

51
rej



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**"APLICACIONES DE LA MECANICA CELESTE.
UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS METO-
DOS DE PREDICION DE ECLIPSES"**

T E S I S
Que para obtener el titulo de
F I S I C O
p r e s e n t a

GUSTAVO SORIANO CEDILLO



Director de Tesis: M. en C. Marco Arturo Moreno Corral

México, D. F.

1997

**TESIS CON
FALSA DE ORIGEN**

INSTITUTO VINCULADO AL IIAE
MEXICO



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
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis: "APLICACIONES DE LA MECANICA CELESTE. UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS METODOS DE PREDICCIÓN DE ECLIPSES" realizado por Gustavo Soriano Cedillo con número de cuenta 7538773-0, pasante de la carrera de Física. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

M. EN C. MARCO ARTURO MORENO CORRAL

Propietario

DR. JESUS GALINDO TREJO

Propietario

DR. ROBERTO ALEJANDRO RUELAS MAYORGA

Suplente

FIS. JOSE DANIEL FLORES GUTIERREZ

Suplente

FIS. MARIA TERESA DIAZ MARTINEZ

Consejo Departamental de Física

DR. ROBERTO ALEJANDRO RUELAS MAYORGA

Handwritten signatures and notes:
- Signature of Marco Arturo Moreno Corral
- Signature of Jesus Galindo Trejo
- Signature of Roberto Alejandro Ruelas Mayorga
- Signature of Jose Daniel Flores Gutierrez
- Signature of Maria Teresa Diaz Martinez
- Date: 20/05/2014
- Stamp: CONSEJO DEPARTAMENTAL DE FISICA

Una sombra recorre al mundo...

A mi esposa Carmen por haberme apoyado y alentado para la realización de este trabajo.

A mis hijos Clementina y Pável por haberme permitido el tomar gran parte de su tiempo, el cual deseo devolvérselos con creces para que en un futuro lleguen a realizarse como seres humanos y profesionalmente.

A mis padres Rafael y Clementina Q.F.D. (F) por haberme dado la oportunidad de realizarme profesionalmente.

A mis hermanas y hermanos Lourdes, Laura, Luisa, Guillermo y Rogelio por su apoyo en el transcurso de mis estudios.

A mis sobrinas y sobrinos de quienes deseo que algún día realicen trabajo semejante.

AL resto de mis familiares

Yo no conocí en mi infancia sombra, sino resolana

Alfonso Reyes; Sol de Monterrey.

Quisiera agradecer el apoyo recibido:

Del M. en C. Marco A. Moreno Corral por el tiempo dedicado al desarrollo y revisión de este trabajo.

Del Dr. Alejandro Ruelas por su revisión y comentarios.

Del Dr. Jesús Galindo por su revisión, sugerencias y comentarios.

Del Fís. Daniel Flores por el tiempo prestado a la solución de mis dudas y a sus valiosos comentarios y sugerencias.

De la Fis. Teresa Díaz Martínez por su revisión y comentarios.

Del Maestro Xavier Solé por sus análisis y comentarios sobre los procesos históricos del Siglo XVIII.

Del personal de la Biblioteca de la Universidad Iberoamericana y en especial al personal de la sección de Libros Antiguos y Raros.

Del personal del Acervo Histórico de la Facultad de Ingeniería del Palacio de Minería de la UNAM.

De Banca Serfin por el apoyo recibido y el tiempo facilitado.

Y en general a todos aquellos que de alguna u otra forma me ayudaron para la realización del presente trabajo.

INDICE

INTRODUCCION	1
I ANTECEDENTES HISTORICOS	2
Los eclipses en la antigüedad	2
Primer método de predicción: el Saros	7
Magnitud de un Saros	9
Una consecuencia geométrica muy especial	11
II MECANICA CELESTE	12
Antecedentes	12
Leyes del movimiento planetario	16
La mecánica y su aplicación al estudio de los cuerpos celestes	20
Aplicaciones	23
III ECLIPSES SOLARES	26
Generalidades	26
Sistema de coordenadas astronómicas	29
Movimiento de precesión terrestre	33
El Sol	35
Orbita aparente del Sol	35
Salida y ocaso del Sol	36
Cálculo de la posición del Sol	37
Cálculo de la distancia del Sol y tamaño angular	39
La Luna	40
Orbita lunar	41
Cálculo de la posición de la Luna	44
Movimiento horario de la Luna	46
Las fases de la Luna	47
Distancia lunar, tamaño angular y paralaje	49
Cálculo de los elementos besselianos de un eclipse solar	50
Condiciones de posibilidad de un eclipse solar	50
Elementos besselianos	52
Coordenadas de un observador en el plano de Bessel	55

INTRODUCCION

Durante el siglo XVIII se llevaron a cabo observaciones e investigaciones que permitieron refinar muchos aspectos de la mecánica newtoniana, lo que hizo que la Mecánica Celeste se convirtiera en una rama de la Física con alto grado de confiabilidad.

Todo ese cuerpo de conocimientos ya era conocido y utilizado en nuestro país al finalizar el siglo XVIII, razón por la que en la literatura científica mexicana comenzaron aparecer trabajos sobre el cálculo y la observación de eclipses. Uno de los más completos que se conocen es la *Descripción Orthographica Universal del eclipse de Sol del día 24 de junio de 1778* ; desarrollada y publicada por Antonio de León y Gama en la ciudad de México en el año de 1778.

Es nuestra intención reproducir con metodología contemporánea, las efemérides de ese eclipse, para así poder hacer una comparación entre lo que nuestro compatriota obtuvo hace más de 200 años y lo que ahora se puede lograr, buscando así establecer qué tan confiables eran los métodos de cálculo utilizados por los astrónomos al finalizar el siglo XVIII.

Para el cálculo de eclipses es necesario aplicar las leyes del movimiento planetario, a fin de determinar los parámetros orbitales que indican cuándo ocurrirán (u ocurrieron) las condiciones geométricas indispensables para que la Luna oculte al Sol, o bien ésta entre en el cono de sombra proyectado por la Tierra. Las ecuaciones correspondientes, deducidas a partir de planteamientos generales de la Mecánica han sido desarrolladas y simplificadas por diversos investigadores, lo que en la actualidad permite hacer predicciones sobre la ocurrencia de los eclipses con una precisión de fracciones de segundo.

I ANTECEDENTES HISTORICOS

LOS ECLIPSES EN LA ANTIGÜEDAD

Quando un cuerpo celeste se interpone entre una estrella y un observador, la estrella desaparece para éste, ocurriendo entonces un eclipse. El significado de la palabra griega *ekleipsis* es precisamente faltar o desaparecer. A través de la historia de la humanidad la ocurrencia de esos eventos ha despertado grandes temores y asombros; sobre todo cuando los cuerpos involucrados son el Sol y la Luna. Para explicar la ocurrencia de los eclipses se inventaron las leyendas más fantásticas y las creencias supersticiosas más desconcertantes. "Los chinos y los indios gritaban, golpeando sus gongs, para que el asaltante abandonara su presa; los mexicanos se flagelaban o se refugiaban en los cursos de agua; los antiguos romanos elevaban antorchas al cielo, como supliendo el astro eclipsado" (Couderc, 1963).

Diversos textos y relatos recuerdan el desconcierto y espanto que en la antigüedad causaba a los humanos el dramático fenómeno de los eclipses totales de Sol; aun los eclipses de Luna, no obstante ser mucho menos espectaculares, a menudo engendraron terror. Desde que los antiguos más ilustrados astutamente sacaron partido de los eclipses para favorecer sus intereses personales y de grupo, se trató de hacer posible una previsión empírica de este tipo de fenómenos. Como ejemplo se puede citar el relato de Tito Livio, quien cuenta que "Sulpicio Galo, subteniente de Pablo Emilio en la guerra contra Perseo, último rey de Macedonia, informado de que ocurriría un eclipse de Luna la noche anterior a la batalla decisiva, con todo cuidado previno a sus tropas para evitar su espanto y sacar, por lo contrario, beneficio." (Couderc, 1963).

Otro ejemplo de predicción de eclipses para favorecer intereses grupales está plasmado en la Biblia, en el libro Apocalipsis (6,12-13). Ahí se encuentra la descripción hecha por Juan: "Y mi visión siguió: cuando el cordero abrió el sexto sello, se produjo un violento terremoto. El Sol se puso tan negro como vestido de luto, la Luna toda se volvió como sangre." Tal parece, sin duda, la ocurrencia de eclipses de Sol y de Luna. Además de leyendas y creencias también existieron observadores que dejaron, afortunadamente, registros sobre muchos eclipses de Sol y de Luna. Por ejemplo, los antiguos chinos fueron atentos observadores del cielo y a ellos, sin duda, se deben numerosos datos astronómicos importantes. "A partir del 720 antes de nuestra era y durante 240 años, los astrónomos de una pequeña región llamada Lu, lugar de nacimiento de Confucio, registraron 37 eclipses solares, de los cuales consignan tres como tales. Los registros hechos en Lu son particularmente impresionantes por la exactitud de sus fechas; casi todos coinciden en año, mes y hasta día con las fechas a las que se ha llegado con cálculos modernos" (López, 1991).

El reporte más antiguo conocido acerca de la ocurrencia de un eclipse solar corresponde al año 1375 antes de Cristo, fue encontrado en una tablilla de barro surgida de las excavaciones de Ugarit, en el Asia Menor; escrito en caracteres cuneiformes se describe el oscurecimiento del Sol en pleno día, siendo también visible Marte, y se predice un levantamiento del pueblo contra el señor de Ugarit. "Una traducción de la inscripción en ambos lados de la tablilla, hecha por Sayer dice: *El día de la luna nueva en el mes de Hiyar fue avergonzado. El sol bajó (durante el día) en presencia de Rashap (Marte). (por lo tanto) el señor será atacado por sus vasallos*" (López, 1991).

Conforme fue posible el cálculo relativamente seguro de la ocurrencia de eclipses, poco a poco se atenuaron los terrores, al menos entre los dirigentes de los pueblos civilizados.

" En el año 129 a.C., Hiparco de Nicea planeó y realizó observaciones de un eclipse total de sol en diferentes lugares sobre el mismo meridiano, en Rodas y Alejandría, notando la diferencia de cubrimiento del disco solar" (Fierro, Galindo, Flores, 1991).

A pesar del paso de los siglos los terrores no habían sido desterrados del todo entre la población, "Fontanelle cuenta que, ante el anuncio del eclipse total del año 1654, fueron muchos los parisienses que se refugiaron en los sótanos. Todavía un siglo más tarde, el anuncio de un eclipse anular para el 1º de abril de 1764 suscito temores" (López, 1991).

La evolución de la tecnología permitió el perfeccionamiento de las observaciones de los eclipses, por ejemplo: "En 1409 un monje italiano en Forli reporta aparentemente la primera observación astronómica en la que se empleó el reloj mecánico para precisarla: *Año del Señor 1409, día 15 de abril, hubo un eclipse de sol, y duro 2 horas, 8 minutos y 24 segundos y el eclipse fue en Tauro.* No obstante el detalle científico anterior, en ese siglo aún prevelecia la idea tradicional según atestigua un cronista de Ferrara, también en Italia, pero en 1485: *En el décimo sexto día de marzo, apareció un gran eclipse de sol a las veintiuna horas y duró hasta el final de las veintitrés y esto presagió la muerte de mucha gente de un mal desconocido*" (Fierro, Galindo, Flores, 1991). En esta última cita parece que el cronista se equivocó, pues por la hora mencionada debió tratarse de un eclipse lunar.

En el caso de América la actividad astronómica de los pueblos mesoamericanos aparece en diversos testimonios, como los tres codices Mayas más tradicionales que se conocen (Dresde, París y Madrid). Los Mayas fueron capaces de determinar con gran exactitud algunos periodos astronómicos fundamentales, como serian el mes sinódico de la Luna y la duración del año tropical, así como las efemerides del planeta Venus y las tablas de predicción de eclipses. En el codice Dresde, que data del siglo XI de nuestra era, las páginas 51 a la 58 contienen una tabla de los movimientos lunares; estudiosos de este

codice consideran esas páginas como tablas de eclipses de Sol y de Luna los cuales marcan el intervalo de un Saros.

Existen datos sobre eclipses antiguos, de los cuales se tienen sus fechas de ocurrencia con suficiente seguridad, por lo que se les denomina eclipses históricos. A continuación, para terminar el presente inciso, se describen algunos de estos eclipses.

"La crónica asiria conocida como Canon Epónimo dice esto: *Ischi-Segale en la ciudad de Gozan. Insurrección en Asur. En el mes de Silvan, el Sol fue eclipsado.* En 155 años de crónicas éste es el único acontecimiento de esta clase mencionado; por consiguiente, puede pensarse que el eclipse fue total. Puesto que el Canon Epónimo es históricamente cortado por el Canon de los Reyes de la dinastía de Ptolomeo, el cálculo determina que el eclipse total visible en Asiria no pudo ocurrir sino el 15 de junio del año 762 a. C.

El eclipse conocido como de Asurbanipal aparece en las crónicas de la siguiente forma: En el mes de Tammuz ocurrió un eclipse de Sol. *El Sol poniente deja de resplandecer y, como él, yo renuncio durante (laguna) días a comenzar la guerra contra Elam.* El reinado de Asurbanipal comienza en el 667 a.C. y la guerra contra Elam ocurrió al comienzo de su mandato, que duró hasta el año 624 a.C. El único eclipse que concuerda con la crónica es el del 27 de junio de 660 a.C., visible en Ninive al atardecer.

El gran historiador Tucídides, a propósito del evento ocurrido el año 430 a.C., y que está bien determinado, escribió: *Durante el mismo verano, al comienzo del mes lunar, el Sol fue eclipsado después del mediodía. El Sol se adelgazó en forma de lúnula, y luego se volvió circular. Durante el eclipse se hicieron visibles algunas estrellas.* No está especificado el lugar de observación, pero nuestros actuales conocimientos señalan sin duda que se trata de Atenas. Este mismo año, el 3 de agosto, un eclipse de Sol fue ciertamente casi total en esta ciudad; para serlo le faltaba, según el cálculo, un décimo

de dígito. Pero cuando el eclipse no es total, las estrellas no se vuelven visibles. Únicamente puede aparecer el planeta Venus.

Diódoro refiere un desplazamiento de Agatocles, tirano de Siracusa, en el año 309 a.C., desde esta ciudad a la costa de África. *Agatocles también, perseguido por el enemigo, logró escapar. Al día siguiente hubo un eclipse de Sol que hizo que las estrellas aparecieran en el firmamento, y el día se volvió noche. Los soldados llenos de miedo creyeron que Dios les profetizaba su destrucción.* Indiscutiblemente se trata del eclipse ocurrido el 15 de agosto del 309 a. C. El eclipse fue total al sur del Mediterráneo y, si bien no conocemos el derrotero de la flota, podemos precisar el día y la hora aproximada del fenómeno.

Cleomedes nos dice: *Una vez, el Sol fue totalmente eclipsado en las riberas del Helesponto en tanto que en Alejandría faltó para la totalidad un quinto de su diámetro.* La fecha no está determinada, pero de acuerdo con Pappus, este eclipse sirvió a Hiparco para el cálculo de los tamaños y distancias de la Luna y el Sol; así como para medir el brillo relativo entre éste y las estrellas. No se menciona que Hiparco lo haya observado. Se realizó el cálculo de todos los eclipses de Sol ocurridos entre la fundación de Alejandría (331 a.C.) y la muerte de Hiparco (110 a.C.). De ahí se obtienen sólo dos eclipses que satisfacen las condiciones de la descripción de Cleomedes: el de Agatocles (309 a.C.) y otro, el del 20 de noviembre del 28 a. C. Es poco probable que un eclipse ocurrido 180 años atrás haya permitido una evaluación de magnitudes; especialmente con un Sol enneguecedor, ya alto en el cielo a las 9:30 de la mañana. Por otro lado, el eclipse del 128 a.C. tuvo su máximo en Egipto, poco antes de la puesta del Sol, y una apreciación de magnitud hecha con un Sol debilitado en el horizonte, es plausible. Si ese fue el caso esta fue sin duda la primera estimación de la magnitud de un eclipse de Sol" (López, 1991).

PRIMER METODO DE PREDICCIÓN: EL SAROS

La predicción de los eclipses fue una de las preocupaciones principales de los astrónomos de la antigüedad. En Caldea por ejemplo, mantenían desde muy antiguo un registro de los eclipses observados. Han llegado hasta nuestros días observaciones que se remontan a mil años antes de nuestra era. No es imposible pensar que estas tablillas caldeas sirvieran para hacer notar desde fecha temprana la periodicidad que muestran los eclipses; especialmente los de Luna, que cuando ocurren son visibles desde dos terceras partes de la Tierra y pueden ser observados desde el mismo lugar con bastante frecuencia. En la obra de Geminus *La introducción a los fenómenos*, texto escrito 75 años antes de nuestra era, menciona un período de 54 años atribuyéndolo a los antiguos caldeos. Pero en la época de Geminus la ciencia griega había alcanzado un notable desarrollo y la periodicidad podía ser un conocimiento reciente.

Es usual atribuir a los babilonios y sus sucesores el descubrimiento del ciclo Saros (que significa repetición en griego). Se llama así a un período de 6,585 días, esto es, 18 años y 10 u 11 días, según que el intervalo de 18 años considerado encierre 5 ó 4 años bisiestos; al cabo de los cuales los eclipses se reproducen en el mismo orden, en las mismas lunaciones y con caracteres muy poco modificados. Tal designación fue aceptada por innumerables astrónomos e historiadores, como los que a continuación se enlistan: el cronologista alemán Christian Ludwig Ideler (1766-1846), el astrónomo francés Paul Tannery (1843-1904), el astrónomo italiano Giovanni Virginus Schiaparelli (1835-1910), el astrónomo holandés Antonie Pannekoek (1873-1960) y, finalmente, el historiador de la Astronomía el alemán Otto Neugebauer (1899-). Ideler es el único de estos autores que da un origen del significado de la palabra sumeria Sar, mencionando entre otros el de Universo o algo equivalente. El sacerdote babilónico Berosus, en 290 a.C., usó el vocablo Saros para significar 3600 años. Según la indicación de

Neugebauer, Saros aparece por primera vez relacionado a una connotación astronómica en la enciclopedia de Suidas (1000 d.C.) donde es descrito como un "número de medidas para los caldeos" seguido de la nota que un Saroi contempla 222 meses, esto es, 18 años y 6 meses. Tal relación supone que un año contiene exactamente 12 meses, o que, amén de excluir el calendario babilónico, no tenía relación con los eclipses. En su *Historia Naturalis*, el escritor romano Plinio (23-79 d.C.) sugirió que la recurrencia de los eclipses sucedía cada 223 meses, si bien, en diversos manuscritos de esa obra, se habían encontrado varios valores diferentes. Como el astrónomo inglés Edmun Halley (1656-1742) tenía a su disposición un texto de Plinio con el valor 222; concluyó que el 223 tenía más sentido, admitiendo que la fuente de Plinio hubiese sido la Enciclopedia Suidas. En realidad, Halley encontró que los otros valores de esa obra no permitían tal alteración. La conjetura de Halley, de que el periodo de 223 meses debería estar asociado al periodo llamado Saros, fue presentada por el historiador francés de las matemáticas Jean Etienne Montucla (1725-1799) en la primera edición de su *Histoire des mathematiques* (1758), como una alusión definitiva, a pesar de las críticas del astrónomo francés Guillaume J.H.J.B. Le Gentil (1725-1792), hechos en 1766, en las memorias de la Academia Real de Ciencias de París. Desde Montucla, la idea de que los babilonios utilizaban el Saros para predecir los eclipses se transformó en un "mito histórico" largamente aceptado, posteriormente el propio Montucla fue más prudente para la formulación de esa hipótesis en la segunda edición de su obra en 1802, demasiado tarde para que el error pudiese ser eliminado. Por los trabajos del historiador alemán F.X. Kugler (1862-1928) de 1900, se sabe que los babilonios calculaban los eclipses estudiando la latitud de la Luna y las sicigias (luna nueva y luna llena), "sicigia (sun zugos, lugar con) es una palabra poco empleada que designa tanto la conjunción cuanto la oposición" (Couderc, 1963).

Existen pues indicios de que los babilonios tenían nociones sobre el carácter periódico de los eclipses de Luna y utilizaban de forma muy aproximada un ciclo de 18 años para predecirlos, así como a otros fenómenos lunares.

MAGNITUD DE UN SAROS

La trayectoria de la Luna en el cielo vista desde la Tierra no coincide con la del Sol, debido a que el plano de la órbita de la Luna está inclinado aproximadamente 5 grados con respecto al de la Tierra. Las órbitas de la Luna y de la Tierra se intersectan en dos puntos llamados nodos. Debido a la interacción gravitacional entre el Sol, la Tierra y la Luna; la línea que une los nodos rota con un periodo de casi 19 años. Un eclipse solamente sucede cuando el Sol y la Luna están simultáneamente cerca de un nodo.

"Cada 18 años y 10 u 11 días el Sol y la Luna se encuentran en las mismas posiciones en las que estaban antes y se suceden eclipses muy parecidos, aunque no observables desde el mismo lugar geográfico. El intervalo de 18 años, 10 u 11 días; resulta de la combinación de la rotación de la línea de los nodos y del periodo orbital de la Luna." (Fierro, Gatindo, Flores, 1991)

Por definición, el Saros tiene una duración de 223 lunaciones. El valor medio del mes lunar, o revolución sinódica S, es de 29.530588 días. Por lo que

$$223S = 6,585.3211 \text{ días} \quad (1.1)$$

Es natural que un periodo que repite los eclipses, sea, ante todo, un múltiplo de la lunación, en el que las sicigias (Luna Nueva y Luna Llena) sean la condición necesaria de los eclipses. El Saros debe ser un múltiplo del año de eclipses E, que es el tiempo que emplea el Sol en volver al mismo nodo, o *año draconítico* (el dragón, draco, simbolizaba los nodos). $E = 346.6200$ días. Por lo tanto:

$$19 E = 6,585.78 \text{ días} \quad (1.2)$$

por lo que el Saros (I.1) satisface la condición (I.2) con aproximación menor de medio día. La condición (I.2) es menos estricta que la primera; la desviación del Sol en 0.46 día con respecto al nodo, ocasiona una leve evolución del eclipse. Se denomina *mes draconítico* D el intervalo medio de los pasos de la Luna por un mismo nodo.

$$D = 27.2122 \text{ días}$$

$$242 D = 6,585.3567 \text{ días} \quad (I.3)$$

Con gran exactitud el Saros (I.1) cumple la condición de ser múltiplo de D. Existe una desigualdad de 0.03 días para que el Saros sea un múltiplo exacto de D. La condición (I.3) se cumple de manera más satisfactoria que (I.2); esto es necesario puesto que la Luna adelanta 13 veces más rápidamente que el Sol. La exactitud del acuerdo se aprecia todavía mejor si escribimos:

$$1 \text{ Saros} = 242D - 0.0013D$$

El intervalo entre dos pasajes de la Luna por el perigeo se llama mes anomalístico A y vale $A = 27.5546$ días. Por coincidencia se tiene que:

$$239A = 6,585.5374 \text{ días} \quad (I.4)$$

El Saros (I.1) anula las desigualdades lunares. Por lo que se tiene:

$$1 \text{ Saros} = 239A - 0.0079A$$

Al cabo de un Saros la Luna se halla atrasada $2^{\circ}.8$ en su posición orbital. Le faltan cinco horas para que vuelva al mismo lugar con respecto al perigeo. Es una gran coincidencia que un múltiplo común a S, D y a A se haya encontrado al cabo de solo 18 años. Las desigualdades del Sol, es decir las de la Tierra, dependen del año. La vuelta de la Tierra a su perihelio tiene por periodo el año anomalístico $a = 365.2596$ días. Tenemos:

$$18a = 6,574.67 \text{ días}$$

Por lo que faltarían 10.65 días para que la Tierra tenga la misma posición sobre la órbita, lo que significa casi 10° sobre la órbita. Concluyendo, un Saros comprende 38

estaciones de eclipses, ocurriendo cada 8 meses. Cada estación comprende al menos dos eclipses (Incluyendo los eclipses de Luna) y a menudo tres eclipses. En promedio un Saros comprende 84 eclipses de los cuales 42 son de Sol y 42 de Luna.

UNA CONSECUENCIA GEOMETRICA MUY ESPECIAL

En el sistema Sol-Luna-Tierra existe una coincidencia natural tan perfecta de tal forma que gracias a ello se pueden producir los eclipses solares. La distancia Tierra-Sol es 400 veces mayor que la distancia Tierra-Luna y a su vez el tamaño de la Luna es 400 veces menor que el Sol. Estas dimensiones permiten que ambos cuerpos celestes vistos desde la Tierra aparenten tener el mismo diámetro angular de 1/2 grado. La órbita lunar es elíptica y uno de sus focos está ocupado por la Tierra (leyes de Kepler). Cuando la Luna se encuentra más próxima a la Tierra (Perigeo), su diámetro real logra ocultar exactamente al Sol; produciéndose un eclipse total. Cuando la Luna circula sobre el arco opuesto (Apogeo) se encuentra más alejada de la Tierra y su disco no logra ocultar completamente al Sol produciéndose entonces un eclipse anular. Si la distancia Tierra-Luna se aumentara o disminuyera no se tendrían las condiciones para los eclipses totales. Lo mismo sucedería si la longitud del diámetro lunar fuera de 3200 Km en lugar de 3460 Km dado que con este diámetro la Luna no logra ya ocultar totalmente al Sol. Como el Sol es 500 000 veces más luminoso que la luna llena, aún eclipsado en el 98% suministra todavía un brillo igual al de 10 000 lunas llenas. Gracias a estas coincidencias de tamaño angular y distancias la humanidad ha podido disfrutar de los eclipses totales, que en caso de no existir tales circunstancias tal vez no sabríamos lo suficiente de nuestro Sol; dado que observaríamos eclipses anulares los cuales pasarían desapercibidos para el grueso de la población.

II MECANICA CELESTE

ANTECEDENTES

En el año 340 a.C. el filósofo griego Aristóteles en su libro *De los Cielos* estableció la posibilidad de que la Tierra fuera redonda en vez de una plataforma plana. Aristóteles creía que la Tierra era estacionaria y que el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas se movían en órbitas circulares alrededor de ella. Creía eso porque estaba convencido, por razones místicas, que la Tierra era el centro del Universo y que el movimiento circular era el más perfecto. Esta idea fue ampliada por Ptolomeo en el siglo II d.C. hasta constituir un modelo cosmológico completo.

El anti-aristotelismo de los humanistas del siglo XVI tuvo repercusiones en el terreno de la ciencia, ya que facilitó una ruptura con los conceptos metafísicos sobre la naturaleza del Universo. Esta tradición de apertura del pensamiento humanista generó las bases del pensamiento científico; el cual se evidencia por los trabajos de los más grandes científicos del Renacimiento: Copérnico, Galileo y Kepler, quienes desarrollaron ideas anti-aristotélicas y anti-escolásticas basadas principalmente en la posibilidad e importancia de descubrir regularidades aritméticas y geométricas en la naturaleza a través de la observación. Generando con ello una revolución que permitió la destrucción del modelo de Ptolomeo y la construcción de uno nuevo, que fue la base para la conceptualización de la ciencia moderna.

El Renacimiento permitió las conquistas decisivas para la ciencia, ya que se encontraron campos de aplicación de la misma, pues "los navegantes del Renacimiento suministraron justamente lo que se necesitaba: un seguro y creciente campo de aplicación. Y este campo requería de la astronomía y la náutica, que eran precisamente las ramas de la

ciencia que se habían conservado mejor desde la época clásica y se mantenían activamente al servicio de la astrología y de los cálculos calendáricos. Otros apoyos lo fueron la ciencia de la mecánica, para el desarrollo de las máquinas, y la dinámica para el desenvolvimiento de la artillería. De aquí en adelante quedó asegurada la posición de la ciencia, ya que se convirtió en una necesidad para las empresas más vitales, activas y productivas: el comercio y la guerra. Después extendió sus servicios a la manufactura, la agricultura y hasta la medicina. La importancia primordial que tuvo el Renacimiento fue el señalar el primer rompimiento radical con la economía, la política y las ideas feudales de la Edad Media. La mayor parte del trabajo constructivo quedó todavía por hacer; pero, indudablemente, ya no se podía volver atrás. La ciencia había empezado a grabar su impronta en la historia" (Bernal, 1994).

Al principio del siglo XVII "...Los Humanistas se sabían poseedores de un rico conocimiento que provenía de los Antiguos y cuya asimilación aún no había terminado. Estos eruditos necesitaban de los métodos que les permitieran preservar y aumentar sus conocimientos en un mundo en que aún la superstición, la religión y las instituciones escolásticas los enmarcaban en un conjunto incoherente. La búsqueda de los métodos que les permitieran la coordinación y la transmisión de los conocimientos acumulados, así como su aplicación a lo que se observaba actualmente, se había convertido en un imperativo" (Saldaña, 1989).

Esta búsqueda del método se manifestó en diferentes campos de investigación." El más conspicuo fue el refinamiento de la astronomía, que era esencialmente necesaria para la navegación oceánica y, en particular, para resolver el problema de la longitud geográfica. Este se encontraba indisolublemente ligado con el problema de la constitución real y el funcionamiento del sistema solar, que hasta entonces eran aceptados pero carecían de

explicación física. Además la astronomía suministraba el mejor campo para la nueva explicación *matemática* del universo" (Bernal,1994).

A partir de la mitad del siglo XVII y hasta finalizar éste, el movimiento científico se desarrolló a gran velocidad en forma paralela al de la burguesía, que en países como Inglaterra y Francia favorecían su desarrollo al tener un papel importante al interior de sus gobiernos. Esta cobertura y ayuda mutua permitió a los científicos encontrar "las condiciones para establecer las formas de organización que hasta entonces les faltaban: las sociedades científicas "The Royal Society - 1662; l'Académie Royale des Sciences - 1666; l'Accademia Cimiento - 1651/1667) y los periódicos científicos (Philosophical Transactions de la Royal Society; el Journal des Savants; las Mémoires de Trévoux; Acta Eruditorum). La información y la comunicación sistemática son en lo sucesivo posibles entre los científicos..." (Saldaña,1989).

La búsqueda de la coordinación y la transmisión de los conocimientos acumulados generó toda una Revolución Científica y la explicación matemática del cosmos fue sin duda la síntesis del esfuerzo realizado en los siglos que precedieron al XVII. Este esfuerzo quedó plasmado en la física newtoniana y en el cálculo infinitesimal de Newton y Leibniz.

En el año de 1687 Isaac Newton publicó, a través de la Royal Society, los *Philosophia naturalis principia mathematica* (Principios matemáticos de filosofía natural); en los que estableció las leyes de la dinámica desde un punto de vista físico y con un análisis matemático nuevo: el cálculo infinitesimal. Ahí mismo presentó sus ideas sobre la fuerza de atracción gravitacional y su dependencia con la masa de los objetos involucrados y con la distancia que los separa. "Newton en sus Principia fue mucho más allá del establecimiento de las leyes del movimiento de los planetas. Su gran logro consistió en demostrar cómo la gravitación universal podía mantener el sistema del mundo. Pero no

trató de conseguirlo por el antiguo camino filosófico, sino por el nuevo sendero cuantitativo y físico" (Bernal, 1994).

La mecánica celeste y su contribución a la astronomía marcan el final de la concepción geocéntrica del mundo. Es en el campo de la astronomía donde se libró batallas contra la ortodoxia religiosa y científica, por la nueva cosmovisión del universo que se implicaba en las teorías newtonianas. "La síntesis Newtoniana traía consigo la aceptación explícita de las teorías heliocéntricas de Copérnico, de las leyes planetarias de Kepler y de los principios de la dinámica propuestos por Galileo y por Borelli, de tal forma que la aceptación de las tesis del notable sabio inglés equivalía a poner en entredicho la concepción geocéntrica de Tolomeo y las teorías físicas de Aristóteles al mismo tiempo que se impugnaba la tradición cristiana ortodoxa que se apoyaba en gran medida en ambos autores para su propia cosmovisión religiosa" (Trabulse, 1984).

En la etapa de transición entre el siglo XVII al XVIII se empieza a desarrollar la necesidad de una nueva relación y transacción entre ciencia y religión, "... tal como las que existían entre la monarquía y la república y entre la gran burguesía y la nobleza. El sistema newtoniano del universo representa una concesión considerable de parte de la ortodoxia religiosa, ya que la mano de Dios dejó de ser claramente visible en cada acontecimiento celestial o terrestre, quedando confinada a la creación general y a la organización del conjunto. Dios se convirtió de hecho -al igual que los ungidos por él en la Tierra- en un monarca constitucional. Y, por otra parte, los científicos convinieron en no entrometerse en el campo propio de la religión -el mundo de la vida humana, con sus aspiraciones y responsabilidades" (Bernal, 1994).

LEYES DEL MOVIMIENTO PLANETARIO

El modelo de Ptolomeo o sistema geocéntrico, supone que la Tierra se encuentra fija en el centro del Universo, y que el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas se mueven todos en torno de ella en órbitas complejas. "El modelo de Ptolomeo proporcionaba un sistema razonablemente preciso para predecir las posiciones de los cuerpos celestes en el firmamento. Pero, para poder predecir dichas posiciones correctamente, Ptolomeo tenía que suponer que la Luna seguía un camino que la situaba en algunos instantes dos veces más cerca de la Tierra que en otros. ¡Y esto significaba que la Luna debería aparecer a veces con tamaño doble del que usualmente tiene! Ptolomeo reconocía esta inconsistencia, a pesar de lo cual su modelo fue amplio, aunque no universalmente, aceptado. Fue adoptado por la Iglesia cristiana como la imagen del universo que estaba de acuerdo con las Escrituras, y que, además, presentaba la gran ventaja de dejar, fuera de la esfera de las estrellas fijas, una enorme cantidad de espacio para el cielo y el infierno" (Hawking, 1988).

En el siglo XVI un modelo más simple fue propuesto por un cura polaco; Nicolás Copérnico, que en 1514 sugirió el sistema heliocéntrico, en el cual la Tierra era un planeta girando alrededor de su eje y moviéndose en torno del Sol y los otros planetas tenían movimientos similares. "(Al principio, quizás por miedo a ser tildado de hereje por su propia iglesia, Copérnico hizo circular su modelo de forma anónima.)" (Hawking, 1988).

La confrontación de los dos sistemas estimuló a los astrónomos a obtener datos observacionales más exactos. Tycho Brahe (1546-1601) recopiló datos relativos a los movimientos de los planetas, los cuales fueron analizados e interpretados en un lapso de 20 años por Johannes Kepler (1571-1630), que de joven fue ayudante de Brahe. El

propósito del trabajo de Kepler era la construcción de mejores tablas astronómicas del movimiento planetario que las que en ese entonces había.

"Kepler encontró importantes regularidades en el movimiento de los planetas. Esas regularidades se conocen como las tres leyes de Kepler del movimiento planetario.

1.- Todos los planetas se mueven en órbitas elípticas que tienen al Sol en uno de sus focos (ley de las órbitas)" (Resnick, Halliday, 1977).

Aceptando que la ley de las órbitas es puramente un resumen de hechos observados, esto es una ley empírica, se nota que describiendo las trayectorias como elípticas, la ley da todas las posibles posiciones de un planeta dado, pero no dice cuándo estará en cualquiera de esas posiciones; la ley habla de la forma de la órbita, no sobre la velocidad variable a lo largo de la órbita. Kepler debió darse cuenta de que su primera ley no era suficiente para describir el movimiento planetario, ya que necesitaba una ley que relacionara la velocidad de un planeta en cualquier posición de su órbita, con la velocidad en cualquier otra posición; lo que permitiría determinar el movimiento de cualquier planeta simplemente por unas cuantas cifras separadas: dos datos para especificar la elipse (los ejes mayor y menor), un dato más para dar la velocidad en una cierta posición de la trayectoria y unos cuantos datos adicionales para colocar esta elipse con la inclinación correcta respecto a las otras. En esta forma logró resumir todas las características del movimiento planetario en forma compacta y elegante.

"2.- Una recta que una un planeta cualquiera con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales (ley de las áreas)" (Resnick, Halliday, 1977)

La figura II.1 ilustra la segunda ley de Kepler. Se muestra una trayectoria planetaria alrededor del Sol S localizado en un foco de la elipse. Supongamos que el planeta en cuestión es la Tierra. Se encuentra que se mueve de la posición P_1 a la P_2 (por ejemplo, durante una semana de invierno). Durante un intervalo igual en la primavera la

trayectoria va de P_3 a P_4 y de P_5 a P_6 en el verano. La implicación de la figura es que la velocidad terrestre a lo largo de la órbita es mayor cuanto más cerca esté el Sol y menor cuando esté más distante. Para la Tierra, la máxima velocidad orbital es 30,249.2 metros por segundo en el perihelio, la mínima es 29,283.8 metros por segundo en el afelio. Esta regularidad se convierte en ley por el reconocimiento de que al medir el área de la figura SP_1P_2 es la misma que para SP_3P_4 y para SP_5P_6 etc. y es aplicable a todos los planetas. Si se establece la órbita elíptica del planeta y el área barrida en un intervalo dado, se puede proceder a marcar áreas iguales adyacentes entre sí y de ahí determinar las posiciones en las cuales el planeta estaría localizado en intervalos sucesivos iguales. La primera y segunda ley no revelan conexión alguna entre los movimientos de los diferentes planetas, dado que tal parece que cada planeta parece tener su propia órbita elíptica y sus velocidades. Kepler estaba convencido de encontrar una regla simple que relacionara todo el sistema solar.

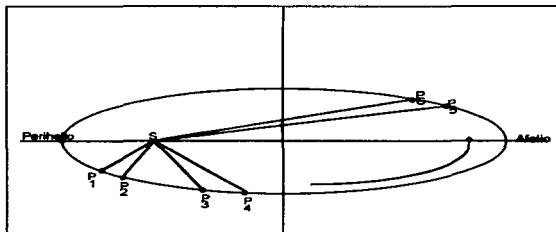


Figura. II.1. Trayectoria elíptica de los planetas alrededor del Sol S (foco izquierdo), ilustrando la segunda ley de Kepler

"3.- El cuadrado del período de un planeta cualquiera en torno del Sol es proporcional al cubo de la distancia media del planeta al Sol (ley de los períodos)"
(Resnick, Halliday, 1977).

Esta ley establece que si T es el período sideral de cualquier planeta escogido (el tiempo para una revolución orbital completa alrededor del Sol), y R el radio medio de la órbita de ese planeta, entonces

$$T^2 = K(R)^3 \quad (II.1)$$

donde K es una constante que tiene el mismo valor para todos los planetas. Pero si $T^2/(R)^3$ es la misma para todos los planetas, podemos calcular su valor numérico para un planeta (para la Tierra $T = 1$ año y $R = 150 \times 10^6$ Km), y de ahí siempre podemos calcular para cualquier otro planeta su T si se conoce su R y viceversa.

Las leyes de Kepler reforzaron la teoría de Copérnico, ya que estas mostraron la simplicidad con la que se podía describir los movimientos planetarios cuando se tomaba el Sol como cuerpo de referencia. Desde el punto de vista de Kepler, las órbitas elípticas constituían meramente una hipótesis ad hoc, y, de hecho, una hipótesis bastante desagradable, ya que las elipses eran claramente menos perfectas que los círculos. Kepler, al descubrir casi por accidente que las órbitas elípticas se ajustaban bien a las observaciones, no pudo reconciliarlas con su idea de que los planetas estaban concebidos para girar alrededor del Sol atraídos por fuerzas magnéticas. Kepler no tenía el concepto de la fuerza como causa de tales regularidades. De hecho el concepto de fuerza todavía no se había formulado claramente.

LA MECANICA Y SU APLICACION AL ESTUDIO DE LOS CUERPOS CELESTES

La explicación coherente sobre las leyes de Kepler fue proporcionada en 1687, cuando Newton publicó sus Principia Matemática. En ella Newton presentó la teoría sobre como se mueven los cuerpos en el espacio en función del tiempo, además desarrolló las complicadas matemáticas necesarias para analizar tales movimientos. Newton postuló la ley de la Gravitación Universal, de acuerdo con la cual cada cuerpo en el Universo es atraído por cualquier otro cuerpo con una fuerza que es tanto mayor cuanto más masivos fueran los cuerpos y cuanto más cerca estuvieran el uno del otro. Newton llega a demostrar que la influencia de la gravedad es la causa de que la Luna se mueva en una órbita elíptica alrededor de la Tierra, y que la Tierra y los planetas sigan caminos elípticos alrededor del Sol.

Matemáticamente Newton demostró que para trayectorias a lo largo de secciones cónicas tales como hipérbolas, parábolas, elipses y círculos, la fuerza centrípeta en cualquier punto debe ser proporcional al inverso del cuadrado de la distancia del cuerpo al foco. Para cualquier cuerpo que obedezca la primera ley de Kepler de la trayectoria elíptica debe actuar una fuerza que sigue la ley $F = C/R^2$ donde C es una constante para ese cuerpo y R está medido desde el centro del cuerpo hasta el centro de fuerza que es el foco de la elipse.

La fuerza centrípeta para un planeta que sigue una trayectoria circular es $F = C/R^2$ y por consiguiente obedece la ley

$$T^2 = KR^3 \quad (11.2)$$

que no es mas que la tercera ley de Kepler. La fuerza centrípeta F sobre el planeta esta dada por C/R^2 , y de la segunda ley de Newton, obtenemos que es igual a $m_p a_R$, donde

m_p es la masa del planeta y a_R la aceleración centripeta. Para trayectorias circulares alrededor del Sol se tiene que

$$a_R = v^2/R \quad (11.3)$$

donde v es la velocidad del planeta en su órbita. Pero

$$a_R = v^2/R = 4\pi^2 R^2/T^2 R = 4\pi^2 R/T^2 \quad (11.4)$$

donde T es el periodo de revolución orbital del planeta. Se sigue que

$$F = m_p a_R = m_p 4\pi^2 R/T^2 \quad (11.5)$$

Combinando 11.5 con F , tenemos

$$C/R^2 = m_p 4\pi^2 R/T^2$$

por lo tanto

$$T^2 = (m_p 4\pi^2/C)R^3 \quad (11.6)$$

Como m_p y C son constantes, el contenido dentro del paréntesis será una constante para un planeta dado, por lo que T^2 es proporcional a R^3 , por lo tanto

$$K = (m_p 4\pi^2/C) \quad (11.7)$$

siendo K , para el sistema Solar, la misma constante para todos los planetas.

La fuerza centripeta que obra sobre todos los planetas no es más que la atracción gravitacional del Sol.

La fuerza gravitacional, F_g , entre cualquiera dos cuerpos esféricamente simétricos es proporcional al recíproco del cuadrado de la distancia entre los dos cuerpos, esto es

$$F_g \propto 1/R^2$$

Ahora bien, consideremos dos cuerpos sólidos específicos, totalmente aislados del resto del universo, por ejemplo una piedra (m_1) y la Tierra (m_2) colocados a una distancia R de sus centros. El tirón de la gravedad, el peso de m_1 a la distancia dada R , es F_g . Por la tercera ley de Newton, el tirón de la Tierra (m_2) sobre m_1 es tan grande como el tirón de

m_1 sobre m_2 ; el peso de una piedra F_g medido por su atracción hacia la Tierra es igual al peso de la Tierra medido por su atracción hacia la piedra.

Sin embargo, sabemos que en una localidad dada el peso de la piedra aumenta directamente con la masa de la misma, esto es $F_g \propto m_1$. De las proporcionalidades inducidas se obtiene que

$$F_g \propto m_1 m_2 / R^2 \quad \text{ó} \quad F_g = G m_1 m_2 / R^2 \quad (11.8)$$

donde R es la distancia entre los centros de los dos cuerpos, suponiendo que son esferas homogéneas, y G es una constante de proporcionalidad.

Las proposiciones precedentes implican la interpretación de la ecuación 11.8 como una ley de gravitación universal. La ley de la gravitación universal nos dice que "La fuerza entre dos partículas cualesquiera de masa m_1 y m_2 separadas una distancia r es una fuerza de atracción que obra sobre la línea que une a las partículas y su magnitud es:

$$F = G m_1 m_2 / r^2$$

siendo G una constante universal que tiene el mismo valor para todas las parejas de partículas" (Resnick, Halliday, 1977).

Esta ley es totalmente compatible con las tres leyes de Kepler. Con respecto a las dos primeras, las relaciones de áreas iguales y las órbitas elípticas deben resultar de este tipo de fuerza gravitacional, puesto que está dirigida centralmente y es proporcional al cuadrado inverso de las distancias. Con respecto a la tercera ley, G se mantiene como la constante de proporcionalidad.

Más de un siglo pasó entre la publicación de Newton de su Ley de Gravitación Universal y su prueba experimental. Los físicos tuvieron serias dudas acerca de la verdad de su hipótesis, pero su compatibilidad con datos astronómicos dejó pocas dudas de su validez. No obstante, como en todos los otros nuevos conceptos de la Física, se requirió evidencia directa experimental: una medida en el laboratorio, de la fuerza de atracción

entre dos masas. " La primera medición exacta fue efectuada por Lord Cavendish en 1798. En el siglo XIX, Poynting y Boys introdujeron mejoras importantes. El valor de G que se acepta actualmente fue obtenido por P. R. Heyl y P. Chizanowski en el National Bureau of Standards de los Estados Unidos en 1942. Este valor es:

$$G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{Kg}^2$$

exacto con una precisión de $0.003 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{Kg}^2$." (Resnick, Halliday, 1977)

APLICACIONES

Una aplicación directa de las leyes del movimiento y de la ley de la gravitación universal se obtiene cuando se analiza los movimientos de los cuerpos del sistema solar.

"Consideremos dos cuerpos esféricos de masas M y m que se mueven en órbitas circulares bajo la influencia de su atracción gravitacional mutua. El centro de masa de este sistema de dos cuerpos se encuentra en la línea que los une en un punto C , tal que $mr = MR$, (figura 11.2). Si no obran fuerzas externas sobre este sistema, el centro de masa no tiene aceleración. En este caso, escogemos a C como el origen de nuestro marco de referencia. El cuerpo mayor de masa M se mueve en una órbita de radio constante R y el cuerpo menor de masa m ; en una órbita de radio constante r . Teniendo ambos la misma velocidad angular w . Para que esto suceda así, la fuerza gravitacional que obra sobre cada cuerpo debe producir la aceleración centrípeta necesaria. Puesto que estas fuerzas gravitacionales son simplemente una pareja acción-reacción, las fuerzas centrípetas deben ser iguales pero de sentidos opuestos. Esto es, mw^2r (la magnitud de la fuerza centrípeta ejercida por M sobre m) debe ser igual a Mw^2R (la magnitud de la fuerza centrípeta ejercida por m sobre M). Que esto es así se deduce inmediatamente, porque $mr = MR$, de manera que $mw^2r = Mw^2R$. Por consiguiente, el

requisito específico es que la fuerza de gravitación sobre cualquiera de los cuerpos sea igual a la fuerza centrípeta necesaria para conservarlo moviéndose en su órbita circular, esto es,

$$GMm/(R+r)^2 = mw^2r \quad (II.9)$$

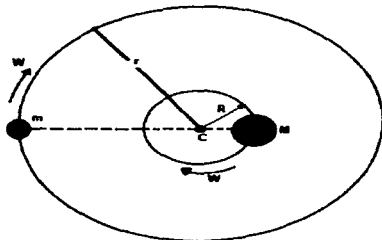


Fig. II.2. Cuerpos moviéndose en órbitas circulares bajo la influencia de su atracción gravitacional mutua, ambos con velocidad angular w .

Si un cuerpo tiene una masa mucho mayor que la del otro, como en el caso del Sol y un planeta, su distancia al centro de masa es mucho menor que la del otro cuerpo. Supongamos que R es insignificante comparado con r . Entonces II.9 se transforma en

$$GM_s = w^2r^3$$

siendo M_s la masa del Sol. Si expresamos la velocidad angular en función del periodo de revolución, $w = 2\pi/T$, obtenemos:

$$GM_s = 4\pi^2r^3/T^2 \quad (II.10)$$

Esta es una ecuación fundamental del movimiento planetario; es válida también para órbitas elípticas si se define r como el semieje mayor de la elipse.

Una consecuencia inmediata de la ecuación 11.10 es que predice la tercera ley de Kepler del movimiento planetario en el caso especial de órbitas circulares. Porque se puede expresar la ecuación 11.10 como:

$$T^2 = 4\pi^2 r^3 / GM_s$$

Nótese que la masa del planeta no interviene en esta expresión. En este caso, $4\pi^2/GM_s$ es una constante, la misma para todos los planetas" (Resnick, Halliday, 1977).

En su obra Traite de Mécanique Céleste Laplace desarrolla con gran detalle la aplicación del formalismo físico para el estudio de los cuerpos celestes. En el caso de este inciso sólo se pretendió dar una idea de la aplicación de la mecánica al estudio de los cuerpos celestes.

III ECLIPSES SOLARES

GENERALIDADES

Para que un eclipse de Sol ocurra, es necesario que la Luna este en conjunción y no muy alejada de uno de los dos nodos de su órbita, esto es, de uno de los dos puntos en que ella intercepta la órbita de la Tierra. Cuando ésto ocurre, la fase de la Luna corresponde a Luna nueva. En el momento de ocurrencia de eclipses de Sol y de Luna ambos cuerpos celestes se encuentran en oposición o conjunción respectivamente.

"Si el ángulo entre la línea de los nodos y el Sol o la Luna es mayor que $12^{\circ}15'$ es imposible que un eclipse lunar total ocurra, por otro lado si éste es menor que $9^{\circ}30'$ deberá de ocurrir un eclipse lunar. Si el ángulo es mayor que $18^{\circ}31'$ no ocurrirá un eclipse solar, si éste es menor que $15^{\circ}31'$ seguro ocurrirá un eclipse solar" (Duffete-Smith, 1980).

Cuando ocurre un eclipse de Sol es evidente que el fenómeno no podrá ser observado al mismo tiempo por todos los puntos de la Tierra que tenían en ese momento al Sol por encima del horizonte; el aspecto del eclipse varía conforme el lugar de donde es observado.

La Luna proyecta del lado opuesto al Sol un cono de sombra que puede cortar la superficie de la Tierra, haciendo el eclipse total de Sol para todos los puntos del globo que se encuentren en la intersección de la primera "hoja" del cono con la Tierra. Esto es lo que sucede cuando el diámetro aparente de la Luna, visto desde la superficie de la Tierra, es mayor que el del Sol.

Puede acontecer que el vértice del cono no alcance la superficie de la Tierra; ocurriendo entonces un eclipse anular para la región de la Tierra que se encuentre en la intersección de la superficie terrestre con la segunda "hoja" del cono de sombra.

Observándose de un punto de esa región el disco lunar proyectarse sobre el Sol. Es lo que sucede cuando el diámetro aparente de la Luna es menor que el del Sol, visto desde la Tierra.

Los eclipses de Sol pueden ser centrales o parciales. Un eclipse central ocurre cuando el eje del cono de sombra formado por la Luna se encuentra con la Tierra. El desplazamiento de este punto de "encuentro" sobre el suelo terrestre define la línea de centralidad del eclipse. Un eclipse central constituye un eclipse total (ver fig. III.1), cuando la extremidad del cono de sombra barre la superficie terrestre según un ovalo de intersección, cuyas dimensiones irán a depender de la distancia de la Luna a la Tierra. Ella sería mayor si la Luna estuviese más cercana a la Tierra; sería menor si estuviese más alejada. El desplazamiento de este ovalo sobre el suelo delimita la franja de totalidad del eclipse. Un eclipse será total para los observadores situados en el interior de esa franja, la cual puede alcanzar hasta más de 300 Km de ancho.

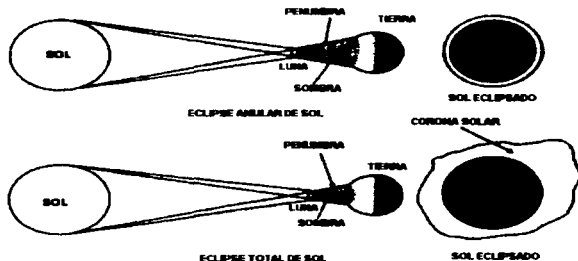


FIG. III.1 Eclipses Total y Parcial

Un eclipse central constituye un eclipse anular cuando el vértice del cono de sombra no llega a la Tierra, que será barrida solamente por el prolongamiento de este cono, seguido por una franja igualmente definida por un ovalo de intersección. El fenómeno visible en el interior de esa franja es un eclipse anular.

Un eclipse anular total o eclipse mixto podrá ocurrir muy raramente cuando la extremidad del cono de sombra que, no ha conseguido reencontrar la superficie terrestre, viene en seguida a barrerla para alejarse de nuevo y retomar el aspecto de anular.

El eclipse parcial ocurre solamente cuando la penumbra de la Luna alcanza la Tierra. Por otra parte, tales eclipses no ocurren en las regiones polares terrestres.

Un eclipse total o anular puede ser visto como eclipse parcial para los observadores situados en la penumbra de la Luna, zona que se extiende a algunos miles de Km de cada lado de la franja de centralidad de un eclipse total o anular. Mas allá de esa zona, no existe eclipse.

Un eclipse central de Sol, en su conjunto, envuelve de manera diferente a los observadores terrestres tanto en su aspecto como en su duración. Dentro de la franja descrita por la sombra de la Luna en la superficie terrestre, el eclipse será total; en la región exterior de la franja, el eclipse será parcial. Cercano a las regiones ecuatoriales, la duración del eclipse es siempre mayor que en las latitudes altas.

La duración de un eclipse total de Sol es muy pequeña; en las circunstancias más favorables no es superior a 7 minutos y 58 segundos, en un lugar central de la franja de totalidad.

La duración del eclipse parcial, que precede y sucede a la totalidad, puede sobrepasar 3 horas en una determinada región. En general ésta es mucho más extensa que la franja de totalidad.

Cuando la Luna está en perigeo y la Tierra en afelio, la diferencia entre el diámetro aparente de la Luna en relación al Sol es máxima. Cuando nuestro satélite está próximo a la Tierra (perigeo), su diámetro aparente es máximo y cuando la Tierra esta en su mayor alejamiento del Sol (afelio), el Sol alcanza su menor diámetro aparente. Cuando el eclipse se da en estas condiciones particulares, tenemos los eclipses de gran duración. Como el afelio ocurre siempre en los primeros días de julio, los eclipses más largos ocurren siempre en junio o julio. Por otro lado, en estos días de julio, el Sol está en la declinación Norte, esto es, en el hemisferio Boreal, la totalidad más larga va a ocurrir en un lugar de latitud próxima a la declinación del Sol, esto es, de 23° Norte.

El movimiento en dirección al este del observador, en función de la rotación, va a alterar el fenómeno, puesto que la sombra de la Luna va a alcanzar al observador más lentamente de lo que ocurriría si no hubiese rotación. La velocidad de rotación es mayor en el ecuador, en cuanto a la latitud de 23° Norte es sensiblemente inferior. De esa manera, el efecto de rotación, retardando el movimiento aparente, será mayor en el ecuador.

Los eclipses más largos no ocurren en el ecuador, en virtud de la declinación Boreal del Sol, cuando este se encuentra próximo al afelio, en la latitud 20° Norte, en virtud de la rotación. La mejor situación será, por lo tanto, cuando la sombra de la Luna se proyecta en una latitud intermedia entre 0° y 23° Norte.

SISTEMA DE COORDENADAS ASTRONOMICAS

Para poder analizar los movimientos de los cuerpos celestes es necesario el definir los marcos de referencia para poderlos ubicar en cualquier momento, y predecir sus movimientos.

Empezaremos por definir lo que comúnmente se conoce como la esfera celeste, la cual, matemáticamente hablando, es la esfera infinitamente lejana y sobre ella se proyectan las estrellas, sobre ésta esfera se define también a) el horizonte (ver figura III.2), con las direcciones norte, oeste, sur y este; b) verticalmente por encima de un observador, el cenit; debajo de él el nadir; c) pasando por el polo celeste, el cenit, el punto sur, el nadir y el punto cardinal norte pasa el plano meridiano; d) pasando por el cenit y los puntos cardinales este y oeste, perpendicularmente al horizonte y al meridiano, pasa el primer vertical.

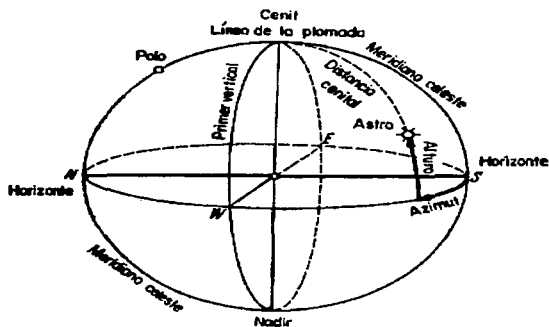


Figura III.2 Esfera Celeste

En este sistema de coordenadas se puede describir la posición momentánea de una estrella mediante la indicación de dos ángulos (ver fig. III.2): a) el acimut contado a lo

largo del horizonte en las direcciones sur, oeste, norte y este, comenzándose a veces a partir del sur y a veces a partir del norte; b) la altura; igual a 90° menos distancia cenital.

La esfera celeste junto con las estrellas, aparentemente cumple una rotación diaria alrededor del eje del mundo que pasa por el polo norte y el polo sur de ésta. Este desplazamiento aparente es lo que se llama el movimiento diurno. Perpendicularmente al eje del mundo se sitúa el ecuador celeste. La posición de una estrella sobre la esfera celeste infinitamente distante, se describe en un momento determinado por la declinación δ , contada positivamente desde el ecuador hacia el polo norte y negativamente hacia el polo sur (ver fig. III.3), y el ángulo horario t , contado desde el meridiano en el sentido del movimiento diurno, esto es, hacia el oeste.

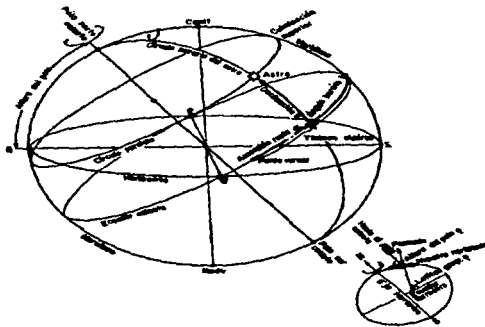


Figura III.3 Esfera celeste

En el transcurso de un día, una estrella recorre sobre la esfera (ver fig. III.3) una circunferencia paralela al ecuador celeste; al pasar por el meridiano del observador la estrella alcanza su altura máxima o culminación superior.

Sobre el ecuador celeste se marca el punto vernal γ , el cual se define como la posición del Sol en el momento del equinoccio de primavera, el 21 de marzo. Su ángulo horario indica el tiempo sidéreo τ .

Al arco de ecuador comprendido entre el punto vernal γ y el pie del círculo horario de la estrella, se le designa como ascensión recta α ; expresándose en horas, minutos y segundos, donde 24 horas corresponden a 360° , por lo que:

$$\begin{aligned} 1^h &= 15^\circ & 1^D &= 1/15^h = 4^m \\ 1^m &= 15' & 1' &= 4^s \\ 1^s &= 15'' \end{aligned}$$

De la figura III.3 se deduce la relación del ángulo horario

$$\text{ángulo horario } t = \text{tiempo sidéreo } \tau - \text{ascensión recta } \alpha$$

El horizonte es el plano tangente a la Tierra en el lugar del observador. El cenit corresponde a la dirección de la plomada perpendicular al horizonte, es decir a la dirección local de la aceleración de la gravedad, incluyendo en ésta la fuerza centrífuga proveniente de la rotación terrestre. La altura del polo o altura del polo celeste sobre el horizonte, es igual a la latitud geográfica ϕ ; que es el ángulo formado por la vertical y el plano del ecuador. Se la obtiene fácilmente como valor medio de las alturas de la Estrella Polar, o bien como promedio de las alturas que alcanza una estrella circumpolar en sus culminaciones superior e inferior. La longitud geográfica l corresponde al ángulo horario. Si se obtiene simultáneamente el ángulo horario t de una misma estrella en Greenwich que define el meridiano cero, y por ejemplo en la Ciudad de México (l_m), la diferencia da la longitud geográfica de la Ciudad de México. Mientras que la determinación de la latitud

geográfica sólo exige simples medidas de ángulos, la determinación de la longitud geográfica exige una transmisión exacta del tiempo. En un lugar de latitud boreal φ un astro de declinación δ alcanza en la culminación superior la altura $h_{\max} = \delta + 90^\circ - \varphi$, y en la culminación inferior $h_{\min} = \delta - (90^\circ - \varphi)$. Permanentemente encima del horizonte sólo se encuentran las estrellas circumpolares con $\delta > 90^\circ - \varphi$; en cambio las estrellas con $\delta < -(90^\circ - \varphi)$ nunca suben encima del horizonte.

MOVIMIENTO DE PRECESION TERRESTRE

Como corresponde a una magnitud permanente, el momento de rotación de la Tierra no varía. No obstante, si medimos con mayor exactitud su dirección y comparamos los resultados modernos con los antiguos, resultará que, a pesar de todo, el momento de rotación de la Tierra gira. Casi sin variar por su magnitud, dicho momento gira lentamente alrededor del polo de la eclíptica, es decir, en torno al momento orbital de la Tierra. El ángulo de su giro constituye en un año nada más de $20''$, pero en el lapso de 26 mil años el momento barrerá una superficie cónica en torno al polo de la eclíptica y retomarará casi a la posición inicial.

Este fenómeno físico es conocido como precesión, el cual influye en el aspecto cinemático, esto es, en función de la rotación de la Tierra. "De este modo, el periodo de precesión $T_\gamma = 2,578 \cdot 10^4$ años y su velocidad angular $\omega_\gamma = 2\pi/T_\gamma \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}$. Con tal velocidad se desplaza por la eclíptica el punto del equinoccio de primavera γ . Los equinoccios llegan un poco antes que la Tierra realice una revolución orbital completa con respecto a las estrellas. Precisamente por esta causa, dicho fenómeno lleva el nombre de precesión de los equinoccios; la palabra precesión proviene del latín *praecedere*, que significa *ir delante, anteceder*.

La precesión del eje terrestre fue descubierta por Hiparco, astrónomo de la Antigua Grecia. En el siglo III a.n.e. los astrónomos griegos llevaron a cabo el *empadronamiento* de las estrellas, confeccionando el primer catálogo sideral. Pasados 150 años después de este acontecimiento, Hiparco descubrió que las posiciones de todas las estrellas se habían desplazado respecto al punto del equinoccio de primavera. Este hecho significaba que el equinoccio llegaba un poco antes de que pasara el año sidéreo" (Bialko, 1985).

Tal movimiento del eje de la Tierra alrededor del polo de la eclíptica " se explica por el mismo principio que sirve para explicar el movimiento correspondiente de un trompo de juguete bajo la influencia de la gravedad terrestre. El abultamiento ecuatorial de la Tierra es atraído por la acción conjunta del Sol y de la Luna hacia el plano de la eclíptica. Podemos imaginarnos para ello que la masa de la Luna (cuyo plano orbital coincide prácticamente con el de la eclíptica) y la masa del Sol se encuentran repartidas uniformemente a lo largo de su órbitas. Sobre este momento angular M (fig. III.4) acciona el vector impulso angular de la Tierra N ; este vector coincide prácticamente con el eje de rotación de la Tierra. Las variaciones de N correspondientes $dN/dt = M$ producen, como se ve en la fig. III.4, el conocido movimiento de N y con ello el del eje terrestre, sobre un cono con un ángulo de apertura constante. El cálculo con los valores numéricos permite obtener el periodo exacto de la precesión lunisolar" (Unsóld, 1977).

Por el efecto de precesión se necesitan realizar ajustes a diferentes parámetros utilizados en cálculos y observaciones astronómicas con la finalidad de obtener resultados exactos, como por ejemplo en el cálculo de eclipses.

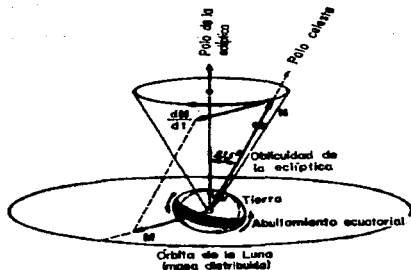


Figura III.4 Movimiento de precesión terrestre

EL SOL

Por la experiencia diaria de medir el tiempo conocemos la posición aproximada del Sol en el firmamento durante el transcurso de un día, así como su movimiento anual; pero para cálculos exactos, como el cálculo de un eclipse, necesitamos saber su posición exacta en el firmamento.

En este inciso obtendremos los métodos para calcular la órbita solar, la distancia Sol-Tierra, el tamaño angular aparente y la salida y puesta del Sol. Con estos parámetros podremos predecir el movimiento del Sol a través del tiempo.

ORBITA APARENTE DEL SOL

Durante el curso de un año, la Tierra se desplaza en su propia órbita elíptica alrededor del Sol, haciendo una revolución completa en 365¼ días. Observado desde la Tierra,

parece que el Sol se desplaza en una órbita alrededor de la Tierra lo cual es conveniente para los propósitos de calcular su posición. Se puede asumir que nosotros estamos en el foco de la elipse y el Sol la describe en función de su movimiento.

Cuando el Sol está cercano a la Tierra, se dice que está en perihelio y cuando está más alejado está en afelio.

Dado que el plano que contiene la órbita Sol-Tierra define el plano de la eclíptica, es fácil calcular el movimiento aparente del Sol sin preocuparse por las desviaciones de la eclíptica. Una vez que se ha calculado la longitud eclíptica, se define la posición del Sol como la latitud eclíptica en cero.

SALIDA Y OCASO DEL SOL

Durante el curso de un día sideral, las estrellas y otros cuerpos celestes fijos aparentan moverse en círculos alrededor del eje de rotación terrestre, realizando una revolución completa en 24 horas. En el momento, existe una estrella llamada Polaris la cual se encuentra cerca del Polo Norte del eje terrestre de tal forma que las estrellas en el cielo norte aparentan girar alrededor de Polaris. No hay nada de especial alrededor de esta estrella y no existen objetos correspondientes para el Polo Sur.

El radio aparente de rotación de una estrella depende del curso, en la separación angular o distancia polar entre ella y el polo; esas estrellas con una pequeña distancia polar nunca se sumergen por debajo del horizonte durante el curso de una rotación.

Cuando la estrella cruza el horizonte en dirección hacia abajo se le llama Ocaso y cuando reaparece se le denomina Salida.

Los tiempos de Salida y Ocaso, y el azimuth que ocurren pueden ser calculados por las siguientes fórmulas:

$$\text{GST}_r = 24 - 1/15 \cos^{-1} \{-\tan \phi \tan \delta\} + \alpha$$

$$\text{GSTS}_s = 1/15 \cos^{-1} \{-\tan \phi \tan \delta\} + \alpha$$

$$A_s = 360 - \cos^{-1} \{\text{seno } \delta / \cos \phi\}$$

$$A_r = \cos^{-1} \{\text{seno } \delta / \cos \phi\}$$

donde los sufijos r y s corresponden a Salida y Ocaso respectivamente, A es el azimuth, GST es el tiempo sideral en Greenwich, α es la ascensión recta, δ es la declinación y ϕ es la latitud geográfica del observador. Estas fórmulas obtienen el tiempo al cual la altura tiende a 0°. Estas ecuaciones son válidas para obtener la Salida y Ocaso del Sol.

CALCULO DE LA POSICION DEL SOL

Lo primero a definir es la época en la cual se basaran los cálculos; dado que el movimiento de precesión terrestre obliga a realizar ajustes en función del pasado para poder obtener datos actuales. En las efemérides astronómicas que se publican se puede obtener la longitud eclíptica del Sol, ϵ_0 , para una época determinada, la cual se puede tomar como punto de partida. La metodología a seguir es simplemente agregar a el número correcto de grados desplazados por el Sol desde la "época tomada" para localizar donde se encuentra en cualquier otro tiempo.

Además de conocer la longitud eclíptica del Sol en la "época" necesitamos conocer la longitud del Sol en perihelio, $\omega_0 = 282.51044$, y la excentricidad de la órbita Sol-Tierra, $e=0.01672$.

Ahora imaginémonos al Sol desplazándose en un círculo alrededor de la Tierra a una velocidad constante, en lugar de la elipse que realmente traza. Podemos calcular el ángulo, M, a través del cual este "Sol promedio" ficticio se ha desplazado desde el perihelio:

$$M = \frac{360}{365.25} d \text{ grados}$$

donde d es el número de días desde el perihelio, porque durante el curso de un año de 365.25 días el Sol completa un círculo de 360° . M es llamada la *anomalía promedio*. Mas que basar la calculación en el momento del perihelio se basa en una época determinada; entonces si D es el número de días desde la época, M se obtiene de (figura III.5)

$$M = \frac{360}{365.25} D + \epsilon - \omega$$

donde ϵ y ω son las longitudes del Sol en la época y perihelio respectivamente.

M se refiere al movimiento de un Sol promedio moviéndose en un círculo. Realmente se requiere la anomalía verdadera, v , la cual se aplica para el movimiento verdadero en una elipse. Se puede obtener de la ecuación del centro la cual es:

$$v = M + \frac{360}{\pi} e \sin M$$

donde v y M están expresados en grados y $\pi=3.1415927$.

Habiendo encontrado v , simplemente se le suma ϵ más la diferencia entre ω y ϵ (ver figura III.5) para encontrar la longitud del Sol. Entonces

$$\lambda_{\odot} = v + \epsilon + (\omega - \epsilon)$$

La longitud eclíptica λ , y la latitud eclíptica β se acostumbra expresarlas en ascensión recta α , y declinación δ , que son las coordenadas ecuatoriales. Estas se pueden transformar mediante las siguientes ecuaciones

$$\alpha = \tan^{-1} \left\{ \tan \lambda \cos \epsilon - \frac{\tan \beta \operatorname{sen} \epsilon}{\cos \lambda} \right\}$$

$$\delta = \operatorname{sen}^{-1} \{ \operatorname{sen} \beta \cos \epsilon + \cos \beta \operatorname{sen} \epsilon \operatorname{sen} \lambda \}$$

donde ϵ es la oblicuidad de la eclíptica ($23^\circ 26'$) y β por definición es cero.

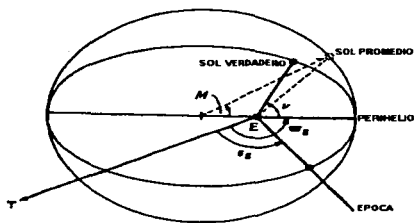


Figura 11.5 Definición de la órbita del Sol

CALCULO DE LA DISTANCIA DEL SOL Y TAMAÑO ANGULAR

Obteniendo la anomalía verdadera v , por el método de la sección anterior podemos obtener fácilmente la distancia Sol-Tierra r , y el tamaño angular del Sol, esto es el diámetro angular θ . Las fórmulas son:

$$r = \frac{r_0(1 - e^2)}{(1 + e \cos v)}$$

$$\theta = \theta_0 \frac{(1 + e \cos v)}{(1 - e^2)}$$

donde r_0 es la distancia media Sol-Tierra, θ_0 es el diámetro angular cuando $r = r_0$, y e es la excentricidad de la órbita.

" En el perihelio la distancia Tierra-Sol es $r_{\min} = a(1 - e)$, donde a es el semieje mayor de la elipse; en el afelio es $r_{\max} = a(1 + e)$. Los movimientos diurnos del Sol en el cielo, así como los ángulos barridos diariamente por el radio vector que parte de la Tierra, durante el perihelio y el afelio obedecen a la relación

$$(r_{\max}/r_{\min})^2 = ((1+e)/(1-e))^2$$

de acuerdo con la segunda ley de Kepler. Los correspondientes diámetros aparentes del Sol en los momentos de perihelio y afelio se hallan en la relación $1+e/1-e$ " (Unsöld, 1977).

LA LUNA

La Luna, acompañante inseparable de la Tierra, desde ésta se ve como un gran disco, que en promedio tiene 31' de diámetro, casi igual al del Sol. El ángulo que subtende, visto desde la Luna, el radio ecuatorial de la Tierra, se llama paralaje ecuatorial de la Luna y en promedio es igual a 3422".6. Dado el valor del radio terrestre de 6378 Km, se puede obtener a partir de él la distancia media de la Luna desde el centro de la Tierra:

$$60.3 \text{ radios terrestres} = 384,400 \text{ Km}$$

y con ello el radio de la Luna

$$0.272 \text{ radios terrestres} = 1,738 \text{ Km}$$

En esta sección nos ocuparemos de la órbita lunar, de su posición y movimiento horario, de las fases de la Luna, de su distancia, tamaño angular y paralaje; elementos todos ellos necesarios para el cálculo de eclipses solares.

ORBITA LUNAR

Para un observador en la superficie terrestre, la Luna parece tener una órbita alrededor de la Tierra, realizando una revolución completa con respecto a las estrellas fijas en 27.3117 días. Este periodo es llamado el mes sideral. Durante este tiempo la Tierra se desplaza a lo largo de su propia órbita así que las posiciones solares cambian con respecto a las estrellas. Por consiguiente la Luna realiza algunas distancias extras por arriba hasta recobrar la posición relativa al Sol. El intervalo definido por el tiempo tomado por la Luna para retomar hasta alguna posición relativa al Sol es llamado mes sinódico y es igual a 29.5306 días. La dirección del movimiento de la Luna en esta órbita alrededor de la Tierra es progresiva; esto significa que es como el de todos los planetas alrededor del Sol.

Un observador celeste observando el sistema solar desde una gran distancia no puede observar los giros que realiza la Luna en el espacio alrededor de la Tierra, por lo que describirá el movimiento lunar como si la Luna realizara órbitas alrededor del Sol como la que se ilustra en la figura III-6. Esto es debido a que la fuerza gravitacional del Sol sobre la Luna es mucho mayor que el de la Tierra. Esto causa que la órbita de la Luna sea difícil de calcular ya que es regulada por dos cuerpos, y no uno, los cuales están entrelazados cada uno alrededor del otro. Para el propósito de nuestros cálculos podemos imaginarnos que ambos el Sol y la Luna giran alrededor de la Tierra.

Gran parte del trabajo teórico y observacional desarrollado por muchos astrónomos de importancia de los siglos XVII, XVIII y XIX, fue el de establecer una "teoría lunar" que permitiera reproducir adecuadamente este complejo movimiento de nuestro satélite. La mayoría de ese trabajo quedó impreso en diversas Tablas Lunares.

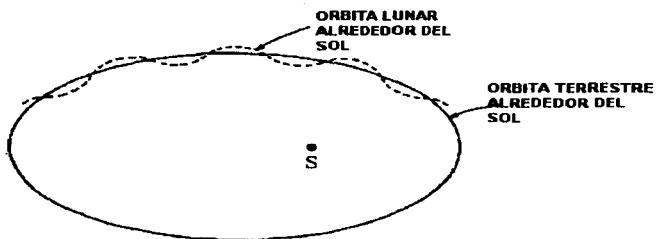


Figura III.6 La órbita lunar

Existen 3 efectos principales de las perturbaciones causadas por el Sol en la órbita aparente de la Luna alrededor de la Tierra. La primera de estas es llamada evección en la cual el valor aparente de la excentricidad de la órbita lunar varía ligeramente. La segunda es debida a la variación de la distancia Sol-Tierra, consecuencia de que la Tierra viaja en su elipse alrededor del Sol. Esta corrección es llamada la ecuación anual. La tercera desigualdad toma en cuenta el movimiento de la Luna en el campo gravitacional del Sol.

Cuando la Luna está en un lado de la Tierra y está cercana al Sol, la atracción gravitacional del Sol es escasamente mayor que cuando la Luna esta del otro lado de la Tierra. Esta corrección es llamada la variación.

Todas estas correcciones, en conjunto con la corrección usual llamada la ecuación del centro, pueden estar por encima de los 90° de diferencia con respecto a la anomalía media de la Luna.

El movimiento aparente de la Luna y del Sol alrededor de la Tierra es mostrado en la figura III-7.

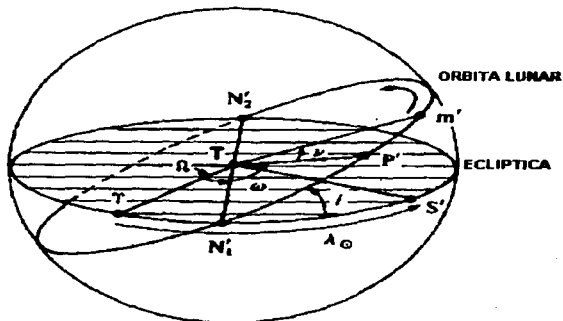


Figura III.7.- Definición de la órbita lunar

Imaginémonos que un observador que esté observando el sistema solar desde una gran distancia y que pueda moverse de tal manera que la Tierra parece estar estacionaria. La esfera grande es centrada en la Tierra T, y los planos de las órbitas del Sol y de la Luna son proyectados hasta cortar los círculos de la esfera grande $\gamma N_1' S' N_2'$ y $N_1' P' m' N_2'$, respectivamente.

S' es la proyección del Sol sobre la esfera. Su longitud se mide desde el primer punto de Aries γ y es denotada por λ_{\odot} . La órbita lunar está inclinada respecto de la eclíptica con un ángulo i . N_1' y N_2' son las proyecciones de los nodos ascendentes y descendentes; P' es la proyección del perigeo lunar y m' es la proyección de la posición real de la Luna. La

longitud del nodo ascendente es Ω , la longitud del perigeo es $\Omega + \omega$ y la anomalía verdadera de la Luna es v .

Los principales efectos de las perturbaciones mencionadas anteriormente son dos. La primera se debe a que el perigeo de la órbita lunar, diferente al perihelio estacionario de las órbitas de los planetas, avanza (progrados) de tal manera que ésta realiza una revolución completa en 8.85 años. La segunda proviene de que la línea que une los nodos N_1 , N_2 se mueve hacia atrás (retrogrado) alrededor de la eclíptica de tal forma que realiza una revolución completa en 18.61 años. Se define el intervalo temporal que le lleva la Luna regresar hasta el nodo ascendente como el dracónico o mes nodal y este es igual a 27.2122 días.

CALCULO DE LA POSICION DE LA LUNA

Existen tres pasos en el proceso de localización de la posición de la Luna. El primero es determinar la anomalía media M_m ; la cual se refiere a la posición ficticia de la Luna en la órbita circular. Entonces las correcciones por evección, la ecuación anual, la variación y la ecuación del centro son aplicadas para localizar la longitud orbital verdadera ℓ'' de la Luna. Finalmente, la longitud es referida al plano de la eclíptica para determinar la longitud geocéntrica de la eclíptica λ_m y latitud β_m . La ascensión recta y declinación pueden ser localizadas por el método obtenido en el CALCULO DE LA POSICION DEL SOL.

Se puede calcular el número de días D , contados a partir de "alguna época" seleccionada, esta necesidad se definió en MOVIMIENTO DE PRECESION TERRESTRE, hasta el día y tiempo que interesa, contando el tiempo del día como una fracción de un día, y utilizando el valor de D para determinar:

a) La longitud eclíptica del Sol, λ_{\odot} , y la anomalía media M_{\odot} .

b) La longitud media de la Luna, ℓ , obtenida por

$$\ell = \frac{360}{27.3217} D + \ell_0$$

donde ℓ_0 es la longitud de la Luna para la época.

c) La anomalía media de la Luna, M_m , es obtenida por

$$M_m = \ell - \frac{360}{365.25} X \frac{D}{8.85} - P_0$$

donde P_0 es la longitud del perigeo lunar para la época

d) La longitud media del nodo ascendente N , se obtiene mediante la ecuación

$$N = N_0 - \frac{360}{365.25} X \frac{D}{18.61}$$

donde N_0 es la longitud del nodo para la época.

A continuación calcularemos la corrección, E_v , para la evección, la cual tiene que ser aplicada para ℓ y M_m

$$E_v = 1.274 \text{ sen } [2C - M_m]$$

donde $C = \ell - \lambda_{\odot}$

Ahora la ecuación anual. Esta tiene que ser sustraída desde ℓ y M_m

$$A_a = 0.186 \text{ sen } (M_{\odot})$$

En adición, esta es una tercera corrección para ser sustraída desde M_m

$$A_3 = 0.37 \text{ sen } (M_{\odot})$$

Con estas correcciones podemos encontrar la anomalía correcta, M'_m :

$$M'_m = M_m + E_v - A_a - A_3$$

ahora podemos localizar la ecuación del centro:

$$E_c = 6.289 \text{ sen } (M'_m)$$

Esta es la tercera corrección de la longitud media de la Luna para que podamos localizar ℓ' , la longitud correcta, para

$$\ell' = \ell + E_v - A_e + E_c$$

La corrección final que aplicaremos es la variación, dada por:

$$V = 0.658 \text{ sen } 2(\ell' - \lambda_{\odot})$$

Esta sumada a la longitud correcta permite obtener la longitud orbital verdadera ℓ''

$$\ell'' = \ell' + V$$

Ahora tenemos que referir el valor de ℓ'' para la eclíptica, para así obtener la longitud y latitud eclíptica. Esto es

$$\lambda_m = \tan^{-1} \{ \tan(\ell'' - N') \cos i \} + N'$$

y

$$\beta_m = \text{sen}^{-1} (\ell'' - N') \text{ sen } i$$

donde N' es la correcta longitud del nodo obtenida por

$$N' = N - 0.16 \text{ sen } (M_{\odot})$$

MOVIMIENTO HORARIO DE LA LUNA

El cálculo para obtener la posición de la Luna es largo, y deberá realizarse con sumo cuidado para evitar equivocaciones. Si se requiere la posición de la Luna a diferentes horas durante un día, en lugar de repetir los cálculos para cada hora es suficiente hallar la posición una vez y posteriormente extrapolar los valores a diferentes tiempos, utilizando los valores para los movimientos horarios para la latitud y longitud eclíptica. Los movimientos horarios se obtienen mediante las siguientes fórmulas:

$$\Delta\beta = 0.05 \cos(\ell'' - N') \text{ grados / hora}$$

$$\Delta\lambda = 0.55 + 0.06 \cos(M'_m) \text{ grados/hora}$$

donde $\Delta\beta$ es el movimiento en latitud y $\Delta\lambda$ es el movimiento en longitud. Obteniendo la posición λ_0 y β_0 al tiempo t_0 , la posición posterior a t horas es simplemente

$$\beta = \beta_0 + \Delta\beta t$$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda t$$

LAS FASES DE LA LUNA

Las posiciones relativas del Sol y de la Luna vistas desde la Tierra cambian durante el curso de un mes. El hemisferio lunar que da al Sol, siempre se encuentra iluminado pero nosotros solamente observamos aquella mitad que nos da la cara. Al menos que la Luna este en oposición al Sol, lo cual ocurre en tiempo de luna llena, la cara que apunta hacia la Tierra no está uniformemente iluminada, solamente observamos un segmento del disco. El área del segmento expresado como una fracción del disco es llamada la fase.

La variación de la fase con la posición lunar es mostrada en la figura III-8. En la figura se ilustra una representación de la órbita lunar alrededor de la Tierra T.

Nuestro satélite natural se muestra en cinco posiciones diferentes. En 1, la cara oscura de la Luna se vuelve hacia la Tierra para ser invisible, aunque en realidad la Luna es algo iluminada por luz solar reflejada por la Tierra. Esta es la fase de Luna nueva. Una semana después la Luna a pasado a la posición 2 y se dice que está en cuadratura, esto es el primer cuarto o fase de cuarto creciente. En la posición 3 la fase de luna llena, que es el punto de oposición con el Sol. En la posición 5, la Luna está nuevamente en cuadratura; esto es el tercer cuarto o cuarto menguante. Entre las posiciones 2 y 5 más de la mitad de la cara de la Luna se ilumina, este fenómeno se conoce como gibosidad.

Comparado con el radio de la órbita lunar alrededor de la Tierra, la distancia al Sol es verdaderamente muy grande. Por lo que sin pérdida de exactitud se puede considerar que las direcciones 1-Sol y 4-Sol son paralelas. El ángulo d es llamado la edad de la luna y obviamente varía desde 0° en luna llena hasta 180° en luna nueva. La fase F se obtiene de:

$$F = \frac{1}{2} (1 + \cos d)$$

Refiriéndonos a la figura III-8 y recordando que las líneas hacia el Sol se asumen en paralelo, hallamos que

$$d = 180 - \lambda_{\odot} + \ell'' \text{ grados}$$

El valor de F oscila en un rango de 0 a 1. Cuando $F = 0$ la cara oscura de la Luna es hacia la Tierra. Cuando $F = 1$ la cara iluminada de la Luna es hacia la Tierra

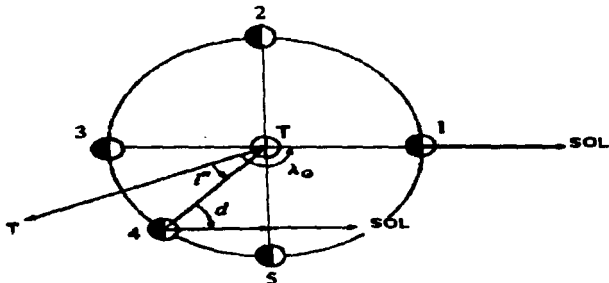


Figura III.8.- Las fases de la Luna

DISTANCIA LUNAR, TAMAÑO ANGULAR Y PARALAJE

Durante el curso de un circuito completo de su órbita, la distancia de la Luna ρ a la Tierra varía considerablemente. Su punto de mayor proximidad, perigeo, está aproximadamente a 356,000 Km de la Tierra, mientras el punto más lejano, apogeo, está a una distancia de 407,000 Km. Se puede calcular la distancia Luna-Tierra en cualquier punto de su órbita fácilmente mediante la siguiente fórmula

$$\rho = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos(M'_m + E_c)}$$

donde M'_m es la anomalía correcta, E_c es el valor de la ecuación del centro, e es la excentricidad de la órbita lunar y a es el semieje mayor de la órbita de la Luna. Usualmente se expresa la distancia como una fracción de la distancia promedio por lo que podemos escribir

$$\rho' = \frac{\rho}{a} = \frac{(1 - e^2)}{1 + e \cos(M'_m + E_c)}$$

Las unidades de ρ son las mismas de a ; si a es expresada en Km, ρ será en Km, así que ρ' es una cantidad adimensional.

El diámetro angular aparente θ de la Luna se obtiene directamente del valor de ρ' . Eso es obtenido por

$$\theta = \frac{\theta_0}{\rho'}$$

donde θ_0 es el diámetro angular aparente de la Luna cuando está a la distancia promedio de la Tierra.

La paralaje lunar se define como el ángulo subtendido por el radio de la Tierra, visto desde la Luna. Se necesita hallar su valor para los cálculos de eclipses. La fórmula es

$$P = \frac{P_0}{\rho'}$$

donde P_0 es el paralaje a la distancia promedio.

CALCULO DE LOS ELEMENTOS BESSELIANOS DE UN ECLIPSE SOLAR

El aspecto de un eclipse solar varía de un lugar a otro sobre la Tierra, contrariamente al del eclipse de Luna, cuya apariencia es la misma para todos los puntos que tienen a la Luna encima del horizonte. Por eso la predicción de un eclipse de Sol para cualquier lugar es más complicado de lo que es un eclipse lunar. El método de predicción generalmente adoptado fue desarrollado por el astrónomo y matemático alemán Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846), quien mediante el truco de suponer la existencia de un Sol promedio, resolvió la ecuación diferencial correspondiente, tabulando sus resultados.

Los elementos Besselianos de un eclipse solar predicen las posiciones geométricas de la sombra de la Luna y del observador en relación al centro de la Tierra. Las tangentes exteriores a las superficies del Sol y de la Luna definen el cono de sombra, y las tangentes interiores, el cono de penumbra. El eje común de esos dos conos es el eje de sombra. El plano geocéntrico perpendicular al eje de sombra es denominado el plano fundamental de Bessel.

CONDICIONES DE POSIBILIDAD DE UN ECLIPSE SOLAR

Los conos de sombra y penumbra de la Tierra proyectados en el plano de Bessel dan origen a dos círculos concéntricos de semidiámetros aparentes selenográficos, designados respectivamente por ρ y τ .

Para la determinación de esos ángulos, teniendo en cuenta el hecho de que la Luna no posee atmósfera, no será necesario corregir los dos efectos de difusión y refracción en la atmósfera. Será necesario llevar en cuenta la determinación del semidiámetro aparente del Sol a la distancia de la Tierra y de la Luna al plano de Bessel. Asimismo, el semidiámetro sufrirá un aumento de $r_{\odot} / (r_{\odot} - r_c)$, donde r_{\odot} y r_c son las distancias del plano de Bessel al Sol y a la Luna respectivamente.

Las expresiones de los semidiámetros del cono de sombra y penumbra en el plano de Bessel son:

$$\rho = K P_c + S_c - r_c S_{\odot} / r_c - r'_{\odot} \quad \text{y} \quad \tau = K P_c + S_c + r_c S_{\odot} / r_c - r'_{\odot}$$

donde P_c es el paralaje de la Luna, S_c y S_{\odot} son los semidiámetros aparentes de la Luna y el Sol, y $K = 0.2723$ que es la relación entre el radio de la Luna, supuesto esférico, y el radio ecuatorial terrestre, considerado como unidad.

El valor de ρ es positivo o negativo, dependiendo que el vértice del cono de sombra esté situado atrás o delante del plano fundamental de Bessel. En el caso de $\rho > 0$, la sombra se forma en el plano, de tal modo que un observador, localizado en esa sombra, vería el disco de la Luna eclipsar completamente el disco solar y hasta rebasarlo, es el eclipse total. El segundo caso, $\rho < 0$, no existe prácticamente una sombra.

Un observador, situado en la segunda "hoja" del cono de sombra, colocado más en el interior del cono de penumbra, vería el disco solar parcialmente eclipsado por el disco lunar. El aspecto de un eclipse depende, por lo tanto, de la posición geográfica del observador (Véase la figura III.1).

ELEMENTOS BESSELIANOS

El plano fundamental de Bessel contiene las coordenadas rectangulares geocéntricas X y Y. El eje de las X es la intersección del plano fundamental con el plano del ecuador, positivo en dirección al Este, en cuanto al eje de las Y es positivo para el Norte. El eje de la Z es paralelo al eje de la sombra y positivo en dirección a la Luna, ver figura III-9.

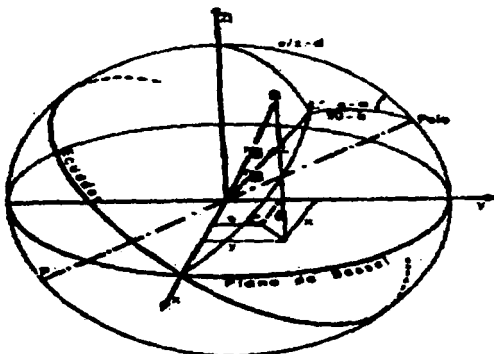


Figura III-9 Elementos Besselianos

La proyección del centro de la Luna sobre el plano de Bessel tiene las siguientes coordenadas:

$$X_c = r_c \cos \delta_c \operatorname{sen}(\alpha_c - a)$$

$$Y_c = r_c [\operatorname{sen} \delta_c \operatorname{cosec} \delta_c - \cos \delta_c \operatorname{send} \cos(\alpha_c - a)]$$

$$Z_c = r_c [\operatorname{sen} \delta_c \operatorname{send} + \cos \delta_c \operatorname{cosec} \delta_c \cos(\alpha_c - a)]$$

donde α_c , δ_c y r_c son, respectivamente, la ascensión recta, la declinación y la distancia geocéntrica de la Luna, y a y d la ascensión recta y la declinación del punto de intersección en la esfera celeste de la línea que une los centros del Sol y de la Luna.

Las coordenadas del centro del Sol en el mismo sistema de referencia de Bessel sería:

$$\begin{aligned} X_{\odot} &= r_{\odot} \cos \delta_{\odot} \sin (\alpha_{\odot} - a) \\ Y_{\odot} &= r_{\odot} [\sin \delta_{\odot} \cos d - \cos \delta_{\odot} \sin d \cos (\alpha_{\odot} - a)] \\ Z_{\odot} &= r_{\odot} [\sin \delta_{\odot} \sin d + \cos \delta_{\odot} \cos d \cos (\alpha_{\odot} - a)] \end{aligned}$$

donde α_{\odot} , δ_{\odot} y r_{\odot} son las coordenadas ecuatoriales y distancias geocéntricas del Sol.

Como el eje de las Z es paralelo a la línea que une los centros del Sol y de la Luna, tenemos que $X_c = X_{\odot}$ y $Y_c = Y_{\odot}$. Los valores de las coordenadas a y d podrían ser calculados atendiendo a tal relación.

Considerándose que α_{\odot} y δ_{\odot} serían aproximadamente iguales a α_c y δ_c y, haciendo

$$b = r_c / r_{\odot} = \sin \rho_{\odot} / \sin \rho_c$$

donde ρ_{\odot} y ρ_c son los paralajes del Sol y de la Luna, entonces para las coordenadas geocéntricas del punto de intersección del eje del cono de sombra con la esfera celeste

$$\begin{aligned} a &= \alpha_c - (b/1-b) \cos \delta_c \sec \delta_c (\alpha_c - \alpha_{\odot}) \\ d &= \delta_c - (b/1-b) (\delta_c - \delta_{\odot}) \end{aligned}$$

Para facilidad del cálculo conviene considerar en lugar de a , el ángulo horario μ del eje del cono de la sombra, medido en el meridiano origen de Greenwich. Si se considera t el tiempo sidereal en Greenwich en el instante para el cual fue calculado el valor a , entonces:

$$\mu = t - a$$

Los valores de los semi-ángulos f_1 y f_2 , en el vértice de los conos de penumbra y de sombra, pueden ser determinados por las expresiones (figura III.10):

$$\sin f_1 = R + K / r'_{\odot} - r_c \text{ (penumbra)}$$

$$\text{sen } f_2 = R - K / r_{\oplus} - r_G \text{ (sombra)}$$

donde R y K son los radios del Sol y de la Luna.

Los radios del círculo de intersección de los conos de penumbra y sombra, en el plano fundamental, sería:

$$l_1 = z \text{tg} f_1 + k \text{sec} f_1$$

$$l_2 = z \text{tg} f_2 - k \text{sec} f_2$$

Tales valores serían positivos cuando el vértice del cono estuviese situado en el lado positivo de las coordenadas Z. Asimismo, l_1 será siempre positivo y l_2 , positivo o negativo.

Cuando l_2 es positivo, el eclipse es anular, y, si l_2 es negativo, el eclipse es total. Existen pequeños valores positivos para los cuales el eclipse puede ser total.

En resumen, los elementos Besselianos de los eclipses son: las coordenadas del eje del cono de sombra en el plano fundamental, denominadas (X,Y); el ángulo horario del eje del cono de sombra, en relación a Greenwich, y la declinación del mismo eje (μ, α); los ángulos y los radios de los conos de penumbra y sombra en el plano fundamental (f_1, f_2, l_1 y l_2). La unidad de longitud adoptada es el radio ecuatorial terrestre.

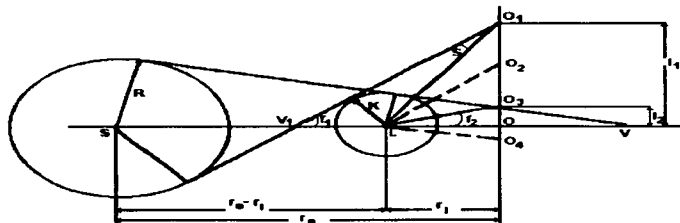


Figura III.10.- Proyección de los conos de sombra

COORDENADAS DE UN OBSERVADOR EN EL PLANO DE BESSEL

Las coordenadas rectangulares en el sistema de referencia Besselliano, de un observador localizado sobre un punto R en la superficie de la Tierra, serán obtenidas haciendo girar el sistema en torno del eje OX un ángulo d:

$$\xi = \rho \cos \Phi' \operatorname{sen}(\mu - \lambda)$$

$$\eta = \rho \operatorname{sen} \Phi' \cos d - \rho \cos \Phi' \operatorname{sen} d \cos(\mu - \lambda)$$

$$\zeta = \rho \operatorname{sen} \Phi' \cos d - \rho \cos \Phi' \cos d \cos(\mu - \lambda)$$

donde λ es la longitud al oeste de Greenwich; Φ la latitud geocéntrica y ρ la distancia al centro del geoide (ver fig. III-9)

Las fórmulas anteriores no presentan dificultades para el cálculo de las circunstancias locales de un eclipse, tal como el trazado de la línea central del eclipse, que será determinado en función de las coordenadas ζ y η de cada uno de los puntos, en la superficie terrestre, donde tal fenómeno ocurre.

La magnitud y dirección (n,N) del vector AN representa el movimiento del centro de la sombra relativo al observador, están dadas por: $(y' - \eta') = n \cos N$ y $(x' - \xi') = n \operatorname{sen} N$

Si bien el punto (ξ', η') será fijo en la superficie de la Tierra no es fijo en el plano fundamental, el cual tiene rotación en relación a la Tierra, donde se concluye que

$$\xi' = \mu' \cos \Phi \cos(\mu - \lambda) \text{ y}$$

$$\eta' = \mu' \cos \Phi \cos(\mu - \lambda) \operatorname{sen} d,$$

donde μ' es el movimiento diurno de la cantidad μ .

Considerándose, en la expresión $\mu = t - a$, que el tiempo sideral t varía mucho más rápido que la cantidad a , entonces μ' prácticamente es igual a la variación del ángulo horario de un objeto estacionario, en ascensión recta. Ahora, tal variación es aproximadamente

igual a quince segundos de arco por minuto de tiempo. Consecuentemente, la variación de ξ y η por minuto de tiempo es indicada por las siguientes expresiones:

$$\xi' = \text{sen } 15' \cos \Phi_1 \cos(\mu - \lambda) = 0.004363 \cos \Phi' \cos(\mu - \lambda)$$

$$\eta' = \text{sen } 15' \cos \Phi_1 \text{sen}(\mu - \lambda) \text{sen } d = 0.004363 \xi \text{sen } d$$

CALCULO DEL COMIENZO Y DEL FIN DE UN ECLIPSE SOLAR

El plano que pasa por el observador en C (ver figura III.11), paralelo en un instante dado al plano fundamental, será A(x,y) a la intersección del eje del cono de sombra con el plano de Bessel en C(ξ, η) en la posición del observador. El origen es escogido de tal modo que el eje OZ pasa por el centro de la Tierra.

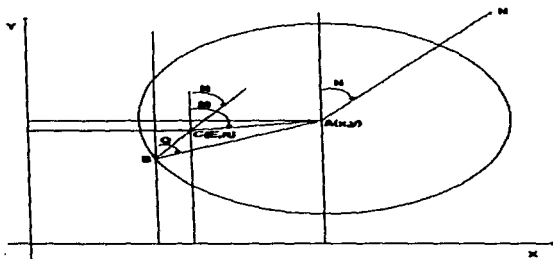


Figura III.11 Comienzo y fin de un eclipse solar

Los conos de sombra y penumbra intersectan el plano fundamental en círculos concéntricos en A, de modo que:

$$(X-x)^2 + (Y-y)^2 = L^2$$

donde

$$L = l_1 - \xi \operatorname{tg} f_1$$

el caso del momento del comienzo o del fin de un eclipse parcial, o

$$L = l_2 - \xi \operatorname{tg} f_2$$

el caso del comienzo o fin de la totalidad. Los valores l_1 y l_2 son los radios de los conos de penumbra o sombra en un plano P' , que pasa por el observador y es paralelo al plano fundamental de Bessel.

La distancia del observador al eje de sombra es la longitud AC, representada por la cantidad m , donde

$$m^2 = (\xi - x)^2 + (\eta - y)^2$$

si la dirección CA hace un ángulo M con el eje OY, entonces

$$(y - \eta) = m \cos M \text{ y}$$

$$(x - \xi) = m \operatorname{sen} M,$$

siendo el ángulo de posición M contado de norte a este, o de OY hacia OX.

Los valores X' y Y' se obtienen de las referencias de los valores listados xy dados por cualquier efemérides astronómica (Véase por ejemplo el Anuario del OAN para 1997). Supóngase que el punto B en el borde de la sombra pasa por el observador, esto es, por C, después de un periodo de t minutos. El vector \vec{BC} será igual a nt . El ángulo auxiliar Φ obtenido por las expresiones:

$$nt = L \cos \Psi - m \cos (M-N) \text{ y}$$

$$m \operatorname{sen}(M-N) = L \operatorname{sen} \Psi,$$

será tal que $\cos \Psi$ es negativo al comienzo del eclipse y positivo en el fin, mientras que $L_1 = I_1$ será siempre positivo, en el caso de los instantes de comienzo y fin de la fase penumbral de un eclipse.

En el caso de inicio y comienzo del contacto con el cono de sombra $L_2 = I_2$. Como I_2 es negativo para el eclipse total y positivo para el eclipse anular, $\cos \Psi$, debe de ser tomado positivo en el inicio de la fase de totalidad, en el fin de la fase anular; y negativo para el fin de la fase total para el inicio de la fase anular.

MAGNITUD DE UN ECLIPSE DE SOL

Se denomina magnitud de un eclipse a la fracción eclipsada del diámetro solar. La expresión de la magnitud esta dada por

$$g = \frac{I_1 - L}{I_1 - I_2}$$

la cual define convencionalmente la magnitud del eclipse durante la totalidad o fase anular. Cuando un eclipse es total, g es mayor a 1, durante la totalidad. La magnitud permanece menor a 1 en el corrimiento de la fase anular. En un determinado punto de la superficie terrestre, la importancia de un eclipse es caracterizada por el valor máximo de su magnitud.

Una vez que se han determinado los parámetros necesarios para el cálculo de eclipses solares, ya estamos en posición de estudiar la ocurrencia de uno de esos fenómenos en particular. Sin embargo antes de hacerlo con el que ocurrió en territorio mexicano el 24 de junio de 1778, veremos cuál era el ambiente cultural y científico que privaba en la capital novohispana, pues seguramente esto nos ayudará a entender el mérito de los cálculos de ese eclipse hechos por Antonio de León y Gama.

IV LAS CIENCIAS FISICAS EN LA NUEVA ESPAÑA DEL SIGLO XVIII

OBSERVACIONES ASTRONOMICAS EN LA NUEVA ESPAÑA

El desarrollo de la ciencia colonial se puede cuantificar en función del avance que tuvo la astronomía en las diferentes etapas de la colonia, "dado que junto a las matemáticas fueron el termómetro de la modernidad alcanzada por los diferentes científicos de cada una de las etapas de la Nueva España" (Moreno Corral, 1986).

La astronomía jugó un papel importante para la época, por el gran interés que se tuvo por obtener las latitudes y longitudes exactas de diversas ciudades coloniales, principalmente de aquellas en las que los diferentes gobiernos tuvieron intereses económicos fuertes. Por el rígido control establecido por la metrópoli sobre sus colonias americanas, esos datos en cierto grado llegaron a ser secretos de estado.

El desarrollo de la astronomía mexicana en la época novohispana se puede dividir en la siguiente forma:

1) Siglo XVI al XVII. Introducción de los estudios astronómicos. Liga clara con la astrología. Más teórica que especulativa. Termina con la célebre polémica Kino-Sigüenza sobre el cometa de 1681.

2) Siglo XVIII, primera mitad, hasta 1769. Astronomía de continuidad. Observación de fenómenos notables. Negación o desestima de la revolución copernicana. Tradicionalismo. Instrumentos anticuados.

3) Siglo XVIII, segunda mitad (1769-1803). Renovación de la ciencia astronómica. Introducción, aceptación y puesta en práctica de los paradigmas copernicano y newtoniano. Renovación en los instrumentos. Termina con la visita de Humboldt" (Moreno de los Arcos, 1986).

La primera clasificación la podemos englobar en dos personajes, los cuales fueron los más importantes desde el punto de vista científico ya que su obra se considera de avanzada para su época.

El primer personaje es el fraile mercedario Diego Rodríguez, quien ocupó el puesto de catedrático en la Universidad. Observó y analizó dos eventos importantes, el eclipse de Luna del 20 de diciembre de 1638 y el eclipse de Sol del 9 de mayo de 1641, con los cuales pudo determinar la posición geográfica de la Ciudad de México.

"Sus cálculos matemáticos los hizo utilizando tablas logarítmicas por vez primera en todo el mundo hispánico. La exactitud de su cálculo no fue alcanzada ni por Alejandro de Humboldt 150 años después con aparatos más precisos" (Trabulsee, 1991).

El segundo personaje de esta época es Don Carlos de Sigüenza y Góngora, uno de los sucesores de Diego Rodríguez en la cátedra Universitaria.

"La obra astronómica de Sigüenza tuvo un doble propósito: realizar cálculos precisos de eventos celestes, sobre todo de eclipses, y desmitificar los cielos, donde según la opinión popular generalizada y comúnmente aceptada desde varios siglos atrás, aparecían los signos de calamidades que azotarían a la humanidad. Los cometas y los eclipses eran vistos como signos celestes visibles de malos augurios. Eran presagios fatídicos de hambres, guerras, pestes y sequías. Sigüenza era un científico y sus opiniones chocaron a menudo con esas muestras de la superstición popular, superstición que era, cabe decirlo, creída por muchos sabios, tanto en Europa como en América. Su polémica del año de 1681 contra el jesuita Eusebio Kino sobre la naturaleza maléfica de los cometas tendía básicamente a despojar a esos astros del carácter maligno que siempre se les atribuyó." (Trabulsee, 1991)

Esta polémica la termina Sigüenza casi diez años después en 1690, con la publicación de su obra cumbre la *Libra astronómica y philosophica*. Es una de las obras capitales de

la ciencia en la Nueva España. En ella Sigüenza da fe del avance astronómico y matemático a que había llegado la colonia en el siglo XVII, mostrando la superioridad que guardaban dichos estudios con respecto a la mayoría de los europeos y angloamericanos de la misma época (Gaos, 1984).

La primera mitad del siglo XVIII se caracteriza por su continuidad en la astronomía, basada en la edición de calendarios "llamados indiferentemente calendarios, almanaques, pronósticos, efemérides, lunarios o piscatores. Es de conocimiento común que se trataba de textos que surgieron con un claro propósito astrológico - con ribetes de medicina - para dar al público, dentro del año litúrgico cristiano, una larga serie de pronósticos sobre el futuro más inmediato" (Moreno de los Arcos, 1986).

Básicamente con este tipo de publicaciones se realizaba una astronomía de hechos sin ningún valor científico agregado.

La segunda parte del siglo XVIII esta compuesta por una serie de trabajos de observación y descripción de fenómenos celestes, de ellos resaltan dos trabajos por su calidad y complejidad científica.

"El primero se llevó a cabo en el año de 1769, el cual es considerado como el más significativo del siglo XVIII, y fue la observación internacional del tránsito de Venus por el disco del Sol" (Moreno Corral, 1986).

Estos fenómenos tan peculiares, fueron objeto de gran interés por los astrónomos europeos, ya que Halley había mostrado que podrían servir para determinar con precisión el valor de la distancia media que hay entre el Sol y la Tierra.

"La ocurrencia de los tránsitos de Venus por el disco solar sucede de acuerdo a un patrón temporal muy peculiar, dos tránsitos consecutivos ocurren separados por casi exactamente ocho años, ambos ocurrirán o en junio o en diciembre. Después de haber

sucedido éstos, pasará más de un siglo antes de que vuelva a realizarse otro de esos pasajes" (Moreno Corral, 1986).

En dicha observación participaron Joaquín Velázquez de León, José Antonio de Alzate y José Ignacio Bartolache, por parte de los nacionales, conjuntamente con una delegación franco-española precedida por el abate francés Chappe d'Auterich y los españoles Doz y Medina.

El segundo trabajo más importante de finales del siglo XVIII es el trabajo de predicción y observación del eclipse de Sol del 24 de junio de 1778 realizado por Antonio de León y Gama. De las observaciones de eclipses hechas a finales del siglo XVIII y principios del XIX ninguna logró la calidad y exactitud logrado por Gama. " Sus cálculos merecieron ser publicados acompañados de un mapa de la sombra proyectada por la Luna al interponerse entre el Sol y la Tierra" (Trabulse, 1991).

CIENTIFICOS MEXICANOS DEL SIGLO DE LAS LUCES

Los esfuerzos de los hombres modernos por entender la naturaleza se desarrolló con especial brillantez a lo largo del siglo XVIII. Este siglo es conocido con el nombre de Ilustración o Siglo de las Luces, y sus máximos desarrollos se dan dentro de los límites del siglo. La mayoría de sus planteamientos filosóficos se generan a finales del siglo XVII y principios del XVIII, los cuales al correr esa centuria van desarrollándose y culminan con la Revolución Francesa; la cual conduce al Liberalismo del siglo XIX. "Así con una inmensa fe en el poder transformador de la razón, en la virtualidad de ésta como fuente de reformas y progreso, los ilustrados vieron al mundo con lentes de felicidad y de optimismo. Esta actitud fue sin duda parte del encanto que envuelve al siglo XVIII. La renovación de los moldes políticos, culturales, económicos y religiosos nos lo hace atractivo; el que los problemas se hayan visto con un espíritu distinto, donde todo es

anhelo, lucha, furor, de ese hombre que no se atrevía a nada y ahora se atreve a todo. Un siglo universal en que lo que se pone en juego no es sólo el mundo material, sino el mundo moral y el conjunto de los destinos humanos" (Trabulsi, 1992).

Mientras que gran parte del viejo mundo ingresaba al siglo XVIII envuelto en una Revolución Científica con sus correspondientes paradigmas, en España la ciencia mostraba un aspecto decadente con respecto al resto de Europa, en cierta forma por la existencia de instituciones prepotentes como las universidades. El excesivo respeto a la tradición escolástica obstaculizaba el desarrollo de las nuevas ciencias además de considerarlas "...como peligrosas, inútiles y perniciosas. Solo se tenían como aceptables la teología escolástica, la moral y la expositiva, incluso en las disciplinas más prácticas como la medicina... Naturalmente, se seguía enseñando el sistema de Tolomeo y se criticaba el de Copérnico, que suscitaba *no solo un grande aborrecimiento, más también un gran desprecio en parte por religiosidad, en parte por ignorancia*. Las causas de esta miseria cultural las resumía Feijóo en: *el corto alcance de algunos de nuestros profesores, la preocupación que reina en España contra toda novedad, el errado concepto de que cuanto nos presentan los nuevos filósofos se reduce a curiosidades inútiles, el celo... indiscreto y mal fundado... de que las doctrinas nuevas traigan algún perjuicio a la religión y, por último, la ignorancia abrigada de hipocresía*" (De Gortari, 1980).

La Nueva España, como caja de resonancia, no escapó a la serie de obstáculos que se le imponían desde España. "Durante los tres siglos coloniales el desarrollo del saber científico se vio entorpecido por la superstición, la persecución, la censura y por el dominio eclesástico de la educación. Ciertamente, a partir del siglo XVIII estos obstáculos se debilitan y nuevas corrientes de apertura relajan el hierro de la censura y permiten una mayor libertad de expresión, dentro siempre de la ortodoxia religiosa, lo

que quiere decir que la disidencia oculta, lindante a veces con la herejía, no se diera" (Trabulse, 1984).

En el caso de México no fue sino a partir de la segunda mitad del siglo XVIII cuando surgen las primeras manifestaciones del pensamiento ilustrado, mismos que ingresaron a través de las diferentes ordenes religiosas que existían o por medio del tráfico clandestino de obras prohibidas. De esta forma es como se llega a difundir las teorías newtonianas y en general las teorías de la astronomía moderna, "... uno de los principales vehículos de difusión de esas teorías en España y sus colonias, las obras del benedictino Benito Jerónimo Fejoo, eran ampliamente leídas y comentadas. Tanto en su enjundioso Teatro crítico universal como en sus amenas Cartas eruditas donde se lamentaba lo poco que se estudiaban las ciencias en España y en particular las teorías de Copérnico y Newton, quejándose además de que los estudios hubiesen caído en el marasmo de las inútiles discusiones metafísicas...Con la exclusión en 1757 del Revolutionibus de Copérnico del Índice de Libros Prohibidos se dio la aprobación indirecta a las sugerencias de Fejoo" (Trabulse, 1984).

A pesar de la validez de críticas como las de Fejoo, en el caso del mundo hispanoamericano, y muy particularmente en el de la Nueva España, el retraso científico no puede señalarse exclusivamente como una causa de la censura inquisitorial o a la falta de las obras científicas generadas en Europa, pues como se ha mostrado (Moreno Corral, 1993), durante los siglos XVI y XVII llegaron a nuestro país ejemplares de algunas de las obras científicas de mayor importancia, tanto las clásicas como las que por ese entonces se estaban produciendo en Europa, así que las causas de ese retraso deben ser más complejas y seguramente múltiples.

Las diferentes ordenes religiosas existentes en México emprendieron durante el siglo XVIII la reforma de los estudios existentes en las universidades y colegios, un tanto

temerosas, al principio, por los candados que aplicaba la iglesia, dado que esta no ocultaba su temor por la difusión de las nuevas ciencias; ya que ésto podría provocar una revuelta en el orden tradicional. Bajo estas circunstancias es como la astronomía moderna penetra en México quedando en el acervo intelectual de los mexicanos.

Los últimos decenios del siglo XVIII se caracterizan por el gran impulso que dio a las ciencias un selecto grupo de novohispanos que se dedicaron a la investigación, divulgación y a la aplicación de las nuevas teorías científicas, apoyados en gran medida por profesores españoles y por científicos viajeros de los diferentes países de Europa que llegaron a México a realizar expediciones científicas. La preparación y conocimientos de los científicos nacionales llegaron a sorprender a los extranjeros por el grado de especialización que desarrollaron, esto último estimulaba aún más el interés hacia las ciencias por parte de los nacionales.

A partir de los años setenta se comienza a desarrollar una corriente renovadora de los estudios físicos y astronómicos, surgiendo científicos como:

Pbro. D. José Antonio de Alzate y Ramírez bachiller en teología y artes por el Colegio de San Ildefonso, autodidacta en astronomía, ciencias naturales y filosofía moderna, se le considera la figura central del movimiento científico del último tercio del siglo XVIII.

Ferviente investigador que al no encontrar ambiente favorable en las cátedras se dedicó a divulgar y defender los avances de la ciencia moderna.

En 1768 publicó el Diario Literario de México, que aparecía semanalmente. Luego, de 1768 a 1772, editó los Asuntos varios sobre ciencias y artes. En 1787 emprendió una nueva publicación denominada Observaciones sobre la Física, Historia Natural y Artes Útiles. Por último, de 1788 a 1795 publicó sus famosas Gazetas de Literatura de México, de las cuales aparecieron 115 números. También colaboró en otros periódicos, como la Gazeta de México, dirigida por Manuel Antonio Valdés, y el Mercurio Volante editado por

José Ignacio Bartolache. Además, otros de sus trabajos científicos fueron impresos por separado. Las publicaciones de Alzate propagaron los conocimientos científicos de su tiempo en un conjunto ordenado de artículos claros y sencillos dirigidos al gran público. Sus propósitos no se cumplían con exponer teóricamente las ciencias, sino que se encaminaban al fin práctico de despertar en los mexicanos el interés y la inquietud por la ciencia, para que la aplicaran a la realidad de nuestro país y se beneficiaran con sus consecuencias. Su enorme obra escrita abarcó temas filosóficos, astronómicos, meteorológicos, químicos, metalúrgicos, geográficos, agrícolas, zoológicos, botánicos, históricos, literarios y humanistas. Estos trabajos científicos fueron conocidos en Europa y le valieron la designación de socio correspondiente de la Academia de Ciencias de París, del Jardín Botánico de Madrid y de la Sociedad Vascongada. Pero sin menospreciar su muy valiosa actividad científica, lo que más destacó en la obra realizada por Alzate fue su gran contribución al arraigo en México de la preocupación por la ciencia y de la estimación por sus consecuencias en la economía y la política. Por ello, Alzate desempeñó un papel prominente en el proceso histórico que aceleró la descomposición del régimen colonial y desembocó en la Independencia" (De Gortari, 1980).

Benito Díaz de Gamarra realizó estudios en Italia, lo que le permitió conocer los avances de la ciencia moderna en forma directa. Regresa a México y propone el estudio y divulgación de autores como "...Newton, Franklin, Mariotte, Boyle, etc. En 1774 publicaba su obra Elementa Recentioris Philosophiae cuya segunda parte estaba dedicada íntegra a las ciencias modernas: matemáticas, física (estática, mecánica, hidrostática, electrología, óptica, etc.), química, biología, zoología, geografía, astronomía. Esta obra marca un hito en la historia de la ciencia en las colonias españolas por su indudable valor y por el gran aporte que hizo al estudio de las ciencias en México." (Trabulse, 1984)

D. Joaquín Velázquez de Cárdenas y León fue abogado y realizó estudios matemáticos y astronómicos en forma autodidacta, para los cuales él mismo se construyó algunos instrumentos. "Según Humboldt, fue *el geómetra más señalado que ha tenido la Nueva España, desde la época de Sigüenza*; y, por otra parte, fue muy elogiado por el matemático Claude Chappe, debido a la exactitud de sus mediciones y cálculos geodésicos" (De Gortari, 1980).

En base a las lecturas que realizó de las obras de Bacon y Newton obtuvo la metodología de investigación en astronomía, lo que le permitió obtener la posición astronómica de muchas poblaciones. "En 1771 determinó la posición geográfica de la ciudad de México -basándose en sus propias observaciones y en las de Bartolache, Alzate y León y Gama-, fijándola en 19°25'58" de latitud norte y 6 h. 46 min. 55 seg. al oeste de París. En 1768 viajó por las Californias acompañando al visitador José de Gálvez y, al año siguiente, observó el paso de Venus por el disco del Sol, lo mismo que un eclipse de Luna. En 1773 practicó una triangulación en el Valle de México, que fue la primera medición geodésica precisa que se realizó en México; y después, con los datos calculados, levantó un plano del Valle de México, que desgraciadamente quedó inédito. Además, fue director del Cuerpo de Minería, que fue creado en la Nueva España por inspiración suya" (De Gortari, 1980).

José Ignacio Bartolache bachiller en artes, licenciado y doctor en medicina, doctor en teología y doctor en leyes, impartió diversas cátedras en la Universidad de México (teología, filosofía, medicina, matemáticas, etc.); miembro de la academia de Ciencias de París. Además fue "el médico que más propugnó por la ilustración mexicana del siglo XVIII" (Fernández, 1964)

Por el año de 1769 "empezó a publicar sus Lecciones de Matemáticas, en las cuales sostuvo que no hay diferencia alguna entre la lógica, la física y la medicina, desde el punto de vista de su estructura y su método científico" (De Gortari,1980).

Colaboró con Alzate en la observación del paso de Venus por el disco del Sol, el 3 de junio de 1769. "Por otra parte, en compañía de Velázquez de León determinó la latitud de la ciudad de México, con base en las observaciones de los eclipses de Luna y de los satélites de Júpiter, sucedidos entre 1755 y 1771." (De Gortari,1980)

En el año de 1772 publica "El Mercurio Volante primera revista médica en el Continente Americano...En el número 2 aparece una verdadera idea de la buena Física y su verdadera utilidad...En el N° 3 se habla de la fabricación del termómetro...y Dedicó también un capítulo al barómetro..." (Fernández,1964).

En el año de 1778 el Virrey Antonio María Bucarell pide su PARECER a Bartolache sobre la DESCRIPCION ORTHOGRAPHICA UNIVERSAL DEL ECLIPSE DE SOL DEL DIA 24 DE JUNIO DE 1778, acción que ahora llamaríamos arbitraje sobre ese trabajo científico de Antonio de León y Gama, hecho con la finalidad de otorgar la respectiva licencia para la impresión de la Descripción Orthográfica.

Bartolache finaliza el PARECER sugiriendo al Virrey dar su licencia para la publicación, al no encontrar en la obra nada que impida su publicación; la obra en si no se entromete con análisis filosóficos ni teológicos que pudiesen enfrentar al autor con la iglesia, ya que su finalidad fue la de predecir el eclipse de Sol y analizar el tránsito de la umbra y la penumbra para poder obtener la longitud de la Ciudad de México, en función de las teorías astronómicas aceptadas por la iglesia. Además pide se le exija al autor agregar los datos de la observación como complemento del trabajo, que por cierto fue muy buena sugerencia hecha por Bartolache, la cual nos ha permitido hacer un análisis más profundo de ese trabajo. A este respecto Bartolache dijo:

"...y aun también mandar, que el Autor agregue á estas foxas, ó cuide de presentar por cuerda separada, y sin pérdida de tiempo, la observación real, y efectiva del futuro Eclipse, en caso de que haya podido, o querido hacerla: para que así se perfeccione la Obra, y el Público se instruya, y logre toda la utilidad de estas, y semejantes producciones. México y Junio 23 de 1778."

A pesar del avance en las matemáticas y la astronomía, a nivel mundial, existía bastante inexactitud en la determinación de las longitudes y latitudes de diferentes puntos geográficos, y en especial en América. El lograr la correcta ubicación de los diferentes puntos del planeta, y en especial de aquellos que representaban gran importancia económica para los gobiernos, se volvía una obsesión por parte de los hombres de ciencia. El hallar la exacta localización de las coordenadas de las diferentes poblaciones, principalmente los centros de poder económico, suponía la agilización de las comunicaciones y evitaría los tiempos y esfuerzos perdidos en las correcciones de las rutas.

En el caso de la Nueva España los hombres de ciencia invirtieron grandes esfuerzos para poder obtener las coordenadas de la Ciudad de México, como los de Fray Diego Rodríguez (1638), Carlos de Sigüenza y Góngora (1690), Joaquín Velázquez de León (1762) y José Antonio Alzate (1788), tan solo para citar los más reconocidos (Una discusión más amplia de este punto se puede encontrar en Trubulse *El círculo roto*).

Bajo este ambiente intelectual de científicos modernos, que habían adoptado las concepciones newtonianas del universo y por ende los nuevos paradigmas de la ciencia, así como los retos a resolver por ésta, surge la figura de Antonio de León y Gama; destacado astrónomo convencido de las teorías copernicanas, keplerianas y

newtonianas del siglo XVIII y promotor activo de centros de experimentación y enseñanza de las mismas.

Antonio de León y Gama nació en la ciudad de México en 1735 y murió el 12 de septiembre de 1802. Realizó estudios de letras, gramática, jurisprudencia y filosofía. Se caracterizó por ser autodidacta en las obras astronómicas y matemáticas de Newton, Lacleille, Lalande y otros mas, estudios a los que dedicó gran parte de su vida. Fue un investigador serio, observador atento y paciente, y matemático minucioso; características que se plasmaban en el momento de crear sus obras, como el interesante pasaje de la que tituló *Disertación sobre la materia y formación de las auroras boreales:*

"Es principio asentado entre filósofos modernos que, para indagar las obras de la naturaleza, no se hayan de fundar en fingidas hipótesis o ligeras conjeturas, sino en demostraciones claras, deducidas por cálculos matemáticos o experimentos ciertos, para no incurrir en grandes errores: así se explica el célebre Samuel Clarke, intérprete de la Optica de Newton en ella. De manera que todas aquellas opiniones que no tienen otra prueba ni matemática ni física que la débil conjetura de sus autores, se deben desterrar de toda buena filosofía; mayormente cuando las razones en que se fundan tienen entre sí cierta repugnancia, que no se pueden fácilmente combinar... Una explicación que se hace por discursos se queda solamente en la idea sin que convenza al entendimiento la razón que no se apoya en ejemplares, principalmente de aquellos que no dejan lugar a duda."

En estas líneas Gama define la filosofía a seguir en sus trabajos de investigación, como buen conocedor de los últimos descubrimientos europeos en ciencias exactas, mismas que promueve dentro del selecto grupo de investigadores y amigos de su época.

La forma en que generaba sus trabajos científicos le mereció reconocimientos a nivel nacional e internacional por diferentes personalidades de la ciencia y de la sociedad en

general; tal es el caso del elogio que realizó el astrónomo francés De Lalande, a su estudio del eclipse de Sol del 6 de noviembre de 1771, "quien carta fecha de París 6 de mayo 1773 (que tenemos a la vista) le dice:

El eclipse de 6 de noviembre de 1771 me parece calculado en vuestra carta con mucha exactitud; la observación es curiosa; y pues no fue posible hacerla en este país, yo haré que se imprima en las memorias de nuestra Academia: Veo con placer, que tiene México en vos un sabio astrónomo. Este es para mí un precioso descubrimiento, y me será la vuestra una correspondencia que cultivaré con ardor. Agradezco vuestra observación sobre la altura del polo respecto á esa ciudad; y la haré insertar en el primer cuaderno del conocimiento de los tiempos, que dará a luz, confesando ser vos el autor. Os ruego con el mayor encarecimiento, que repitáis observaciones sobre los satélites de Júpiter, y me las enviéis; yo os remitiré las mías en el asunto: Yo desearía tener un plano de México, y saber en qué lugar de la ciudad hicisteis las observaciones que me habéis hecho el honor de mandar. Pero sobre todo, quería tener de vos una observación de la hora y altura de la marea en cualquiera lugar de la costa sur desde Acapulco hasta Valparaíso: Celebro sumamente esta ocasión de poderos atestiguar cuánto consuelo me ha dado vuestra carta, y cuán agradables esperanzas he concebido sobre el adelantamiento de las ciencias, etcétera" (Valdés, 1802).

Por su gran capacidad como investigador Joaquín Velázquez de León, quien era director del Tribunal de Minería, lo propuso para dar las cátedras de mecánica, aerometría y protecnia en el Colegio de Minería. Sin embargo, debido a la actitud oficial que abiertamente favorecía a los peninsulares, Antonio de León y Gama nunca tuvo la oportunidad de impartir esas materias.

De los trabajos de investigación en astronomía que logró llevar a la imprenta, y que le dio reconocimiento como excelente astrónomo, ocupa un lugar primordial la Descripción

Orthographica Universal del eclipse de sol del día 24 de junio de 1778, el cual muestra una rigurosidad matemática y astronómica. Esta obra contenía las efemérides del fenómeno celeste y en un mapa con el trazo de las líneas que delimitaban la extensa área entre el Océano Pacífico y los mares del sureste de Asia en que sería visible.

Concluyendo con las palabras de Manuel Antonio de Valdés, en su Elogio Histórico de Don Antonio de León y Gama, podemos decir que : " fue don Antonio León y Gama, sabio, modesto, vasallo fiel, ciudadano pacífico, cristiano en sus proceder, ajustado en sus costumbres, fiel en su palabra, exactísimo en su silencio, amante del bien público (y) magnánimo en la resignación con que toleró el poco aprecio de su mérito..."

El siguiente listado muestra algunos de los trabajos de Antonio de León y Gama.

- a) **Disertación física sobre la materia y formación de las auroras boreales**
- b) **Eclipse de Sol del 6 de noviembre de 1771**
- c) **Descripción ortográfica universal del eclipse de Sol del día 24 de junio de 1778**
- d) **Observaciones del cometa que apareció en nuestro cielo en el año de 1784**
- e) **Carta acerca de la imposibilidad matemática de lograr la cuadratura del círculo**
- f) **Instrucción sobre el remedio de las lagartijas nuevamente descubierto para la curación del cancro**
- g) **Descripción histórica y cronológica de las dos piedras que con ocasión del empedrado que se está formando en La Plaza Principal, se hallaron en ella el año de 1790**
- h) **La cronología de los antiguos mexicanos**
- i) **Las ciencias numéricas y gnomónica de los antiguos mexicanos**
- j) **La historia Guadalupeña**
- k) **Tratado de perspectiva práctica para usos de los aficionados a la pintura y al dibujo**
- l) **Carta sobre el modo con que deben contarse los siglos**

Cabe señalar que los hombres de ciencia aquí mencionados no fueron los únicos dado que existieron más en las diferentes ramas de la investigación científica. Se ha resaltado únicamente los nombres de un selecto grupo de investigadores los cuales estuvieron relacionados por sus investigaciones afines y por ser representativos de la ilustración novohispana.

EL CALCULO DE ECLIPSES COMO PROBLEMA CIENTIFICO

Conforme se consolidó el poder de los españoles en América empezaron a realizarse observaciones de eclipses con fines prácticos, puesto que con esas observaciones se podía calcular la posición geográfica, latitudes y longitudes, de los principales puertos y ciudades de la Nueva España. A lo largo del siglo XVI la Corona española ordenó publicar y difundir Instrucciones para facilitar las mediciones de eclipses de Sol y de Luna. " Las Instrucciones, tanto para las Relaciones Geográficas como para la Observación de los Eclipses, fueron formuladas simultáneamente durante los años de 1571 a 1577 en que aparece la primera edición de las que corresponden a la observación astronómica" (Rodríguez-Sala, 1996).

Estas Instrucciones proporcionaron elementos empíricos para la correcta observación del eclipse lunar que tuvo lugar el 26 de septiembre de 1577 inclusive proporcionó los lineamientos para la confección del instrumento que se emplearía para la observación. Prácticamente el problema del cálculo de eclipses para la obtención de las coordenadas geográficas de las diferentes ciudades y puertos perduró durante la colonia, de tal forma que a finales de ésta, los datos astronómicos obtenidos por la observación de los eclipses de Luna y de Sol formaban un conjunto considerable, los cuales permitirían

tiempo después, que el barón de Humboldt los aprovechara para la elaboración de las cartas geográficas de la Nueva España.

Los cálculos de eclipses de Sol y de Luna fueron los que más contribuyeron para que los historiadores de los siglos XVII y XVIII pudieran fijar las dimensiones en el tiempo de la historia antigua de México y lograran insertarla dentro del esquema cronológico del viejo mundo, esto es, en la historia universal; lo que ayudó al finalizar el siglo XVIII, a la formación de una conciencia de patria, y durante el siglo XIX a la emancipación política, revalorizando el pasado indígena con el fin de retomarlo por el criollo, ya que éstos sentían ser herederos desposeídos.

La figura clave de esta revalorización histórica fue Carlos de Sigüenza y Góngora, criollo y a la vez historiador y científico. Escribir la historia perdida, fijar sus fechas y correlacionarlas con las de la historia universal fue el propósito central de casi toda la obra de Sigüenza. A partir del estudio comparativo de los registros de eclipses de Sol y de Luna, así como de cometas observados simultáneamente en el viejo y nuevo mundo, intentó hacer coincidir ambos calendarios. Al necesitar un punto de referencia fijo, decidió calcular, con base en el estudio de los eclipses de Sol y de Luna registrados en ambas series cronológicas, la fecha exacta de la muerte de Cristo. Sigüenza afirma en 1683 que este acontecimiento había tenido lugar el 3 de abril del año 33 y no el 25 de marzo como lo sostenía la iglesia católica.

El momento cumbre del enlazamiento de la astronomía con la historia de las culturas del México antiguo, se dio en 1790 con el hallazgo del calendario Azteca que estaba enterrado en la Plaza Mayor de la Ciudad de México, el cual fue estudiado en ese mismo año por el astrónomo e historiador Antonio de León y Gama, que como resultado de sus investigaciones publicó en 1792 su obra Descripción histórica y cronológica de las dos piedras que con ocasión del nuevo empedrado que se está formando en la plaza

principal de México se hallaron en ella el año de 1790. León y Gama intentó hacer coincidir el calendario indígena con el europeo, lo que le llevó a analizar la cronología prehispánica apoyándose en datos astronómicos y en especial en dos grandes eclipses de Sol observados en un intervalo de cinco años, concluyendo que los eclipses registrados en los códices correspondían a los del 13 de febrero de 1477 y 7 de junio de 1481, los cuales también estaban registrados en las efemérides astronómicas de Europa.

Para concluir este capítulo, debemos señalar la importancia que durante los siglos XVI, XVII y XVIII tuvo el estudio y observación de eclipses solares y lunares, pues además del aspecto histórico ya mencionado, de ellos podía extraerse valiosa información que adecuadamente utilizada, permitía fijar longitudes geográficas; problema de capital importancia que en realidad no se pudo resolver completamente hasta que se contó con relojes precisos y confiables al finalizar el siglo XVIII. La importancia de resolver este problema de determinación de longitudes queda manifiesto por los diversos premios; algunos de ellos muy bien dotados, que agrupaciones científicas y gobiernos ofrecieron para quien lo resolviera. Se entiende entonces que la determinación de la longitud geográfica haya estimulado el cálculo de los eclipses, no escapando los mexicanos a ese proceso. Sin embargo el cálculo de eclipses en la Nueva España se hizo en general siguiendo el proceso de utilizar Tablas y metodologías europeas, ya que tal parece, no se desarrolló un método de cálculo alternativo, ni se perfeccionó metodología alguna que permitiera un aporte novedoso a la astronomía de la época por parte de nuestros nacionales. Sin embargo sé debe resaltar que trabajos, como el que aquí nos ocupa, de León y Gama, muestran que éste, al menos en el terreno astronómico estaba en la vanguardia del conocimiento de su época.

V.- DESCRIPCION ORTHOGRAPHICA UNIVERSAL DEL ECLIPSE DE SOL DEL DIA 24 DE JUNIO DE 1778

El opúsculo de Gama es un estudio riguroso, para su época, del eclipse de Sol del día 24 de junio de 1778, el cual es, desde el punto de vista matemático y astronómico, el trabajo más serio publicado en México durante el siglo XVIII. Diversos historiadores, como Elías Trabulse, afirman que su aportación principal radica en el cálculo de la longitud de la ciudad de México, sin embargo, Gama en la dedicatoria a Velázquez de León y en la parte de la Observación del Eclipse menciona el haber obtenido la latitud y longitud de la ciudad de México en observaciones anteriores realizadas por él, pero nunca dice haber obtenido la longitud en base al cálculo de la trayectoria del eclipse que aquí nos ocupa, así que la aportación real de Gama fue la de haber calculado la trayectoria del eclipse sobre la superficie terrestre, trayectoria que plasmó en el mapa "*Tránsito de la sombra y penumbra de la Luna sobre la superficie de la Tierra, en el eclipse del día 24 de junio de 1778*". Investigación que desgraciadamente no refleja el análisis de la trayectoria plasmada en ese trabajo, pero da muestras de la capacidad del autor para determinar la ruta de los eclipses; este mapa, con sus limitaciones, es único en su género en el siglo XVIII, ya que según Gama "...no había habido Astrónomo que formase un cálculo universal de los Eclipses de Sol, (esto a nivel mundial), contentándose solo con hacerlo para aquella Ciudad donde escribían".

La "obrilla" (como la llamo Gama) consta de 34 páginas (10 + XXIV) y está compuesta por dos secciones. La primera, pp. I a XVII, contiene las efemérides del fenómeno astronómico y en el mapa citado renglones arriba, insertado entre las páginas XVIII y XIX, plasmó el cálculo del trazo de las líneas de centralidad y parcialidad que delimitaban el área entre el Océano Pacífico y los mares del sureste de Asia así como los límites Norte y Sur en que sería visible. Para la comprobación de los aspectos cartográficos del

mapa incluye las tablas calculadas para las longitudes y latitudes de la línea de centralidad así como para las líneas de igual magnitud, las cuales dividió en 12 dígitos iguales en función del radio solar, también proporciona las tablas del medio del eclipse y la del principio y fin del eclipse al nacer y al ponerse el Sol respectivamente. Realiza una descripción de la trayectoria que seguiría el eclipse sobre la superficie terrestre, proporcionando los nombres de los países y regiones que los conos tocarían.

La segunda sección, pp. XVIII a XXIV, contiene la descripción del instrumental utilizado y su modus operandi, tablas numéricas de parámetros que midió sobre tiempos y la observación del eclipse que realizó.

El documento es acompañado de una dedicatoria a Velázquez de León y las acostumbradas licencias requeridas para la época, sin las cuales era imposible publicar prácticamente cualquier trabajo. El siguiente listado muestra los títulos y orden de cada uno de los apartados que conformaban la DESCRIPCION ORTHOGRAPHICA, respetándose la ortografía y redacción original.

- a) **AL SEÑOR DON JOAQUIN VELAZQUEZ DE LEON, Del Consejo de S. Mag. su Alcalde de Corte honorario en esta Real Audiencia, y Director general del importante Cuerpo de la Minería de este Reyno de Nueva España, &c.¹**
- b) **PARECER DEL DR. D. JOSE IGNACIO Bartolache, del Claustro de la Real y Pontificia Universidad de México**
- c) **DICTAMEN DEL Dr. D. JOSE URIBE, Cura del Sagrario de la Santa Iglesia Metropolitana de México.**
- d) **NOS EL Dr. D. JOSE RUIZ DE CONEJARES, Abogado de los Reales Consejos, Ordinario del Santo Oficio de la Inquisicion de este Reyno, Juez Provisor, Vicario**

¹ La abreviatura "S. Mag.", equivale a "Su Magestad", y la abreviatura "&c." equivale a "etcétera".
Mina Ramírez Montes "Manuscritos Novohispanos, Ejercicios de Lectura", U.N.A.M., 1990

General, Visitador, y Gobernador de este Arzobispado por el Illmó. Sr. Dr. D. Alonso Nuñez de Haro y Peralta del Consejo de S. M. Arzobispo de esta Santa Iglesia Metropolitana, &c.

- e) DETERMINACION GRAPHICA particular y universal del Eclipse de Sol del dia 24 de Junio de 1778.
- f) OBSERVACION DEL ECLIPSE ANTECEDENTE, Hecha en México el dia 24 de Junio de 1778,

DETERMINACION GRAPHICA particular y universal del Eclipse de Sol del día 24 de Junio de 1778.

En la dedicatoria que realizó Gama a Velázquez de León da a conocer su marco de referencia para la realización de sus cálculos y la elaboración de su proyección ortográfica, plasmado en las siguientes líneas respetando la ortografía y redacción original (todas las citas del trabajo de Gama se transcriben respetando su ortografía y redacción original):

"...Yo he tomado entretanto la de $278\frac{1}{2}$ grados, contados desde la Isla del Fierro, y suponiendo á Paris al Oriente de ella de 20° justos: asimismo por latitud, ó altura de polo boreal, la que hemos observado de $19^{\circ} 26'$. Baxo de estos principios formé el Cálculo del verdadero novilunio por las Tablas del Sol de M. de la Caille, corregidas, y reducidas á las de Tobias Mayer, y las de la Luna de este Autor, que sacó á luz nuevamente M. Maskelyn en Londres, despues de haberlas aquel perfeccionado..."

El marco referencial seleccionado por Gama es semejante al Meridiano antiguo el cual "es el que Ptolomeo introdujo en su *Geographia* como origen de su sistema de división del ecuador terrestre en 360° . De acuerdo a esa división, el meridiano cero es el que

pasa por la Isla Afortunada (*fortunate insule*) que en realidad se trata de las Islas Canarias." (Moreno Corral, 1997)

En el siglo XVIII los principales trabajos astronómicos eran generados en Francia, por lo que el origen del meridiano fijo se plasmaba en la ciudad de París (ver figura V.3). Se podría pensar que Gama quiso dar un toque de personalidad a su trabajo al cambiar su origen referencial. La Isla de Fierro en la cartografía actual se localiza como Isla del Hierro, o Ferro en portugués, la cual se ubica a 18° de Longitud Oeste y a 27°.5 de Latitud Norte con respecto al meridiano de Greenwich y al Ecuador respectivamente; la Ciudad de París esta localizada a los 2°.20 de Longitud Este y 48°.52 de Latitud Norte de lo que se deduce una distancia de 20°.20 en longitud entre ambos puntos, cifra muy semejante a la asegurada por Gama.

Gama nunca menciona si el eclipse había sido anunciado en alguna efeméride o publicación especializada de la época, dato que nos permitiría saber realmente si predijo el eclipse en el sentido estricto de la palabra, o simplemente cálculo su trayectoria auxiliado por las diferentes tablas astronómicas del Sol y de Luna como las citadas por él en su trabajo.

Lo anterior se plantea dado que Antonio de Ulloa, Almirante de la Armada Española, observó el mismo fenómeno en altamar durante el viaje de la última Flota de Indias, en la travesía Azores-Cádiz, y en su trabajo *El Eclipse de Sol con el Anillo Refractorio de sus Rayos...* publicado un año después (Ulloa, 1992), asegura que el eclipse estaba anunciado en las *Connaissance des temps ou des mouvements celestes a l'usage des astronomes et de navigateurs*, en *The Nautical Almanach and Astronomical Ephemeris* y en el almanaque náutico de la Academia de Ciencias de París, publicaciones que muy probablemente Gama conoció.

Ulloa en su trabajo menciona que Auguste Darquier de Pellepoix había observado el eclipse en Toulouse, Francia, y el oficial de caballería Mr. Dezoteur lo observó en Salé, Marruecos; con este último discute y analiza los datos obtenidos con los cuales se pudo corregir la longitud del cabo de San Vicente, en el suroeste de Portugal.

Gama inicia La Determinación Gráfica citando los "inventores" del método de graficación de la trayectoria de las fases de un eclipse de Sol.

"Entre las cosas mas curiosas de la Astronomía, es sin duda la mayor describir sobre un Mapa una figura que contenga todas las fases de un Eclipse de Sol, segun deben observarse en los lugares de la tierra por donde pasan las líneas que las representan. Esta invencion se debió á Kepler, y perfeccionó Casini..."

Continúa citando otros autores que habían publicado efemérides para diferentes eclipses de Sol resaltando el hecho de haberlo realizado exclusivamente para la ciudad donde escribían dichos autores.

En la hoja II confiesa el haber imitado a Kepler y Cassini para la elaboración del mapa de las trayectorias y fases del eclipse en cuestión.

"...A imitación pues de estos Autores he formado el presente Mapa, deducido de las Longitudes y Latitudes que resultan de la Proyección Orthographica general, prescindiendo, como ellos, de la refracción, y del aumento del diámetro de la Luna, segun sus alturas sobre el horizonte, que se supone constante en un Cálculo general."

Es importante contar con toda esta información, pues nos muestra que León y Gama estaba muy al tanto del trabajo de los europeos, lo que una vez más contradice el mito de la marginación científica de los novohispanos.

El método para calcular las efemérides del eclipse para la Ciudad de México así como la graficación de las trayectorias de totalidad y parcialidad seguramente lo obtuvo de Eléments d'Astronomie. Tables astronomiques Tomo II de Cassini publicado en París el

año de 1740. En dicho texto Cassini desarrolla la metodología para el cálculo de eclipses de Sol y de Luna, así como el método de graficación. Dicha metodología consiste, principalmente, en saber utilizar las Tablas Astronómicas de los movimientos del Sol y de la Luna, contenidas en el mismo tomo, para el cálculo de las conjunciones, oposiciones, lugar verdadero, movimiento horario, longitud del nodo, movimiento horario en la eclíptica, semidiámetros, etc. del Sol y de la Luna, realizando sumas y restas de signos (franja del zodiaco), grados, minutos y segundos; así como ajustes en función del año, mes, día y hora. Con respecto a la graficación detalla, el método en el cual se basa prácticamente la obtención de las latitudes y longitudes mediante el compás para generar círculos para los diferentes usos horarios a nivel mundial y el trazo de líneas para unirlos, conforme lo exigen los datos de las diferentes tablas del Sol y de la Luna.

Para el cálculo de las efemérides del eclipse se basó en los datos contenidos en las tablas de La Caille, La Lande, Mayer y otros que cita. Dichas tablas contienen datos sobre los movimientos del Sol y de la Luna. Al citar a esos autores demuestra el conocimiento que tenía de las obras científicas de su época, principalmente las francesas. Podemos afirmar que básicamente se apoyó en estos autores para la elaboración de sus cálculos y graficación del eclipse total de Sol de 1778, y muy especialmente en Cassini, pues en todo el trabajo Gama reproduce el método de calcular y graficar desarrollado por este autor.

Las efemérides del eclipse para la ciudad de México calculadas por Gama se muestran en la Tabla V-1. Cabe señalar que en la ciudad de México el eclipse se vio como parcial. En dicha tabla aparecen las palabras Boreal que se refiere a la parte norte del planeta, Novilunio que se refiere a la conjunción de la Luna con el Sol y la letra **s** seguida de un número denota el Signo del Zodiaco correspondiente, según sea la posición de la Tierra en su trayectoria anual alrededor del Sol (ver fig. V.1), siguiendo la nomenclatura

utilizada por Cassini tendríamos que: 0=Aries, I=Tauro, II=Géminis, III=Cáncer, IV=Leo, V=Virgo, VI=Libra, VII=Escorpión, VIII=Sagitario, IX=Capricornio, X=Acuario y XI=Piscis, Gama cambia los números romanos por arábigos.

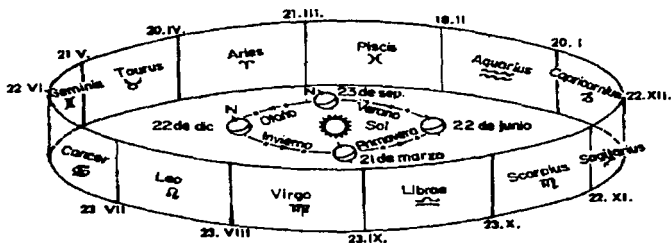


Figura V.1. Trayectoria de la Tierra alrededor del Sol y los signos del zodiaco.

Las efemérides proporcionadas en la tabla V.1 corresponden a la fase máxima del eclipse para la ciudad de México. Gama proporciona 9 h 0^m 2^s como tiempo civil de la conjunción y 7h 29^m 18^s como tiempo universal, el cual plasmó en su mapa de la trayectoria. El "Lugar verdadero del Sol y Luna" se refiere a la ascensión recta del Sol y Luna en el momento de la conjunción la cual coloca en 3° 3' 4".12" que equivale al tercer signo del zodiaco, que comienza a contar a partir de Aries, asignando 30° por signo, que es Cáncer o 90° por lo que sería 93° 4' 1.2" o 6h 12 min 0.34seg. El programa para PC que utilizamos como comparación, proporciona una ascensión recta de 6h 12 min 56.6 seg para el Sol cifra semejante a la de Gama y para la Luna el mismo programa proporciona 6h 12' 51.0 seg, ya que en la ciudad de México el eclipse se vio como parcial. En lo que se refiere a la "Declinación Boreal del Sol" coinciden los valores de

Gama y del programa; el concepto de "Cantidad Eclipsada" es referente a la magnitud del Sol observado en la Cd. de México Gama da un valor de 10 dig. 20' que es equivalente a 0.861108 actual. En base a los elementos besselianos de Mucke and Meeus (Mucke, Meeus, 1983) obtenemos un valor de 0.87454 y el de PC da un valor de 0.881. Como se ve, prácticamente los valores son iguales.

Básicamente se puede afirmar que las efemérides de Gama estuvieron bien calculadas dado que su índice de error, para la época, es mínimo.

A partir de la hoja III comienza la explicación de la gráfica que obtuvo en función de sus cálculos explicando la interpretación de cada una de las líneas trazadas tanto para la centralidad como para la parcialidad. La figura del mapa publicado por Gama se encuentra en el apéndice A de este trabajo, que es un facsímil de la obra analizada.

"Y pasando al Cálculo general, ó figura del Eclipse formada en la superficie de la tierra, en ella se representan con las líneas curvas que caminan de Occidente á Oriente, ó de la izquierda á la derecha, las fases ó dígitos eclípticos, en esta forma: la de abajo del Mapa, que caé a la parte austral de la tierra respecto de la linea central, es la de los contactos; y todos los lugares por donde camina, veerán solamente tocarse los limbos del Sol y Luna, y subiendo ázia la Orbits de ésta, tirando paralelas á ella, á distancia de la duodécima parte del diámetro del Sol, se determinarán los lugares por donde pasan, que vén el Eclipse de uno, de dos, ó mas dígitos, segun se hubiere hecho la division del diámetro del Sol"

TABLA V-I. Efemérides del Eclipse para la ciudad de México .

Tiempo verdadero y civil del novilunio verdadero en México	Junio 24 d. 9 h. 0' 2" de la mañ.
Lugar verdadero del Sol y Luna	3° 3' 4' 1", 2.
Declinacion boreal del Sol	23° 26' 23"
Su semidiámetro	15' 47", 1
Su movimiento horario	2' 23"
Longitud del Nodo boreal de la Luna	2° 29' 27' 15"
Su movimiento horario en la Eclíptica	37' 35" , 2
El relativo, ó de la Luna á el Sol	35' 12" , 2
Latitud boreal de la Luna	19' 22" , 5
Su semidiámetro	16' 40" , 3
Paralaxe horizontal del Sol	0' 8" , 5
Paralaxe horizontal de la Luna	61' 9" , 5
Diferencia de paralaxes	61' 1"
Obliquidad aparente de la Eclíptica	23° 28' 6"
Angulo que forma ésta con el Meridiano, al Occidente	88° 37' 9"
Inclinación de la Orbita Lunar con el Circulo de Latitud, al Occ.	64° 22' 10"
De lo qual se deduce el principio del Eclipse a las	6h 26' 30" de la mañ.
Su medio, ó maxima obscuracion, á las	7h 29' 18"
Su fin á las	8h 32' 0"
Toda su duracion	2h 5' 30"
La cantidad eclipsada	10 dig. 20' á la parte del Norte

Cuando Gama señala las "fases o dígitos eclípticos" se está refiriendo a las curvas de igual magnitud, las cuales denotan el tamaño del Sol, visto por los observadores a las diferentes latitudes y longitudes por donde pasa la trayectoria del eclipse para la parte Norte y Sur de la Tierra.

Mas adelante señala que las longitudes y latitudes gráficas fueron obtenidas en función de los diferentes usos horarios, de media en media hora, los cuales están representados en el mapa con números romanos de hora en hora. Los valores de las latitudes y longitudes están tabulados en las tablas que se encuentran en las hojas V, VI, VII, VIII y IX del trabajo de Gama, las cuales tienen por título "TABLA DE LAS LONGITUDES Y LATITUDES...", "TABLA DE LAS MAYORES PHASES BOREALES", "TABLA DE LAS MAYORES PHASES AUSTRALES", "TABLA DEL MEDIO DEL ECLIPSE AL NACER EL SOL", "TABLA DEL MEDIO DEL ECLIPSE AL PONERSE EL SOL" Y "TABLAS DEL PRINCIPIO Y FIN DEL ECLIPSE AL NACER Y PONERSE EL SOL". Recuérdese que Boreal es relativo al norte del planeta, en las tablas lo señala con la letra B, y Austral es relativo a la parte sur del planeta, en las tablas lo señala con la letra A. En base a tales datos numéricos, trazó en el mapa las líneas de centralidad y de "dígitos"; o sea las curvas de igual magnitud, según la interposición de la Luna entre la Tierra y el Sol. Estas tablas se ajustaron a las longitudes actuales, ésto es con respecto al meridiano de Greenwich, con la finalidad de reproducir el mapa de Gama con la terminología actual (Tablas V.2, V.3, V.4, V.6 y V7). Las latitudes no se ajustaron dado que Gama las coloca a partir del ecuador 0°, o Equinoccial punto de intersección de la eclíptica y el ecuador terrestre.

La investigación de Gama continúa con la explicación de las curvas cerradas representadas a los extremos del mapa.

" Las curvas cerradas de los lados, que terminan la figura, y se asemejan á ojas de alguna planta, son las que denotan el principio, medio y fin del Eclipse al nacer, y ponerse el Sol; y las Longitudes y Latitudes de los lugares por donde pasan, se contienen en las quatro Tablas que se hallan con estos títulos, en las que se incluye tambien la hora y minuto del orto y ocaso del Sol en cada paralelo. "

La palabra orto la refiere a la salida del Sol y la palabra ocaso la refiere a la puesta del Sol. En dichas curvas se representan las tres fases del eclipse solar: primer contacto, máximo y último contacto. Además delimitan la trayectoria del eclipse por ser obtenidas en función de la salida y ocaso del Sol.

Las tablas del Medio del eclipse al nacer y ponerse el Sol contienen valores de longitud y latitud para los contactos de los limbos a la parte austral y boreal del Sol y de otras líneas de igual magnitud que nunca se representan en el mapa. Igual sucede para las tablas del principio y fin del eclipse al nacer y ponerse el Sol. Si estos valores los hubiese gráfico Gama, la trayectoria del eclipse en su mapa sería más amplia y coincidiría con el cálculo que realiza más adelante para obtener el número total de kilómetros recorridos por la sombra.

El ajuste realizado a las longitudes consistió en recorrer el 0° ó 360° de Gama 18° al oriente para hacerlo coincidir con el meridiano de Greenwich, 0° actuales, y ajustando los grados y minutos a la nomenclatura de grados y decimos de grado tanto para las longitudes como para las latitudes.

Podemos pensar que Gama bien sabía que 15° de longitud equivalen a 1 hora, esto se puede deducir de las Tablas de Sol y de Luna de Cassini las cuales conocía, cuando tabula sus resultados de las longitudes y latitudes en función de las horas y minutos para la línea de centralidad y las de 12 dígitos el número de grados en las longitudes no se mantienen de 7°.5, para cada media hora; oscilando entre 4°.75 y 6°.86 por hora.

Asimismo para las latitudes a ambos lados de la línea central, 12 dígitos, las distancias en grados no mantienen la proporcionalidad para cada longitud. Esto es, para cada longitud la distancia en la latitud debería de ser la misma en ambos lados.

En las Tablas de las Mayores Phases Boreales sucede algo semejante, además de no coincidir la mayoría de las longitudes de las diferentes líneas australes con las longitudes de la línea central, ni con ellas mismas. La proporcionalidad de las distancias en latitud se mantienen con respecto a la central.

En las Tablas de las Mayores Phases Australes se mantienen las diferencias con respecto a las longitudes de la central, en las distancias en latitud con respecto a la central no coinciden dado que la división en dígitos no coincide con la división definida por Gama, ésto es, la columna de datos para la línea de 9 dígitos corresponden a los de 6, la de 6 a 3 la de 3 a la de los contactos y la de los contactos escapan a las dimensiones de los conos de sombra.

Lo anterior se comprueba al examinar el mapa de la figura V.2, el cual muestra las distancias latitudinales de las curvas de igual magnitud, en la parte norte, desproporcionadas con respecto a la zona sur; además este mapa dista mucho del publicado por Gama dado que existen serias diferencias en la trayectoria, principalmente, de la línea de centralidad en lo que se refiere en la parte de Europa y África; si se compara el mapa de la figura V.3 con el mapa de Gama notaremos grandes diferencias a pesar de ser ambos contemporáneos.

Podemos afirmar que el trabajo de Gama quedó ensombrecido por carecer de un buen mapa en el que quedase plasmada la trayectoria del eclipse total de Sol, ya que gran parte del análisis que realiza sobre la trayectoria, nada tiene que ver con el mapa que publica.

Posteriormente menciona, nuevamente, el origen de su marco de referencia para la representación de las longitudes y latitudes. El eje de las latitudes lo traza a través de la Isla del Fierro hasta intersectarlo con el ecuador, dividido de diez en diez grados; para las longitudes define su cero, ó 360°, en dicha isla y a partir de ella hacia la izquierda la divide de diez en diez hasta los 220°. En el caso contrario empieza en diez y termina en 60° , estos intervalos le fueron suficientes para obtener su mapa de la trayectoria del eclipse solar.

Después de explicar las circunstancias del eclipse en las curvas de salida y puesta del Sol, comienza a desarrollar los cálculos para la obtención de la altura de la franja de parcialidad; así como para la longitud recorrida por la franja de totalidad, definiendo para ello la cantidad de leguas contenidas en un grado.

"...siendo el espacio comprendido entre ambas líneas de los contactos igual á la doble suma de semidiámetros, contado éste sobre el meridiano fijo de la Proyeccion Orthográfica desde 10 grados de latitud septentrional, hasta los 87½, resulta ocupar la doble suma de semidiámetros setenta y siete grados y medio. Y aunque un grado de círculo maximo es igual á 57060 toesas, (medida de París) y por consiguiente á 26 y poco mas de media leguas mexicanas..."

Tabla V.2. Longitudes y latitudes, con respecto a Greenwich, para el trazo de la línea central y sus límites norte y sur

TABLA DE LAS LONGITUDES Y LATITUDES
de los lugares de la tierra donde se ve el Eclipse central con
tardanza en la sombra, ó de 12 dig. 40' y de donde se ve
solamente de 12 dig. justos á una y otra parte de la línea central.

De 12 díg. á la parte boreal respecto de la línea central		De 12 dígitos 40 m. ó central con tardanza		De 12 díg. á la parte austral respecto línea de la central	
Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud
-120.75	18	-120.5	16.3333333	-120.25	15
-114	20.1666667	-113.63333	19.6666667	-113.36667	18
-107.61667	24.5	-107.25	23	-107	21.3333333
-101.75	27.5	-101.38333	26	-101	24.5
-95.616667	30.5	-95.5	28.5	-95.25	27.3333333
-90.383333	33.3333333	-90	32	-89.75	30
-85.133333	35.8333333	-84.816667	34.25	-84.5	32.6666667
-80	38.1666667	-79.633333	36.6666667	-79.36333	35
-74.866667	40.1666667	-74.616667	38.6666667	-74.38333	37
-69.75	41.6666667	-69.5	40.3333333	-69.25	38.6666667
-64.333333	42.6666667	-64.366667	41.5	-64.25	39.75
-59.4	43.3333333	-59.25	42.5	-59.133333	41
-54.5	44	-54.5	43	-54.25	41.5
-49.25	44.3333333	-49.316667	43.1666667	-49.33333	41.75
-44	44.3333333	-44	43.1666667	-44	41.75
-38.666667	44.25	-38.75	43	-38.75	41.6666667
-33.25	43.75	-33.366667	42.5	-33.5	41.1666667
-27.75	43	-28	41.6333333	-28.25	40.3333333
-22.383333	41.8333333	-22.583333	40.5	-22.883333	39
-16.75	40.3333333	-17	39	-17.333333	37.1666667
-11.133333	38	-11.416667	37	-11.75	35
-5.25	36	-6	34.6666667	-5.75	33
0.83333333	33.75	0.63333333	32.5	0.25	30.6666667
7.11666667	30.8333333	6.86666667	29.5	6.61666667	27.6666667
13.75	27.6666667	13.5	26.5	13.25	24.6666667

Tabla V.3. Longitudes y latitudes, con respecto a Greenwich, para el trazo de las líneas de igual magnitud zona Sur

TABLA DE LAS MAYORES FASES BORALES
que se representan en las líneas australes, respecto de la central

De 9 díg. á la parte boreal del Sol		De 8 díg. á la parte boreal del Sol		De 3 díg. á la parte boreal del Sol		Contacto a la parte boreal del Sol	
Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud
-119.41667	5.5	-119	-2	*	*	*	*
-112.36667	9.25	-111.75	1	-111.75	-7	-112.33	-13.5
-105.61667	12.25	-105	4	-104.75	-4	-104.87	-13.6667
-99.5	15.666667	-98.5	7	-98.25	-1	-98.25	-9.66667
-93.75	18.666667	-92.633333	10	-92	2	-92	-6.33333
-88.25	21.5	-87	13.166667	-86.5	4.75	-86.133	-3.16667
-83.13333	24.25	-81.883333	15.833333	-81.16667	7.75	-80.75	-0.33333
-78	26.5	-76.883333	18.333333	-76.133333	10	-75.667	2
-74	28.333333	-73	20	-71.5	12.5	-71	4
-69.25	30.25	-67.45	21.833333	-66.75	14.25	-66.25	6.25
-63.5	31.666667	-62.75	23.333333	-62.25	16	-61.75	7.75
-58.63333	32.5	-58.25	24.666667	-57.883333	17.333333	-57.5	9.25
-54	33	-53.75	25.5	-53.36667	18	-53.117	10
-49.33333	33.5	-49.133333	26	-49	18.166667	-48.75	10.5
-44.38333	33.5	-44.5	25.833333	-44.5	18	-44.383	10.333
-39.33333	33	-39.883333	25.5	-40.133333	17.5	-40	10
-34.36667	32.5	-35	25	-35.333333	16.666667	-35.333	9.16667
-29.08333	31.666667	-29.86667	23.833333	-30.333333	15.75	-30.5	8
-24	30.25	-24.75	22.5	-25.25	14.416667	-25.5	6.5
-18.63333	28.666667	-19.5	20.5	-20.06667	12.5	-20.05	4.5
-13	26.75	-13.883333	18.5	-14.36667	10	-14.5	2.33333
-7.116667	24.75	-7.866667	16.25	-8.5	8	-8.3833	0
-1.083333	22	-1.833333	13.5	-2.25	5	-1.6667	-2.6667
5.5	19	4.416667	10.333333	4.75	2.5	5	-8
12.333333	15.666667	11.916667	7.333333	12	-0.5	*	*

Tabla V.4. Longitudes y latitudes, con respecto a Greenwich, para el trazo de las líneas de igual magnitud zona Norte

TABLA DE LAS MAYORES FASES AUSTRALES
que se representan en las líneas boreales, respecto de la central

De 9 díg. á la parte austral del Sol		De 6 díg. á la parte austral del Sol		De 3 díg. á la parte austral del Sol		Contacto á la parte austral del Sol	
Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud
-122.5	27	-125.25	37.5	-129.25	50.5	-138.25	73
-116	30.5	-118.86667	41.3333333	-123.25	54.5	-132.75	77.5
-115.75	33.8333333	-112.75	44.5	-117.25	57.75	-127	81
-103.75	37	-107	47.6666667	-111.5	61	-120.25	83.5
-98.133333	40	-101	50.1666667	-105.5	63.5	-113.25	84.6667
-92.533333	42.6666667	-95.366667	52.6666667	-99.5	65.6666667	-106.13	85.3333
-87.133333	44.8333333	-89.75	55.3333333	-93.5	67.5	-99.25	86.4167
-81.75	47	-84	57.1666667	-87.133333	69	-92	87
-76.366667	48.5	-78.25	58.75	-80.75	70	-84.75	87.25
-70.883333	49.75	-72.5	60	-74.5	70.6666667	-77.367	87
-65.5	50.6666667	-66.833333	60.5	-68.166667	71	-70.133	86.75
-60	51.3333333	-60.75	61	-61.583333	71.3333333	-62.75	86.5
-54.566667	51.6666667	-54.833333	61.3333333	-55.133333	71.5	-55.363	86.75
-49.133333	52	-49	61.5	-48.75	71.6666667	-47.933	87
-43.5	52.25	-42.833333	62	-42.083333	72	-40.833	87
-37.833333	52.25	-36.75	62	-35.5	72.1666667	-33.25	87
-32.75	51.75	-30.75	61.6666667	-28.833333	72.1666667	-25.883	87.25
-26.5	51.1666667	-24.75	60.8333333	-22.333333	71.8333333	-18.5	87.25
-20.75	50.25	-18.633333	59.8333333	-15.75	71.3333333	-11.133	87.3333
-15	48.75	-12.616667	58.5	-9.25	70.5	-3.75	87.3333
-9.133333	47	-6.5	57	-2.75	69	3.63333	87
-3.133333	45.3333333	-0.383333	55.25	3.5	67.5	10.833	87
2.6666667	42.75	5.8666667	53	10.116667	65.8333333	18.25	86.75
9.1166667	40	12.133333	50.333333	16.5	63.5	25	85
15.75	37.1666667	18.5	47.6666667	22.8666667	60.6666667	31.5	82.5

Tabla V.5. Longitudes y latitudes, con respecto a Greenwich, para el trazo de las curvas cerradas a la salida del Sol

TABLA DEL MEDIO DEL ECLIPSE
al nacer el Sol

PHASES	Longitud	Latitud
Contacto de los limbos á la parte austral del Sol	-171.75	56
3 dígitos á la parte austral del Sol	-152	43
6 dígitos á la parte austral	-140.87	33
9 dígitos á la parte austral	-134	25
12 dígitos	-128.37	17
Central con tardanza	-126.62	15.5
12 dígitos	-127	14.75
9 dígitos á la parte boreal del Sol	-121.75	5.5
6 dígitos boreales	-118.37	-2
3 dígitos boreales	-115.75	-8
Contacto á la parte boreal	-113.5	-14

Tabla V.6. Longitudes y latitudes, con respecto a Greenwich, para el trazo de las curvas cerradas a la puesta del Sol

TABLA DEL MEDIO DEL ECLIPSE
al ponerse el Sol

PHASES	Longitud	Latitud
Contacto de los limbos á la parte austral del Sol	80.75	62
3 dígitos á la parte austral del Sol	53.1333	51.33333333
6 dígitos á la parte austral	40.6333	42
9 dígitos á la parte austral	32.1333	34
12 dígitos	25.75	26
Central	24.8667	25
12 dígitos	23.8833	23.5
9 dígitos á la parte boreal del Sol	19	15.5
6 dígitos á la parte boreal	15.25	7.5
3 dígitos á la parte boreale	12	-0.5
Contacto á la parte boreal	10	-6

Tabla V.7. Longitudes y latitudes, con respecto a Greenwich, para el trazo de las líneas de principio y fin del eclipse en las curvas cerradas a la salida y puesta del Sol

TABLAS DEL PRINCIPIO Y FIN DEL ECLIPSE
al nacer y ponerse el Sol.

Paralelos	Principio y fin al nacer el Sol.		Principio y fin al ponerse el Sol	
	Princip.	Fin	Princip.	Fin
	Longitud	Longitud	Longitud	Longitud
G.	G.	G.	G.	G.
60	"	"	77.75	66.5
55	-168.25	-173.5	67	52.75
50	-156.25	-167.75	61.13333333	42
45	-145.75	-162.5	55.25	33.36333333
40	-137.85	-157.85	50.25	25.75
35	-131.5	-154.166667	46.38333333	20.16666667
30	-125.75	-151	42.5	15.38333333
25	-120.5	-147	38.75	11
20	-116.366667	-143.866667	35.5	7.93333333
15	-112.8833333	-140.816667	32	5.5
10	-110.5	-137.8833333	29	4
5	-108.3333333	-134.75	25.38333333	2.88333333
0	-106.75	-131.5	21.5	2.75
-5	-106.25	-127.366667	14.25	6
-6			10	10
-10	-108.25	-121.5	"	"
-14	-113.5	-113.5	"	"

Figura V.2. Tránsito de la sombra y penumbra de la Luna sobre la superficie de la Tierra, en el Eclipse del día 24 de Junio de 1778

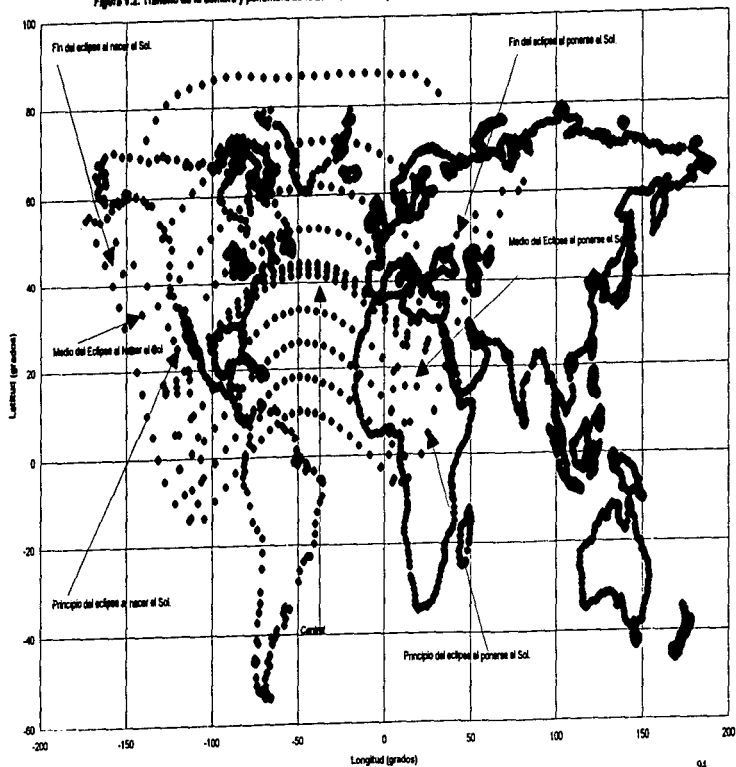




Figura V.3. Mapa Mundial francés del siglo XVIII, obtenido de "Los Viajes de Laperouse", cortesía Universidad Iberoamericana. Este mapa es contemporáneo del que trazó León y Gama para ilustrar la trayectoria del eclipse solar de 1778.

Para obtener el ancho total existente entre el límite norte y el límite sur de la trayectoria de la parcialidad tal parece que supone la misma altura para cada una de las longitudes, esto no necesariamente es así, ya que depende de la posición de los astros en el transcurso del eclipse, y toma a partir de los 10° de latitud hasta los 87°.5 , si estos puntos los localizamos en el mapa del apéndice A, nos daremos cuenta que las líneas de contacto norte y sur no coinciden con estas mediciones, al menos sobre el eje que nombra como "meridiano fijo". Existe en la tabla V.3 dos puntos con latitud igual a 10° y longitud de -53°.11667 y -40° respectivamente, a su vez en la tabla V.4 no existe ningún punto con latitud igual a 87°.5 el más cercano corresponde a 87°.333333 con longitud de -11°.133333 y -3°.75 respectivamente, quizás los puntos seleccionados por Gama no los plasmó en las tablas y a lo mejor los puntos seleccionados los obtuvo observando el mapa trazado, o quizás, para su cálculo era más fácil tomar cifras exactas que cifras con aproximaciones decimales.

Con respecto al número de leguas contenidas en un grado asume la cantidad de 26.5 leguas, número semejante obtenido por Velázquez de León según cita en su dedicatoria al mismo, haciendo una legua igual a 4.190 Km tendremos que un grado de equinoccial o círculo máximo llámese ecuador tendría, según Gama, 111.035 Km, en este caso supone a la Tierra esférica; mas adelante cita las últimas investigaciones sobre la forma de la Tierra, en cuya cita podemos suponer explica la curvatura de la zona del eclipse en la parte norte del Océano Atlántico.

"...sino esferoídica, ó compresa ázia los polos, variando aun los mismos Autores sobre la proporcion de sus dos diámetros; he tomado por medio, contar unos con otros los grados, de á 25 leguas mexicanas: y á este respecto se tendrá la distancia que ocupa el Eclipse, de Norte á Sur, desde el primero hasta el último contacto exterior, que será la de 1937½ leguas de á cinco mil varas mexicanas cada una."

Gama toma el promedio de las mediciones realizadas sobre el ecuador y el achatamiento boreal de la Tierra para obtener el ancho total entre los límites norte y sur de la parcialidad, obteniendo un valor de 8118.125 Km. En la actualidad se tiene que un grado de latitud contiene 111.133 Km. aproximadamente. Si este valor lo multiplicamos por 77.5, que es el número de grados contenidos en el ancho de la parcialidad, obtenemos un total de 8612.8075 Km.

Posteriormente realiza el cálculo de la distancia recorrida por la línea central.

"De la misma manera en la línea central, en que caminando la sombra de la Luna de occidente á oriente desde que nace el Sol totalmente eclipsado en un lugar cuya longitud es de 251° 23' hasta que del mismo modo se oculta en otro de 42° 52' se regulan á los 151° 29' que resultan, que ha recorrido en el tiempo de la maxima obscuracion poco mas de 3332 leguas, tomando un medio entre las 26½ mexicanas, y las castellanas de á 17½ en grado, por separarse de la Equinoccial hasta mas de 43° de altura de polo. Y este espacio es el que camina la línea central sobre la tierra..."

Conocedor, tal parece, de que la cantidad de leguas contenidas en un grado de longitud depende de la latitud toma el promedio de las leguas mexicanas y las leguas castellanas obteniendo un promedio de 22 leguas que multiplicándolas por 151^o.48333 se obtiene 3332.633 leguas recorridas por la franja de totalidad, equivalente a 13963.73227 Km. actuales. Las razones que tuvo Gama para tomar las leguas castellanas en ningún momento lo menciona, pero seguramente las tomo por ser un dato generado en España y bien conocido.

Si multiplicamos 151.4833, que es el número de grados recorridos por la totalidad, por 111.414 Km, que es el número de km contenidos en un grado de longitud, obtendremos un total de 16876.993 KM. El número de grados recorridos por la parcialidad, en longitud, no esta plasmado en el mapa publicado por Gama.

Posteriormente realiza un análisis de la trayectoria de las líneas de igual magnitud y de la línea central describiendo los lugares por donde pasarán cada una de ellas, a partir de la hoja XI hasta la XVI del apéndice A, se detallan los nombres de las diferentes regiones que la trayectoria tocó. Si este análisis se compara con el mapa del apéndice A, notaremos que gran parte de las trayectorias descritas por Gama no coinciden con la figura plasmada en su mapa.

Las tablas V.8 a la V.16 contienen los nombres y las longitudes y latitudes asociadas a la época y las actuales para poder referenciar dichos lugares con los mapas del apéndice A (figura V.2 y figura V.3). Si comparamos el mapa de la figura V.2, notaremos una mayor afinidad con lo descrito por Gama. Asimismo se puede comparar los datos de las tablas con el mapa de la figura V.3, el cual es un mapa del siglo XVIII elaborado 10 años después del eclipse de Sol obtenido del Atlas de Voyage de Laperouse, el cual describe los viajes por el mundo del autor por los años 1785, 1786, 1787 y 1788. Suponemos que la ubicación de los diferentes puntos trazados no habían cambiado ya que gran parte coincide con los nombres mencionados por Gama.

Al terminar de describir la trayectoria en la página XVI, Gama afirma que "Todos los lugares que van referidos distan entre si la quarta parte del diámetro del Sol ázia uno y otro polo...", en el mapa del apéndice A, a simple vista se nota la proporcionalidad de las distancias latitudinales en las curvas de igual magnitud, si se mide con regla, medición que tendría un índice de error por la reproducción en xerox del facsímil, las distancias son semejantes y coinciden con su afirmación, cosa que no sucede al momento de graficar sus datos (figura V.2) ¿se equivoco de tablas al momento de publicar?, o los cálculos obtenidos los ajustó al momento de graficar?

Tabla V.8. Línea de Contactos a la parte Sur de la Central

Lugar	Siglo XVIII		Siglo XX	
	LAT.	LON.	LAT.	LON.
Isla San Pablo				
Puerto Viejo			9.39 N	82.45 W
Quito	0	55-70 W	0.13 S	78.30 W
Perú (11°)	11S	55-70 W	10.00 S	76.00 W
Isla de Margarita	11-12 N	40-50 W	11.00 N	64.00 W
Isla de Tobago y Trinidad	10-12 N	40-50 W	11.00 N	61.00 W
Isla de San Mateo				
Costas de Guinea	0-15 N	5-35 E	10-15 N	10-20 E

Tabla V.9. Línea de 3 dígitos a la parte Sur de la Central

Lugar	Siglo XVIII		Siglo XX	
	LAT.	LON.	LAT.	LON.
Golfo de Panamá	0-15 N	55-70 W	8.00 N	79.30 W
Puertovelo	0-15 N	55-70 W		
Cartagena (Colombia)	0-15 N	55-70 W	10.25 N	75.32 W
Isla de Santo Domingo	15-30 N	55-71 W	18 - 20 N	68 - 74 W
Guinea	0-15 N	5-35 E	10 - 15 N	10 - 20 E

Tabla V.10. Línea de 6 dígitos a la parte Sur de la Central

Lugar	Siglo XVIII		Siglo XX	
	LAT.	LON.	LAT.	LON.
Islas de Salomon			8.00 S	159 E ?
Veragua(S)			8.30 N	81.00 W
Granada	0-15 N	40-55 W	11.50 N	86.00 W
Costa Rica	8-10 N	60-70 W	10.00 N	84.00 W
Islas de San Andrés			12.32 N	81.42 W
Isla de Santa Catarina	33 N	101 W		
Cabo de Gracias a Dios	13-16 N	60-65 W	14.59 N	83.10 W
Jamaica	15-30 N	55-70 W	18.15 N	77.30 W
Cuba	15-30 N	55-70 W	20 - 25 N	75 - 85 W
Desierto de Azgar				
Desierto del Sahara	15-35 N	5-40 E	20-30 N	10-30 E
Etiopia Inferior o nigricia	15-25 N	10-40 E	5-15 N	33-47 E
Etiopia Superior	25-30 N	10-40 E	5-15 N	33-47 E

Tabla V.11. Línea de 9 dígitos a la parte Sur de la Central

Lugar	Siglo XVIII		Siglo XX	
	LAT.	LON.	LAT.	LON.
Isla de Sacrificios				
Huatulco	15-30 N	70-85 W		
Huamelula				
Tehuantepec	16 N	81-82 W	16 - 18 N	95 - 103 W
Río Coatzacoalco			18.10 N	94.27 W
Bahía de Campeche	18-20 N	70-80 W	20.00 N	94.00 W
Valladolid (Yucatán)	15-30 N	70-85 W	20.41 N	88.12 W
Habana, Cuba	15-30 N	55-70 W	23.08 N	82.22 W
Puerto de Matanzas (Cuba)	22-24 N	55-70 W	23.03 N	81.35 W
Islas Lucayas	15-30 N	55-70 W		
Islas Canarias	15-30 N	20 W -5 E	28.00 N	15.30 W
Berbería	30-45 N	20-35 E		
Tafílete				
Gaoga de la Nigrícia	15-30 N	20-35 E		

Tabla V.12. Línea Central

Lugar	Siglo XVIII		Siglo XX	
	LAT.	LON.	LAT.	LON.
Río de Piaxtia			23-35 N	106-108 W
Río de Mazatlan	15-30 N	85-100 W	23-24 N	106-107 W
Real del Rosario				
Sombrerete				
Villa del Nombre de Dios			28-30 N	105-106 W
Río de las Palmas				
Nuevo Reyno de León				
Lago de San Joseph				
Bahía de San Bernardo	27-28 N	81-82 W		
Cabo del Norte				
Río Misisipi	30-45 N	70-85 W	30-45 N	85-95 W
Florida	15-30 N	55-70 W	25-35 N	80-85 W
Georgia			30-35 N	80-85 W
Carolina			34-36 N	75-80 W
Isla de los Azores	30-45 N	10-25 W	38.30 N	28 W
Estrecho de Gibraltar	30-45	20-35 E	35.57 N	5.36 W
Argel	35.5 N	21 E	38.47 N	3.03 E
Túnez	35 N	27.5 E	36-38 N	8-10 E
Mar Mediterráneo	33-43 N	15-52 E	31-43 N	0-35 E
Tripoli	32.5 N	31 E	35.54 N	13.11 E
Egipto	20-30 N	40-50 E	22-30.5 N	25-35 E

Tabla V.13. Línea de 9 dígitos a la parte Norte de la Central

Lugar	Siglo XVIII		Siglo XX	
	LAT.	LON.	LAT.	LON.
Punta de San Felix				
San Juan de Dios				
San Fernando Villacata				
Canal de Ballenas				
Is. Santa Inés o Guadalupe	29-30 N	100-101 W		
Mar Bermejo de Cortés	20-31 N	85-100 W	25-30 N	110-115 W
Sierra de Santa Clara				
Río de los Apóstoles				
Río de Caborca				
Misión de Santa Teresa				
Misión de Aribac				
Presidio de Tubac				
Nuevo México	25-40 N	85-100 W	30-35 N	103-107 W
Luisiana	30-40 N	70-85 W	30-33 N	91-94 W
Virginia			37-40 N	77-83 W
Pennsylvania			40-43 N	75-80 W
Nueva York	40-45 N	50-60 W	40.43 N	74.01 W
Nueva Inglaterra			46.32 N	102.52 W
Nueva Escocia				
Golfo de San Lorenzo			45-50 N	60-65 W
Tierra Nueva	45-55 N	30-45 W	46-50 N	44-60 W
Bahía de Viscaya			44 N	4 W
Pamplona	30-45 N	5-20 E	42.49 N	1.38 W
Montes Pirineos			42-43 N	0-2 W
Bayona			42.07 N	8.5 W
Barcelona	30-45 N	5-20 E	41.23	2.11 E
Islas de Mallorca y Menorca			39-40 N	2-6 E
Isla Cerdeña	39-41 N	25-30 W	40 N	9 E
Isla de Sicilia	30-40 N	20-35 E	37.30 N	14 E
Isla de Candia	30-40 N	35-50 E		
Isla de Chipre (cercano)	30-40	50-55 E	35 N	33 E

Tabla V.14. Línea de 6 dígitos a la parte Norte de la Central

Lugar	Siglo XVIII		Siglo XX	
	LAT.	LON.	LAT.	LON.
Río Colorado	30-35 N	90-100 E	30-35 N	114 W
Nuevo México	28-40 N	80-100 W	30-35 N	103-107 W
Nueva Bretaña				
Estrecho de Bell'Isle	51-52 N	37-39 W		
Groenlandia	60-70 N	10-40 E	60-70 N	30-60 W
Islas Británicas	45-60 N	5-20 E	50-60 N	0-15 W
Dinamarca	45-60 N	20-35 E		
Holanda	51-53 N	20-30 E		
París	45-50 N	20 E	48.52 N	2.20 E
Alemania	45-60 N	20-35 E	47-54 N	5-15 E
Praga	45-60 N	35-50 E	50.05 N	14.26 E
Presburg				
Transilvania	45-50 N	35-50 E	46.30 N	24 E
Moldavia			47 N	27.15 E
Ponto Eugino				

Tabla V.15. Línea de 3 dígitos a la parte Norte de la Central

Lugar	Siglo XVIII		Siglo XX	
	LAT.	LON.	LAT.	LON.
Nueva Albion				
Cabo de Smith				
Bahía de Hudson	45-70 N	55-85 W	50-65 N	80-96 W
Isla de Buena Fortuna				
Cumberland				
Isla de Santiago				
Estrecho de Davis	60-70 N	25-55 W		
Groenlandia	60-80 N	5E - 40W	65 - 80 N	20-70 W
Noruega	60-71 N	20-40 E	58-70 N	0-12 E
Laponia	67-70 N	35-52 E		
Golfo de Botnia	60-66 N	35-52 E	60-70 N	15-25 E
Finlandia	60-66 N	35-50 E	60-80 N	-20-30 E
Rusia	45-70 N	40-80 E	50-80 N	20-180 E
Astracán	45-50 N	50-65 E		

Tabla V.16. Línea de los Contactos a la parte Norte de la Central

Lugar	Siglo XVIII		Siglo XX	
	LAT.	LON.	LAT.	LON.
Spitzbergen	75-80 N	20-40 E		
Nueva Zembia	70-80 N	65-95 E		
Siberia	60-75 N	80-200 E	50-80 N	100-170 E

Termina la Descripción Orthographica explicando los métodos de obtener del mapa los sitios por donde pasará la trayectoria en función de la división más fina de las curvas de igual magnitud, o en función de la longitud y latitud de un lugar para conocer la hora del suceso para el lugar en cuestión. Para demostrar el método realiza un ejemplo para la ciudad de Madrid en España, la cual le asigna 14° de longitud al occidente y 40° de latitud al norte, asegurando que el eclipse en Madrid sería visto de más de 11 dígitos; si trazamos las líneas de longitud y latitud en el mapa del apéndice A notaremos que el eclipse para la ciudad de Madrid sería total y no parcial como Gama aseguró, si este ejercicio lo aplicamos al mapa de la figura V.2 notaremos que se dan las condiciones que Gama plantea, esto es una prueba más de las carencias de su mapa.

Agrega al final una nota en la cual plasma las limitaciones del método gráfico para el cálculo general del eclipse. Cita los trabajos de M. du Séjour y las Memorias de la Academia Real de París de los años de 1765, 1766 y 1767, para quien quisiera realizar un cálculo más riguroso de las diferentes fases del eclipse. Señala, además, que los lugares que describe en el análisis de las trayectorias los obtuvo de diferentes mapas; tomando aquellos que considera más exactos en su ubicación, para la parte Europea y Africana principalmente, ya que asegura el haber tomado de un mapa de Joaquín Velázquez de León los correspondientes de América, principalmente de la zona norte; este señalamiento se comprueba en su análisis de la trayectoria dado que cuando

realiza su análisis en la parte correspondiente a la Nueva España da muestra de tener bien identificados cada uno de los lugares que menciona.

OBSERVACION DEL ECLIPSE.

En esta sección Gama ubica el sitio donde realizó el trabajo astronómico de observación el cual, según Maldonado-Koerdell, corresponde al barrio de Buena Vista al oriente de la ciudad; en la calle de Ponciano Arriaga o en su inmediata cercanía. A su vez, Gama, da el valor asignado a la latitud de la ciudad de México en $19^{\circ} 25' 53''$ resaltando que dicho valor lo obtuvo de diferentes observaciones realizados anteriormente por él y señalando que dicho valor es $5''$ menor que el obtenido por Velázquez de León.

Continúa con la descripción del equipo que utilizó y sus calibraciones, realizadas el día anterior al suceso. Dicho equipo fue el siguiente:

- a) Un Reloj de péndulo, de manufactura inglesa cuya variación era nula.
- b) Dos termómetros, Fahrenheit y Réamur, inglés y francés respectivamente.
- c) Dos anteojos, uno con micrómetro filar, de manufactura inglesa y francesa.
- d) Un cuadrante con hilo suspendido, el cual utilizó para comprobar el movimiento del reloj y otras observaciones astronómicas.

En base a las calibraciones del instrumental del día 23, de las observaciones del 24 y del 25 obtiene los tiempos medios para los ajustes de la culminación del eclipse según lo

observado por él y Velázquez de León. Relata que el día del eclipse y el anterior el cielo se encontraba cubierto de gruesas nubes, lo que les impidió observar las fases de inicio y máximo del eclipse, así como el tomar mediciones suficientes para calibrar sus instrumentos, despejándose un poco en el momento de la culminación del fenómeno astronómico. Por estas causas sus datos en cierta forma no son lo suficientemente confiables como para deducir las circunstancias de la observación.

Termina su opúsculo dando la hora de culminación del eclipse en función de sus pocas observaciones y sus ajustes al tiempo medido en los relojes, dando como tiempo verdadero de culminación $8h\ 29'\ 19''.1$, ó $8h\ 29'\ 21''.1$ según Velázquez de León.

Comparando el resultado de la culminación del eclipse con el dato plasmado en la tabla V.1, notaremos una diferencia de $2'\ 41''$ entre los datos teóricos y los experimentales, por lo que habría que realizar un análisis del escalamiento en sus instrumentos para poder asociar un error de observación en función del valor de incertidumbre asociado al instrumental.

VI.- SIMULACION DEL ECLIPSE DEL 24 DE JUNIO DE 1778

La bóveda celeste está llena de recuerdos del pasado. Si tomamos en cuenta que los objetos espaciales que se observan a simple vista en esencia no han cambiado, por lo que se puede asegurar que el cielo que observaron los babilonios, chinos, Jesucristo, Aristóteles, Galileo y cualquier otro personaje importante en la historia de la humanidad, es el mismo que se observa en la actualidad. El Universo permite la unidad con los hombres de todos los tiempos. La diferencia que existe entre lo que ellos miraron y lo que se observa actualmente está en el orden, colocación o ubicación de los objetos espaciales en determinados momentos, siendo algunos repetibles y otros no.

LOS CANON DE ECLIPSES

Los Canon² de eclipses son tablas y mapas que contienen los elementos y valores auxiliares de eclipses de Sol y de Luna, sucedidos o por suceder en un cierto intervalo de tiempo. Estos "Catálogos" han llegado a ser una referencia excelente para astrónomos e historiadores por igual.

En el curso de los últimos 110 años, diferentes autores han publicado conjuntos de circunstancias sobre los eclipses solares y lunares. El más famoso es el *Canon der Finsternisse* del Profesor Theodoro Ritter Von Oppolzer (Oppolzer, 1887), publicado en Austria en 1887; el cual es considerado como el trabajo pionero de la época moderna. Contiene los elementos de 8,000 eclipses solares y 5,200 lunares, los cuales sucedieron o sucederán entre los años -1207 y +2161, además de los mapas que muestran la posición aproximada de la línea central, en el caso de eclipses solares. Por su

² Del latín *cannon* que significa regla. En este contexto un canon de eclipses es una publicación que contiene las reglas que seguirán estos eventos; ésto es, las circunstancias en que ocurrirán los eclipses.

importancia dentro de la astronomía mundial, se ha traducido al inglés como *Cannon of Eclipses Theodor Ritter von Oppolzer* (Gingerich, 1962). Esta traducción es la que se consultó como referencia en este trabajo.

Cabe señalar que los cálculos del Canon de Oppolzer están basados en el método de P.A. Hansen, mientras que los Canon de este siglo generalmente se computan por el método de F. W. Bessel. "Los dos sistemas tienen construcciones geométricas seguras en común. Ambos utilizan el paso de la línea que une el centro del Sol y de la Luna por un eje de referencia fundamental, y un plano principal, perpendicular al eje, pasando por el centro de la Tierra. En el método de Hansen el eje X en este plano es paralelo con respecto a la eclíptica, mientras que en el método de Bessel este es paralelo con respecto al ecuador." (Meeus, 1989)

Hasta donde se conoce, el primer canon de eclipses publicado en el Continente Americano, fue producido por Enrico Martínez en 1606 como parte de su obra *Repertorio de los Tiempos*. En ella presenta datos sobre los eclipses solares y lunares que habrían de ocurrir entre 1606 y 1615. "El canon mismo no lo presentó en forma tabular, sino en párrafos seguidos; cada uno de los cuales proporciona la información sobre un eclipse individual. En total el *Repertorio* contiene datos sobre 36 eclipses; 20 de Sol y 16 de Luna." (Moreno Corral, 1997)

Con el transcurso del tiempo se han elaborado tablas y mapas más precisos que el Canon de Oppolzer, dado que la tecnología y las observaciones astronómicas más precisas han permitido avanzar en su elaboración. Un trabajo moderno que continúa la escuela de Oppolzer es el *Canon of Solar Eclipses*, por Jean Meeus, Carl C. Grosjean and Willey Vanderleen publicado por Pergamon Press, Londres 1966, el cual contiene datos sobre eclipses solares y los mapas de visibilidad para eclipses comprendidos entre 1900 y 2509.

Trabajos más recientes son:

Fifty year canon of Solar Eclipses: 1986 - 2035

Fred Espenak

Nasa Reference Publication 1178

July, 1987

Elements of Solar Eclipses: 1951 - 2200

Jean Meeus

Willmann-Bell, 1989

En la actualidad existen otras publicaciones similares, tanto americanas como europeas, pero las mencionadas son las que hemos consultado.

También hemos hecho referencias a cálculos presentados en publicaciones específicas como:

Your Guide to the great Solar Eclipse of 1991.

Joe Rao

Sky Publishing Corporation

Cambridge, Massachusetts, 1989

Anuario del Observatorio Astronómico Nacional 1991

Año CXI, IAUNAM, México, 1990

Annular Solar Eclipse of 10 May 1994

Fred Espenak and Jay Anderson

Nasa Reference Publications 1301

April, 1993

Hoy en día con la ayuda de ordenadores personales o PC, y no se diga de los potentes ordenadores de la NASA que lo han estado haciendo desde hace más de 20 años, podemos reproducir con mucha fidelidad los sucesos del Cosmos, aproximadamente desde el año 5,000 a.C. hasta el año 10,000 de nuestra era, por lo que no sólo podemos conocer el pasado sino anticiparnos al futuro. De hecho se utilizó el programa computacional de eclipses para PC de Zephyr Services el LodeStar Pro de Wayne C. Annala, para obtener las efemérides para la ciudad de México del eclipse aquí estudiado.

SIMULACION DEL ECLIPSE DEL 24 DE JUNIO DE 1778

En esta sección simularemos el eclipse total de Sol del 24 de junio de 1778, los elementos besselianos fueron obtenidos del Canon de Eclipses de Jean Meeus publicado en abril de 1988, los cálculos se realizaron en una computadora personal Hewlett Packard Vectra VL2 4/50 en una Hoja Electrónica de Cálculo Excel V.5 contiendo bajo ambiente Windows para trabajo en grupos V.3.11.

La Tabla VI.1 contiene los elementos Besselianos para el cálculo de la línea central y sus límites Norte y Sur, las curvas de los límites Norte y Sur de la parcialidad, las curvas de igual magnitud las cuales definen la magnitud del eclipse en función de la división del diámetro del Sol.

La primera columna contiene los valores de lunación y el número de la serie Saros al que pertenece el eclipse; el concepto de lunación corresponde al número de ocurrencias de Luna Nueva a partir del 1 de enero de +1900.

La segunda columna contiene la fecha del eclipse en función del calendario Gregoriano y el tipo de eclipse, el cual fue total (T).

Tabla VI.1. Elementos Besselianos para el Eclipse Total de Sol del 24 de junio de 1778

LUNACION	C. GREG	ET	T. E.	X0	YO	M0	D0	L10	L20	TAN F1
SAROS	TIPO	DIA JULIANO	GAMMA	X1	Y1	M1	D1	L11	L21	TAN F2
-1503	1778 JUN 24	15 34 38	16	0.22165	0.32967	69.527	23.431	0.53146	-0.01466	0.064596
133	R 7 45	2370636.150	0.3123	0.57952	0.04359	14.9993	-0.001	0.00684	0.00684	0.004575

La tercera columna contiene el tiempo efemérico en el cual el eclipse esta en su fase máxima y el día juliano que corresponde a partir del 1 de enero de -4712 a las 12 horas de tiempo universal.

La cuarta columna contiene la parte entera del tiempo efemérico cercano al tiempo del máximo eclipse y el valor de Gamma que es la distancia mínima entre el eje del cono de la sombra lunar al centro de la Tierra; este puede ser positivo o negativo, dependiendo si el eje del cono de la sombra pasa por el norte o sur del centro terrestre.

Las últimas siete columnas de la tabla VI.1 contienen los elementos besselianos del eclipse. Los elementos besselianos caracterizan la posición geométrica de la sombra de la Luna relativa a la Tierra. Las tangentes exteriores a las superficies del Sol y de la Luna forman el cono umbral, las tangentes interiores el cono penumbral. El eje común de los dos conos es el eje de la sombra. El plano geocéntrico perpendicular al eje de la sombra es llamado el plano fundamental, y se toma como el plano XY de un sistema rectangular de coordenadas geocéntricas. El eje X es la intersección del plano fundamental con el plano del ecuador y es positivo hacia el Este; el eje Y es positivo hacia el Norte.

X y Y son las coordenadas de la intersección del eje de la sombra con el plano fundamental, en unidades del radio ecuatorial terrestre. La declinación D y el ángulo horario efemérico M del punto en la esfera celeste que se dirige hacia el eje de la sombra representa la dirección de los ejes.

El radio del cono penumbral en el plano fundamental se denota por L1.

El radio del cono umbral es L2, y se toma positivo para un eclipse anular, negativo para un eclipse total. Los ángulos F1 y F2 son los ángulos de los conos umbral y penumbral, respectivamente, que forman con el eje de la sombra.

Las cantidades tabuladas X0, Y0, D0, M0, L10 y L20 son los valores de X, Y, D, M, L1 y L2 a la hora de referencia T0.

Para un instante, los valores de X en algún momento del eclipse son calculados por

$$X = X_0 + X_1 t$$

donde t es medido en horas a partir del tiempo de referencia T_0 .

La figura VI.1 muestra la proyección de la sombra de los conos umbral y penumbral sobre el plano fundamental y la superficie terrestre así como los movimientos relativos de la Luna y la Tierra

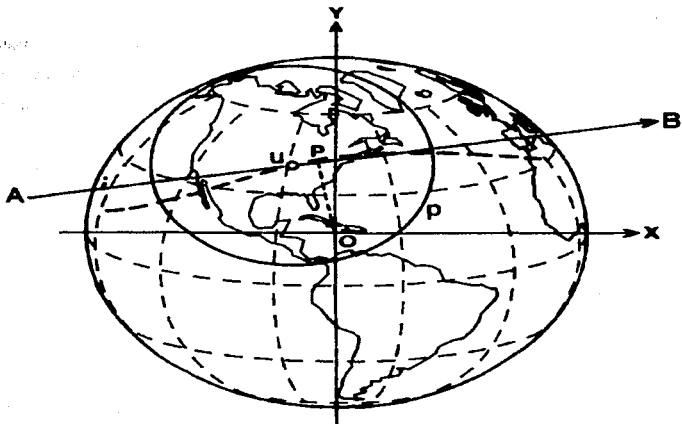


Figura VI.1. Proyección de los conos de sombra y movimiento relativo Luna-Tierra

El plano de la figura corresponde al plano fundamental, el cual pasa por el centro de la Tierra y es perpendicular al eje de los conos de sombra de la Luna. El centro de la sombra lunar, o la intersección del eje de la sombra con el plano fundamental, se desplaza de A a B.

La línea externa del cono umbral U, y la del cono penumbral P, son mostradas para el tiempo $T_0 = 17$ h. TD. O es el centro del disco terrestre. En el plano fundamental, las coordenadas del centro de la Luna (X,Y) y las del observador (ξ,η) son referidos a los ejes OX, OY. OP es la distancia más corta y del eje de la sombra al centro de la Tierra. Mientras el centro de la sombra lunar se desplaza de A a B, la superficie de la Tierra rota de Oeste a Este. Como una consecuencia, la trayectoria de la línea central en la superficie terrestre no coincide exactamente con la posición de la línea AB en la figura VI.1. La línea central real en la Tierra esta indicada por la línea punteada; este movimiento es lo que le da forma a las líneas de las trayectorias de los eclipses, que finalmente está asociada a la proyección de un cono en una superficie esférica.

La tabla VI.2 contiene las efemérides del eclipse en la fase máxima para la ciudad de México.

El eclipse total de Sol del 24 de junio de 1778 pertenece a la serie saros 133; la cual inicia con el eclipse del 13 de julio de 1219 y termina con el eclipse del 5 de septiembre del 2499. Esta serie consta en total de 72 eclipses. El que aquí analizamos es el número 32 de dicha serie, recuérdese que un Saros equivale a 6585 días ó 18 años, 10 u 11 días, dependiendo del número de años bisiestos contenidos en el periodo.

Una serie Saros con un número impar empieza con un eclipse parcial pequeño en las regiones del Polo Norte, y finaliza aproximadamente 13 siglos más tarde con un eclipse parcial pequeño en las regiones del Polo Sur; los eclipses de tales series ocurren al nodo ascendente de la órbita lunar. Una serie Saros con número par empieza en el hemisferio

Sur y finaliza 13 siglos más tarde en las regiones del Polo Norte, estos ocurren en el nodo descendente de la órbita lunar.

Tabla VI.2. Circunstancias locales para la Ciudad de México

Longitud	99° 07' 58" W
Latitud	19° 25' 59" N
Altura	2300 metros
Coordenadas del Sol	
Ascensión recta	6 h 12' 56 ^s .6
Declinación	+23° 26' 23"
Altura del Sol	+26° 34' 44"
Azimuth	72° 50' 00"
Coordenadas de la Luna	
Ascensión recta	6 h 12' 51 ^s .0
Declinación	+23° 31' 00"
Altura de la Luna	+26° 36' 47"
Azimuth	72° 45' 11"
Contactos (Tiempo Universal)	
Primer contacto	13 h 1' 43 ^s .6
Máximo	14 h 3' 28 ^s .8
Ultimo contacto	15 h 5' 14 ^s .6
Duración Total	2 h 3' 35 ^s .08
Magnitud	0.87454

La figura VI.2 contiene el mapa de la trayectoria del eclipse proyectado en la superficie terrestre, esto es, las trayectorias de la penumbra (parcial) y de la umbra (total).

Los límites de la sombra penumbral lunar definen la región de visibilidad del eclipse parcial; esta región en forma de silla de montar cubre más de la mitad del día del hemisferio boreal y consta de varios límites y de diferentes zonas.

En los límites norte y sur están definidos los límites de la trayectoria penumbral.

Las curvas cerradas en los extremos oeste y este de la trayectoria penumbral identifican las áreas donde el eclipse comienza o termina en la salida y puesta del Sol respectivamente.

El eclipse comienza o termina bisectado en la salida y puesta del Sol, esto es, en las líneas trazadas en las curvas de eclipse máximo en la salida del Sol (línea oeste) y puesta del Sol (línea este) están representadas las tres diferentes fases del eclipse (primer contacto, máximo, último contacto).

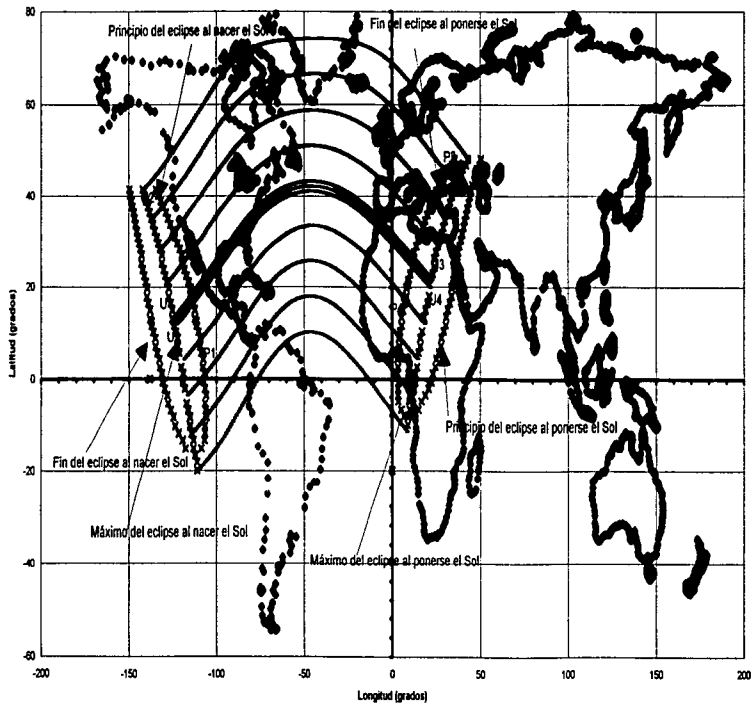
Las tangentes exteriores puntos P1 y P4 marcan las coordenadas donde la sombra penumbral tiene el primer contacto (eclipse parcial comienza) y el último contacto (eclipse parcial termina) sobre la superficie terrestre.

Por otro lado las tangentes interiores, puntos P2 y P3 corresponden a las coordenadas donde el cono penumbral llega a ser tangente interna para el disco terrestre.

Los puntos U1 y U2 marcan las coordenadas interiores y exteriores donde la umbra inicia contactos terrestres (trayectoria inicial del eclipse total). Los puntos U3 y U4 marcan los puntos interiores y exteriores del contacto final umbral con la superficie terrestre (fin de la trayectoria total).

Las curvas de eclipse máximo es el sitio de todos los puntos donde el eclipse es máximo a un tiempo dado, se trazan de norte a sur de los límites penumbrales o en las curvas de eclipse máximo a la salida o puesta del Sol.

Figura VI.2. Trayectoria del Eclipse Total de Sol del 24 de junio de 1778 sobre la superficie de la Tierra.



El contorno de la sombra umbral es trazada para cada grado de longitud en la trayectoria total del eclipse. Las curvas de igual magnitud definen todos los puntos donde la magnitud en eclipse máximo es constante. Estas curvas corren exclusivamente entre las curvas de máximo eclipse a la puesta y salida del Sol, siendo paralelas al norte y al sur del límite penumbral y la trayectoria umbral del eclipse central. Los límites norte y sur de la penumbra son las curvas de magnitud igual a 0% mientras las curvas adyacentes son de 25, 50 y 75 por ciento respectivamente.

Los límites norte y sur de la trayectoria del eclipse total (umbra) son curvas de magnitud igual a 100%.

Las tablas VI.3 a la VI.9 contienen las longitudes, latitudes, altura del Sol, tiempo universal, etc., respectivamente para los límites norte y sur de la centralidad y de la parcialidad así como para las curvas de igual magnitud y las fases inicial, máximo y final del eclipse representados a la salida y puesta del Sol.

Límite Norte de la Parcialidad:

Comienza, al nacer el Sol, en la zona norte del Océano Pacífico en los 140° W de longitud y 40° N de latitud, ingresa al continente americano por la zona sur de Canadá recorriéndola de sur a norte hasta salir por la Bahía de Hudson recorriendo la Isla de Bafin en su límite sur ingresa al Océano Atlántico y toca nuevamente tierra en Groenlandia, alcanzando su máxima latitud a los 40° W de longitud y 74°.09 N de latitud, saliendo por el Mar de Noruega e ingresa a Europa por lo zona sur de Noruega cruza Suecia y llega al Mar Báltico y al Golfo de Botnia. Ingresando nuevamente a Europa por Letonia y termina en la Federación Rusa al ponerse el Sol, a los 43° W de Longitud y 48°.18 N de Latitud. Realiza un recorrido total de 183° en longitud, equivalente a un poco más de la mitad del círculo ecuatorial.

Línea Central:

Comienza, al nacer el Sol, al sur del Océano Pacífico a los 120° W de longitud y 12°.91 N de latitud cruzando las Islas de Clarión, Roca Partida, San Benedicto y del Socorro ubicadas entre los 18° y 24° N de latitud y entre los 110° y 116° W de longitud, posteriormente atraviesa las Islas Marias e ingresa al Continente Americano a los 106° W de longitud y 22°.93 N de latitud al sur de Sinaloa posteriormente cruza los estados de Nayarit, la zona norte de Aguascalientes, la zona norte de Zacatecas, el sur de Coahuila, el centro de Nuevo León. Ingresa a los Estados Unidos por el sur de Texas y sale al Golfo de México a los 97° W de longitud y 25° N de latitud, vuelve ingresar a los Estados Unidos atravesando la parte sureste del Río Missisipi, Florida, Georgia y Carolina, ingresa al Océano Atlántico subiendo hasta los 43°.35 N de latitud y 47°.35 W de longitud. Cruza las Islas Azores llegando al Africa por el Estrecho de Gibraltar y tocando tierra en Marruecos continúa su trayectoria por Argelia, en la parte central, cruza por el sur de Libia y toca la parte Noroeste de Níger, atravesando por el Trópico de Cáncer, para terminar su recorrido en el sureste de Libia y el Noroeste del Chad al ponerse el Sol.

Límite Sur de la Parcialidad:

Inicia su trayectoria al nacer el Sol a los 111° W de longitud y 19°.97 S de latitud en la zona sur del Océano Pacífico subiendo hasta tocar tierra en Ecuador y cruzando Colombia y Venezuela llega al Océano Atlántico. Llega a su máxima altura a los 47° W de longitud y 10°.37 N de latitud; cruza el Atlántico hasta terminar a los 8° E de longitud y a los -11°.414 S de latitud frente a las costas de Angola al ponerse el Sol.

La tabla VI.10 muestra la variación del ancho total de la trayectoria del eclipse, tomado a partir de la salida del Sol hasta la puesta del Sol para el límite Sur de la parcialidad, de cuyos valores obtenemos un ancho promedio de 7949.435 Km.

La tabla VI.11 contiene los valores, para las curvas de igual magnitud de los límites norte y sur de la parcialidad así como de la línea central, de los grados recorridos de la proyección de los conos de sombra sobre la superficie terrestre, obteniéndose una trayectoria total en promedio de 16514.03 Km.

Tabla VI.3 Longitudes y Latitudes de la Totalidad y de sus Límites Norte y Sur

Tiempo Universal	Longitud	Límite Norte Totalidad	Límite Sur Totalidad	Línea Central	Relación R/L.R.S.	Altura del Sol	Ancho Franja Totalidad	Duración de la fase
hh:mm:ss	Grados	Grados	Grados	Grados		Km.	Km.	Segundos
13:56:18	-123	14.3167107	14.3167107	13.356391	1.057231506	1.34526335	239.4087635	175.681379
13:56:22	-122	14.8562693	12.7539745	13.8051219	1.07505856	2.4308647	240.5487673	174.949763
13:56:29	-121	15.3210014	13.1990604	14.2600309	1.05794308	3.52591799	241.2572654	177.270765
13:56:38	-120	15.7917411	13.0500036	14.7208723	1.05830339	4.63048336	241.4945773	179.645196
13:56:49	-119	16.2684083	14.1067744	15.1875779	1.05866639	5.74458676	241.2247962	182.073901
13:57:3	-118	16.7509092	14.5692233	15.6600663	1.05903162	6.8682363	240.4172408	184.557649
13:57:20	-117	17.2341335	15.0373496	16.1382416	1.05939584	8.01433055	239.0478172	187.051135
13:57:39	-116	17.7295442	15.5110306	16.6216924	1.05976996	9.14413668	237.100662	189.692598
13:58:2	-115	18.2322527	16.0001553	17.1119005	1.0601421	10.2963085	234.5667118	192.345707
13:58:27	-114	18.7387833	16.4759065	17.6058899	1.06051805	11.4578744	231.4542623	195.055735
13:58:54	-113	19.2464413	16.9642094	18.1053254	1.06089816	12.6287375	227.7276989	197.823361
13:59:25	-112	19.7609222	17.4586305	18.6099113	1.0612685	13.8087729	223.5457763	200.648474
13:59:59	-111	20.2820205	17.9582765	19.1192408	1.06164851	14.9978261	218.8076736	203.531689
14:0:38	-110	20.803825	18.4623429	19.6330884	1.06202537	16.1957105	213.601785	206.472632
14:1:16	-109	21.3315715	18.9780832	20.1511874	1.06240477	17.40222047	207.8781055	209.470617
14:1:59	-108	21.8631379	19.4834077	20.6732728	1.06278443	18.6170512	201.9936374	212.525279
14:2:45	-107	22.3981904	19.9989822	21.1990363	1.06316402	19.8399534	195.7095768	215.635828
14:3:34	-106	22.9363675	20.5199278	21.7281476	1.06354332	21.0705737	189.1896018	218.801226
14:4:27	-105	23.4772797	21.0432193	22.2602465	1.06392163	22.3085319	182.4907695	222.020168
14:5:23	-104	24.0205093	21.5694051	22.7949572	1.06429894	23.553403	175.6977913	225.281059
14:6:22	-103	24.5656105	22.0981068	23.3318586	1.06468744	24.804716	168.8403701	228.612013
14:7:24	-102	25.1121097	22.6289189	23.8705143	1.06508405	26.0619524	162.090047	231.980814
14:8:29	-101	25.6595067	23.1614087	24.4104577	1.06548204	27.324545	155.2279475	235.364917
14:9:38	-100	26.2072755	23.6951117	24.9511963	1.06587811	28.5918779	148.5517339	238.851426
14:10:50	-99	26.7548659	24.2295586	25.4922122	1.06628148	29.8632856	142.019795	242.347092
14:12:5	-98	27.3017054	24.7652232	26.0329643	1.06668193	31.1380534	135.665353	245.878298
14:13:24	-97	27.8472402	25.2858769	26.5728895	1.066887501	32.414182	129.2155037	249.441064
14:14:45	-96	28.3907463	25.8302642	27.1141052	1.06722863	33.694589	123.5915295	253.031041
14:16:19	-95	28.9317139	26.3741164	27.6574912	1.06759732	34.9749487	117.9030383	256.635574
14:17:32	-94	29.4694731	26.9241198	28.1817965	1.06792007	36.2547551	112.4798111	260.273445
14:19:17	-93	30.0033804	27.44214884	28.7124344	1.06825823	37.5339459	107.309886	263.915142
14:20:40	-92	30.5327927	27.9455963	29.2391945	1.06858958	38.8112352	102.4018063	267.563736
14:22:16	-91	31.0570660	28.4658172	29.7614419	1.06891432	40.0866022	97.75585146	271.212394
14:23:55	-90	31.5755644	28.9815203	30.2785423	1.06923205	41.3599601	93.3688445	274.851336
14:25:36	-89	32.0876573	29.4920743	30.7898958	1.06954239	42.6211311	89.2356332	278.484771
14:27:20	-88	32.5927303	29.9985816	31.2947909	1.06984497	43.8804429	85.3494455	282.090743
14:29:5	-87	33.0901853	30.4952137	31.7927058	1.07013948	45.132241	81.7028683	285.682116
14:30:53	-86	33.5794455	30.9866054	32.2832055	1.07042559	46.3752599	78.2844994	289.234673
14:32:44	-85	34.0599584	31.4703787	32.7651885	1.07070302	47.6091199	75.0089579	292.747437
14:34:36	-84	34.5311985	31.9458762	33.2385873	1.07097152	48.8317512	71.9934296	296.213416
14:36:29	-83	34.9927705	32.4128441	33.7027573	1.07123185	50.0425753	69.31183529	300.596687
14:38:25	-82	35.443911	32.8704539	34.1571824	1.07148082	51.2391753	66.7126728	302.977313
14:40:22	-81	35.88849	33.3183042	34.6013971	1.07172126	52.4213535	64.2931263	306.261815
14:42:20	-80	36.3140122	33.7592234	35.0349678	1.07195201	53.5873781	62.04275192	309.472
14:44:20	-79	36.7321179	34.1829714	35.4574947	1.07217298	54.7358453	59.95191858	312.600104
14:46:21	-78	37.1381327	34.5981041	35.8686116	1.07238406	55.8652967	58.01189776	315.648589
14:48:23	-77	37.5328174	35.0031565	36.2679869	1.07258521	56.9742095	56.21227039	318.597258
14:50:25	-76	37.9148675	35.3957793	36.6553234	1.07277639	58.0609844	54.56232518	321.450917
14:52:29	-75	38.2844121	35.7763025	37.0303573	1.07295759	59.1239265	53.00534548	324.201564
14:54:33	-74	38.6412626	36.1444532	37.3928579	1.07312881	60.1612604	51.58215628	326.844324
14:56:36	-73	38.9852611	36.4999909	37.7426260	1.07329008	61.1710544	50.26996958	329.374878
14:58:43	-72	39.3162786	36.8462702	38.0791338	1.07344349	62.1512639	49.08159922	331.848489
15:0:48	-71	39.6342132	37.1724229	38.4033181	1.07358301	63.090885	47.95139804	334.08192

Tabla VI.3. Continuación

Tiempo Universal	Longitud	Limite Norte	Limite Sur	Línea Central	Relación R.L./R.S.	Altura del Sol	Ancho Franja	Duración de la fase
hh:mm:ss	Grados	Grados	Grados	Grados		Grados	Km	Segundos
15:2.54	-70	39.939882	37.448988	36.713985	1.07371481	64.013945	48.9330621	336.251628
15:5.00	-69	40.2305493	37.7922819	39.0114156	1.07383693	64.6914897	46.0030406	338.294551
15:7.6	-68	40.568836	38.0522044	39.295534	1.07394949	65.0793497	45.1662079	340.208031
15:9.12	-67	40.7739186	38.3568618	39.5862992	1.07405259	65.2525855	44.38707617	341.989759
15:11.11	-66	41.012105	38.6219435	39.8236471	1.07414834	65.4148203	43.6926201	343.637761
15:13.24	-65	41.2642821	38.8711075	40.0678846	1.07423098	65.5747577	43.06782365	345.150485
15:15.30	-64	41.4896009	39.1070051	40.289303	1.07430627	65.8258463	42.51044204	346.526883
15:17.36	-63	41.7017675	39.3293523	40.5155599	1.07437277	69.2191693	42.075151637	347.765103
15:19.41	-62	41.9008115	39.5381616	40.7194888	1.07443027	69.7531988	41.58614762	348.865373
15:21.46	-61	42.0867902	39.7334571	40.9101236	1.07447379	70.2244829	41.21992309	349.827001
15:23.51	-60	42.2597869	39.9152732	41.087535	1.07451933	70.6297993	40.9970204	350.648066
15:25.58	-59	42.4198097	40.083653	41.2517314	1.07455100	70.9681885	40.63960238	351.334107
15:28.00	-58	42.5669905	40.2366468	41.4028188	1.07457441	71.2311951	40.4139866	351.880087
15:30.3	-57	42.7013834	40.3831039	41.5408471	1.07459951	71.4229376	40.27748113	352.288404
15:32.6	-56	42.823064	40.5087063	41.6658852	1.07460945	71.5602368	40.17384698	352.55096
15:34.9	-55	42.9321086	40.6238979	41.7780033	1.07460934	71.5826961	40.12018726	352.895454
15:38.11	-54	43.0289304	40.7295362	41.8772733	1.07458629	71.5507396	40.11573871	352.896360
15:38.13	-53	43.1125937	40.8146418	41.9637677	1.07456938	71.4456051	40.1569584	352.563946
15:40.14	-52	43.1841836	40.890345	42.032559	1.07454471	71.2892855	40.2520324	352.299701
15:42.15	-51	43.2434354	40.9540029	42.0987191	1.07451235	71.0244348	40.3922517	351.905288
15:44.15	-50	43.2904193	41.0042187	42.147319	1.07447239	70.7124205	40.56216621	351.582499
15:46.15	-49	43.325202	41.0418535	42.1834284	1.07444249	70.3422849	40.81956607	350.733253
15:48.14	-48	43.3478528	41.0663786	42.2071157	1.07438995	69.9124007	41.10584437	349.959593
15:50.12	-47	43.3584304	41.0784644	42.2184474	1.07430759	69.4265397	41.4416148	349.083669
15:52.10	-46	43.3569963	41.077981	42.2174886	1.07423788	68.8946587	41.82788231	348.047739
15:54.7	-45	43.343008	41.0649074	42.2043027	1.07416087	68.3148163	42.28504428	346.914161
15:56.7	-44	43.3193207	41.0385892	42.1789515	1.07407601	67.6921225	42.74489398	345.688384
15:57.59	-43	43.2811873	41.0033033	42.1481454	1.07398514	67.0396261	43.29824276	344.303949
15:59.54	-42	43.2322585	40.9517292	42.0919639	1.07388649	66.333502	43.89783462	342.832642
16:1.49	-41	43.1715835	40.8894271	42.0305053	1.07378007	65.603407	44.55433172	341.253668
16:3.42	-40	43.0992102	40.8149655	41.9570879	1.07368779	64.8438028	45.2701499	339.57034
16:5.38	-39	43.0151855	40.7284138	41.8717695	1.0735478	64.0584817	46.04751051	337.785311
16:7.28	-38	42.9185956	40.6298471	41.7748988	1.07342075	63.2438228	46.8889206	335.891528
16:9.19	-37	42.8125882	40.5193221	41.6658452	1.07328865	62.4081457	47.79706851	333.821994
16:11.10	-36	42.6936896	40.3969295	41.5452996	1.07314554	61.5504562	48.77496633	331.846781
16:13.00	-35	42.5635089	40.2627416	41.4131252	1.07299742	60.6739965	49.82562327	329.688026
16:14.49	-34	42.4219367	40.1188397	41.2693882	1.07284233	59.7787004	50.95310089	327.4399935
16:16.27	-32	42.2699326	40.0000026	41.114158	1.07268027	58.8663749	52.1687827	325.108775
16:18.25	-32	42.104775	39.7902419	40.8475085	1.07251127	57.938186	53.45229271	322.876871
16:20.11	-31	41.9293035	39.6907334	40.7695154	1.07233536	56.9951806	54.8325632	320.010833
16:21.57	-30	41.7428579	39.4178871	40.5802725	1.07215255	56.038302	56.30607183	317.850492
16:23.41	-29	41.5449101	39.2148135	40.3798618	1.07198289	55.0684026	57.87786675	315.020568
16:25.24	-28	41.3381388	39.0006309	40.1683849	1.07178638	54.0982598	59.5528529	312.325591
16:27.7	-27	41.1184331	38.7754684	39.9459482	1.07156309	53.0925711	61.33649494	309.688568
16:28.48	-26	40.8858782	38.5394566	39.7126674	1.07135034	52.067999	63.23503079	306.751841
16:30.28	-25	40.6445889	38.2927482	39.4686675	1.07113829	51.0731339	65.25436097	303.880813
16:32.6	-24	40.3926894	38.0354883	39.2140838	1.07091289	50.048529	67.4008517	300.858529
16:33.44	-23	40.13025	37.7678755	38.9490628	1.0706829	49.0147509	69.6811038	297.989132
16:35.20	-22	39.8574643	37.4960261	38.6737622	1.07044829	47.9725639	72.1027185	294.78047
16:36.55	-21	39.5744599	37.2022445	38.3863522	1.07020344	46.921538	74.87035289	291.822316
16:38.28	-20	39.281397	36.9048334	38.0930152	1.06995451	45.8930533	77.9339602	288.834472
16:40.00	-19	38.9784493	36.5974444	37.7879469	1.0696986	44.7972487	80.2781943	285.713553
16:41.30	-18	38.6658038	36.2809078	37.4733558	1.0694369	43.7245598	83.33180459	282.584597

Tabla VI.3. Continuación

Tiempo Universal	Longitud	Límite Norte	Límite Sur	Línea	Relación	Altura de	Ancho Franja	Duración de
hh:mm:ss	Grados	Totalidad	Totalidad	Central	R./R.S.	Sol	Totalidad	la fase
		Grados	Grados	Grados		Grados	Km.	Segundos
16:42:59	-17	38.3436615	35.9552687	37.1494641	1.06916918	42.8454149	88.58111057	279.391127
16:44:26	-16	38.0122376	35.8207777	36.8185073	1.06889558	41.5802377	89.9726959	276.197051
16:45:51	-15	37.8717818	35.2777077	36.4747343	1.06861818	40.4684488	93.5728277	272.988145
16:47:15	-14	37.3264771	36.1244072	36.1244072	1.06833119	39.36734671	97.30654704	268.762143
16:48:37	-13	36.9648419	34.5669598	35.7658009	1.06804075	38.2727119	101.5589304	266.528734
16:49:56	-12	36.9858275	34.198878	35.3992028	1.06774504	37.1676024	105.5532804	263.289541
16:51:14	-11	36.2244188	33.8254055	35.0249122	1.06744423	36.0585588	109.9517448	260.048120
16:52:30	-10	35.8426133	33.4438956	34.6432369	1.06713853	34.9460024	114.5547954	258.807825
16:53:44	-9	35.4534209	33.0555901	34.2545055	1.06682812	33.830355	119.3608338	253.572408
16:54:56	-8	35.0571826	32.6608188	33.8590407	1.06651324	32.7120392	124.3585087	250.34478
16:56:5	-7	34.6541696	32.2601979	33.4571837	1.06619409	31.5914771	129.5633323	247.128339
16:57:12	-6	34.2447828	31.853779	33.0492808	1.0658709	30.4690902	134.9433104	243.925839
16:58:17	-5	33.8293504	31.4420184	32.6356844	1.06554362	29.3452978	140.4892578	240.74051
16:59:20	-4	33.4082298	31.025275	32.2167519	1.06521338	28.2205187	146.1941223	237.575047
17:0:21	-3	32.981779	30.6039098	31.7926444	1.06487954	27.0951506	152.0288141	234.432106
17:1:19	-2	32.5503669	30.1782843	31.3643256	1.06454263	26.0596341	157.9653091	231.314201
17:2:15	-1	32.114361	29.7487595	30.9315802	1.06420293	24.843415	163.9799085	228.223693
17:3:8	0	31.6741316	29.3156944	30.494913	1.06386068	23.7190758	170.0368078	225.162794
17:3:59	1	31.2300492	28.8794451	30.0547472	1.06351818	22.5960223	176.097292	222.133581
17:4:47	2	30.7824833	28.4403635	29.6114234	1.06316961	21.4737567	182.1201064	219.137897
17:5:33	3	30.3318008	27.9987963	29.1652985	1.0628213	20.3532439	188.0601767	216.177548
17:6:17	4	29.8783649	27.5550848	28.7167246	1.06247149	19.2348371	193.8995665	213.254107
17:6:58	5	29.4225342	27.1095608	28.2660475	1.06212044	18.118877	199.4989035	210.369013
17:7:36	6	28.964661	26.6625517	27.8136064	1.06176839	17.005691	204.9013834	207.523557
17:8:12	7	28.505091	26.2143739	27.3597324	1.06141156	15.8955924	210.025779	204.718881
17:8:46	8	28.0441615	25.7633354	26.9074764	1.06105032	14.78888	214.826563	201.955886
17:9:17	9	27.5822014	25.3157341	26.4489677	1.06070078	13.6858376	219.2080932	199.235736
17:9:45	10	27.1195298	24.8658579	25.9926939	1.06035521	12.5867339	223.2897353	196.558662
17:10:11	11	26.656456	24.4159839	25.5362199	1.06000185	11.4918218	226.8809513	193.925967
17:10:35	12	26.1932783	23.9693783	25.0788283	1.05964892	10.4013387	230.0081936	191.337537
17:10:58	13	25.730284	23.5172964	24.6237902	1.05929662	9.31550852	232.6526528	188.790399
17:11:15	14	25.2677489	23.0688821	24.1683655	1.05894517	8.23453139	234.802727	186.295437
17:11:31	15	24.8059373	22.6218681	23.7138027	1.05859476	7.15860427	236.4550974	183.842193
17:11:45	16	24.3451013	22.1757556	23.2603384	1.05824558	6.08790094	237.6135195	181.434273
17:11:57	17	23.8854813	21.730915	22.8081982	1.05789781	5.02258244	238.2688537	178.071658
17:12:6	18	23.4273058	21.2878854	22.3575958	1.05755162	3.96279542	238.4982783	176.754249
17:12:14	19	22.9707914	20.8466715	21.9087332	1.05720719	2.90687257	238.2644552	174.481864
17:12:19	20	22.5161428	20.4074613	21.461802	1.05686466	1.86033314	237.6144468	172.254287

Tabla VI.4. Latitudes y Longitudes del límite Norte de la parcialidad y de las Curvas Australes de Igual Magnitud representadas en el hemisferio Norte respecto a la Totalidad

Longitud Grados	Límite Norte	Altura del	Magnitud	Altura del	Magnitud	Altura del	Magnitud	Altura del
	Parcialidad	Sol	0.25	Sol	0.5	Sol	0.75	Sol
	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados
-141	41.9352851	1.04886289						
-140	42.3778349	1.8346274						
-139	42.8278907	2.82134708						
-138	43.2854522	3.41218365						
-137	43.7509308	4.20589545						
-136	44.2241287	5.00158844	35.4179244	0.81299375				
-135	44.7050389	5.79945593	35.8731287	1.6781965				
-134	45.19364	6.59802668	36.3356332	2.54878653				
-133	45.6899022	7.39868637	36.8054218	3.42281491				
-132	46.193779	8.20157343	37.2824667	4.30011422				
-131	46.7052091	9.00370898	37.7667276	5.18100143	28.8282481	1.25562244		
-130	47.2241143	9.80580531	38.2581505	6.06496871	29.2921866	2.20193629		
-129	47.7503977	10.60733647	38.7568565	6.95178902	29.7629339	3.15364871		
-128	48.2839419	11.4078558	39.2621875	7.84100473	30.2404331	4.11059717		
-127	48.8246073	12.2087422	39.774611	8.73233627	30.7246148	5.07260278		
-126	49.3722298	13.0033689	40.2938119	9.62537578	31.215394	6.03946349	21.6748185	1.30737334
-125	49.9256191	13.7971641	40.8196438	10.51970769	31.7126688	7.01095809	22.6058933	3.35184754
-124	50.4875581	14.587448	41.3519037	11.4148834	32.2163178	7.9888421	23.0806987	4.3347948
-123	51.0547911	15.3735247	41.890496	12.3104286	32.7282009	8.96884691	23.5819058	5.42476897
-122	51.6280409	16.1568466	42.435098	13.2058338	33.2421551	9.95087834	24.0492122	6.47166386
-121	52.2069871	16.9301056	42.9849407	14.1005584	33.7639942	10.9380153	24.5424978	7.52535283
-120	52.7912732	17.6990359	43.5413901	14.9940287	34.2915071	11.9285088	25.041624	8.58588825
-119	53.3805024	18.4606808	44.1024789	15.8856385	34.8244554	12.9217794	25.5483149	9.65249924
-118	53.9742354	19.2141545	44.6684039	16.7747486	35.3625723	13.9174181	26.0567408	10.72559272
-117	54.5719882	19.9585842	45.2387745	17.6606881	35.9055600	14.9148588	26.5732472	11.8047458
-116	55.1732297	20.6930842	45.8131608	18.5427555	36.4530919	15.9140079	27.0932023	12.8897109
-115	55.7773805	21.4167449	46.3910918	19.4202199	37.0048031	16.9139797	27.6185144	13.9802107
-114	56.3838107	22.1296853	46.9720538	20.2923239	37.560297	17.9143629	28.1485401	15.0759368
-113	56.9918393	22.83279184	47.554892	21.158286	38.1219143	18.9145885	28.6827908	16.1785488
-112	57.6007331	23.5138051	48.1407979	22.017305	38.6880268	19.9140422	29.2208274	17.2818729
-111	58.209707	24.1848329	48.7273315	22.8865636	39.2445658	20.9121105	29.7265806	18.3909006
-110	58.8192494	24.8407397	49.3134992	23.7112343	39.8108745	21.9081118	30.3073489	19.5037879
-109	59.4249988	25.4804987	49.9012655	24.544485	40.3780342	22.9013579	30.8548028	20.6188544
-108	60.0284901	26.1033362	50.484521	25.3874858	40.945814	23.8911307	31.4044759	21.7385827
-107	60.6289233	26.7085329	51.0712401	26.1794165	41.5135584	24.8766868	31.9585738	22.8594161
-106	61.2247748	27.2954464	51.652673	26.9794744	42.0805711	25.8727062	32.5084693	23.981769
-105	61.8149874	27.8635184	52.2305650	27.766883	42.6481336	26.8321001	33.0810066	25.1050086
-104	62.3984748	28.4122868	52.8039833	28.5490006	43.209492	27.8003995	33.6150066	26.2284664
-103	62.9741281	28.9413971	53.3719897	29.3008295	43.7889893	28.7913448	34.1677399	27.3514486
-102	63.5482829	29.4506114	53.938476	30.0480242	44.3645883	29.771417	34.719289	28.47322
-101	64.0547448	29.9398187	54.4979619	30.7759004	44.8784769	30.6500744	35.2689918	29.5930155
-100	64.6428724	30.4093031	55.0393732	31.4899418	45.425074	31.5222759	35.8161747	30.7100403
-99	65.1760071	30.8584027	55.5707218	32.1877078	45.9854385	32.5160074	36.3801512	31.8234722
-98	65.6957875	31.2882196	56.097267	32.8888367	46.4987485	33.4286216	36.900226	32.9324647
-97	66.2011954	31.8888973	56.6126971	33.5330522	47.0241987	34.3280956	37.4357004	34.0347141
-96	66.6912713	32.099779	57.11814	34.1801825	47.5410088	35.2170354	37.9688775	35.1336328
-95	67.1651272	32.48512	57.606774	34.8100815	48.0484209	36.0918784	38.4900678	36.2241068
-94	67.621959	32.8220863	58.0838375	35.4222757	48.545716	36.9523967	39.0075945	37.3063803
-93	68.0610585	33.1627827	58.546839	36.0182097	49.0322195	37.788598	39.5178	38.3797943
-92	68.4818229	33.4979703	58.9985853	36.5986394	49.5073078	38.6297259	40.0200502	39.4433204
-91	68.883786	33.8279387	59.4278897	37.1620395	49.9740153	39.4452691	40.513741	40.4960134
-90	69.268515	34.0918444	59.8437733	37.7031143	50.4210397	40.2447111	40.998302	41.5369228

Tabla VI.4. Continuación

Longitud Grados	Límite Norte Parcialidad		Altura del Sol		Magnitud 0.25		Altura del Sol		Magnitud 0.5		Altura del Sol		Magnitud 0.75		Altura del Sol	
	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados
-89	69.6298344	34.3811795	60.2442901	38.2317392	50.8587459	41.0276237	41.4732018	42.565093								
-88	69.973609	34.6547787	60.8283693	38.7443019	51.2831696	41.793567	41.9379499	43.5795858								
-86	70.2978531	34.9177484	60.9959361	39.2411558	51.6940162	42.5421332	42.3921022	44.5793784								
-84	70.6027062	35.1716157	61.3448919	39.7228779	52.0910758	43.2729332	43.2729332	45.5635638								
-85	70.8884279	35.4166312	61.6813105	40.1890349	52.4741931	43.9855855	43.2670757	46.5311559								
-84	71.1553906	35.653785	61.9993428	40.6407222	52.8432947	44.6797227	43.8872466	47.4811590								
-83	71.4040715	35.8830826	62.3012213	41.0778034	53.198371	45.3549751	44.0952528	48.4240058								
-82	71.63504	36.1069896	62.5872577	41.5006522	53.5394755	46.0109715	44.4918932	49.3412695								
-81	71.8499477	36.3211115	62.8578332	41.9093915	53.8667168	46.6473345	44.8756044	50.158099								
-80	72.0485151	36.5324213	63.1133684	42.3041592	54.1862337	47.2636774	45.247138	51.085393								
-79	72.2285185	36.7411605	63.3544184	42.6850149	54.4803182	47.8596071	45.6062181	51.9326431								
-78	72.395777	36.9414671	63.5814534	43.0519798	54.7671298	48.4349662	45.9528063	52.7560678								
-77	72.549139	37.1383788	63.7950586	43.4050175	55.0409782	48.9885384	46.2868978	53.5547427								
-76	72.6894709	37.3258402	63.99582	43.7440405	55.3021692	49.5206854	46.6085187	54.3257877								
-75	72.8176448	37.5097123	64.1843365	44.0689144	55.5510284	50.0306958	46.9172202	55.0734697								
-74	72.9345278	37.6877825	64.3612115	44.3794629	55.7878952	50.5181122	47.2145759	55.7912933								
-73	73.0409739	37.8597752	64.5270457	44.6754738	56.0131175	50.9824742	47.4891897	56.4799138								
-72	73.1378146	38.0253635	64.6824306	44.9587058	56.2270466	51.4232313	47.716626	57.1381856								
-71	73.2258526	38.1841802	64.8279428	45.222895	56.4300329	51.8401965	48.0321231	57.7849587								
-70	73.3058564	38.3356284	64.9641393	45.4737823	56.6224223	52.2326522	48.2807052	58.359085								
-69	73.3785553	38.4798082	65.0915538	45.709002	56.8045523	52.6002548	48.5175508	58.9194287								
-68	73.4448368	38.6159454	65.2106935	45.9283899	56.9767502	52.9425907	48.7462069	59.4448661								
-67	73.504744	38.7435622	65.3220372	46.1315544	57.1393303	53.2592713	48.9562635	59.9343183								
-66	73.5594743	38.8623232	65.4260333	46.3182725	57.2925294	53.5499388	49.1591514	60.3867347								
-65	73.6093787	38.9718235	65.5230995	46.4882749	57.4368204	53.8142707	49.3505412	60.8011382								
-64	73.6549823	39.0718781	65.6136822	46.6413324	57.5722186	54.0510852	49.5300413	61.1786082								
-63	73.6968849	39.1615274	65.6979555	46.777207	57.6992282	54.2628452	49.7004969	61.5123255								
-62	73.7349616	39.2410415	65.7764241	46.895739	57.8178866	54.4668622	49.8593481	61.8075659								
-61	73.7701849	39.3099232	65.8493212	46.9967661	57.9264775	54.6032894	50.0089339	62.0617243								
-60	73.8026261	39.3679106	65.9169113	47.0801877	58.0331965	54.7326744	50.1454817	62.2743266								
-59	73.8326372	39.4147796	65.9773303	47.1485876	58.1262234	54.8347811	50.2730196	62.4450409								
-58	73.8604526	39.4534444	66.0330781	47.1937986	58.2137218	54.9095905	50.390356	62.5733687								
-57	73.8862916	39.4744587	66.0900646	47.2239389	58.2938375	54.9572515	50.4978105	62.6602425								
-56	73.91034	39.4870156	66.138521	47.2363391	58.366702	54.97789	50.594883	62.7048465								
-55	73.9327518	39.4879476	66.182591	47.2310456	58.4324302	54.9717083	50.6822694	62.720465								
-54	73.9536516	39.4772862	66.222387	47.2081527	58.4911225	54.9389693	50.7598579	62.6995555								
-53	73.9731356	39.4548602	66.2580001	47.1677851	58.5428646	54.8796268	50.8277292	62.6072838								
-52	73.9912738	39.4209568	66.2895012	47.1101166	58.5877287	54.7905604	50.8859581	62.4720496								
-51	74.0081107	39.3754314	66.3169419	47.0353265	58.625773	54.6846738	50.9346042	62.3144052								
-50	74.0236673	39.3185284	66.3403553	46.9436477	58.6570433	54.5922332	50.9737313	62.1187747								
-49	74.0379416	39.2503676	66.3593757	46.8353248	58.6815725	54.3892259	51.0033879	61.8862373								
-48	74.0509098	39.1741168	66.3751455	46.7103681	58.6993813	54.2051878	51.023017	61.6179409								
-47	74.0625271	39.0810748	66.3885029	46.5808111	58.7104575	54.0597825	51.0332607	61.311295								
-46	74.0727282	38.9803397	66.3937952	46.4433804	58.7148622	53.767099	51.0359262	60.9790367								
-45	74.0814279	38.86992184	66.3989729	46.2414734	58.712518	53.5142447	51.028063	60.6109587								
-44	74.0885217	38.7479883	66.3959714	46.0545155	58.7034212	53.2396422	51.010871	60.2119444								
-43	74.0938854	38.6169468	66.3907109	45.8258782	58.6875364	52.9439047	50.9843818	59.7784013								
-42	74.0973783	38.4784087	66.381006	45.5639038	58.6648174	52.627585	50.9485739	59.3277828								
-41	74.0988322	38.3267037	66.36702	45.4070845	58.6352079	52.2915082	50.9033957	58.8446786								
-40	74.0987073	38.1661744	66.3483568	45.1837176	58.5984521	51.9360882	50.8486257	58.3559559								
-39	74.0948966	38.0011722	66.3249688	44.9072351	58.5550411	51.5820143	50.7851133	57.8028028								
-38	74.0898963	37.8260556	66.2987037	44.6380384	58.5043211	51.1698934	50.7119396	57.2463628								

Tabla VI.4. Continuación

Longitud Grados	Límite Norte Parcialidad		Altura del Sol		Magnitud 0,25		Altura del Sol		Magnitud 0,5		Altura del Sol		Magnitud 0,75		Altura del Sol	
	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados
-37	74.0804035	37.6431062	66.2633947	44.3652828	58.4463859	50.7603235	50.629377	56.6077314								
-38	74.088912	37.452935	66.2286808	44.3631008	58.3811304	50.3338898	50.5374	56.0879534								
-35	74.0533732	37.2556958	66.1809071	43.7581483	58.308441	49.8911621	50.435975	55.4480214								
-34	74.0344547	37.0517854	66.1313281	43.4420336	58.2281857	49.432993	50.3250682	54.8088755								
-33	74.0115218	36.8415775	66.0789029	43.1151890	58.1402641	48.9500161	50.2048353	54.5180137								
-32	73.9842422	36.6254176	66.0143754	42.7778195	58.0445086	48.4706448	50.0746418	53.4764427								
-31	73.9522658	36.4063878	65.9465252	42.4305762	57.9407880	47.9680696	49.9350441	52.7847798								
-30	73.9152248	36.1765538	65.8727083	42.0735058	57.8299413	47.4517600	49.7857996	52.0771545								
-29	73.8727348	35.9444617	65.7907787	41.7079049	57.7088225	46.9221624	49.6268953	51.3542081								
-28	73.8243966	35.7085368	65.7023362	41.3319637	57.5823337	46.3969696	49.4582033	50.1870351								
-27	73.7697958	35.4663172	65.6064543	40.9488643	57.4431129	45.8247598	49.297715	49.0652341								
-26	73.7085059	35.2207274	65.5062849	40.5538619	57.2971921	45.2577242	49.0915352	49.102855								
-25	73.6400896	34.9710478	65.3912139	40.1521111	57.1423382	44.6789737	48.8932625	48.3224435								
-24	73.5641009	34.7174255	65.2712443	39.7422892	56.9783852	44.0892333	48.6855273	47.5322153								
-23	73.4800877	34.4590684	65.1426283	39.3243805	56.8051688	43.4873803	48.4677094	46.730079								
-22	73.3875942	34.1987428	65.0050618	38.8985099	56.6225209	42.8751843	48.2399688	45.918485								
-21	73.2861646	33.9337709	64.8562384	38.4647676	56.4303122	42.2523884	48.002368	45.0918663								
-20	73.1753456	33.665029	64.7018585	38.0232184	56.2283313	41.6192239	47.7548842	44.2586257								
-19	73.0548606	33.3924463	64.5356303	37.573892	56.018167	40.9759018	47.4975098	43.4111541								
-18	72.9237831	33.1159035	64.3592733	37.1167848	55.7947834	40.3226138	47.2302936	42.558248								
-17	72.7821407	32.8352331	64.1725206	36.6518771	55.5620011	39.6559343	46.9239711	41.6909978								
-16	72.6294194	32.5502192	63.9751239	36.1791005	55.3208285	38.9888221	46.68553	40.8170218								
-15	72.4652171	32.2605993	63.7668532	35.688374	55.0684893	38.3046222	46.3701255	39.9342363								
-14	72.2891784	31.966055	63.5475031	35.2095867	54.8058278	37.6136822	46.0411254	39.0429741								
-13	72.1009782	31.6662674	63.3186942	34.7126098	54.5328101	36.9122843	45.748726	38.1435623								
-12	71.9003257	31.3608154	63.0747852	34.2072938	54.2494266	36.2023878	45.4239711	37.2363251								
-11	71.6889879	31.0492853	62.8213306	33.6934749	53.9556933	35.4834921	45.0900561	36.3215842								
-10	71.4660929	30.7312219	62.5561733	33.1709877	53.6516531	34.7557082	44.7471332	35.3998612								
-9	71.2213334	30.4061456	62.2793553	32.6398239	53.3373772	34.0191481	44.395399	34.4708783								
-8	70.9687684	30.0735583	61.990887	32.0992274	53.0132955	33.2739271	44.035064	33.5355604								
-7	70.7029626	29.7329393	61.6907368	31.5498783	52.6785478	32.5231659	43.6663587	32.5945311								
-6	70.4237842	29.3838027	61.3790338	30.9905908	52.3328234	31.7579382	43.249533	31.6468234								
-5	70.1313726	29.025604	61.0558671	30.4220134	51.9803605	30.9875475	42.804586	30.6938963								
-4	69.8257721	28.6578477	60.7271386	29.8437279	51.6170004	30.2095794	42.3126146	29.7355072								
-3	69.507115	28.2804394	60.375781	29.2556065	51.244447	29.4224527	42.113113	28.7704285								
-2	69.1755841	27.8917256	60.0192798	28.6575448	50.8629755	28.6281464	41.7068712	27.8246783								
-1	68.8314112	27.4924546	59.6549643	28.0496943	50.4726611	27.826255	41.2936235	26.833230								
0	68.4748753	27.0818289	59.2746894	27.4313176	50.0745034	27.0169898	40.8743175	25.8578708								
1	68.1063	26.6594850	58.8872373	26.8030881	49.6681746	26.2005792	40.4491119	24.8787006								
2	67.726051	26.2251084	58.4901591	26.1647934	49.2542672	25.3727694	40.0183752	23.8965854								
3	67.3345322	25.7784299	58.0834994	25.5164868	48.831665	24.5473189	39.5824368	22.9117152								
4	66.9321629	25.3192353	57.6687334	24.8582548	48.4052738	23.7110121	39.1416194	21.9244781								
5	66.5194723	24.8473647	57.2452386	24.1902233	47.973038	22.860392	38.698789	20.9352159								
6	66.0969013	24.3627143	56.8138412	23.5125514	47.5307812	22.0205097	38.2472711	19.9442828								
7	65.6649876	23.8652374	56.3750134	22.8254333	47.0850933	21.1864545	37.7950651	18.9520342								
8	65.2247222	23.3549439	55.9292446	22.1290962	46.6342169	20.3082803	37.3391892	17.9588208								
9	64.7753103	22.8318993	55.4770331	21.4237888	46.178558	19.4448576	36.8504786	16.9648694								
10	64.318668	22.3002231	55.019828	20.709828	45.710989	18.5770289	36.4192144	15.978275								
11	63.8549187	21.7480868	54.555303	19.9875016	45.2558574	17.7051562	35.9508717	14.9948801								
12	63.3846395	21.1877105	54.0867992	19.2571556	44.788959	16.8296005	35.4911186	13.983143								
13	62.9084077	20.6153601	53.6138768	18.5191514	44.3193458	15.950573	35.0281449	12.990162								
14	62.4267974	20.0313436	53.1370353	17.7738683	43.8472732	15.0689133	34.557511	11.9981872								

Tabla VI.4. Continuación

Longitud	Límite Norte Parcialidad	Altura del Sol	Magnitud 0.25	Altura del Sol	Magnitud 0.5	Altura del Sol	Magnitud 0.75	Altura del Sol
15	81.640377	19.4360071	52.6567671	17.021701	43.3731571	14.1845188	34.0895472	11.0075139
16	81.4487063	18.8297308	52.1735551	16.2630573	42.8974038	13.2979133	33.8212525	10.0184304
17	80.9553342	18.2192949	51.687871	15.4983548	42.4204077	12.4004598	33.1529445	9.03121272
18	80.4577864	17.5860258	51.2001738	14.7280186	41.9425511	11.5195168	32.6849285	8.04612584
19	59.9578142	16.9494913	50.7100985	13.9524783	41.4642028	10.6284367	32.2174971	7.0634229
20	59.4552923	16.3037972	50.2205049	13.1721859	40.9857178	9.73658483	31.7509302	6.08334521
21	58.9513183	15.6494334	49.7297771	12.3875131	40.5074358	8.84423824	31.2854945	5.10612205
22	58.448161	14.9869001	49.237922	11.5989499	40.0296829	7.9517785	30.8214439	4.13197067
23	57.9402701	14.3167044	48.7465196	10.806902	39.5527692	7.05952343	30.3590186	3.16109633
24	57.4340754	13.6393576	48.2555325	10.0117894	39.0769896	6.16776144	29.8984468	2.19369241
25	56.9279868	12.9537117	47.7653054	9.21402518	38.602624	5.27679611	29.4399426	1.22994055
26	56.4223638	12.2652572	47.2781853	8.4140137	38.1299369	4.36691333		
27	55.9176655	11.5695206	46.7884217	7.61214992	37.6591779	3.46838751		
28	55.4141511	10.8686625	46.3023665	6.80881831	37.1905810	2.6114815		
29	54.9121797	10.1631755	45.8182745	6.00439214	36.7243694	1.72644649		
30	54.4120609	9.45354322	45.3364038	5.19923291	36.2607468	0.84352207		
31	53.9140852	8.74023826	44.8569961	4.39368989				
32	53.4185247	8.02372188	44.3802771	3.58809989				
33	52.9256332	7.3044419	43.9064575	2.78278702				
34	52.4356474	6.58283408	43.435733	1.97606266				
35	51.9487672	5.85931962	42.9682852	1.17422551				
36	51.4652563	5.13430575						
37	50.9852435	4.40818543						
38	50.5086225	3.68133724						
39	50.0364536	2.95412534						
40	49.5679835	2.22689969						
41	49.1036467	1.49999627						

Tabla VI.5. Latitudes y Longitudes del límite Sur de la parcialidad y de las Curvas Boreales de Igual Magnitud representadas en el hemisferio Sur respecto a la Totalidad

Longitud Grados	Límite Sur Parcialidad		Altura del Sol		Magnitud		Altura del Sol		Magnitud		Altura del Sol	
	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados	Grados
-119											4.62672392	11,67631726
-118											5.26339175	2.81669029
-117											5.70413593	3.96689859
-116											6.15098168	5.13075566
-115											6.60393325	6.30033325
-114											7.06283968	7.49784037
-113											7.52785994	8.69662968
-112											7.99885259	9.91179651
-111											8.47590101	11.13738682
-110	-18.5517561	0.70418223	-10.0482131	4.7333006	-0.54470659	0.85491563					8.95681815	12.37542885
-109	-19.1221221	1.88244557	-9.59889078	5.96480016	-0.07585945	0.91120176					9.44757188	13.6258189
-108	-18.6819446	3.07838636	-9.14660652	7.21274451	0.00473154	1.18233346					9.94206961	14.8688231
-107	-18.2308507	4.29233458	-8.67316748	8.47741751	0.88451526	1.26484031					10.4421990	16.1040728
-106	-17.7884796	5.5246071	-8.19637774	9.75901276	1.37572411	1.37694832					10.9478259	17.3515621
-105	-17.2944885	6.77550204	-7.71006155	11.0578912	1.87436538	15.095338					11.4587923	18.7511445
-104	-18.8085602	8.0458262	-7.21406888	12.3735782	2.38042244	18.41615926					11.9749138	20.0828301
-103	-16.3104108	9.33417232	-6.70828141	13.706748	2.89384769	17.7825274					12.4859774	21.3857241
-102	-15.7997983	10.62432479	-6.192619	15.0572383	3.41456209	19.1235655					13.0217396	22.7203142
-101	-15.2796316	11.9699317	-5.6670465	16.4252047	3.94243857	20.499775					13.5519236	24.0658881
-100	-14.7404799	13.31893877	-5.13158086	17.8100251	4.47731855	21.8866011					14.0862178	25.4222111
-99	-14.1915827	14.6834633	-4.58629738	19.2120921	5.01898793	23.2925479					14.6242733	26.7853339
-98	-13.6295898	16.0693721	-4.0313384	20.6310078	5.56718212	24.710265					15.1657028	28.1646502
-97	-13.0554165	17.474445	-3.46691812	22.0664794	6.12158203	26.1413364					15.7100786	29.5449944
-96	-12.4684609	18.8984439	-2.89332963	23.518135	6.68180163	27.585297					16.2569329	30.9436464
-95	-11.8893031	20.3410005	-2.31095	24.9855204	7.24740313	29.0415431					16.8057583	32.3452172
-94	-11.2583661	21.8019409	-1.7202446	26.4868097	7.81787639	30.5095092					17.3538753	33.7538753
-93	-10.6361897	23.2797811	-1.12177015	27.9652405	8.39264936	31.9884931					17.9070689	35.1682894
-92	-10.0034339	24.7747238	-0.51617634	29.4762415	8.9710812	33.4777466					18.4583387	36.5892284
-91	-9.3608802	26.2855658	0.09579414	31.0003073	9.55246649	34.9764613					19.0091428	38.0141835
-90	-8.7094303	27.8118538	0.71330734	32.5365648	10.138045	36.4837737					19.587826	39.4427626
-89	-8.05010272	29.3518748	1.33544154	34.0840648	10.7209858	37.9987708					20.1065301	40.8735989
-88	-7.3840271	30.9045723	1.96119257	35.6417894	11.3064122	39.5204978					20.6516319	42.3085884
-87	-6.71243612	32.4890944	2.58448063	37.2086584	11.89139751	41.0479654					21.1933147	43.7403339
-86	-6.03685528	34.1035924	3.21915989	38.7835381	12.4749751	42.5801592					21.737902	45.17336
-85	-5.35809085	35.6275304	3.84902655	40.3852513	13.0561439	44.116497					22.2832613	46.6038843
-84	-4.67821619	37.218491	4.4778319	41.952587	13.63388	45.6505973					22.7899281	48.0347632
-83	-3.99855849	38.8151518	5.10543118	43.5443118	14.2124536	47.1847714					23.287934	49.4589632
-82	-3.3206751	40.44189738	5.72710714	45.1391789	14.7748894	48.7355336					23.8228718	50.8793793
-81	-2.64191352	42.1019493	6.34496091	46.7359438	15.3368053	50.2759453					24.3271898	52.2938075
-80	-1.97657942	43.8229711	6.95654629	48.3333641	15.889672	51.8149823					24.8227977	53.7014545
-79	-1.31352923	45.5226576	7.56057092	49.9302176	16.4368711	53.3511929					25.3087712	55.1009214
-78	-0.65855385	46.8253926	8.15578972	51.5235305	16.9700933	54.8934301					25.7844189	56.4912028
-77	-0.1318518	48.4203282	8.74091523	53.117456	17.4849956	56.4149858					26.2490761	57.8711794
-76	0.02117588	50.0085715	9.31482674	54.7055324	18.0084778	57.9938296					26.7021285	59.2397075
-75	1.24306986	51.5881973	9.87637812	56.2884288	18.5098663	59.5294201					27.1429944	60.5804604
-74	1.85118799	53.157215	10.4245043	57.8650702	18.9978206	60.9725561					27.5711369	61.9378296
-73	2.4427871	54.7133598	10.9582063	59.4344507	19.4721345	62.4791981					27.9866207	63.2644574
-72	3.0211771	56.2536442	11.478555	60.9953894	19.9319339	63.9788447					28.3879324	64.5744844
-71	3.58078352	57.7794226	11.9786934	62.5470059	20.3768032	65.4704469					28.775131	65.8665853
-70	4.12212061	59.2841458	12.4639377	64.0881733	20.8055547	66.9542038					29.1472718	67.1384618
-69	4.644527594	60.7665023	12.9312774	65.6177702	21.2182789	68.4295958					29.5052804	68.3881671
-68	5.14643123	62.2334448	13.3803745	67.1345777	21.6143178	69.8962231					29.8482611	69.6132207

Tabla VI.5. Continuación

Longitud Grados	Límite Sur Parcializado Grados	Altura del Sol Grados	Magnitud 0.25 Grados	Altura del Sol Grados	Magnitud 0.5 Grados	Altura del Sol Grados	Magnitud 0.75 Grados	Altura del Sol Grados
-67	5.8275444	63.8515188	13.8105613	68.6372106	21.9932681	71.3538931	30.175975	70.1066514
-68	6.0878971	65.0487461	14.221338	70.124348	22.564719	72.802301	30.486219	71.9788527
-65	6.52599091	66.4064991	14.61127701	71.5933043	22.8985402	74.2411536	30.7688284	73.10739884
-64	6.94164367	67.7193094	14.982984	73.0416775	23.0243244	75.670098	31.0656647	74.1968134
-63	7.33443469	68.9846972	15.3331643	74.4668509	23.3318937	76.8685853	31.330623	75.2382939
-62	7.70401555	70.1929933	15.6625491	75.8830977	23.6210866	78.4961278	31.5796241	76.2233863
-61	8.05008236	71.3368411	15.970929	77.2248507	23.8917697	79.7913769	31.8126134	77.1416467
-60	8.3724138	72.3995259	16.2581287	78.5425644	24.1438346	81.225104	32.029584	77.993518
-59	8.67082555	73.3743029	16.5240324	79.8026117	24.3737393	82.6380599	32.2304461	78.7243925
-58	8.94518469	74.2447057	16.7885502	80.9845935	24.5919157	83.9755087	32.4152812	79.3435622
-57	9.19540262	74.9948536	16.9916297	82.0578913	24.7878567	85.2565224	32.5840383	79.8585988
-56	9.42143033	75.6081536	17.1324293	82.9782723	24.9650983	86.5043701	32.7388873	80.2129859
-55	9.62325469	76.0898177	17.3734155	83.6712824	25.1235783	87.5572398	32.8737371	80.4057851
-54	9.80089501	76.3634698	17.5321596	84.0746801	25.2634241	88.1277875	32.9946867	80.4294767
-53	9.95439886	76.4833592	17.6695354	84.1498117	25.3846708	87.8115931	33.0998603	80.2847612
-52	10.0838443	76.4256137	17.7856189	83.8568569	25.4873894	86.8729018	33.1862	79.9807284
-51	10.1893276	76.1941447	17.8804964	83.2582681	25.5716652	85.7060142	33.2628341	79.5327074
-50	10.2709707	75.7868558	17.9542827	82.4283055	25.6375947	84.4559413	33.3290867	79.9584307
-49	10.3289153	75.2542295	18.0070999	81.1230338	25.6852844	83.1701558	33.3834669	79.2802442
-48	10.3633216	74.5770152	18.0380058	80.3323599	25.7148501	81.8669508	33.396143	77.5131821
-47	10.3743677	73.7848669	18.053919	79.1524058	25.7264181	80.5544883	33.4024463	76.6739836
-46	10.3622491	72.8938324	18.0411821	77.9191854	25.7201125	79.3827964	33.399048	75.7758174
-45	10.3271775	71.9195523	18.0116325	76.847937	25.6980874	77.9159886	33.3805244	74.8294146
-44	10.2693813	70.8749368	17.9719315	75.3488869	25.6544818	76.5932029	33.347032	73.8433691
-43	10.1891054	69.7711239	17.8923399	74.0288958	25.5945445	75.2664332	33.298269	72.8245698
-42	10.0886114	68.6174253	17.8028009	72.692864	25.5191703	73.9438052	33.2354468	71.7764754
-41	9.96217844	67.4215589	17.6939906	71.3441608	25.4258028	72.6187607	33.1578149	70.7093467
-40	9.81810347	66.1988643	17.565819	69.9852217	25.3155345	71.2904295	33.08525	69.6206345
-39	9.66807248	64.9279387	17.4186303	68.6178182	25.1885966	69.6622234	32.9584585	68.5150781
-38	9.48031131	63.6391404	17.252939	67.2432575	25.0450785	68.8328753	32.8134591	67.3948625
-37	9.2512988	62.3370627	17.0662956	65.8625178	24.8853045	67.3022573	32.7032133	66.2617552
-36	9.02200798	60.9970781	16.8657384	64.4763439	24.7094688	65.6702343	32.5531991	65.1171825
-35	8.7728727	59.6496977	16.6453434	63.0853135	24.5178004	64.6366732	32.3802755	63.9823099
-34	8.50433173	58.2857631	16.4074512	61.6898863	24.3158087	63.30145	32.2137102	62.7980384
-33	8.21879425	56.9062321	16.1524231	60.2904398	24.0880519	61.9644551	32.0268071	61.6253038
-32	7.91077473	55.5219634	15.8906415	58.8973956	23.8505083	60.625978	31.8203761	60.4448316
-31	7.58677111	54.1222241	15.5925117	57.4807398	23.5885253	59.264809	31.6039928	59.2568312
-30	7.24532024	52.7143046	15.288462	56.0710388	23.3316037	57.9420447	31.3747454	58.0617889
-29	6.88698867	51.2905276	14.9889449	54.6584504	23.0509011	56.5972875	31.1328755	56.805328
-28	6.51237312	49.8750722	14.6344375	53.2432341	22.758502	55.2654899	30.8785664	55.6532477
-27	6.12110072	48.4566669	14.2654421	51.8256573	22.4678736	53.9118704	30.6112725	54.4402838
-26	5.7182868	47.1090957	13.9224859	50.4060017	22.1281428	52.5513249	30.3377997	53.2219735
-25	5.29724541	45.7516152	13.5461211	48.9845668	21.7949968	51.1990186	30.048725	51.998633
-24	4.86406675	44.1285931	13.1569246	47.5618732	21.4497825	49.8450832	29.7426044	50.7750719
-23	4.41803786	42.6626185	12.7554973	46.1379647	21.0922957	48.4896392	29.4304161	49.530898
-22	3.95993017	41.2344582	12.3424627	44.7129096	20.7249952	47.1330489	29.1075276	48.301522
-21	3.4853873	39.784242	11.9138781	43.287801	20.3483921	45.753183	28.771183	47.081603
-20	3.01088461	38.3344652	11.484172	41.8627588	19.9578591	44.4169598	28.4311463	45.713382
-19	2.52120309	36.8844463	11.0402634	40.4382189	19.5593237	43.0850728	28.0783841	44.5703912
-18	2.02294846	35.4351135	10.5874383	39.0146517	19.1519281	41.6990348	27.716418	43.3206889
-17	1.51878745	33.9873745	10.1264073	37.5925405	18.7360271	40.3402208	27.3456469	42.0685253
-16	1.00359523	32.5419808	9.65789069	36.1723892	18.3121861	38.9819763	26.9684616	40.8143391

Tabla VI.5. Continuación

Longitud Grados	Limite Sur Parcialidad Grados	Altura del Sol Grados	Magnitud 0.75 Grados	Altura del Sol Grados	Magnitud 0.5 Grados	Altura del Sol Grados	Magnitud 0.75 Grados	Altura del Sol Grados
-15	0.48425153	31.0896818	9.1826154	34.7547174	17.8809793	37.6247043	26.5792431	39.5584935
-14	-0.00438406	29.6812221	8.70131126	33.3400576	17.4429866	36.2688182	26.1846619	38.3013858
-13	-0.56937651	28.2723385	8.21470757	31.928952	16.9987916	34.9147478	25.7828757	37.0432428
-12	-1.10192017	26.7987571	7.72352938	30.5219488	16.5489789	33.5629362	25.3744285	35.7850252
-11	-1.63714355	25.3761902	7.22848371	29.1195987	16.094131	32.2138598	24.9597682	34.5286155
-10	-2.17421402	23.9603326	6.73030568	27.7224512	15.6348258	30.8679102	24.5393457	33.2686265
-9	-2.71232235	22.5518586	6.2296577	26.331051	15.1716339	29.5256201	24.113612	32.0114939
-8	-3.25068707	21.1514181	5.7272144	24.9459338	14.7055159	28.1874312	23.6830173	30.7555508
-7	-3.78955852	19.7596336	5.2363057	23.5676235	14.2358197	26.8538049	23.2480088	29.5015508
-6	-4.32522258	18.3770973	4.71952784	22.1968282	13.7642782	25.5251987	22.8090286	28.2468133
-5	-4.86000378	17.004396	4.21550178	20.8334374	13.2910073	24.2020531	22.3685128	27.0002751
-4	-5.3922683	15.6419689	3.71211749	19.4785189	12.8165033	22.884086	21.9208892	25.7539604
-3	-5.9214262	14.290358	3.2099078	18.1323164	12.3412418	21.573883	21.4725758	24.5110845
-2	-6.4469329	12.9500649	2.70937141	16.7952472	11.8658757	20.2696794	21.02198	23.2720519
-1	-6.96829071	11.6214121	2.21097185	15.4677001	11.3902344	18.9725817	20.569497	22.0372546
0	-7.48504928	10.3047621	1.71513666	14.1500343	10.9153228	17.6826528	20.1155085	20.8070697
1	-7.9988057	9.00052815	1.222257	12.8425782	10.4413197	16.4011333	19.6603824	19.5818588
2	-8.5032042	7.70890218	0.73268772	11.5456283	9.96857964	15.1274401	19.2044716	18.3619659
3	-9.00393514	6.43015524	0.2467473	10.2594492	9.4974306	13.8621653	18.7481135	17.1477168
4	-9.49873374	5.16448848	-0.23527824	8.98427343	9.02817526	12.605578	18.2916298	15.9304618
5	-9.98737838	3.91206425	-0.71314359	7.72030181	8.56109121	11.3579135	17.835326	14.7373559
6	-10.4806886	2.67300781	-1.18662853	6.46770386	8.09843154	10.1193935	17.3794916	13.5417985
7	-10.9455227	1.44740887	-1.65554854	5.22961873	7.63442581	8.89020619	16.924398	12.3529852
8			-2.11974767	3.99715626	7.17528002	7.7075164	16.4703077	11.1711463
9			-2.57909759	2.77939817	6.71917964	6.46046449	16.014569	9.9946353
10			-3.03349573	1.57339949	6.26628881	5.26016691	15.5660733	8.82917994
11					5.81675251	4.06971715	15.1163882	7.66936847
12					5.3706877	2.88918669	14.665386	6.51728236
13					4.92823458	1.71682616	14.2227855	5.37295589
14							13.77922	4.23852477
15							13.3380581	3.10807728
16							12.8994244	1.98768476

Tabla VI.6. Tabla del principio y fin del eclipse al nacer el Sol

Principio del eclipse al nacer el Sol			Fin del eclipse al nacer el Sol		
Longitud	Latitud	Tiempo	Longitud	Latitud	Tiempo
Grados	Grados	hh:mm:ss	Grados	Grados	hh:mm:ss
-134.546445	41.5005546	14.0016758	-149.453555	41.5005546	14:59:43
-133.07511	40.1984759	13.9393298	-148.92489	40.1984759	14:59:45
-131.629996	38.6046211	13.8789667	-148.370004	38.6046211	14:59:41
-130.208377	37.5887541	13.8205113	-147.791823	37.5887541	14:59:33
-128.806274	36.2806362	13.763759	-147.191726	36.2806362	14:59:21
-127.42625	34.9700267	13.7086615	-146.57175	34.9700267	14:59:5
-126.06727	33.6566636	13.6551682	-145.93273	33.6566636	14:58:46
-124.724618	32.3403648	13.6032504	-145.275362	32.3403648	14:58:23
-123.399826	31.0208291	13.5528971	-144.600172	31.0208291	14:57:58
-122.092647	29.6976374	13.5041123	-143.907353	29.6976374	14:57:30
-120.803005	28.3711543	13.4569129	-143.196995	28.3711543	14:56:59
-119.530989	27.0405498	13.4113279	-142.645631	25.2528535	14:55:24
-119.354369	25.2528535	13.3706261	-142.489011	27.0405498	14:56:25
-118.120489	23.9128083	13.3285783	-141.879511	23.9128083	14:54:45
-118.90534	22.5679484	13.2882921	-141.09466	22.5679484	14:54:3
-115.70955	21.2186787	13.24684	-140.29045	21.2186787	14:53:18
-114.533881	19.8646193	13.2133022	-139.535422	19.8646193	14:51:17
-114.464578	18.05462	13.1833885	-139.466119	18.05462	14:52:31
-113.33368	16.6899253	13.1511178	-138.86632	16.6899253	14:50:23
-112.230654	13.468716	13.0989069	-137.774032	15.3201131	14:49:27
-112.225968	15.3201131	13.1210625	-137.769346	13.498718	14:48:5
-111.180972	11.8815464	13.0715101	-136.842446	12.913313	14:47:39
-111.157554	12.913313	13.0819043	-136.819028	11.8815464	14:46:50
-110.157324	10.4819323	13.0492957	-135.842676	10.4819323	14:45:41
-109.261814	7.23820873	13.0202424	-134.835805	9.07679731	14:44:29
-109.164195	9.07679731	13.0299532	-134.708186	7.23820873	14:42:52
-108.496079	-15.1193788	13.4353117	-133.632666	5.82166328	14:41:30
-108.367334	5.82166328	13.0073115	-132.518416	4.40012055	14:40:01
-107.722899	2.55014394	12.9994063	-132.277302	2.55014394	14:38:10
-107.481584	4.40012055	12.9979335	-131.074643	1.11751451	14:36:28
-107.259444	-0.73809019	13.0085096	-130.740556	-0.73809019	14:34:26
-106.925357	1.11751451	12.9980268	-129.429317	-2.18127349	14:32:26
-106.725519	-13.2321089	13.3150821	-128.051723	-3.62907773	14:30:14
-106.570663	-2.18127349	13.0166639	-127.52798	-5.49572046	14:27:41
-106.507811	-10.291453	13.1745187	-125.986444	-6.95313478	14:25:0
-106.478294	-11.760674	13.2347883	-124.335	-8.41419531	14:21:57
-106.472202	-5.49572046	13.0578304	-123.492189	-10.291453	14:18:24
-106.013556	-6.95313478	13.0851694	-121.521706	-11.760674	14:14:15
-105.948277	-3.62907773	13.0304672	-119.274481	-13.2321089	14:9:6
-105.665	-8.41419531	13.1212319	-117.503921	-15.1193788	14:2:9

Tabla VI.7. Tabla del principio y fin del eclipse al ponerse el Sol

Principio del eclipse al ponerse el Sol			Fin del eclipse al ponerse el Sol		
Longitud	Latitud	Tiempo	Longitud	Latitud	Tiempo
Grados	Grados	Universal	Grados	Grados	Universal
		hh:mm:ss			hh:mm:ss
11.0750048	-8.15806393	17.2754331	2.90939445	4.48945787	18:7:4
14.8811931	-6.75340954	17.0883231	2.95295286	1.21042221	18:3:55
16.517597	-4.89345264	16.9801059	3.3200584	-3.48286316	17:55:24
18.8799436	-3.48286316	16.8995195	3.40084025	-2.06757454	17:58:48
20.5991597	-2.06757454	16.833621	3.42843457	2.63150545	18:5:29
22.3502487	-0.64848398	16.7774803	3.49240298	-4.89345264	17:50:58
23.0470473	1.21042221	16.7257981	3.54007034	5.91117015	18:7:52
24.5715854	2.63150545	16.6820306	3.64975133	-0.64848398	18:1:28
25.0906055	4.48945787	16.6391464	3.89812276	9.18896385	18:8:58
26.4598297	5.91117015	16.6001867	4.23366795	7.3337336	18:8:20
27.786332	7.3337336	16.5701898	4.6983254	10.8099582	18:8:51
28.1018772	9.18896385	16.5354684	5.11880694	-6.75340954	17:44:20
29.3038746	10.8099582	16.5071899	5.33613588	13.8817873	18:8:22
30.4804714	12.0302628	16.4807833	5.53952893	12.0302628	18:8:31
30.6638641	13.8817873	16.451126	6.25799539	15.2986516	18:7:36
31.7420046	15.2986516	16.4279627	6.9249952	-8.15806393	17:33:7
32.7854122	16.7135463	16.4061652	7.21458782	16.7135463	18:6:39
33.7966829	18.1260233	16.3856099	8.13494462	19.9704115	18:4:33
33.8650554	19.9704115	16.3606405	8.20333712	18.1260233	18:5:30
34.8035718	20.5744438	16.3526803	9.17959781	21.6132048	18:2:55
34.8204022	21.6132048	16.3392925	9.19642819	20.5744438	18:3:55
35.7429112	23.0040184	16.3222387	10.2570888	23.0040184	18:1:16
36.599163	26.2270296	16.2845378	11.3588965	24.391321	17:59:29
36.6411035	24.391321	16.306089	11.400837	26.2270296	17:57:51
37.4505916	27.6074064	16.2701333	12.5494084	27.6074064	17:55:48
38.2811213	28.9837085	16.2565172	13.7188787	28.9837085	17:53:38
39.0918624	30.3557829	16.243666	14.9083376	30.3557829	17:51:21
39.8830025	31.7235112	16.2315632	16.1169975	31.7235112	17:48:57
40.6558113	33.0868074	16.2201986	17.3441887	33.0868074	17:46:27
41.410643	34.4456154	16.2095883	18.589357	34.4456154	17:43:51
42.1479362	35.799907	16.1996749	19.8520638	35.799907	17:41:19
42.8680105	37.1498791	16.1905274	21.1319895	37.1498791	17:38:22
43.5710601	38.4949521	16.182142	22.4289399	38.4949521	17:35:29
44.2571436	39.8357672	16.1745427	23.7428564	39.8357672	17:32:31
44.9261879	41.1721848	16.1677624	25.0738321	41.1721848	17:29:28
45.5778656	42.5042821	16.1618446	26.4221344	42.5042821	17:26:20
47.1568893	43.71559	16.1624149	28.8431107	43.71559	17:23:0
47.7741028	44.8952402	16.1583982	30.2258972	44.8952402	17:19:41
48.3715779	46.0150454	16.1554777	31.8284221	46.0150454	17:16:18
49.8978303	48.8749449	16.1588242	34.1021897	48.8749449	17:12:42
50.4518056	48.1878523	16.1585516	35.5481944	48.1878523	17:9:7

Tabla VI.8. Tabla del Máximo Eclipse al nacer el Sol

Fases	Longitud Grados	Latitud Grados	Tiempo Universal hh:mm:ss
Límite Norte de la Parcialidad	-142	41.5005546	14:29:54
	-141	40.1984759	14:28:3
	-140	38.8946211	14:26:13
	-139	37.5887541	14:24:23
	-138	36.2806362	14:22:35
Magnitud 0.25 a la parte austral del Sol	-137	34.9700267	14:20:48
	-136	33.6566836	14:19:2
	-135	32.3403648	14:17:17
	-134	31.0208291	14:15:34
	-133	29.6978374	14:13:52
Magnitud 0.50 a la parte austral del Sol	-132	28.3711543	14:12:12
	-131	27.0405498	14:10:33
	-131	25.2528535	14:8:49
	-130	23.9128083	14:7:13
	-129	22.5679484	14:5:40
Magnitud 0.75 a la parte austral del Sol	-128	21.2186787	14:4:9
	-127	19.8646193	14:2:39
	-127	18.05462	14:1:8
	-126	16.6899253	13:59:43
	-125	15.3201131	13:58:21
Límite Norte de la Centralidad	-125	13.498718	13:57:0
	-124	12.913313	13:56:17
Línea Central	-124	11.8815484	13:55:34
Límite Sur de la Centralidad	-123	10.4819323	13:54:19
	-122	9.07879731	13:53:8
Magnitud 0.75 a la parte boreal del Sol	-122	7.23820873	13:52:2
	-121	5.82186328	13:50:58
	-120	4.40012055	13:49:56
	-120	2.55014394	13:48:4
	-119	1.11751451	13:46:10
Magnitud 0.50 a la parte boreal del Sol	-119	-0.73809019	13:47:28
	-118	-2.18127349	13:46:43
	-117	-3.62907773	13:46:2
	-117	-5.49572046	13:45:34
	-116	-6.95313478	13:45:3
Magnitud 0.25 a la parte boreal del Sol	-115	-8.41419531	13:44:36
	-115	-10.291453	13:44:26
	-114	-11.760674	13:44:10
	-113	-13.2321089	13:44:0
	-113	-15.1193788	13:44:8
Límite Sur de la Parcialidad	-112	-16.5969363	13:44:9
	-111	-18.0747503	13:44:17
	-111	-19.9712254	13:44:45

Tabla VI.9. Tabla del Máximo Eclipse al ponerse el Sol

Fases	Longitud Grados	Latitud Grados	Tiempo Universal hh:mm:ss
Límite Norte de la Parcialidad	43	48.1878523	18:39:19
	42	48.8749449	18:41:7
	40	48.0150454	18:42:48
	39	44.8952402	18:44:38
	38	43.371559	18:46:22
Magnitud 0.25 a la parte austral del Sol	38	42.5042921	18:48:1
	35	41.1721848	18:49:46
	34	39.8357672	18:51:30
	33	38.4949521	18:53:12
	32	37.148791	18:54:54
Magnitud 0.50 a la parte austral del Sol	31	35.799907	18:56:34
	30	34.4456154	18:58:13
	29	33.0868074	18:59:50
	28	31.7235112	17:1:25
	27	30.3557829	17:2:59
Magnitud 0.75 a la parte austral del Sol	26	28.9837085	17:4:30
	25	27.6074064	17:6:0
	24	24.391321	17:8:55
	24	26.2270296	17:7:28
	23	23.0040184	17:10:18
Línea Central	22	20.5744438	17:12:22
Límite Norte de la Centralidad	22	21.6132048	17:11:38
Límite Sur de la Centralidad	21	18.1260233	17:14:19
	21	19.9704115	17:13:5
Magnitud 0.75 a la parte boreal del Sol	20	16.7135463	17:15:30
	19	15.2986516	17:16:38
	18	12.0302628	17:18:41
	18	13.8817873	17:17:43
	17	10.6099592	17:19:38
Magnitud 0.50 a la parte boreal del Sol	18	7.3337336	17:21:16
	18	9.18896385	17:20:32
	15	5.91117015	17:22:1
	14	2.63150545	17:23:12
	14	4.48945787	17:22:42
Magnitud 0.25 a la parte boreal del Sol	13	-0.64848398	17:24:2
	13	1.21042221	17:23:44
	12	-2.06757454	17:24:24
Límite Sur de la Parcialidad	11	-3.48286316	17:24:41
	10	-6.75340954	17:24:49
	10	-4.89345264	17:24:52
	9	-10.0177194	17:24:33
	9	-8.15806393	17:24:49
	8	-11.4147754	17:24:22

Tablas VI.10. Ancho del eclipse para las longitudes correspondientes al límite sur de la parcialidad

Longitud	Ancho en Grados	Ancho en Grados	Longitud	Ancho en Grados	Ancho en Km.	Longitud	Ancho en Grados	Ancho en Km.
-111	78.244642	8955.58205	-57	73.3241114	8148.72847	-3	70.1166438	7792.27295
-110	78.59724881	8745.86127	-56	73.9336557	8216.46896	-2	70.5069958	7845.82259
-109	79.0344303	8783.33334	-55	74.4914845	8278.46215	-1	71.0833398	7899.7048
-108	79.2566119	8808.02505	-54	74.9913764	8334.01693	0	72.068295	8009.16583
-107	79.3254464	8815.89707	-52	75.4285412	8382.80007	1	72.5623042	8064.06655
-106	79.3833523	8822.11009	-51	75.7997010	8423.84827	2	73.0543308	8118.74694
-105	79.3408252	8817.36177	-51	76.2292552	8471.58582	3	74.0230945	8226.40558
-104	79.2070348	8802.5154	-50	76.4309186	8493.99706	4	74.4951012	8278.86408
-103	78.9932544	8778.75734	-49	76.5685999	8509.07484	6	75.4026284	8379.72031
-102	78.7104347	8747.32674	-48	76.6309476	8517.17278	7	75.833607	8429.81625
-101	78.368956	8709.45785	-47	76.6105103	8513.95584	8	76.2465188	8473.50437
-99	78.5466189	8729.12156	-46	76.5068518	8502.43596			
-98	78.859774	8763.92327	-45	76.3384874	8483.72289			
-97	79.1094759	8791.87339	-44	76.1031057	8457.56645			
-96	79.2845389	8811.12869	-43	75.9599245	8441.05429			
-95	79.3675898	8820.35838	-42	75.822517	8404.15718			
-93	79.1597322	8797.25852	-39	74.2194555	8248.23075			
-92	78.8803251	8766.20717	-38	73.6349007	8183.26811			
-91	78.4852567	8722.30204	-37	73.0022459	8112.95859			
-90	77.9759453	8685.70072	-36	72.3295425	8038.19004			
-89	77.6799371	8632.80445	-35	71.6258241	7959.99271			
-88	77.3578361	8596.98617	-34	70.9008148	7879.42023			
-87	77.0102892	8558.38447	-33	70.1848608	7797.90925			
-86	76.6393615	8517.16218	-32	69.4276641	7715.70459			
-85	73.5420478	8172.94884	-30	68.700034	7634.84009			
-84	71.574547	7954.29721	-30	68.3428442	7595.1453			
-82	69.6453691	7739.86547	-29	67.647695	7517.89129			
-82	68.2982059	7590.16448	-28	66.9857463	7444.32694			
-81	67.4715771	7498.31878	-27	66.3654947	7375.39652			
-80	66.3822490	7375.03592	-26	65.7947275	7311.96545			
-79	65.4302122	7271.45577	-25	65.2804959	7254.81736			
-78	64.6152878	7214.22647	-24	64.8046832	7228.82193			
-77	64.3094871	7146.90734	-23	64.428775	7182.38966			
-76	64.0187358	7114.59418	-22	64.2819688	7143.64804			
-75	63.7529985	7085.02842	-21	64.0107649	7113.70833			
-74	63.6875882	7077.79274	-20	63.8191404	7092.41253			
-73	63.7104791	7080.33667	-19	63.7542504	7085.20111			
-72	63.9041011	7101.92992	-18	63.6881593	7077.85621			
-71	64.1386538	7127.69874	-17	63.7090263	7080.17522			
-70	64.4481941	7162.09859	-18	63.8187831	7082.37263			
-69	64.8291107	7204.85423	-15	63.9074294	7102.22435			
-68	65.530133	7282.56027	-14	64.1527566	7129.4683			
-67	66.0734975	7342.94266	-13	64.4899097	7186.4843			
-66	66.699045	7409.2265	-12	64.690889	7189.29257			
-65	67.3120235	7480.5871	-11	65.1818116	7241.62761			
-64	67.9918769	7556.11903	-10	65.7200628	7303.96693			
-63	68.0820498	7675.07278	-9	66.03095	7338.21757			
-62	68.7958249	7758.89718	-8	66.3133187	7414.05124			
-61	70.533755	7838.59807	-7	67.0833878	7455.17813			
-60	71.2653533	7919.93251	-6	67.8768896	7543.36237			
-59	71.9809656	7999.48065	-5	68.7342794	7638.64667			
-58	72.6703548	8078.07453	-4	69.1837358	7688.59811			

Tabla VI.11. Longitudes recorridas por las curvas de igual magnitud, línea central y límites norte y sur de la parcialidad

	No. Grados Recorridos	Km. recorridos
Límite Norte de la Parcialidad	185	20811.59
Magnitud 0.25 a la parte austral del Sol	173	19274.622
Magnitud 0.50 a la parte austral del Sol	163	18160.482
Magnitud 0.75 a la parte austral del Sol	154	17157.756
Línea Central	146	16266.444
Magnitud 0.75 a la parte boreal del Sol	138	15375.132
Magnitud 0.50 a la parte boreal del Sol	131	14595.234
Magnitud 0.25 a la parte boreal del Sol	125	13926.75
Límite Sur de la Parcialidad	119	13258.266

VII. ANALISIS Y CONCLUSIONES

En la dedicatoria a Velázquez de León, Gama manifiesta el haber tomado la longitud de la ciudad de México en $278^{\circ}.5$ (equivalente a $99^{\circ}.5$ actuales del meridiano de Greenwich) a partir de la isla del Fierro y por latitud el valor de $19^{\circ} 26'$, sin mencionar la altura de la ciudad de México con respecto al nivel del mar. En la sección "Observación del eclipse antecedente..." toma por latitud el valor de $19^{\circ} 25' 53''$ afirmando que dicho dato lo obtuvo de observaciones realizadas anteriormente por él.

Gama en su obra *Disertación Física sobre la Materia y Formación de las Auroras Boreales...* publicada en México en el año de 1790 afirma que la "verdadera" latitud de la ciudad de México es de $19^{\circ} 26' 31''$, confesando el haber creído que la latitud era de $19^{\circ} 25' 59''$ cuyo dato lo obtuvo de observaciones de muchas estrellas realizadas en los años 1778, 1779 y 1780, sin mencionar el cálculo del eclipse total de Sol de 1778.

La discrepancia en el valor de la latitud para la ciudad de México publicado en la "Proyección Orthographica" difiere poco de otros reportados por este autor. La insistencia de Gama en ese punto no era superflua, pues como ya se ha mencionado (Trabulse, 1984; Moreno, 1986), la determinación precisa de ese valor fue un problema que preocupó a los novohispanos; no siendo resuelto en forma definitiva hasta mediados del siglo XIX. Los diferentes valores que Gama fue dando para la longitud de la ciudad de México, muestran como aprovechando los diversos fenómenos astronómicos que fue observando, fue modificando ese valor un poco; seguramente porque algunas observaciones fueron más confiables que otras. Ese no fue el caso del eclipse solar, ya que perdió medidas relevantes debido a los nublados.

En lo referente a los datos sobre las circunstancias locales de ese eclipse para la ciudad de México; en lo general estuvieron bien calculados por el autor, ajustando adecuadamente a los determinados por nosotros con técnicas más confiables.

Gama da como tiempo civil y verdadero del novilunio (conjunción del Sol y la Luna) las 9 h 0m 2s de la mañana, tiempo para la ciudad de México; pues en esa época no se habían establecido convenios internacionales para uniformizar el tiempo, ni se habían establecido el meridiano de origen y los husos horarios.

Para el principio del eclipse asigna las 6h 26m 30s de la mañana, nuevamente tiempo de la ciudad de México, que corresponde a las 11h 26m 30s de tiempo universal. Recuérdese que el origen de su marco referencial lo colocó en la Isla del Fierro; la cual está ubicada a los 18° W de longitud con respecto a Greenwich. Esto implica que existe una diferencia de 5 horas entre la ciudad de México y la Isla del Fierro.

La hora de inicio del eclipse para la ciudad de México que se obtuvo en el capítulo VI es de 13 h 01m 43.6s equivalentes a 7 h 01m 43.6s de tiempo local. A simple vista parece haber una gran diferencia en los valores, pero recuérdese el desfase de una hora en los marcos de referencia por lo que el tiempo de diferencia se reduce a minutos, error que posiblemente es resultado del valor que Gama tomó para la altura en la ciudad de México. El análisis anterior también se aplica para la hora del máximo y fin del eclipse.

En lo concerniente a las coordenadas del Límite Norte de la Totalidad, Línea Central y Límite Sur de la Totalidad, se obtuvo una diferencia promedio de 1°.5 en las latitudes, por lo que se puede afirmar que los valores de Gama están bien calculados para estas curvas.

La trayectoria que obtuvimos se comparó con las trayectorias publicadas en el Canon de Eclipses de Oppolzer y el Canon de Eclipse de Meuss publicado en 1983, resultando una gran similitud con los autores referidos. Lo mismo sucede en los puntos del máximo del

eclipse al nacer y ponerse el Sol, por lo que consideramos que los datos en las tablas correspondientes en el capítulo VI están bien calculados.

Comparando las tablas del límite sur de la parcialidad observamos una diferencia en promedio de aproximadamente 2° con respecto a los valores publicados por Gama. Esta diferencia se mantiene para las curvas australes de igual magnitud; Gama mantiene una separación aproximada de 8° entre cada curva, en nuestros datos mantenemos una separación aproximada de 10° para cada magnitud.

Si se compara el mapa de la figura V.2 con el mapa de la figura VI.2 notaremos un leve desfase hacia el sur en la figura VI.2 para la curva del límite sur de la parcialidad. Las separaciones de 8° y 10° en latitud respectivamente, implica que la línea de magnitud de 0,25 coincida en su trayectoria en ambos mapas, lo mismo sucede con la línea de magnitud 0.75 para el hemisferio sur con respecto a la central.

En el límite norte de la parcialidad se obtuvo una diferencia promedio en las latitudes de 26° . Los valores de estas curvas publicados por Gama no corresponden a las trayectorias, puesto que escapan a las dimensiones del cono de sombra de la parcialidad.

Si comparamos los valores de la tabla V.4 con los valores de la tabla VI.4; notaremos que en la tabla de Gama existen longitudes y latitudes muy disparados con respecto a los valores de la tabla VI.4. Comparando los mapas de las figuras V.2 y VI.2, notamos que las curvas de igual magnitud y del límite norte de la parcialidad no se asemejan. En el mapa de la figura V.2 la separación en grados entre cada curva de igual magnitud varía, pues Gama no las mantuvo constantes. La separación entre el límite norte de la centralidad y la curva de magnitud 0.75 al norte es de 10° entre ésta y la de 0.5 es de 13° y ésta con la de 0.25 es de 13° . Finalmente la separación entre el límite norte de la parcialidad y la curva de 0.25 es de 20° , aproximadamente.

Observando el mapa de la figura V.2 notaremos que los puntos graficados para el principio, máximo y fin del eclipse al nacer y ponerse el Sol en lo que respecta al sur de la línea central señalan claramente estas fases y cortan correctamente las trayectorias de las curvas de igual magnitud. En lo que respecta a los puntos del hemisferio norte, notaremos que a partir del punto de 150° W de longitud y 40° de latitud norte y del punto de 50° E de longitud y 40° de latitud norte dichas fases no logran cerrar las curvas de igual magnitud además están disparados con respecto a la dimensión del cono de sombra de la parcialidad y de la salida y puesta del Sol, puesto que corresponden a valores con altura de Sol menor a 0° , debajo del horizonte.

Analizando el mapa publicado por Antonio de León y Gama (apéndice A), notamos que la trayectoria del eclipse esta bien trazado pero los contornos de los continentes están pésimamente dibujados. Las curvas de igual magnitud mantienen una separación, en latitud, proporcional a su magnitud y las fases al salir y ponerse el Sol logran cerrar dichas curvas. Los límites norte y sur de la parcialidad están dentro de los rangos de valores coherentes conforme a la trayectoria de la totalidad. A simple vista pareciera que Gama realizó un buen trabajo, pero conforme se analiza la descripción de las trayectorias de cada una de las curvas notamos que gran parte de lo que describe nada tiene que ver con lo dibujado y además si se trata de localizar los datos publicados en las diferentes tablas descubriremos que el escalamiento trazado para las longitudes no logran abarcar dichos valores; en especial en las tablas del medio del eclipse y del principio y fin del eclipse al nacer y ponerse el Sol, y muy particularmente la zona norte de dichas trayectorias. Tal parece que ese mapa fue calculado para otro eclipse y no para el calculado por Gama.

Para obtener la distancia de separación entre el límite norte y el límite sur de la parcialidad, tomó una separación de $77^{\circ}.5$ equivalentes a 8612.8075 Km. actuales.

Mientras que en la trayectoria calculada en el capítulo VI obtuvimos una separación promedio de estas curvas de $71^{\circ}.5$; equivalentes a 7949.435 Km. En lo referente a la trayectoria recorrida longitudinalmente, Gama obtuvo un total de $151^{\circ}.29$, equivalentes a 16876.993 Km actuales. En el capítulo VI obtuvimos una trayectoria total de 146° , equivalente a 16514.03 Km. Los grados en latitud obtenidos por Gama para el ancho de la franja de totalidad más la de parcialidad, implican dimensiones mayores a los diámetros del cono de sombra de la parcialidad. En cuanto a los grados transcurridos en longitud, coloca el principio y fin del eclipse en sitios de la Tierra en donde el Sol no ha salido o ya se puso.

Cabe aclarar que independientemente de donde se tomen los marcos de referencia (el de Gama o el actual), la salida y puesta del Sol se obtendrá en los mismos lugares de la Tierra; puesto que su movimiento y desplazamiento es independiente del marco referencial que se tome.

Finalmente el mapa publicado por Gama (apéndice A), dista mucho del que se obtiene de los valores de las tablas proporcionadas en su trabajo (figura V.2). En el primero la línea de centralidad la traza por regiones que nunca tocó, ya que al compararlo con el análisis que realiza de la trayectoria, dista mucho de lo que se plantea. En cambio en el mapa de la figura V.2, la línea de centralidad se ajusta muy bien a lo descrito por Gama.

El mapa del apéndice A está bien detallado, de tal forma que a simple vista se puede pensar que su trayectoria estuvo bien calculada, sin embargo con los datos proporcionados por Gama en las tablas correspondientes, prácticamente es imposible reproducirlo tal cual lo publicó.

CONCLUSIONES

En lo general podemos concluir que el trabajo publicado por Antonio de León y Gama tiene un buen grado de exactitud, ya que logra reproducir la trayectoria del eclipse y predecir los lugares de la superficie terrestre donde sería visible. En especial la línea de centralidad a la cual podríamos asociar un índice de error de $1^{\circ}.5$ grados debido al método de cálculo, el cual se basa en la obtención de círculos mediante la utilización del compás; instrumento que posiblemente en el siglo XVIII no tendrían una exactitud de abertura como los actuales, conforme se obtenían las posiciones del Sol y de la Luna, cuyos datos eran obtenidos de las tablas de Sol y de Luna de la época.

En lo particular podríamos puntualizar las siguientes conclusiones:

a) La calidad del mapa publicado dista mucho del conocimiento cartográfico de la época, ya que existía un conocimiento más exacto sobre la topografía de los continentes. En el México de aquella época; económicamente era difícil mandar imprimir un mapa, ya que su costo dependía de la complejidad del grabado así como del material a utilizar, podríamos suponer que Gama no contaba con los recursos suficientes como para mandar a publicar un buen mapa y recuérdese que el trabajo estuvo patrocinado por Velázquez de León el cual, posiblemente, no estuvo dispuesto a invertir más de lo necesario en la publicación de dicho trabajo.

b) La tabla de las mayores fases australes representada en las líneas boreales no están acordes a las dimensiones de los conos de sombra de la parcialidad. Estos datos erróneos se pueden asociar con dos orígenes; el primero relativo a que Gama se

equivocó de datos al momento de mandar a imprenta dicha tablas y el segundo, es que realmente se equivocó al momento de realizar sus cálculos.

Analizando las tablas para la línea central, las curvas de igual magnitud en la zona sur con respecto a la central, y las tablas de las mayores fases y las del principio y fin del eclipse al nacer y ponerse el Sol, se obtienen datos acordes para construir la gráfica de la trayectoria sobre la superficie terrestre. Analizándolo como un rompecabezas, cada pieza se ajusta para obtener la gráfica, por lo que se concluye que estuvieron bien calculados, ya que además cumplen con las dimensiones de los conos de sombra, y en cierta forma con la salida y puesta del Sol. Esta armonía en los datos se rompe al tratar de reproducir con ellos, las curvas de igual magnitud en la zona norte con respecto a la central, por lo que en cierta forma es dudoso de que se haya equivocado en sus cálculos.

c) Los datos de las circunstancias locales para la ciudad de México están bien calculados, ya que logró predecir las tres fases del eclipse en base a la posición del Sol y de la Luna y sus desplazamientos relativos. Las diferencias de sus datos con los obtenidos mediante los elementos besselianos y con los valores del programa para PC LodeStar, prácticamente son insignificantes; a pesar de la inexactitud de la latitud de la ciudad de México.

Estos datos demuestran el gran conocimiento sobre los movimientos de los cuerpos celestes que tenía Gama, así como el excelente manejo de las tablas de Sol y de Luna para predecir la ubicación en el cosmos de los mismos. También muestran que Gama, sin haber salido de la Nueva España, estaba al tanto de la literatura científica europea.

d) La diferencia obtenida en el ancho total de la parcialidad y de la trayectoria longitudinal se originan, en cierta forma, del conocimiento deficiente que se tenía en ese momento

sobre las dimensiones de los radios del ecuador y de los polos terrestres. En esa época existían serias diferencias sobre la cantidad de varas contenidas en un grado de latitud y de longitud.

Las diferencias en grados en el ancho de la zona de parcialidad, así como en la trayectoria de la centralidad en el trabajo de Gama y los resultados obtenidos por nosotros en el capítulo VI, es aproximadamente de 6°, tanto para el ancho como para la trayectoria central.

Esta equivalencia en las diferencias podría demostrar un error asociado a los cálculos de Gama el cual no logra detectar posiblemente por el método de obtención de sus datos.

e) En base al concepto de trabajo científico que se tiene actualmente podemos afirmar que Gama realizó un buen trabajo técnico, dado que logra reproducir la metodología para el cálculo de eclipses propuesta por Kepler y perfeccionada por Cassini.

Para finalizar podemos decir, que el estudio comparativo de la *Descripción Orthographica Universal del eclipse de Sol del día 24 de junio de 1778*, escrita por Antonio de León y Gama y publicada en la ciudad de México, muestra que ese personaje tenía los conocimientos necesarios de Física, y en particular de Mecánica Celeste; tanto prácticos como teóricos, que por aquella época permitían que los astrónomos europeos de primera línea pudieran realizar los complejos cálculos y las precisas observaciones necesarias para el correcto estudio de los eclipses. Sin duda, el trabajo de Gama tenía los méritos para ser publicado en las más prestigiadas revistas científicas de fines del siglo XVIII. En efecto, revisando el nivel y la calidad de las publicaciones astronómicas de la época, es posible asegurar que la *Descripción Orthographica* bien pudo aparecer en las memorias de la Royal Society o en las de la Academia de París.

BIBLIOGRAFIA

- Annala C. Wayne (1994): "LodeStar Pro.;" Zephyr Services, Pittsburgh, U.S.A.**
- Anuario Del Observatorio Astronómico Nacional para el Año de 1991, UNAM Instituto de Astronomía, México.**
- Arons, Arnold B. (1970): "Evolución de los Conceptos de la Física"; TRILLAS, México.**
- Bernal, Jhon D. (1994): "La Ciencia en la Historia"; Nueva Imagen, México.**
- Biako, A. (1985): "Nuestro Planeta, La Tierra"; MIR Moscú, URSS.**
- Bravo, Ugarte José (1967): "La Ciencia en México"; Jus, México.**
- Cassini (1740): "Eléments d'Astronomie, Tables astronomiques"; De L'imprimiere Royale, Paris.**
- Couderc, Paul (1963): "Los Eclipses"; EUDEBA, Argentina.**
- De Freitas, Mourao R. R. (1993): "Eclipses Da Supersticao à Previsao Matemática"; Editora Unisinos, Brasil.**
- De Gortari, Eli (1980): "La Ciencia en la Historia de México"; Grijalbo, México.**
- De La Caille, Nicolaus Ludovicos (1778): "Tabulae Solares Ad Meridianum Parisinum"**
- De Ulloa, Antonio (1992): "El Eclipse de Sol con el Anillo Refractorio de sus Rayos, la Luz de este Astro, Vista a través del Cuerpo de la Luna, o Antorcha Sola en su Disco, Observado en el Océano en el Navío "El España", capitana de la Flota de Nueva España, mandada por el Gefe de Esquadra D. Antonio de Ulloa y Practicada la Observación por el Mismo General...(Impreso en 1779)"; Reimpreso UNAM, México.**
- Duffett-Smith, Peter (1980): "Practical Astronomy With Your Calculator"; Vail-Ballou Press, U.S.A.**
- Encyclopaedia Britannica, Inc. (1989): "Britannica Atlas", U.S.A.**
- Esenak Fred and Anderson Jay (1993): "Annular Solar Eclipse of 10 May 1994"; NASA Reference Publication 1301, U.S.A.**
- Esenak Fred and Anderson Jay (1996): "Total Solar Eclipse of 1998 February 26"; NASA Reference Publication 1383, U.S.A.**
- Esenak, Fred (1987): "Fifty year canon of Solar Eclipses: 1986 - 2035"; Nasa Reference Publication 1178, U.S.A.**

Fernández, Francisco (1964): "El Dr. D. José Ignacio Bartolache, Médico e Innovador"; Memorias del Primer Coloquio Mexicano de Historia de la Ciencia Tomo II, S.M.H.N., México.

Fierro J., Galindo J., Flores D. (1991): "Eclipse Total de Sol"; UNAM, México.

Gaos, J. (1984): "Presentación de la Libra Astronómica y Filosófica."; Carlos de Sigüenza y Góngora, UNAM, México.

Gingerich, O. (1962): "Cannon of Eclipses. Theodor Ritter von Oppolzer. Translated by Owen Gingerich."; Dover Publications, Inc. New York.

Hawking, Stephen W. (1988): "Historia del Tiempo Del Big Bang a los Agujeros Negros"; Grijalbo, México.

Khun, Thomas (1995): "La Estructura de las Revoluciones Científicas"; Fondo de Cultura Económica, México.

López, María G. (1991): "Eclipses en la Historia"; ECLIPSES EN MEXICO, SEP/INAH/INAOE, México.

Maldonado-Koerdell, M. (1970): "Observaciones Astronómicas en México a Fines del Siglo XVIII"; Anuario Del Observatorio Astronómico Nacional para el Año de 1970; UNAM Instituto de Astronomía, México.

Meuss, Jean (1989): "Elements of Solar Eclipses: 1951 - 2200"; Willmann-Bell, U.S.A.

Milet-Mureau, M. L. A. (1798): "Atlas Du Voyage de La Pérouse"; Chez Plassan, Imprimeur-Libraire, rue du Cimetière André-des-Arcs, Francia.

Moreno Corral, Marco A. (1986): "Viaje de la Comisión Mexicana al Japón para la Observación del Tránsito de Venus de 1874"; Historia de la Astronomía en México, SEP/FCE/CONACYT, México.

Moreno Corral, Marco A. (1993): "El arribo de la ciencia a la Nueva España"; Ciencia y Desarrollo, México, vol. XIX, Num. 112, pp 72-77..

Moreno Corral, Marco A. (1997): "Acercas del Primer canon de Eclipses Publicado en América"; Comunicación personal, México.

Moreno de los Arcos, Roberto (1977): "Joaquín Velázquez de León y sus Trabajos Científicos sobre el valle de México"; UNAM, México

Moreno de los Arcos, Roberto (1986): "Astronomía Mexicana del Siglo XVIII"; Historia de la Astronomía en México; SEP/FCE/CONACYT, México.

Mucke H, Meeus J. (1983): "Cannon of Solar Eclipses -2003 to +2526"; Astronomisches Büro, hasenwartgasse 32, A-1238 Wien, Austria.

Oppolzer, Th. von (1962): "Canon der Finsternisse, Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe, Band 52 (Wien, 1887)."

Ottewell Guy (1991): "The Under-Standing of Eclipses"; Astronomical Workshop, Furman University, Greenville, S.C. 29613, U.S.A.

Ramírez Montes, Mina (1990): "Manuscritos Novohispanos. Ejercicios de Lectura"; UNAM, México.

Resnick-Halliday (1977): "Física, Parte I"; C.E.C.S.A., México.

Rodríguez-Sala, Ma. Luisa (1996): "La Observación del Eclipse de Luna del 17 de noviembre de 1584"; Ciencia y Desarrollo, México, vol. XXII, Num. 128, pp 65-73.

Saldaña, J.J.(1989): "Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias"; UNAM, México.

Shamos, Morris (1959): "Great Experiments in Physics"; Holt Rinehart, New York.

Trabulse, Elías (1975): "Antonio de León y Gama Astrónomo Novohispano"; Humanidades, III, Anuario 1975, Universidad Iberoamericana, México.

Trabulse, Elías (1984): "El Círculo Roto"; Fondo de Cultura Económica, México.

Trabulse, Elías (1985): "Historia de la Ciencia en México, Siglo XVI"; Conacyt/Fondo de Cultura Económica, México.

Trabulse, Elías (1991): "Archipiélagos Siderales; Eclipses y Astronomía en la Historia de México"; Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.

Trabulse, Elías (1991): "Los Eclipses en el Desarrollo Científico e Histórico de México"; Librería y Editora, S.C.- Ciudad de México, México.

Trabulse, Elías (1992): "Historia de la Ciencia en México, Siglo XVIII"; Conacyt/Fondo de Cultura Económica, México.

Unsöld, A. (1977): "El Nuevo Cosmos"; Siglo XXI, México.

Valdés, Manuel A (1802): "Elogio Histórico de Don Antonio de León y Gama"; El Círculo Roto (1984) de Elías Trabulse; Fondo de Cultura Económica, México

APENDICE "A"

DESCRIPCION
ORTHOGRAPHICA UNIVERSAL
DEL ECLIPSE DE SOL
DEL DIA 24 DE JUNIO DE 1778,
DEDICADA
AL SEÑOR DON JOAQUIN
VELAZQUEZ DE LEON,

**Del Consejo de S. M., su Alcalde de Corte hono-
rario en esta Real Audiencia, y Director general
del importante Cuerpo de la Minería de este
Reyno de Nueva España,**

POR
D. ANTONIO DE LEON Y GAMA.



**BIBLIOTECA NACIONAL
MEXICO**

CON LICENCIA EN MEXICO

**En la Imprenta nueva Matritense de D. Felipe de Zúñiga
y Ontiveros, calle de la Palma, año de 1778.**

✠

**AL SEÑOR DON JOAQUIN
VELAZQUEZ DE LEON,**
Del Consejo de S. Mag. su Alcalde de
Corte honorario en esta Real Audiencia,
y Director general del importante
Cuerpo de la Minería de este Reyno
de Nueva España, &c.



Quien sino á V. S. pudiera con mas confianza ofrecer esta obri-lla, sin el temor de que desme-rezca su aprecio la cortedad del papel á que se ciñe? Bien sabe V. S. el mucho trabajo que se contiene en estas pocas ojas: pues para asentar un número, es necesario haber antes hecho innume-rables: para describir una línea, ya se han tirado muchas ocultas. ¡Trabajo á la verdad, que como no visto, no se dexa conocer del que no fuere inteligente! ¿Quantos son los que ha impendido V. S. solo para fixar un
pun-

punto? El de longitud, digo, de esta Ciudad, tan errado por los mejores Geógrafos de Europa; y aunque algunos de nuestros Matemáticos antiguos, que lo fueron el P. Rodríguez, Gabriel de Bonilla, y D. Carlos de Sigüenza y Góngora, en el siglo pasado, se acercaron bastante á la verdad; no han faltado en el presente algunos, que, queriendo obscurecer á aquellos la gloria, nos hayan retirado otras tantas leguas más, quantas los errados Mapas nos habian separado de nuestra legítima situacion. Por esto pues V. S. (sin embargo de los graves asuntos del Real Servicio, que lo condujeron á la California) no perdonó diligencia, ya haciendo por sí mismo las observaciones que el tiempo le proporcionaba en los lugares de su residencia; ya valiéndose de Prácticos, que dándole razon de las distancias y rumbos de otros (como lo expresa V. S. en su Mapa y manuscritos, que se ha dignado comunicarme); y ya finalmente midiendo las leguas vulgares que caminaba, y computándolas con las de á 50 varas mexicanas de á 31 pulgadas del pie

pie real de París: deduciendo de aquí las que podían caber en un grado de Equinoccial, ó círculo máximo, que igualarán á 264, que corresponden á las de á 50 varas mexicanas; hasta que con estos laboriosos arbitrios llegó á situar aquella Península en el lugar que le correspondía: de donde advirtiendo el error que hasta entonces se padecía, y discurriendo con bastante fundamento, que sería transcendental á toda la América Septentrional; luego que se regresó V. S. á esta Ciudad, solicitó verificar su longitud y latitud por medio de bastantes observaciones, teniendo yo el honor de acompañarle en muchas. Y aunque todavía no tenemos la última exáctitud y precisión (por no habernos llegado hasta ahora sus correspondientes de la Europa); con todo, podemos asegurar, que no excederá de un minuto de tiempo (siendo antes de mas de 18) la diferencia que hubiere entre la longitud así deducida; y la que diere la correspondencia de observaciones. A este efecto he construido la *Proyeccion Orthográfica universal* del Eclipse del día 24 de Junio,

Junio, que he puesto en manos de V. S.: pues por ser observable en todos los países cultos de la Europa, donde se tienen bien conocidas las longitudes, no dudo que con menos dificultad lleguen á nuestras manos algunas observaciones con que asegurarnos de la de México. Yo he tomado entretanto la de $27^{\circ} 8\frac{1}{2}$ grados, contados desde la Isla del Fierro, y suponiendo á París al Oriente de ella de 20° justos: asimismo por latitud, ó altura de polo boreal, la que hemos observado de $19^{\circ} 26'$. Baxo de estos principios formé el Cálculo del verdadero novilunio por las Tablas del Sol de M. de la Caille, corregidas, y reducidas á las de Tobias Mayer, y las de la Luna de este Autor, que sacó á luz nuevamente M. Maskelyn en Londres, despues de haberlas aquel perfeccionado: de cuya exáctitud nada hay que diga, como ni del trabajo de deducir por ellas el verdadero lugar de la Luna; pues basta con saber, que constan de 45 equaciones, 17 para la longitud, 13 para la paralaxe, y 15 para el movimiento horario. Y aunque por razon de la paralaxe, y de la po-

ca certeza que hay en observar el principio de qualquiera Eclipse de Sol, es poco segura la diferencia de meridianos que se deduce de su observacion; con todo, por la del fin, en que no puede haber un segundo de error, se tendrá cierta, si se usa del método que trae el Padre *Hell* en su observacion del Paso de Venus por el Sol hecha en la Isla de *Wardoë* el año de 1769. Por esta causa no he omitido aun la mas pequeña equacion en el cálculo del verdadero novilunio, ni omitiré diligencia que conduzca á la perfecta observacion á que V. S. se digna concurrir conmigo. Dios guarde la vida de V. S. los muchos años que puede, y yo deseo.

B. L. M. de V. S. su mas atento
amigo, y reconocido servidor

Antonio de Leon y Gama.

PA-

**PARECER DEL Dr. D. JOSE IGNACIO
Bartolache, del Claustro de la Real y Pontificia
Universidad de México.**

Excmô. Señor.

LA Obrita que V. Excâ. se ha servido remitir á mi censura, presentada por *Don Afonso de Leon y Gama*, en las doce folias útiles que refiere el anterior Pedimento, es una repetida prueba de la capacidad, ingenio y aplicacion de nuestros Americanos, y hablando en particular, lo es asimismo del talento é instruccion del Autor en la materia que trata. Esta *Descripcion Orbogrâphica universal* del Eclipse de Sol que debe acontecer el dia de mañana, es la resulta de un trabajo infinito, é inestimable al Justo, si no es por los verdaderos inteligentes; pero trabajo util, é importante para ciertos fines, que el vulgo no alcanza; no obstante que aun ese mismo vulgo admira la certeza y seguridad, con que un Astrónomo predice de muchos años antes, para determinado dia y hora, un fenómeno raro y memorable! Tales son los Eclipses, cuya profunda ciencia, y exquisito conocimiento, necesariamente supone una especie de comercio franco con el mundo celeste, mucho mañejo de los mejores Libros de esta noble facultad, y una continua aplicacion al estudio. De manera, que si se hace la cuenta por la arduidad que tiene la empresa de ser Astrónomo en donde quiera que sea, y especialmente aquí en nuestra América, donde tanto se dificultan los medios, y que por necesidad debe cada uno ser Maestro de si mismo en este género de literatura; es preciso confesar, que una mediana produccion, de la clase de esta, equivale á muchas de las mejores que se publican en otras partes, donde por dicha es mas varata esta erudicion, y nada escaso el premio á que se aspira.

Verdaderamente es muy apreciable esta pieza por dos motivos: el primero, por lo fino, delicado y exquisito de su método calculatorio. Estoy seguro, de que en ninguna parte del mundo culto se hace hoy mas en razon de Cálculos Astronómicos. Lo segundo, por lo raro de ella aquí en nuestra América: pues

pues tengo para mí, que nadie antes de ahora presentó cosa semejante al exámen, para darse á la prensa. Al menos no ha llegado á mi noticia; aunque no ignoro, que se han publicado aquí, en este, y el anterior siglo, algunas observaciones y cálculos, de los quales, aun los muy buenos, ó lo fueron precisamente para su tiempo, ó se limitaron á un objeto de menor extension, ó se produxeron con menos felicidad: y de qualquier modo que sea, nunca incluyeron la última precision, exáctitud, y primor que incluye esta Obrita, que no dudo logre la estimacion de los Sabios Astrónomos de la Europa, en caso de publicarse.

Al Autor le conozco muy de antemano, y debo decir, en obsequio de la verdad, y elogio suyo (si es que entiendo un poco de Matemáticas, por el largo uso de enseñarlas publicamente, con notorio aprovechamiento de mis oyentes) que en las repetidas ocasiones, que en otro tiempo, durante mi carrera literaria, concurrí con este Sugeto, para hacer alguna observacion astronómica, siempre admiré su infatigable aplicacion, y su gusto, perfectamente bien formado sobre los mejores modelos, de que tiene copia bastante, como tambien de instrumentos muy propios, y de la mejor construcción para las observaciones de longitud y latitud de México, y otras importantes, en que Yo tambien tuve parte.

Bajo de cuyos presupuestos, y el de no contenerse en esta Obrita nada que impida su publicacion, podrá V. Exca. siendo servido, conceder la licencia que se pide, y aun tambien mandar, que el Autor agregue á estas fojas, ó cuide de presentar por cuerda separada, y sin pérdida de tiempo, la observacion real, y efectiva del futuro Eclipse, en caso de que haya podido, ó querido hacerla; para que así se perfeccione la Obra, y el Público se instruya, y logre toda la utilidad de estas, y semejantes producciones. México y Junio 23. de 1778.

Dr. José Ignacio Bartolache.

EL Exmó. Señor Bailio Frey Don Antonio María Bucareli y Ursúa, Henestrosa, Laso de la Vega, Villacís y Córdova, Cavallero Gran Cruz, y Comendador de la de Tocina en el Orden de S. Juan, Gentil Hombre de Cámara de S. Mag. con entrada, Teniente General de los Reales Exércitos, Virrey, Governador y Capitan general de esta Nueva España, Presidente de su Real Audiencia, Superintendente General de Real Hacienda, Presidente de la Junta de Tabacos, Juez Conservador de este Ramo, y Subdelegado general de la Renta de Correos en el mismo Reyno &c. vista la antecedente Aprobacion del Dr. Don José Ignacio Bartolache, concedió su licencia para la impresion de esta Descripcion Orthographica universal del Eclipse de Sol que refiere, como consta de su Decreto de 8 de Julio de 1778.

DICTA-

DICTAMEN DEL Dr. D. JOSE URIBE,
Cura del Sagrario de la Santa Iglesia Metropolitana de México.

Señor Provisor.

LA Descripción Ortoográfica universal, ó Cálculo universal del Eclipse de Sol acaecido en el día 24 de Junio, que trabajó y presentó antes de dicho día *Don Antonio de León y Gama*, es digna por muchos títulos de la luz pública. Lo exquisito de estas Observaciones raras, aun en los Países en que se ha cultivado con mas esmero la Astronomía, y de cuya clase es esta la primera que se publica en nuestra América con tanta exactitud, y universalidad; y la importancia de estos Cálculos, por cuyo medio puede determinarse con la última precisión el punto de longitud de esta Ciudad, en que hasta ahora se ha padecido tan grande equivocacion, bastarian á hacer recomendables á esta Obra, y á su Autor. Aun la Religión, y la Iglesia interesan no poco en el estudio y aplicacion de los Astrónomos hábiles. Ellos á costa de penosos desvelos, y curiosas observaciones, nos hacen admirar de cerca la armoniosa fábrica de los Cielos, y nos presentan en el curso de los Astros, en sus aspectos, en sus tamaños y distancias, una hermosa demonstracion de la Sabiduría, el Poder, y la Providencia de Dios. Quan importante ha sido su trabajo para fixar la Chronologia, sólido fundamento de la Historia? Y quanto contribuyeron para restablecer á su propio tiempo el Equinoccio de Verano, alterado en el computo del Calendario antiguo, v. para la última reforma de éste en el Pontificado del Señor Gregorio XIII. en 1582? Punto de que dependian, no menos que la celebracion de la Pasqua en los tiempos señalados por el Concilio de Nicea, el arreglo del Calendario, y el orden de las principales solemnes fiestas de la Iglesia. Estos son otros tantos títulos del singular aprecio, á que son acredores los juiciosos, y sabios Astrónomos; en cuyo número debe justamente contarse *Don Antonio de León y Gama*, por sus ventajosos progresos en la Astronomía, los que muestr

bica

bien la observacion que pretende imprimir. V. S. siendo de su superior agrado, puede conceder la licencia que se pide, pues la Obra no contiene cosa alguna que se oponga á nuestra Santa Fé, pureza de costumbres, y Regalias de su Magestad. México y Agosto 12. de 1778.

José Uribe.

NOS EL DR. D. JOSE RUIZ DE CONEJARES,
Abogado de los Reales Consejos, Ordinario del Santo Oficio de la Inquisicion de este Reyno, Juez Provisor, Vicario General, Visitador, y Governador de este Arzobispado por el Illmo. Sr. Dr. D. Alonso Nuñez de Haro y Peralta del Consejo de S. M. Arzobispo de esta Santa Iglesia Metropolitana, &c.

POR el tenor del presente, y por lo que á Nos toca concedemos licencia al Suplicante, para que pueda dar á las Prenzas el Quadernillo que expresa, respecto á que reconocido de nuestra orden, no contiene cosa contra nuestra Santa Fé, buenas costumbres, ni Regalias de S. M. (Dios le guarde) con calidad de que no se dé al público, sin que primero por el Aprobante se coteje, y por el Oficio se tome razon. Dado en la Ciudad de México á diez y nueve de Agosto de mil setecientos setenta y ocho años. = M: F. = Dr. Ruiz. = Por mandado del Señor Provisor, Vicario General, Visitador, y Governador. = Jacinto Antonio Vazquez, Notario mayor.

DE-



DETERMINACION GRAPHICA
particular y universal del Eclipse de Sol
del dia 24 de Junio de 1778.



ENTRE las cosas mas curiosas de la Astronomía, es sin duda la mayor describir sobre un Mapa una figura que contenga todas las fases de un Eclipse de Sol, segun deben observarse en los lugares de la tierra por donde pasan las lineas que las representan. Esta invencion se debió á Kepler, y perfeccionó Casini, aunque otros la atribuyen á Wren; pero lo cierto es, que hasta el año de 1715, en que sacó á luz sus primeras Ephemerides *Eustaquio Manfredi*, no había habido Astrónomo que formase un Cálculo universal de los Eclipses de Sol, contentandose solo con hacerlo para aquella Ciudad donde escribían. Desde cuyo tiempo á acá no lo han executado mas que tres (que yo sepa) de los que han escrito Ephemerides, que son: el mismo Manfredi, en las que imprimió para Bolonia hasta el año de 1750; *Eustaquio Zanotto*, que le sucedió, en las que ha continuado desde el de 1751 para el propio lugar; y el *Abad de la Caille* en las que escribió para París. A más de estos, lo executaron en Francia *Madame le Tante*, y *M. de la Lande* en el Eclipse de 1 de Abril del año de 1764: aque-

(II)

aquella en la Carta gravada en París por *Lattré*; y éste en su obra de *Astronomía* de la segunda impresion. A imitacion pues de estos Autores he formado el presente Mapa, deducido de las *Longitudes y Latitudes* que resultan de la *Proyeccion Orbographica* general, prescindiendo, como ellos, de la refraccion, y del aumento del diámetro de la Luna, segun sus alturas sobre el Horizonte, que se supone constante en un Cálculo general. El particular de esta Ciudad, es en la forma siguiente.

Tiempo verdadero y civil del novilunio verdadero en México.	Junio 24 d. 9 h. 0' 2" de la mañ.
Lugar verdadero del Sol y Luna.	3° 3' 4' 1", 2.
Declinacion boreal del Sol.	23° 26' 23", 1.
Su semidiámetro.	15' 47", 1.
Su movimiento horario.	2' 23", 1.
Longitud del Nudo boreal de la Luna. 2° . 29' 27" 15"	
Su movimiento horario en la Eclíptica.	37' 35", 2.
El relativo, ó de la Luna á el Sol.	35' 12", 2.
Latitud boreal de la Luna.	19' 22", 5.
Su semidiámetro.	16' 40", 3.
Paralaxe horizontal del Sol.	0' 8", 5.
Paralaxe horizontal de la Luna.	61' 9", 15.
Diferencia de paralaxes.	61' 1", 15.
Obliquidad aparente de la Eclíptica.	23° 28' 6"
Angulo que forma ésta con el Meridiano, al Occidente.	88° 37' 9"
Inclinacion de la Orbita de la Luna con el Círculo de Latitud, al Occidente.	84° 22' 10"
De lo qual se deduce el principio del Eclipse á las	6 h. 26' 30" de la mañ.
Su medio, ó maxima obscuracion, á las 7 h. 29' 18"	
Su fin á las	8 h. 32' 0"
Toda su duracion.	2 h. 5' 30"
La cantidad eclipsada. 10 dig. 20' á la parte del Norte.	

(III)

Y pasando al Cálculo general, ò figura del Eclipse formada en la superficie de la tierra, en ella se representan con las líneas curvas que caminan de Occidente á Oriente, ó de la izquierda á la derecha, las fases ó dígitos eclípticos, en esta forma: la de abajo del Mapa, que cae á la parte austral de la tierra respecto de la línea central, es la de los contactos; y todos los lugares por donde camina, veerán solamente tocarse los limbos del Sol y Luna, y subiendo ázia la Orbita de ésta, tirando paralelas á ella, á distancia de la duodécima parte del diámetro del Sol, se determinarán los lugares por donde pasan, que vén el Eclipse de uno, de dos, ó mas dígitos, segun se hubiere hecho la division del diámetro del Sol. Yo lo he dividido de tres en tres dígitos, siguiendo la costumbre de los Autores referidos. Por lo qual, la segunda línea que sigue ázia arriba, es la que representa la phase de 3 dígitos: la tercera, la de 6, y así de las otras, hasta la que tiene la nota de *central*, que es la que corresponde á la Orbita de la Luna, y todos los lugares que se hallan situados debaxo de ella, veerán el Eclipse central, con tardanza en la sombra, por ser mayor el diámetro de la Luna que el del Sol de un minuto, y quarenta y seis segundos: y así será su *maxima obscuracion* de 12 dígitos, y 40 minutos.

Por ser tan corta, aunque boreal, la latitud de la Luna, se alcanzan á vér las mismas phases á la parte del Norte, respecto de la línea central; en los lugares por donde pasan las curvas respectivas, representadas en la figura: y en unas y otras se han deducido las *Longitudes y Latitudes* de media en media hora, desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde, y son las que se hallan en las dos Tablas denominadas: *De las mayores phases*; aunque en el Mapa (por obviar la confusion que resultaria de la multitud de líneas) solo

(IV)

se han representado de hora en hora con las que descienden desde la de los contactos ázia el polo ártico, y van señaladas con números romanos.

Las curvas cerradas de los lados, que terminan la figura, y se asemejan á ojas de alguna planta, son las que denotan el *principio, medio y fin* del Eclipse al *nacer, y ponerse el Sol*; y las *Longitudes y Latitudes* de los lugares por donde pasan, se contienen en las quatro Tablas que se hallan con estos títulos, en las que se incluye tambien la hora y minuto del orto y ocaso del Sol en cada paralelo. Asi éstas, como las demás-lineas que ván referidas, no son las mismas en todos los Eclipses, variando segun sus circunstancias, y por consiguiente la figura que describen.

La linea recta que descende desde el polo ártico, y vá dividida de diez en diez grados, representa el *primer meridiano*, que pasa por la Isla del Fierro, y donde se cuentan las *latitudes ó alturas de polo* de los lugares por donde pasan las curvas de las phases del Eclipse; y la otra, que la corta perpendicularmente, y vá tambien dividida de diez en diez grados, desde los 220 hasta terminar en el primer meridiano en 360, y de af comienza otra vez de diez en diez grados hasta los 60, representa la *Equinoccial*, donde se cuentan las *longitudes*, ó diferencia en tiempo, ó en grados que hay entre el primer meridiano, y el que se supone pasar por el lugar donde se solicita saber la cantidad y tiempo del Eclipse, como se dirá despues.

(V)

TABLA DE LAS LONGITUDES Y LATITUDES
de los lugares de la tierra donde se ve el Eclipse central
con tardanza en la sombra, ó de 12 dig. 40' y de donde se
vee solamente de 12 dig. justos á una y otra parte de la
línea central.

Hora.	Minuta.	De 12 dig. á la parte boreal respecto de la línea central.	De 12 dígitos 40 m. ó central con tardanza.	De 12 dig. á la parte austral respecto de la línea de la central.
		Longitud. Latitud.	Longitud. Latitud.	Longitud. Latitud.
		G. M. G. M.	G. M. G. M.	G. M. G. M.
6. 0.		257. 15. 18. 0. B.	257. 30. 16. 20. B.	257. 45. 15. 0. B
6. 30.		264. 0. 20. 10.	264. 22. 19. 40.	264. 38. 18. 0.
7. 0.		270. 23. 24. 30.	270. 45. 23. 0.	271. 0. 21. 20.
7. 30.		276. 15. 27. 30.	276. 37. 26. 0.	277. 0. 24. 30.
8. 0.		282. 23. 30. 30.	282. 30. 28. 30.	282. 45. 27. 20.
8. 30.		287. 37. 33. 20.	288. 0. 32. 0.	288. 15. 30. 0.
9. 0.		292. 52. 35. 50.	293. 11. 34. 15.	293. 30. 32. 40.
9. 30.		298. 0. 38. 10.	298. 22. 36. 40.	298. 37. 35. 0.
10. 0.		303. 8. 40. 10.	303. 23. 38. 40.	303. 37. 37. 0.
10. 30.		308. 15. 41. 40.	308. 30. 40. 20.	308. 45. 38. 40.
11. 0.		313. 40. 42. 40.	313. 39. 41. 30.	313. 45. 39. 45.
11. 30.		318. 36. 43. 20.	318. 45. 42. 30.	318. 52. 41. 0.
12. 0.		323. 30. 44. 0.	323. 30. 43. 0.	323. 45. 41. 30.
12. 30.		328. 45. 44. 20.	328. 41. 43. 10.	328. 40. 41. 45.
1. 0.		334. 0. 44. 20.	334. 0. 43. 10.	334. 0. 41. 45.
1. 30.		339. 20. 44. 15.	339. 15. 43. 0.	339. 15. 41. 40.
2. 0.		344. 45. 43. 45.	344. 38. 42. 30.	344. 30. 41. 10.
2. 30.		350. 15. 43. 0.	350. 0. 41. 50.	349. 45. 40. 20.
3. 0.		355. 37. 41. 50.	355. 35. 40. 30.	355. 7. 39. 0.
3. 30.		1. 15. 40. 20.	1. 0. 39. 0.	0. 40. 37. 10.
4. 0.		6. 52. 38. 0.	6. 35. 37. 0.	6. 15. 35. 0.
4. 30.		12. 45. 36. 0.	12. 0. 34. 40.	12. 15. 33. 0.
5. 0.		18. 50. 33. 45.	18. 33. 32. 30.	18. 15. 30. 40.
5. 30.		25. 7. 30. 50.	24. 52. 29. 30.	24. 37. 27. 40.
6. 0.		31. 45. 27. 40.	31. 30. 26. 30.	31. 15. 24. 40.

(VI)

TABLA DE LAS MAYORES PHASES BOREALES,
que se representan en las líneas australes, respecto de la
central.

Hora.	Minuta.	De 9 dig. á la parte boreal del Sol.				De 6 dig. á la parte boreal del Sol.				De 3 dig. á la parte boreal del Sol.				Contacto á la parte boreal del Sol.			
		Longitud. Latitud				Longitud. Latitud				Longitud. Latitud				Longitud. Latitud			
		G.	M.	G.	N.	G.	M.	G.	M.	G.	M.	G.	M.	G.	N.	G.	M.
6. 0.		258.35.		5.30. B		259. 0.		2. 0. A		•		•		•		•	
6.30.		265.38.		9.15.		266.15.		1. 0. B		266.15.		7. 0. A		265.40.		13.30. A	
7. 0.		272.23.		12.15.		273. 0.		4. 0.		273.15.		4. 0.		271. 8.		15.40.	
7.30.		278.30.		15.40.		279.30.		7. 0.		279.45.		1. 0.		279.45.		9.40.	
8. 0.		284.15.		18.40.		285.22.		10. 0.		286. 0.		8. 0. B		286. 0.		6.30.	
8.30.		289.45.		21.30.		291. 0.		13.10.		291.30.		4.45.		291.55.		3.10.	
9. 0.		294.52.		24.15.		295. 7.		15.50.		295.50.		7.45.		297.15.		0.20.	
9.30.		300. 0.		26.30.		301. 7.		18.20.		301.52.		10. 0.		302.20.		2. 0. B	
10. 0.		304. 0.		28.20.		305. 0.		20. 0.		306.30.		12.30.		307. 0.		4. 0.	
10.30.		309.45.		30.15.		310.33.		21.50.		311.15.		14.15.		311.45.		6.15.	
11. 0.		314.30.		31.40.		315.15.		23.20.		315.45.		16. 0.		316.15.		7.45.	
11.30.		319.22.		32.30.		319.45.		24.40.		320. 7.		17.30.		320.30.		9.15.	
12. 0.		324. 0.		33. 0.		324.15.		25.30.		324.38.		18. 0.		324.53.		10. 0.	
12.30.		328.40.		33.30.		328.52.		26. 0.		329. 0.		18.10.		329.15.		10.30.	
1. 0.		333.37.		33.30.		333.30.		25.50.		333.30.		18. 0.		333.37.		10.30.	
1.30.		338.40.		33. 0.		338. 7.		25.30.		337.52.		17.30.		338. 0.		10. 0.	
2. 0.		343.38.		32.30.		343. 0.		25. 0.		342.40.		16.40.		342.40.		9.10.	
2.30.		348.55.		31.40.		348. 8.		23.50.		347.40.		15.45.		347.30.		8. 0.	
3. 0.		354. 0.		30.15.		353.15.		22.30.		352.45.		14.25.		352.30.		6.30.	
3.30.		359.22.		28.40.		358.30.		20.30.		357.56.		12.30.		357.57.		4.30.	
4. 0.		5. 0.		26.45.		4. 7.		18.30.		3.38.		10. 0.		3.30.		2.20.	
4.30.		10.53.		24.45.		10. 8.		16.15.		9.30.		8. 0.		9.37.		0. 0.	
5. 0.		16.55.		22. 0.		16.10.		13.30.		15.45.		5. 0.		16. 8.		2.40. A	
5.30.		23.30.		19. 0.		22.25.		10.20.		22.45.		2.30.		23. 0.		6. 0.	
6. 0.		30.20.		15.40.		29.55.		7.20.		30. 0.		0.30. A		•		•	

(VII)

ABLA DE LAS MAYORES PHASES AUSTRALES,
que se representan en las lineas boreales, respecto de la
central.

Meses. 1866.	De 9 dig. á la parte austral del Sol.				De 6 dig. á la parte austral del Sol.				De 3 dig. á la parte austral del Sol.				Contacto á la parte austral del Sol.			
	Longitud. Latitud				Longitud. Latitud				Longitud. Latitud				Longitud. Latitud			
	G.	M.	G.	M.	G.	M.	G.	M.	G.	M.	G.	M.	G.	M.	G.	M.
4. p	255.	30.	27.	0. B	252.	45.	37.	30. B	248.	45.	50.	30. B	239.	45.	73.	0. B
6.30.	262.	0.	30.	30.	259.	8.	47.	20.	254.	45.	54.	30.	245.	15.	77.	30.
7. o	268.	15.	33.	50.	265.	15.	44.	30.	260.	45.	57.	45.	251.	0.	81.	0.
7.30.	274.	15.	37.	0.	271.	0.	47.	40.	266.	30.	61.	0.	257.	45.	83.	30.
8. o	279.	52.	40.	0.	277.	0.	50.	10.	272.	30.	63.	30.	264.	45.	84.	40.
8.30.	285.	28.	42.	40.	282.	38.	52.	40.	278.	30.	65.	40.	271.	15.	85.	20.
9. o	290.	52.	44.	50.	288.	15.	55.	30.	284.	30.	67.	30.	278.	45.	86.	25.
9.30.	296.	15.	47.	0.	294.	0.	57.	10.	290.	52.	69.	0.	286.	0.	87.	0.
10. o	301.	38.	46.	30.	299.	45.	58.	45.	297.	15.	70.	0.	293.	15.	87.	15.
10.30.	307.	7.	49.	45.	305.	30.	60.	0.	303.	30.	70.	40.	300.	38.	87.	0.
11.30.	312.	30.	50.	40.	311.	22.	60.	30.	309.	53.	71.	0.	307.	52.	86.	45.
12. o	318.	0.	51.	20.	317.	15.	61.	0.	316.	55.	71.	20.	315.	15.	86.	30.
12.30.	323.	26.	51.	40.	323.	10.	61.	30.	322.	52.	71.	30.	322.	37.	86.	45.
1. o	328.	52.	52.	0.	329.	0.	61.	30.	329.	45.	71.	40.	330.	4.	85.	0.
1.30.	334.	30.	52.	15.	335.	10.	62.	0.	335.	15.	72.	0.	337.	25.	87.	0.
2. o	340.	10.	52.	15.	341.	15.	62.	0.	342.	30.	72.	10.	344.	45.	87.	0.
2.30.	345.	15.	51.	45.	347.	15.	61.	40.	349.	10.	72.	10.	352.	7.	87.	15.
3. o	351.	30.	51.	10.	353.	15.	60.	50.	355.	40.	71.	50.	359.	30.	87.	15.
3.30.	357.	15.	50.	15.	359.	22.	59.	50.	362.	15.	71.	20.	365.	52.	87.	0.
4. o	3.	0.	48.	45.	5.	23.	58.	30.	8.	45.	70.	30.	14.	15.	87.	20.
4.30.	8.	52.	47.	0.	11.	30.	57.	0.	15.	15.	69.	0.	21.	38.	87.	0.
5. o	14.	52.	45.	30.	17.	17.	55.	15.	21.	30.	67.	30.	28.	50.	87.	0.
5.30.	20.	52.	42.	45.	23.	52.	53.	0.	28.	15.	65.	50.	36.	15.	86.	45.
6. o	27.	7.	40.	0.	30.	8.	50.	20.	34.	30.	63.	30.	42.	0.	85.	0.
6.30.	33.	45.	37.	10.	36.	30.	47.	40.	40.	52.	60.	40.	49.	30.	82.	30.

TA.

(VIII)
TABLA DEL MEDIO DEL ECLIPSE
 al nacer el Sol.

PHASES.	Longitud		Latitud.		Orto del Sol
	G.	M.	G.	M.	H. M.
Contacto de los limbos á la parte austral del Sol.	206.	15.	56.	0.B	3. 24.
3 dígitos á la parte austral del Sol.	226.	0.	43.	0.	4. 23.
6 dígitos á la parte austral.	237.	8.	33.	0.	4. 54.
9 dígitos australes.	244.	0.	25.	0.	5. 13.
12 dígitos.	249.	38.	17.	0.	5. 29.
Central con tardanza.	251.	23.	15.	30.	5. 33.
12 dígitos.	251.	0.	14.	45.	5. 35.
9 dígitos á la parte boreal del Sol.	256.	15.	5.	30.	5. 50.
6 dígitos boreales.	259.	38.	2.	0.A	6. 3.
3 dígitos boreales.	262.	15.	8.	0.	6. 14.
Contacto á la parte boreal.	264.	30.	14.	0.	6. 25.

TABLA DEL MEDIO DEL ECLIPSE
 al ponerse el Sol.

PHASES.	Longitud		Latitud.		Ocaso del Sol
	G.	M.	G.	M.	H. M.
Contacto de los limbos á la parte austral del Sol.	98.	45.	62.	0.B	9. 40.
3 dígitos á la parte austral del Sol.	71.	8.	51.	20.	8. 10.
6 dígitos á la parte austral.	58.	38.	42.	0.	7. 33.
9 dígitos á la parte austral.	50.	8.	34.	0.	7. 8.
12 dígitos.	43.	45.	26.	0.	6. 49.
Central.	42.	52.	25.	0.	6. 46.
12 dígitos.	41.	53.	23.	30.	6. 43.
9 dígitos á la parte boreal del Sol.	37.	0.	15.	30.	6. 37.
6 dígitos á la parte boreal.	33.	15.	7.	30.	6. 13.
3 dígitos á la parte boreal.	30.	0.	0.	30.A	6. 0.
Contacto á la parte boreal.	28.	0.	6.	0.	5. 50.

(XI)
TABLAS DEL PRINCIPIO Y FIN DEL ECLIPSE
al nacer y ponerse el Sol.

Paralelo.	Principio y fin al nacer el Sol. Principio y fin al ponerse el Sol											
	Princip.		Fin.		Orto del Sol		Princip.		Fin.		Ocaso del Sol	
	Longitud G. M.		Longitud G. M.		H. M.		Longitud G. M.		Longitud G. M.		H. M.	
60. B.	*	*	*	*	95. 45.	86. 30.	9. 16.					
55.	209. 45.	204. 30.	3. 26.	85. 0.	70. 45.	8. 34.						
50.	221. 45.	210. 15.	3. 54.	79. 8.	60. 0.	8. 6.						
45.	232. 15.	215. 30.	4. 17.	73. 15.	51. 23.	7. 43.						
40.	240. 9.	220. 9.	4. 35.	68. 15.	43. 45.	7. 25.						
35.	246. 30.	223. 53.	4. 49.	64. 23.	38. 10.	7. 11.						
30.	252. 15.	227. 0.	5. 2.	60. 30.	33. 23.	6. 58.						
25.	257. 30.	231. 0.	5. 14.	56. 45.	29. 0.	6. 46.						
20.	261. 38.	234. 8.	5. 24.	53. 30.	25. 56.	6. 36.						
15.	265. 7.	237. 23.	5. 34.	50. 0.	23. 30.	6. 26.						
10.	267. 30.	240. 7.	5. 42.	47. 0.	22. 0.	6. 18.						
5.	269. 40.	243. 15.	5. 51.	43. 23.	20. 53.	6. 9.						
0.	271. 15.	246. 30.	6. 0.	39. 30.	20. 45.	6. 0.						
5. A.	271. 45.	250. 38.	6. 9.	32. 15.	24. 0.	5. 51.						
6.				28. 0.	28. 0.	5. 50.						
10.	269. 45.	256. 30.	6. 18.	*	*	*						
14.	264. 30.	264. 30.	6. 25.	*	*	*						

Los puntos donde cierran las curvas de los lados, así á la parte del Norte, como á la del Medio dia, representan un lugar donde se vén en un instante las tres fases, esto es, el principio, medio y fin del Eclipse al nacer y ponerse el Sol. Y como estos puntos sean desde donde comienza la línea de los contactos, se reducen las tres fases á un simple momentaneo tocamiento de los márgenes del Sol y Luna; y las líneas que salen de ellos son las de los límites que separan los lugares de la tierra en que no se veirá Eclipse alguno, de los en que

(X)

que será visible mas ó menos, segun que se acercaren á la central: y siendo el espacio comprehendido entre ambas lineas de los contactos igual á la doble suma de semidiámetros, contado éste sobre el meridiano fixo de la Proyeccion Orthográphica desde 10 grados de latitud septentrional, hasta los $87\frac{1}{2}$, resulta ocupar la doble suma de semidiámetros setenta y siete grados y medio. Y aunque un grado de círculo maximo es igual á 57060 toesas, (medida de París) y por consiguiente á 26 y poco mas de media leguas mexicanas; pero como por las observaciones hechas en nuestros tiempos por los mejores Astrónomos y Geógrafos de Europa, en el Reyno de Quito, en Francia, y en la Laponia, se haya venido en conocimiento de no ser la tierra perfectamente esférica; sino esferoídica, ó compresa ázia los polos, variando aun los mismos Autores sobre la proporcion de sus dos diámetros; he tomado por medio, contar unos con otros los grados, de á 25 leguas mexicanas: y á este respecto se tendrá la distancia que ocupa el Eclipse, de Norte á Sur, desde el primero hasta el último contacto exterior, que será la de $1937\frac{1}{2}$ leguas de á cinco mil varas mexicanas cada una.

De la misma manera en la linea central, en que caminando la sombra de la Luna de Occidente á Oriente desde que nace el Sol totalmente eclipsado, en un lugar cuya longitud es de $251^{\circ} 23'$ hasta que del mismo modo se oculta en otro de $42^{\circ} 52'$ se regulan á los $151^{\circ} 29'$ que resultan, que ha corrido en el tiempo de la maxima obscuracion poco mas de 3332 leguas, tomando un medio entre las $26\frac{1}{2}$ mexicanas, y las castellanas de á $17\frac{1}{2}$ en grado, por separarse de la Equinoccial hasta mas de 43° de altura de polo. Y este espacio es el que camina la linea central sobre la tierra: cuya area no es muy fácil computar; pues por irse disminuyendo

(XI)

yendo los círculos conforme vá subiendo la línea ázia el polo ártico, y aumentandose despues segun vá descendiendo otra vez, era necesario quadrar varias curvas, que demandaban unos delicadísimos cálculos analíticos.

La línea de los contactos á la parte del Sur de la central, comienza desde $264^{\circ} 30'$ de longitud, y 14° de latitud austral al Oriente de la Isla de San Pablo en el mar del Sur; y subiendo ázia el Norte, pasa por Puerto viejo y Quito, y cortando la Equinoccial, sube por la tierra firme del Perú hasta 11° de altura de polo boreal: desde donde descendiendo, entra en el Oceano, pasando por las Islas de Margarita, Tobago y Trinidad, hasta cortar otra vez la Equinoccial por la Isla de San Matéo; y corriendo por el Oceano etiópico, llega hasta los 28 grados de longitud, y 6° de latitud austral en las costas de Guinea: cuyos habitadores solo veerán, al ponerse el Sol, un simple contacto del limbo boreal de éste, y el austral de la Luna. Y esta será la línea divisoria de los lugares de la tierra á quienes no alcanza el Eclipse, y de los en que comienza á observarse; siendo el primero donde se ve el principio del Eclipse al nacer el Sol, el que se halla en el paralelo de ocho grados y medio de latitud boreal, y $268\frac{1}{2}$ de longitud, á las 5 h. 46 m. de la mañana, que corresponde en el mar del Sur.

La línea que representa la phase de 3 dígitos, empieza en el mismo mar del Sur en $262^{\circ} 15'$ de longitud, y 8° de latitud austral, y pasando por varias Islas, corta la Equinoccial, subiendo por el Golfo de Panamá, y caminando por Puertovelo, Cartagena, é Isla de Santo Domingo, hasta 19° de latitud boreal, y 354° de longitud en el mar del Norte: desde donde vá descendiendo, y atravesando por la Africa, parte de la Guinea, termina en la Equinoccial en 30° de longitud, donde se ocul-

(XII)

oculta el Sol con 3 dígitos oscurecidos á la parte del Norte.

La tercera línea denominada de 6 dígitos, comienza al nacer el Sol, desde $259^{\circ} 38'$ de longitud, y 2° de latitud austral, en el propio mar del Sur, cerca de las Islas de Salomón; desde donde subiendo hasta 13° de latitud boreal, y $271'$ de longitud, entra en la tierra, atravesando parte de Veragua y Granada en la Costarica, y saliendo al Golfo de México, pasará por las Islas de San Andrés, y Santa Catarina, Cabo de Gracias á Dios, y parte de Jamayca, é Isla de Cuba, y entrará en el Océano, subiendo hasta 26° de latitud, y 329° de longitud: desde donde descendiendo hasta 20° de latitud, entra en la Africa por el Desierto de Azgar y Sara, y baxando por la Etiopia inferior, ó Nigrícia no conocida, se oculta el Sol eclipsado la mitad á las 6 h. $13'$ de la tarde, en la Etiopia superior á $33^{\circ} 15'$ de longitud, y $7\frac{1}{2}^{\circ}$ de latitud boreal.

La línea de 9 dígitos comienza tambien en el mar del Sur al nacer el Sol en el paralelo de $5\frac{1}{2}^{\circ}$ de latitud boreal, y $256^{\circ} 15'$ de longitud; y vá subiendo hasta 16° de latitud, y 270° de longitud, en que entra en la tierra por la Isla de Sacrificios; y pasando por Huatulco y Huamelula, Tecoantepec, y cortando la Serranía del Obispado de Oaxaca, sale por el rio de Guazacoalco, y Baía de Campêche al Seño Mexicano; y volviendo á entrar en tierra, pasará por Valladolid en Yucatan: de donde saliendo otra vez al mar, pasará por la Havana y Puerto de Matanzas, subiendo por las Islas Lucayas hasta $33\frac{1}{2}^{\circ}$ de altura de polo, y $334'$ de longitud: desde donde vá descendiendo, y pasando por las Canarias, entra por la tierra de Berbería, caminando por Tafílete, y atravesando aquel Desierto, hasta ponerse el Sol á las 6 h. 27 en Gaoga de la Nigrícia, á 37° de longitud. y

(XIII)

15½ de latitud boreal; donde terminará la línea de 9 dígitos á la parte boreal del Sol.

Comenzará la línea central en el propio mar del Sur, desde 15° 30' de latitud septentrional, y 251° 23' de longitud; y corriendo hasta los 271° y 23° de altura de polo, entrará en la tierra por entre los rios de Piaztla, y Mazatlan, y pasando por el Real del Rosario, Sombrerete, Villa del Nombre de Dios en la Nueva Vizcaya, cortará el rio de las Palmas, y atravesando el Nuevo Reyno de Leon, y Lago de San Joseph, saldrá al Golfo de México por la Baía de San Bernardo, nombrada por los Franceses *San Luis*, en altura de polo de 29° y 28.4° de longitud. Y entrando otra vez en la tierra por el Cabo del Norte, atravesará el rio Misisipi en la Luisiana, por la tierra á dentro (dexando al Sur la Nueva Orleans, donde solo lo veerán de poco mas de 11 dígitos) y cortando parte de la Florida, y la Georgia y Carolina, entrará en el mar Atlántico, ó del Norte, subiendo hasta 43° 10' de altura de polo: desde donde descenderá, y pasando por las Islas de los Azores, atravesará el Estrecho de Gibraltar, entrando en la Africa, y cortando el Reyno de Argel, Tunez, parte del mar Mediterraneo, Reyno de Tripoli, y parte del Egypto, sin llegar al Trópico de Cáncer, por terminar la línea central en altura de polo boreal de 25° y 42.52' de longitud: en cuyo lugar se oculta el Sol todo eclipsado, á las 6 h. 46'

La línea de 12 dígitos á una y otra parte de la central, denota, que en los lugares por donde pasa, se veerá el Eclipse total sin tardanza, empezando á descubrirse el Sol inmediatamente que se oculta todo; y se veerán estas fases en los lugares no muy distantes ázia uno y otro polo de los de la línea central.

La de 9 dígitos australes, á la parte del Norte de

(XIV)

La central, tomará su principio al nacer el Sol, en 25° de latitud boreal, y 244° de longitud, en el mar Pacífico, y subiendo hasta los 30½ de latitud, y 261° de longitud, se entra en la California por la Punta de San Felix, pasando por el parage de San Juan de Dios, y la Misión nueva de San Fernando Villacatá, y atravesando el Canal de Ballenas, la Isla de Santa Inés ó Guadalupe, y el Mar Bermejo de Cortés, entra en la tierra, dexando al Nor-oest la Sierra de Santa Clara, y cortando los rios de los Apóstoles y Caborca, Misiones de Santa Teresa y Aribac, y Presidio de Tubac en lo mas Septentrional de la Provincia de Sonora, atravesará por los Apaches un gran espacio incógnito del Nuevo México, pasará por la Luisiana, Virginia, Pensilvania, Nueva York, Nueva Inglaterra, y Nueva Escocia, y cortando el Golfo de San Lorenzo, pasa por Tierra nueva, entra en el Océano Atlántico, y subiendo hasta 52° 15' de latitud, y 334½° de longitud, desciende hasta entrarse en la Europa por la Baía de Vizcaya, y atravesando á Pamplona, montes Pirineos, Bayona y Barcelona, entra en el Mediterraneo; y pasando por las Islas de Mallorca y Menorca, Cerdeña, Reyno de Sicilia, é Isla de Cándia, terminará en el proprio mar Mediterraneo en altura de polo de 34° y de longitud 50° 8' cerca de la Isla de Chipre.

La de 6 dígitos comienza en el mismo mar Pacífico, ó del Sur, en altura de polo de 33° y 237° 8' de longitud, y caminando para el Norte, entrará atravesando el río Colorado, ó de los Mártires, y pasando por el país de los Tehuas, en la tierra septentrional no conocida del Nuevo México, cortandola toda, y subiendo al Norte de la Canadá, pasará por la Nueva Bretaña, y Estrecho de Bell' Isle, por donde entrará al Océano, y subiendo hasta 62° de altura de polo, cortará

(XV)

rá parte de la Groenlandia: desde donde descenderá, y pasando por las Islas Británicas, atravesará el mar de Dinamarca, entrando en la tierra por la Holanda, y pasando por la Francia al Norte de Paris, caminará por la Alemania, corriendo por Praga y Presburg, y atravesando en la Ungría la Transilvania y Moldavia, entrará en el Ponto Eugino, terminando en 42° de altura de polo, y $58^{\circ} 38'$ de longitud.

La línea de 3 dígitos australes comenzará en 43° de latitud boreal, y 226° de longitud, en el mar del Sur; y subiendo hasta los 45° entra en la tierra por la Nueva Albion, y continuando á subir hasta el Cabo de Smith, atravesará la Baía de Hudson, y pasando por la Isla de Buena fortuna, Cumberland, Isla de Santiago, y Estrecho de Davis, sube por la Groenlandia hasta $72^{\circ} 10'$ de altura de polo: desde donde descenderá, y entrará en el Océano septentrional, y llegando á la tierra por entre la Noruega y Laponia, cortará el Golfo de Botnia, la Finlandia y Rusia, hasta ocultarse el Sol en Astracan eclipsado de 3 dígitos, en altura de polo de $51^{\circ} 20'$ y $71^{\circ} 8'$ de longitud.

La línea finalmente de los contactos, que termina á el Norte todas las plases, comienza en la Tierra no conocida descubierta por los Moscovitas, en altura de polo de 56° y $206^{\circ} 15'$ de longitud; y subiendo por aquellos países incógnitos septentrionales (dexando al Sur la Baía de Bafins) hasta los $87^{\circ} 20'$ de latitud, descenderá desde allí, cortando á Spitzbergen, y Nueva Zembla, hasta ponerse el Sol en la Siberia en altura de polo de 62° y $98^{\circ} 45'$ de longitud. Pero á los habitantes de los paralelos mas septentrionales, desde el de $66^{\circ} 33' 37''$ complemento de la declinacion del Sol, no se les ocultará éste, y carecerán de noche, teniendo un dia continuado mas ó menos grande, segun estuvieren mas

(XVI)

mas ó menos cerca del polo ártico. Será pues el último lugar de la tierra donde se vea el fin del Eclipse al mismo tiempo de ponerse el Sol, en la Nigricia, á $17\frac{1}{2}^{\circ}$ de altura de polo boreal, y 24° de longitud.

Todos los lugares que van referidos distan entre sí la quarta parte del diámetro del Sol ázia uno y otro polo; pero el que fuere curioso puede dividir el espacio comprehendido entre linea y linea, en tres partes iguales, y tendrá las phases de un dígito, de dos, &c. y tomando con el compaz la longitud y latitud en las líneas rectas que representan la Equinoccial, y primer meridiano, hasta donde estuviere el punto que desea saber, lo buscará en un Globo, ó en los Mapas Geográficos, y hallará el lugar que veerá la phase que solicita, é igualmente la hora en que sucede, que le denotará la figura. Al contrario, si sabida la longitud y latitud de un lugar conocido, se pretende saber de qué tamaño, y á que hora será allí el Eclipse, se tomará en dichas líneas la longitud y latitud, y el punto del concurso dará la magnitud y hora del Eclipse en aquel lugar. Por exemplo, en Madrid, cuya longitud es de 14° y su latitud 40° b. se solicita saber la cantidad del Eclipse, y hora en que sucede: tómese en la linea de la Equinoccial la distancia de 14° y pásese desde el punto 40 del primer meridiano, y se hallará, que á las 4 h. 45' de la tarde se veerá en Madrid el Eclipse de mas de 11 dígitos.

- N. B. El método gráphico de un Cálculo general de Eclipses no tiene aquella exactitud rigorosa que el que se hace por Trigonometría, ó por la altura del Nonagesimo, ó finalmente por la diferencia de altura, y azimuth de los dos astros; y solo se executa para anunciar á los Astrónomos, como en la Carta citada de Madama le Poute, el tiempo y quántidad del Eclipse á poco mas ó menos, para que si quisieren, hagan el Cálculo mas rigoroso

(XVII)

goroso para aquel parage donde han de hacer la observacion, y se prevengan á ella. Pero si alguno quisiere tomar el gran trabajo de calcular las Tablas de las mas grandes phases del Eclipse hasta la última precision, véa el método analítico de M. du Séjour en sus *Advertencias sobre la Gnomónica &c.* y en las Memorias de la Academia Real de Paris de los años de 1765, 66 y 67, de donde sacó M. de la Laude las Tablas que trae desde la pagina 551 del segundo tomo de su *Astronomia*, de las diferentes phases, y países de la tierra en que se vieron en el Eclipse de 1 de Abril de 1764.

Todos los lugares que se ponen en éste son los que se han juzgado situados con mas certeza, omitiendo otros que causan no poca confusion, segun lo desfigurados que se hallan sus nombres en los Mapas, y diversas situaciones en que los ponen: cuyos defectos se padecen generalmente en los de la América. Por esta causa me he valido solamente del de el Señor Don Joaquin Velazquez en los lugares que contiene desde México á la California; y de los dos de M. Anville para lo mas septentrional de la América; deduciendo de un Globo Inglés hecho sobre las mas recientes observaciones, los países de la Europa, que creo bien situados en él.



E

OBSER-

(XVIII)

OBSERVACION

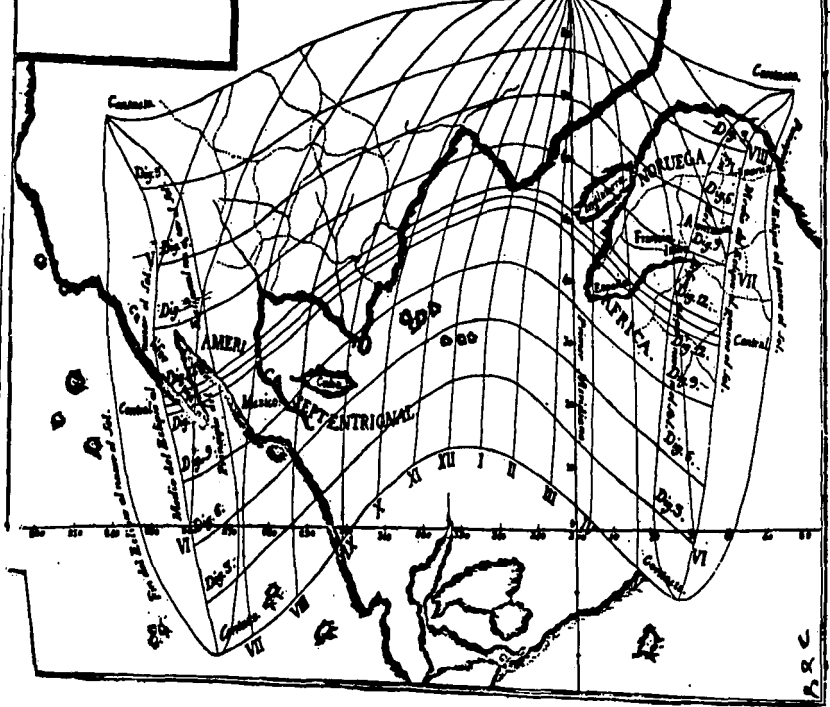
DEL ECLIPSE ANTECEDENTE,

Hecha en México el día 24 de Junio de 1778.

A Ntes de referir qualquiera observacion, es necesario dar noticia del lugar donde se hace, é instrumentos con que se executa. La presente del Eclipse de Sol del día 24 de Junio se hizo en esta Ciudad de México, en el parage nombrado *Buena vista*, distante al Occidente del centro, ó Iglesia mayor de ella 1961 varas mexicanas de á 31 pulgadas del pie real de París cada vara; y por consiguiente 844 toesas, y dos pies, ó 53" de grado; pero en el mismo paralelo, ó altura de polo, que por las repetidas observaciones hechas por mí, es la de 19° 25' 53", menor de 5" de la que por las suyas ha sacado el Señor Don Joaquin Velazquez, en otro lugar mas ázia el Norte.

El Relox de péndula es construido segun la fábrica moderna, con la diferencia de no tener el péndulo compuesto; pero de tal manera fabricado, que no padece mutacion sènsible; porque á mas de pesar su lente 24 libras, la vara de laton que la sustenta (que pesa 3) tiene tan cerrados á golpe sus poros, que no está sujeta á las variaciones de la atmosfera, ó á la dilatacion y contraccion que sienten los metales no preparados, por causa del calor y frio: lo que prueba, que habiendo baxado el mercurio en el Termómetro de Farhenheit (encerrado en un quarto que cae al Norte) en quatro dias, ocho lineas de su division, desde la 72, hasta la 64, solo varió el Relox 6 décimas de un segundo. A el lado del Relox puse otro Termómetro de Reaumur, no de espiritu, sino
de

*Trazado de la sombra Parumbra
de la Luna sobre la superficie de
la Tierra, en el Eclipse del día 24
de Junio de 1778.*



(XIX.)

de azogue: ambos son sensibilísimos, hechos en Londres por Nairne, y Elunt: cuyos tubos no tocan á la lámina, sino que quedan colgados en el aire; y por esta causa sienten inmediatamente la mas ligera mutacion.

Los anteojos que sirvieron en la observacion, fueron, el uno achromático de 10 pies, en que la executó el Señor D. Joaquin Velazquez, con un micrómetro filar (á efecto de tomar las distancias de los cuernos, si el tiempo lo huviera permitido) fabricado en Paris por M. Canivet. El otro, con que yo observé, es un Theloscopio Gregoriano de M. Short de 2 pies de Londres, cuyo espejo mayor tiene de diámetro 4 pulgadas del mismo pie, y aumenta 53 veces mas el objeto.

A mas de estos instrumentos estaba puesto un Quadrante de un pie de radio; de tal manera perpendicular al plano del horizonte, que volteandolo por todos lados, el hilo á plomo, que era un cavello, batía siempre en un mismo punto: este tiene un antejo tambien achromático con su micrómetro dividido en 100 partes, que señala un índice á cada vuelta del tornillo que lleva el hilo movable; corriendo este todo el campo del antejo en 12 bueltas. Cada parte de las 100 es igual á 6 segundos, y por consiguiente todas, ó la vuelta entera del tornillo, igual á 10 minutos. Este Quadrante estaba así preparado, tanto para tomar las alturas del Sol correspondientes, y corregir por ellas el Relox (como lo hice en los dias 23, y 25) quanto para tomar tambien en el mismo acto de la observacion la verdadera altura del Sol, y deducir el tiempo verdadero, en el caso infeliz de que el Relox huviera entonces padecido algun accidente.

Esto supuesto, el dia 23 comencé á tomar las alturas correspondientes, que por causa de varias nubes que continuamente se le interponian al Sol, no pudieron lograrse por la tarde mas que las seis siguientes.

Dis-

(XX)

Distancia del lim- bo inferior del Sol al vértice.		Tiempo antes del medio día.			Tiempo des- pués del me- dio día.			Verdadero medio día en el Relox.		
G.	M.	H.	M.	S.	H.	M.	S.	H.	M.	S.
24.	0	10.	22.	50	13.	46.	50	12.	4.	50
22.	0	10.	32.	36						
19.	30	10.	42.	37						
19.	0	10.	44.	48	13.	24.	57	12.	4.	52,5
18.	0	10.	49.	11	13.	20.	30	12.	4.	50,5
17.	0	10.	53.	36	13.	16.	06	12.	4.	51
16.	0	10.	58.	2	13.	11.	40	12.	4.	51
15.	0	11.	2.	31	13.	7.	8	12.	4.	49,5
Medio día medio. —								12. 4 50,7:		

El día 24 no pude tomar altura alguna, porque á poco tiempo después de la observacion ya no se dexó ver mas el Sol hasta cerca del medio día, volviendose á ocultar inmediatamente entre unas nubes densas, y opacas, que cubrian todo el Cielo, y no se desvanecieron hasta la mañana del día siguiente 25, en que de las doce alturas que tomé antes del medio día, solo pude lograr por la tarde las nueve correspondientes, que ván puestas en la siguiente Tabla.

(XXI.)

Distancia al vértice del limbo inferior del Sol.	Tiempo antes del medio día.	Tiempo después del medio día.	Verdadero medio día en el Relox.
G. M.	H. M. S.	H. M. S.	H. M. S.
32. 30	9. 46. 5.	14. 24. 27	12. 5. 16
29. 30	9. 59. 8.	14. 11. 22	12. 5. 15
28. 0	10. 5. 40.	14. 4. 50	12. 5. 15
27. 0	10. 10. 2.	14. 0. 26	12. 5. 14
26. 0	10. 14. 25.	13. 55. 2	12. 5. 13,5
25. 0	10. 18. 46.	13. 51. 42	12. 5. 14
24. 0	10. 23. 10.	13. 47. 18	12. 5. 14
23. 0	10. 27. 32.	13. 42. 58	12. 5. 15
22. 0	10. 31. 53.		
21. 0	10. 36. 20.	13. 34. 10	12. 5. 15
18. 0	10. 49. 30.		
17. 0	10. 53. 57.		

Medio día medio.— 12.5. 14.6.

LLamo medio día verdadero al que resulta inmediatamente de las alturas correspondientes; porque la corrección de ellas por causa de la variación de la declinación del Sol en estos días, y en la altura de polo de esta Ciudad, es despreciable, por no llegar á una décima de segundo: pues en la Tabla particular, que para ella tengo construida, según las Fórmulas de *MM. Maupertuis, y de la Lande*, para cada 5 grados de la longitud del Sol, y de 20 en 20 minutos, desde una hora antes, ó después del medio día, solo se hallan 9 centésimas de segundo con el signo negativo en el 5 grado de Cancer, y á la primera hora del medio intervalo de tiempo entre las dos observaciones; disminuyéndose, conforme se vá aumentando el mismo semi intervalo hasta 2 h. 20', en que es

nin-

(XXII.)

ninguna la correccion, ó igual á zero; comenzando en los demás con el signo positivo: la razon de esto consta en la explicacion que doy de dicha Tabla, y se puede vér tambien en el tom. 1. de la Astronomía de M. de la Lalande de la segunda impresion, pag. 402. De modo que el medio dia que resulta de las alturas correspondientes, así el dia 23, como el 25, no necesita de correccion, y es el verdadero.

Y para que se vea la poca variacion que tuvo el Relox en las 48 horas que pasaron desde el medio dia del 23, hasta el del 25, y de aí se asegure mas el tiempo de la observacion (no obstante la variacion que tuvo el Thermómetro de Reaumur en las 48 horas, ya subiendo, y ya baxando, desde 13 ½ hasta 17 grados sobre la congelacion) pondré aqui los tiempos medios al instante del verdadero medio dia, que corresponden á los dias 23, 24, y 25, deducidos de los lugares del Sol calculados por las Tablas del Abad de la Caille, que reduxo á las de Mayer el P. Antonio Pilgram.

Tiempo medio al instante del verdadero medio dia.

Diferencia. ó aceleracion diurna.

Dia 23	— 12 h.	1' 41", 7	-----	— 12", 7.
Dia 24	— 12	1 54", 4	-----	— 12, 9.
Dia 25	— 12	2 7", 3	-----	-----
Suma de ambas diferencias				— 25", 6.

Tiempo medio del Relox al instante del verdadero medio dia.

Diferencia del dia 23 al 25.

Dia 23	— 12 h.	4' 50", 7.	-----	+ 23", 9.
Dia 25	— 12	5. 14, 6.	-----	-----

Res-

(XXIII.)

Resfando esta diferencia de la que resulta del tiempo medio calculado, queda solamente 1 " 73, cuya mitad que son 8 décimas, fue lo que retardó el Relox respecto del tiempo medio en las 24 horas que pasaron desde el dia 23 al 24.

Observacion del Eclipse.

DEsde las 4 $\frac{1}{2}$ de la mañana comencé á preparar los instrumentos, rectificando el Quadrante, y probando los anteojos, disponiendolo todo en estado de servir al tiempo del Eclipse, que debía ser, segun mi calculo, á la 6 h. 26 30": y aunque estaba todo el Cielo cubierto de unas gruesas, y obscuras nubes, nos dexaba alguna esperanza de poderlo observar una angosta abertura que havia ázia el Oriente, que ampliandose un poco mas despues de haver salido el Sol, nos lo descubrió hasta las 6 h. 2', en que, sin haver empezado á eclipsarse, se ocultó de tal manera, que hasta las 8 h. 24' no se vió ni el lugar por donde caminaba. A este tiempo se comenzó á rarecer la nube, y á transparentarse el Sol; y haviendonos puesto á los anteojos el Sr. D. Joaquin Velazquez, y yo, quitamos los helioscopios, y á los 27' vímos al Sol con poca menos claridad que la con que se manifiesta la Luna á nuestra vista natural; pero con todo su disco bien terminado; sirviendonos de un bellissimo helioscopio la misma nube. A este tiempo llamé á los circunstantes, (*) para que les constase el que todavía estaba el Sol eclipsado, y vieran lo bien terminado que se representaba su disco, mientras un Amanuense fue al Relox á comenzar á
con-

(*) Se hallaron presentes á la observacion el Lic. D. Alvaro de Ocio, Relator de la Real Audiencia, el Lic. D. Joseph Lebron, Abogado de ella, D. Joseph Antonio del Mazo, D. Francisco de Torres Guerrero, Maestro de Arquitectura de la Nobilissima Ciudad, y otras varias personas.

(XXIV.)

contar; hasta que á las 8 h. 34' 20" vi yo el fin, ó último contacto de los limbos del Sol, y Luna en el Telescopio Gregoriano, y el Señor D. Joaquin Velazquez en el Anteojo achromático de 10 pies, á las 8 h. 34' 22". A este instante fuí al Relox á vér por mi mismo el minuto sobre que se contaban los 20" dexaúdo al Amanuense, que siguiera contando, para vér, si havia tenido algun equívoco en los segundos.

Ya pues el tiempo verdadero del fin del Eclipse se deduce en esta forma: Si 48 horas que hay del dia 23 al 25 al medio dia, dan de incremento sobre el tiempo medio del Relox 23", 9; qué darán 20 horas 34' 20." que corrieron desde el medio dia del 23, hasta el instante de la observacion? Y serán 10", 2, que añadidos á los 4' 40," 7 en que excedió el tiempo medio en el Relox al verdadero medio día el 23 de Junio, darán 5' 0," 9; y restado esto del tiempo de la observacion, quedarán 8 h. 29" 19" 1 por tiempo verdadero del fin del Eclipse; ó segun el Señor D. Joaquin Velazquez 8 h. 29,' 21," 1.

FIN.



BIBLIOTECA NACIONAL
MEXICO