

De antigua iglesia a aula de astronomía: San Pedro cultural, un edificio a cielo abierto

Oscar Díez Higuera

Profesor de Física y Química de Educación Secundaria

Carlos del Olmo García

Arquitecto coautor del Proyecto "San Pedro cultural"

El edificio de San Pedro cultural, que será inaugurado en breve, se ha construido sobre el arruinado templo de San Pedro, en la localidad palentina de Becerril de Campos, muy cercana a la capital; un edificio que aglutina muchos estilos arquitectónicos, desde una portada románica del siglo XII, hasta arcos, bóvedas y cornisas barrocas aspecto con el que finalizó su anterior vida útil. La iglesia, ya derruida ha sido reconstruida y transformada en aula de astronomía, con varios recursos didácticos; un proyecto que une arte, arquitectura y astronomía en una experiencia única.

Introducción

Podríamos denominarlo "un edificio a cielo abierto" pues lo que encontramos al inicio del proyecto arquitectónico eran arcos a punto de colapsar, bóvedas colapsadas, restos de la cubierta sobre el suelo, agrietamientos, fachada oeste desaparecida junto con la torre, ábside agrietado, porche al descubierto. En la reconstrucción se han consolidado los arcos formeros, las bóvedas y el ábside junto con los restos de muros perimetrales, colocando por encima de ellos un estelario que simula el cielo nocturno.

El interés astronómico del edificio estriba en que durante su rehabilitación se han incluido en él diversos instrumentos de comprensión del Universo: trazado de una línea meridiana, diseño y construcción de un péndulo de Foucault, el estelario en el intradós de la nueva cubierta, un reloj de Sol de doble cara en el atrio y otras referencias al tiempo y al espacio inherentes al propio edificio.

Describimos el fundamento astronómico de estos elementos, especialmente de la meridiana, que fue el inicial *leitmotiv* astronómico del proyecto.

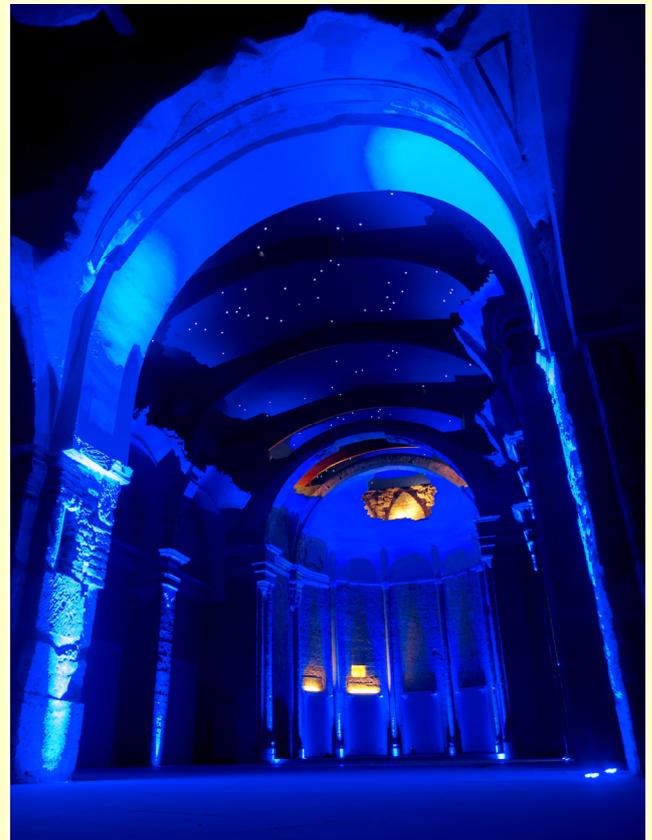


Fig. 1. Vista interior de San Pedro cultural.



Fig. 2. Fotografías del estado de San Pedro previas a la restauración y posterior a la misma. Notar la presencia del péndulo de Foucault en primer plano y el estelarario en la bóveda.

La línea meridiana

Considerando nuestro planeta, llamamos plano meridiano local al que pasa o queda determinado por tres puntos que son: los dos Polos y el lugar en que nos encontramos.

De una forma general podemos decir que una meridiana es la intersección del plano meridiano local con cualquier superficie de nuestro entorno. Si esa superficie es horizontal, la meridiana indica la dirección Norte-Sur. En nuestro caso dicha superficie es el pavimento de San Pedro y como su objetivo es ver la proyección solar, está limitada por las proyecciones correspondientes a los solsticios, de invierno hacia el Norte, y de verano hacia el Sur.

Otras líneas meridianas tienen otros objetivos, como los “meridianos cero”, que antiguamente marcaban el origen de longitudes para la cartografía de los diversos países. El más conocido es el de Greenwich, que actualmente es el origen a nivel mundial, pero también los hay en el Observatorio de París o sobre el crucero de la catedral de Colonia.

También encontramos una meridiana en los relojes de Sol, la línea de las 12 del mediodía, y en algunas ciudades podemos ver meridianas verticales que indican con precisión el mediodía solar y que antiguamente se usaban para que cualquiera pudiera poner su reloj en hora.

La idea de colocar una meridiana en el pavimento de San Pedro surgió a raíz de una visita a la iglesia de Santa M^a de los Ángeles en Roma, donde Domenico Bianchini trazó una “meridiana en cámara oscura”. En ella el Sol proyecta una elipse en el suelo desde un orificio llamado estenope y practicado en uno de los muros orientado hacia el Sur (ver fig. 4).



Fig. 3. Meridiana en San Pedro cultural.

Elementos de una meridiana en cámara oscura:
 1) La propia cámara oscura, un edificio oscuro y suficientemente amplio como algunas iglesias,
 2) El foro gnomónico o estenope, el pequeño orificio abierto hacia el exterior y orientado hacia el Sur

3) La línea meridiana, una línea orientada Norte-Sur y materializada sobre el pavimento, con una banda metálica, de acero en nuestro caso.

Enlace para ver un *timelapse* del paso meridiano de la proyección en Becerril.

https://www.youtube.com/watch?v=8YjKDZ_TP18

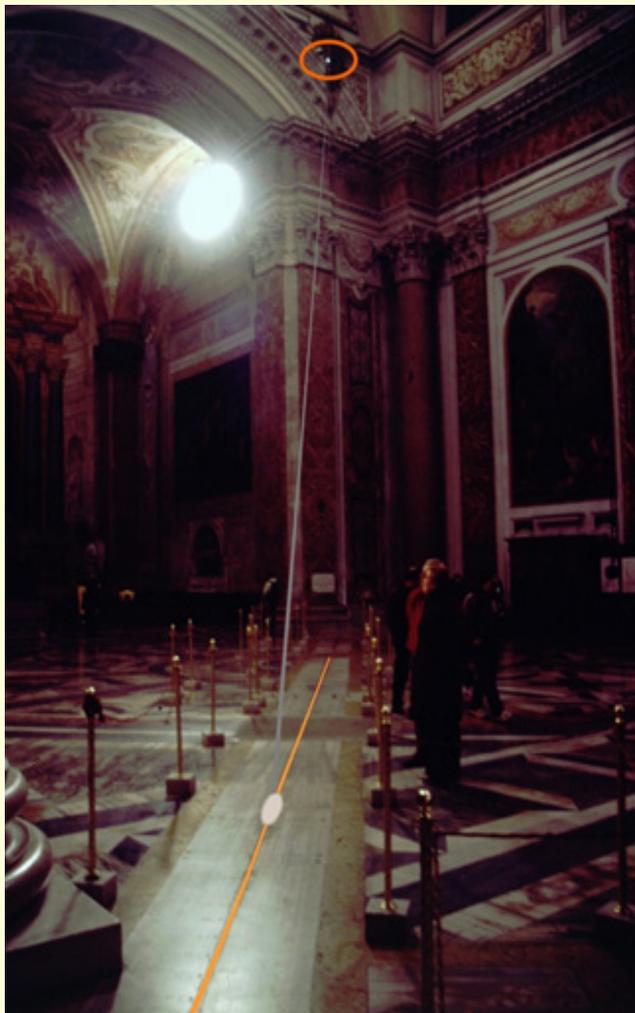


Fig. 4. Meridiana en Santa M^a de los Ángeles en Roma

El estenope de San Pedro está sobre una de las ventanas y como curiosidad su forma es elíptica con una orientación y forma determinadas para que durante los equinoccios el estenope “se vea” como un círculo y proyecte una imagen donde la nitidez sea más homogénea perimetralmente. En la proyección que se obtiene del Sol se pueden observar las manchas solares más significativas.

Otra característica de San Pedro es que la meridiana sube por uno de los pilares para observar la proyección en la época del solsticio invernal.

Funciones de la línea meridiana

1) Indicar la hora exacta del mediodía solar verdadero, relacionado con la rotación terrestre tomando como referencia el Sol, este periodo se denomina día solar. La observación precisa se hace registrando los instantes en que la elipse proyectada toca la línea meridiana, a la entrada y a la salida. El momento del mediodía queda determinado por la media: $t_{\text{mediodía}} = (t_1 + t_2) / 2$, donde t_1 corresponde al contacto inicial y t_2 al contacto final.

2) Indicar los solsticios y los equinoccios, relacionados con la traslación terrestre y con el periodo denominado año trópico o de las estaciones. Los solsticios ocurren cuando las proyecciones alcanzan sus posiciones extremas sobre la meridiana: verano sobre el extremo austral e invierno sobre el boreal.

3) También puede usarse como calendario, pues a lo largo del año el Sol se va proyectando cada día en diferentes posiciones fácilmente relacionadas con el día del calendario.

Sobre la línea meridiana hemos indicado los ángulos de altura solar al mediodía, la cual va variando a lo largo del año, en función de la fecha.

4) Medir ángulos con gran precisión y, consecuentemente, determinar periodos como la duración del año trópico de 365,2422 días, relacionado con las estaciones y el calendario, lo cual fue muy importante en la época en que se comenzaron a construir las grandes meridianas, uno de cuyos objetivos fue la reforma del calendario cristiano.



Fig. 5. Uso de la meridiana, de San Pedro, en la medida de ángulos y períodos del año trópico.

Aplicación a la reforma del calendario

El periodo de construcción de las grandes meridianas clásicas abarca entre 1461 en Florencia (Sta. M^a de las Flores) y 1895 en Módiica (iglesia de S. Jorge). El objetivo inicial fue lograr mayor precisión en el estudio de los ciclos que regulaban el calendario cristiano en el que encontramos fiestas fijas y fiestas movibles, estas últimas dependientes de la Pascua.

En el Concilio de Nicea allá por 325 dC se determinó que la Pascua sería en el domingo sucesivo al plenilunio tras el Equinoccio de Primavera, que en aquella época ocurría hacia el 21 de Marzo.

El calendario en uso era el Calendario Juliano con años de 365,25 días ($365+1/4$), pero que no era exacto, pues el año duraba realmente 365,2422 días como pudo determinarse con las meridianas. El resultado fue que en 1500 el equinoccio se atrasaba ya 10 días, ocurriendo el 11 de Marzo.

En 1582, el Papa Gregorio XIII, natural de Bolonia donde se construyó una gran meridiana, llevó a cabo la Reforma del Calendario estableciendo para ello una Comisión a tal efecto, en la que se encontraban algunos de los mejores astrónomos de la época, como Clavius o Ignacio Danti que en 1575 había construido la Meridiana de San Petronio en Bolonia.

La Reforma Gregoriana del Calendario Juliano consistió en:

a) Adelantar 10 días pasando directamente del jueves 4 al viernes 15 de octubre de 1582.

b) Eliminar 3 bisiestos cada 400 años.

Así no son bisiestos, aunque según el calendario Juliano lo serían, los llamados años seculares (los finales de cada siglo o terminados en 00) no divisibles por 400. Por ejemplo 1700, 1800 y 1900 no fueron bisiestos, pero 2000 sí lo fue al ser divisible entre 400.

Curiosamente el año 2000 (año secular) fue el último del siglo XX y del milenio, por lo que el cambio de siglo y de milenio ocurrió realmente el 01 de enero del 2001, a pesar de las celebraciones que se hicieron al terminar 1999. Como anécdota, Santa Teresa murió el 4 de octubre de 1582, y fue enterrada al día siguiente, el 15 de octubre, aparentemente 10 días después.

Con esta reforma el nuevo calendario solo se desvía un día cada 3226 años, y esto también se ha corregido, eliminando 1 bisiesto cada 4000 años (se eliminan los milenarios, finales de milenio, múltiplos de 4000). Así el año 4000 no será bisiesto. Con todas estas correcciones la duración del año queda en $365,25-3/400-1/4000=365,2422$ días valor ajustado a las cienmilésimas respecto al real.

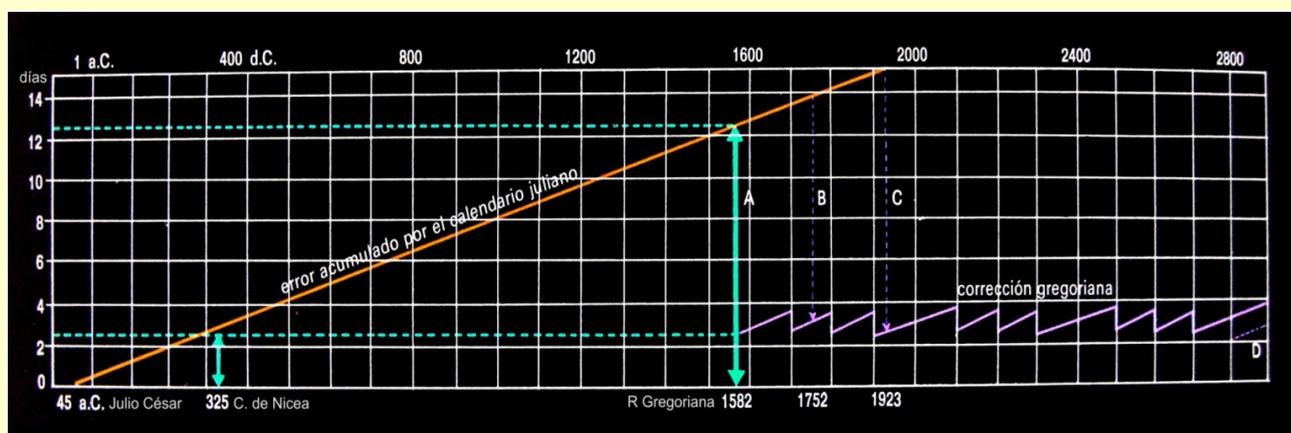


Fig. 6. Esquema de la corrección introducida por el calendario gregoriano.

Otras funciones de las meridianas

En 1655 Gian Domenico Cassini construyó la nueva meridiana de San Petronio en Bolonia, sustituyendo a la de Danti que había quedado inutilizada por las reformas de la iglesia. Su altura gnomónica era de ~27m y la longitud meridiana de ~67m con lo cual

consiguió un instrumento de gran precisión al que llamó Heliómetro. Cassini con la nueva meridiana en S Petronio:

a) Midió la duración del año trópico con gran precisión

b) Confirmó la Segunda Ley de Kepler

c) Determinó la oblicuidad de la eclíptica

d) Estudió las correcciones por refracción atmosférica

Como ejemplo veamos cómo se confirmó la segunda Ley de Kepler: algo ya conocido era que el Sol parece moverse por la bóveda celeste más lentamente en verano que en invierno. Por otra parte ya en la antigüedad se sabía que el Sol está más alejado de la Tierra en el verano y sería esa distancia mayor la que haría que pareciera más lento, pero no había medidas cuantitativas de tal efecto. Kepler, que ya había propuesto las órbitas planetarias elípticas se preguntó «¿El Sol parece moverse más lento porque está más lejos o es efectivamente más lento?»

Según su Segunda Ley de 1609 «La Tierra se mueve más rápido cuando está más cerca del Sol y más lentamente cuando está más lejos» y ello en una proporción acorde con el hecho de que el radio vector Sol-Tierra barre áreas iguales en tiempos iguales.

Utilizando su meridiana Cassini fue capaz de determinar las variaciones en el diámetro solar a lo largo del año, con una precisión de un minuto de arco y demostró que la disminución de la velocidad no es proporcional a la aparente disminución del diámetro solar (es decir a la distancia), siendo así que la falta de uniformidad no es aparente, sino real. Esta fue la primera confirmación observacional de la Segunda Ley de Kepler en una época en la que aún había controversia entre los sistemas Geo y Heliocéntrico.

Fundamento astronómico de la meridiana

Desde un punto de vista heliocéntrico, es decir mirando desde el Sol, la Tierra orbita a lo largo de un año alrededor del Sol con su eje de rotación inclinado respecto al eje orbital, lo que da lugar a las estaciones.

Desde un punto de vista geocéntrico, mirando desde el centro terrestre, el Sol parece moverse por la Eclíptica, entre las constelaciones zodiacales, a lo largo del año.

Y desde un punto de vista topocéntrico, es decir centrado en el lugar de observación, el Sol sale cada día por Oriente y se pone por Occidente.

Combinando todos estos puntos de vista la consecuencia es que la proyección solar resultante sobre un plano horizontal son hipérbolas diarias cuyo eje coincide con la meridiana y que van variando a lo largo del año, siendo su curvatura máxima durante los solsticios y degenerando en líneas rectas durante los equinoccios (ver fig. 7).

La evolución anual de la trayectoria aparente del Sol por el cielo puede verse en las solarigrafías, fotografías de larga exposición realizadas con la técnica de pequeña cámara oscura (ver fig. 8).

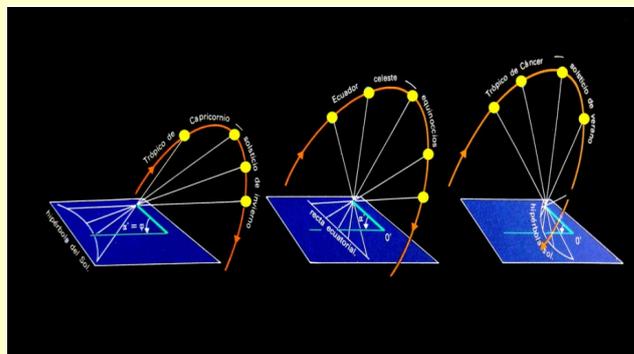


Fig. 7. Ilustración del fundamento astronómico de la meridiana

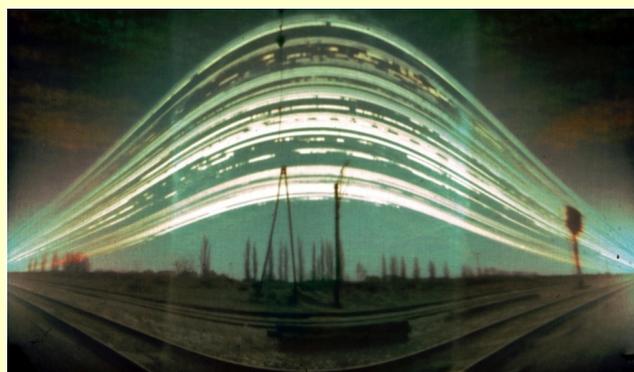


Fig. 8. Solarigrafías

Meridiana polar o boreal

También consiste en una línea Norte-Sur, pero ahora lo que se proyecta sobre ella no es el Sol sino la Estrella Polar y su movimiento aparente alrededor del Polo Norte celeste. Como la luz de la estrella es muy tenue, las observaciones se hacen usando un catalejo o pequeño telescopio alineado con la meridiana y dirigido hacia una cruceta o estenope practicado sobre una ventana orientada hacia el Norte. Su objetivo es hacer observaciones de la Estrella Polar, concretamente de su trayectoria aparente a lo largo del día, que en este caso se denomina día sidéreo y también del cambio de su posición respecto al Polo, debido al lento movimiento de precesión del eje terrestre.

En San Pedro tenemos un estenope boreal, sobre una ventana orientada hacia el Norte, y en el futuro se trazará sobre el pavimento la meridiana y la elipse de la proyección de la Polar.

Como ejemplo tenemos la meridiana polar de Sta. M^a de los Ángeles que fue realizada por Bianchini bajo los auspicios del Papa Clemente XI. En el suelo de mármol se trazaron las elipses que proyectó y proyectará diariamente la Estrella Polar, a lo largo de varios siglos, desde el año 1700 hasta el 2500.

La polar gira alrededor del Polo N celeste con un periodo de 23h 56min el denominado día sidéreo, relacionado con el “auténtico” periodo de rotación terrestre, puesto que se toma como referencia un punto casi fijo como es la Polar. El día solar de 24 horas es útil por estar relacionado con el ciclo de luz que controla nuestra vida, pero toma como referencia un objeto que se mueve a lo largo del año por la bóveda celeste, como es el Sol.

Cuantitativamente la diferencia está clara, puesto que el Sol recorre anualmente la bóveda con un ciclo de ~ 365 días, tenemos: $24 \cdot 60 / 365 = \sim 4$ min que es la diferencia entre día solar y día sidéreo. Por otra parte la proyección diaria de la Polar va variando con los años debido a la precesión del eje terrestre que consiste en una rotación del propio eje semejante a lo que ocurre en las peonzas. En el caso de la Tierra el periodo es muy lento de unos 25800 años, a lo que se denomina año platónico.

Péndulo de Foucault

En el ábside de San Pedro también se ha instalado un péndulo de Foucault con una esfera de acero de unos 100 kg y cuyo cable parece colgar de la bóveda celeste que se observa a través del derrumbe de la propia bóveda del ábside (ver fig. 10).

Foucault en 1851 realizó un famoso experimento, en el que colgó su péndulo de la cúpula del Panteón de París, con un cable de 68m y una esfera de 28kg. Al observar la lenta deriva del plano de oscilación pudo demostrar la rotación terrestre sin necesidad de mirar a las estrellas. Fue el primer experimento científico divulgativo de puertas abiertas al público y al que acudieron los parisinos en masa.

El periodo de oscilación de un péndulo a pequeñas amplitudes de oscilación depende solo de la longitud del cable y de la gravedad y su plano de oscilación tiende a permanecer en su estado inicial por inercia. En el Polo Norte un péndulo de Foucault mantiene su plano de oscilación con respecto al espacio (las estrellas), pero un observador terrestre lo vería derivar lentamente en sentido horario con un periodo de 23h 56min, justo el periodo sidéreo de rotación terrestre. La velocidad angular de deriva Ω será de unos $360 / \sim 24 = \sim 15^\circ$ por hora.

En latitudes medias la situación es un poco más compleja, pues aparecen componentes angulares ω_z

que dependen de la latitud del lugar λ , siendo ahora la velocidad angular de deriva $\Omega = \sim 15^\circ/\text{h} \cdot \text{sen} \lambda$ (ver esquema de la fig. 9).

Y sobre el Ecuador el plano se mantendrá permaneciendo en su orientación inicial al anularse la componente de deriva.

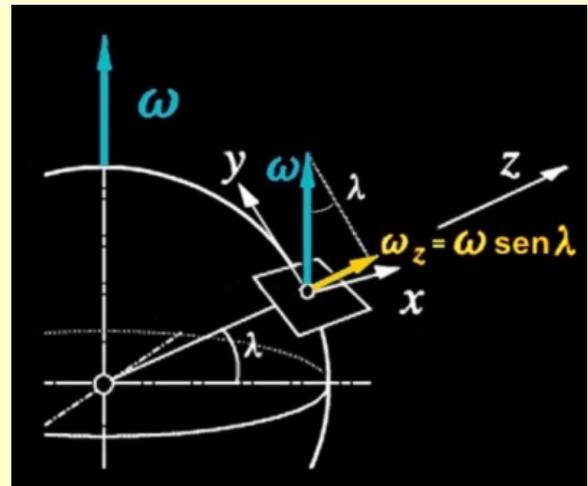


Fig. 9. Esquema de la descomposición de la velocidad de rotación terrestre en función de la latitud del lugar

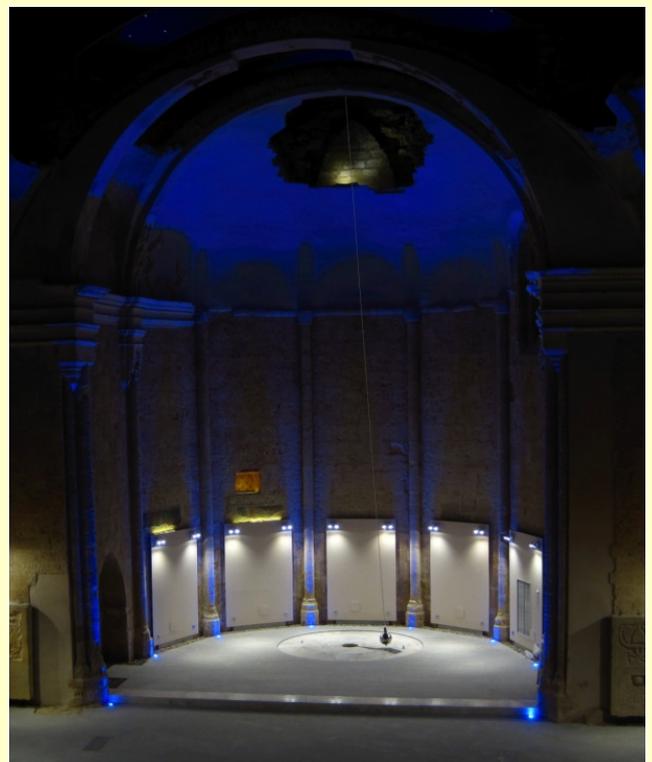


Fig. 10. Péndulo de Foucault en el ábside de San Pedro

Stellarium de San Pedro

En el intradós de la nueva cubierta, por encima de los antiguos arcos, se ha instalado un estelarario que

simula, con diodos, algunas constelaciones del verano en estas latitudes (ver fig. 11).

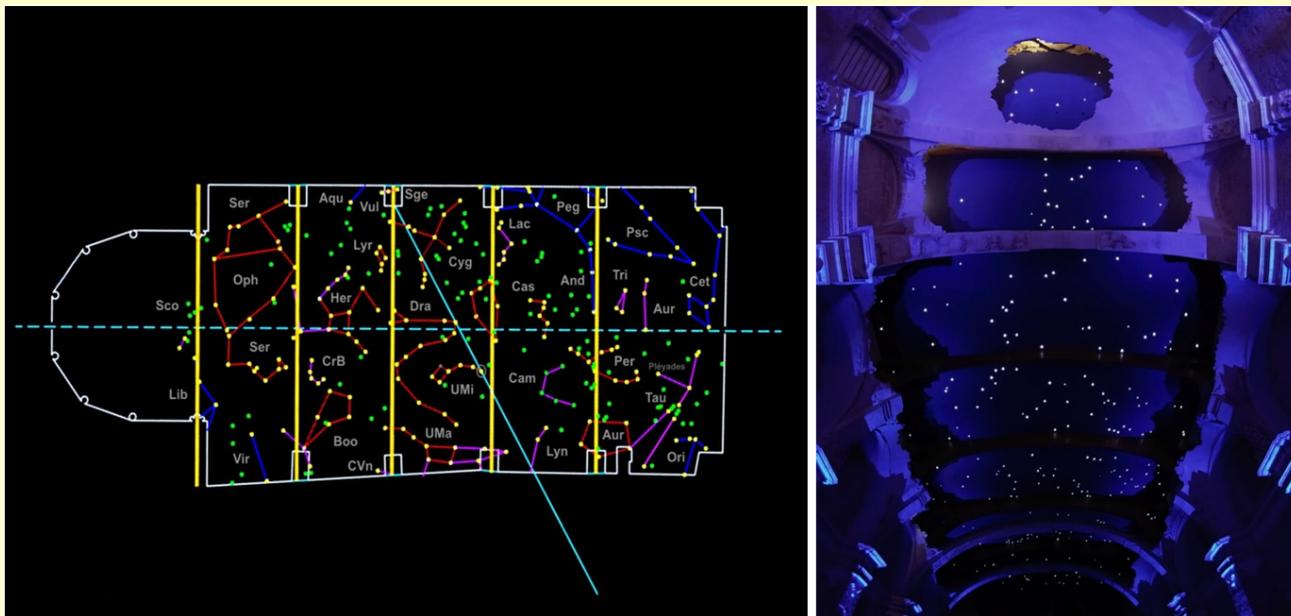


Fig. 11. Estelarario de la bóveda de San Pedro.

Estenope occidental

Otro elemento interesante es el estenope realizado en el óculo o ventana circular del antiguo coro, que durante el solsticio de invierno proyecta sobre el ábside la imagen solar (ver fig. 12). Ocurre de tal forma que en un momento dado dicha proyección penetra en el nicho estrellado que se descubrió en el ábside, haciendo que repentinamente queden iluminadas las estrellas con la anaranjada luz del Sol poniente.



Fig. 12. Estenope practicado en San Pedro

Enlace para observar el movimiento aparente de las pruebas que se hicieron el día del solsticio de invierno.

<https://www.youtube.com/watch?v=f5-dCxbeRs>

Reloj solar de doble cara

En el atrio exterior de San Pedro, sobre una de las esquinas, se ha colocado un reloj solar de doble cara (ver fig. 13). Está formado por dos cuadrantes declinantes, es decir no orientados exactamente hacia el Sur, y cuya finalidad evidente es el conocimiento de la hora solar local durante gran parte del día. Se trazaron una vez establecida la declinación de los paramentos en que se iban a colocar.



Fig. 13. Reloj de sol de doble cara en San Pedro

Reconocimientos

El proyecto de San Pedro cultural ha sido ejecutado según Proyecto de los arquitectos Álvaro Gutiérrez Baños, Juan del Olmo García y Carlos del Olmo García, ejecutado por la empresa Cabero y promovido por el Excmo Ayuntamiento de Becerril de Campos, con financiación del 1% Cultural del Ministerio de Fomento. Con la colaboración de: Agrupación Astronómica Palentina. INMAPA

