



INAOE

**Instituto Nacional de Astrofísica,
Óptica y Electrónica.**

REPORTE TECNICO

No. 651

COORDINACION DE ASTROFISICA

Estimación del Radio Terrestre En México

Eduardo Mendoza Torres

*Investigador de la Coordinación de
Astrofísica, INAOE*

David Godos Valencia

*Becario de la Coordinación de
Astrofísica, INAOE*

©INAOE 2017

Derechos Reservados

El autor otorga al INAOE el permiso de reproducir y distribuir copias de este reporte técnico en su totalidad o en partes mencionando la fuente.



Índice General

1. Introducción	5
1.1 Eratóstenes	5
1.2 Proyecto “Medición del Radio Terrestre”	6
2. El Método de Eratóstenes.....	7
2.1. Caso General: cuándo el Sol no está en el cenit de ninguno de los lugares de observación	8
2.2. Estimación del Radio a Distintas Longitudes Geográficas	8
3. Procedimiento Experimental	9
3.1. Criterio de Selección.....	9
3.2. Primera fase: Medición del Radio Terrestre	9
3.2.1. Equipos Participantes y Finalistas	10
3.3. Segunda fase: Pruebas y actividades en el INAOE	11
3.3.1. Paquete de Bienvenida.....	12
3.3.2. Actividades Académicas	13
3.3.3. Ganadores y Ceremonia de Premiación.....	15
4. Ejercicios	16
4.1. Diferencia de latitudes.....	16
4.2. Lugares en diferentes latitudes	17
4.3. Diferencia de longitudes geográficas	17
5. Conclusión.....	19
Anexo A. Medición Experimental del Radio Terrestre	20
A.1. Instalación del mástil, tripié ó asta	20
A.2. Determinación de la hora de la culminación del Sol (paso del Sol por el meridiano del lugar)	20
A.3. Trazo de una línea en la dirección del meridiano del lugar	21
A.4. Medición de la sombra durante la culminación	21
Anexo B. Ejemplo Reporte de Medición del Radio Terrestre.....	23
APÉNDICE C: Conceptos básicos de utilidad	34

Agradecemos la colaboración de Jose Farah, Enoc Fuentes, y ... quienes participaron haciendo mediciones en los diversos lugares para la elaboración del presente proyecto.

Estimación del Radio Terrestre en México

Objetivo General

Hacer una estimación del radio terrestre siguiendo el método empleado por Eratóstenes a través de mediciones realizadas a lo largo del país por equipos integrados por estudiantes de nivel secundaria y bachillerato.

Objetivos Específicos

Desde el proyecto “Medición del Radio Terrestre en México 2014” se han planteado los siguientes objetivos:

- Que los estudiantes de nivel secundaria y preparatoria puedan recrear la medición del Radio Terrestre como la realizó el matemático, astrónomo y geógrafo griego Eratóstenes.
- Que los estudiantes hagan uso de su ingenio para resolver problemas; así como al mismo tiempo, aprendan la importancia de la colaboración y el trabajo en equipo en el ámbito científico.
- Enseñar conocimientos básicos de historia, astronomía, geografía y matemáticas a través de las actividades de la práctica a los participantes; de forma que pueda surgir un gusto o interés por esas áreas.
- Estimular a los estudiantes de educación media y media superior a continuar con sus estudios universitarios en disciplinas como la Física y áreas afines.
- El intercambio de ideas, información y experiencias con profesores de diversas instituciones de educación superior del país.
- Llegar, a través de la difusión y realización del proyecto “Medición del Radio Terrestre”, a un sector cada vez más amplio de estudiantes; con la finalidad de que conozcan la existencia de centros de investigación mexicanos, principalmente el INAOE, así como de las actividades que realizan y los posgrados que ofrecen.

Resumen

En este proyecto se obtendrá una estimación del radio terrestre siguiendo el método de Eratóstenes. A través de hacer mediciones en distintos lugares de México, se puede graficar una recta cuya pendiente se relaciona directamente con la circunferencia de la Tierra. Por medio de una sencilla relación, se puede estimar el radio terrestre. Se explican a lo largo del reporte de las ideas y conceptos principales; así como también el método usado. Al final, se discuten los resultados obtenidos y el error asociado al resultado de la práctica.

1. Introducción

En la actualidad el uso de dispositivos de alta tecnología es inseparable de los nuevos descubrimientos, pero no siempre fue así. Hay descubrimientos o mediciones que se hicieron con medios que pueden parecer precarios y que arrojaron resultados bastante buenos. Un ejemplo fue la medición de la circunferencia terrestre que efectuó el matemático, geógrafo y escritor griego Eratóstenes quien fue el primer científico de la historia que midió la circunferencia de un planeta, la Tierra en este caso.

En el año 230 A.C. Eratóstenes calculó la circunferencia de la Tierra usando datos que se pueden obtener de una manera sencilla. Eratóstenes se dio cuenta que en el solsticio de verano en la ciudad de Siena (hoy Assuan) en Egipto, al mediodía la luz del Sol llegaba directamente al fondo de un pozo de agua mientras que en otro sitio un obelisco producía una sombra. El obelisco y su sombra son los catetos de un triángulo que, como veremos más adelante, está relacionado con la distancia entre los dos sitios y el radio de la Tierra. Dicha relación la revisamos con detalle en el siguiente texto tratando de describir cómo se puede hacer una estimación del radio de la Tierra.

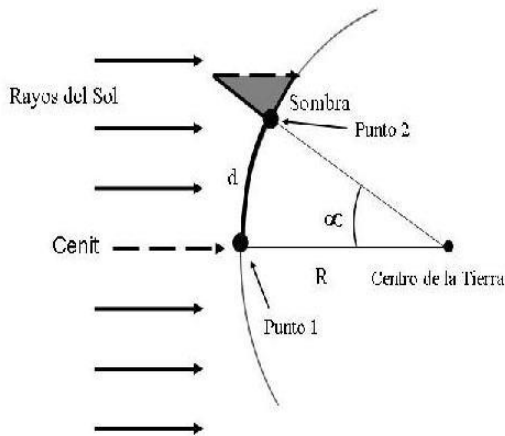


Figura 1: Representación de los rayos de luz incidiendo sobre una superficie esférica en la que hay un objeto colocado verticalmente en algún punto de la superficie esférica. Debido a que los rayos inciden inclinados respecto a la superficie en el lugar en el que está dicho objeto, éste produce una sombra.

1.1 Eratóstenes

Eratóstenes fue un científico multifacética en la antigua Grecia, pues además de dedicarse a las ciencias como las matemáticas, la geografía y la astronomía también se interesaba por la poesía, la filosofía el teatro y la historia. Él nació en la ciudad de Cyrene (ahora Libia) por el año 276 A.C. Él también fue director de la Biblioteca de Alejandría. A pesar de tener trabajos muy importantes en el área de las matemáticas sobre temas como la duplicación del cubo y los números primos; y en la astronomía como la medición del radio terrestre, la distancia al Sol y a la Luna, la inclinación de la elíptica y un catálogo de 675 estrellas sólo conocemos de sus obras debido referencias bibliográficas de otros autores (1). Al final de su vida fue afectado por la ceguera como muchos astrónomos y finalmente murió en el año de 194 A.C. en Alejandría.

1.2 Proyecto “Medición del Radio Terrestre”

El proyecto se planteó con el objetivo de que los estudiantes de diferentes niveles académicos estudien y entiendan algunos conceptos básicos de Astronomía a través de problemas interesantes, aplicando conocimientos matemáticos de varios niveles de dificultad. Así, los estudiantes tienen la oportunidad de aplicar los conocimientos de sus cursos de la escuela en un proyecto llamativo cuyo resultado en un principio podría parecer difícil de obtener. En el desarrollo del proyecto los estudiantes tienen la necesidad de aplicar desde regla de tres hasta un análisis de errores. Este proyecto también genera material observacional, en cuyo análisis se pueden involucrar grupos de estudiantes desde primaria hasta licenciatura. Sin embargo, sólo nos enfocamos en los estudiantes de bachillerato y de secundaria pues son los que tienen un mayor conocimiento y dominio de las matemáticas y a su vez, están pensando qué estudiar en su licenciatura.

En el 2014 el INAOE organizó por tercera ocasión, el proyecto “Medición del Radio Terrestre” en el cual han participado estudiantes de diversos lugares del país. En cada ocasión se convocó a grupos de jóvenes estudiantes de nivel secundaria y preparatoria de toda la República Mexicana, estudiantes curiosos, con un gran interés no sólo de aprender si no de investigar. Dado que el cálculo del radio terrestre, de manera similar a como lo realizó Eratóstenes, no requiere más que de materiales que están al alcance de todos, su realización es muy factible. Además de que involucra la aplicación de conceptos básicos de astronomía y sobre todo de mucho ingenio; por lo que resulta en un primer acercamiento a la astronomía muy ilustrativo. Por ello, muchos ex-participantes han seguido participando en otros eventos organizados por el INAOE como la Olimpiada Nacional de Astronomía en México.

2. El Método de Eratóstenes.

En el problema de Eratóstenes al mediodía la luz del Sol llegaba directamente al fondo de un pozo de agua en la antigua Siena. Esto significa que en dicho lugar el Sol estaba en el cenit y por eso no producía sombra. Recordó que un poco más al norte, en Alejandría, también durante el solsticio de verano la situación era diferente ya que un obelisco sí producía sombra al mediodía. Es decir, en Alejandría a la misma hora el Sol no estaba en el cenit.

Eratóstenes explicó lo anterior en un escenario en el que la Tierra es redonda y el Sol está muy lejos por lo que los rayos solares llegan paralelos entre sí. El obelisco y su sombra son los catetos de un triángulo (Figura 1). Al medir el ángulo del vértice superior de dicho triángulo encontró que era de 7.5° . Eratóstenes sabía que Alejandría se encontraba casi en el mismo meridiano que Siena y conocía la distancia “ d ” entre estas ciudades (aproximadamente $d=800$ km). Con los datos anteriores se va a calcular el radio terrestre.

De la Figura 1 podemos ver claramente que uno de los lados es la distancia entre los dos sitios y que el ángulo α es opuesto a este lado. Para ese caso tenemos que hay una relación entre la fracción de la circunferencia y el ángulo

$$\frac{\alpha}{360^\circ} = \frac{d}{C} \quad (1)$$

donde C es la circunferencia. Entonces,

$$C = d \frac{360^\circ}{\alpha} \quad (2)$$

Sustituyendo valores resulta que

$$C = 800km \frac{360^\circ}{7.5^\circ} = 38,400 \text{ km} \quad (3)$$

y como la circunferencia se relaciona al radio por:

$$C = 2\pi R \quad (4)$$

entonces el radio es:

$$R = \frac{C}{2\pi} = \frac{38,400 \text{ km}}{2\pi} = 6,112 \text{ km} \quad (5)$$

Este valor del radio terrestre se aproxima mucho al valor que se considera correcto en la actualidad. Una vez que se conoce el radio de la Tierra se puede calcular la circunferencia y el área superficial de ésta.

2.1. Caso General: cuándo el Sol no está en el cenit de ninguno de los lugares de observación

Supongamos que conocemos la distancia (d) entre dos lugares. Si en ambos sitios durante la culminación del Sol los objetos producen sombra tenemos un caso como el que se representa en la Figura 2. En ese caso, el ángulo entre las líneas radiales a los dos sitios se calcula de la siguiente manera: Primero tenemos que aclarar que el ángulo en el vértice del objeto vertical en cada uno de los sitios es el ángulo entre el sitio en el que el Sol está en el cenit (en su culminación) y dicho sitio en el que no está en el cenit (ángulo α_1). Esto también es válido para el otro sitio (donde el ángulo es α_2).

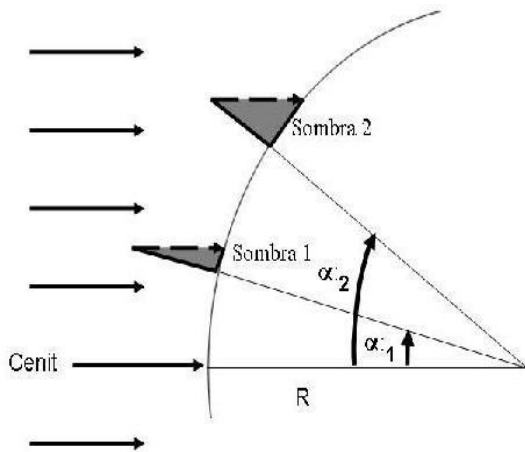


Figura 2: Representación de dos triángulos que se forman a partir de objetos verticales y sus sombras. Cada uno de estos triángulos tiene un triángulo semejante del centro de la Tierra hacia dichos lugares y hacia el lugar en el que no se produce sombra, es decir, a un lugar en el que el Sol está en el cenit durante su culminación.

Se puede medir el radio terrestre ya que no necesitamos saber la distancia entre los dos sitios con sombra y el sitio en el que el Sol sí está en el cenit durante su culminación. Lo que en realidad necesitamos es la distancia entre los dos sitios con sombra y el ángulo entre las líneas radiales a estos dos sitios. Ese ángulo es igual a la diferencia de los dos ángulos anteriores, es decir

$$\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 \quad (6)$$

usando α calculamos el radio a partir de las Ecuaciones 1 y 2.

2.2. Estimación del Radio a Distintas Longitudes Geográficas

Para poder medir el radio terrestre se pueden usar mediciones de la sombra en dos sitios que no estén en la misma longitud geográfica. Los sitios que se muestran en la Figura 1 están en la misma longitud geográfica. En realidad, las únicas condiciones que se deben cumplir para que las mediciones de las sombras se puedan usar, es que las mediciones se hagan el mismo día y que en cada sitio se hagan durante la culminación.

3. Procedimiento Experimental

En este proyecto se obtuvieron medidas no sólo de dos lugares del país; sino que se realizaron en distintos puntos de la República Mexicana para mejorar la estimación. Para ello se convocaron a nivel nacional a los estudiantes interesados en participar a conformar sus propios equipos por escuela. El procedimiento experimental y de selección utilizado para ello es el siguiente:

3.1. Criterio de Selección

Dada la cantidad de equipos que se inscriben a este evento, el proceso para determinar a los participantes en el proyecto fue dividido en dos fases:

- **Primera fase:** Esta prueba se realizó exclusivamente por internet. Los jóvenes participaron en grupos de 2 a 3 integrantes. Esta fase consistió en realizar las mediciones necesarias para el cálculo del radio terrestre. También tuvieron que contestar un cuestionario respecto al tema.
- **Segunda fase:** Para esta prueba se revisó por parte de un equipo de expertos los procedimientos y resultados de cada equipo, luego se seleccionaron los equipos que obtuvieron mejores resultados en la primera fase y fueron invitados a las instalaciones del INAOE. Una vez en las instalaciones del instituto se les realizaron dos pruebas escritas: una individual y otra en equipos de dos (con la condición de que los dos miembros no pertenecieran al mismo estado). También se les realizó una prueba práctica donde los estudiantes tuvieron que demostrar sus conocimientos de coordenadas celestes al identificar tres puntos en el cielo.

A continuación, se describen a detalle cada una de ellas

3.2. Primera fase: Medición del Radio Terrestre

Esta fase se realizó exclusivamente por internet. Se lanzó una convocatoria a nivel nacional para estudiantes de nivel secundaria y preparatoria en la cual se invitó a los alumnos a registrar sus equipos de 2 a 3 integrantes con el apoyo de algún asesor y luego realizar la medición del radio terrestre en sus comunidades. Posteriormente, se les pidió que contestaran un cuestionario para verificar que entendieron y aplicaron de forma correcta los conceptos que utilizaron para el desarrollo del experimento. Los equipos se inscribieron vía internet. En la página web diseñada para el proyecto, se publicó material de apoyo para que los participantes pudieran llevar a cabo el experimento.

En el 2014 se inscribieron 126 equipos de 16 estados, 55 de ellos enviaron las mediciones del radio terrestre y 44 enviaron también el cuestionario contestado. Para la siguiente fase se tomaron en cuenta sólo aquellos equipos que enviaron la medición del radio terrestre y el cuestionario. Los evaluadores revisaron a detalle el procedimiento que llevó a cabo cada equipo, el resultado y las respuestas del cuestionario.

A manera de ejemplo en el Apéndice A se presenta el reporte de un equipo participante donde

explican su procedimiento para realizar el cálculo del radio terrestre.

3.2.1. Equipos Participantes y Finalistas

Se inscribieron 126 equipos de 16 estados, 55 de ellos enviaron las mediciones del radio terrestre y 44 enviaron el cuestionario contestado. Para la selección de los equipos que pasaron a la siguiente fase se tomaron en cuenta sólo aquellos equipos que enviaron la medición del radio terrestre y el cuestionario. Los evaluadores revisaron a detalle el procedimiento que llevó a cabo cada equipo para el cálculo del radio terrestre, el resultado y las respuestas del cuestionario.



(a) Equipo FIMAKI de Sonora



(b) Equipo Andrómeda de Nayarit

Figura 3: Toma de mediciones para el cálculo del radio terrestre

Inicialmente se planteó que pasarían a la siguiente fase 5 equipos pero dado que la competencia fue muy cerrada se optó por seleccionar 8 equipos. Los equipos seleccionados se muestran en la Tabla 1

:

Tabla 1: Equipos que pasaron a la siguiente fase (en orden alfabético)

Nombre del Equipo	Integrantes	Ciudad	Estado
Andrómeda	Jessica Daniela Orta Arreola Jimena Ortiz Villalva Adler Alonso Zamora Ruiz	Tepic	Nayarit
Cosmos	Julián Alberto Armas Hernández Keila Abigail Zavala Alvarado	Coatzacoalcos	Veracruz
Dinamita	Mauricio Álvarez Escobar Sergio Alejandro Consuelos Tania Corzo Villegas	Cuernavaca	Morelos
FIMAKI	Ramón Héctor Campoy Félix Joselyn Aime García Mar José Ignacio Acosta Meneses	Hermosillo	Sonora
Galileo Alpha	Oziel Eduardo Alemdarez Carreón Luis Daniel Pedrajo Mora Alfonso López Loredo	San Luis Potosi	San Luis Potosi
Novus-Keiken *	Abigali Rodríguez Jiménez Adán Gasca Velázquez Paulo Aarón Aguirre Álvarez	Santa Cruz de Juventino Rosas	Guanajuato
Quarks Prepa 25 UANL	Eduardo Alejandro Castillo Aguilar Joshue Ramiro Galvan Brandon Alfonso Salazar Aguilar	Escobedo	Nuevo León
Sputnik II	Brenda Rodríguez Evangelista Yamileth Lozano Castelán Beatriz Lourdes Cajica Maceda	Acatlán de Osorio	Puebla

* A manera de ejemplo, el reporte de este equipo se encuentra en el Apéndice A.

3.3. Segunda fase: Pruebas y actividades en el INAOE

Para la segunda fase se invitó a los estudiantes a las instalaciones del INAOE del 24 al 27 de noviembre para realizar diversas actividades académicas dentro de las que estuvo la revisión de los fundamentos teóricos relativos al presente proyecto. El equipo FIMAKI del estado de Sonora no confirmó su asistencia por lo cual no participó en esta fase. En el 2014 se inscribieron 126 equipos de 16 estados, 55 de ellos enviaron las mediciones del radio terrestre y 44 enviaron también el cuestionario contestado. Para la siguiente fase se tomaron en cuenta sólo aquellos equipos que enviaron la medición del radio terrestre y el cuestionario. Los evaluadores revisaron a detalle el procedimiento que llevó a cabo cada equipo, el resultado y las respuestas del cuestionario.



(a)



(b)

Figura 4: Jóvenes realizando la prueba escrita individual

Asistieron 20 estudiantes a las instalaciones del INAOE y se les aplicó un examen escrito individual sobre conceptos básicos de astronomía, un examen escrito por equipos de 2 (formados al azar con la condición de que los integrantes no fuesen del mismo estado) sobre conceptos de radioastronomía y un examen práctico individual que consistió en ubicar 3 puntos en el cielo.

3.3.1. Paquete de Bienvenida

Cuando los estudiantes arribaron a las instalaciones del INAOE, en una pequeña reunión se les hizo entrega de un paquete de bienvenida, el cual contenía:

- Mapa de Instalaciones
- Reglamento de Estancia
- Programa de actividades
- Libro “*Introducción a la Astronomía y Astrofísica*” del Dr. José Eduardo Mendoza Torres
- Libro “*Elementos de Astronomía Observacional: La Esfera Celeste*” del Dr. José Eduardo Mendoza Torres
- Gafete personalizado
- Bloc para notas

En dicha reunión también se presentaron a los organizadores y colaboradores. Para la coordinación y supervisión de este evento se contó con la ayuda de varios estudiantes egresados tanto de nivel licenciatura como de posgrado que colaboran con el Dr. Eduardo Mendoza como colaboradores. Ellos se encuentran listados en la Tabla 2:

Tabla 2: Lista de colaboradores

David Godos Valencia
 Carlos Miguel García Rosas
 Crhistian A. Benítez Abarca
 Eduardo Valdez Campos
 Antonio Piceno Martínez

Elena Piceno Martínez
 Laura Peralta Rodríguez
 Daniela Karen Reyes Rivera
 Tania B. López García
 Eva Sumano Mejía

3.3.2. Actividades Académicas

Como parte de su estadía en las instalaciones del INAOE se organizaron conferencias impartidas por estudiantes e investigadores que abordaron temas de astronomía y física (ver Figura 4). También se organizaron talleres como el de la construcción de un radiotelescopio simple donde los jóvenes construyeron una pequeña antena para captar la radiación electromagnética proveniente del sol y se les proporcionó un pequeño circuito de tal forma que a través de este podía “escuchar” el sol y mediante un programa en una computadora podían visualizar esta información. También se realizó un taller donde los estudiantes armaron un simulador de trayectorias de estrellas (ver Figura 4 y 5).



(a) Seminario sobre flujo y luminosidad

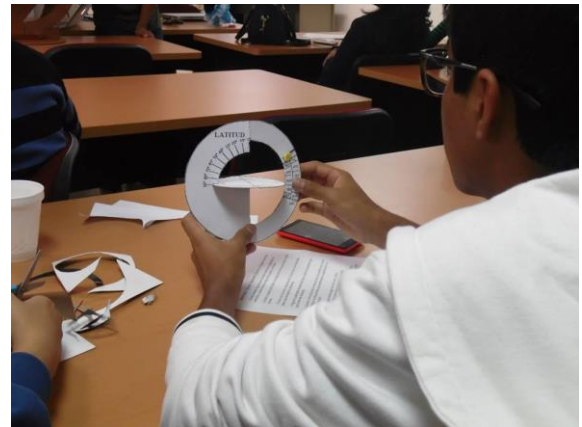


(b) Seminario sobre radiotelescopios

Figura 4: Los participantes recibieron seminarios de investigadores y estudiantes



(a) Práctica radiotelescopio simple



(b) Simulador personal de trayectorias de estrellas

Figura 5: Talleres Mapa de Instalaciones

Se organizó un recorrido por las instalaciones del INAOE para que los jóvenes pudieran conocer los laboratorios de óptica y de electrónica, así como el telescopio solar y la cámara Schmitt. También se realizaron actividades de armado de telescopios y pruebas observacionales (ver Figura 6)



(a) Observación con telescopio



(b) Visita a la sala de placas de la cámara Schmitt

Figura 6: Observación de cuerpos celestes

Se planeó un viaje a Sierra Negra con el fin de llevar a los visitantes a conocer el Gran Telescopio Milimétrico (GTM).



Figura 7: Foto grupal al pie del Gran Telescopio Milimétrico

3.3.3. Ganadores y Ceremonia de Premiación

Tomando en cuenta los resultados que obtuvieron los jóvenes en las tres evaluaciones mencionadas anteriormente se determinaron los tres primeros lugares. La lista de ganadores se encuentra en la Tabla 3.

Tabla 2: Ganadores del proyecto “Medición del Radio Terrestre 2014”

Lugar	Nombre	Estado
1	Abigali Rodríguez Jiménez	Guanajuato
2	Julián Alberto Armas Hernández	Veracruz
3	Jimena Ortiz Villalva	Nayarit

Al finalizar la estancia de los jóvenes en el INAOE se realizó una pequeña ceremonia en la cual se les hizo entrega a cada uno de ellos de una constancia de participación, una mochila, un lapicero y una playera del evento. A los ganadores se les entregó un paquete de libros entre los que destaca un libro de la autoría de Elena Poniatowska autografiado.



(a) Estudiante recibiendo su constancia



(b) Kit entregado a los alumnos

Figura 8: Entrega de constancias y kit.

4. Ejercicios

Durante el Proyecto del Radio Terrestre, también se les enseña a los estudiantes a resolver problemas sencillos de Astronomía. Debido a la experiencia que desarrollan en el proyecto, pueden resolver ejercicios como los siguientes tomados de (2).

4.1. Diferencia de latitudes

Distancias Norte-Sur

Las ciudades de Mc Allen, Texas (Estados Unidos) y Puebla (México) están ambas aproximadamente en longitudes geográficas de 98° . Se sabe que la circunferencia de la Tierra es de aproximadamente 40,000 km y para hacer una estimación en este ejercicio vamos a usar este valor. Si Mc Allen está a una latitud de 26° y Puebla a una latitud de 19° ¿Cuál es la distancia entre estas ciudades?

Respuesta

La diferencia de latitudes es una fracción del ángulo total que cubre la circunferencia. Este último ángulo es de 360° , entonces dicha fracción es $\frac{\Delta l^\circ}{360^\circ}$. Por otro lado, la distancia entre las ciudades (a la que denotaremos por d) es una fracción de la circunferencia de la Tierra. Esta fracción es $\frac{d}{40,000 \text{ km}}$

Como estas fracciones se encontraron a partir de los mismos puntos sobre una circunferencia de la Tierra y corresponden a la misma parte de un todo (en un caso es una fracción de toda una vuelta o 360° y en otro de toda la circunferencia), entonces las fracciones son iguales. Es decir:

$$\frac{d}{40,000 \text{ km}} = \frac{\Delta l^\circ}{360^\circ} \quad (7)$$

De esta ecuación despejamos d , que resulta ser:

$$d = 40,000 \text{ km} * \frac{\Delta l^\circ}{360^\circ} \quad (8)$$

Ahora calculamos la diferencia de latitudes que es $\Delta l^\circ = 7^\circ$. Entonces, la distancia entre Puebla y Mc Allen es:

$$d = 40,000 \text{ km} * \frac{7^\circ}{360^\circ} \quad (9)$$

$$d = 778 \text{ km}$$

4.2. Lugares en diferentes latitudes

La ciudad de Quito, Ecuador está a una latitud aproximada de 0° , si la culminación del Sol en San Andros, Bahamas, ocurre a la misma hora que en Quito,

- ¿Cuál es la diferencia en las longitudes geográficas de estas ciudades?
- ¿Cuál es la latitud geográfica de San Andros si en esta ciudad el Sol se ve a una altura de 65° en el momento en que en Quito el Sol está en el cenit?

Nota: En realidad la latitud de Quito es diferente de cero pero tomando en cuenta que las distancias entre las Quito y San Andros es grande usamos cero para simplificar el problema y hacer más fácil el entendimiento de la relación entre distancia y diferencia de latitudes.

Respuesta

a) Como en ambas ciudades el Sol culmina a la misma hora entonces la diferencia de tiempos es $\Delta t = 0$ y la diferencia de longitudes geográficas es

$$\Delta l = \Delta t * 15 \quad (10)$$

Lo cual significa que la diferencia es: $\Delta l = 0$

b) La declinación aproximada del Sol es cero grados ($\delta = 0$) cuando está en el cenit de Quito. Entonces, la altura (a) a la que se ve el Sol durante su culminación en San Andros, y la latitud de San Andros (φ) suman 90° .

$$a + \varphi = 90^\circ \quad (11)$$

Entonces, la latitud de San Andros es:

$$\varphi = 90^\circ - a = 90^\circ - 65^\circ \quad (12)$$

$$\varphi = 25^\circ$$

Que es un valor aproximado de la latitud de San Andros

4.3. Diferencia de longitudes geográficas

La ciudad de Ensenada, Baja California, está a una longitud geográfica aproximada de 116° Oeste mientras la ciudad de Puebla, Puebla, está en una longitud aproximada de 98° Oeste.

- ¿En cuál de estas dos ciudades culmina primero la estrella Sirio?
- ¿Qué diferencia de tiempo hay entre las dos culminaciones?

Respuesta

a) Como la Tierra gira de Oeste a Este las estrellas aparentemente se mueven de Este a Oeste. Debido a esto, una estrella culmina primero en el sitio que está más al Este. En el caso de las dos ciudades arriba mencionadas, Puebla está más al Este, entonces la estrella Sirio culmina antes en esta ciudad que en Ensenada.

b) Para saber la diferencia en los tiempos de culminación, vamos a calcular primero la diferencia en longitudes geográficas, a la cual denotaremos por Δl y es

$$\Delta l = l_E - l_P = 116^\circ - 98^\circ \quad (13)$$

$$\Delta l = 18^\circ$$

Despejando la diferencia de tiempo y substituyendo tenemos:

$$\Delta t = \frac{18^\circ}{15^\circ/hr} \quad (14)$$

$$\Delta t = 1.2 \text{ hrs}$$

5. Conclusión

Como podemos notar en el Anexo 2, los resultados de los equipos participantes en la primera fase fueron buenos, y muchos obtuvieron valores muy cercanos al que se considera correcto en la actualidad de 6400 km.

Por otra parte, a través de este evento se ha establecido contacto con estudiantes de diversos lugares del país. Algunos jóvenes han mantenido la comunicación con nosotros por el interés que muestran por los temas que se abordaron, incluso algunos demostraron su interés por estudiar una carrera relacionada con astronomía. De esta forma, vemos que se ha logrado motivar a los estudiantes a continuar estudiando Astronomía, además de inculcarles un mayor interés por las materias que ven en sus clases cotidianas.

Una de las nuevas metas que se tiene para las próximas ediciones de este evento es llegar a un mayor número de estudiantes y a más lugares del país. Con la presente propuesta esperamos que se formen más grupos de estudiantes que las veces anteriores. También se tiene previsto elaborar material didáctico que los profesores de Física y Matemáticas puedan usar en sus clases. Para ello, se harán unas pruebas en la página oficial del Proyecto Medición del Radio Terrestre para tener una estimación de la efectividad de los ejercicios y los avances que tienen los estudiantes en el proceso.

Anexo A. Medición Experimental del Radio Terrestre

En esta sección presentamos los pasos a seguir para tener preparado el arreglo experimental mediante el cual se puede medir el radio terrestre. Esto consiste en la creación del poste que va a servir para la medición del ángulo, identificación del meridiano del lugar, la medición de la sombra y la obtención del ángulo mínimo. A continuación se presentan los pasos a seguir para reproducir las mediciones obtenidas por los estudiantes.

A.1. Instalación del mástil, tripié ó asta

Para trazar una línea que indique la dirección del meridiano se plantea realizar un experimento para el cual se requiere de un mástil, un tripié ó una asta. Los materiales necesarios para instalar el tripié son los siguientes:

1. Tubo, palo ó tripié
2. Una plomada ó en su lugar un hilo con una tuerca
3. Gises ó crayolas (si es posible que sean lavables)
4. Flexómetro ó cinta métrica
5. Nivel de burbuja

El mástil se tiene que instalar sobre una superficie plana y debe tener una base para mantenerse fijo mientras se hacen las mediciones. Sugerimos que en la parte alta del mástil ó tripié coloques un objeto delgado ó un objeto con punta como el cono de cartón que está en la parte alta del tubo en la Figura 3. Para identificar la superficie adecuada puedes usar el nivel de burbuja y elegir la zona mejor nivelada.

Para poner el mástil ó el tripié usa la plomada de tal manera que quede verticalmente y que la línea que va de la base hasta la punta del mástil esté a plomada. En nuestro caso, el objeto es un tubo sobre un tripié y usamos el suelo directamente para trazar las líneas de la sombra ya que teníamos una superficie adecuada para pintar con gis (Figura 3). Si fuera más conveniente se podría usar un papel ó una cartulina para dibujar los trazos. También se usa el nivel para que la superficie sobre la que se va a medir la longitud de la sombra esté horizontal.

A.2. Determinación de la hora de la culminación del Sol (paso del Sol por el meridiano del lugar)

La hora en la que el Sol pasa por el meridiano de un lugar dado se determina con base en la longitud de la sombra que produce el mástil. Sugerimos hacer una tabla de datos en la que se escriba en una columna la hora en la que se hace la medición y en otra columna la longitud de la sombra para cada tiempo. En la Figura 5 tenemos la gráfica de la longitud de la sombra contra el tiempo para datos tomados en Tonantzintla, Puebla. Podemos ver que a las 10:00 AM la sombra era grande y fue disminuyendo hasta tener un valor mínimo alrededor de las 13 horas (1:00 P M). Después de esa hora, la sombra fue creciendo.

Dibujamos una curva suave (línea a trazos) sobre los datos observados y encontramos que el mínimo valor ocurrió a las 12:40 horas. Ese fue el momento en el que el Sol pasó ese día sobre el meridiano del lugar en el que hicimos estas mediciones (Tonantzintla, Puebla). Si se cuenta con los programas para hacer ajustes, entonces es conveniente hacer el ajuste de un polinomio, en la gráfica identificar a los datos observados. Con base en dicho ajuste se puede encontrar el valor mínimo así como el tiempo en el que ocurrió éste.

A.3. Trazo de una línea en la dirección del meridiano del lugar

Vamos a trazar una línea en la dirección del meridiano del lugar, es decir, una línea en dirección Norte-Sur. Para esto, es necesario dibujar una línea a lo largo de la sombra y una cruz en cada uno de los extremos de la sombra, en cada una de las líneas anotamos la hora en que se midió como se muestra en la Figura 3.

Una vez que tenemos las líneas y las cruces, trazamos una línea que pase sobre los extremos de las sombras, esta línea está orientada en dirección Este-Oeste (EW). Sugerimos anotar Este y Oeste en cada extremo de la línea, como se muestra en la Figura 3. Ahora, quitamos el mástil y en esa posición colocamos un extremo de una cuerda. En el otro extremo de la cuerda colocamos un gis. Vamos a elegir una longitud de la cuerda de tal manera que al trazar un arco de círculo cruce la línea EW en dos puntos, uno en el lado Este y otro en el lado Oeste. Con el gis trazamos el arco de círculo estando seguros que lo cruza en dos puntos. Si lo cruzara solo en un punto entonces hacemos un poco más corta la distancia a la que ponemos el gis. Ahora, ya tenemos un arco de círculo que cruza la línea EW en dos puntos. Medimos la distancia entre esos dos puntos y trazamos una cruz en la mitad. De este punto trazamos una recta hasta el punto en el que estaba el mástil. Esa línea está orientada en la dirección del meridiano del lugar (Figura 3). Es conveniente escribir Norte y Sur en los extremos de esta línea. Si el lugar de las mediciones está en el hemisferio Norte entonces la base del mástil está en el Sur respecto de las sombras. Si las mediciones se hicieron en el hemisferio Sur entonces la base del mástil está en el Norte.

A.4. Medición de la sombra durante la culminación

Para estimar la sombra mínima y el tiempo de culminación podemos ajustar un polinomio a los datos observados. Usando los coeficientes del polinomio se puede calcular el valor mínimo, ese es el valor de la sombra durante la culminación. La culminación es el tiempo en el que se tiene el mínimo el cual también lo puedes calcular con los coeficientes y con los valores del vector de tiempos.

En el Anexo B se muestran los datos observados por el equipo Novus-Keiken y también la curva de un polinomio que se ajustó a los valores observados. La hora de la culminación se puede estimar como se explicó en la sección A.2. Sin embargo, tenemos que hacer notar dos puntos importantes:

1. *Ese método no es la única forma de hacerlo.*
2. *No es necesario hacer una medición precisamente durante la culminación.*

Para ejemplificar los dos puntos anteriores vamos a ver una forma en la que se puede medir la longitud de la sombra durante la culminación sin haber hecho medidas a esa hora. Lo que se requiere es haber trazado la línea Este-Oeste. Con base en dicha línea se puede medir la longitud que tendría la sombra aún cuando no se realicen mediciones en el preciso momento de la culminación. Una manera es como se explica a continuación:

Primero tienes que identificar el punto medio de la línea Este-Oeste. Recuerda que dibujaste un arco y trazaste cruces en los puntos de intersección del arco y la línea Este-Oeste. A la mitad de esas cruces está el punto medio de la línea Este-Oeste. Lo único que se tiene que hacer es medir la distancia entre el punto medio de la línea Este-Oeste y el punto en el que está la base del tubo. Esa es la longitud mínima que tendría la sombra.

Anexo B. Ejemplo Reporte de Medición del Radio Terrestre

Como ejemplo se muestra el reporte del equipo Novus-Keiken, Santa Cruz de Juventino Rosas, Guanajuato. Los equipos siguieron el formato que se les indicó en las instrucciones, el cual se subió a la página que fue diseñada para el proyecto.

DESCRIPCIÓN DE LAS MEDICIONES

1. Información del equipo participante.

- a) Integrantes:
Abigali Rodríguez Jiménez
Paulo Aarón Aguirre Álvarez
Adán Gasca Velázquez
- b) Asesor:
Juan Luis Rodríguez Noria
- c) Escuela:
Preparatoria “Juventino Rosas”, Santa Cruz Juventino Rosas, Gto.
- d) Latitud: 20.6961; Longitud: -100.003

2. Elaboración de mediciones:

- a) Abigali indicaba el momento en que se debía hacer la medición y también era quien tomaba nota de todas las mediciones.
Adán hacía marcas con gis en el piso de concreto para limitar hasta donde llegaba la sombra a tal hora.
Aarón ayudaba a medir, tratando de posicionar el metro de la manera más correcta.

* Hubo actividades que realizamos entre todos; por ejemplo, la realización de este archivo: uno se encargó de introducir los datos, otro de graficarlos y otro de editarlo.
- b) El mástil principal fue un tubo de cancha de voleibol, pero al segundo día encontramos que alguien lo sacó del lugar donde lo habíamos dejado fijo.
Ese mismo día tuvimos que buscar un buen lugar donde no hubiera más molestias y decidimos cambiar de mástil, esta vez fue un cartel de hierro con punta curva de 1.516 m de altura.
- c) Buscamos una superficie plana y utilizamos un nivel de burbuja de aire; tratamos de que la burbuja quedara céntrica, pero tuvimos que colocar algunos ladrillos (como peso) sobre su base para que no se moviera.
- d) Porque a esa hora la longitud del mástil será menor debido a que el sol alcanza su mayor altura y pasa por el meridiano del lugar donde se realiza la medición, así con trigonometría podemos obtener el ángulo de incidencia menor con el cual nos apoyaremos para la medición del radio terrestre.
- e) Puesto que la declinación del sol sería diferente y estaría varios grados más hacia el norte que en octubre, entonces, en comparación con este mes, la longitud de la sombra sería un tanto más larga y con otra dirección.

d) ¿Por qué medir la sombra del mástil al medio día?

e) ¿Qué habría sucedido con las mediciones si las hubieran realizado en el mes de Julio?

3. Cálculo de la hora de la culminación para cada día.

línea del
meridiano
local

a) Primero, marcamos con un gis hasta donde llegaba la sombra a cierta hora; posteriormente, cuando obtuvimos todas nuestras mediciones del día (y que ya estaban anotadas) comparábamos y estimábamos en qué momento fue el medio día y desde la marca de esa hora hasta el pie del mástil, trazamos una línea recta. Analizando concluíamos que se trataba de una línea que si la prolongábamos hacia arriba en cielo, por encima de nosotros, se trataría de nuestro meridiano local

gráfica Longitud
de la Sombra
contra Tiempo

b) Antes tabulamos los datos obtenidos durante el día. Después seleccionamos los datos de la hora de medición y la longitud del mástil y en la opción de la barra de herramientas "Insertar" seleccionamos la opción "Dispersión sólo con marcadores", después editamos la gráfica poniéndole nombres a los ejes, el título, poniéndole color, etc. Y al final, pusimos una línea de tendencia polinómica.

sombra mínima

c) Anotamos los datos que obteníamos en una hoja de papel, y durante las mediciones había un momento en que la longitud de la sombra a comparación de la medición anterior comenzaba a variar muy poco, y en donde de plano ya no variaba. Eso fue el primer día (creíamos que el medio día estaría alrededor de las 12 y 13 hrs., así que medimos intensamente en ese lapso de tiempo) y a partir de ese momento nos basamos para aproximar el momento y hora en que sería medio día.

tiempo en el que
debió ocurrir la
sombra mínima

d) Con el paso de los días vimos que alrededor de las 12:27 - 12:29 los resultados se mantenían constantes, y después de ello comenzaban a incrementar de nuevo. Así que sacando la media obtuvimos que el medio día se dio a las 12:28 aproximadamente.

4. Cálculo del ángulo de incidencia de los rayos del sol durante la culminación.

Día	Ángulo de incidencia (α)
27/10/14	33°12'33.75''
28/10/14	34°19'19.36''
29/10/14	34°28'35.15''
30/10/14	34°50'4.03''
31/10/14	35°6'48.93''

* Estos ángulos se encuentran en los datos siguientes en los respectivos días y están medidos en grados, minutos y segundos. Fueron calculados con la ecuación:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Longitud mínima de la sombra}}{\text{Longitud original del mástil}} \right)$$

Tomando como longitud mínima para cada día aquel dato en color **naranja**.



Segundo mástil (la punta se encuentra del otro lado)



MEDICIÓN DEL 27/10/14		
Mastil (altura): 260 cm		
Hora GMT-6	Longitud Sombra (±0,1 cm)	Angulo de incidencia
11:30	188.9	35°59'59.45"
12:00	174.1	33°48'24.74"
12:05	173.1	33°39'16.04"
12:10	171.8	33°27'19.8"
12:15	171	33°19'57.4"
12:18	170.7	33°17'11.18"
12:21	170.4	33°14'24.78"
12:24	170.3	33°13'29.28"
12:27	170.2	33°12'33.75"
12:30	170.2	33°12'33.75"
12:33	170.2	33°12'33.75"
12:36	170.6	33°16'15.73"
12:39	171.2	33°21'48.2"
12:42	171.5	33°24'34.05"
12:45	172.1	33°30'5.38"
12:50	173.5	33°42'55.75"
12:55	175.1	33°57'31.5"
13:00	177.1	34°15'39.19"
13:30	194.1	36°44'33.92"

NOMBRE DEL EQUIPO: Novus-Keiken

LISTA DE PARTICIPANTES:

Abigali Rodríguez Jiménez
 Paulo Aarón Aguirre Álvarez
 Adán Gasca Velázquez

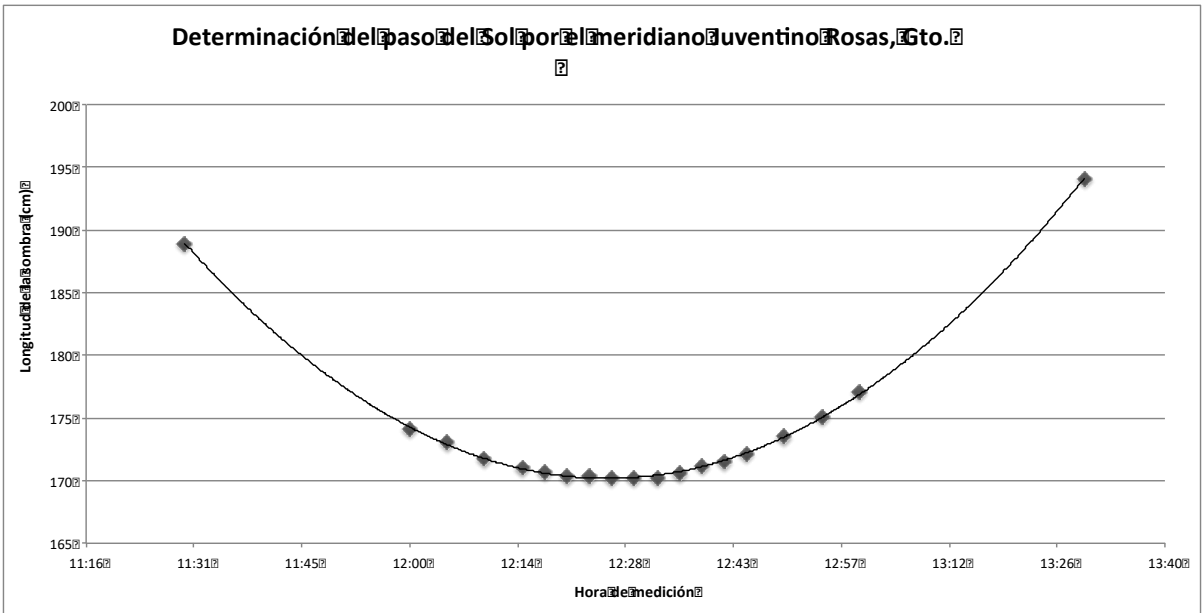
ASESOR: Juan Luis Rodríguez Noria

ESTADO: Guanajuato

MUNICIPIO Santa Cruz de Juventino Rosas

LATITUD: 20°41'46" N

LONGITUD: 100° 59' 35" O



MEDICIÓN DEL 28/10/14		
Mástil (altura):	51.6 m	
Hora GMT-6	Longitud sombra (±0,1 m)	Ángulo de incidencia
12:10	104.6	34°36'16.74"
12:14	104.2	34°30'7.58"
12:16	104	34°27'2.66"
12:18	103.9	34°25'30.11"
12:20	103.8	34°23'57.51"
12:22	103.7	34°22'24.85"
12:24	103.6	34°20'52.13"
12:26	103.6	34°20'52.13"
12:27	103.5	34°19'19.36"
12:28	103.5	34°19'19.36"
12:29	103.6	34°20'52.13"
12:30	103.6	34°20'52.13"
12:31	103.8	34°23'57.51"
12:32	103.8	34°23'57.51"
12:33	103.9	34°25'30.11"
12:34	103.8	34°23'57.51"
12:35	103.9	34°25'30.11"
12:36	104	34°27'2.66"
12:40	104.2	34°30'7.58"
12:45	105	34°42'25"
12:50	105.8	34°54'38.78"
13:00	107.3	35°17'24.85"
13:30	117	37°39'35.29"

NOMBRE DEL EQUIPO: Novus-Keiken

LISTA DE PARTICIPANTES:

Abigali Rodríguez Jiménez
 Paulo Aarón Aguirre Álvarez
 Adán Gasca Velázquez

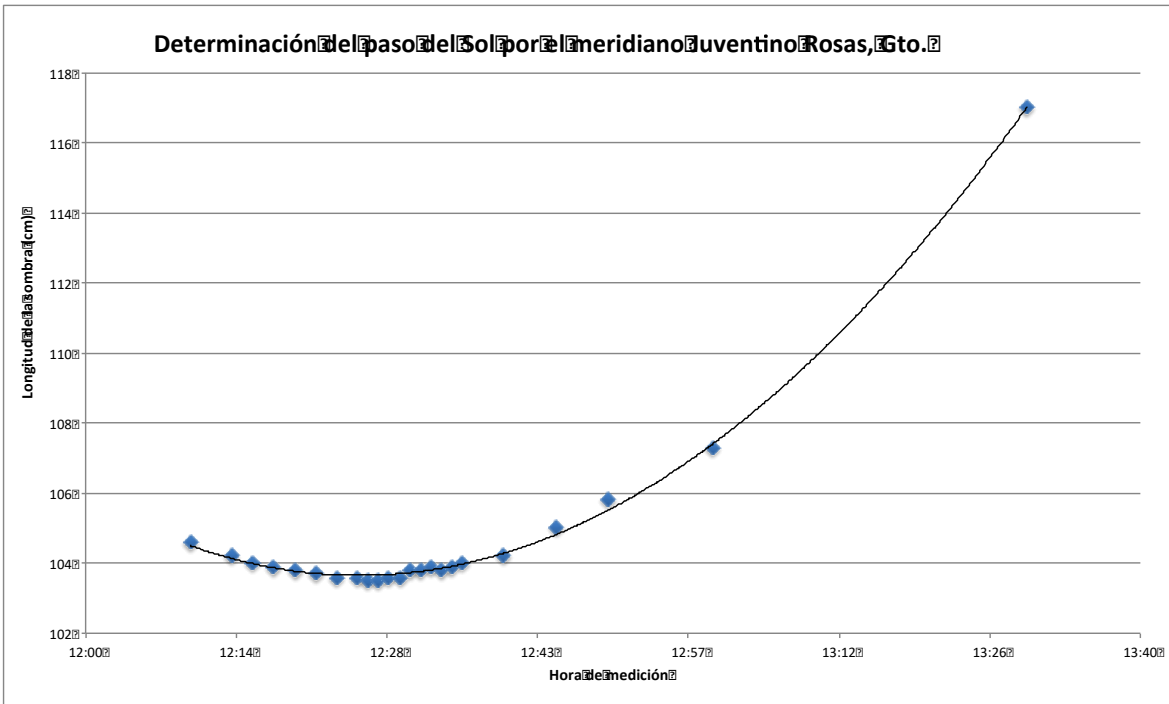
ASESOR: Juan Luis Rodríguez Noria

ESTADO: Guanajuato

MUNICIPIO Santa Cruz de Juventino Rosas

LATITUD: 20°41'46" N

LONGITUD: 100° 59' 35" O



MEDICIÓN DEL 29/10/14		
Hora	Longitud Sombra (±0,1cm)	Angulo de incidencia
11:30	115.6	37°19'36.18"
12:00	107.5	35°20'24"
12:05	106.6	35°06'36"
12:15	105.05	34°43'10.96"
12:20	104.5	34°34'44.54"
12:23	104.4	34°33'12.28"
12:25	104.3	34°31'39.96"
12:26	104.3	34°31'39.96"
12:27	104.2	34°30'7.58"
12:28	104.19	34°29'58.34"
12:29	104.1	34°28'35.15"
12:30	104.2	34°30'7.58"
12:31	104.3	34°31'39.96"
12:34	104.5	34°34'44.54"
12:37	104.6	34°36'16.74"
12:41	104.8	34°39'20.98"
12:45	105.4	34°48'32.34"
12:50	105.6	34°51'35.67"
12:55	106.8	35°09'50.9"
13:00	107.8	35°24'57.38"
13:30	117.5	37°46'40.96"

NOMBRE DEL EQUIPO: Novus-Keiken

LISTA DE PARTICIPANTES:

- Abigali Rodríguez Jiménez
- Paulo Aarón Aguirre Álvarez
- Adán Gasca Velázquez

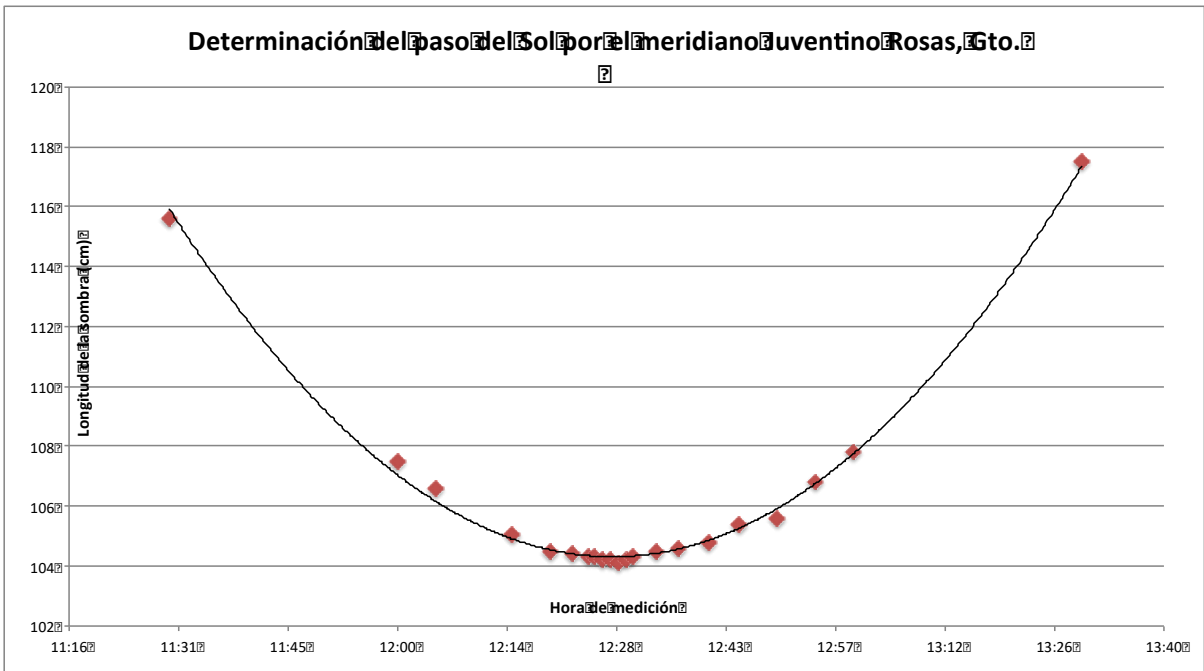
ASESOR: Juan Luis Rodríguez Noria

ESTADO: Guanajuato

MUNICIPIO: Santa Cruz de Juventino Rosas

LATITUD: 20°41'46" N

LONGITUD: 100° 59' 35" O



MEDICIÓN DEL 30/10/14		
Hora GMT-6	Longitud Sombra (±0,1cm)	Ángulo de Insidencia
11:30	116.6	35°6'48,93"
12:00	108.5	35°35'28,57"
12:05	107.2	35°15'54,17"
12:10	106.5	35°5'17,86"
12:15	106.2	35°0'44,31"
12:20	106.2	35°0'44,31"
12:25	105.7	34°53'7,25"
12:27	105.5	34°50'4,03"
12:29	105.5	34°50'4,03"
12:30	105.5	34°50'4,03"
12:31	105.7	34°53'7,25"
12:33	105.9	34°56'10,24"
12:35	106	34°57'41,65"
12:40	106.2	35°0'44,31"
12:45	106.7	35°8'19,95"
12:50	107.4	35°18'55,47"
13:00	109	35°42'57,73"
13:30	118.4	37°59'23,75"

NOMBRE DEL EQUIPO: Novus-Keiken

LISTA DE PARTICIPANTES:

- Abigail Rodríguez Jiménez
- Paulo Aarón Aguirre Álvarez
- Adán Gasca Velázquez

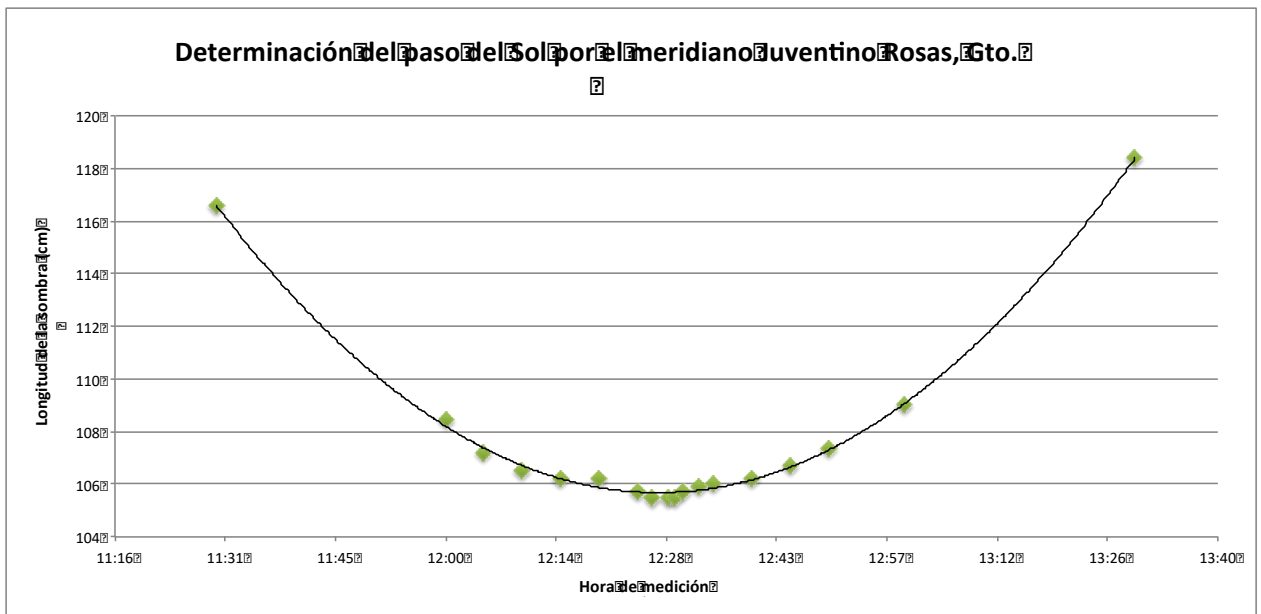
ASESOR: Juan Luis Rodríguez Noria

ESTADO: Guanajuato

MUNICIPIO Santa Cruz de Juventino Rosas

LATITUD: 20°41'46" N

LONGITUD: 100° 59' 35" O



MEDICIÓN DEL 31/10/14		
Mástil (altura):	51.6 m	
Hora GMT-6	Longitud Sombra (±0,1 cm)	Ángulo de incidencia
11:30	118.2	37°56'34.62"
12:00	109.8	35°54'53.47"
12:05	108.9	35°41'28.01"
12:10	108.4	35°33'58.57"
12:15	107.8	35°24'57.3"
12:20	107.3	35°17'24.85"
12:23	107.1	35°14'23.44"
12:25	106.8	35°9'50.9"
12:26	106.8	35°9'50.9"
12:27	106.6	35°6'48.93"
12:28	106.6	35°6'48.93"
12:29	106.6	35°6'48.93"
12:30	106.9	35°11'21.81"
12:31	107	35°12'52.65"
12:33	107	35°12'52.65"
12:35	107	35°12'52.65"
12:40	107.5	35°20'26.03"
12:45	107.9	35°26'27.72"
12:50	108.2	35°30'58.4"
13:00	110.2	36°0'50"
13:30	120	38°21'49.01"

NOMBRE DEL EQUIPO: Novus-Keiken

LISTA DE PARTICIPANTES:

Abigail Rodríguez Jiménez
 Paulo Aarón Aguirre Álvarez
 Adán Gasca Velázquez

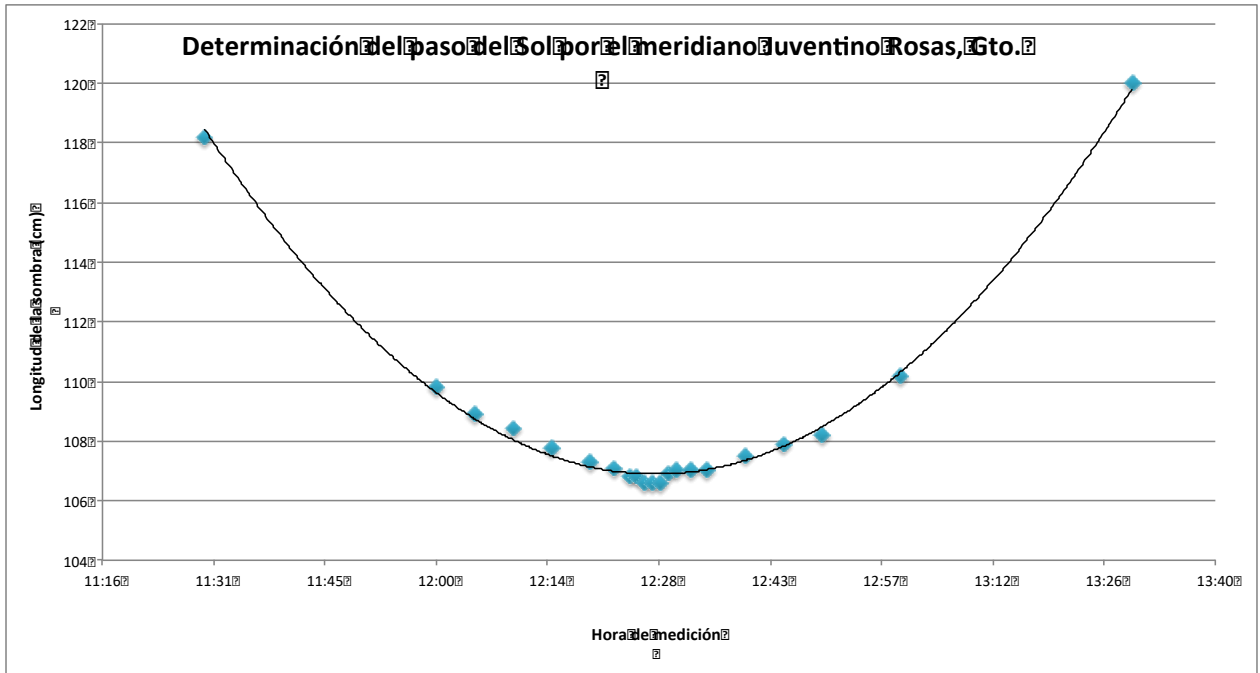
ASESOR: Juan Luis Rodríguez Noria

ESTADO: Guanajuato

MUNICIPIO: Santa Cruz de Juventino Rosas

LATITUD: 20°41'46" N

LONGITUD: 100° 59' 35" O



CUESTIONARIO MEDICIÓN DEL RADIO TERRESTRE EN MÉXICO 2014

1. "PARÁMETROS UTILIZADOS PARA LA MEDICIÓN DEL RADIO TERRESTRE"

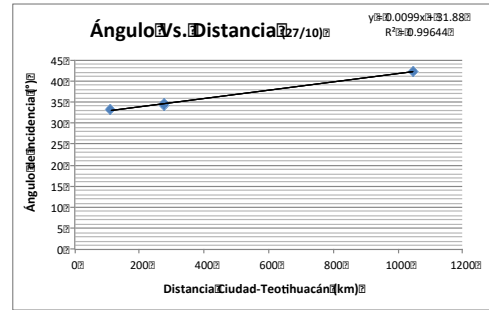
- Longitud de la sombra: distancia de la base del poste hasta el final de la sombra.
- Longitud original del mástil: medida de la base del poste hasta punta.
- Ángulo de incidencia: ángulo formado entre el mástil y los rayos del sol.
- Distancia entre nuestra ciudad y la ciudad de referencia: distancia de donde se realizaron las mediciones hasta el otro punto dado.
- Horas de medición: hora del día en que se tomaron las mediciones

2. TABLAS DE DATOS DE ÁNGULOS Y DISTANCIAS"

27/10/14

EQUIPO	CIUDAD	DISTANCIA CIUDAD-TEOTIHUACÁN (km)	ÁNGULO DE INCIDENCIA (°)	DIFERENCIA DE LATITUDES (°, '")
Novus-Keiken	Juventino Rosas	113.11	33.209375	1°0'58"
Galileo Beta	San Luis Potosí	276.07	34.249	2°28'48"
Galileo Alpha	San Luis Potosí	276.07	34.7	2°28'48"
FIMAKI	Hermosillo	1045.29	42	9°23'24"

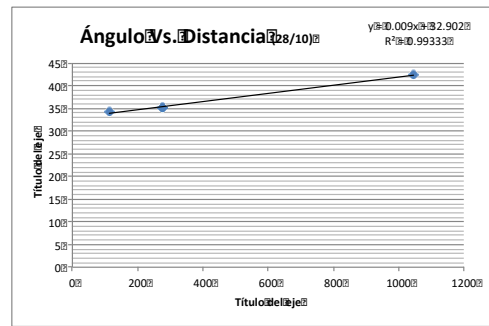
Pendiente (m): 0.0099
 Circunferencia (C): $C = 360 \text{ m} \times 2\pi = 6363,63 \text{ km}$
 Radio terrestre (R): $R = 360 / 2\pi \text{ (m)} = 787,45 \text{ km}$



28/10/14

EQUIPO	CIUDAD	DISTANCIA CIUDAD-TEOTIHUACÁN (km)	ÁNGULO DE INCIDENCIA (°)	DIFERENCIA DE LATITUDES (°, '")
Novus-Keiken	Juventino Rosas	113.11	34.322044	1°0'58"
Galileo Beta	San Luis Potosí	276.07	35.14	2°28'48"
Galileo Alpha	San Luis Potosí	276.07	35.15	2°28'48"
FIMAKI	Hermosillo	1045.29	42	9°23'24"

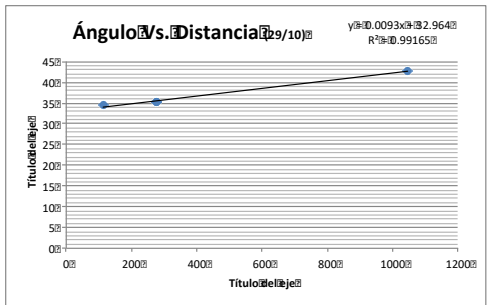
Pendiente (m): 0.009
 *Circunferencia (C): $C = 360 \text{ m} \times 2\pi = 0000 \text{ km}$
 Radio terrestre (R): $R = 360 / 2\pi \text{ (m)} = 366,2 \text{ km}$



29/10/14

EQUIPO	CIUDAD	DISTANCIA CIUDAD-TEOTIHUACÁN (km)	ÁNGULO DE INCIDENCIA (°)	DIFERENCIA DE LATITUDES (°, '")
Novus-Keiken	Juventino Rosas	113.11	34.47643	1°0'58"
Galileo Beta	San Luis Potosí	276.07	35.25	2°28'48"
Galileo Alpha	San Luis Potosí	276.07	35.24	2°28'48"
FIMAKI	Hermosillo	1045.29	43	9°23'24"

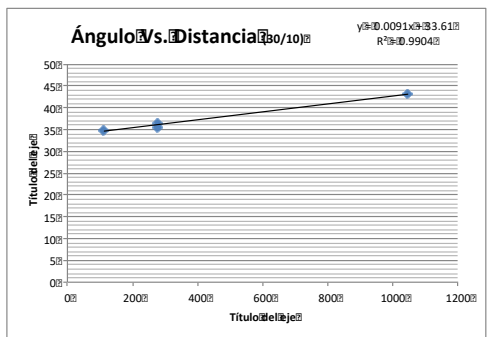
Pendiente (m): 0.0093
 Circunferencia (C): $C = 360 \text{ m} \times 2\pi = 8709,67 \text{ km}$
 Radio terrestre (R): $R = 360 / 2\pi \text{ (m)} = 160,83 \text{ km}$



30/10/14

EQUIPO	CIUDAD	DISTANCIA CIUDAD-TEOTIHUACÁN (km)	ÁNGULO DE INCIDENCIA (°)	DIFERENCIA DE LATITUDES (°, '")
Novus-Keiken	Juventino Rosas	113.11	34.834452	1°0'58"
Galileo Beta	San Luis Potosí	276.07	36.42	2°28'48"
Galileo Alpha	San Luis Potosí	276.07	35.58	2°28'48"
FIMAKI	Hermosillo	1045.29	43	9°23'24"

Pendiente (m): 0.0091
 Circunferencia (C): $C = 360 \text{ m} \times 2\pi = 9560,44 \text{ km}$
 Radio terrestre (R): $R = 360 / 2\pi \text{ (m)} = 296,24 \text{ km}$



CUESTIONARIO MEDICIÓN DEL RADIO TERRESTRE EN MÉXICO 2014

3. "CONCLUSIONES"

La medición del radio terrestre puede ser muy sencilla al momento de creer que se están haciendo las mediciones correctas, pero cuando se comienzan con los cálculos te empiezas a dar cuenta que por el más mínimo error, los resultados pueden estar desfasados por mucho.

Esta experiencia nos hizo probar la ciencia de Eratóstenes a la antigua; fue divertido y un poco estresante, pero aprendimos cosas a las cuales jamás les habíamos puesto atención, como por ejemplo, que el ángulo de incidencia variaba con la longitud y latitud geográfica, y que así mismo, este ángulo varía cada día debido a la declinación del Sol.

Con este proyecto nos dimos cuenta de lo sorprendente que es el ingenio de aquellas personas que han contribuido para la evolución tanto científica como tecnológica del ser humano. Cuando te das cuenta que puedes revivir un momento así, se siente muy satisfactorio y sobre todo motivador.

APÉNDICE C: Conceptos básicos de utilidad

Es importante para los alumnos de preparatoria y secundaria que aprendan algunos conceptos básicos de coordenadas terrestres de forma que comprendan el procedimiento del experimento. Algunos de los conceptos básicos de interés se enlistan a continuación:

Eje polar: es un eje imaginario alrededor del cual gira la Tierra en su movimiento de rotación. El eje polar pasa por los polos de la Tierra.

Ecuador terrestre: es la circunferencia imaginaria sobre la superficie de la Tierra que divide a dicha superficie en dos partes iguales y que es perpendicular al eje de rotación de la Tierra.

Plano Ecuatorial: es un plano imaginario sobre el cual está el ecuador terrestre.

Paralelo: es una circunferencia imaginaria sobre la superficie de la Tierra que va en dirección Este-Oeste y es paralela al Ecuador terrestre.

Meridiano de un lugar dado: es la semicircunferencia que va de un polo de la Tierra al otro polo pasando sobre dicho. Los meridianos los podemos imaginar como las divisiones entre los gajos de una naranja.

Meridiano de Greenwich: es el meridiano que pasa por el observatorio de Greenwich en Inglaterra. A partir de él se mide la longitud terrestre, es decir, la longitud del meridiano de Greenwich es de cero grados (0°).

Longitud geográfica de un lugar dado: es el ángulo medido en el plano del Ecuador, entre el meridiano de dicho lugar y el meridiano de Greenwich. La longitud se mide hacia el Oeste del meridiano de Greenwich para sitios que estén a longitudes de menos de 180° y al Este para sitios que estén a valores menores de 180° hacia el Este. Sin embargo, para hacer comparaciones entre sitios es conveniente usar los valores de la longitud geográfica referida a una de las direcciones ya sea Oeste ó Este. Se acostumbra denotar la longitud geográfica con la letra l .

Latitud geográfica de un lugar dado: es el ángulo medido a lo largo del meridiano de dicho lugar entre el plano del Ecuador y el lugar dado. Se acostumbra denotar la latitud geográfica con la letra φ .

Culminación de una estrella en un lugar dado: es el momento en que dicha estrella pasa por el meridiano de dicho lugar. Una estrella alcanza su mayor altura durante su culminación. Es importante hacer notar que la culminación de una estrella depende de la longitud geográfica del lugar. Una estrella puede culminar al mismo tiempo en dos lugares distintos si estos tienen la misma longitud geográfica. La culminación del Sol determina el mediodía de un lugar dado.

Cenit: es el punto de la esfera celeste que está sobre el observador. Una persona en París, Francia tiene un cenit que es distinto al cenit de una persona en Río de Janeiro, Brasil.

Nadir: es el punto de la esfera celeste que está por debajo del observador (este concepto es importante, aunque sea un punto que no vemos).

Hora Universal:

Para comparar diferencias de tiempo entre diferentes lugares es conveniente usar la Hora Universal (HU), que es la hora del meridiano de Greenwich. La hora de un lugar dado se puede dar en HU y entonces se puede comparar con la hora de otro lugar que también esté dada en HU. La hora para el tiempo del Centro de México la denotamos por $t(\text{CMx})$. En verano la HU de la zona centro de México está dada por

$$t(\text{HU}) = t(\text{CMx}) + 5 \quad (31)$$

Esto significa que cuando en la zona Centro de México son las 4 P.M. en Greenwich son las 9 P.M. La hora para el tiempo del Pacífico de México la denotamos por $t(\text{PMx})$. En verano esta hora tiene una diferencia de 7 horas con respecto a la hora de Greenwich,

$$t(\text{HU}) = t(\text{PMx}) + 7 \quad (32)$$

Así que, para saber la HU de la culminación que se midió solo tienes que saber si en la localidad se usa la hora del Pacífico o la hora del Centro.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) AstroMía, “Eratóstenes y la medición del Radio Terrestre”, recuperado de <http://www.astromia.com/biografias/eratostenes.htm>
- 2) Preguntas de la Olimpiada Nacional de Astronomía en México, J. Eduardo Mendoza Torres, Siena Editores, 2006 y 2008