



CONSTRUCCIÓN DE UN RELOJ SOLAR VERTICAL PARA EL OBSERVATORIO PROF. ALEXIS TROCHE EN PARAGUAY

José Ma. Gómez – NASE, Paraguay
Observatorio Astronómico DIP FP-UNA, Paraguay
Sergio García Núñez- Colegio NN. UU, Paraguay
Asociación de Jóvenes del Barrio Loma A.J.B.L, Caacupé-Paraguay

Introducción

El proyecto consiste en la **construcción de un reloj solar vertical con fines didácticos y divulgativos**. Esto podrá ser llevado a cabo mediante la realización de cálculos astronómicos que tienen en cuenta la latitud del lugar, la declinación del sol para los distintos meses del año, todo esto mediante la utilización de materiales preferentemente reciclados y de bajo costo.

Los beneficios esperados son:

- Contar con un espacio físico que indique la ubicación del Observatorio astronómico Prof. Alexis Troche con una alegoría astronómica.
- Posibilitar a los estudiantes, visitantes y al público en general, contar con un reloj solar como un medio educativo, de vínculo con la ciencia y la naturaleza, para llevar a cabo la medición de la hora en forma natural y fácil.
- Fomentar el interés de los jóvenes y ciudadanos en general hacia la Ciencia.
- Generar un espacio para la expresión artística de talentos locales.
- Fomentar la combinación del ingenio humano con las maravillas de la naturaleza a fin de lograr, la convivencia armónica con ella.

Contenido: Como construir un reloj solar vertical

A) Procedimiento.

Parte A.1

- 1- Encontrar la dirección Norte- Sur en el lugar a construir el reloj solar.

Para ello se puede utilizar una brújula, que colocada sobre una lámina de papel (fijada a su vez en el piso con cintas adhesivas), se marca la dirección del Norte magnético y se realiza la corrección de Declinación de -14 grados (Para San Lorenzo-Py) con lo cual se halla el norte geográfico requerido para el correcto funcionamiento del reloj. Luego se marca sobre esta dirección la línea N-S con una regla suficientemente larga. En este caso, esta dirección fue comparada con la orientación misma del observatorio (dirección N-S) encontrándose una excelente coincidencia

- 2- Marcar la línea Este- Oeste perpendicular a la línea Norte- Sur.
- 3- Encontrar un tablero en desuso de aproximadamente 1,2 m² (121,2x100,7 cm) de superficie, reacondicionarlo y ubicarlo en la dirección este-oeste en el lugar previamente seleccionado (asegurarse de un lugar que esté iluminado durante gran parte del día).



- 4- Diseñar aspectos alegóricos del reloj y realizar los cálculos indicados en el siguiente apartado.

Parte A.2

- 1- Dibujar las marcas horarias según las siguientes ecuaciones:

$$\text{Tan_H_vert} = \text{Tan}(H_{\text{ecuat}}) \cdot \cos(\Phi) \dots \dots \dots (1)$$

$$H_{\text{vert}} = \text{shift Tan}(1) \dots \dots \dots (2)$$

Siendo:

H_vert: ángulo en grados de las líneas horarias con la línea vertical de las 12 h (0° de referencia) a ser marcadas en el reloj en cuestión.

Tan_H_vert: tangente del ángulo de las líneas horarias del reloj vertical.

Tan (H_ecuat): tangente del ángulo de las líneas horarias para un reloj ecuatorial, siendo en este caso 15° por cada hora indicada por una línea horaria, correspondiente al movimiento aparente del sol de 15°/hora (tabla 1).

Φ : latitud del lugar (Observatorio: 25°20'10.1'' S)

Tabla 1. Ángulos de las marcas horarias con relación a la vertical (12h).

Hvertical_deg*	Hecuat_deg	Hora_pm	Hora_am
0	0	12	
6,803709587	7,5	12,5	11,5
13,64874636	15	13	11
20,57505059	22,5	13,5	10,5
27,61961227	30	14	10
34,81458788	37,5	14,5	9,5
42,18503026	45	15	9
49,7462991	52,5	15,5	8,5
57,50141838	60	16	8
65,43888182	67,5	16,5	7,5
73,53159901	75	17	7
81,73769234	82,5	17,5	6,5
-89,92727348	90	18	6

*Téngase en cuenta la simetría en relación a la marca de las doce al momento de trazar las líneas horarias.

Para el cálculo de las líneas de solsticio de invierno y equinoccios ver anexo.

2- Construcción del cuadro principal del reloj (de 74,5 cm de alto por 66 cm de ancho) y verificación de los ángulos correspondientes a las marcas horarias. El estilete tiene una inclinación con relación al plano vertical de $90 - \Phi$ y una longitud de 350 mm.



Puesta en escena y correcciones en caso de necesidad.

B) Imágenes del reloj en funcionamiento.



Aspecto general del reloj solar vertical ubicado en frente al Observatorio.



Marcación de la hora.



Reverso utilizado como parte de la señalética del observatorio.





Visita por parte de docentes y estudiantes.



Eslogan y logotipo del observatorio, así como de la FP-UNA.

C) Modo de uso.

Para la correcta lectura de la hora se deberán realizar las siguientes correcciones:

- a) **Sumar una hora a la hora indicada por la sombra del estilete en caso de ser una fecha con horario de verano.**
- b) **Realizar las correcciones correspondientes a la Ecuación del tiempo** (Esto indicará la diferencia en *minutos*, entre el “tiempo solar real” (la hora que se ha leído) y el “tiempo solar medio” (hora de pulsera), debido a la ley de las áreas de Kepler, que establece que la velocidad aparente del sol no es constante para todos los días del año).
- c) **Restar 11,3 minutos a la hora indicada por el reloj solar analemático.**

Para hacer el ajuste de longitud hay que conocer la longitud local de la Ciudad de San Lorenzo ($-57^{\circ}10'22''$) y la longitud del meridiano “Standard” de su zona horaria (-60), por tanto, hay una diferencia de 2.83° y ello implica que en este caso deberás restar 11,3min a la hora indicada por el reloj de sol. (1 grado = 4 minutos de tiempo).

- d) Los pasos b) y c) se han incluido en la gráfica ubicada en la parte inferior del reloj solar.



Lámina con la ecuación del tiempo (incluida corrección de longitud) y los logos de NASE y de la IAU por sus 100 años.



Ecuación del tiempo, generado con Shadows 4.2.

D) Glosario de términos.

Declinación: Distancia angular de un astro al ecuador celeste.

Equinoccio: Momento del año en que el Sol está situado en el plano del ecuador celeste (20 o 21 de marzo y 22 o 23 de septiembre).

Solsticios: son los momentos del año en los que el sol alcanza su mayor o menor altura en el cielo (máxima declinación sur $-23^{\circ}27'$ y máxima declinación norte $+23^{\circ}27'$ respectivamente).

Ocurre entre 20 o 21 de Diciembre (max dec sur) y entre el 21 o 22 de junio (max dec norte) de cada año.

Ecuación del tiempo: es la diferencia entre el tiempo solar medio (medido generalmente por un reloj de pulsera y el tiempo solar aparente (tiempo medido por un reloj de sol) ver la tabla de arriba.

BIBLIOGRAFÍA

- HORIZONTE LOCAL Y RELOJES DE SOL. Primer curso de Astronomía para profesores de secundaria y escolar básica. San Lorenzo - Paraguay 2011. Curso NASE (Network for Astronomy School Education). Comisión 46 de educación de la Unión Astronómica Internacional UAI.
- CUADRANTES SOLARES Y ASTROLABIOS. Blateyron, François Manual del usuario. Shadows 4.2, 2014-2018.
- <https://www.shadowspro.com>
- RELOJ SOLAR VERTICAL. Esteban Esteban, Atrévete con el Universo, NASE.
- ANALEMMATIC SUNDIALS: HOW TO BUILD ONE AND WHY THEY WORK? - J Budd, C J Sangwin Cambridge -University of Bath. Millennium Mathematics Project-University of Cambridge.

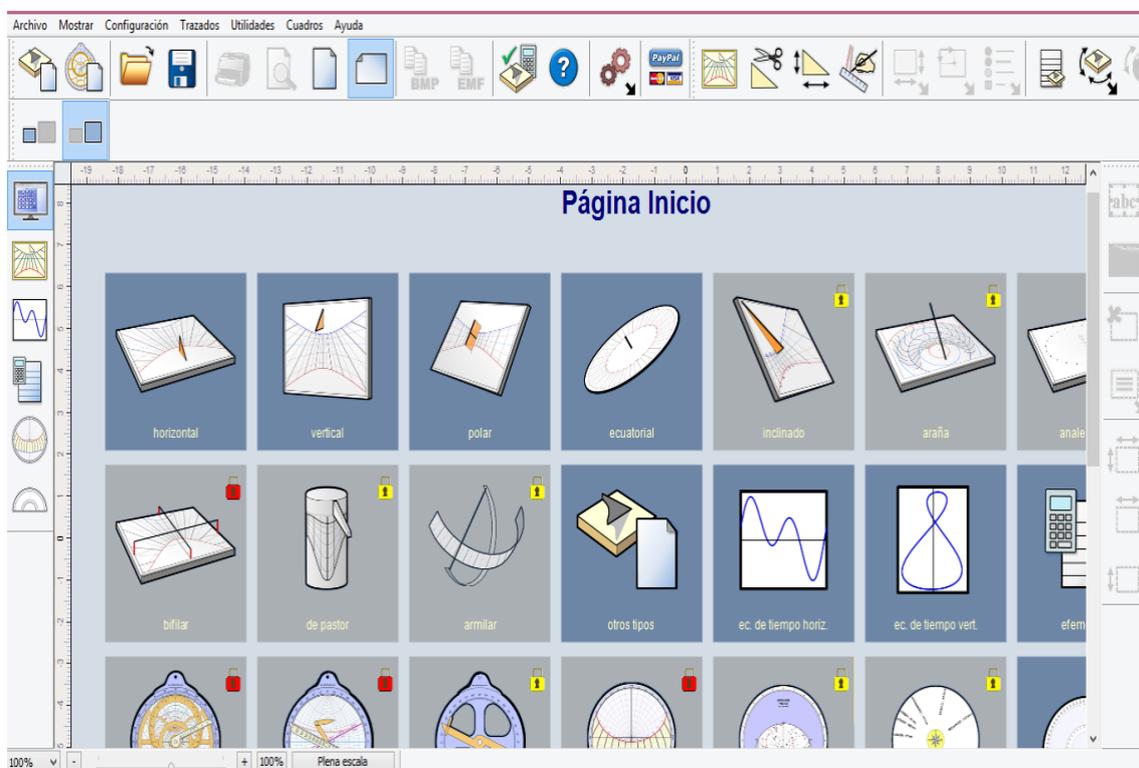
ANEXOS

Anexo A. Cálculo de las líneas de solsticio de invierno y equinoccios.

Para este menester se ha utilizado el software Shadows 4.2 (Sombras) en su modo libre de <https://www.shadowspro.com>.

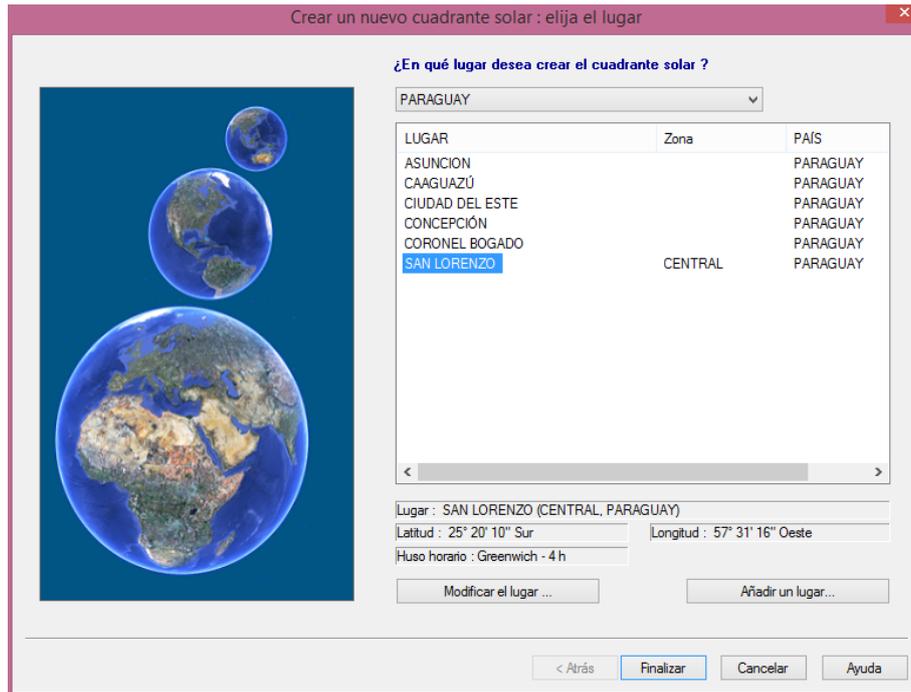
De esta página se puede descargar el software de una manera bastante intuitiva y siguiendo los modos habituales de descarga e instalación de cualquier software o aplicación.

Una vez instalado Shadows 4.2 se ha seleccionado el ícono correspondiente a *reloj vertical* de entre las muchas opciones existentes.



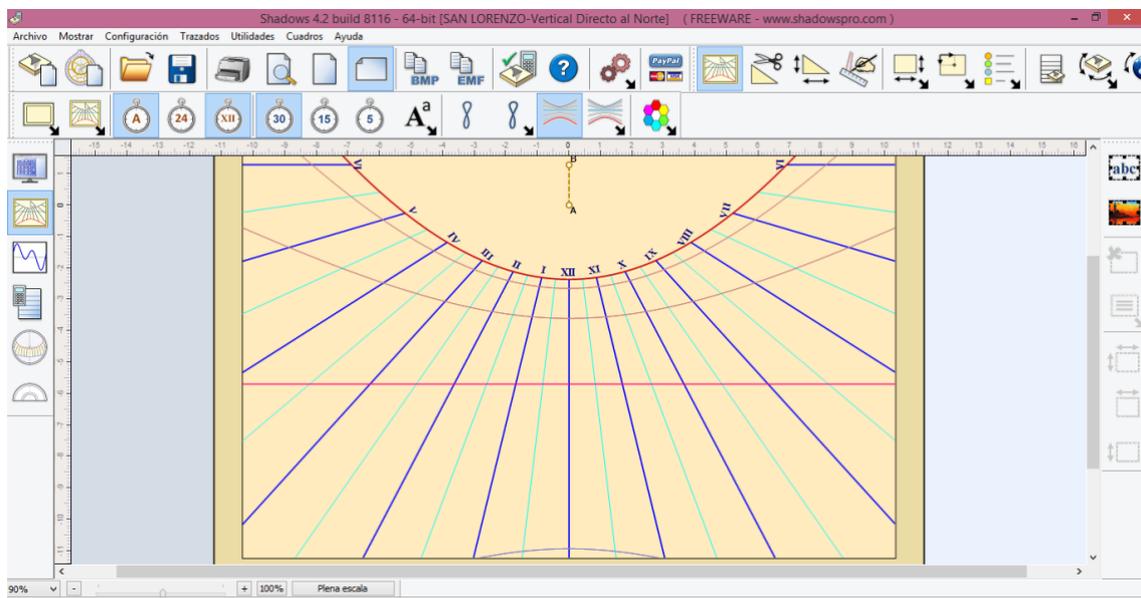
Página inicial de shadows, se puede elegir entre los diferentes relojes solares y astrolabios.

Posteriormente aparece una ventana con la posibilidad de seleccionar o introducir las coordenadas del lugar, en nuestro caso San Lorenzo-Paraguay (Observatorio) de coordenadas indicadas en la figura siguiente:



Coordenadas del Observatorio Prof. Alexis Troche FP-UNA.

Luego aparece una ventana con un reloj solar vertical con las líneas horarias, de equinoccios y solsticios con la posibilidad de editarlos según corresponda a la necesidad.



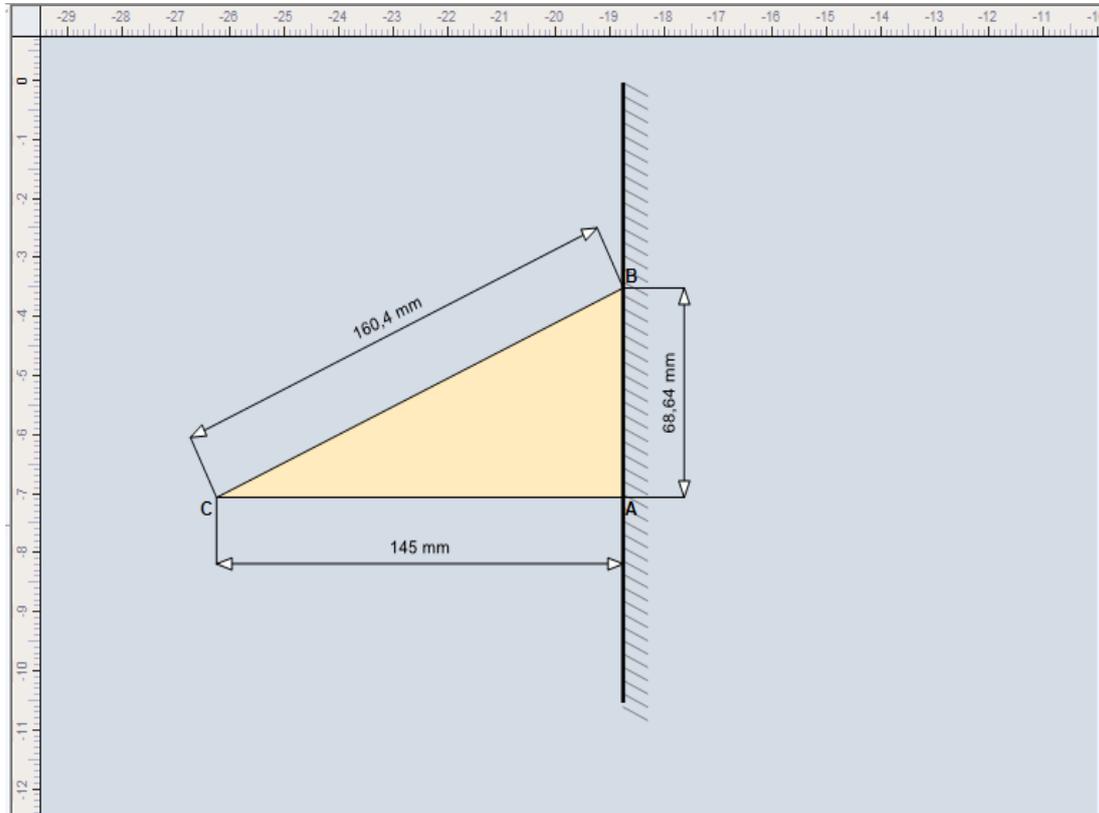
Ventana de Shadows con las características del reloj solar vertical.

En el menú *configuración* se puede establecer las dimensiones del reloj clicando en la opción *dimensiones*, luego seleccionando el modo *manual* se podrán introducir las dimensiones del cuadrante en milímetros, en nuestro caso 745 mm de alto por 660 mm de ancho.

La altura del estilo o estilete se calculó de la siguiente forma:

160,4mm x $\text{sen}(90 - \Phi)$ (145 mm), este valor es la distancia entre el punto A ubicado a **160,4mm** x $\text{cos}(90 - \Phi)$ (68,64 mm) bajo el punto de apoyo del estilete (Punto B) en la dirección vertical y es introducido en el cuadro de *altura* en el

apartado de *dimensiones del estilo* para la configuración de las dimensiones del cuadrante solar en el programa *Shadows 4.2*. (ver figura de abajo).



Esquema con las dimensiones del estilete (*Shadows 4.2*).

Se ha elegido estas dimensiones de forma a tener las líneas de declinación más estéticas. Un círculo de varilla metálica centrado en 160,4 mm del punto B y de 60mm de diámetro exterior indica con sus sombras las horas durante los equinoccios y el solsticio de invierno. La longitud completa del estilete es de 350 mm por razones estéticas en relación al tamaño del cuadrante.

Para acceder a los datos de la posición de las líneas de equinoccios y solsticios se clica en el menú *configuración* y luego en *tablas de coordenadas* y se elige tablas de *coordenadas de las líneas de declinación* luego de lo cual se puede optar por obtener los datos en una tabla de datos Excel o en un bloc de notas.

Los datos están en milímetros para las coordenadas cartesianas (X,Y) y en milímetros y grados sexagesimales (R,Θ) para las coordenadas polares en donde el punto A es el origen de las coordenadas cartesianas y el punto B el de las coordenadas polares.

COORDENADAS DE LAS LÍNEAS DE DECLINACIÓN						
A	B	C	D	E	F	G
1 COORDENADAS DE LAS LÍNEAS DE DECLINACIÓN						
2						
3						
4 Cáncer (23,44°)						
5 h	min	x (mm)	y (mm)	radius (mm)	angle (°)	
6	0	0 *	*	*	*	
7	0	30 *	*	*	*	
8	1	0 *	*	*	*	
9	1	30 *	*	*	*	
10	2	0	3292,71	6376,21	7176,21	62,7
11	2	30	1627,89	2413,51	2911,19	56
12	3	0	1109,1	1293,38	1703,8	49,4
13	3	30	845,68	784,23	1153,34	42,8
14	4	0	681,63	501,68	846,35	36,4
15	4	30	567,12	326,18	654,23	29,9
16	5	0	481,12	208,91	524,52	23,5
17	5	30	413,15	126,46	432,07	17
18	6	0	357,31	66,28	363,41	10,5
19	6	30	310,06	21,11	310,78	3,9
20	7	0	269,08	-13,5	269,42	-2,9
21	7	30	232,82	-40,42	236,3	-9,8
22	8	0	200,15	-61,58	209,41	-17,1
23	8	30	170,28	-78,28	187,41	-24,7

Tabla de datos de las coordenadas de las líneas equinociales y de solsticios.

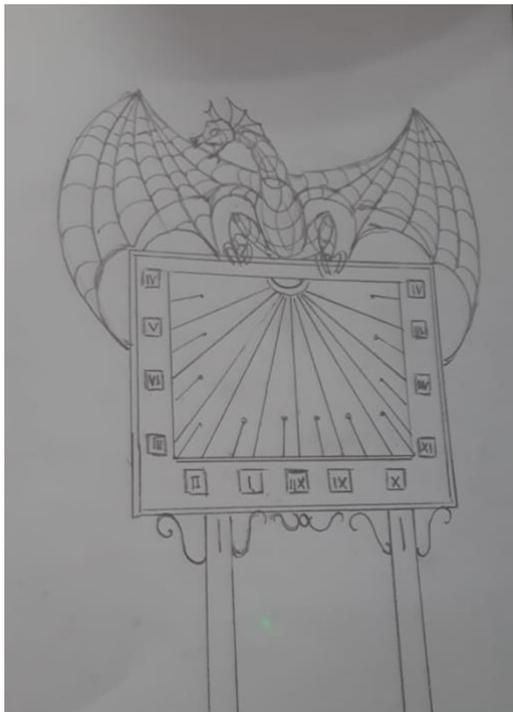
COORDENADAS DE LAS LÍNEAS DE DECLINACIÓN						
A	B	C	D	E	F	G
56 Libra-Aries (0°)						
57 h	min	x (mm)	y (mm)	radius (mm)	angle (°)	
58	0	0 *	*	*	*	
59	0	30 *	*	*	*	
60	1	0 *	*	*	*	
61	1	30 *	*	*	*	
62	2	0 *	*	*	*	
63	2	30 *	*	*	*	
64	3	0 *	*	*	*	
65	3	30 *	*	*	*	
66	4	0 *	*	*	*	
67	4	30 *	*	*	*	
68	5	0 *	*	*	*	
69	5	30 *	*	*	*	
70	6	0 *	*	*	*	
71	6	30	2485,29	-295,73	2502,83	-6,8
72	7	0	1221,11	-295,73	1256,41	-13,6
73	7	30	789,92	-295,73	843,46	-20,5
74	8	0	566,72	-295,73	639,24	-27,6
75	8	30	426,41	-295,73	518,92	-34,7
76	9	0	327,2	-295,73	441,04	-42,1
77	9	30	251,07	-295,73	387,93	-49,7
78	10	0	188,91	-295,73	350,92	-57,4

Note como la coordenada Y para la línea de los equinoccios tiene un valor constante de -295,73 mm. Correspondiendo esto a la marca horizontal del reloj solar.

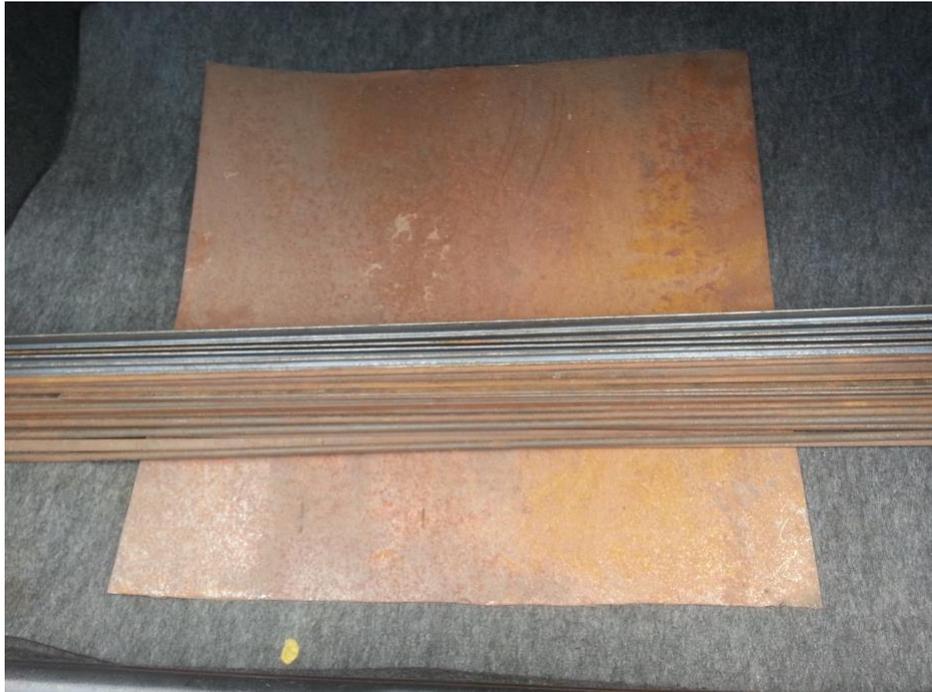


Marcas adicionales sobre el cuadrante del reloj.

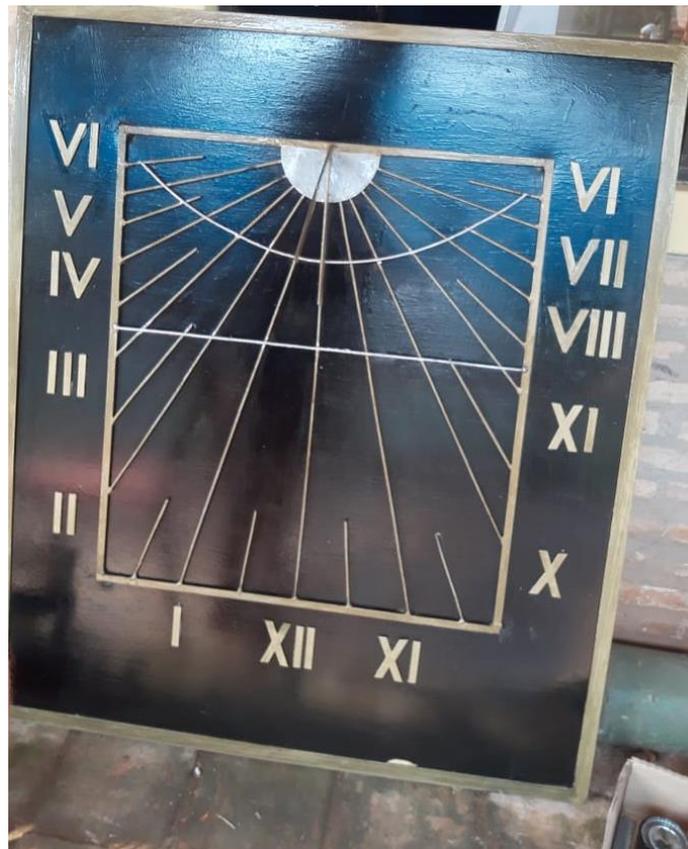
Anexo B. Imágenes adicionales de interés



Bosquejos de la alegoría (Por Sergio García).



Obtención de los materiales necesarios (buena parte de ellos reciclados).



Etapas de construcción.



Etapas de instalación.





