

**ESCÁNER LASER Y EL SISTEMA DE CONTROL NUMÉRICO EN
LA IMPRESIÓN 3D APLICADO A LA RESTAURACIÓN
ARQUITECTÓNICA.**

EL CASTILLO DE VÉLEZ BLANCO DE ALMERÍA



Silvia Bermúdez Rico

INDICE.

Presentación	3
Introducción	4
El castillo de Los Vélez	5
El patio de honor	8
Su recuperación	11
Metodología	12
- Escaneado laser 3D	12
- Sistema de control numérico computarizado	16
Bibliografía	21

PRESENTACIÓN.

El desarrollo de esta memoria recoge la investigación realizada en tecnología digital aplicada en el campo de la restauración y conservación de bienes muebles e inmuebles. Centrándose en el escáner laser 3D y su aplicación en sistemas de control numérico, para una mejor comprensión en la aplicación de estas nuevas tecnologías, esta investigación se ha centrado en los trabajos realizados en el Castillo de Vélez Rubio en la provincia de Almería.

INTRODUCCIÓN.

Pensar en técnicas digitales aplicadas al campo de la restauración para muchos puede resultar difícil de entender considerando que la imagen actual de un restaurador aun sigue siendo un profesional que no va más allá del uso de bisturí, hisopos impregnados en disolventes y una brocha para eliminar el polvo acumulado.

Pero lo cierto es que esta imagen ha evolucionado, está evolucionando y gracias a la aplicación de nuevas técnicas digitalizadas, casos como lo ocurrido en el Castillo de Los Vélez en la provincia de Almería puede de alguna forma ser recuperados.

Pero antes de hablar de las técnicas de digitalización aplicadas que ha hecho posible, la recuperación de un patrimonio perdido, es necesario conocer las atrocidades cometidas en una de las joyas más importante del Renacimiento castellano.

Quien sabe, puede que algún día algunos de nosotros como futuros restauradores, seamos participe de su completa recuperación o participar en proyectos para una mejora en su estado de conservación.

EL CASTILLO DE LOS VÉLEZ.

Mandado construir por D. Pedro Fajardo, primer Marqués de Los Vélez, en 1.505, su construcción fue realizada en nuestro país por artistas italianos. Se atribuye a Francisco Florentín, con la colaboración de Martín Milanés entre otros.

El alcázar, que llaman el castillo, tiene una planta de figura hexagonal irregular y se asienta sobre una roca gris a 1.150 metros de altitud. Dispone cierta elegancia, es una casa fuerte con puente levadizo, altos muros, muchas torres coronadas de almenas, todo realizado con piedra franca, construido sobre una roca, que la tallaron en puntas graciosas introducidas en las paredes. Las habitaciones son alegres, con bellos miradores y grandes salas. No se conserva pintura alguna, pero todavía se ven relieves alusivos a las batallas y victorias de los Fajardos, adelantados del reino de Murcia, contra los moros, y por ellos llaman a una de las grandes salas la del Triunfo.

Tras quinientos años, se levanta airoso, dominando una espléndida vista y orgullosa de ser el símbolo arquitectónico más representativo de la provincia de Almería.

Abandonado por sus dueños este edificio comienza a presentar un estado de dejadez y deterioro que pudo ser paralizado, pero lo cierto es que el principio del fin de esta joya renacentista será en la primera década del siglo XX.

Entre 1903 y 1904 se vendieron los artesonados de las salas nobles, dos puertas de bronce, la decoración renacentista en mármol del patio de honor, el escudo de la torre del homenaje, etc. Este despojos acelera el proceso de destrucción de la edición, provocaron la reacción de algunos eruditos locales y, sin lugar a dudas, fueron uno de los incentivos para la transformación de la normativa nacional sobre patrimonio. Podríamos apuntar este momento como origen, aunque no exclusivo, de las sucesivas intervenciones llevadas a cabo en él para salvar todo cuanto se pudo.

Pero si en todas estas atrocidades existe una, que aun sigue doliendo a su pueblo fue el desmontaje de los mármoles del patio, donde se concentraba el mayor interés histórico-artístico del alcázar. Las piezas más valiosas, vendidas al mejor postor, conocerían diversas vicisitudes en tierras extrañas. Aunque desperdigadas, la mayor parte de ellas se localizan en aceptable estado de conservación.

A pesar de la protesta de algunos intelectuales (Motos, Palanques, Rubio de la Serna o el lorquino Espín Rael), se mantuvo una actitud pasiva que, más tarde, se convertiría en un eterno e inútil lamento por tan irreparable pérdida.

Su adquisición por la Junta de Andalucía, despejó dos incógnitas que se cernían sobre tan excepcional edificio: el proyecto de restauración y decoración final y los usos compatibles con su conservación.





EL PATIO DE HONOR.

El Patio de Honor es una majestuosa obra en mármol blanco de Macael de 16m x 13,50 m. Una joya escultórica del arte del Renacimiento italiano, dada la procedencia de sus artífices. En el Diccionario de Arte de Salvador de Miñano lo describen de la siguiente forma:

“(...) según se lee en una inscripción que hay en el hermoso patio, el que adorna una maníaca galería construida de piedra de mármol de las canteras de Macael, cuya blancura y brillo compite con el de Génova y Paros. Se compone de 10 columnas que tendrán unos 10 palmos de altura con los capiteles y basas, y de una balaustrada que da vuelta a los dos lados que miran al oeste y norte del patio; esta galería por este lado está sostenida por cinco columnas de la misma piedra que tiene dos palmos de diámetro; sus cañas, perfectamente cilíndricas, tiene 12 palmos sin contar otros tres y medio que tendrán los capiteles y basa, estriban en ellas cuatro arcos primorosamente trabajados y llenos de bajos relieves, como también lo están los adornos que tienen seis ventanas y dos puertas y la escalera principal, que también es de la misma piedra. No hay persona medianamente instruida que deje de admirarse al ver la delicadeza del cincel y gusto del artice cuyo nombre se ignora. El orden a que corresponden las columnas y adornos no puede fijarse, porque, aunque no tiene la irregularidad del gusto Árabe, se resiente aún de él en la formación de los capiteles, que todos son diferentes, aunque se asemejan mucho a los del orden corintio. (...)

(Diccionario de... S. Miñano, año 1828, t. IX, p. 278-279).

Una belleza vendida prácticamente por dos reales a un anticuario de apellido Goldberg. Este junto con la ayuda de unos operarios locales desmontó piedra a piedra los sillares, lajas y filigranas en mármol de Macael que decoraban el patio principal del monumento palaciego. Embarcó las piezas en Almería y las hizo llevar a Marsella y de allí a París donde trató de venderlas al mejor postor. Apenas un puñado de cronistas almerienses alzó la voz en contra de aquel desvalijo.

En París, Goldberg hizo el negocio del siglo al vender el patio al plutócrata norteamericano George Blumenthal. El financiero neoyorquino adquirió las piezas para decorar

el salón principal de su palacete en Park Avenue. Pudo ser peor. Y es que Blumenthal murió sin descendencia y decidió donar su patio y sus obras de arte al Metropolitan de New York donde hoy podemos contemplarlo, muy lejos de donde fueron proyectadas, en un salón contiguo donde se exponen otras piezas del renacimiento italiano.

De todos es conocido que su disposición en Nueva York no coincide exactamente con el aspecto original que presentaba en su castillo. Para adaptarlo al espacio del Museo hubo que realizar algunas modificaciones, en especial:

“...el cuadrilátero, ligeramente irregular, ha sido transformado en un rectángulo perfecto y los elementos arquitectónicos de los dos lados más largos se ha intercambiado para que las tres series de ventanas pudieran instalarse en la pared lisa donde terminaba la parte antigua del Museo. Por razones semejantes se cambió la orientación de la escalera y una puerta pasó del segundo piso al primero. En el lado donde estaba la torre (del homenaje) ahora aparecen en la planta principal una portada italiana, y en la segunda, una puerta, que vino también de Vélez Blanco, y adosado a ella, un balcón también italiano la adición de una hilada de sillares de Mármol entre los dos pisos para darle mayor espesor y resistencia a los suelos requeridos en un museo, en lugar de los suelos y cubierta de madera que había en el castillo...”





SU RECUPERACIÓN.

En el año 2005, la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía adquiere el castillo e inicia una serie de acciones destinadas a la conservación del edificio para su apertura al público, incluyéndolo en el Programa de la Red de Espacios Culturales de Andalucía (RECA) como un enclave plenamente integrado dentro de la extensa trama territorial de la citada red. Otro reto, sería la recuperación del patio del Castillo, que fue vendido hace 105 años, devolviéndolo a su ubicación original.

Reto que no obtuvo el resultado esperado tras años de lucha administrativa. La siguiente actuación promovida por la Consejería de Cultura ha sido la recuperación fidedigna, mediante un acuerdo con el Museo Metropolitano de Nueva York, de la morfología del patio gracias a un procedimiento tecnológico avanzado que ha permitido digitalizar con un escáner y representar todos los detalles de las basas, columnas, capiteles, arcos, frisos, cornisas y gárgolas. Esta información permite disponer de una recreación virtual del patio para su uso en la restauración, investigación, reproducción y difusión de esta obra maestra.

Los avances tecnológicos permitieron un trabajo con la máxima fidelidad, meticuloso y exacto. Labor realizada por la empresa Delta CAD en una tecnología de última generación en el Museo Metropolitano de Nueva York, permitió la reproducción exacta del patio «sin necesidad de tocar ni realizar marca alguna sobre los originales».

El objetivo final de este meticuloso trabajo es, que el resultado del modelo en 3D sea reproducido en mármol blanco de Macael con avanzadas máquinas de control numérico, cada una de las diferentes piezas que componen la joya del castillo. De esta forma se conseguirá una copia exacta de la obra maestra con la intención de colocarla en su ubicación original, devolviendo a su alcazaba una lectura perdida entre sus muros.

METODOLOGÍA.

EL ESCANEADO LASER 3D.

La aplicación del escáner laser aplicado al modelado en 3D ha sido una herramienta innovadora en el campo arquitectónico patrimonial. Utilizan una tecnología LIDAR un sistema

de operación similar a un radar o sodar, pero que usa una emisión laser para escanear los elementos a analizar.

Su funcionamiento descrito de una forma sencilla es, que el escáner envía un haz de luz laser hacia el destino deseado y al impactar sobre el objeto rebota de nuevo hacia el aparato, el cual mide por una foto detector la señal recibida.

Esta señal permite medir entre otros factores, el tiempo de viaje del laser desde el escáner hasta el objeto y su vuelta a tras, permitiendo la localización del impacto en un espacio tridimensional, perfectamente localizado en relación al punto de vista del aparato.

Aunque hoy en día existen muchos modelos los escáner laser 3D más apropiados para la reproducción arquitectónica son CYRAX 2500 Y RIEGL Z420I, existe otro que se utilizara para trabajos de máxima precisión que es Minolta, la diferencia es la precisión recogida a una distancia determinada.

CYRAX 2500 Y RIEGL Z420I: trabajan con una precisión de 1mm y 5 cm entre 3 y 750 metros de distancia.

MINOLTA: trabaja a una precisión de 0.1 mm en 1metro de distancia.

Generalmente, la función principal de este tipo de escáner es el de crear una nube de puntos a partir de muestras geométricas en la superficie del objeto. Estos puntos se pueden usar entonces para extrapolar la forma del objeto (un proceso llamado reconstrucción). Si la información de color se incluye en cada uno de los puntos, entonces los colores en la superficie del objeto se pueden determinar también.

Hablamos de aparatos que tienen un campo de visión en forma de cono, reúnen información acerca de la geometría del objeto, y el modelo obtenido describe la posición en el espacio tridimensional de cada punto analizado.

Para la mayoría de las situaciones, un solo escaneo no producirá un modelo completo del objeto. Generalmente se requieren múltiples tomas, incluso centenares, desde muchas direcciones diferentes para obtener información de todos los lados del objeto. Estos escaneos tienen que ser integrados en un sistema común de referencia mediante, un proceso que se

llama generalmente alineación, y que transforma las coordenadas locales de cada toma en coordenadas generales del modelo.

La información recogida será una imagen en 3D un registro o archivo que hoy en día es importante desde diversos puntos de vista; los registros de los monumentos son fundamentales para su reconstrucción o cualquier proceso de restauración y son cruciales para los estudios históricos e investigaciones de carácter arqueológico [Carbonell 1989].

VISUALIZACIÓN DE UN ESCANEADO LASER 3D.

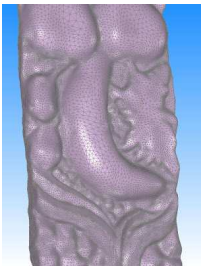


Escaneo en varias tomas para obtener un mínimo de zonas oscuras, obteniendo la nube de puntos del modelo original.



Se crea una malla formada por numerosos triángulos que se adaptan perfectamente a la superficie real (modelo digital).

Se limpia la malla de ruido y se sanea topología.



Se realizan toma fotográfica para obtener imágenes digitales verdaderas que permitan dotar al modelo de nitidez y realismo al aplicar la textura a la malla creada.



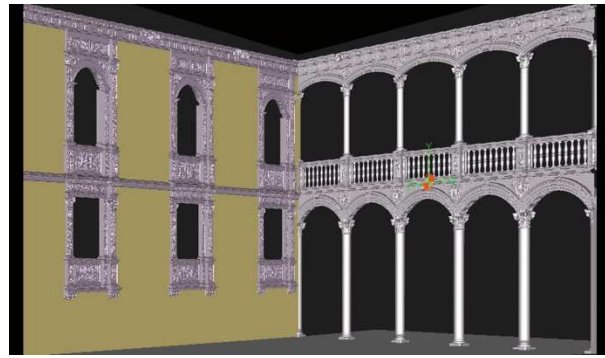
Texturización del modelo. Aplicamos las fotografías corregidas. Permite localizar puntualmente las variaciones y cambios de color del modelo original aplicado sobre el modelo digital.

Se exporta al formato o soporte digital indicado por el cliente o interesado.

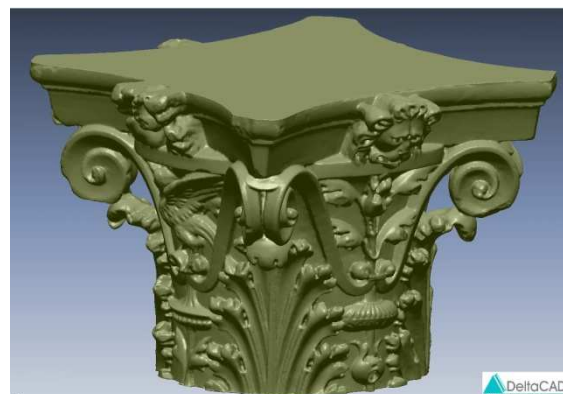
El modelo digital obtenido estará listo para, archivar, estudiar o difundir.

PROCESO DE ESCANEADO 3D DEL PATIO DE LOS VELEZ.

Aquí observamos como un técnico escanea una parte de uno de los ventanales del patio. Como se puede apreciar el escáner, es un instrumento ligero de fácil movilidad.



La imagen de la izquierda muestra el patio expuesto en el Museo Metropolitano de New York mientras que la imagen de la derecha muestra la visualización digitalizada tras su escaneado.



Gárgola y capitel pertenecientes al patio de honor, también tras su proceso de escaneado

SISTEMA DE CONTROL NUMÉRICO.

El control numérico ha dado a la industria, nuevos y mayores controles en el diseño y

Fabricación de productos. Hoy, muchos miles de máquinas de control numérico se usan en talleres grandes y pequeños de maquinado. En estos talleres, las máquinas CNC se pueden usar para controlar un taladro sencillo, para fresar una pieza demasiado compleja para maquinar y que por métodos convencionales resultaría demasiado cara hacerla, etc.

Las máquinas de control numérico están disponibles actualmente en una gran variedad de tipos y medidas, como son: impresoras 3D, tornos, fresadoras, centros de maquinado, máquinas de electroerosión, máquinas de soldar, dobladoras, bobinadoras, manipuladores, etc.

El control numérico de las máquinas herramientas simplemente es el control de las funciones de la máquina herramienta por medio de instrucciones en forma de códigos. A continuación, se mencionan algunos conceptos importantes para tener una mejor comprensión del funcionamiento de estas máquinas.

Control numérico (NC:) es el término utilizado para describir las máquinas que son controladas por una serie de instrucciones formadas por números y letras del alfabeto.

Control numérico computarizado (CNC): este es el término general que se usa para describir un sistema de control el cual incluye una computadora o un microprocesador digital. Las máquinas CNC son adaptables a un amplio rango de procesos de manufactura, algunas aplicaciones de son: corte de metales, soldadura, corte mediante flama, trabajo en madera, prensa, etc. Las CNC son capaces de trabajar muchas horas con una supervisión mínima y son para producción en serie y en lotes.

En este campo se puede definir el control numérico como un dispositivo capaz de controlar el movimiento de uno o varios órganos de la máquina de forma automática a partir de los números y símbolos que constituyen el programa de trabajo.

Este programa controla o automatiza las siguientes funciones:

- Los movimientos de los carros
- Las velocidades de posicionado y mecanizado
- Los cambios de herramientas.
- Los cambios de piezas

- Las condiciones de funcionamiento (refrigeración, lubricación, etc.)

Los componentes básicos de un sistema NC son:

- El programa
- La unidad de control
- La máquina herramienta

El programa contiene toda la información necesaria para el mecanizado, la unidad de control interpreta esta información y controla la ejecución de la misma en la máquina herramienta.

La programación automática

Las máquinas-herramientas de control numérico configuran una tecnología de fabricación que va de la mano de la microelectrónica, la automatización y la informática industrial y que ha experimentado en los últimos años un desarrollo acelerado y una plena incorporación a los procesos productivos, desplazando progresivamente a las máquinas convencionales. Su capacidad de trabajo automático y de integración de los distintos equipos entre sí y con los sistemas de control, planificación y gestión de información hacen del control numérico el principal apoyo a otras tecnologías de fabricación como son el CAD y el CAM.

Dibujo en el diseño.

El dibujo y el diseño asistidos por computadora son, hoy en día, una herramienta imprescindible para lograr un diseño competitivo ya que hasta hace unos pocos años, dichas técnicas eran reservadas a las grandes empresas, o aquellas que tenían un elevado potencial económico y humano.

El conjunto de técnicas asistidas por computadora (CAD/CAM) han experimentado una gran evolución en los últimos años, y pueden ser suficientemente maduras como para aplicarse de forma rentable en prácticamente en todo el proceso de diseño y fabricación de un producto.

Sistemas Cam para programación automática.

Los sistemas de fabricación asistida tienen por objetivo, básicamente, proporcionar una serie de herramientas que permitan fabricar la pieza diseñada.

Actualmente, el CAM se conoce fundamentalmente como sistema de programación de máquinas CNC. Sin embargo, debe precisarse que el CAM es un concepto mucho más amplio, que incluye la programación de robots, de máquinas de medición por coordenadas, simulación de procesos de fabricación, planificación de procesos, etc.

Los sistemas CAM pueden utilizarse para diferentes tecnologías que, normalmente están disponibles por módulos: fresado, torneado, electroerosión, punzonado, corte por LASER, etc.

Una de las aplicaciones más extendidas es la programación automática de operaciones de fresado. Ello es especialmente interesante cuando la pieza a mecanizar es compleja, es decir, que sea difícil ser programada "manualmente".

Durante el proceso de desarrollo de un producto, es muy frecuente que se fabriquen maquetas ó prototipos para la aprobación de estilo. Si estas maquetas se manufacturan mediante CAM en base a un modelo CAD, la pieza final será idéntica a la maqueta aprobada.

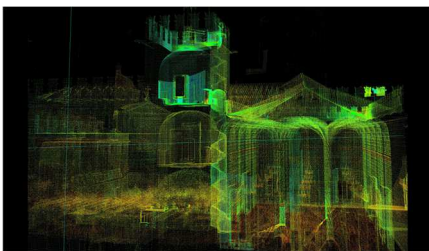
Ejemplos de máquinas de escaneo e impresora 3D por control numérico.



Escáner con soporte fijo X300



Escáner 3D / portátil de mano



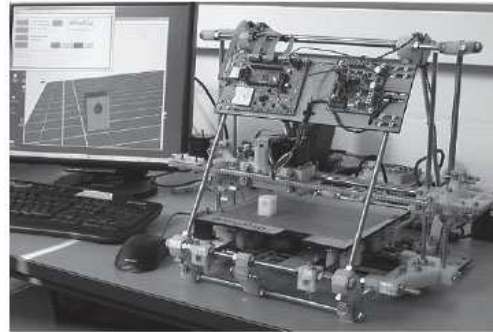
Escaneo 3D de la Lonja de Valencia



Modelo 3D de una pequeña escultura de terracota. Modelo adquirido con fotogrametría digital y escáner láser.



Construcción de una máquina de control numérico CNC para prototipo rápido de piezas 3D en diferentes polímeros impresora 3D.



Impresora RepRap modelo Mendel.

Máquina de impresión 3D de coste bajo (en torno a 1.000 €). Principalmente es una máquina de carácter docente y lúdico



Impresora V-Flash modelo FTI 230 de 3D Systems.

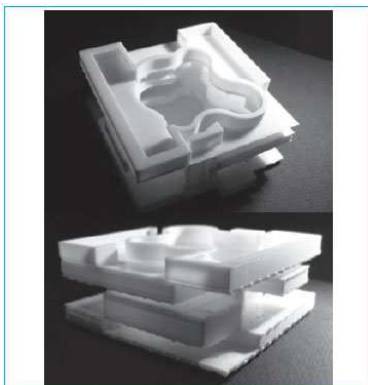
Trabaja con tecnología de polimerización por proyección de capas completas, de coste medio. Se suelen utilizar en pequeños estudios de ingeniería o arquitectura.



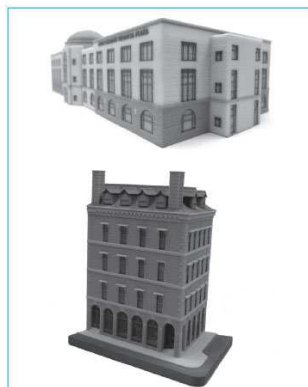
Impresora EOS modelo P 800.

Máquina de impresión 3D de coste alto, destinadas a grandes estudios, producción en serie o empresas subcontratistas, trabaja con la tecnología de sinterizado.

Ejemplos de impresión 3D de maquetas para proyectos arquitectónicos.



Proyecto del museo prototipo con V-Flash



Maquetas de edificios realizadas con una máquina ZPrinte.

BIBLIOGRAFÍA.

Consejería De Cultura De Almería. II. La Pérdida Del Palacio Y Ruina Del Castillo 1903-1904

Consejería De Cultura De Almería. V. La Compleja Y Controvertida Restauración De Los 70 A
Los 90

Domínguez, I.A.; Romero, L.; Espinosa, M.M.; Domínguez, M. (2013). *Impresión 3D de
maquetas y prototipos en arquitectura y construcción*. Revista de la Construcción vol.12 no.2

Páginas Web consultadas:

www.teleprensa.es

www.artehistoria.jcyl.es/v2/monumentos/418.

www.ctv.es/USERS/resijose/Velez-Blanco

olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/