

Digitalización y Materialización del Monumento 6 de Tortuguero

LIC. EFRÉN LÓPEZ LEONOR

D.C.G. JOSÉ ARTURO SOTO NÁJERA

CAV Diseño e Ingeniería S.A. de C.V.

México, D.F.

[efren.lopez@cavdiseno.com](mailto:efren.lopez@cavdiseno.com)

[arturo.soto@cavdiseno.com](mailto:arturo.soto@cavdiseno.com)

## Monumento 6 de Tortuguero

Se ha denominado “Monumento 6” a la columna pétrea y lisa hallada en Tortuguero, los datos existentes son muy vagos, se dice que el monumento 6 fue encontrado en 1958 cubriendo una tumba en la zona arqueológica de Tortuguero, municipio de Macuspana, Tabasco, según la cédula de adquisición del museo Carlos Pellicer de Villahermosa, Tabasco.

A pesar de que se describe como una lápida integrada por tres piezas rectangulares que forman una T, que entre los mayas era símbolo del viento, la pieza se encuentra fragmentada en 6 piezas nombradas de la A a la F por los investigadores, y conservada en diversas colecciones. Los fragmentos A,C y F se encuentra exhibida en el Museo Regional de Antropología “Carlos Pellicer Cámara” en la ciudad de Villahermosa, capital del estado de Tabasco; la pieza B en el museo de Arte Metropolitano de Nueva York, los dos restantes D y E en una colección privada en Boston.

La pieza comenzó a conocerse en 1962, cuando el arqueólogo John Eric Sidney Thompson (Inglaterra, 1898 -1975) publicó la fotografía de dos fragmentos con inscripciones que nombró “Estela 6”; en 1978 su colega Berthold Riese (Alemania, 1944), dio a conocer un dibujo del mayista Ian Graham (Inglaterra, 1923) de una inscripción llamada “Monumento 6”, que estaba fragmentada en seis pedazos, dos de ellos correspondían a las fotografías publicados por Thompson. Este nombre es el aceptado para designar a esta escultura.

Mide 1.9 m de altura, tiene 92 cm en la parte más ancha y 65 cm en la menor; su grosor varía entre 12 y 13 cm, solo una cara está labrada. El análisis integral del

Monumento 6 muestra claramente que su objetivo principal es el relato sobre los sucesos que ocurrían mientras gobernaba *B'ahlam Ahau*, destacando la construcción y dedicación de una estructura ritual para la ceremonia de fuego (“el *naah*”) en la fecha de cuenta larga 9.11.16.8.18 (14 de enero de 669). Estas inscripciones ocupan la mayor parte de la estela.

Por otra parte en el ala derecha se encuentran, los glifos que algunos consideran apocalípticos, entre los que se conservan legibles se interpreta: El treceavo *Baktun* acabará en el 4 *Ahau* 3 *Kankin* (21 de diciembre de 2.012). ¿? *Sucedará. Será el descenso ¿? de Bolon Yookte Kuh para el ¿?*

Después de la fecha mencionada y antes de los glifos dañados, el glifo resaltado es el verbo *u-to-ma*, la ortografía de *utoom*, participio futuro, “*que va a suceder*”. Si correspondiera a los tres siguientes -y últimos-, entonces éstos describirían un suceso asociado al año 2012; pero si sigue la estructura narrativa de la inscripción, habría una ruptura importante después del *utoom*, por lo que podría referirse a que los sucesos narrados sucederían “*antes de*”.

El Monumento 6 señala el fin de un ciclo y la llegada de otro. La nueva era estaría a cargo de un nuevo señor, *Bolon Yookte K'uh* “Dios de los nueve pasos” o “Dios de los nueve árboles”, también presente en Palenque, del que no hay certeza de su significado dentro de la cosmología maya. La expresión 9 *Yookte* (*Bolon Yookte*) es enigmática, al estar seguida de *K'uh* “dios(es)”, podría identificar a un grupo, en este caso de nueve dioses.

Para los mayas el tiempo no era abstracto, estaba conformado por ciclos, que tenían nombre y se preocupaban en realizar rituales para asegurarse que el ciclo por venir fuera propicio. La mención de la fecha 13.0.0.0.0 4 *Ahau* 3 *Kankin* (21 de diciembre de 2012) en el Monumento 6 de Tortuguero, es un ancla cronológica aislada dentro de un largo relato,

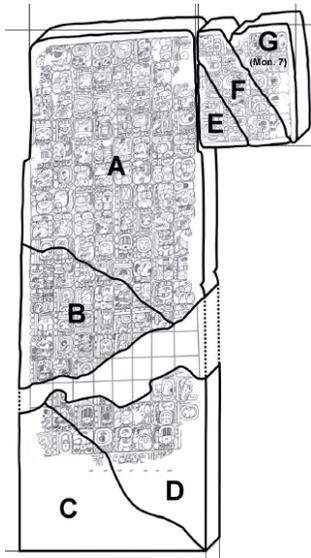
proyectada hacia el futuro, para hacer un punto retórico acerca de la naturaleza del acontecimiento histórico principal. El gobernante *B'ahlam Ahau*, era tan poderoso que sería el anfitrión, cuando *Bolon Yookte* llegara.



Monumento 6 de Tortuguero, pieza original ubicada en el Museo Regional de Antropología Carlos Pellicer, Villahermosa, Tabasco



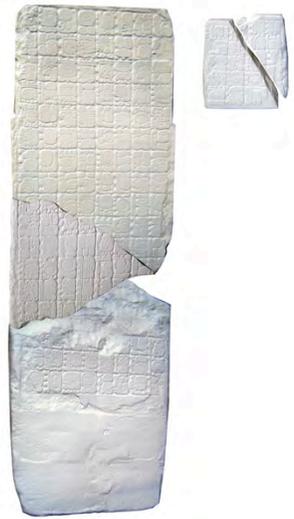
Monumento 6 de Tortuguero, pieza original completada con fragmento materializado, ubicada en el Museo Regional de Antropología Carlos Pellicer, Villahermosa, Tabasco



Reconstrucción hipotética del Monumento 6 de Tortuguero



Resultado de la Digitalización del Monumento 6 de Tortuguero



Resultado de la Materialización del Monumento 6 de Tortuguero.



Monumento 6 de Tortuguero, pieza original completada con pieza materializada, ubicada en el Museo Regional de Antropología Carlos Pellicer, Villahermosa, Tabasco



Réplica completa del Monumento 6 de Tortuguero, pieza ubicada en el Museo Nacional de Antropología, México, D.F.

## Objetivo del registro, documentación y materialización del Monumento 6 de Tortuguero

Para los investigadores, encontrar maneras de documentar y publicar esculturas e inscripciones ha sido siempre un reto importante. Para registrar datos tridimensionales y muy detallados, como los glifos, se pueden usar distintos métodos como la fotografía, el dibujo, la fabricación de moldes de papel, látex o yeso. Estos procesos en general resultan muy limitados en su capacidad para registrar los detalles además de que algunos de ellos – como los moldes- es muy probable que dañen la superficie de los monumentos, que generalmente son frágiles debido a la erosión. Además, los moldes, sobre todo de yeso, son voluminosos y pesados, haciendo difícil su almacenamiento y uso a largo plazo.

Por todo lo anterior, la digitalización y producción de modelos 3D, constituyen una herramienta en extremo valiosa. Tiene varias ventajas sobre las técnicas tradicionales de reproducción: el proceso de grabación no requiere contacto directo con el objeto por lo que le evita daños al monumento. También, es mucho más fácil y económico almacenar, mover, compartir y estudiar los datos digitales. Y lo más importante, es posible hacer réplicas físicas completas a partir de los modelos digitales.

Es el método idóneo para registrar, almacenar y estudiar cualquier tipo de patrimonio cultural. Permite un análisis minucioso de los detalles, la posibilidad del uso y control de luces especiales que amplíen los estudios, y el llevar a cabo réplicas exactas del original, tantas como se quiera, a partir de los archivos digitales.

Como todo nuestro patrimonio cultural, el Monumento 6 de Tortuguero es una pieza arqueológica de valor incalculable, por lo que el Instituto Nacional de Antropología e

Historia (INAH) tomó la decisión de llevar a cabo su registro y posterior materialización 3D como parte de las actividades que durante el 2012 buscaron poner en valor este monumento, a la par de la euforia mundial que se generó alrededor de sus inscripciones.

El proyecto de digitalización inició con la obtención de una nube de puntos que sirviera como base para realizar la reconstrucción a malla poligonal del volumen completo de la estela, logrando con esto, conservarla en un archivo digital que se pueda consultar en un ordenador que cuente con los programas de diseño o manipulación de objetos 3D, así como materializar cada uno de los fragmentos que la componen con el fin de exhibir y divulgar la información y la belleza de la pieza escultórica.

Las medidas que se llevaron a cabo para tal propósito fueron:

Se realizó un registro digital a detalle de la pieza utilizando tecnología no invasiva (sin contacto directo) con un escáner láser y un escáner de luz estructurada.

Con la malla poligonal se realizó una materialización del Monumento 6 de Tortuguero en escala 1:1 fiel a la original, esta se llevó a cabo en un sistema de producción 3D que realiza modelos volumétricos a partir del modelo obtenido por el escáner y procesado en el ordenador.

La materialización se llevó a cabo por medio de un proceso denominado manufactura aditiva, el cual consiste en la inyección de fotopolímeros en estado líquido que son curados con luz ultravioleta, este método se caracteriza por su alta precisión y acabado en la superficie.

La materialización del Monumento 6 de Tortuguero tiene un valor agregado debido a que es la primera pieza de este tipo que se realiza en México. Con este trabajo, el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) se pone a la vanguardia en el tema de

conservación y puesta en valor del patrimonio cultural, utilizando procesos de innovación tecnológica reconocidos a nivel mundial, en los que se emplea el principio; Investigación + Desarrollo + Innovación (I+D+I).



Ortoimagen del Monumento 6 de  
Tortuguero

## Gestión de información por parte de autoridades del INAH

En el Museo Regional de Antropología Carlos Pellicer Cámara, en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, se conserva la mayor parte de este monumento: dos fragmentos grandes pertenecientes al cuerpo de la estela y uno pequeño del ala derecha de la “T”.

Otros dos segmentos pequeños –también del ala izquierda de la “T”- se sabe que fueron vendidos a un coleccionista privado en la ciudad de Boston. Finalmente, otro gran fragmento central del cuerpo del monolito se resguarda en el Museo de Arte Metropolitano de Nueva York (MET).

De los dos fragmentos ubicados en la colección privada no se tienen mayores datos, ni se sabe su exacta localización, por lo que para la culminación de este proyecto fue necesario llevar a cabo una reproducción a partir de fotografías.

Sin embargo, sí fue posible tener acceso al fragmento grande que custodia el MET de NY. Esto se logró mediante la firma de un Convenio Marco de colaboración académica, científica y cultural, que se celebró entre el Instituto Nacional de Antropología e Historia, representado por la entonces Coordinadora Nacional de Conservación Lilia Rivero, y el Centro de Estudios Latinoamericanos de la Universidad de Harvard, representado por la Dra. Merilee Grindle. En él se establecieron las bases necesarias para llevar a cabo una colaboración interinstitucional entre las partes a fin de conjuntar actividades vinculadas con proyectos de interés mutuo en materia de investigación y conservación del Patrimonio Cultural, y acordes con los objetivos de ambas instituciones.

La vinculación con tan importante espacio académico permitió establecer los compromisos y términos para un Convenio Específico de Colaboración cuyo objetivo fue

efectuar el escaneo del fragmento localizado en el MET. Todo este trabajo fue posible gracias a la colaboración de los doctores William y Barbara Fash, quienes lideran el proyecto *Corpus of Maya Hieroglyphic Inscriptions* del *Peabody Museum of Archaeology and Ethnology*, perteneciente a la Universidad de Harvard. Gracias a su generosa participación se llevó a cabo todo el proceso de digitalización y las gestiones necesarias para sacar adelante dicha empresa.

La información llegó a nosotros en un disco compacto (CD) con archivos en formato .stl (datos necesarios para una correcta materialización en 3D mediante manufactura aditiva).

En su reporte de este año, el *Museo Peabody* da a conocer los trabajos que han llevado a cabo desde 2008 a la fecha. Entre ellos está el fragmento del Monumento 6 de Tortuguero localizado en el Museo Metropolitano de Arte de Nueva York México. En este escaneo, según se lee en el mismo reporte, se utilizó un escáner de luz estructurada *Smartsan 3D*, que consiste en un proyector y dos cámaras montadas en una varilla de fibra de carbono. Las cámaras y los proyectores forman un ángulo entre sí y la distancia de funcionamiento de la superficie de escaneado se fija en 70 cm. El sistema proyecta una secuencia de patrones sobre el objeto, mientras que las cámaras graban simultáneamente la superficie. La distorsión de los patrones causada por la superficie es analizada por un *software* especializado que genera una nube de puntos 3D a partir de los píxeles de las imágenes digitales. La superficie inscrita se leyó a Resolución de 0,05 mm y las zonas llanas se registraron a 0,18 mm.

Estos archivos fueron entregados a CAV Diseño e Ingeniería, S.A. de C.V. empresa que llevó a cabo un análisis detallado de las cualidades de la información.

## EQUIPO DE DIGITALIZACIÓN

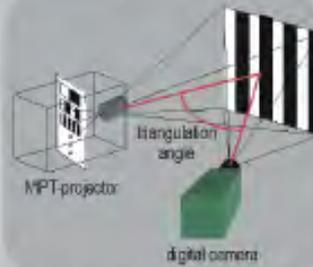
El escáner de luz estructurada SmartsScan 3D utilizado en el proyecto CMHI consiste en un proyector y dos cámaras montadas sobre una varilla de fibra de carbono. Las cámaras y el proyector está en un ángulo entre sí, y la distancia de funcionamiento de la superficie escaneada se fija en 70 cm.

El sistema proyecta una secuencia de patrones sobre el objeto, mientras que las cámaras graban simultáneamente la superficie. La distorsión de los patrones causadas por la superficie es analizada por el software conectado que genera una nube de puntos 3D a partir de los píxeles de las imágenes digitales. El valor de textura (color) se asigna a cada punto de las mismas cámaras. Cada exploración sucesiva se alinea de forma semiautomática para el resto de los datos en tiempo real.

El CMHI eligió este modelo de escáner por su velocidad, resolución, precisión y portabilidad. El peso ligero del escáner (4 kg) y su relativamente fiel registro de color también son importantes. Otra ventaja significativa es que el tamaño del área escaneada o campo de visión (FOV) y la resolución XY (menor distancia entre dos puntos cualesquiera en una sola exploración) puede ser alterada mediante el uso de diferentes kits de lentes.

El CMHI adquirió tres juegos de lentes: 600mm FOV, resolución XY de 0,36 mm para los monumentos más grandes; 300mm FOV, resolución XY de 0,18mm para la mayoría de los objetos; 90mm FOV, resolución XY de 0,05mm para artefactos pequeños y / o excepcionalmente detallada. Con este juego de lentes se pueden combinar en un solo proyecto de exploración con diferentes resoluciones.

El fragmento del Monumento 6 de Tortuguero, México, en la colección del Museo Metropolitano fue escaneado para ayudar en la reconstrucción del monumento original. Los datos en 3D se puede utilizar para hacer una réplica física para reunirse con el resto de la estela en el Museo de Tabasco, México. La superficie inscrita se escanea con una resolución de 0,05 mm y las zonas llanas se registraron a 0,18 mm.



Proceso de digitalización del Fragmento B del Monumento 6 de Tortuguero.

## Digitalización del Monumento 6 de Tortuguero

Para llevar a cabo el trabajo de digitalización, el Departamento de Análisis Dimensional y Modelado 3D de CAV Diseño e Ingeniería S.A. de C.V. se trasladó por tierra, de la ciudad de México a la ciudad de Villahermosa Tabasco.



Trabajos de digitalización 3D en el Monumento 6 de Tortuguero

El día viernes 17 de febrero del 2012 se arribó al Museo Regional de Antropología Carlos Pellicer Cámara, llevándose a cabo el registro del personal y del equipo, así como la revisión del mismo con respecto a las condiciones climatológicas.

Para la realización del trabajo de digitalización se contó en todo momento con la presencia de la Restauradora Claudia Sánchez Gandara, quien a nombre de la Licenciada en Restauración Liliana Olvera Flores, Directora de Educación Social para la Conservación de la CNCPC-INAH, supervisó todos los trabajos, así como del personal del Museo Carlos Pellicer Cámara quienes mostraron gran interés por el proyecto.

### Digitalización con Escáner ATOS

Para iniciar los trabajos con el Escáner ATOS, primero se calibró, procedimiento que consiste en verificar en una tablilla de 20 x 20 cm con círculos de 3mm de diámetro (mismo diámetro que el de las referencias que se colocaron sobre los fragmentos) que las cámaras del escáner tengan el mismo objetivo, que capturen todos los puntos en la tablilla y que la cantidad de luminosidad de entrada a los lentes para que el escaneo sea la correcta. Una vez calibrado el equipo se iniciaron los trabajos de digitalización a partir del fragmento inferior de la pieza.

El escáner óptico de la marca ATOS, funciona a una distancia del objeto que va de 30 cm a 80 cm dando un campo de visión del escáner de 20 x 20 cm del cual se realiza una toma o captura. Esta información pasa al ordenador, la cual se puede obtener en tiempo real, al terminar la toma se mueve el Escáner de posición debiendo dejar puntos en común entre el primer escaneo y el segundo y así sucesivamente hasta concluir con la digitalización total de la pieza.

Como puntos en común se usaron referencias circulares, de aproximadamente 3mm de diámetro, a una distancia de 7cm sobre los fragmentos del Monumento. Funcionan de modo que de manera automática cada uno de los escaneos que van siendo registrados sea

colocado en una coordenada particular. Para colocar las referencias se utilizaron guantes y unas pinzas de punta delgada, teniendo siempre cuidado de tocar lo menos posible la superficie de los fragmentos.

A lo largo de todo el proceso fue necesario recalibrar el equipo en varias ocasiones debido a los constantes cambios en las condiciones de luz que presentaba la sala.



Trabajos de digitalización 3D en el Monumento 6 de Tortuguero

### Digitalización con Escáner FARO

La segunda parte de la digitalización se llevó a cabo con un Escáner Láser de la marca FARO, este funciona teniendo como mínimo 1m de distancia entre el Escáner y el objeto a digitalizar, el campo de visión del escáner es más amplio; de 360° en sentido horizontal y 160° en sentido vertical.

Este equipo realiza un barrido del ambiente físico por medio de un haz de luz láser invisible para el ojo humano, esta información pasa al ordenador donde se hace un proceso de importación en la cual se transforma del lenguaje del Escáner al lenguaje digital antes de ser visualizada en pantalla.

También para este escaneo es necesario contar con referencias pero en este caso, rectangulares de aproximadamente 10 x 10 cm y colocadas a cada 2m sobre el piso y en alguno de los muros. Esto sirve para que en el ordenador los escaneos se puedan acoplar de manera manual y sean registrados correctamente.

El proceso concluyó con la captura del color por medio de la cámara del Escáner FARO. Hasta aquí el procedimiento se hizo con la pieza de pie, montada en su lugar dentro del guión museográfico.

Posteriormente se desmontó todo el equipo y el personal del museo llevo a cabo el desmontaje de los fragmentos para continuar con el registro de las partes posterior y laterales. Una vez calibrados los dos equipos y colocadas las guías, se realizó el escaneo 3D del resto del Monumento 6 de Tortuguero.



Trabajos de digitalización 3D en el Monumento 6 de Tortuguero

### Resultado del trabajo de Digitalización

Después de haber realizado exitosamente la digitalización del Monumento 6 de Tortuguero, y una vez exportados los datos obtenidos al ordenador, el resultado fue:

Escáner ATOS

- 85 archivos de digitalización

- 6.72 Gb de información

Escáner FARO

-9 archivos de digitalización

-63 fotografías de escáner

-7.02 Gb de información

Con el resultado de este trabajo, se procedió a la edición y manipulación en el equipo de cómputo para poder realizar la materialización.

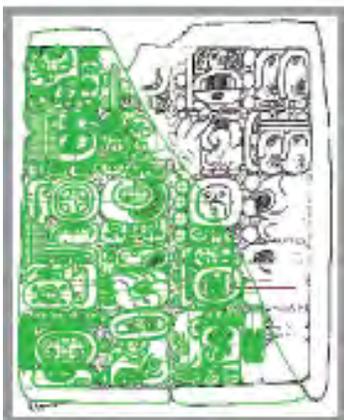
### Edición y Materialización

Todo el proceso tanto de escaneo 3D como de materialización se llevó a cabo de manera independiente en cada uno de los fragmentos debido a dos circunstancias básicas. La primera es que, si bien el Monumento 6 era originalmente una sola pieza, actualmente se encuentra fragmentada debido al deterioro natural y a los efectos que el paso del tiempo ejerce casi sin excepción sobre los objetos hallados en contexto arqueológico. Así que una reproducción exacta debía respetar también esta parte de la historia de la pieza. La segunda razón es de carácter práctico ya que, al estar los fragmentos localizados en diferentes espacios, resulta natural abordarlos también de forma separada.

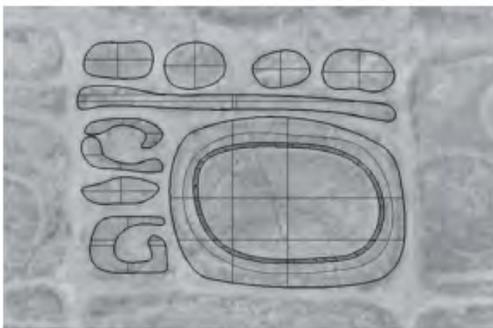
## Fragmentos E y F

Como ya se dijo antes, esos dos pequeños fragmentos se encuentran en una colección privada, posiblemente en la ciudad Boston y sin ninguna posibilidad de tener un acercamiento a ellos. Debido a esto, para conseguir su materialización el proceso arrancó con una fotografía. A partir de una imagen digital se llegó al modelado 3D de estos dos pequeños fragmentos.

La fotografía se localizó en la literatura, y de ahí se tomó una fotografía digital en formato .JPG. A partir de ésta se obtuvo un dibujo lineal en dos dimensiones en formato .PNG, al cual se le dio volumen para obtener un modelo sólido en tres dimensiones.



Modelo de superficies de relieve sobre la plantilla de dibujo



Trazado de dibujo lineal en fotografía



Modelo sólido obtenido a través de dibujo lineal

## Fragmentos A, C, D y G

Estos fragmentos son los que se han podido conservar dentro de nuestro país, y se encuentran en exhibición en el Museo Regional de Antropología Carlos Pellicer Cámara, en la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Sobre ellos fue necesario realizar primero un escaneo con láser 3D (FARO) y un escaneo con luz estructurada (ATOS).

El resultado de este trabajo es lo que se conoce como nube de puntos. Un total aproximado de 5 millones de puntos referenciado cada uno de ellos con una coordenada específica y separados entre sí por 0.16 mm, lo que nos asegura la fidelidad del modelo a la pieza original. El siguiente paso consistió en exportar esta nube de puntos al *software* de reconstrucción *Geomagic*, de donde se obtiene lo que se conoce como malla poligonal. Entre más pequeños sean los polígonos, más suaves serán las curvas obtenidas y mayor será la resolución del objeto 3D, mejorando con esto la fidelidad al original del producto final.

Para todo esto fue necesario el trabajo de dos ingenieros en aeronáutica, dos arquitectos y un diseñador gráfico por espacio de dos meses frente a un equipo de cómputo.

Con la optimización de estos trabajos quedan registradas todas las curvas que forman los altos y bajos relieves de la pieza.



Trabajos de captura de datos con  
equipo ATIZ



Trabajos de captura de datos con  
equipo FARO

## Fragmento B

Este fragmento es el que se encuentra en posesión del Museo Metropolitano de Arte de Nueva York así que, todo el proceso de escaneo y obtención de la malla poligonal fue llevado a cabo por el proyecto *Corpus of Maya Hieroglyphic Inscriptions* del Museo Peabody de Arqueología y Etnología.



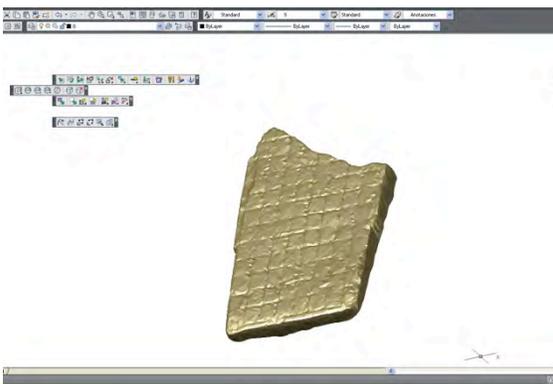
Trabajos de captura del Fragmento B



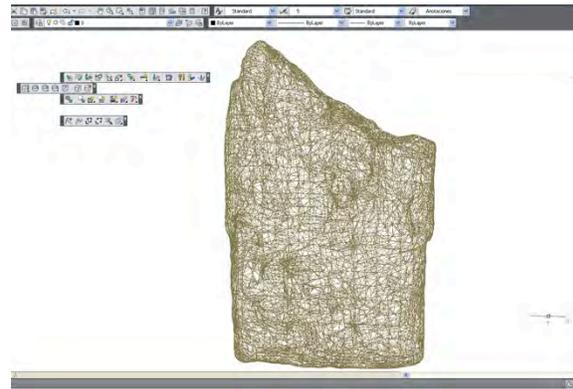
Trabajos de captura del Fragmento B

## Renderizado

A partir de este punto ya se tenía el total de los fragmentos en formato de malla poligonal. El siguiente paso fue lo que se conoce como edición de curvas y superficies. Esto tiene el objetivo de optimizar el modelo mediante la revisión del mismo y la limpieza de la malla, para detectar, y en su caso corregir, algún espacio del relieve que por sus características se haya ocultado al barrido del escaneo 3D.

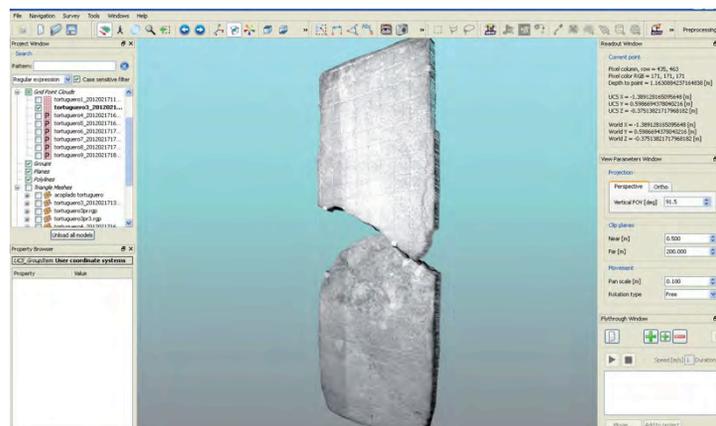


Fragmento A en modelo de malla poligonal



Fragmento C-D en modelo de malla poligonal

Esta parte del proceso concluye con el renderizado que consiste en la obtención de una imagen fotorrealista del modelo para obtener un acabado propio de la roca caliza sedimentaria fiel a los fragmentos existentes.



Render del Monumento 6 de Tortuguero

## Materialización

Con materialización nos referimos a la impresión de la pieza en tres dimensiones. Debido a que el objetivo de la materialización en este caso es la creación de reproducciones que eventualmente estarán en exhibición, se optó por la materialización en impresora 3D de inyección de polímero en lugar de impresora a base de polvos. Las reproducciones serán en mayor o menor medida manipuladas para su traslado y montaje museográfico y es el acabado con polímeros el que permite una adecuada resistencia para este tipo de manejo.

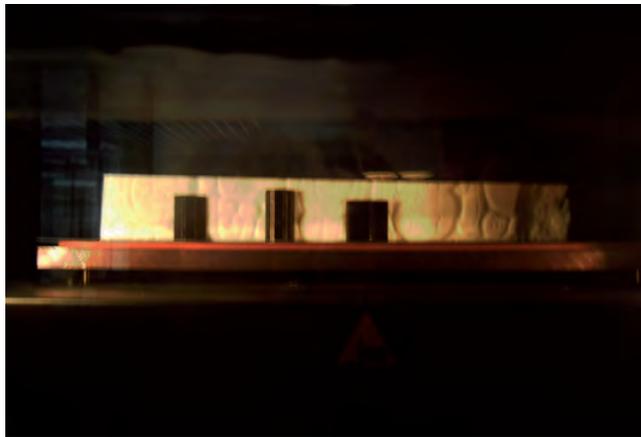
Con una impresora de polvo compactado la estructura se logra mediante la mezcla del polvo con un aditivo que le da cohesión, con lo que el resultado obtenido está basado en pequeñas partículas en lugar de cadenas poliméricas. Esto hace que el producto final en el caso de los polvos, carezca de suficiente capacidad estructural y sea mucho más frágil.

Otra ventaja es que las boquillas de inyección de polímeros cuentan con una precisión 0.1254 mm, lo que resulta en una alta fidelidad del producto, en comparación con las impresoras de polvo cuyas boquillas tienen diámetros del orden de 0.5 mm.

La impresora utilizada para este proceso fue la FDM 400. Ésta tiene la capacidad de imprimir entre siete y veinte secciones de 35 cm x 18 cm cada una, dependiendo del ancho de cada fragmento y de si la sección a imprimir incluye parte del canto o es sólo el frente. Debido a esto se hizo necesario reticular cada uno de los cinco fragmentos del Monumento 6 en secciones de 15 cm x 20 cm en promedio, con la finalidad de maximizar el área de trabajo permitido por la impresora 3D.

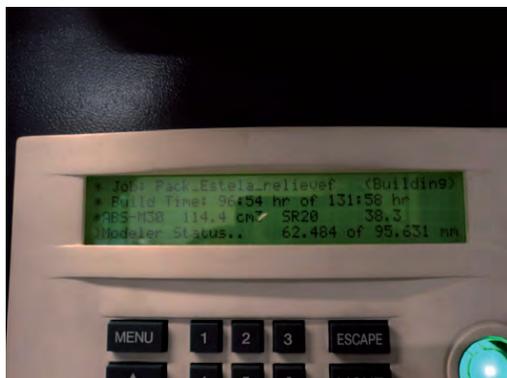


Impresora FDM 400



Proceso de impresión de piezas

Los cinco fragmentos se dividieron entonces en 125 secciones, 64 pertenecientes a la parte frontal del monumento y 61 correspondientes a la parte posterior y los cantos del mismo.



Proceso de impresión de piezas



Resultado del proceso de impresión

## Limpieza

Recién salidas de la impresora 3D, las pequeñas secciones materializadas tienen rebaba y rebordes que es necesario eliminar para que sea adecuado el posterior proceso de ensamblado. Esto se hace sumergiéndolas en una solución diluida de hidróxido de sodio por un periodo de ocho horas cada lote, después de lo cual con un cepillo de cerdas suaves es fácil eliminar todos los restos.



proceso de limpieza de piezas

## Unión de fragmentos

A continuación se procede a unir sección por sección de cada fragmento con un adhesivo de contacto (cianoacrilato de metilo). En este proceso de armado fue necesario corroborar cada unión con el registro digital que previamente realizó el equipo de trabajo para asegurarnos de que la secuencia fuera la correcta y fiel al original.



Piezas del fragmento B formadas, listas para ser unidas.

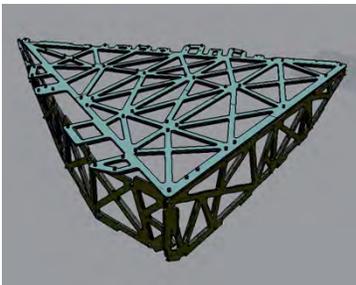


Fragmento A, en proceso de unión.

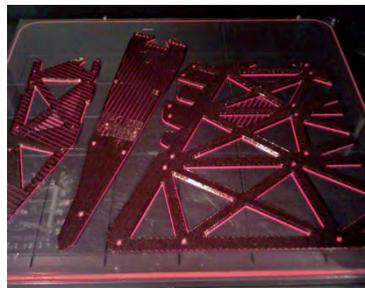
## Estructura de soporte

Una vez unidas las secciones por partes, es necesario contar con una estructura de soporte sobre la cual colocarlas debido a que la réplica es hueca. Esta estructura se obtiene seccionando imaginariamente el monumento en cortes transversales de los cuales, gracias al escaneo 3D, podemos obtener las alturas reales con apoyo del *software* de modelado paramétrico *Catia*.

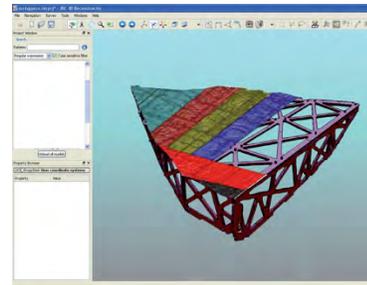
En este *software* se lleva a cabo también el ensamblado virtual de todas las secciones montadas sobre su estructura de soporte, y se obtiene una primera vista de cómo lucirá la réplica al finalizar el proceso. Una vez verificados virtualmente todos los detalles, se procede a la realización de una estructura hecha a medida para cada réplica de los fragmentos. El material elegido para el Monumento 6 fue el acero inoxidable por sus idóneas propiedades de dureza, maleabilidad y duración.



Modelo 3D de estructura para fragmento B



Piezas de acero inoxidable para el armado del fragmento B



Ensamblado virtual del Fragmento B

## Acabado

Una vez unidas y montadas las secciones de cada fragmento del monumento es necesario darles un terminado que oculte las uniones, esto se logra con una pasta de resane y un lijado suave; es un trabajo completamente artesanal y detallado.



Trabajos de acabado final en el Fragmento A



Detalle del Fragmento B armado

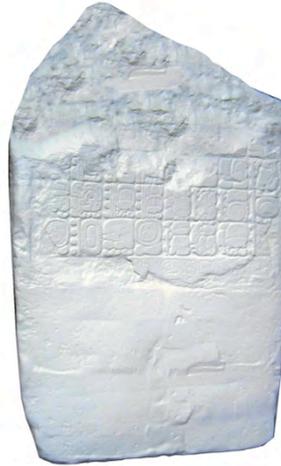


Imagen de réplica terminada

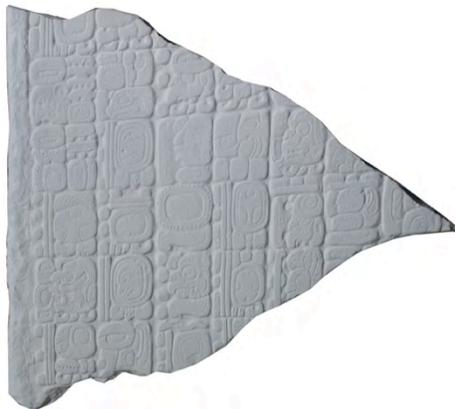
Resultado de la Materialización del Monumento 6 de Tortuguero



Fragmento A



Fragmento C-D

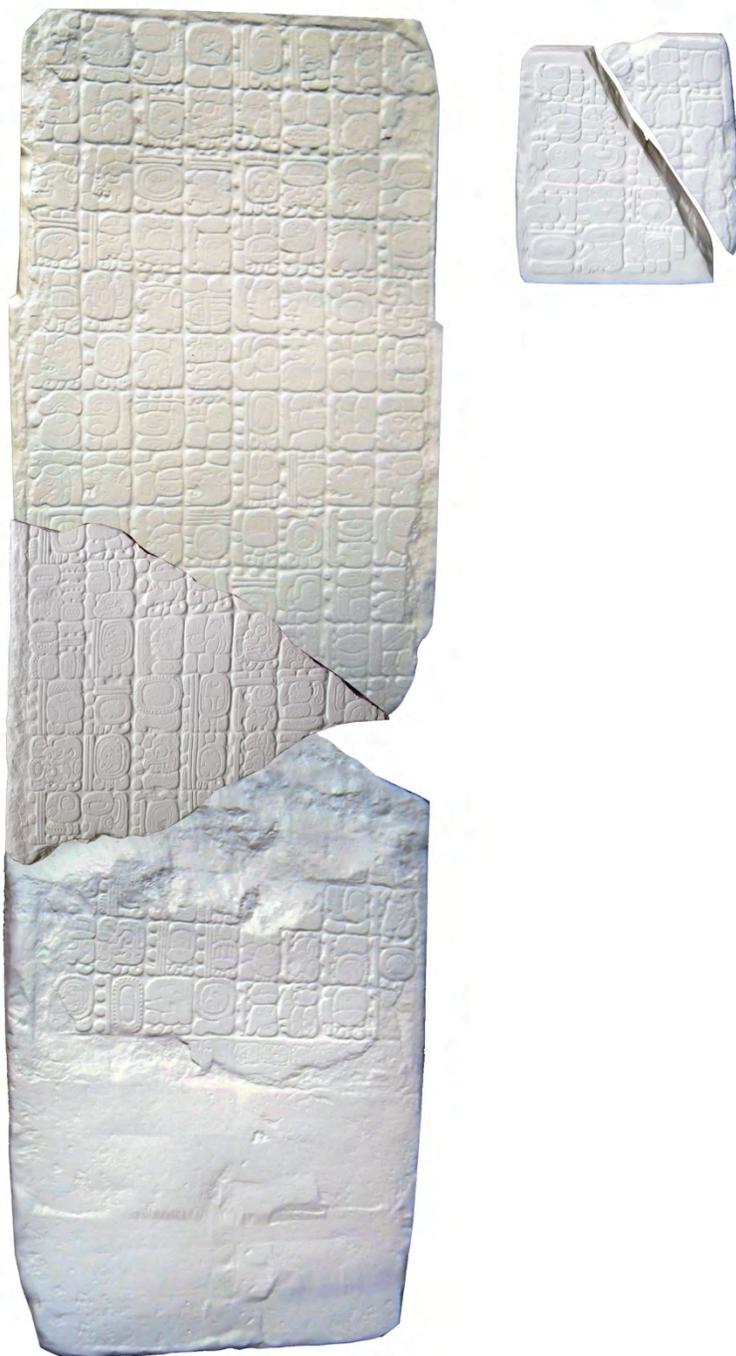


Fragmento B

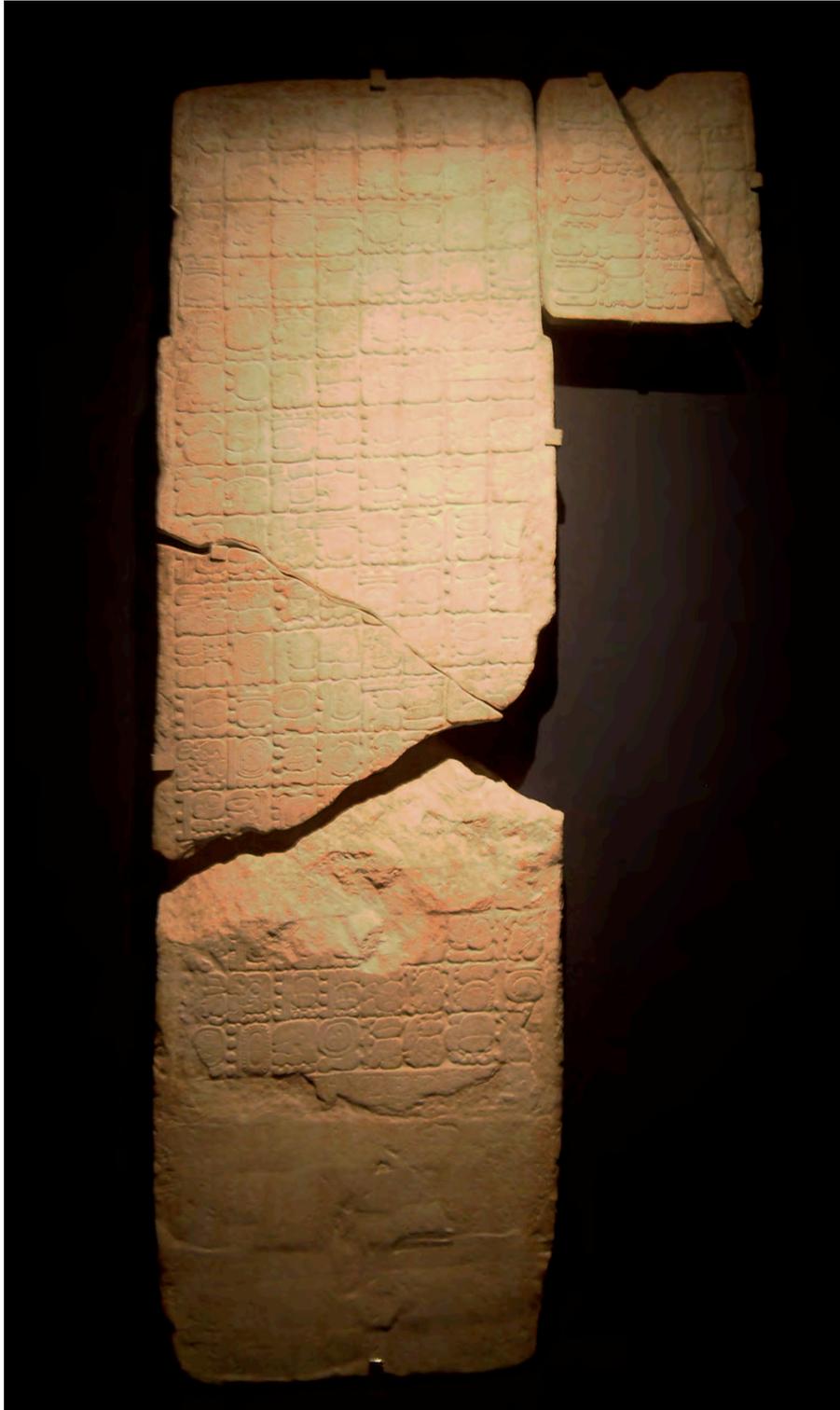


Fragmento E,F y G

Monumento 6 de Tortuguero, réplica armada



Monumento 6 de Tortuguero, réplicas exhibidas



Réplica completa del Monumento 6 de Tortuguero, ubicada en la exposición temporal "*La sociedad y el tiempo maya*" en el Museo Nacional de Antropología, México, D.F.



Réplica completa del Monumento 6 de Tortuguero, pieza ubicada en el Museo Maya de la ciudad de Cancún, Quintana Roo, México



Monumento 6 de Tortuguero, pieza original completada con la adición de fragmento central materializado, ubicada en el Museo Regional de Antropología Carlos Pellicer Cámara, Villahermosa, Tabasco.

## Conclusiones sobre la digitalización y materialización del Monumento 6 de Tortuguero

Dentro del campo de la arqueología, la conservación y la restauración, la documentación de los objetos, los monumentos, y los trabajos e intervenciones llevados a cabo sobre ellos, así como la gestión de esta información, conforman un problema toral. La digitalización, como cualquier otra técnica, constituye una herramienta, un medio que nos permite ser más productivos, más precisos y sobre todo más confiables a la hora de hacer estos registros y obtener información.

Con los métodos tradicionales de toma de datos, la dificultad estaba en la pequeña cantidad de información recabada, lo que dificulta la generación de modelos 3D fieles a la realidad. Con el escáner 3D es posible recabar una gran cantidad de información precisa en un lapso de tiempo muy corto.

Desde el punto de vista de la conservación y la restauración, disponer de información detallada de la pieza puede permitir analizar puntualmente su estado de conservación, permitiendo un dictamen certero y la posibilidad de hacer comparaciones en diferentes momentos en el tiempo para monitorear y registrar cambios. También es posible utilizar el modelo digitalizado como apoyo en el registro y análisis de la evolución de un proceso de intervención.

En este proyecto se generó un modelo virtual que constituye un detallado documento gráfico tridimensional con el cual podemos realizar consultas, tomar medidas, producir otras imágenes o animaciones, realizar cálculos, editarlo, o permitir a investigadores de todo el mundo tener acceso a él para investigación sin que tengan que

desplazarse y sin que la pieza sufra daño alguno, ya que el objeto 3D es una proyección real del monumento físico. Asimismo, se puede modelar y materializar partes perdidas de una pieza, que es lo que se llevó a cabo en este proyecto que presentamos.

La divulgación del Monumento 6 de Tortuguero fue la primera aplicación dada a la información que se recabó. Esto se hizo a través de materializar cada uno de los fragmentos de la pieza escultórica en escala 1:1 por medio del proceso de impresión 3D, con el fin de que puedan ser exhibidas en distintos museos de nuestro país, llegando a más gente y conservando la pieza original sin tener que realizar movimientos que puedan afectarla.

Si bien el procesamiento de estos datos es complejo, las ventajas y la utilidad que de esta metodología se pueden obtener son muchas. Esto dependerá directamente de los recursos con los que se cuenta y del avance de la tecnología de la cual se dispone, pero sobre todo de la creatividad del usuario que valientemente se aventure a sumergirse en este amplio universo del desarrollo tecnológico.

A través de esta experiencia innovamos en el área de conservación del patrimonio ya que es la primera pieza de nuestra cultura prehispánica que se materializa en México con la aplicación de nuevas tecnologías.

La Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural y la Coordinación Nacional de Museos y Exposiciones asumen el reto de poner al Instituto Nacional de Antropología e Historia al nivel mundial en la utilización de nuevas tecnologías para la conservación, investigación y dinamización de nuestro patrimonio cultural.

## Bibliografía Consultada

- ARELLANO, Alfonso. (2006). Tortuguero: Una Historia Rescatada. Instituto de Investigaciones Filológicas. UNAM.
- CUEVAS Reyes, Francisco A. (2007). Recientes investigaciones en El Tortuguero, Tabasco. En Anales de Arqueología 2005. Alejandro Martínez, et. al. (coordinadores). INAH. México.
- GARCIA, Moll, Roberto. (2004). Tabasco. Una visión general. En: México Desconocido, vol. XI, num. 61, bimestral, Editorial Raíces S.A. de C.V. México.
- GONZÁLEZ, Jiménez, E. Lorenzo. (2011). El Tortuguero, Macuspana: Entre piedras y calizas. En: Historiando Tabasco. Artículos históricos. 23/03. México.
- HERNÁNDEZ, Pons, Elsa Cristina. (1984). Investigaciones arqueológicas en el Valle del Río Tulijá, Tabasco-Chiapas. Instituto de Investigaciones Filológicas. Centro de Estudios Mayas. UNAM. México.
- LEÓN, Portilla, Miguel. (1986). Tiempo y realidad en el pensamiento maya, UNAM, México.
- MILLER, Mary E. (1999). Maya Art and Architecture. London and New York. Thames & Hudson. .
- MORLET, Sylvanus G. (1961). La civilización Maya. 4ta edición en español. Fondo de Cultura Economica, México.
- OLMEDO, Vera, Bertina. (1999). The Mayas of the Classic Period. En A. Arellano Hernández et al. The Mayas of the Classic Period. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA).
- RUZ L'huillier, Alberto. (1974). La civilización de los antiguos Mayas. 2da Edición Cubana. Editorial de Ciencias Sociales. La Habana. Cuba.
- SOL, Felipe. (2004). Los Mayas de Tabasco. México Desconocido, vol. XI, num. 61, bimestral, Editorial Raíces S.A. de C.V. México.
- SOUSTELLE, Jacques. (2003). Los mayas, FCE, México.
- THOMPSON, J. Eric. (1975). Historia y religión de los mayas, Siglo XXI, México, 1ª. en inglés, 1970.
- VARGAS, Pérez, Pedro. (2003). El misterio maya. InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, vol. V, núm. 8, semestral semestral, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- TOKOVININE, Alexandre. (2013). 3D Image Report, Corpus of Maya Hieroglyphic Inscriptions, Project of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology.

## Créditos

Por parte del INAH:

Embajador Alfonso de Maria y Campos

Director General del Instituto Nacional de Antropología e Historia

Lic. Arturo Cortés Hernández

Coordinador Nacional de Museos y Exposiciones

Lic. Lilia Rivero Weber

Coordinadora Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural

Lic. Liliana Olvera Flores

Directora de Educación Social para la Conservación

Lic. Claudia Alejandra Sánchez Gándara

Restaurador perito de la Coordinación Nacional de

Conservación del Patrimonio Cultural

Arqlga. Rebeca Perales Vela

Directora del Muso Regional de Antropología

Carlos Pellicer Cámara

Por parte de CAV Diseño e Ingeniería S.A. de C.V.:

Ing. Ramón Velázquez Cabrera

Director General

Lic. Efrén López Leonor

Líder de proyecto Escáner Láser 3D

D.C.G. José Arturo Soto Nájera

Análisis tridimensional y elaboración de memoria técnica

Ing. Aeronáutico Mario Martínez

Ingeniería de proyecto

Ing. Aeronáutico Antonio Cruz

Ingeniería de proyecto

Arq. Raquel S. Flores Mancilla

Apoyo para la revisión de contenidos

D.G. Silvia Olvera Pardavé

Apoyo gráfico

## Personal encargado de la digitalización

1. Lic.. Efrén López Leonor
2. D. G. Arturo Soto Nájera
3. M. en Arq. José Luis Reyes Martínez
4. Ing. Aeronáutico Mario Martínez
5. Ing. Aeronáutico Antonio Cruz