

Diseño de una estructura de reloj solar de cuadrante horizontal para la ciudad de Bogotá

A structural design of an horizontal quadrant solar clock in Bogota city

Julio Hernán Bonilla Romero¹ Olga Lucía Godoy Morales² Paola Andrea Ochoa Hurtado³ & Catherine Muñoz Mancipe⁴

Para citar este artículo: Bonilla-Romero, J.H., Godoy-Morales, O.L., Ochoa-Hurtado, P.A. & Muñoz-Mancipe, C. (2017). Diseño de una estructura de reloj solar de cuadrante horizontal para la ciudad de Bogotá. *Revista de Topografía Azimut*, (8), 80-86.

Recibido: 19-abril -2017 / **Aceptado:** 23-diciembre-2017

Resumen

Desde tiempos muy antiguos los hombres fueron excelentes observadores de la naturaleza. Encontraron una gran utilidad en algunos de los fenómenos que sucedían periódicamente en el cielo; el lugar por donde salía y se ocultaba el sol, las fases de la luna o las constelaciones que se hacían visibles durante la noche. Estas manifestaciones, que en algunos casos eran observadas por sobras, daban una idea del tiempo y coincidían con eventos de los cuales dependía su subsistencia, por ejemplo: la recolección de frutos, el tiempo de lluvia o de sequía, y las migraciones de los animales. El Semillero en Arqueoastronomía, que en una de sus líneas de investigación estudia los calendarios, las cosmologías y cosmogonías y toda evidencia de actividad cultural relacionada con la astronomía, propuso este proyecto que permitió que los estudiantes de Tecnología en Topografía de la Universidad Distrital, identificaran las distintas aplicaciones de las materias vistas en la carrera, basándose en los conceptos de topografía, arqueoastronomía, astronomía, geodesia geométrica y posicional. Para ello fue necesario

realizar un posicionamiento geodésico; luego un levantamiento topográfico para la generación de la cartografía para ubicar con mayor precisión la zona del reloj; a continuación se realizó la georreferenciación del punto de ubicación para la generación del diseño final de la estructura del reloj y su orientación, con este diseño se elaboró una maqueta escala 1:1 referenciada y comprobada en el sitio. Es importante que los elementos de la ciencia, como las mediciones de tiempo por medio de sombras y la astronomía, estén muy cerca de los ciudadanos, en la ciudad y sus alrededores hay solo cuatro relojes de sol.

Metodológicamente el trabajo se abordó desde el estudio de diferentes estructuras diseñadas en distintas latitudes y la elección de la más adecuada para ser diseñada en el software Shadows Pro 3.5. Se obtuvo el diseño de un reloj de sol horizontal para medir el tiempo por medio de sombras. La base de la estructura del reloj se recomienda que sea construida en concreto con las divisiones horarias, el gnomon o analema se elabora en lámina de acero.

1 Semillero en Arqueoastronomía - Tecnología en Topografía, Universidad Distrital. Correo electrónico: jbonilla@udistrital.edu.co.

2 Semillero en Arqueoastronomía - Tecnología en Topografía, Universidad Distrital. Correo electrónico: ogodoy@udistrital.edu.co

3 Semillero en Arqueoastronomía - Tecnología en Topografía, Universidad Distrital. Correo electrónico: paoh08@hotmail.com

4 Semillero en Arqueoastronomía - Tecnología en Topografía, Universidad Distrital. Correo electrónico: caterockriptametal@hotmail.com

Palabras clave: analema, declinación, equinoccio, solsticio.

Abstract

Since ancient times men were excellent observers of nature. They found very useful in some of the events that happened regularly in the sky; the place where rose and the sun set, the phases of the moon or the constellations that were visible at night. These phenomena which in some cases were observed by leftovers gave an idea of time and coincided with events which their livelihoods depend, for example, fruit collection, time of rain or drought and migration of animals. The Seed in Archeoastronomy that in one of its research studies calendars, cosmologies and cosmogonies and all evidence of cultural activity related to astronomy, proposed this project allowed students Surveying Technology in the University District, identify different applications of materials views in the race, based on the concepts of Topography, Archeoastronomy, Astronomy, geometric and

positional Geodesy. It was necessary to perform geodetic positioning, then a survey for generating mapping to locate more precisely in the area of location of the clock, then georeferencing point location for the generation of the final design was performed one referenced and checked on the site structure and orientation clock with this design a model scale of 1 was generated. It is important that the elements of science such as time measurements using leftovers and astronomy are very close to the citizens in the city and surroundings there are only 4 sundials. Methodological work was approached from the study of different structures designed in different latitudes and choosing the most suitable to be designed in the Shadows Pro 3.5 software. Resulting in the design of a horizontal sundial to measure time by means of shades. The base of the structure of the watch is recommended to be built specifically with time divisions, the gnomon or analema be built in steel sheet.

Palabras clave: analema, declination, equinox, solstice.

INTRODUCCION

Los relojes de sol fueron instrumentos creados con la finalidad de medir el tiempo, herramienta que dio lugar a los calendarios; estos han sido el punto de referencia para la evolución mecánica de los relojes hasta llegar a los que hoy en día conocemos. Todos ellos basados en los movimientos de la tierra a partir del gran sentido de observación que tenían los pueblos antiguos. “El sol era el único punto de referencia para nuestros antepasados y basados en sus movimientos crearon el primer calendario con sus meses, años y semanas” (Izquierdo *et al.*, 2001, p. XX), esto se desarrolló antes de la creación del reloj convencional, debido a que los seres humanos se vieron en la necesidad de seguir las estaciones.

¿Cómo generar un trabajo de grado que lleve a entender y a tener presente el campo astronómico en la topografía a través de un reloj solar? El

proyecto llega hasta el punto de brindarnos una hora y fecha, además que marca los tiempos en que ocurren los solsticios y equinoccios en Bogotá por medio de un gnomon (en griego: “guía” o “maestro”, que hace referencia a un objeto alargado cuya sombra se proyecta sobre una escala graduada para medir el paso del tiempo). El estudio se realizó con el objetivo de diseñar un reloj solar y poderlo localizar al lado de la estación meteorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), que se encuentra en la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Además, se quiso obtener la cartografía de la zona para la ubicación del reloj solar, mediante un posicionamiento geodésico y un levantamiento topográfico del predio. Por último, se georreferenció y orientó el punto exacto de ubicación del reloj de sol que lograra una buena orientación mediante los estudios realizados. Se generó una maqueta a tamaño real de la estructura diseñada.

El primer reloj de sol era simplemente una estaca clavada en el suelo, con esto se veía cómo variaba la dirección y la longitud de la sombra durante el día; así, era se percibía que la sombra caía hacia el oeste por la mañana cuando el sol estaba en el este, y giraba hacia al este cuando caía la tarde y el sol se ocultaba por la parte occidental. En Egipto fue encontrado un reloj que data del 1500 a.C. aproximadamente en el reinado de Tutmosis III. En la mañana se colocaba una te erguida apuntando hacia al este y de esta manera la sombra caía de manera horizontal sobre una barra calibrada hasta que el sol se ocultara. Al espaciar las rayas calibradas y estuviera más lejos de la hora del medio día este primer reloj podía dividir el día en 12 partes aproximadamente iguales.

En la América prehispánica los más relevante fue el primer reloj de sol creado por los mayas, en Honduras. Esta grandiosa cultura creó la famosa estela D, la cual data del 733 d.C. Se encuentra en la plaza de las escalinatas y fue construido por el décimo tercer gobernante, 18 Conejo. En este reloj, según los arqueólogos, los mayas podían consultar las estaciones del año. "Asimismo, las fechas para iniciar la agricultura y otras actividades religiosas que se calculaban siguiendo el ritmo del universo a través de la observación de las estrellas, en vista que ese importante grupo étnico además de sabios matemáticos, arquitectos y agricultores eran astrónomos" (A-BAK, 2013).

En la arqueoastronomía, en lo referente a los relojes de sol, en el mundo, es frecuente encontrar vestigios materiales con los cuales, gracias a la arqueología, tratan de comprender cómo los pueblos originarios veían el mundo, sus mediciones e interpretaciones, etc. "Estos rasgos lograron un apego frecuente dado por los fenómenos astronómicos. Es entonces cuando la arqueología se asocia a las técnicas proporcionadas como la geografía, la astronomía, así se da la disciplina que trabaja con los conocimientos astronómicos de estos pueblos" (Izquierdo *et al.*, 2001, p.. Se

encuentran varios tipos de relojes de sol, verticales, inclinados, triédricos, horizontales, ecuatoriales, polares.

MÉTODOS

El sol tiene un movimiento aparente, que se debe a su desplazamiento propio combinado con el de nuestro planeta, y ambos están relacionados con la medición del tiempo según los ciclos de cada uno. "Todos los días, cuando vemos al Sol desplazarse desde el horizonte oriental hasta el occidental, 15 grados cada hora, en realidad es la Tierra la que está rotando sobre su propio eje. En la región que llamamos *tropical* o *zona tórrida*, entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio" (Ramírez y Cuartas, 2005, p.

Se realizaron visitas a distintos relojes de sol en Bogotá y Cundinamarca, tomando la decisión de escoger algo parecido al reloj solar del municipio de Madrid, en ese departamento, por ser el diseño que más se acopla y que puede cumplir los planteamientos deseados.

Se trataría de trazar en torno a la Tierra 24 meridianos, separados 15° entre sí, con la particularidad de que uno de ellos pase obligatoriamente por el lugar de observación. De tal manera que el Sol, en el recorrido que describe de este a oeste, vaya atravesando uno tras otro los planos de tales meridianos. Así pues, cuando el Sol alcanza el meridiano medio del lugar de observación será lógicamente el mediodía de ese lugar (Montoya y Vozmediano, 2013, p. XX).

Se realizó un posicionamiento satelital en tiempo real, para lo cual se contó con la configuración hecha en todo momento por el programa *Top-SURV*, por medio del que se tomó una estación base ubicada en el punto Vértice Geodésico VIV-5, con coordenadas conocidas y un receptor remoto, el cual registró los datos a partir de la configuración establecida para la estación base.

Además se configuró la estación base que sirvió como referencia para los receptores remotos. Con esto se recolectaron datos sobre la topografía del terreno en un intervalo de grabación de dos segundos. Se realizó el levantamiento topográfico por una poligonal con dos placas conocidas, como se muestra en la figura 1, para su azimut y la puesta de dos deltas las cuales fueron localizadas días anteriores del levantamiento en lugares estratégicos con buena visibilidad a los detalles a tomar.

Las experiencias más inmediatas con la astronomía son, sin duda, las relacionadas con el ir y venir de los días y los ciclos estacionales y lunares. Es ineludible dirigir nuestro interés al Sol para buscar explicación a la variación de las sombras de los objetos, a los eclipses, a la alternancia de las estaciones, etc. (Domenech, 1991). Para el diseño del reloj de sol que mostrara sus ciclos y midiera el tiempo, se buscaron distintos softwares que permitieran diseñar la estructura de una manera precisa y a la vez ingresar parámetros claves de funcionalidad.

Se optó por el *software Shadows Pro 3.5* en su versión libre de prueba y haciendo uso de una

licencia gratuita que brinda el programa durante un tiempo de dos horas cada 15 días. Este programa incluye una base de datos de más de 2800 lugares con latitud, longitud y zona horaria, lo cual facilitó que el programa cargara todos los parámetros del lugar y así generare el método más adecuado de diseñar, con cada uno de los criterios, las marcaciones del reloj solar.

Luego de escoger el tipo de cuadrante que se va a diseñar se ingresa la latitud y longitud del punto centro de la estructura. Se seleccionó el cuadrante de tipo horizontal como se muestra en la figura 2.

El *software* viene con una base de datos donde se encuentran las coordenadas geográficas de distintos países y algunas ciudades, entre estas, Bogotá; pero para obtener mayor precisión se ingresan las coordenadas geográficas del lugar donde se diseña la estructura, las cuales se obtienen mediante levantamientos y posicionamientos anteriormente descritos. Latitud $4^{\circ} 35' 53''$ Longitud $74^{\circ} 03' 54''$.

Para el reloj se trabajó con un cuadrante de 9500 mm de ancho y 6000 mm de alto, el gnomon o estilo se definió una altura de 1000 mm. Las líneas horarias se definieron para ser creadas cada media hora



Figura 1. Levantamiento topográfico

por viabilidad de su construcción y por ser más entendible a la población ya que si se generaban más líneas horarias sería muy confusa la lectura de la hora. Las líneas de declinación se generan “cada 30° de longitud eclíptica”, que corresponde a las fechas en que cambian los signos zodiacales. Además es importante destacar que el *software* toma como líneas de declinación límites, los arcos que muestran el recorrido aparente del sol durante los solsticios.

La ecuación del tiempo es importante que fuera plasmada en el reloj ya que es la encargada de mostrar la diferencia entre la hora solar media y la hora solar verdadera. En *Shadows* se genera el analema o lemniscata, mediante el menú de “Trazados” y se escogió la opción “Lemniscata a mediodía”, por ser las 12 la hora en la cual se hace más fácil la identificación de este. Luego se obtuvo el diseño del cuadrante el cual se muestra en la figura 2. En astronomía,

el analema es la curva que describe la posición del Sol en el cielo, si todos los días del año se lo observa a la misma hora del día (tiempo civil) y desde el mismo lugar de observación. El analema forma una curva que suele ser, aproximadamente, una forma de ocho (8) (Astrofísica y física.com, 2010). Unas de las características previamente verificadas, y tenidas en cuenta en la elaboración del reloj solar fue simular y generar la sombra del estilo realizado, con el fin de observar con anterioridad a la ubicación de la maqueta en el sitio como debía ser proyectada la sombra, como se muestra en la figura 3.

La maqueta a escala 1:1 de dimensiones 9,5 m por 6 m, y gnomon de 1 m de altura, se orientó al norte según las coordenadas del terreno. Se observó por varios minutos que la punta del gnomon marcaba sobre el cuadrante por medio de la sombra la hora y fecha señalada sobre la base de la misma (figura 4).

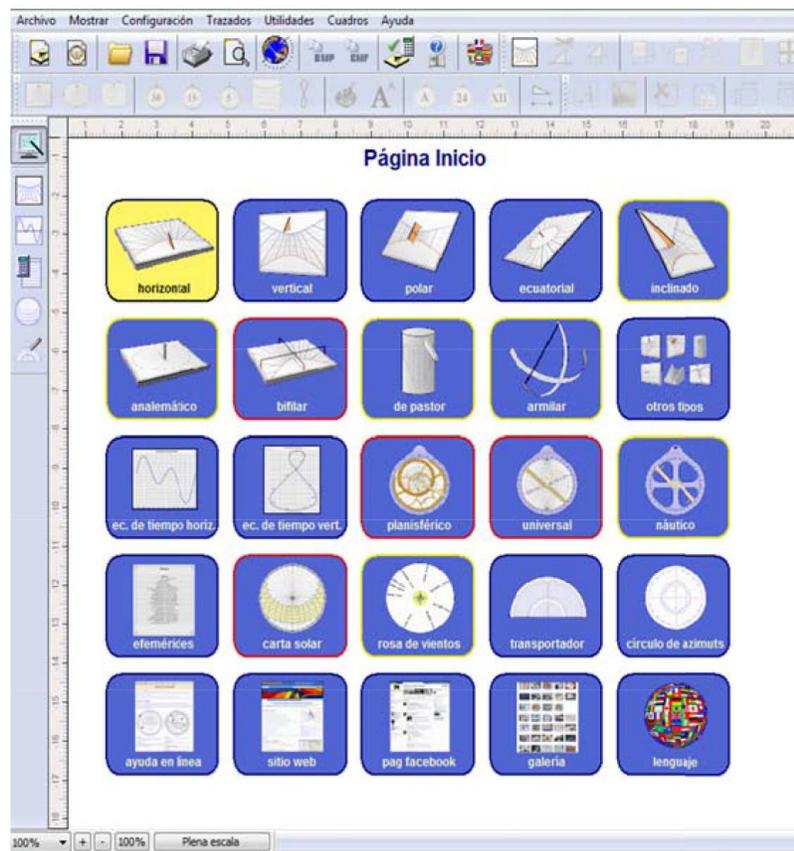


Figura 2. Plantillas de diferentes tipos de relojes solares en *Shadows Pro 3.5*

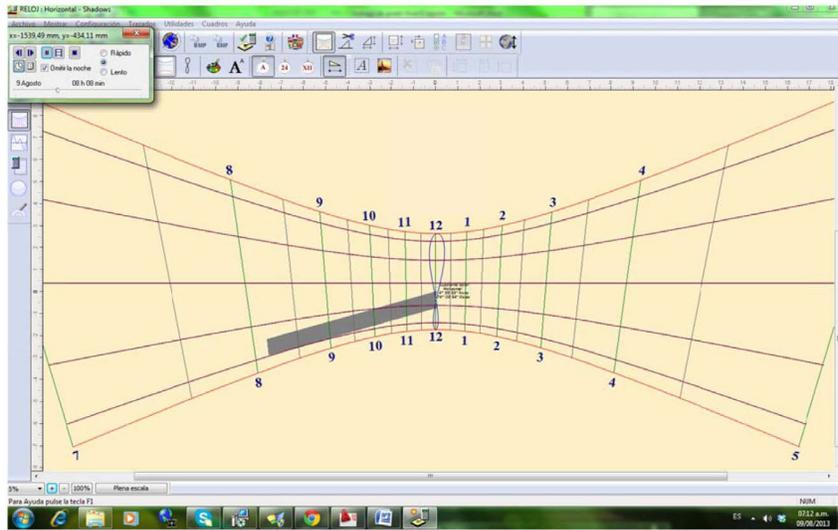


Figura 3. Diseño del cuadrante, analema y sombra proyectada



Figura 4. Vista del gnomon y detalle de la hora

RESULTADOS

Levantamiento y plano topográfico detallado de la zona de localización del reloj solar. Se obtuvo una poligonal con un error angular de cierre de 32". Para determinar las coordenadas y la cota de cada uno de los deltas fue necesario calcular cada uno de ellos y se obtuvieron:

VIV 5: norte: 100224,025; este: 101392,202, cota: 2720,168

D1: norte: 100218,465; este: 101421,094, cota: 2721,6519

D2: norte: 100198,607; este: 101405,709, cota: 2718,17684.

El error de la nivelación trigonométrica fue de 0,0254 m estas cotas ajustadas fueron concretadas y tomadas como base para hallar el resto de detalles.

Con los datos obtenidos se realiza el plano topográfico y a partir de este se obtienen las coordenadas cartesianas locales del punto centro del reloj N= 100219.327 E=101393.142

Diseño de la estructura de un reloj de sol de cuadrante horizontal funcional en la zona escogida . Se obtiene el diseño de un reloj de sol con los siguientes datos técnicos: cuadrante solar de tipo horizontal, ancho del cuadrante: 9,5 m; altura del cuadrante: 6,0 m; inclinación del cuadrante: 0°; declinación del plano: 0°; de frente al sur, altura del estilo o gnomon: 1,0 m; longitud del estilo: 0,15 m; corrección por longitud: -3 min 44s; líneas declinantes: cada 30 ° (zodiaco); líneas horarias: cada 30 minutos.

Se hicieron pruebas que consistieron en colocar la maqueta en el lugar de estudio donde se trabajó

con la hora legal para Colombia, la cual es determinada por el Instituto Nacional de Metrología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A-BAK (2013). *El reloj más antiguo de América legado de los mayas*. Recuperado 16 de octubre de 2012 de: <http://abakmatematicamaya.blogspot.com/2010/04/bak-matematica-maya-el-reloj-mas.html>
- Domenech, R.J. (1991). *Trazado y construcción de relojes de sol*. Alicante: Editorial Aguaclara.
- Izquierdo, A. et al. (2001). *Astronomía para todos*. Bogotá: Editorial Unilibros, Universidad Nacional de Colombia.
- Ramírez, J. y Cuartas, P. (2005). *El reloj de sol*. Bogotá: Planetario de Bogotá.
- Astrofísicayfísica.com (31 de diciembre de 2010). *El analema*. Recuperado de 15 mayo de 2012 de: <http://www.astrofisicayfisica.com/2010/12/el-analema.html>
- Montoya, A. y Vozmediano, D. (2013). *Relojes en Saturde de Rioja*. 1a. ed. Santurde, España.