

INSTRUMENTOS DE MANO

En la Torre de Observación se conservan los siguientes instrumentos:

- ✓ **Ballestilla**
- ✓ **Contador de estrellas**
- ✓ **Esfera armilar**
- ✓ **Modelo Tierra-Luna**
- ✓ **Rectángulo**
- ✓ **Registrador de ángulos pequeños**
- ✓ **Regla solsticial**
- ✓ **Reloj de Luna**
- ✓ **Tubo para mirar**



BALLESTILLA

Este instrumento recibió diversas denominaciones, por ejemplo: “Palo de Jacob”, “Palo de Santiago”, “Instrumento Matemático”, “Cruz Geométrica” y “Varilla de oro”, entre otras; el nombre “ballestilla” deriva de su forma semejante a las armas llamadas *ballestas*.

Un instrumento predecesor de la Ballestilla fue el “Radio Astronómico” o “Radiómetro” que se empleó en el siglo XIV para resolver problemas de topografía, astronomía; incluso más tarde fue incorporado al bagaje de los navegantes. Las primeras ballestillas no medían ángulos en forma directa (como el Astrolabio o el Cuadrante) sino de modo indirecto, registrando el valor de su tangente.

Una de las descripciones más antiguas halladas de una Ballestilla es de 1342 y fue hecha por el sabio Levi ben Gerson² (1288-1344). Se conoce que se usaban ballestillas en épocas de Cristóbal Colón, aunque su uso se impuso y generalizó durante el siglo XVI.

NOTA: *Rabi Levi ben Gerson o Rabbag o Gersónides nació en el sur de Francia. Fue filósofo, astrónomo, matemático y comentarista de la Biblia. También se le conoce con los nombres de León de Bagnolas, León Hebreo o simplemente Maestro León. Su referencia a las Ballestillas se halla en el tratado “De Sinibus, Chordis et Arcubus” incluido en su obra “Milhamot Adonai” (“Combates del Señor”). Algunos historiadores consideran que Gerson fue el inventor de la Ballestilla, entonces llamada Palo de Jacob.*

El uso de la ballestilla puede resumirse en la medida de:

- ✓ **Distancias entre la Tierra y el cielo.** Por ejemplo: estimar la altura del Sol, de la Luna en alguna de sus fases, seguir la variación de la distancia angular de alguna estrella a medida que se aleja o se acerca al horizonte, etc.
- ✓ **Distancias entre las estrellas.** La distancia angular entre las estrellas no cambia; una vez determinada se mantienen invariable en el tiempo (por eso se les denomina “estrellas fijas”).
- ✓ **Distancias entre el Sol y la Luna.** La variación de la distancia angular entre el Sol y la Luna puede ser confrontada fecha tras fecha.
- ✓ **Distancias entre la Luna y las estrellas.** Se puede medir la distancia angular entre la Luna y algunas de las estrellas de las constelaciones del Zodíaco. De esa forma es posible identificar, prever y seguir las posiciones de la Luna a lo largo de la eclíptica.

✓ **Distancias entre los planetas.** Para seguir las posiciones relativas de un planeta con otro o con respecto a una estrella del Zodíaco son necesarios largos tiempos de observación.

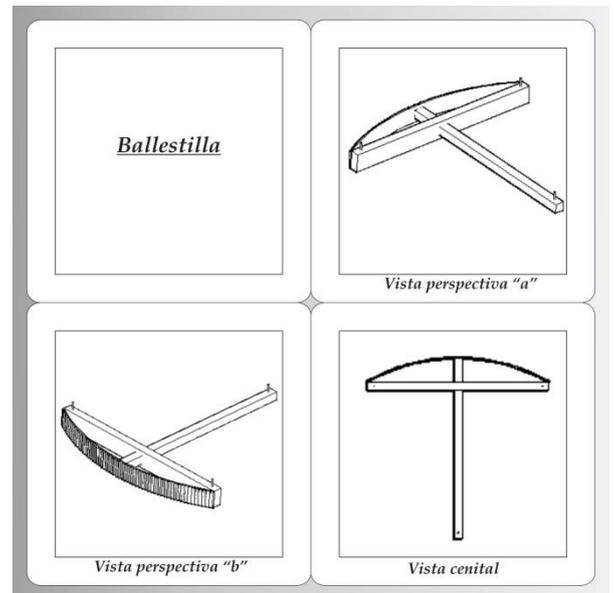
Al observar dos astros desde la Tierra, nuestros ojos fijan el vértice de un ángulo cuya amplitud está dada por el arco subtendido entre las posiciones de ambos astros en la esfera celeste

Con la Ballestilla es posible materializar ese arco a través de una vara que fija las visuales a ambos puntos de referencia cuya distancia angular se busca determinar.

A pesar de algunas limitaciones en su construcción, derivadas de la dificultad que acarrea trazar una escala correcta, las primeras ballestillas fueron instrumentos útiles ya que eran livianos, portátiles, ágiles para manipular y fáciles de usar.

La ballestilla no necesita de soportes o plomadas y puede usarse en cualquier lugar y en cualquier momento.

Quienes más difundieron el uso de las ballestillas fueron los marinos europeos, a quienes les resultaba esencial para determinar la latitud a la que se encontraban en el mar (por ejemplo, midiendo con la ballestilla la altura sobre el horizonte de la *estrella polar*).



La ballestilla se trata de una cruz con dos brazos de diferente longitud: *brazo mayor* (también llamado flecha o virote) y *brazo menor* (martillo o sonaja). Generalmente, ambos brazos son varas de madera de sección cuadrada.

En las más antiguas Ballestillas sobre la flecha se marcaba una escala graduada en unidades sexagesimales. Sus divisiones no estaban separadas por distancias iguales: para ángulos muy pequeños las divisiones iban muy juntas y para ángulos grandes algo más separadas.

A través de un orificio en el martillo (brazo menor) éste puede deslizar sobre la flecha (brazo mayor) conservando ángulos rectos entre ambos brazos.

De esta forma un observador puede mover el martillo hasta que sus extremos oculten los objetos cuyo ángulo se desea medir (por ejemplo, el horizonte y una estrella) o bien apuntando la flecha al horizonte acerca o aleja el martillo hasta que oculta al astro cuya altura desea medir.

Cuanto mayor es el ángulo a determinar se acerca el martillo al ojo del observador y viceversa: a menor el ángulo más lejos se ubica el martillo.

La ballestilla no mide ángulos extremos, esto es ni cero ni noventa grados (0° o 90°); en el primer caso (0°) habría que alejar el martillo a una distancia infinita y en el segundo (90°) ponerla en contacto directamente con la pupila del ojo.



En algunas Ballestillas sobre las cuatro superficies de la vara cuadrada del brazo mayor (flecha) se hacían cuatro graduaciones diferentes y correspondientes a cuatro martillos desiguales, es decir el instrumento tenía cuatro brazos menores.

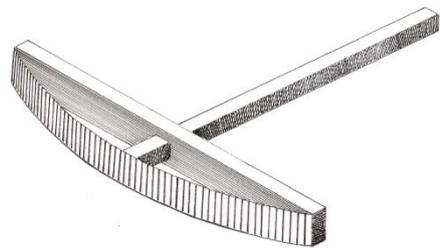
Todos los martillos deslizan por la misma flecha pero a cada uno le corresponde una de las superficies del brazo principal. Cuanto menor tamaño tenía el martillo, tanto mayor número de tangentes o graduaciones podía contener la longitud de la flecha.

En otros modelos las Ballestillas contaban con una pieza llamada “martinete” útil para dirigir por ella las visuales por los extremos del martillo, por ejemplo una al horizonte y la otra al astro.

La Ballestilla que incluimos en el **Solar de las Miradas** forma parte de la colección de instrumentos de mano que se guardan en la torres del parque. Se trata de un modelo simple con una flecha de casi sesenta centímetros (57,3 cm) y un martillo de la misma longitud; se escogió ese tamaño dado que sobre un círculo de 360 cm de circunferencia, a cada centímetro le corresponde a un ángulo en el centro de un grado ($1 \text{ cm} \rightarrow 1^\circ$). El radio R de esa circunferencia es de $R = 360 \text{ cm} / 2\pi = 57,3 \text{ cm}$.

Ambas piezas se cruzan perpendicularmente a casi ocho centímetros (7,6 cm) de uno de los extremos de la flecha³.

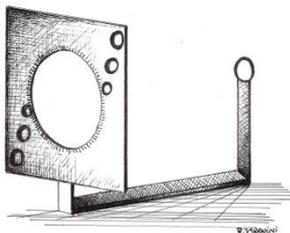
También incluimos una varilla flexible que une el extremo de la flecha y ambos extremos del martillo; dado que ubicamos el martillo perpendicular a la flecha, la varilla flexible adquiere una forma curva.



El martillo, en cuanto representa uno de los lados de un triángulo equilátero, es idéntico al radio de la circunferencia y por lo tanto tiene 57,3 cm de longitud.

Dado que la altura de ese triángulo es casi cincuenta centímetros (49,7 cm) la distancia donde debe ubicarse el martillo es a unos ocho centímetros del extremo de la flecha ($57,3 \text{ cm} - 49,7 \text{ cm} = 7,6 \text{ cm}$).

CONTADOR DE ESTRELLAS



Aunque el cielo de una noche estrellada genere la sensación de estar viendo millones de astros en realidad la cantidad de estrellas visibles supera las seis mil (6000).

El Contador de Estrellas es un sencillo dispositivo que permite hacer una estimación del número de estrellas visibles.



Se trata de una máscara plana de madera con un orificio de doce centímetros de diámetro (12 cm).

Mediante un brazo de treinta centímetros (30 cm) la máscara se sostiene a la misma distancia de los ojos. El observador mira el cielo a través del orificio y cuenta sólo las estrellas visibles en él.

Esta operación se repite la operación diez veces en diferentes direcciones del cielo.



Finalmente debe sumar todas las estrellas que ha contabilizado en cada observación y multiplicar el resultado por diez.

El número obtenido se aproxima al de las estrellas visibles en el sitio escogido para la experiencia y en la época en que se haga.

ESFERA ARMILAR

El mismo nombre de este artefacto da cuenta que efectivamente se trata de una esfera materializada a través de algunos pocos anillos.

Presumiblemente de origen griego es un antiguo instrumento cuya función original era representar los círculos máximos de referencia celeste con los cuales es posible conocer la posición y el movimiento de los astros.

Algunos historiadores consideran que fue inventada en el año 255 a.C. por el astrónomo Eratóstenes (276-295 a.C.).

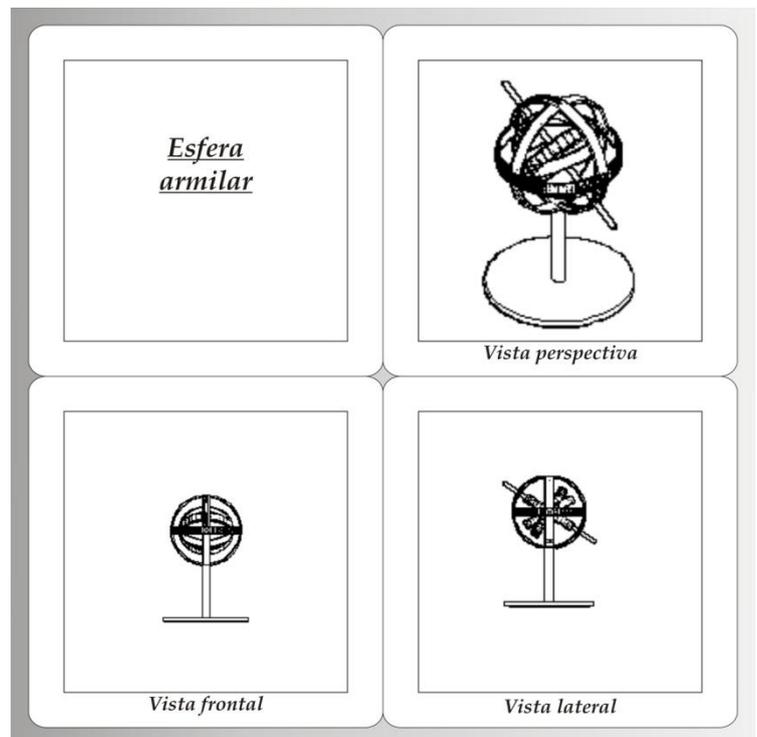
En general se la utilizó para enseñar astronomía, para comprender el movimiento aparente de las estrellas fijas y los planetas, hacer algunos cálculos de geometría esférica y advertir la posición de los astros en diferentes épocas.

Se conoce como instrumento didáctico desde el siglo III a.C., mientras que su utilización para predecir observaciones se le atribuye a Hiparco y Tolomeo. Durante la Edad Media las esferas armilares se convirtieron en instrumentos muy populares entre los astrónomos.

Tycho Brahe, en particular, montó varias, de gran tamaño, en sus observatorios de la Isla de Hven (Dinamarca). El auge de las esferas armilares comenzó a declinar hacia el año 1600.

La esfera armilar representa el sistema tolemaico que ubica la Tierra en el centro del universo; nuestro planeta se materializaba con una esfera de marfil o madera. En general estaban se construían por un cierto número de anillos insertos uno en el otro representando al ecuador celeste, la eclíptica, el horizonte, el meridiano del lugar, entre otros círculos de referencia.

Cada fragmento eclíptico que representaba una constelación del Zodíaco se dividía en treinta grados (30°) en el anillo horizontal; esto hace posible estimar la posición del Sol en la eclíptica en cada época del año y en cualquier sitio de la Tierra.



De este modo al dirigir la esfera armilar hacia un astro se puede identificar su posición en el cielo y en algunos modelos¹ hasta estimar el valor de algunas coordenadas celestes, a leer la proyección de su posición sobre unas escalas graduadas; en esos modelos el eje de la esfera armilar representa al eje del mundo y su sombra sobre una escala graduada grabada en el anillo del ecuador celeste permite determinar el tiempo solar verdadero.

Se usaban para explicar las estaciones del año y otros elementos de astronomía de posición y mecánica celeste.

Para estimar la latitud el anillo meridiano que une los dos polos era graduado en los cuatro cuadrantes de cero a noventa grados sexagesimales (0° a 90°). Con él rotaba la esfera celeste materializada por los círculos polares (ártico y antártico), los trópicos (Cáncer y Capricornio) y la eclíptica que tenía grabadas las constelaciones zodiacales.

La esfera armilar que incluimos en el **Solar de las Miradas** forma parte de la colección de instrumentos de mano que se guardan en la torre del predio. En nuestro artefacto los tres círculos internos tienen un diámetro de quince centímetros (15 cm) mientras que el de los tres externos es de veinte centímetros (20 cm).

La varilla que representa el eje del mundo es de treinta centímetros de longitud (30 cm) y tiene seis milímetros de diámetro (6 mm); los seis círculos articulan en dos puntos con esta varilla. Los materiales empleados fueron planchuelas de hierro de diecinueve milímetros y láminas de bronce de 5 milímetros de espesor.

MODELO TIERRA – LUNA

Dado que el diámetro de Luna es comparable con el diámetro terrestre y que la distancia Luna-Tierra es treinta veces el diámetro de nuestro planeta, si se considera el diámetro lunar como unidad de medida (es decir: diámetro lunar = 1) el diámetro terrestre resulta entonces cuatro veces mayor que el diámetro lunar y la distancia Tierra-Luna unas 120 veces esa unidad.



Esas relaciones justifican la construcción de un modelo a escala que contemple simultáneamente² los tamaños de la Luna y de la Tierra y su distancia mutua.

Además de ser valioso para visualizar las proporciones de forma y tamaño del sistema Tierra– Luna este modelo que resulta útil didácticamente para:

- ✓ **Favorecer la comprensión de las fases lunares**

Para ello se debe usar el modelo Tierra-Luna al aire libre, en un día soleado en las fechas donde se ven la Luna y el Sol simultáneamente. Por



ejemplo, con la información que aparece en los diarios es posible identificar aquellas fechas en las que se ven la Luna y el Sol juntos en el cielo.

En esa circunstancia se apunta el listón del modelo hacia la Luna, mirando la esferita que representa la Luna desde el extremo del listón donde está la esfera que representa a la Tierra.

Como la relación entre el tamaño y la distancia del modelo es correcta, se verá la esfera de la Luna exactamente del mismo tamaño aparente que la Luna real en la esfera celeste. Además como el Sol ilumina de la misma forma la Luna de nuestro dispositivo y a la Luna real se ha conseguido reproducir en el modelo exactamente la fase de la Luna de ese momento, lo que puede verificarse mirando directamente la esferita lunar.

De esta manera, se tiene un artefacto que permite visualizar que las diferentes fases lunares se originan en la forma como vemos, desde la Tierra, la Luna bajo la iluminación solar.

También pueden reproducirse todas las fases de la Luna, con sólo hacer girar el listón (rotar su dirección) tal como lo hace la Luna real en el cielo, por ejemplo: hacia el Sol (fase Nueva), perpendicular al Sol (fase de Cuarto Creciente), de espaldas al Sol (fase Llena) y, finalmente, otra vez perpendicular al Sol (fase Cuarto Menguante).

✓ **Entender el mecanismo de los eclipses**

Para este fin se debe orientar el listón en dirección al Sol. Luego, observar las sombras de ambas esferas en el suelo y mover el listón hasta hacer coincidir ambas sombras.

Para entender las circunstancias de un eclipse de Sol hay que hacer “posar” la sombra de la esfera lunar sobre la esfera terrestre.

La sombra de la pequeña esfera de la Luna produce una mancha oscura diminuta sobre la esfera que representa a la Tierra; esto muestra que el eclipse sólo puede verse desde una pequeña región de la Tierra. Se puede distinguir inclusive la zona de sombra (eclipse total) de la zona de penumbra (eclipse parcial).

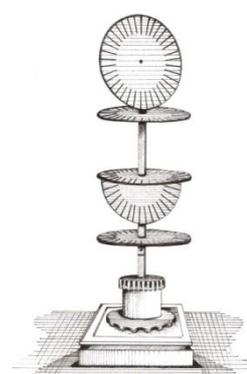
Aunque esta actividad puede hacerse en cualquier momento, pueden buscarse las fechas en que se producen eclipses de Sol y de esta manera puede usar el modelo exactamente en el instante en que se produce el fenómeno celeste.

El Modelo Tierra-Luna forma parte de los instrumentos de mano y se guarda en la torre del predio. Consta de una vara o listón de madera de ciento veinte centímetros de longitud (120 cm). En cada uno de sus extremos hay una esfera: una representa a la Tierra (diámetro de cuatro centímetros) y la otra a la Luna, (diámetro de 1 cm).

RECTANGULUS

Un instrumento característico de la astronomía medieval de la tradición tolemaica fue el **Torquetum**, usado en Europa hacia el siglo XIII.

El torquetum era muy apreciado para observar y estimar de diferentes coordenadas simultáneamente.



Su estructura se compone de una serie de tablas inclinadas, rotantes. La tabla inferior del torquetum se coloca sobre una especie de *atril* para poder ser inclinada de acuerdo a la latitud del lugar de observación y ubicada en el plano del meridiano del lugar.

Sobre ella articula otra tabla que representa el plano de la eclíptica, por lo que se la coloca a $23,5^\circ$ respecto de la primera; contiene un par de círculos graduados (semejantes a los de un teodolito) con una alidada para observar.

El **Rectangulus** que incluimos en el **Solar de las Miradas** es una versión esquemática del Torquetum inventada por el fabricante de relojes Riccardo de Wallingford, jefe de los astrónomos de Merton (Inglaterra) en el año 1326.

El Rectangulus forma parte de la colección de instrumentos de mano guardados en la torre del **Solar de las Miradas**. Para su construcción empleamos bronce laminado de un milímetro de espesor y madera para la base. Sus seis círculos (tres mayores de veinte centímetros y tres menores de quince centímetros) articulan en dos puntos con el eje central que atraviesa el sistema.

La varilla (eje) es de treinta centímetros de longitud por seis milímetros de diámetro.

REGISTRADOR DE ÁNGULOS PEQUEÑOS

Este artefacto fue ideado y construido por Tycho Brahe en 1572 para ser usado por una única persona; es muy probable que él mismo lo haya utilizado para en sus observaciones.

Permite determinar distancias aparentes hasta treinta grados (30°). No obstante, Brahe advirtió en sus escritos que la escala graduada sobre la que se realizan las mediciones podía cambiarse por otra, de mayor longitud, y hacer que el instrumento alcance los sesenta grados (60°).

La escala del Registrador estaba grabada sobre un limbo hecho de cobre y el radio del sector circular era de poco más de un metro y medio

(1,55 m).



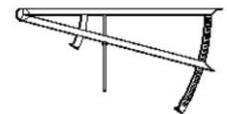
Medidor de Ángulos Pequeños



Vista perspectiva



Vista perspectiva



Vista lateral

Los lados móviles del instrumento articulaban por medio de un perno en el vértice y su ajuste se realizaba con un tornillo a manivela.

Este instrumento no prevé sostén para su uso; se sostiene con ambas manos o bien un extremo se apoya sobre el borde de una ventana.

El registrador de ángulos pequeños que montamos en el **Solar de las Miradas** forma parte de la colección de instrumentos de mano que se guardan en la torre central del parque.

Sus brazos principales son de ciento sesenta centímetros (160cm) de largo y tienen un espesor de cinco centímetros (5cm).

Fue construido totalmente en madera (anchico) y con algunos herrajes en hierro y bronce. Ambos brazos articulan en el centro por un sistema de bisagras y apertura o cierre se realiza por un sistema de varilla roscada en dos secciones.

REGLA SOLSTICIAL

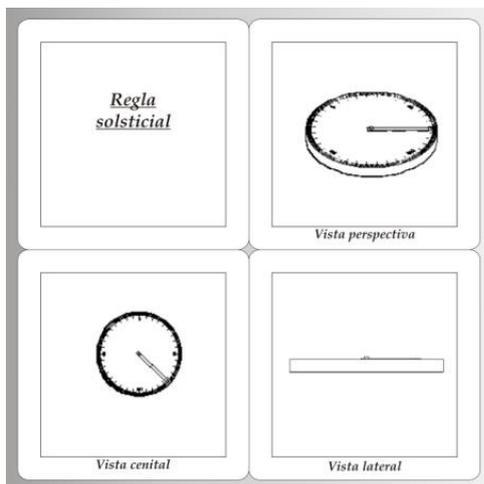
Este sencillo instrumento permite registrar observacionalmente el alejamiento del levante solar, desde el punto cardinal Este tanto hacia el Sur como hacia el Norte. Análogamente, puede usarse para registrar el alejamiento del poniente solar desde el punto cardinal Oeste.

Los corrimientos extremos de levantes y ponientes solares ocurren en las fechas de los solsticios (aproximadamente el 21 de junio y el 21 de diciembre).

La estructura es un círculo de treinta centímetros de diámetro (30 cm) y casi dos centímetros de espesor (1,9 cm).

La escala tiene dieciséis centímetros de longitud (16 cm). Se utilizó melanina de diecinueve milímetros de ancho (19 mm) y láminas de bronce de cinco milímetros de espesor (5 mm).

La Regla Solsticial forma parte de los instrumentos de mano del **Solar de las Miradas** y se guarda en la torre del parque.

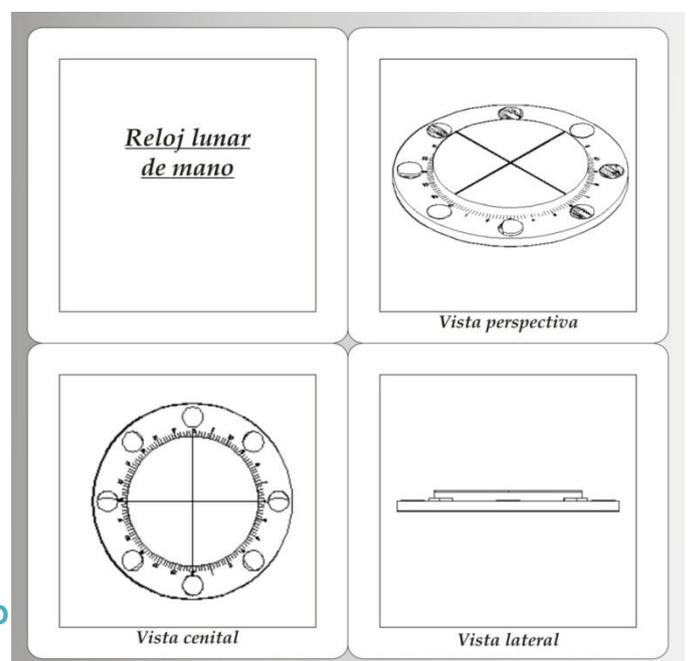


RELOJ DE LUNA

No se trata de relojes tradicionales, es decir, instrumentos que indican la hora solar o tiempo verdadero mediante la sombra proyectada por la luz de la Luna; nuestros relojes de Luna son dispositivos creados por Armando Zandanel de Chivilcoy (Buenos Aires, Argentina); los incluimos porque resulta relevantes didácticamente ya que permite determinar en forma aproximada tanto la hora en que la Luna alcanza su altura máxima sobre el horizonte como su horario de salida y puesta.

En términos horarios, se comete a lo sumo un error de 15 minutos

Consta de tres piezas principales:



1. Un disco mayor en el que se representan las principales fases lunares en su secuencia habitual y en sentido contrario al de las agujas del reloj (sentido antihorario) es decir: Luna Nueva, Lúnula Menguante, Cuarto Menguante, Luna Gibosa Menguante, Luna Llena, Luna Gibosa Creciente, Cuarto Creciente y Lúnula Creciente. Incluye también un círculo graduado con las horas (no tienen subdivisiones en minutos ni segundos) numeradas desde la hora cero hasta la veintitrés (de 0hs a 23hs) pero ubicadas en forma inversa a cómo se hallan en el cuadrante de un reloj común. Por último, se indican cuatro instantes particulares: la salida (0hs) y puesta del Sol (18hs), el mediodía (12hs) y la medianoche (0hs).
2. Un disco menor con la ubicación de los puntos cardinales.
3. Un indicador o flecha.

Las tres piezas se ensamblan de modo que los discos sean concéntricos. El disco menor y la flecha pueden girar libremente, pivotando en ese centro común.

Para activar el reloj lunar, son precisas dos circunstancias: la Luna debe ser visible y el observador debe poder identificar en qué fase se encuentra.

Se rota el disco menor hasta que su norte quede orientado sobre el disco mayor hacia la fase observada y reconocida en el cielo. A continuación se mueve la flecha ubicándola de acuerdo a la posición de la Luna en el cielo; la dirección que queda determinada señalará la hora en que se realiza la observación en la escala horaria del círculo mayor.

Además, es posible estimar:

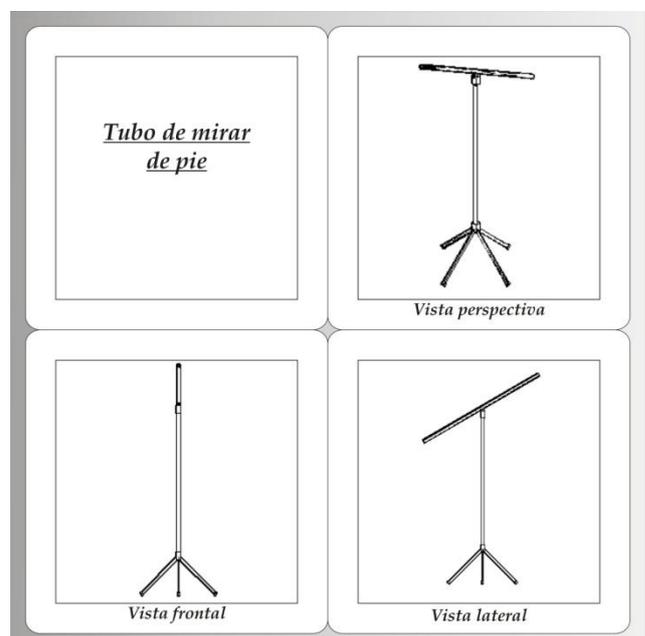
- ✓ *La hora de salida de la Luna*, leyendo la hora que señala el punto cardinal este del disco menor, sobre la escala horaria del disco mayor.
- ✓ *La hora de puesta de la Luna*, leyendo la hora que señala el punto cardinal oeste del disco menor, sobre la escala horaria del disco mayor.
- ✓ *La hora de culminación de la Luna*, leyendo la hora que señala el punto cardinal norte del disco menor, sobre la escala horaria del disco mayor.

El reloj lunar que se halla en la torre del **Solar de las Miradas** está compuesto por dos discos de sesenta centímetros y cuarenta centímetros de diámetro (60 cm y 40 cm).

TUBOS PARA MIRAR

Se hallaron algunas ilustraciones en manuscritos medievales mostrando al astrónomo observando los astros a través de un largo tubo que sostiene en la mano o bien lo sujeta a un pie vertical; en general se trata de pequeñas imágenes, miniaturas, que acompañan los textos astronómicos.

Aunque esas ilustraciones despierten la sospecha que el instrumento en cuestión sea efectivamente una especie de primitivo telescopio (es decir, un tubo con lentes en sus extremos) los historiadores consideran que los indicios al respecto son débiles y dudosos simplemente por la gran improbabilidad



de que el telescopio hay sido creado en tiempos tan remotos.

En el análisis de esas ilustraciones, los investigadores han diferenciado dos grupos de *Tubos para Mirar*, a saber:

- ✓ **Tubos de sostén:** Estas ilustraciones refieren a un texto de Gerberto (el Papa Silvestre II, 999-1003) en un manuscrito de San Gallo del año 982.
El instrumento está presentado como un artefacto usado para identificar y observar el polo celeste elevado.
Dado que es originario del hemisferio norte se ve que al tubo dirigido a la estrella polar por un maestro de modo que sus alumnos pueden ver y aprender sin error de cuál estrella se trata.
- ✓ **Tubos manuales:** El segundo grupo de miniaturas se trata de tubos que no están apoyados por lo que difícilmente hayan tenido la misma utilidad que los anteriores.
Desafortunadamente no se ha encontrado ningún texto que describa un instrumento similar.
Tal vez esos tubos servían para concentrar los rayos de luz de las estrellas, una idea acorde con los conceptos ópticos aristotélicos, dominantes en la época. Además, en algunas ilustraciones el tubo era sustituido por una “varita mágica”, coherente con la idea de astrónomo/mago.



En el **Solar de las Miradas** hemos incluido un tubo para mirar de cada tipo entre los instrumentos de mano que se guardan en la torre del predio. Los visitantes puede usarlos para dirigir su mirada a un único astro.

Construimos el tubo manual con un caño cilíndrico de dos centímetros y medio (2,5 cm) de diámetro y una longitud de ochenta centímetros (80 cm).

El tubo de sostén tiene las mismas dimensiones que el anterior pero se halla montado sobre un pie metálico, mediante un herraje que permite su movimiento y ajuste vertical; ese pie consta de un eje vertical de un metro setenta de altura (1,7 m) que acaba en un trípode.

