

# Modelaje digital tridimensional y visualización computada de la arquitectura maya antigua

*Erwin Heine*  
*Universidad Técnica de Graz*  
*Austria*

*Traducción del inglés de Carol Miller*

## **Abstracto:**

Esta ponencia describe un método múltiple para un levantamiento de precisión, a más del modelaje tridimensional por computadora de una estructura parcialmente derrumbada. Ambas técnicas se integran a la aplicación del *software* para el dibujo animado, para fines de su presentación y reconstrucción.

Tanto para el registro como para la presentación digital del sitio, el *objeto*—es decir, la extraordinaria estructura en cuestión— aún no reconstruida, ni totalmente consolidada, y pese a su condición dispareja y deteriorada, forzosamente requería de una rigurosa medición; de hecho varias partes, en estado avanzado de colapso, no permitían la definición geométrica exacta que se hubiese deseado.

El proyecto, *in situ*, fue sujeto a guías de control, y por medio de un “libro digital de campo”.

Para fines de la presentación tridimensional se empleó un sistema CAD convencional, ajustado en función de *auto-programas*.

Finalmente, la aplicación de los programas para el dibujo animado, sobre el modelo tridimensional sólido, permite que el científico (arquitecto, arqueólogo) pueda aislar el detalle deseado, para estudiar o analizar las partes relevantes de la estructura, para sus propios fines.

## **I. Introducción:**

Para una investigación seria de la cultura maya se parte necesariamente de un análisis de su arquitectura. Las descripciones generales ya existen. Ahora buscamos, en la aplicación de nuevas técnicas y sistemas, una geometría exhaustiva que penetra cada estructura, logrando así el registro y la documentación no sólo más completos, sino infinitamente más exactos. Con eso no inferimos la inversión de grandes sumas de dinero ni tampoco la adquisición de un equipo elaborado. Únicamente requiere de la colaboración de especialistas, dentro de ciertas disciplinas, con el fin común de avanzar los estudios y el conocimiento de la cultura maya. Estos estudios se iniciaron siglos antes, por John Lloyd Stephens y Federico Catherwood, en sus viajes audaces y asombrosos en esta zona; por Augusto Le Plon-

geon y Alicia su mujer; por el gran explorador-fotógrafo Teoberto Maler; por Morley, Ruppert y Stamps, por Gen-drop, Jorge Andrews, Hohlmann-Vogrin, y otros.

Nombres legendarios en la exploración e investigación. Pero desconocían por completo la contaminación ambiental y el impacto brutal de la vegetación tropical sobre ejemplos existentes de la arquitectura maya prehispánica, ahora en grave peligro de extinción absoluta. La deforestación de vastas áreas de la selva, asentamientos humanos en zonas de frágil ecología, plantas hidroeléctricas y la construcción de carreteras, no sólo ponen en peligro la vegetación o los restos arqueológicos, sino la misma supervivencia humana que pretenden acomodar.

Es, por lo tanto, imperioso el registro geodésico, para la documentación de un acervo arquitectónico, y así garantizar la mejor base para estudios posteriores, no sólo realizados por investigadores de hoy sino también en aras de los del futuro.

Las presentaciones hasta la fecha se han recargado en los dibujos por secciones —vistas axonométricas o perspectivas análogas— siempre bidimensionales. Ahora existe, sin embargo, el potencial para no sólo dibujos aislados sino de hecho, un proyecto completo, apoyado con la asistencia de las computadoras, siempre y cuando aquellas se alimenten de un material responsable, de una minuciosidad profesional.

El primer paso hacia esta meta aconteció en el sitio maya de Santa Rosa Xtampak, en el estado mexicano de Campeche, ubicado justamente entre las zonas que abarcan, respectivamente, la arquitectura del Puuc (norte del estado, noroeste de la península de Yucatán) y de los Chenes (centro del estado, centro-oeste de la península). Ahí se inició la primera fase de las mediciones geodésicas durante el verano del año 1989.

La segunda fase aconteció durante el otoño de 1992, al abarcar planos más completos y detallados, de más de cuarenta cámaras, cuartos interiores y crujías, dentro de los elementos arquitectónicos; se lograron de las grabaciones (registros) que pretendían producir, por vez primera en la historia de las investigaciones mayas, un “modelo arquitectónico” digital, tridimensional, de una estructura seleccionada dentro del género.

El gran sitio de Santa Rosa Xtampak, ahora de difícil acceso, en su tiempo correspondía al Clásico Tardío (700-800 d. C.). Varios edificios se pueden considerar en buen estado de conservación, pero ninguno a tal grado como el palacio imponente, en el centro del actual sitio arqueológico: estructura de tres pisos que consiste precisamente en 44 cuartos interiores y dos escaleras casi simétricas. No obstante, el impacto del clima ha dañado la fachada del palacio, haciendo borrosa la línea, decoración y adorno.

## II. Grabación de datos geodésicos y fotogramétricos:

Desde 1841, cuando Stephens y Catherwood llegaron por vez primera a Santa Rosa Xtampak, varios equipos de investigadores han penetrado la selva en esta zona, pero ninguno ha reunido un caudal de datos de una gran precisión científica constatable.

Fue hasta 1989 que se lograron los registros (grabaciones) y presentaciones exactas, por medio de CAD. Y, basadas en ese antecedente, se diseñaron las listas de verificación, en colaboración con el “*Inter-disziplinäre Arbeitsgruppe Mayaforschung*”, durante el verano de 1992 para garantizar la certeza y amplitud de los registros.

¿Por qué amplitud? Porque así se respetan las características de estilo y los elementos de idiosincracia arquitectónica en las estructuras y así, además, se proyecta la geometría inherente en el “objeto”: el edificio en cuestión. Quien pudiera realizar los registros requería de experiencia, a más de gran conocimiento de las abstracciones geométricas, al igual que las construcciones convencionales, normalmente obtenidas por medio de los sistemas CAD-tridimensionales.

*II/1: Las grabaciones geodésicas de los puntos individuales, por medio del registro automático de los datos.*

Las listas de verificación se requerían para este proceso; y se armaron de acuerdo con las grabaciones. Consisten en los siguientes renglones:

— Nombre o número respectivo del edificio,

- Parte de la estructura arquitectónica a ser registrada, junto con su
  - °Código temático y
  - °Números de los puntos indicados.

Esta información adicional permite la clara definición de los puntos, a más de los elementos arquitectónicos registrados, que a su vez permiten el almacenaje individual de las estructuras, al igual que los varios elementos, dentro de las capas temáticas discernibles.

De acuerdo a este método, cada cuarto interior del palacio se ha podido registrar por medio de núcleos tridimensionales, almacenados en forma digital. Debido al carácter complejo del material, el uso eficaz de las estaciones globales, con el registro automático de los datos, reside en la precisión absoluta, por lo tanto, la participación de un operador con amplia experiencia.

#### II/2: *Computaciones fotogramétricas de los datos-material:*

Por lo general, el diseño de las fachadas y decoraciones de estructuras mayas se facciona notablemente, con lo cual se vuelven los conjuntos fuentes valiosas para la información que precisamente aporta a su análisis arquitectónico. Con el fin de lograr un registro eficiente, además completo, de toda la información disponible, los elementos se plasman por medio de grabaciones fotogramétricas.

Las fotos se tomaron con una cámara Rolleiflex 6006, con lente de 50 mm; resultó la mejor opción por su ligereza y gran maniobrabilidad, bajo las difíciles, frecuentemente incómodas, circunstancias de la selva, además de que en 1989 nos tocó durante la temporada de lluvias.

Tuvimos que adaptarnos a la densa vegetación también por razones de los detalles arquitectónicos de la fachada, ofuscados por árboles y arbustos, con sus sombras correspondientes. Optamos por grabar modelos, aislando las partes o decoraciones más interesantes, por medio de los núcleos de “puntos de control” (puntos de fuga). Con eso pudimos registrar ciertos detalles a través del análisis fotogramétrico, empleando los modelos para ahorrar tiempo, y facilitar la orientación. En total se realizaron 33 estereo-

modelos para la orientación y registro deseados, con una precisión de más/menos 1.5 cms, implícitos en los puntos de control.

Datos obtenidos por medio de un Zeiss P3 “Estación Fotogramétrica”, y el paquete gráfico PHOCUS, se repartieron en dos áreas. Primero, los elementos bien definidos se analizaron en función de los perfiles precisos, bordes y límites. Después, las partes amorfas del edificio se manejaron por medio de *líneas de contorno*. Lo ideal es un mismo operador para todos los procesos, para confiar en la síntesis de su criterio.

#### III: **Procesado digital de los modelos tridimensionales:**

##### *Hardware y Software:*

El producto de esta investigación tenía que hacerse disponible a los interesados en varios campos de actividad. Un sistema CAD, basado en PC, resultó esencial como mediador del proyecto. El sistema también tenía que abrirse a la programación de *macros* para permitir un amplio, quizá ilimitado número de capas temáticas. Lo último se convierte en una condición fundamental para sobrelapar la información, para que aparezca antes o después de la capa tónica esencial. Con ese fin el procesado se ejecutó con un PC comercial, Modelo No. 486, equipado con AutoCAD, como un denominador común universal.

##### *Entrefaces:*

Data-material de los puntos registrados taquimétrica-mente, y los vectores fotogramétricos, fueron transferidos por medio de programas de auto-transformaciones, que definen los elementos arquitectónicos respectivos según sus capas o detalles descriptivos. Además convierten la información punto/vector en datos de intercambio compatibles al AutoCAD por medio del formato DXF.

##### *Modelo de alambre:*

Construcciones que incluyen los elementos de superficie se hacen posibles con el respaldo del AutoCAD. Pero una vez definidos estos elementos de superficie, ya no se pueden alterar. En el caso tónico, varias alteraciones del modelo se permitían por medio de los implementos CAD, por ejemplo

para “extender” o “rebajar”. Por consiguiente, el primer paso se reducía al modelo de alambre. Su construcción se apoyaba y se realizaba por medio de los programas *macro especiales*, descritos por LISP en el léxico de las computadoras. Con eso se facilitaba el trabajo rutinario recurrente, por ejemplo, la transformación automática del objeto en el nivel constructivo, relevante para la fase siguiente, además de la conversión automática de un nivel temático en otro; o la coordinación del proceso constructivo en sí.

A cambio de la construcción de los cuartos interiores, el modelaje de la fachada, con su diseño notablemente faccionado, se volvió difícil y tardado. Un gran número de detalles condujo a las intersecciones espaciales, no apoyados por CAD. Por lo tanto, las construcciones de las intersecciones requería de múltiples y exhaustivos pasos aislados.

La realización de modelos de alambre tridimensionales requiere de gran percepción espacial y un profundo conocimiento de la geometría descriptiva. Por lo tanto, el operador, a más de dominar los procesos, tiene que conocer personalmente el sitio y el objeto en cuestión.

Algunos detalles arquitectónicos se tuvieron que omitir en el modelo de alambre —aperturas en las bóvedas, por ejemplo—, por la difícil construcción de la intersección de cilindros con los planos acomodados en los escalones inclinados.

Al término de la construcción de los muros verticales se trabajaron las *lineas de contorno*, que resultaron del proceso fotogramétrico, describiendo las partes amorfas, que se introdujeron al final.

#### *Modelo sólido:*

Para poder producir secciones horizontales o verticales, a más de las vistas axonométricas o perspectivas, el modelo de alambre tenía que convertirse en un modelo sólido. Se logró por medio de planos insertados dentro del modelo de alambre, quedando por último el modelo totalmente cubierto por planos triangulares. Todos estos elementos que conforman el modelo se conjuntan entre muros frontales, techos, pisos, etcétera y se registran nuevamente como capas temáticas individuales.

#### **IV: Presentación gráfica:**

El modelo sólido integral representa por tanto un banco de datos en forma gráfica; todas las presentaciones requeridas se le derivan. La subdivisión en capas temáticas diferentes permite la selección conveniente de los elementos arquitectónicos deseados. Aparte de cualquier tipo de dibujo seccional, se puede obtener también las presentaciones axonométricas y perspectivas. El uso del *algoritmo* “línea oculta” aumenta la claridad y la lucidez de las presentaciones.

Para procesar dibujos por secciones, el programa “Estudio Tridimensional” se emplea, logrando modelajes y los dibujos animados tridimensionales. Entre otras consideraciones, eso permite el procesado adicional de los objetos sólidos, computados en AutoCAD. El paquete contiene implícitamente un número amplio de posibilidades, para los cuales se optaron por dos “implementos”, para fines de este proyecto:

- 1) Combinación, intersección y diferenciación dentro de dos objetos sólidos: Con eso se abrió la posibilidad de producir intersecciones y combinaciones de superficies de muros, a más de los detalles arquitectónicos, por ejemplo los agujeros en las bóvedas. Además, dibujos seccionales de cualquier índole, según la necesidad, se pueden lograr con mayor facilidad.
- 2) Se pueden lograr presentaciones realistas del edificio por el solo hecho de seleccionar el material plano apropiado, acomodado según las fuentes de luz, etcétera.

#### **Resumen:**

Ya terminado el proyecto, se vuelve evidente la importancia de la buena calidad de las grabaciones geodésicas-fotogramétricas, en especial en vista de un cómputo eficiente, todo en aras de un “modelo arquitectónico” digital tridimensional. Un modelo sólido eficaz sólo se puede producir, rápida y fácilmente, si los resultados de las grabaciones de los datos acaban siendo completos y bien definidos.

Las ventajas del modelo digital son varias:

- Planos, en cualquier campo de investigaciones, se pueden computar en escala invariable, homogéneos y completos, en forma adecuada;
- Las presentaciones axonométricas y perspectivas, las cuales hacen más comprensibles las relaciones espaciales y estructurales complejas, se vuelven directamente accesibles;
- Data-material se puede fácilmente suplementar y reconstruir, debido al almacenaje digital;
- Los dibujos animados y los programas de simulación conducen a presentaciones altamente realistas de sus objetos;
- El “modelo arquitectónico” gráfico tridimensional es, al mismo tiempo, un banco de datos multifuncional y base para presentaciones que aportan a la investigación adicional, tanto arqueológica como histórica-cultural.

Desde este punto de vista el proyecto ya finalizado *Santa Rosa Xtampak* opera como un estudio ejemplar exitoso.

### Colofón:

El proyecto *Santa Rosa Xtampak* se hizo posible gracias a los fondos aportados por el “Fonds zur förderung der wissenschaftlichen forschung”, de Viena, Austria.

Apoyo invaluable aportado por las siguientes personas o instituciones:

- Dr. Dipl. Ing. Hasso Hohmann, Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Mayaforschung, Graz, Austria.
- Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), México.
- Dr. Guillermo Folan, Universidad Autónoma del Sudeste, Campeche, México.
- Instituto para la Geodesia y Fotogrametría Aplicados, Universidad Técnica Graz, Austria.

# Quinto Foro de Arqueología de Chiapas

*Serie Memorias*



---

Gobierno del Estado de Chiapas  
Universidad de Ciencias y Artes del Estado de Chiapas  
Centro de Estudios Superiores de México y Centroamérica

# QUINTO FORO DE ARQUEOLOGIA DE CHIAPAS

Las etnias autóctonas de Chiapas y sus alrededores durante las épocas protohistórica e histórica

“Homenaje al Mtro. Eduardo J. Albores”

14 al 18 de noviembre, 1994,  
Centro Cultural Ex convento de Santo Domingo,  
Chiapa de Corzo, Chiapas.

Primera Edición 1996  
ISBN 970-634-025-4

Derechos Reservados

- © Gobierno del Estado de Chiapas
- © Universidad de Ciencias y Artes del Estado de Chiapas

Portada: Iglesia de Escuintenango

Fotografía: Thomas A. Lee Whiting  
Coordinación de la Edición: Dirección de Comunicación  
y Difusión Científica

Impreso en:  
Talleres Gráficos del Estado  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México  
1996 Año de la Paz y Reconciliación en Chiapas



# Indice General

## CONTENIDO

<b>I.- INTRODUCCION</b>	
1.- Introducción al V Foro de Arqueología del Estado de Chiapas Thomas A. Lee Whiting	11
<b>II.- PERIODO PROTOHISTORICO</b>	
1.- El Postclásico en la Península de Yucatán: ¡Problemas, problemas y más problemas! Sophia Pincemin Deliberos	17
2.- El Postclásico Temprano en Tenam Puente Gabriel Lalo Jacinto y María de la Luz Aguilar	23
3.- El juego de pelota del sitio, Lagartero, Chiapas Sonia E. Rivero Torres	39
4.- Patrones domésticos del Período Postclásico Tardío de la cuenca superior del río Grijalva Thomas A. Lee Whiting y Douglas Donne Bryant	53
5.- Proyecto Hun Chavin: primera temporada, 1994 Akira Kaneko	69
<b>III.- PERIODO COLONIAL</b>	
1.- Una leyenda sobre dos ciudades: Ah Kin Pech y San Francisco de Campeche Edmundo López de la Rosa y Lorraine A. Williams-Beck	85
2.- Perfil político "campechano" durante el período Clásico Lorraine A. Williams-Beck	103
3.- Excavaciones recientes en el sitio Cimientos de Las Margaritas, Chiapas Carlos Alvarez A., Lynne S. Lowe y Tomás Pérez S.	129
4.- Arqueología y etnohistoria del Soconusco Postclásico y Colonial Janine Gasco	143



5.-	Notas sobre el derecho entre los zoques en la Colonia Dolores Aramoni Calderón	149
6.-	Arquitectura colonial en Comitán Marirrós Bonifaz	153
7.-	El ex convento de Santo Domingo de Guzmán, Chiapa de Corzo Alvaro de la Cruz López Bravo	157
8.-	Sincretismo coxóh: resistencia maya colonial en la cuenca superior del río Grijalva Thomas A. Lee Whiting	175
9.-	Modelaje digital tridimensional y visualización computada de la arquitectura maya antigua. Erwin Heine	191
<b>IV.-</b>	<b>RELATORIA</b>	
1.-	Relatoría general Sophia Pincemin Deliberos.	199
<b>V.-</b>	<b>APENDICES</b>	
1.-	Introducción al IV Foro de Arqueología del Estado de Chiapas Thomas A. Lee Whiting	203
2.-	El diálogo del documento con el monumento Andrés Aubry	207
3.-	El templo de Teopisca: respuesta barroca a la resistencia maya, crónica de una restauración Andrés Aubry	215
4.-	El patrón de asentamiento del Clásico Tardío en la cuenca superior del río Grijalva. Comentarios en la presentación del libro <i>Patrón de asentamiento rural en la región de San Gregorio, Chiapas, para el Clásico Tardío</i> por Sonia Rivero Torres. INAH, SEP. México, D.F. Thomas A. Lee Whiting	229
5.-	Santo Ton, una fortaleza del Postclásico Temprano Victor Manuel Esponda Jimeno	233

# Quinto Foro de Arqueología de Chiapas



*Serie Memorias*