

LA DAMA DE ELCHE



La Dama de Elche (Mayo 2003 DC)



La Dama de Elche (Siglo IV AC)

Entre marzo y mayo de 2003, Factum Arte fabricó la copia facsímil de la Dama de Elche, con la mayor resolución jamás empleada en esculturas de esta importancia.

Todo el trabajo se llevó a cabo gracias al apoyo del Museo Arqueológico Nacional (Madrid) y el Museo Arqueológico (Alicante). El proyecto se realizó por encargo de la Diputación Provincial de Alicante con el patrocinio de la Caja de Ahorros del Mediterráneo y la Universidad Miguel Hernández (Elche).

Texto: Adam Lowe y Jess Ahmon
Diseño: Adam Lowe y Kevan Halson
Traducción: Anita Saha
Traducción técnica: Manuel Franquelo

© 2003 - Factum Arte.
Derechos Reservados

Factum Arte
c/ Hilarión Eslava 53
28015, Madrid
España
Tel. +34 91 550 0978
Fax. +34 91 549 5935

e-mail: factum@factum-arte.com
www.factum-arte.com

Edición Española Junio 2003

Proyecto dirigido por Adam Lowe y Manuel Franquelo
Coordinador técnico: Pedro Miro
Tratamiento de imagen y archivo: Kevan Halson
Investigación histórica: Jess Ahmon
Coordinación: Tevi de la Torre
Administración: Carmen García Figueras
Fotografía: Kevan Halson y Gabriel de la Serna
Producción: Juan Carlos Andrés Arias y Silvia Rosende

LA DAMA DE ELCHE

Factum Arte • Madrid 2003

CONTENIDOS

PREFACIO	9
INTRODUCCIÓN	11
¿Por qué usar tecnología digital?	12
USO DE LAS RÉPLICAS PARA EL PATRIMONIO	15
Investigación inicial	16
LA DAMA DE ELCHE	17
Resumen de su historia	17
El estado de la escultura	18
RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN DIGITAL	21
Escaner Laser	22
Escaneando la escultura	23
Escaneando los detalles de la superficie	25
Documentación	27
PRODUCCIÓN DEL FACSIMIL	
Fuente y examen de los originales	29
Impresión 3D	30
Tratamiento de la superficie 3D	32
Mecanizado y acabado	33
Vaciado del modelo	34
CONCLUSIÓN	37

APÉNDICE

FACTUM ARTE	41
DATOS TÉCNICOS Y AGRADECIMIENTOS	43
Usando el escaner Minolta	43
Usando el escaner Seti I	44
Usando el escaner ModelMaker W	47
Z Corp 3D	46
El mecanizado DELCAM	46
Documentación	47
PLANCHAS	50

PREFACIO

El trabajo realizado por Factum Arte sobre La Dama de Elche es el primer escaneo en 3D de alta resolución de un objeto que pertenece a una colección importante en España. El propósito fue usar alta resolución para llevar a cabo todo el escaneo y la documentación para producir un facsímil del mayor nivel de precisión, y demostrar el papel que las nuevas tecnologías presentan en la documentación, el control, el estudio y la exposición de objetos en colecciones de museos. Muchas de las innovaciones técnicas hechas por Factum Arte en los últimos dos años han tenido un impacto directo en el método del trabajo utilizado para producir el facsímil de La Dama de Elche. No obstante, se siguen perfeccionando estas tecnologías, y también se han emprendido comparaciones directas entre diferentes métodos de escaneo, métodos de rendimiento 3D y técnicas de fabricación. De todos modos, este trabajo es imprescindible para estimular el discurso y para desarrollar un planteamiento práctico y científico sobre el uso y la aplicación del escaneo con láser y la producción de facsímiles. A través de las declaraciones de las distintas compañías que comercializan las tecnologías utilizadas en este trabajo, donde la mayoría han sido desarrolladas para otras aplicaciones, se observa que existe una necesidad universal en el departamento de patrimonio de un entendimiento más preciso de las restricciones prácticas encontradas cuando estas tecnologías se aplican a objetos de museos.

Todo el trabajo destacado en este libro fue ejecutado entre principios de marzo y finales de mayo de 2003. Quedan muchos meses más de trabajo requeridos para analizar los resultados, realizar otras pruebas y presentar las investigaciones de una forma que será utilizada por la conservación práctica de obras importantes como La Dama de Elche.

Adam Lowe
Director, Factum Arte



INTRODUCCIÓN

En noviembre de 2002, el Museo Arqueológico Provincial (MARQ) y la Diputación de Alicante, España, se pusieron en contacto con Factum Arte para realizar una réplica de alta resolución de la Dama de Elche, pieza que forma parte de la colección del Museo Arqueológico Nacional de Madrid, España. La réplica encargada estaba destinada a ser la pieza principal de una exposición que se celebraría en el MARQ y que describiría la tecnología y los procesos empleados en su producción. En colaboración con el Museo Arqueológico Nacional, Factum Arte elaboró documentación digital en tres dimensiones sobre la Dama de Elche, en lo que es el primer fondo documental de este tipo y este nivel de detalle y calidad que se elabora sobre un objeto de la colección de un museo en el mundo. Inmediatamente después, se utilizó esta información digital para producir una réplica a escala real (1:1) de la escultura, con piedra caliza pulverizada extraída de las propias canteras de Elche. Los exámenes, las muestras y la documentación relativa a la producción de la réplica se incluirían en la exposición junto con las fotografías, el documental y la animación en tres dimensiones de la información. Asimismo, se entregarían al MARQ y al Museo Arqueológico Nacional ejemplares de la información digital, aportándose así un valioso acervo documental de archivo. La adaptación de la tecnología digital a la elaboración de documentos y la creación de réplicas del patrimonio plantea unos desafíos sin parangón que exigen poseer habilidades y conocimientos de un amplio abanico de campos, que abarcan desde las técnicas de prototipado industrial a la ingeniería de software y la restauración del patrimonio, en un ámbito de trabajo altamente especializado.

Factum Arte está en la vanguardia del uso de la tecnología digital en este aspecto. Ya ha realizado con éxito una réplica digital de una sección de la cámara funeraria de la tumba de Seti I, que estuvo expuesta en el Museo Arqueológico Nacional, en Madrid. Esta réplica digital se produjo empleando un sistema de escaneado con luz láser que se diseñó especialmente para este trabajo, el escáner

Introducción

Seti, técnicas de mecanizado industrial y un sistema de impresión de color sobre un modelo en relieve que utiliza pigmentos y que también ha diseñado Factum Arte. La exactitud de la réplica fue conseguida escaneando la superficie de la tumba con una resolución de una décima de milímetro, que, hasta entonces, no se había conseguido en la práctica. Todos los procesos de producción se adaptaron y controlaron cuidadosamente para garantizar que no se perdía ni se ponía en peligro ninguno de estos valiosos datos, de tal modo que la réplica fuera lo más exacta y objetiva posible. La atención que se prestó al detalle en todo momento dio sus frutos y la réplica resultó ser idéntica al original tanto en su aspecto como en su textura.

¿Por qué Factum Arte optó por la tecnología digital? La técnica tradicional consiste en realizar un molde del objeto y vaciar una copia en yeso. El resultado es de gran realismo pero para ello hay que entrar en contacto físico con el original, lo que puede provocarle daños. Otro método alternativo es copiar el objeto a mano empleando un material similar al del original, y, de nuevo, el resultado es de gran realismo, pero se trata de un proceso subjetivo que depende en gran medida de la habilidad del artista. Una copia elaborada a mano no se puede equiparar al original.

Las técnicas digitales que utiliza Factum Arte no sólo son objetivas, sino que, además, ofrecen una gran precisión. Gracias a ellas, se puede escanear un objeto de forma rápida y eficiente sin necesidad de entrar en contacto con el mismo. Además, como la información que se utiliza para crear la réplica presenta una resolución muy elevada, el resultado es un objeto cuyo aspecto físico es idéntico al del original. Ahora que se ha hecho patente que es posible producir una réplica exacta de tan elevada resolución, se tiene la posibilidad de redefinir los múltiples usos de dichas réplicas para la documentación, el estudio y la restauración del patrimonio artístico y cultural. El éxito que cosechó la exposición de Seti en el Museo Arqueológico Nacional pone en entredicho la afirmación de que las réplicas son inferiores al original e indica que se pueden exponer en museos sin que el público se sienta “engañado”.

La técnica de la documentación digital puede desempeñar un papel fundamental en el estudio y la restauración del patrimonio. Por ejemplo, para realizar un seguimiento del grado de deterioro de las superficies. Como demuestra este proyecto, esta tecnología moderna tiene un valor inestimable en nuestros museos y puede ayudar a protegerlo y mostrarlo. Dado que nuestro patrimonio está en peligro constante, es evidente que esta tecnología cuenta con un campo de aplicación de una amplitud considerable, no sólo en relación con los museos y monumentos de España, sino también con los centros históricos de todos los rincones del planeta.

Este proyecto ha sido financiado por la Caja de Ahorros del Mediterráneo.



EL USO DE RÉPLICAS DEL PATRIMONIO

Se han realizado copias a lo largo de toda la historia del arte. Así, las copias que los romanos realizaron de las estatuas griegas o las imitaciones que, en el siglo XVIII, se llevaron a cabo de las copias romanas con el objetivo de que las obras más famosas llegaran a un público más amplio. En la tradición islámica de la pintura de miniatura, las copias se consideran un modo de ampliar conocimientos y aprender a valorar las obras de arte más famosas. De hecho, las copias todavía se utilizan en las escuelas de arte, donde se consideran valiosas herramientas de aprendizaje. En la actualidad, las copias y las reproducciones se utilizan de múltiples maneras para contribuir de forma directa a la protección del arte y sus obras, así como en los campos de la educación y el estudio.

Con frecuencia, centros y edificios históricos están decorados con tallas, frescos o mosaicos de un valor incalculable que, si se expusieran a los elementos, correrían el peligro de deteriorarse gravemente o, incluso, de ser destruidos. Sin embargo, estas obras de arte pueden salvarse con una buena política de restauración y limitando el número de visitantes. En algunos casos, como el de los frescos románicos de la Iglesia de San Clemente de Taüll, fueron trasladados al entorno protegido del Museo Nacional de Arte de Cataluña, en Barcelona. Si se hubieran sustituido por una réplica digital, se hubiera mantenido la integridad visual del lugar original.

Del mismo modo, se pueden crear réplicas de monumentos aislados o inaccesibles al público. A una escala superior, se pueden copiar lugares enteros, como las Cuevas de Altamira y sus pinturas del neolítico, cuyo estado de deterioro, a causa de los problemas medioambientales que se derivaban del elevado número de visitantes, era realmente alarmante. La construcción de una réplica a escala real, que se conserva en un museo que se construyó con ese propósito en Santillana del Mar, España, ha hecho posible que se pueda acceder a las cuevas a la vez que se protege las originales, con la ventaja añadida de todas las instalaciones que ofrece un museo.

El uso de réplicas del patrimonio

Además, los ingresos que genera el museo de Altamira se pueden utilizar para financiar la conservación y restauración de las cuevas originales.

Las reconstrucciones también se pueden realizar con motivo de exposiciones en museos u otros espacios destinados a la celebración de muestras. Los arqueólogos y los historiadores recurren a ellas en su búsqueda de respuestas sobre cómo eran y cómo vivían las civilizaciones antiguas. Utilizar réplicas en lugar de originales en las investigaciones y los estudios ayuda a conservar los originales, al protegerlos de los daños que pueden derivarse de su manipulación.

Esto es esencial en el caso de objetos con superficies frágiles, como pigmentos sueltos o descascarillados, papel o incluso metales, que pueden sufrir corrosión al ser manipulados. Las réplicas también se pueden utilizar en museos como objetos susceptibles de ser tocados por los visitantes. De este modo, las personas también pueden aprender mediante el sentido del tacto, con las ventajas que esto supone para los visitantes ciegos o de visión limitada, por ejemplo.

INVESTIGACIÓN INICIAL

Antes de iniciar los trabajos de reproducción de la Dama de Elche, Factum Arte llevó a cabo una investigación exhaustiva con el objetivo de recabar información importante sobre la imagen. Tanto publicaciones como archivos y estudios de historiadores y especialistas resultaron útiles, ya que tanto aspectos históricos como ambientales o meramente circunstanciales han influido en la pieza, dejando en ella sus marcas indefectiblemente, sobre todo en su superficie.

Un primer elemento fue determinar el método de trabajo más apropiado, para lo cual lo fundamental era descubrir cómo se hizo, con qué materiales y qué métodos se emplearon en su realización, así como las circunstancias que rodearon su enterramiento y los viajes que ha experimentado desde que fue descubierta

LA DAMA DE ELCHE

La Dama de Elche es el ejemplo más conocido del Arte Ibérico. Es famosa no sólo por su belleza y la maestría de su complicada talla, sino también por su magnífico estado de conservación. La expresión serena y enigmática del rostro de la escultura ha dado pie a múltiples preguntas sin respuesta, como quién podría ser el personaje representado y por qué se realizó la escultura. Además, el vestido, la ornamentación y la joyería aportan una visión muy interesante de esta cultura antigua desaparecida.

RESUMEN DE SU HISTORIA

El busto fue descubierto, por casualidad, por Manuel Campello Esclapez, un joven empleado del doctor Manuel Campello y Antón, el 4 de agosto de 1897, en las tierras que éste poseía en La Alcudia, emplazamiento de la antigua ciudad de Illici, junto a la actual Elche, España. La escultura estaba prácticamente intacta y se encontraba protegida por una serie de baldosas que la habían resguardado del paso del tiempo –sólo presentaba, al ser descubierta, los daños de escasa gravedad que habían sido causados por el pico con que Manuel Campello trabajaba la tierra en ese momento. Enseguida fue reconocido el valor de este descubrimiento excepcional y se expuso en un balcón de una de las plazas más importantes de Elche.

Apenas dos semanas después, la vio Pierre Paris, un conocido arqueólogo francés, que se encontraba de visita en la ciudad para asistir al Misterio de Elche, que se celebraba todos los meses de agosto como en la actualidad. A finales de ese mismo mes, se la compró al doctor Campello para el museo del Louvre de París por 4.000 francos franceses. Poco después, cuando la escultura llegó a la capital del Sena se expuso bajo el nombre de La Dama de Elche.

En 1941, el Gobierno español recuperó el busto, merced a un intercambio de obras de arte con el Gobierno francés. A partir del momento en que se expuso en el Museo del Prado, en Madrid, la Dama de Elche se convirtió en un símbolo de la cultura española. En la actualidad, está expuesta en el Museo Arqueológico Nacional, en

La Dama De Elche

la capital de España, junto a otras obras del arte ibérico, y es obvio que la Dama de Elche es el ejemplo más destacado de este importante período de la historia de España. Ha sido objeto de innumerables estudios y escritos e incluso su efigie ha sido reproducida en billetes de curso legal. Es un símbolo de la cultura y el patrimonio nacional español.

La fecha de la creación de la Dama de Elche es objeto de polémica, pero la mayoría coincide en que se remonta al siglo IV a. C., fundamentándose en descubrimientos similares que se realizaron en La Alcudia y en la propia historia de la antigua ciudad de Illici, a la que tanto Estrabón como Plinio calificaron como uno de los centros culturales y comerciales más importantes de la península Ibérica. Se fundó en el siglo VI a.C. y, finalmente, la destruyeron los ejércitos cartagineses de Amilcar en el año 228 a.C. Algunos expertos, intrigados por el estilo del tallado de la imagen, en especial por los rasgos faciales, inscriben la escultura en los períodos romano o helenístico. De igual modo, se han realizado varias propuestas sobre la identidad del personaje representado y el propósito de la escultura. La lujosa joyería y el elaborado tocado del busto sugieren que podría pertenecer a la realeza ibérica o bien ser una sacerdotisa, y los delicados rasgos de su cara podrían haberse esculpido a modo de retrato. Un hueco tallado que presenta en su parte posterior apunta a que la escultura podría haber desempeñado originalmente una función funeraria o votiva.

EL ESTADO DE LA ESCULTURA

La Dama de Elche fue esculpida a partir de un bloque macizo de piedra caliza, cuya cantera de procedencia, lamentablemente, no ha sido encontrada. La caliza de este tipo es especialmente común en las regiones levantinas y Andalucía. Es de grano grueso y muy blanda, especialmente cuando está recién cortada, por lo que resulta muy fácil de tallar. Si se expone al aire durante un período de tiempo prolongado, se endurece. La mayor parte de la escultura presenta un nivel de acabado muy elevado, aunque alrededor de la base y de la parte posterior se observan con toda claridad una serie de marcas de cincel. Teniendo en cuenta lo blanda que es este tipo de piedra,

resulta realmente extraordinario que se haya logrado recuperar el busto en tan magnífico estado de conservación. Todavía se pueden apreciar los detalles más delicados del tocado e incluso quedan restos de pigmento que demuestran que estuvo pintada. Algunas recreaciones bastante imaginativas han sugerido que el ropaje fue azul, la ropa interior y el tocado rojo y la joyería y los rodetes de oro. Sin embargo, no disponemos de pruebas que lo demuestren. Las únicas huellas de color que se han encontrado en la imagen son restos de pigmento rojo en los labios, el tocado y el cuello.

Lo más razonable es pensar que la Dama de Elche ha sido objeto de varias limpiezas desde su descubrimiento. No hay duda de que fue sometida a una limpieza tras su hallazgo y lo más probable es que haya sido vuelta a limpiar en varias ocasiones, sobre todo teniendo en cuenta sus múltiples viajes entre distintas instituciones de Francia y España.

La superficie del busto presenta fragmentos de fibras que han quedado atrapadas entre los depósitos superficiales. Este detalle apunta a que se limpió y secó con los estropajos de fibra de cáñamo que se podían comprar en cualquier tienda en aquellos días, aunque también podría tratarse de pequeñas raíces del terreno donde fue hallada. Los rodetes muestran claros signos de haber sido limpiados y de que la suciedad incrustada fue extraída de la superficie con una herramienta afilada de metal. Sin embargo, aún quedan restos, especialmente en la parte posterior de la cabeza, de pigmento rojo de óxido de hierro y una incrustación reticulada. El hecho de que la superficie presente un aspecto resquebrajado podría deberse a la acumulación de depósitos que tuvo lugar, previsiblemente, en tanto estuvo enterrada, pero también apunta a la posibilidad de que, originariamente, la superficie estuviera cubierta de una capa algún tipo de imprimación o aparejo previo.

La Dama De Elche

RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN DIGITAL

La información digital en tres dimensiones fue registrada mediante escáneres de luz láser. En la complicada forma de la escultura estribó la principal fuente de problemas, y, en especial, a la hora de explorar las zonas con huecos profundos, de difícil acceso para el haz de láser. El elevado nivel de detalle también dificultaba la tarea, y no sólo porque la talla es muy compleja en alguna de sus partes, sino también porque su superficie está salpicada de múltiples y diminutas oquedades y abrasiones, resultado del envejecimiento de la piedra y los trasiegos a que ha sido sometida históricamente la imagen. Era esencial escanear el estado de la superficie con el máximo detalle para poder reproducirlo de forma precisa, teniendo en cuenta, además, que los depósitos y restos de pigmento la hacían aún más compleja. Factum Arte tuvo que hacer frente a estos problemas en todas las fases, desde la captación de los datos hasta la producción y el acabado de la réplica.

La Dama de Elche fue escaneada mediante tres sistemas diferentes: dos para captar su forma y superficie general y otro para registrar sus detalles. La información obtenida se pudo confrontar directamente con el original para confirmar la eficacia del proceso. Del igual manera, la escultura fue fotografiada, tanto con medios convencionales como digitales.

En todo momento fueron tomadas todas las precauciones necesarias, con el fin de garantizar que no corría riesgo alguno de sufrir daño. Fue instalada en una sala del Museo Arqueológico Nacional, en la que fueron captados todos los datos necesarios, bajo la supervisión del personal de conservación de la institución. SIT (Transportes Internacionales) llevó a cabo la manipulación de la Dama, acerca de cuyo estado fue elaborado un informe exhaustivo, que recogía tanto su estado previo a ser retirada de la vitrina como el que mostraba a su regreso a su lugar habitual de exposición. Todo el trabajo fue documentado gráficamente por diversos medios.

EL ESCANEADO LÁSER: CUESTIONES INTRODUCTORIAS

La tecnología de escaneado con luz láser en tres dimensiones fue desarrollada en su origen para facilitar el diseño y el prototipado de productos, pero también se aplica en el sector audiovisual. Existen varios sistemas diferentes en el mercado, la mayoría de los cuales opera mediante el principio de triangulación, consistente en que el escáner, por una parte, emite un abanico de luz láser que al tomar contacto con el objeto genera una línea, y, por la otra, registra mediante una cámara de vídeo la forma de esa línea, calculando la ubicación precisa de los puntos contenidos en ésta, en un espacio cartesiano de referencia. Se puede leer con precisión cartográfica toda la superficie desplazando ese abanico a lo largo del objeto, con el que no tiene lugar contacto físico alguno. Los láseres empleados son del tipo de los de baja potencia que usan los lectores de códigos de barras y los reproductores de CD, y, por tanto, no son capaces de generar una luz de emisión dañina.

Factum Arte prefiere no utilizar láseres de punto para trabajos de esta naturaleza, y ha optado por los de abanico, que promedian la intensidad de la luz emitida a lo largo de una línea de unos 5 centímetros de longitud y 300 micras de ancho. En tanto escanea la superficie, el haz de luz se desplaza constantemente, por lo que no se aplica a un mismo punto durante más de una fracción de segundo. Además, el escaneado se lleva a cabo con un nivel reducido de luminosidad ambiental, lo que favorece que se puedan utilizar láseres de muy baja potencia.

Era fundamental que los datos sirvieran para crear un objeto tridimensional de alta resolución. Hoy la mayoría de los sistemas de escaneado ofrecen datos de una resolución suficiente para aplicaciones destinadas a ser vistas en un monitor, como, por ejemplo, la realidad virtual, pero claramente insatisfactorias para crear copias físicas de objetos.

Aún siendo mucho más dificultosa su manipulación, era también capital escanear con la mayor resolución posible y con el máximo de precauciones para evitar que los datos pudieran distorsionarse o

perderse, lo cual no hubiera sido tan relevante en otras aplicaciones de la tecnología digital.

EL ESCANEADO DE LA ESCULTURA

Para el escaneado de la Dama fueron utilizados tres sistemas: el Minolta Vivid 910, el ModelMaker W de 3D Scanners y el escáner Seti.

MINOLTA VIVID 910

Subipro, una empresa ubicada en Bilbao especializada en el escaneado láser y prototipado rápido, realizó el escaneado con el equipo Vivid 910. Minolta ofreció, además, soporte técnico adicional, a través de su filial valenciana Aquateknica. Este escáner ya se había utilizado con éxito en el Proyecto Miguel Ángel, en el que la Universidad de Stanford logró escanear el David de Miguel Ángel, razón por la cual fue escogido.

El Vivid 910 registra el objeto realizando tres barridos rápidos con un abanico de luz láser, y permite también captar una imagen en color en la pantalla. La escultura fue colocada en una mesa giratoria de Minolta que, a su vez, estaba conectada al escáner. La mesa fue girando en movimientos de 15 grados, al tiempo que se recolocaba el escáner, hasta que fue captada cada faceta de la pieza. Esta parte del proceso fue realizada utilizando el aparato a su máxima resolución, es decir, entre 150 y 200 micras en el abanico de rayos láser y entre 200 y 600 micras entre las líneas de escaneado. También fue volteada la escultura para escanear su base.

El proceso de escaneado con el Vivid 910 duró cuatro días. Fueron registradas 961 vistas diferentes, generando 1,2 giga bites de datos. Una vez finalizado el proceso, fueron reagrupados todos los escaneados para crear una unidad completa. Esta parte del proceso fue llevada a cabo en Italia, bajo la responsabilidad de ISTI CNR, que invirtió cuatro semanas en la edición y el tratamiento de los datos.

MODELMAKER W

La empresa británica 3D Scanners ha fabricado el ModelMaker W. Factum Arte ya había colaborado previamente con esta compañía en el escaneo láser de la tumba de Seti I, en el Valle de los Reyes, Egipto, para el que precisamente fue probado el sistema.

El equipo también ha sido utilizado en otros proyectos relacionados con el patrimonio cultural, como el escaneo de esculturas y bajorrelieves, siempre en el campo de la documentación y la realidad virtual. El sistema ModelMaker consiste en un cabezal montado en un brazo Faro acoplado a un trípode, diseñado de tal forma que se pueda sujetar con las manos y, de este modo, controlar manualmente el movimiento del abanico de rayos láser. El brazo Faro ofrece siete grados de movimiento, con lo que el operador dispone de una gran libertad a la hora de manejar el cabezal. De este modo, el ModelMaker puede escanear oquedades y esquinas sin tener que recolocar constantemente el trípode. Además, no es necesario rotar la escultura durante el proceso. Ésta es la característica principal que diferencia el sistema ModelMaker del Minolta.

El escaneo de la Dama de Elche con este sistema duró tres días. La información presenta una resolución constante de 100 micras a lo largo de la línea y de entre 250 y 500 micras entre las líneas, aunque existe un margen de error, provocado por cada articulación del brazo Faro que genera un error acumulado de aproximadamente 100 micras. 3D Scanners procesó la información con el software Surfacer. El trabajo fue realizado sin tener que optimizar o reducir la información. Una vez concluido el proceso, fueron revisados y estudiados cuidadosamente los archivos.

CONTRASTADO DE LA INFORMACIÓN

Una vez concluidas las fases anteriores, los dos bloques de datos fueron enviados a 4D Concepts, Alemania, y fueron prototipados utilizando una impresora 3D de Z Corp. Es la primera vez que la información ha sido comparada directamente utilizando sistemas de escaneo con características técnicas similares y trabajando con técnicos de las empresas que venden el producto.

La información del Minolta era de una calidad considerablemente inferior a la del ModelMaker, por lo que, finalmente, fue tomada la decisión de optar por este último sistema para la reproducción de la Dama. La reducida calidad de algunos de los archivos y los errores producidos en el escaneado con el Minolta provocaban una distorsión significativa en todos los ejes, dando un aspecto combado a la imagen que la distanciaba en demasía del original. La información se había reducido claramente durante el proceso y, además, el estudio de los archivos y de la impresión en tres dimensiones sugería que los fallos del diseño de la mesa giratoria habían provocado una distorsión en espiral de unos 2 centímetros. La información tridimensional también contenía errores en relación con el tamaño general y las coordenadas exactas de los puntos en el espacio tridimensional, lo que dificultó enormemente el post procesamiento y descartó, incluso, la posibilidad de utilizar la información en un estudio académico serio sobre restauración.

Por el contrario, el ModelMaker escaneó una copia de gran precisión en las que los detalles de la superficie aparecían con gran resolución por lo que el post procesamiento fue mucho más corto y eficiente. La impresión en tres dimensiones que se obtuvo a partir de la información del ModelMaker fue utilizada como punto de partida para el facsímil. Complementariamente, después fue incorporada la información captada por el escáner Seti.

EL ESCANEADO DE LOS DETALLES

EL ESCÁNER SETI

El escáner Seti es un sistema diseñado por Factum Arte específicamente para escanear la superficie de los bajorrelieves de la tumba de Seti I. El Escáner Seti no puede escanear zonas con recovecos –denominadas en el argot “enganches”-, pues a ellas no llega el abanico de rayos láser, por la razón de que opera con movimiento a lo largo de sólo tres ejes. Tampoco puede escanear con precisión los relieves que estén fuera de su profundidad de campo. Por esta razón, el Seti no pudo registrar la totalidad de la Dama de Elche. Sin embargo, Factum Arte decidió utilizarlo para las partes de

Recopilación de la información digital

la escultura donde los detalles de la superficie son de importancia fundamental porque este sistema capta la información con una resolución mayor que cualquiera de los otros dos sistemas de escaneado utilizados en el trabajo. Fueron escaneados con el Seti la cara y los rodetes, así como un espacio de la parte posterior que presenta unas incrustaciones peculiares.

El Seti es un sistema de escaneado láser en tres dimensiones formado por una cabeza de alta resolución Reversa 25 diseñada por 3D Scanners. Está montado sobre unas guías lineales motorizadas y sus movimientos son controlados por un ordenador. En la práctica, este escáner ofrece una resolución máxima de 100 micras y una profundidad de campo de 25 milímetros. El escáner realiza una serie de barridos horizontales solapados y consecutivos, hasta que terminar de recorrer la totalidad de la superficie deseada. Se tardó alrededor de cuatro horas y media en escanear la totalidad de la parte frontal de la escultura.

El escáner Seti utiliza el software Riscan para captar y mostrar la información, pero se recurrió a otra aplicación, escrita por Manuel Franquelo, director de Factum Arte, para editar los datos.

El objetivo final del escáner Seti es captar datos óptimos y ofrecer información detallada sobre la superficie y, de este modo, poder crear réplicas de la mayor calidad posible. Escanear los detalles de la superficie es fundamental a la hora de lograr el mayor nivel de resolución posible, de manera que se puedan reproducir las superficies más complejas de manera fidedigna. De igual modo, la información se puede preparar para el prototipado por medio de mecanizado industrial sin necesidad de unirla, ya que se obtiene directamente de la nube de puntos, de tal modo que sólo necesita una depuración mínima, y, así, no sólo se reduce el trabajo, el tiempo y los costes, sino que también se garantiza la integridad de los datos.

ACERVO DOCUMENTAL

Tanto el proceso como la propia imagen fueron sometidos a un reportaje fotográfico al fin de utilizarlo, junto a otros apuntes y comentarios, para realizar un registro exhaustivo, tanto de la labor que se estaba realizando como del propio busto. Fue una oportunidad única de realizar un trabajo de investigación sobre la Dama, que nunca había sido objeto de un estudio tan detallado. Copias de esta documentación se conservan en el MARQ y en el Museo Arqueológico Nacional. Asimismo, se grabaron en vídeo todos los detalles del proyecto.

PRODUCCIÓN DEL FACSIMIL

Tras múltiples pruebas, Factum Arte concluyó que era necesario combinar diversas técnicas para realizar la réplica. En la industria se utilizan varios procedimientos diferentes para crear prototipos a partir de información digital. La construcción de un modelo puede llevarse a cabo bien a partir de capas, como en la estereolitografía, la sinterización por láser u otras técnicas de impresión tridimensional, o bien tallando sobre un bloque macizo con máquinas, un proceso que conocido como fresado o mecanizado.

Durante las pruebas, se comprobó que el mecanizado daba mejores resultados que otros procedimientos a la hora de reproducir aspectos más detallados, esenciales para captar las características de la superficie. Sin embargo, el mecanizado resultaba menos apropiado para la reproducción de la pieza de bulto. Por esta razón, Factum arte decidió realizar dos versiones de la réplica utilizando dos procesos diferentes. Uno de ellos consistió en cubrir un modelo producido con la Z Corp. con una capa fina de una masa a base de piedra pulverizada, y el otro, en elaborar un modelo combinando ambas técnicas, crear un molde del mismo y después hacer un vaciado con una mezcla de piedra pulverizada y resina. La diferencia más importante que existe entre ambos procesos es el modo en que recrean la superficie. En la primera versión, la superficie fue creada utilizando distintas técnicas artesanales, mientras que en la segunda fue basada más en la información de alta resolución y en las texturas naturales de los materiales para crear una superficie realista.

FUENTE Y EXAMEN DE LOS MATERIALES ORIGINALES

Se sabe que el tipo de piedra caliza en que se esculpió la Dama es típico de los alrededores de la ciudad de Elche, por lo que fueron recogidas muestras de esta zona. Utilizar materiales naturales imprime realismo a la réplica final. Del mismo modo, emplear un tipo de piedra lo más parecido posible a la del original tiene el efecto de que la pieza resulta más fidedigna. Después de llevar a cabo una

La creación

cuidadosa labor de investigación, fueron recogidos algunos fragmentos de piedras calizas de una cantera abandonada situada a unos 10 kilómetros al norte de Elche, cerca de la carretera a Madrid, que fueron seleccionados porque habían estado expuestos a la acción de los agentes atmosféricos característicos de la zona y porque la pigmentación de la superficie era similar a la del busto, aunque la cantera no fuera la misma de la que, en su día, se extrajo la piedra que sirvió para esculpir la imagen.

De vuelta al taller, fueron pulverizados y tamizados los fragmentos y fueron realizadas diversas pruebas, empleando pequeñas cantidades de resina y de mortero de restauración a modo de aglutinante, con el fin de dar con el tamaño de grano más adecuado para reproducir el aspecto y la textura de la superficie del original. También fueron probados distintos pigmentos encontrados en la misma zona, utilizados como ingredientes y para tratar la superficie. Fue necesario realizar más de un centenar de pruebas para encontrar la combinación de materiales más apropiada. A continuación, hubo que realizar más pruebas, encaminadas a descubrir y señalar la mejor manera de reproducir los efectos de la tierra que rodeó a la Dama, así como el envejecimiento del original. En estas pruebas fueron utilizadas muestras del suelo, recogidas cerca de La Alcudia, el área donde se encontró la escultura, así como de otros suelos de la zona de Elche.

Al intentar reproducir los colores y texturas fue necesario remitirse constantemente al original. Los apuntes y el aparato gráfico tomados simultáneamente al proceso de escaneado resultaron ser una información de muy alto valor, pese a lo cual la comparación directa con el original fue siempre la forma más fiable de evaluar en qué medida la replica era fiel al original.

LA IMPRESIÓN EN TRES DIMENSIONES

4D Concepts fue la empresa encargada de la elaboración del prototipo en sus talleres de Gross-Gerau, cerca de Frankfurt. Para ello, sus equipos de profesionales utilizaron la información que había sido captada con los escáneres Minolta y ModelMaker, aunque

finalmente fue rechazado el modelo obtenido a partir de los datos del Minolta. También hicieron pruebas utilizando la estereolitografía, pero con las máquinas existentes en el mercado, las bandas horizontales quedaban demasiado visibles, así que también fue rechazado este sistema, en espera de que mejore el software y el funcionamiento mecánico del mismo. Para crear el modelo fue utilizada la impresora 3D Z810 (creada por la empresa estadounidense Z Corporation, con sede en Boston). La impresora 3D de Z Corp. utiliza un material parecido al yeso finamente granulado. Para comenzar, aplica uniformemente una capa fina de material seco sobre un soporte, y, a continuación, la máquina imprime, sobre él, una sección de la figura con un líquido acuoso que la hace fraguar. Tan pronto como esa capa endurece, el soporte desciende y esparce otra de polvo por encima de la anterior, repitiendo todo el proceso de nuevo con la siguiente sección, y así sucesivamente.

Una vez terminado el proceso de impresión, es retirado el soporte y el polvo que haya quedado suelto para ver la impresión final en 3 dimensiones. Con posterioridad, se procede a infiltrar resina en el modelo, para que sea más resistente. La impresora 3D puede elaborar prototipos con un volumen máximo de 600 x 500 x 400 milímetros.

En el proyecto de la Dama de Elche, cada capa tenía un espesor de 100 micras, que es la resolución máxima de la impresora 3D. Trabajar a este nivel de resolución supone un incremento considerable del tiempo invertido. Una vez que la información necesaria para realizar la impresión ya estaba preparada, el proceso requirió hasta 28 horas para realizar la primera prueba, que fue hecha con capas de 100 micras.

La impresión fue realizada en un ángulo de 30 grados para que no fueran distinguibles las distintas capas utilizadas con el objetivo de alcanzar la forma tridimensional. El ojo humano es mucho más sensible a las bandas horizontales que a las verticales, por eso éste era el mejor modo de solucionar el problema. Lo más importante era

La creación

que el modelo fuera lo suficientemente sólido como para resistir el proceso de vaciado y que el acabado final de la superficie se pudiera realizar a mano. Fueron necesarios tres días para convertir la información en un modelo y realizar cada una de las impresiones tridimensionales con la impresora de Z Corp. Y fueron creados dos modelos a partir de los datos del ModelMaker, uno para cada versión de la réplica.

EL TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE LA IMPRESIÓN TRIDIMENSIONAL

En la primera réplica fueron utilizados un amplio número de técnicas para recrear el aspecto erosionado de la piedra de la impresión en tres dimensiones de Z Corp. Este trabajo tuvo lugar en los talleres de Factum Arte en Madrid. En primer lugar, el modelo fue cubierto con una fina mezcla de mortero de restauración y piedra caliza pulverizada a la que fue añadido un pigmento correspondiente con el color interno de la escultura original de piedra caliza. A continuación, fue añadida, de forma selectiva, una segunda capa de piedra caliza pulverizada mezclada con agua utilizando plantillas para descubrir zonas de tamaño reducido, especialmente en la cara. Después, fue aplicada a toda la superficie una capa de piedra caliza pulverizada de un amarillo ligeramente más intenso mezclada con silicato de potasio, un aglutinante mineral que crea una capa de aspecto quebradizo.

Cuando la superficie es expuesta al calor aparecen grietas, de modo que se pueden retirar con un pincel las zonas que se han cubierto con la mezcla de piedra caliza y agua. El resultado son zonas con un relieve y unas grietas diminutas que emulan la superficie deteriorada de la piedra. Conseguida ya la superficie, fueron aplicados a mano los residuos de pigmentos de óxido de hierro. A continuación, toda la escultura fue cubierta con una mezcla de barro del suelo de Elche y agua. Este barro es de un rojo oscuro que le aporta a la superficie el color adecuado, una vez retirado con herramientas de madera y metal.

Cubiertas numerosas y extremadamente laboriosas fases

intermedias, cuya explicación alargaría excesivamente el objeto de esta publicación, los últimos pasos fueron pasar un cepillo de metal y espolvorear una mezcla de carbonato de calcio, talco y otros componentes específicos sobre la imagen, en tanto fue sometida a un frotamiento de diversa intensidad, realizado manualmente.

Gracias a estas técnicas, se ha conseguido una copia de la Dama de Elche de gran realismo, con unas texturas de iguales características a las del original. La superficie de la impresión en tres dimensiones es la que dicta en cierta medida la posición y la forma de las grietas y del cuarteado. Sin embargo, no todos los detalles diminutos se corresponden exactamente con los del original.

REALIZACIÓN DE LA RÉPLICA: MECANIZADO Y VACIADO

EL MECANIZADO

El segundo prototipo fue utilizado para elaborar un modelo que incluyera, una vez mecanizada, la información obtenida con el escáner Seti. La empresa británica Delcam realizó todo el proceso de mecanizado en sus talleres de Birmingham, para lo cual utilizaron una máquina de tres ejes. Estos datos no tenían que ser procesados y unidos antes del mecanizado, por lo que el tiempo que normalmente hay que invertir en la edición de éstos fue considerablemente acortado, y, lo que es aún más importante, supuso que las piezas mecanizadas estaban basadas en información verdadera que, en ningún momento, ha corrido peligro alguno de degradación o pérdida de calidad.

Delcam utilizó un protocolo de fresado muy complejo que incluía mecanizados en cuatro fases, utilizando cabezales progresivamente más finos en áreas seleccionadas cuidadosamente. Algunos de los cabezales empleados son de corte de bola con los laterales rectos y otros, cónicos, con laterales de ángulos de 5 grados. El extremo del cabezal que se utilizó para realizar el corte final tenía un radio de tan solo 0,1mm. Sólo en realizar la talla de la cara de la Dama fueron empleadas más de 60 horas.

La creación

El material objeto de mecanización fue un compuesto de poliuretano de primera calidad que se emplea habitualmente en el sector. El material elegido es un elemento esencial ya que debe ser lo suficientemente denso como para captar los detalles y lo suficientemente estable como para que no tengan lugar problemas de distorsión por dilatación o contracción. Durante las pruebas iniciales, el tallado fue hecho directamente sobre una piedra caliza y, aunque resultaba un método poco práctico para elaborar toda la escultura, fueron obtenidos resultados muy alentadores.

EL VACIADO DEL MODELO

Los moldes fueron realizados a partir de la impresión en tres dimensiones –el prototipo- y todas las piezas ya mecanizadas. Todas estas partes fueron vaciadas en yeso y agrupadas en un único modelo. Factum arte optó por utilizar yeso porque resulta sencillo de manipular y de acabar a mano. Además, el uso de moldes permite la conservación de la impresión en tres dimensiones y las secciones mecanizadas como piezas maestras. Se produjo un molde del montaje, al que posteriormente se le realizó un vaciado. La realización completa y satisfactoria de todas estas fases, así como la del acabado final tuvo lugar en los talleres de Factum Arte en Madrid, por el equipo de especialistas de la compañía, bajo la dirección y el seguimiento de Manuel Franquelo.

Crear un molde de silicona a partir de la impresión en tres dimensiones requiere una planificación cuidadosa y una gran habilidad manual, y esto tuvo lugar en el caso de la Dama, ya que la forma de la escultura es muy compleja, y hubo que realizar un molde compuesto de más de una docena de piezas. Cada una de ellas tenía que encajar perfectamente con las colindantes y había que diseñar el molde de forma que pudiera tener lugar el acoplamiento y desacoplamiento de las mismas sin problemas y sin poner en peligro el objetivo final del trabajo: la realización de una réplica precisa.

En esta etapa fueron empleados una docena de días. Una vez vaciado en yeso el prototipo realizado con la Z Corp., los vaciados de las secciones mecanizadas fueron incorporados a mano. Esta labor

fue llevada a cabo midiendo y marcando cuidadosamente todos los detalles. A continuación, todas y cada una de las piezas fueron recortadas y limadas para que encajaran sin problemas. Las juntas fueron acabadas a mano con sumo cuidado para que presentaran un aspecto compacto y sin fisuras. Fue necesaria una planificación y una habilidad meticulosa, aunque los vaciados en yeso ofrecían la ventaja de poderse repetir en caso necesario.

Finalmente, el conjunto fue vaciado en una mezcla de piedra pulverizada y resina especialmente elaborada por Factum Arte para la ocasión a la que fueron añadidos pigmentos al fin de que tuviera el color adecuado. El acabado fue manual, con el propósito de envejecer y dar color a la imagen. Las técnicas empleadas eran similares a las usadas para crear la réplica mediante prototipado, aunque el propósito fue en todo momento intervenir lo mínimo posible para no obstaculizar la objetividad de los datos digitales.

CONCLUSIONES

El proyecto de creación de una réplica de la Dama de Elche ha supuesto una oportunidad sin precedentes para llevar a cabo una labor de documentación y un estudio de esta extraordinaria escultura. Para realizar este trabajo, ha sido necesario llevar a cabo un examen detallado de la superficie de la obra, que ha sido sometida a pruebas y estudios que han ayudado a conocer bien y comprender los procesos que originaron unos colores y unas texturas tan complejas. La recopilación de la información ha proporcionado un registro preciso y de alta resolución digital que será vital para la museología y documentación de la obra, que además, supondrá una fuente de valor incalculable para futuras investigaciones.

Las técnicas que se han utilizado en este proceso tienen mucho que ofrecer. Las réplicas pueden desempeñar una labor de gran importancia no sólo en los museos, sino también en el marco de una estrategia con más recursos para gestionar la protección y la conservación del patrimonio en el futuro.

APÉNDICE



FACTUM ARTE

Factum Arte es una compañía especializada en proyectos para artistas e instituciones dedicada a la fabricación y producción en el medio digital. Estos proyectos pueden plantear una gama de desafíos técnicos que Factum Arte emprende con la vinculación de técnica manual, con el desarrollo y con la aplicación de nuevas prácticas. Específicamente, uno de los mayores enfoques del sector de patrimonio de Factum Arte es la creación de reproducciones de alta resolución. En los dos años desde que Factum Arte lleva establecida se ha desarrollado un método de trabajo único analizando las necesidades específicas de cada proyecto y desarrollando el hardware y el software requerido cuando no estén disponibles en el mercado. Algunas novedades incluyen: la producción de un escáner de 3D para el uso con superficies de bajo relieve de policromía en Egipto; la escritura de software creado específicamente para eliminar redundancias del escáner, y un paquete de software para retoques de 3D; el desarrollo de una impresora de pigmento plano de precisión dimensional para imprimir superficies de bajo relieve y varias innovaciones relacionadas al uso de diferentes métodos y materiales. Factum Arte ha establecido una red de contactos con universidades y centros de investigación en Europa y tiene enlaces cercanos con compañías que desarrollan y aplican nuevas tecnologías en Japón, América, Italia, Alemania, España y el Reino Unido. Otros proyectos incluyen la producción de esculturas a larga escala y ediciones limitadas múltiples para artistas e instituciones arquitectónicas. Factum Arte también produce publicaciones y vídeos-documentales.



DATOS TÉCNICOS Y AGRADECIMIENTOS

ESCANEADO CON EL ESCÁNER SETI DE FACTUM ARTE

Factum Arte, Madrid, se encargó de realizar el escaneado láser mediante el Escáner Seti. Factum Arte es una empresa especializada en proyectos para artistas e instituciones que, en la mayoría de los casos, necesitan mediación y fabricación digital. Normalmente, estos proyectos plantean una serie de desafíos técnicos que Factum supera con el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías en combinación con el uso de técnicas manuales tradicionales. La producción de réplicas de alta resolución en el sector del patrimonio es uno de los campos fundamentales de Factum. Entre otros proyectos, se cuenta la producción de esculturas a gran escala y ediciones limitadas para artistas, así como instalaciones arquitectónicas.

El Escáner Seti es un sistema de escaneado láser en 3 dimensiones diseñado por Factum Arte y construido por Rapier Engineering, Corby, Reino Unido. Incluye un cabezal de escaneado Reversa 25H fabricado por 3D Scanners UK, Londres. Pedro Miro se encargó de manejar el escáner bajo la dirección de Manuel Franquelo y Adam Lowe.

CARACTERÍSTICAS

Cabezal de escaneado Reversa: captación de datos en 3D mediante dos cámaras CCD (640x480 píxeles) a un ángulo de 45° respecto al haz láser controlado por una tarjeta Surfa (placa de procesamiento de datos). La placa Surfa emplea el procesamiento DSP (Fotogrametría Digital de la Superficie) de los datos de vídeo para captar la forma de la superficie a tiempo real a más de 14.000 puntos por segundo.

Láser: Clase 3A

Dimensiones del haz láser: 60 micras de ancho con enfoque del 95%, 25mm de longitud

Datos técnicos y agradecimientos

Escala de medición:	25mm
Resolución:	A una distancia de entre 8 y 10 cm. de la superficie, el Escáner Seti capta datos de la nube de puntos con una resolución de 60 micras.
Resolución en el eje Z:	10 micras
Exactitud en el eje Z:	20 micras
2 modos de escaneado:	Lineal y lineal rápido, cilíndrico y cilíndrico rápido
Velocidad de escaneado de alta exactitud:	1.000 puntos por segundo
Formatos:	Exportación de Datos: U16, F32, IBL, IGS, VDA, y ASCII Exportación de datos a Software Delcam: Artcam, Duct, CopycCAD y PowerMILL.
Software Operativo:	el software compatible Windows NT presentará los datos en una variedad de formatos a CAD/CAM u otro software de modelado de superficies o inspección. Factum trabaja con RIS (Servicio de Instalación Remota) en Windows NT junto con otras herramientas desarrolladas por Factum Arte. La captación de datos en el Museo Arqueológico Nacional se llevó a cabo con un Pentium 3 Kayak de HP.

ESCANEADO CON ESCÁNER LÁSER MINOLTA

Subipro, Bilbao, se encargó del escaneado láser empleando el Vivid 910 de Minolta bajo la dirección de Pedro Ignacio Fernández de Retana. Subipro es una empresa de diseño y elaboración de prototipos especializada en el escaneado láser del patrimonio. Trabajaron en colaboración con Aquateknica, Valencia, el agente de Minolta en España. Miguel Boix realizó el trabajo de escaneado.

CARACTERÍSTICAS

Nombre del producto:	LÁSER de digitalización VIVID 910 "No-contacto" 3-D
Láser:	Clase 2 (IEC 60825-1), Clase 1 "Eye safe" (FDA)

Datos técnicos y agradecimientos

	Controlado mediante un espejo rotatorio manejado por galvanómetro
Lentes intercambiables:	El Vivid 910 incluye tres lentes (LARGO ALCANCE: longitud focal=25 mm, INTERMEDIA: longitud focal=14 mm, PANORÁMICA: longitud focal=8 mm). Todos estos lentes se emplearon para grabar La Dama De Elche. La mayor parte del trabajo se realizó utilizando la lente de LARGO ALCANCE: longitud focal de 25mm.
Los datos en 3 dimensiones y las Imágenes de Color se captaron mediante una cámara CCD de 640 x 480 píxeles y cuatro filtros rotativos (para medidas R, G, B y en 3 dimensiones), con el fin de conseguir las imágenes de color con una calidad equivalente a las captadas por las cámaras CCD VGA/3-plate.	
Modos de escaneado:	modo RÁPIDO: 0,3 segundos. Modo PRECISO: 2,5 segundos. (what do these durations refer to?)
Método de medición:	método de triangulación por bloques de luz
Precisión:	más de 300.000 puntos con una escala de resolución de hasta 0,0016" (modo Preciso, estándar de Minolta)
Precisión en el eje Z:	±0,008mm (Condición: modo PRECISO, estándar de Minolta)
Exactitud:	±0.008mm (Condición: modo PRECISO, estándar de Minolta) Alcance óptimo de medidas en 3D: de 0,6 a 1,2 m.
Formatos disponibles:	Importación de Datos - Formato Minolta: CAM, VVD, SCN, CDM, STL
Exportación de Datos:	DXF, Wavefront, SOFTIMAGE, VRML, OpenInventor, ASCII y STL Se utilizó un ordenador Dell Double Pentium 3 con 512MB de RAM para almacenar y captar los datos en un disco duro de 60 giga bites.
Software:	Rapid Form es un Software de Edición Avanzada

Datos técnicos y agradecimientos

de Polígonos. Se ha diseñado para registrar datos de forma automática y convertirlos a distintos formatos digitales.

LA IMPRESIÓN 3D REALIZADA CON Z CORP

La impresión tridimensional se realizó utilizando la impresora 3D ZTM810 de 4D Concepts, ubicada en Gross-Gerau, Frankfurt, bajo la dirección de Peter Volz. La empresa 4D Concepts está especializada en una serie de soluciones de elaboración rápida de prototipos que permiten una reducción de los procesos de desarrollo de optimización de los productos. 4D Concepts ofrece soluciones de diseño CAD mediante la elaboración rápida de prototipos y la mecanización rápida de la mecanización de la producción. A la hora de crear los prototipos utilizan tecnologías de elaboración rápida de prototipos tales como la estereolitografía y la sinterización por láser, entre otras. Asimismo, ofrecen otros servicios como herramientas de modelado por inyección, mecanización de la producción de modelados, fresados de cinco ejes, corte por electro-erosión, mecanizado con chispas y corte con hilo.

EL MECANIZADO REALIZADO POR DELCAM, REINO UNIDO

El proceso de mecanizado corrió a cargo de la empresa británica Delcam con sede en Birmingham. La preparación de la información proporcionada por el escáner Seti de Factum Arte se realizó mediante el programa de software PowerMill de NC y, posteriormente, se cortó utilizando un centro de mecanizado vertical MC-800 VF de tres ejes fabricado por Matsuura a una velocidad de rotación del husillo de 15 000rpm. Se utilizó la tabla de moldeado de Alchemie 959W que tiene una densidad de 1,2g/cm³.

Delcam es una de las empresas líderes a escala mundial en el suministro de soluciones avanzadas de desarrollo de productos para la industria manufacturera. Desde hace años se la considera un distribuidor especialista en las soluciones de diseño para empresas que utilizan formas ergonómicas y estéticas de gran complejidad. Además, es uno de los proveedores líder de sistemas CAD/CAM para

el sector de la fabricación de herramientas y un desarrollador innovador de software avanzado de mecanizado. Todo el software se basa en el kernel de Delcam, que incorpora métodos matemáticos optimizados únicos que facilitan la utilización, la manipulación y la flexibilidad durante todo el ciclo de desarrollo del producto. Asimismo, trabaja en sistemas de traducción de datos y ayuda en la gestión de tareas y de la comunicación a través de procesos de desarrollo de productos tanto dentro de una empresa como durante el ciclo de suministro de productos. Delcam es la única empresa internacional de CAD/CAM que dispone de una División de Servicios de Mecanizado interna.

Tony McKenzie y Dave Cooper fueron los responsables de la traducción y preparación de los datos CAD para lo que utilizaron el mecanizado y la programación NC de Steve Taylor. La supervisión del área de mecanizado corrió a cargo de Gary Mills y Brian Hawkshaw se encargó de la gestión del trabajo.

La estrategia de fresado:

El primer corte se realizó utilizando un cortador de 2mm de carburo sólido con un radio de punta de +1mm utilizando la estrategia de despeje de áreas por cuadrícula. Para el segundo corte se utilizó un cortador de bola de 6mm de carburo sólido de hasta +0.3mm stock utilizando estrategia de cuadrícula. El fresado final se realizó con un cortador D de 20deg de ángulo con carburo sólido con un radio de 0,1mm utilizando la estrategia de cuadrícula y un avance de 0,03mm en cada barrido. Se realizó un fresado final para recoger las áreas inaccesibles con un mecanismo de cortado D cónico. Para ello, se utilizó un cortador con los laterales rectos de carburo sólido y con un radio de punta de 1mm. La estrategia utilizada fue la combinación de mecanizado en Z constante y 3D offset.

Datos técnicos y agradecimientos

DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA

Todo el trabajo se documentó mediante fotografía convencional por Gonzalo de la Serna. Adicionalmente Factum Arte documentó cada estado del proceso con fotografía de medio formato y digital.

PELÍCULA

El MARQ encargó a Factum Arte la realización de una película de 30 minutos de duración para documentar el escaneado, el modelado, el tallado y el acabado. RC Madrid junto a Factum Arte fueron los encargados de filmar este documental. En el documento también se recogen entrevistas con Miguel Ángel Elvira (director del MAN), Rafael Azuar (el director del MARQ) y todos los demás especialistas que trabajaron en el proyecto.

El documental se grabó con 25P utilizando Canon XL1, Panasonic DVX100E, Panasonic DVC Pro500.

Música: Manuel Franquelo y Carlos de Juan

RC, Madrid

Gabriel Scarpa

Miguel Guillén

John MacGregor

Datos técnicos y agradecimientos

PLANCHAS

Ilustración 1

La Dama de Elche, piedra claiza con restos de pigmentos, c. S. IV AC.

56 x 52.5 x 34cm.

Museo Arqueológico Nacional, Madrid.



Ilustración 2
La Dama de Elche.



Ilustración 3
La Dama de Elche.



Ilustración 4
La Dama de Elche.



Ilustración 5

El lugar del descubrimiento de La Dama de Elche en La Alcudia.

La escultura fue encontrada por accidente enterrada en una zona rocosa.



Ilustraciones 6 a 8

Una selección de detalles de la superficie de la Dama De Elche. El análisis minucioso de las características de la superficie de la escultura fue vital para el efecto realista de la copia.



Ilustraciones 9 a 11

Una selección de detalles de la superficie de La Dama de Elche.



Ilustración 12

La Dama de Cabezo de Lucero (después de la restauración de Vicente Bernabeu Plaza), piedra caliza, c. s. IV AC

MARQ.

Ilustraciones 13 y 14

La Damita N° 7.7007, piedra caliza, c. s. IV AC,

20 x 7.5 x 5.5cm

Museo Arqueológico Nacional, Madrid.



Ilustración 15

*La Dama de Baza, piedra caliza con restos de pintura, c. s. IV AC 130cm
alto x 103cm ancho Museo Arqueológico Nacional, Madrid.*



Ilustración 16

Billete de una peseta.

Ilustración 17

Las primeras estampas de La Dama de Elche sugieren que la escultura estaba pintada de rojo y azul y que estaba cubierta de oro en algunas zonas. En cualquier caso no se ha conservado ningún resto de oro o azul.



Ilustración 18
Selección de copias de escayola y resina compradas en La Alcudia.
Vista frontal.



Ilustración 19
Selección de copias de escayola y resina compradas en La Alcudia.
Vista posterior.



Ilustración 20
Copia de La Dama de Elche realizada por Ignacio Pinazo Martínez en 1908.
Escayola y pintura, 57 x 43 x 28cm.
Museo Arqueológico Nacional, Madrid.



Ilustración 21

Postal que muestra al escultor Ignacio Pinazo Martínez trabajando en su copia de La Dama de Elche en el Louvre en París en Marzo del 1908.

Archivo Casa/Museo Pinazo, Godella (Valencia)



10
Quincy

Paris March 21st 1873

Ilustración 22
La cabeza Reversa 25H montada sobre el escáner Seti.



Ilustración 23

El escáner Seti trabajando con luz reducida en el Museo Arqueológico Nacional, Madrid.

Ilustración 24

El escáner Modelmaker W.

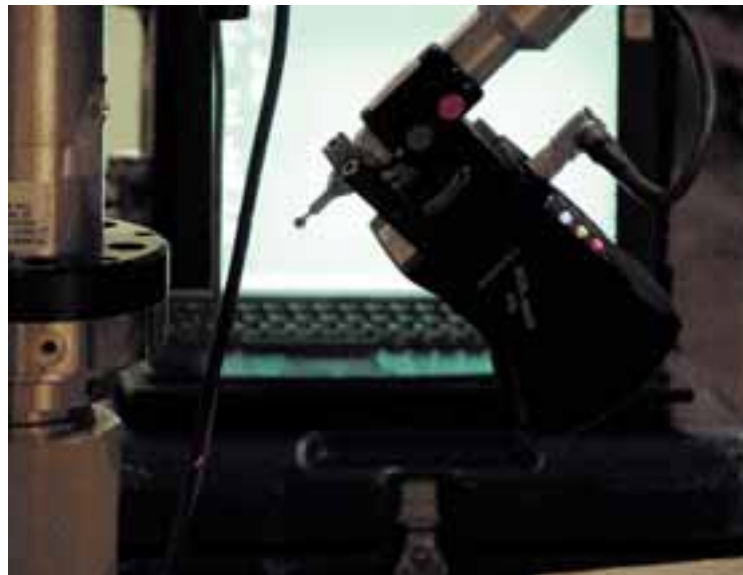


Ilustración 25

El escáner ModelMaker documentando la superficie de La Dama de Elche en el Museo Arqueológico Nacional, Madrid.

Ilustración 26

El escáner Minolta documentando La Dama de Elche en el Museo Arqueológico Nacional, Madrid.



Ilustración 27

El haz de luz láser del escáner ModelMaker documentando la superficie de la escultura. La línea en forma de V es un efecto fotográfico.



Ilustración 28

Información recogida por el esáner Seti. Estos datos se compone de puntos tridimensionales posicionados sobre una trama de 100 micras y no necesita post-procesado.



Ilustraciones 29 y 30
Datos recogidos con el escáner Seti.

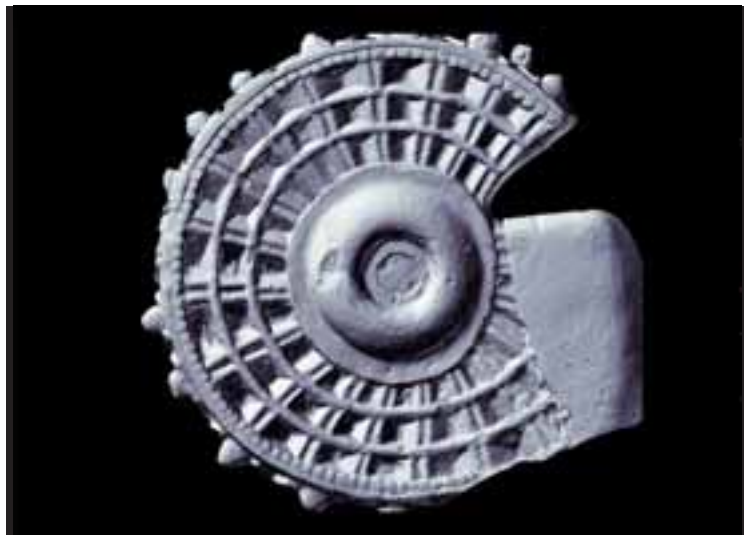
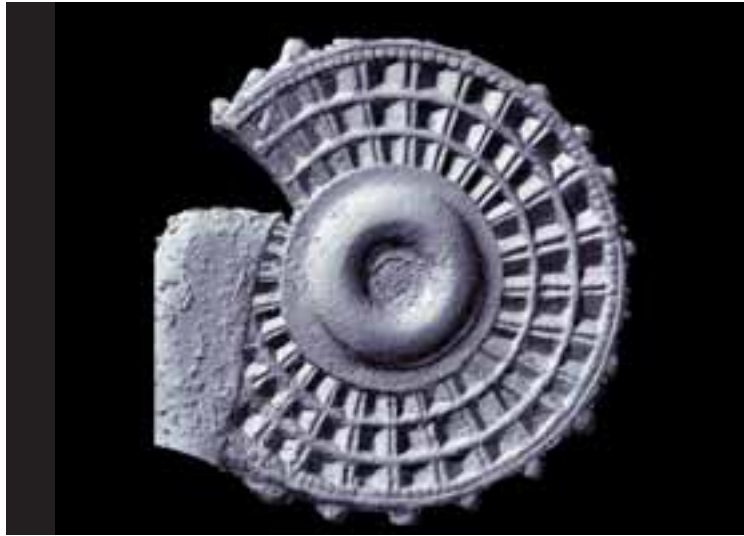


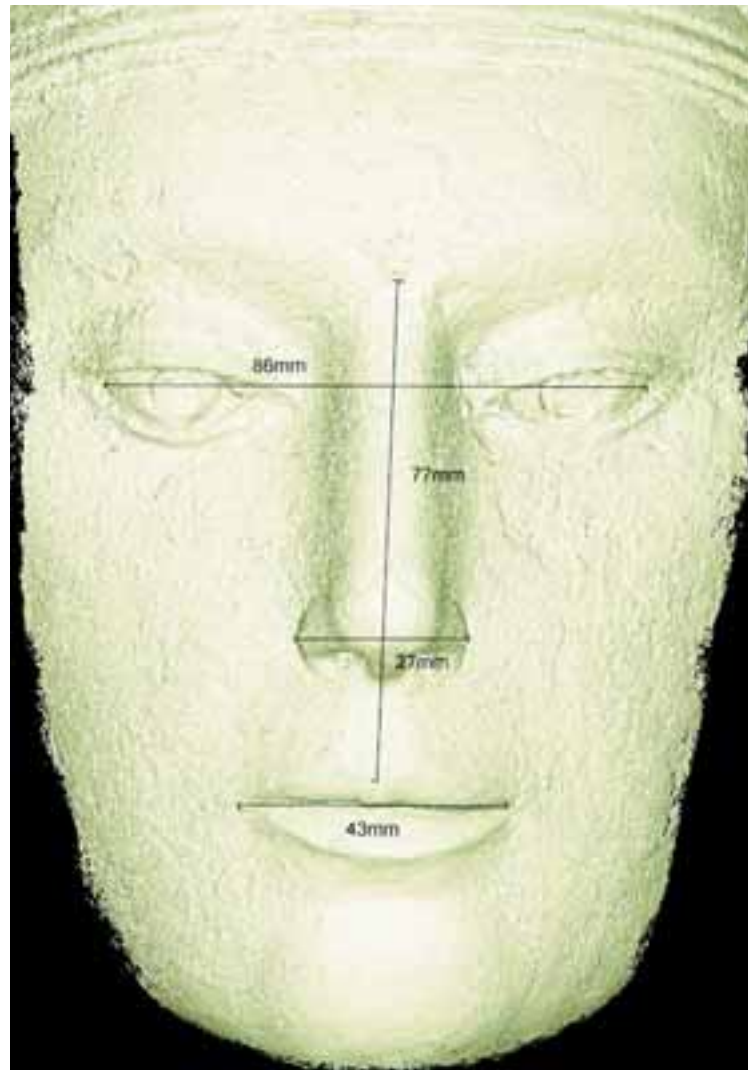
Ilustración 31

Información codificada por colores indicando el relieve de la superficie. Los distintos renderizados de la información 3D pueden significar nuevas fuentes de investigación para los conervadores y estudiosos.



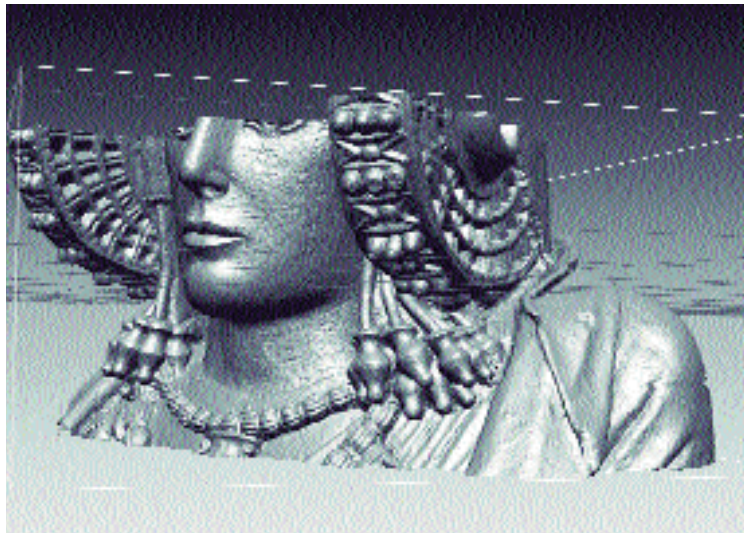
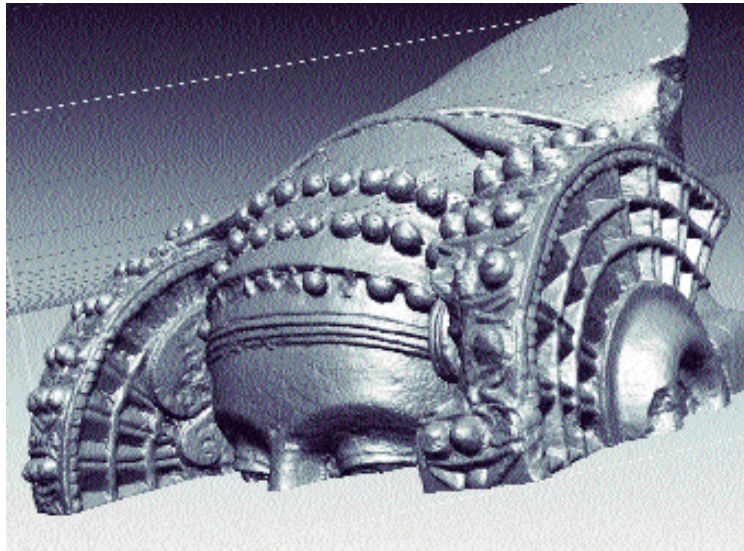
Ilustración 32

Información recogida con el escáner Seti y medidas exactas. Estos datos son esenciales para monitorizar cambios en la superficie.

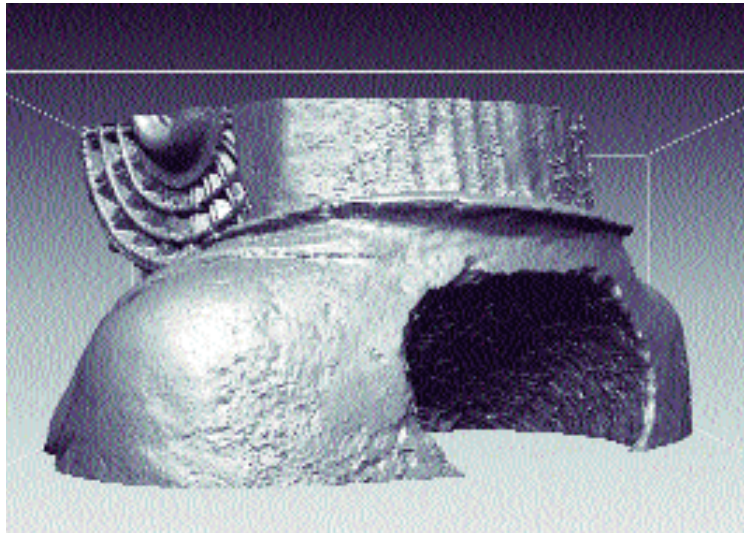


Ilustraciones 33 y 34

Información recogida con el Modelmaker W. A la práctica, la mayor resolución conseguida con este sistema fue de 100 micras a lo largo de la línea de escaneado y de 250 micras entre líneas.



Ilustraciones 35 y 36
Datos recogidos con el escáner Modelmaker W.



Ilustraciones 37 y 38

Información reogida con el escáner Minolta. A la práctica, la mayor resolución conseguida con este sistema fue de 170 micras a lo largo de la línea de escaneado y de 250 micras entre líneas.



Ilustración 39

Datos recogidos por el sistema Minolta. Esta información fue rechazada ya que contenía distorsiones en el posicionamiento de los puntos en el espacio 3D.



Ilustración 40

Dos pruebas estereolitografiadas de los labios realizados en resina transparente a distintas resoluciones. La comparación directa entre sistemas de impresión y sistemas de escaneo formó una parte muy importante del trabajo de investigación, previo a la producción del facsímil.

Ilustración 41

Detalle de los labios fresados a 100 micras a partir de los datos obtenidos con el escáner Seti. Los defectos del escaneado se corrigen con la aplicación informática diseñada por Factum Arte.



Ilustración 42

Una prueba de impresión 3D realizada con una Z Corp con información recogida por el escáner Minolta.



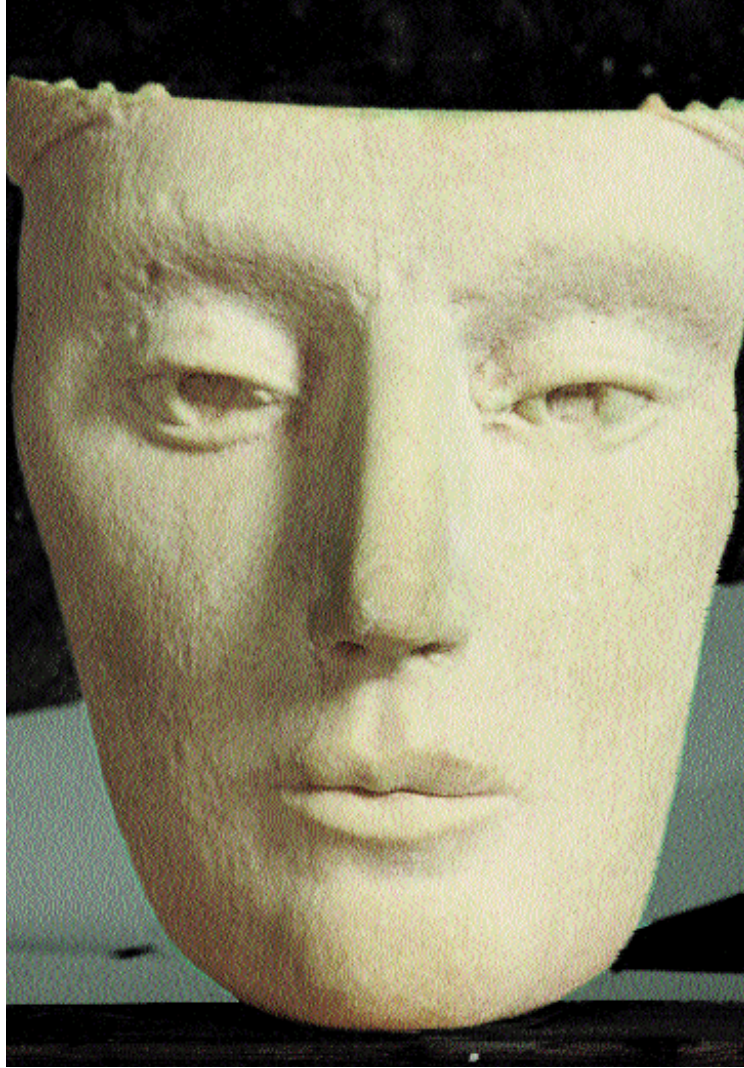
Ilustración 43

*Cara fresada a partir de la información recogida con el sistema Seti.
El fresado lo realizó la empresa Delcam UK utilizando una compleja
estrategia que finalizaba con un corte a 100 micras.*



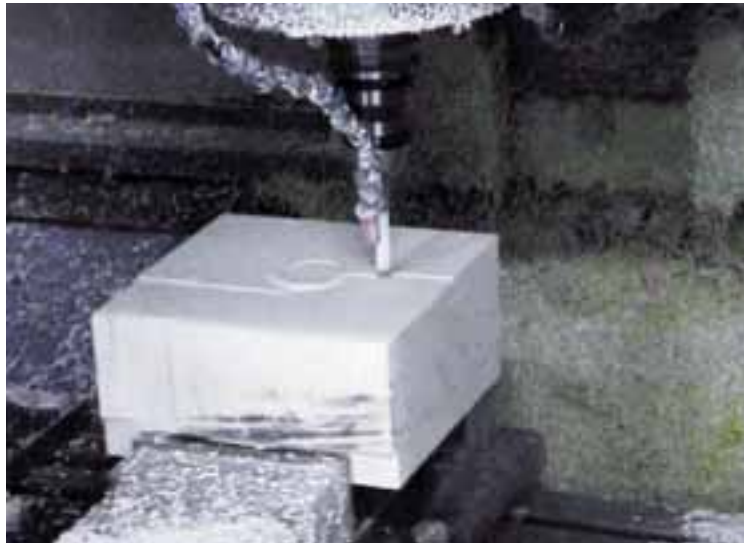
Ilustración 44

Prueba de impresión 3D a partir de los datos recogidos por el sistema Minolta. Esta prueba también se realizó en capas de 100 micras pero en comparación con la prueba fresada a partir de los datos Seti se observa una gran falta de detalle y adopta la apariencia de un caramelo chupado.



Ilustraciones 45 y 46

Primeros pasos del fresado de los rodetes. El fresado se llevó a cabo en los talleres de Delcam UK usando bloques de poliestireno de alta densidad.



Ilustraciones 47 y 48

Cada estadio del fresado se realiza con herramientas cada vez más finas. El pase final se realiza con una herramienta de forma cónica con punta de 100 micras de radio.



Ilustración 49

Producción de moldes de silicona a partir de las piezas fresadas.

Ilustración 50

Vaciando los moldes en una mezcla de piedra caliza traída de Elche, resina y pigmento.

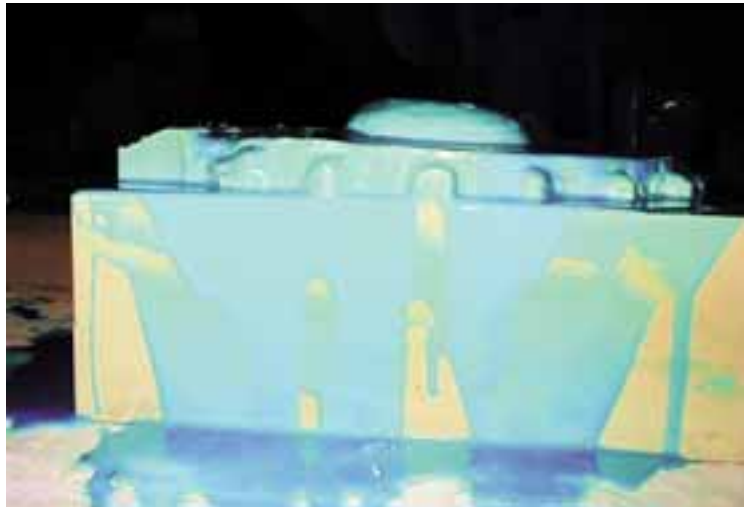


Ilustración 51
Varias pruebas de vaciado realizadas con distintas mezclas de piedra y pigmento para crear una superficie con la granulometría y color adecuados.



Ilustración 52

La primera prueba acabada producida a partir de los datos Seti en piedra caliza con pigmento. Los métodos de acabado a mano fueron significativamente alterados a raíz de esta prueba.



Ilustraciones 53 y 54

Las primeras pruebas acabadas de los rodets a partir de los datos Seti realizadas en piedra caliza con pigmentos. Se hizo especial hincapié en la complejidad de las capas de color.



Ilustraciones 55 y 56

Producción de la impresión 3D utilizando una mezcla de escayola en polvo y resina, realizada con una máquina Z Corp en los talleres de 4D Concepts en Alemania.



Plate 57

La impresión 3D a partir de los datos ModelMaker.



Ilustración 58

La terminada impresión Z Corp 3D tomada de los datos del ModelMaker. Los datos fueron impresos en tres módulos en capas de 100 microns. Los dos uniones horizontales están visibles a cuasa de cambios leves en el color de cada bloque.



Ilustración 59

La impresión 3D realizada a partir de los datos Minolta muestra las deformaciones contenidas en dichos datos. Estas deformaciones se pueden medir en centímetros.



Ilustración 60

Los dos juegos de datos contantemente analizados y comparados. Este analisis tan centrado ayudó significativamente a comprender la escultura.

Ilustración 61

Comparación entre las impresiones 3D realizadas con los datos Minolta (Izquierda) y los ModelMaker (Derecha).



Ilustración 62

Muestras de piedra recogidas en La Alcudia (Elche).

Ilustración 63

Se realizaron numerosas pruebas para crear una superficie que reprodujera las características del original. En especial, se centró la atención en reproducir el paso del tiempo.



Ilustración 64

Aplicando la primera capa de piedra caliza mezclada con agua y resina para reproducir el color de la piedra interior del original.



Ilustración 65

Una selección de las herramientas fabricadas por Factum Arte para el acabado a mano. Estas incluyen lijadoras y aerógrafos con guías por laser.

Ilustración 66

Después de recubrir la cara con la primera capa de piedra, se le dió una capa de látex para protegerla mientras se acababan las otras partes.



Ilustración 67

Aplicando una mezcla de piedra claiza y agua a la superficie del facsímil para reproducir las características de la textura del original.

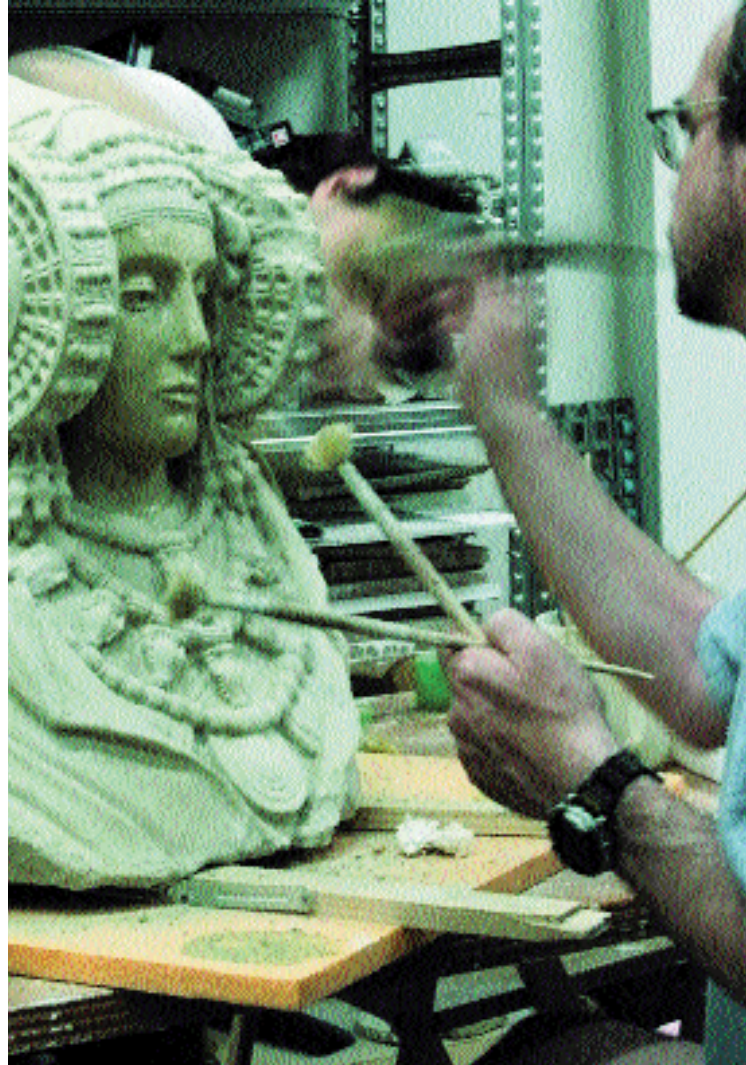


Ilustración 68

Muestras de tierra recogida en la Alcudia. Con esta tierra se produjo una pasta para recubrir la superficie del facsímil.

Ilustración 69

La cara del facsímil mientras se retiraba la capa de barro.



Ilustración 70
Cubriendo la superficie con una capa de barro.



Ilustración 71
Lavando el barro.



Ilustración 72

Calentando la superficie para crear fisuras en la capa de cristal líquido.

Ilustración 73

Comparando la copia al original en el museo.



Ilustraciones 74 y 75

Después de compararlo al original, se realizaron pequeñas modificaciones al facsímil utilizando herramientas especialmente diseñadas para esta función. La que aquí se observa es una lijadora de chorro de arena en miniatura.

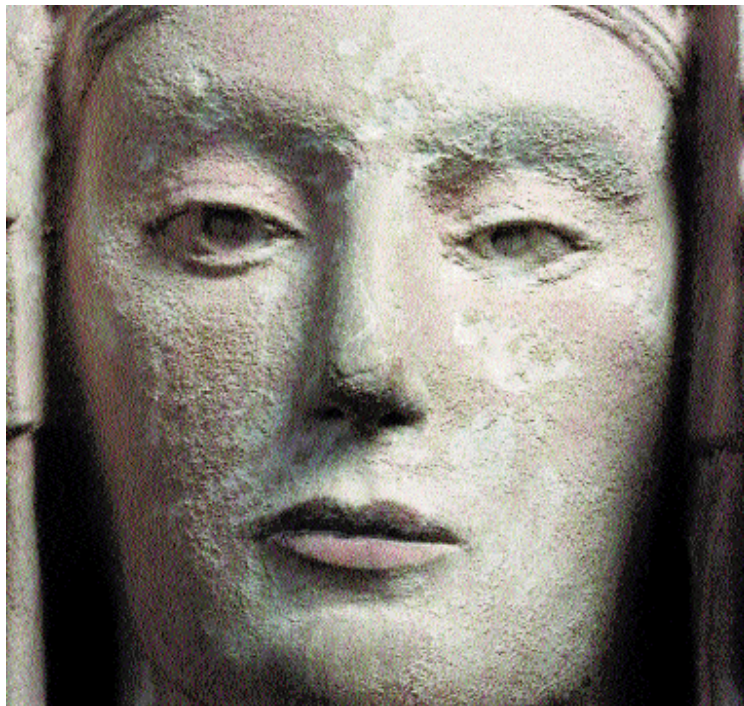


Ilustración 76

Comparando el original y el facsímil en el museo. Frente a la copia se puso un cristal para facilitar una comparación más realista entre las dos piezas.

Ilustración 77

La cara del facsímil. Los labios poseen un intenso color carmín y parecen haber envejecido mejor que el resto de la superficie. Una investigación en profundidad sería necesaria para determinar si las incrustaciones son depósitos de calcio o restos de una capa de escayola.



Ilustraciones 78-79

Detalles de los dos rodetes. Hay claras evidencias de depósitos que han sido escurvados de las cavidades de los rodetes. Las áreas pigmentadas revelan una compleja estructura de capas de los colores rojo y marrón.



Ilustración 80
Detalle de la parte frontal del facsímil.



Ilustraciones 81 y 82

La base de la escultura. Las marcas de las herramientas usadas para cincelar la superficie son muy visibles. Marcas parecidas se pueden observar en la cavidad que hay en la espalda de la escultura. Las medidas que se obtienen con la información 3D facilitan el estudio en profundidad de estas marcas.



Ilustración 83
El facsímil acabado.



Ilustración 84
El facsímil acabado.



Ilustración 85
El facsímil acabado.



Ilustración 86
El facsímil acabado.

