	13 00.00	13 00.00
14	2 00.58	2 10.43	2 20.29	2 30.15	2 40.00	2 49.86	14 00.00	14 00.00
15	2 00.74	2 10.60	2 20.45	2 30.31	2 40.17	2 50.02	15 00.00	15 00.00
16	2 00.91	2 10.76	2 20.62	2 30.47	2 40.33	2 50.19	16 00.00	16 00.00
17	2 01.07	2 10.93	2 20.78	2 30.64	2 40.50	2 50.35	17 00.00	17 00.00
18	2 01.23	2 11.09	2 20.95	2 30.80	2 40.66	2 50.52	18 00.00	18 00.00
19	2 01.40	2 11.25	2 21.11	2 30.97	2 40.82	2 50.68	19 00.00	19 00.00
20	2 01.56	2 11.42	2 21.28	2 31.13	2 40.99	2 50.84	20 00.00	20 00.00
21	2 01.73	2 11.58	2 21.44	2 31.30	2 41.15	2 51.01	21 00.00	21 00.00
22	2 01.89	2 11.75	2 21.60	2 31.46	2 41.32	2 51.17	22 00.00	22 00.00
23	2 02.06	2 11.91	2 21.77	2 31.62	2 41.48	2 51.34	23 00.00	23 00.00
24	2 02.22	2 12.08	2 21.93	2 31.79	2 41.65	2 51.50	24 00.00	24 00.00
25	2 02.38	2 12.24	2 22.10	2 31.95	2 41.81	2 51.67	25 00.00	25 00.00
26	2 02.55	2 12.40	2 22.26	2 32.12	2 41.97	2 51.83	26 00.00	26 00.00
27	2 02.71	2 12.57	2 22.43	2 32.28	2 42.14	2 51.99	27 00.00	27 00.00
28	2 02.88	2 12.73	2 22.59	2 32.45	2 42.30	2 52.16	28 00.00	28 00.00
29	2 03.04	2 12.90	2 22.75	2 32.61	2 42.47	2 52.32	29 00.00	29 00.00
30	2 03.21	2 13.06	2 22.92	2 32.77	2 42.63	2 52.49	30 00.00	30 00.00
31	2 03.37	2 13.23	2 23.08	2 32.94	2 42.80	2 52.65	31 00.00	31 00.00
32	2 03.53	2 13.39	2 23.25	2 33.10	2 42.96	2 52.82	32 00.00	32 00.00
33	2 03.70	2 13.55	2 23.41	2 33.27	2 43.12	2 52.98	33 00.00	33 00.00
34	2 03.86	2 13.72	2 23.58	2 33.43	2 43.29	2 53.14	34 00.00	34 00.00
35	2 04.03	2 13.88	2 23.74	2 33.60	2 43.45	2 53.31	35 00.00	35 00.00
36	2 04.19	2 14.05	2 23.90	2 33.76	2 43.62	2 53.47	36 00.00	36 00.00
37	2 04.36	2 14.21	2 24.07	2 33.92	2 43.78	2 53.64	37 00.00	37 00.00
38	2 04.52	2 14.38	2 24.23	2 34.09	2 43.95	2 53.80	38 00.00	38 00.00
39	2 04.68	2 14.54	2 24.40	2 34.25	2 44.11	2 53.97	39 00.00	39 00.00
40	2 04.85	2 14.70	2 24.56	2 34.42	2 44.27	2 54.13	40 00.00	40 00.00
41	2 05.01	2 14.87	2 24.73	2 34.58	2 44.44	2 54.29	41 00.00	41 00.00
42	2 05.18	2 15.03	2 24.89	2 34.75	2 44.60	2 54.46	42 00.00	42 00.00
43	2 05.34	2 15.20	2 25.05	2 34.91	2 44.77	2 54.62	43 00.00	43 00.00
44	2 05.51	2 15.36	2 25.22	2 35.07	2 44.93	2 54.79	44 00.00	44 00.00
45	2 05.67	2 15.53	2 25.38	2 35.24	2 45.10	2 54.95	45 00.00	45 00.00
46	2 05.83	2 15.69	2 25.55	2 35.40	2 45.26	2 55.12	46 00.00	46 00.00
47	2 06.00	2 15.85	2 25.71	2 35.57	2 45.42	2 55.28	47 00.00	47 00.00
48	2 06.16	2 16.02	2 25.88	2 35.73	2 45.59	2 55.44	48 00.00	48 00.00
49	2 06.33	2 16.18	2 26.04	2 35.90	2 45.75	2 55.61	49 00.00	49 00.00
50	2 06.49	2 16.35	2 26.20	2 36.06	2 45.92	2 55.77	50 00.00	50 00.00
51	2 06.66	2 16.51	2 26.37	2 36.22	2 46.08	2 55.94	51 00.00	51 00.00
52	2 06.82	2 16.68	2 26.53	2 36.39	2 46.25	2 56.10	52 00.00	52 00.00
53	2 06.98	2 16.84	2 26.70	2 36.55	2 46.41	2 56.27	53 00.00	53 00.00
54	2 07.15	2 17.01	2 26.86	2 36.72	2 46.57	2 56.43	54 00.00	54 00.00
55	2 07.31	2 17.17	2 27.03	2 36.88	2 46.74	2 56.59	55 00.00	55 00.00
56	2 07.48	2 17.33	2 27.19	2 37.05	2 46.90	2 56.76	56 00.00	56 00.00
57	2 07.64	2 17.50	2 27.35	2 37.21	2 47.07	2 56.92	57 00.00	57 00.00
58	2 07.81	2 17.66	2 27.52	2 37.37	2 47.23	2 57.09	58 00.00	58 00.00
59	2 07.97	2 17.83	2 27.68	2 37.54	2 47.40	2 57.25	59 00.00	59 00.00

Anuario Astronómico

Conversión de hora legal a hora sideral

	1h		2h		3h		4h		5h	
	m	t	m	t	m	t	m	t	m	t
0	257.42	3 7.27	3 17.13	3 26.99	3 36.84	3 46.70	3 56.55	4 06.41	4 16.26	4 26.11
1	257.58	3 7.44	3 17.29	3 27.15	3 37.01	3 46.86	3 56.71	4 06.56	4 16.41	4 26.26
2	257.74	3 7.60	3 17.46	3 27.31	3 37.17	3 47.03	3 56.87	4 07.02	4 16.57	4 26.42
3	257.91	3 7.77	3 17.62	3 27.48	3 37.33	3 47.19	3 57.03	4 07.18	4 16.73	4 26.58
4	258.07	3 7.93	3 17.79	3 27.64	3 37.50	3 47.36	3 57.19	4 07.34	4 16.89	4 26.74
5	258.24	3 8.09	3 17.95	3 27.81	3 37.66	3 47.52	3 57.35	4 07.50	4 17.05	4 26.90
6	258.40	3 8.26	3 18.11	3 27.97	3 37.83	3 47.68	3 57.51	4 07.66	4 17.21	4 27.06
7	258.57	3 8.42	3 18.28	3 28.14	3 37.99	3 47.85	3 57.67	4 07.82	4 17.37	4 27.22
8	258.73	3 8.59	3 18.44	3 28.30	3 38.16	3 48.01	3 57.83	4 07.98	4 17.53	4 27.38
9	258.89	3 8.75	3 18.61	3 28.46	3 38.32	3 48.18	3 57.99	4 08.14	4 17.69	4 27.54
10	259.06	3 8.92	3 18.77	3 28.63	3 38.48	3 48.34	3 58.15	4 08.30	4 17.85	4 27.70
11	259.22	3 9.08	3 18.94	3 28.79	3 38.65	3 48.51	3 58.31	4 08.46	4 18.01	4 27.86
12	259.39	3 9.24	3 19.10	3 28.96	3 38.81	3 48.67	3 58.47	4 08.62	4 18.17	4 28.02
13	259.55	3 9.41	3 19.26	3 29.12	3 38.98	3 48.83	3 58.63	4 08.78	4 18.33	4 28.18
14	259.72	3 9.57	3 19.43	3 29.29	3 39.14	3 49.00	3 58.79	4 08.94	4 18.49	4 28.34
15	259.88	3 9.74	3 19.59	3 29.45	3 39.31	3 49.16	3 58.95	4 09.10	4 18.65	4 28.50
16	3 0.04	3 9.90	3 19.76	3 29.61	3 39.47	3 49.33	3 59.11	4 09.26	4 18.81	4 28.66
17	3 0.21	3 10.07	3 19.92	3 29.78	3 39.63	3 49.49	3 59.27	4 09.42	4 18.97	4 28.82
18	3 0.37	3 10.23	3 20.09	3 29.94	3 39.80	3 49.66	3 59.43	4 09.58	4 19.13	4 28.98
19	3 0.54	3 10.39	3 20.25	3 30.11	3 39.96	3 49.82	3 59.59	4 09.74	4 19.29	4 29.14
20	3 0.70	3 10.56	3 20.41	3 30.27	3 40.13	3 49.98	3 59.75	4 09.90	4 19.45	4 29.30
21	3 0.87	3 10.72	3 20.58	3 30.43	3 40.29	3 50.15	3 59.91	4 10.06	4 19.61	4 29.46
22	3 1.03	3 10.89	3 20.74	3 30.60	3 40.46	3 50.31	3 59.97	4 10.22	4 19.77	4 29.62
23	3 1.19	3 11.05	3 20.91	3 30.76	3 40.62	3 50.48	3 59.83	4 10.38	4 19.93	4 29.78
24	3 1.36	3 11.21	3 21.07	3 30.93	3 40.78	3 50.64	3 59.89	4 10.54	4 20.09	4 29.94
25	3 1.52	3 11.38	3 21.24	3 31.09	3 40.95	3 50.80	3 59.85	4 10.70	4 20.25	4 30.10
26	3 1.68	3 11.54	3 21.40	3 31.26	3 41.11	3 50.97	3 59.81	4 10.86	4 20.41	4 30.26
27	3 1.85	3 11.71	3 21.56	3 31.42	3 41.28	3 51.13	3 59.77	4 11.02	4 20.57	4 30.42
28	3 2.02	3 11.87	3 21.73	3 31.58	3 41.44	3 51.30	3 59.73	4 11.18	4 20.73	4 30.58
29	3 2.18	3 12.04	3 21.89	3 31.75	3 41.61	3 51.46	3 59.69	4 11.34	4 20.89	4 30.74
30	3 2.34	3 12.20	3 22.06	3 31.91	3 41.77	3 51.63	3 59.65	4 11.50	4 21.05	4 30.90
31	3 2.51	3 12.36	3 22.22	3 32.08	3 41.93	3 51.79	3 59.61	4 11.66	4 21.21	4 31.06
32	3 2.67	3 12.53	3 22.39	3 32.24	3 42.10	3 51.95	3 59.57	4 11.82	4 21.37	4 31.22
33	3 2.84	3 12.69	3 22.55	3 32.41	3 42.26	3 52.12	3 59.53	4 11.98	4 21.53	4 31.38
34	3 3.00	3 12.86	3 22.71	3 32.57	3 42.43	3 52.28	3 59.49	4 12.14	4 21.69	4 31.54
35	3 3.17	3 13.02	3 22.88	3 32.73	3 42.59	3 52.45	3 59.45	4 12.30	4 21.85	4 31.70
36	3 3.33	3 13.19	3 23.04	3 32.90	3 42.76	3 52.61	3 59.41	4 12.46	4 22.01	4 31.86
37	3 3.49	3 13.35	3 23.21	3 33.06	3 42.92	3 52.78	3 59.37	4 12.62	4 22.17	4 32.02
38	3 3.66	3 13.51	3 23.37	3 33.23	3 43.08	3 52.94	3 59.33	4 12.78	4 22.33	4 32.18
39	3 3.82	3 13.68	3 23.54	3 33.39	3 43.25	3 53.10	3 59.29	4 12.94	4 22.49	4 32.34
40	3 3.99	3 13.84	3 23.70	3 33.56	3 43.41	3 53.27	3 59.25	4 13.10	4 22.65	4 32.50
41	3 4.15	3 14.01	3 23.86	3 33.72	3 43.58	3 53.43	3 59.21	4 13.26	4 22.81	4 32.66
42	3 4.32	3 14.17	3 24.03	3 33.88	3 43.74	3 53.60	3 59.17	4 13.42	4 22.97	4 32.82
43	3 4.48	3 14.34	3 24.19	3 34.05	3 43.91	3 53.76	3 59.13	4 13.58	4 23.13	4 32.98
44	3 4.64	3 14.50	3 24.36	3 34.21	3 44.07	3 53.93	3 59.09	4 13.74	4 23.29	4 33.14
45	3 4.81	3 14.66	3 24.52	3 34.38	3 44.24	3 54.09	3 59.05	4 13.90	4 23.45	4 33.30
46	3 4.97	3 14.83	3 24.69	3 34.54	3 44.40	3 54.25	3 59.01	4 14.06	4 23.61	4 33.46
47	3 5.14	3 14.99	3 24.85	3 34.71	3 44.57	3 54.42	3 58.97	4 14.22	4 23.77	4 33.62
48	3 5.30	3 15.16	3 25.01	3 34.87	3 44.73	3 54.58	3 58.93	4 14.38	4 23.93	4 33.78
49	3 5.47	3 15.32	3 25.18	3 35.04	3 44.90	3 54.75	3 58.89	4 14.54	4 24.09	4 33.94
50	3 5.63	3 15.49	3 25.34	3 35.20	3 45.06	3 54.91	3 58.85	4 14.70	4 24.25	4 34.10
51	3 5.79	3 15.65	3 25.51	3 35.36	3 45.22	3 55.08	3 58.81	4 14.86	4 24.41	4 34.26
52	3 5.96	3 15.81	3 25.67	3 35.53	3 45.38	3 55.24	3 58.77	4 15.02	4 24.57	4 34.42
53	3 6.12	3 15.98	3 25.84	3 35.69	3 45.55	3 55.40	3 58.73	4 15.18	4 24.73	4 34.58
54	3 6.29	3 16.14	3 26.00	3 35.86	3 45.71	3 55.57	3 58.69	4 15.34	4 24.89	4 34.74
55	3 6.45	3 16.31	3 26.16	3 36.02	3 45.88	3 55.73	3 58.65	4 15.50	4 25.05	4 34.90
56	3 6.62	3 16.47	3 26.33	3 36.18	3 46.04	3 55.90	3 58.61	4 15.66	4 25.21	4 35.06
57	3 6.78	3 16.64	3 26.49	3 36.35	3 46.21	3 56.06	3 58.57	4 15.82	4 25.37	4 35.22
58	3 6.94	3 16.80	3 26.66	3 36.51	3 46.37	3 56.23	3 58.53	4 15.98	4 25.53	4 35.38
59	3 7.11	3 16.96	3 26.82	3 36.68	3 46.53	3 56.39	3 58.49	4 16.14	4 25.69	4 35.54

**ANEXO 3**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL,  
TOPOGRAFICA Y GEODESICA

SR. PROF. J. DANIEL FLORES GUTIERREZ  
DEPARTAMENTO DE EFEMERIDES  
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, U.N.A.M.  
PRESENTE

Sea este el conducto para transmitirle un saludo muy afectuoso y desearle lo mejor para este año que inicia.

Por otro lado, quiero hacerle mención que con fecha 25 de Enero de 1996, se posicionó un punto en el Campo Deportivo "El Charco" ubicado en Uriangato Guanajuato, todo lo anterior originado por las prácticas de Astronomía de Posición que los alumnos de la carrera de Ing. Topógrafo y Geodesta realizaron en dicho lugar. Las coordenadas  $\phi$  y  $\lambda$  del punto en cuestión se observaron utilizando los métodos de Pasos Meridianos, Alturas Circunmeridianas y observaciones a la Polar ( Método de Littrow ) para la latitud; los métodos de alturas Absolutas y Alturas Iguales de estrellas ( Método de Don Fco. Díaz Covarrubias ) para la longitud. Los valores así obtenidos son:

$$\lambda = 06h 44m 34.2s \Rightarrow \lambda = 101^{\circ} 08' 33.70''$$

con la suplica, si no tiene inconveniente, de que se publiquen en el Anuario Astronómico.

Así mismo le comunico que las coordenadas de Uriangato son :  $\phi = 20^{\circ} 08' 46''$  y  $\lambda = 101^{\circ} 08' 10''$  el Anuario indica:  $\phi = 20^{\circ} 08' 46''$  y  $\lambda = 100^{\circ} 08' 10''$  como puede apreciarse hay en la longitud un error de  $1''$  para su corrección.

En observaciones que hicimos también en Actopan Hidalgo, la coordenada longitud que se indica en el Anuario debe de corregirse dice  $\lambda = 96^{\circ} 56' 42''$ , debe de decir  $\lambda = 98^{\circ} 56' 42''$ .

No dudando de su atención, quedo de usted su atento servidor.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, P.F. a 13 de Enero de 1997  
JEFE DEL DEPTO. DE GEODERIA

ING. JESUS MARQUEZ DALINDO

Ccp ARCHIVO

RECIBIDO EN LA DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y GEODESICA  
Bocebin...  
14-I-97