



THE TOMB OF SEII I

DIGITAL TECHNOLOGY
IN CONSERVATION

LA TUMBA DE SEII I

*TECNOLOGÍA DIGITAL
PARA LA CONSERVACIÓN*

SUMARIO

PREFACE	4
INTRODUCCIÓN	6
CONSERVACIÓN DE LA TUMBA DE SETI I.	
La tumba de Seti I.	10
Réplica de la tumba.	12
Ventajas de la tecnología digital.	16
RECOPIACIÓN DE DATOS	
Escaneo láser tridimensional	22
Desarrollo del software	28
Fotografía digital	30
Medición del color	34
PRODUCCIÓN	
Routing	40
Moldeado y vaciado	42
Asociación de los colores	46
Combinación de datos	48
Impresión	52
Montaje	54
Acabado a mano	56
CONCLUSIÓN	60

CONTENTS

PREFACE	5
INTRODUCTION	7
CONSERVATION OF THE TOMB OF SETI I	
The tomb of Seti I	11
Replicating the tomb	13
The advantages of digital technology	17
DATA GATHERING	
3D laser scanning	23
Software developments	29
Digital photography	31
Colour measurement	35
PRODUCTION	
Routing	41
Moulding and casting	43
Colour matching	47
Merging the data	49
Printing	53
Assembly	55
Hand finishing	57
CONCLUSION	61

INTRODUCCIÓN

A menudo, la gestión del patrimonio artístico consiste en hacer compatibles la necesidad de conservar los monumentos y el deseo de permitir el acceso no sólo a estudiosos, sino también a los visitantes que desean admirarlos y aprender de ellos. Las tumbas del Valle de los Reyes son especialmente vulnerables a los daños causados por el flujo de visitantes, pues su merecida fama hace de la necrópolis de Tebas uno de los lugares más visitados de Egipto. La mayor y más suntuosa de sus tumbas es la de Seti I, que hubo de ser cerrada en la década de 1980 a causa de problemas estructurales. Este libro describe la primera fase de un proyecto cuyo propósito es realizar una réplica exacta de la tumba, de modo que el público pueda tener acceso a ella.

La tecnología digital hace posible registrar con asombroso detalle las superficies de la tumba, para después reproducirlas en tres dimensiones. Hasta ahora no se había intentado llevar a cabo un proyecto de tal envergadura, por lo que se han planteado retos considerables en el terreno de la técnica y su aplicación práctica. La investigación y el desarrollo necesarios se han llevado a cabo y ya pueden ser presentados al público. De su dirección se ha encargado Factum Arte, en colaboración con especialistas de los campos más variados. Esta labor ha conllevado el diseño del equipo y el desarrollo del software, así como de métodos y de materiales para la producción del facsímil. La culminación del proyecto queda expresada en la reproducción de una sección de 16 m² de la cámara mortuoria de la tumba.

El trabajo experimental desarrollado en la tumba de Seti I ha sido una iniciativa egipcia, promovida por Michael Mallinson y llevada a cabo bajo el total amparo del Consejo Superior de Antigüedades de Egipto y de la Society of Friends of the Royal Tombs of Egypt (Sociedad de Amigos de las Tumbas Reales de Egipto), quienes desde hacía tiempo apoyaban la idea de que se crease una réplica. La financiación ha corrido a cargo del Dr. Ahmed Bahgat, filántropo egipcio, y de Factum Arte. Los derechos de autor de la totalidad de los datos recogidos le serán asignados al Consejo Superior de Antigüedades de Egipto.

INTRODUCTION

The management of heritage sites is often a balancing act between protecting the monuments and allowing access to those who wish to study, admire and learn from them. The tombs in the Valley of the Kings are especially vulnerable because their well deserved fame makes the Theban necropolis one of the most visited sites in Egypt. The largest and most lavish of these tombs is the tomb of Seti I but this tomb has been closed since the 1980s due to structural problems. This book describes the first phase of a project that proposes to make this tomb accessible once more in the form of an exact replica.

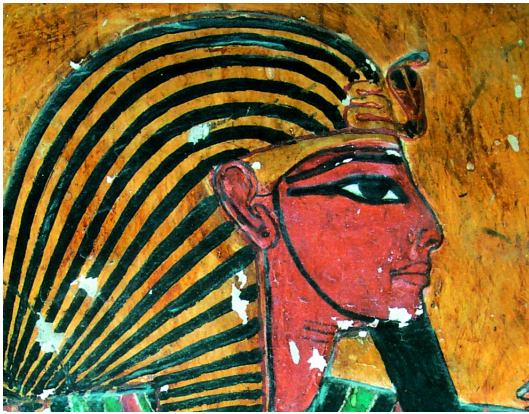
It is possible, through the use of digital technology, to record the surfaces of the tomb in astonishing detail and reproduce it in three dimensions. A project on this scale has never been attempted before and the technical and practical challenges are considerable, but the research and development is now completed and is presented here. Factum Arte, in collaboration with a wide range of specialists, has conducted this research and development. This has involved designing equipment, software development, and the development of materials and methods for the production of the facsimile. This work has culminated in the reproduction of a sixteen square metre section of the burial chamber of the tomb.

The experimental work undertaken in the tomb of Seti I is an Egyptian-led initiative instigated by Michael Mallinson and carried out with the full support of the Supreme Council of Antiquities (SCA) and the Society of Friends of the Royal Tombs of Egypt, who have long supported the idea of building a replica. It was funded by Dr Ahmed Bahgat, an Egyptian philanthropist and Factum Arte. The copyright on all the digital data will be ascribed to the SCA.

CONSERVACIÓN DE LA TUMBA DE SETI I

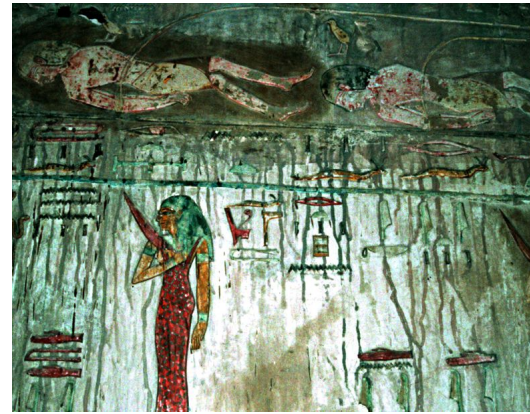
CONSERVATION OF THE TOMB OF SETI I





Izquierda: Partes de la tumba que todavía presentan muy buen estado de conservación.

Opuesto: Daños causados por la realización de moldes.



Left: Damage caused by squeezes.

Opposite: Parts of the tomb are still very well preserved.

LA TUMBA DE SETI I

La arquitectura y la decoración de la tumba de Seti I (1306-1209 a. de C.) se consideran obras cumbre del arte mortuario del Imperio Nuevo. Es la tumba más extensamente decorada del Valle de los Reyes; cada uno de sus muros está pintado o tallado. Además, la cámara mortuoria aloja el primer techo astronómico del que tengamos constancia: en él se han dibujado las diferentes constelaciones en forma de figuras y animales.

Desde su descubrimiento, en 1817, son diversos los daños que ha sufrido la tumba, pero sin duda los más graves han sido causados por la mano del hombre. A fin de obtener el vaciado de los relieves se presionaron encima moldes de cera, papel o yeso. El proceso se repitió tantas veces en algunas partes de la tumba que la pintura desapareció. Los restos de agua o cera de los moldes que chorreaban por las paredes también han causado estragos.

Otra de las causas principales de los daños que ha sufrido la tumba ha sido la extracción, o el intento de extracción, de fragmentos del monumento funerario, algunas de las cuales actualmente forman parte de colecciones públicas y privadas repartidas por el globo. Destacan un par de jambas de puerta que se extrajeron en el siglo XIX, y que ahora se encuentran en el Louvre (París) y en el Museo Arqueológico Nacional de Florencia. Las pinturas de la tumba no han escapado de los graffiti ni del hollín, producido este último por el uso de antorchas o por las fogatas que se encendieron en el periodo anterior a que se realizara la instalación eléctrica.

THE TOMB OF SETI I

The architecture and decoration of the tomb of Seti I (1306 to 1290 BC) is considered to be the apex of New Kingdom tomb art. It is the most extensively decorated tomb in the Valley of the Kings and the burial chamber contains the first example of an astronomical ceiling depicting the constellations as figures and animals.

Since it was uncovered in 1817 different forms of damage have left their mark on the tomb, the most invasive being those caused by the human hand. Squeezes were taken by pressing wax, paper or plaster to the surface so as to take a cast of the relief. Repeated squeezing of some parts of the tomb has totally removed the paint from the walls and the use of water or wax has left drips and residues.

Another major cause of damage has been the removal, and attempted removal, of sections of the tomb, some of which are now in public and private collections around the world. Most notably, a pair of door jambs were removed in the 19th century and are now in the Louvre in Paris and the Museo Archeologico in Florence. The tomb paintings have also suffered from graffiti and from soot caused by the use of torches or the lighting of fires in the days before electricity was installed. More recently, movements in the rock strata have



Izquierda: Partes de la tumba que faltan, probablemente le fueron extraídas.

Opuesto: Daños en el techo de la cámara mortuoria.



Left: The damaged ceiling of the burial chamber.

Opposite: Parts of the tomb are missing, probably removed.

Ya en época más reciente se han producido desplazamientos de los estratos rocosos, lo que ha originado varias grietas, así como el hundimiento de algunas partes del techo. Actualmente el estado estructural de la tumba es motivo de preocupación. Por desgracia, cualquiera que la visite perjudica - con su mera presencia y sin ser consciente de ello - el estado de las pinturas. La sola presencia de grupos reducidos de personas causa fluctuaciones en la temperatura y en la humedad, lo que hace que exista riesgo de que se produzcan daños no intencionados en el recinto. La construcción de una réplica significa que quienes visiten la zona podrán ver la tumba sin poner en peligro el original. De esta forma se puede hacer uso de la tecnología en la documentación y conservación de uno de los patrimonios artísticos más importantes del planeta.

RÉPLICA DE LA TUMBA

La reproducción digital tridimensional tiene muchas aplicaciones en la industria mecánica, pero hasta ahora su uso en el terreno de la conservación del patrimonio artístico ha sido muy limitada. Son numerosos los métodos que se pueden utilizar para analizar superficies, pero se constató que sólo el escaneado con láser captura con precisión los detalles del relieve. Estos datos digitales pueden después trasladarse a tres dimensiones mediante el uso de fresadoras, otra aplicación industrial. Del mismo modo, es preciso que los datos relativos al color sean precisos y detallados. En las pruebas realizadas por Factum Arte se realizaron escaneados planos, pero se descartaron a favor del uso de los últimos

caused cracks to appear, and the ceiling has collapsed in places. Today, the structural condition of the tomb is still a cause for concern.

Sadly, any visitors to the tomb unwittingly put the painted surfaces at risk by their presence. Even small groups of people cause fluctuations in temperature and humidity and there is the risk of accidental damage. The building of a replica would mean that visitors could still experience the tomb without endangering the original. In this way technology can be applied in the documentation and conservation of one of the world's most important heritage sites.

REPLICATING THE TOMB

Three-dimensional digital reproduction has many applications in the engineering industry but its use in the heritage field has thus far been very limited. There are numerous potential methods for surveying the surface but it was found that only laser scanning is capable of capturing the fine detail. This data can then be carved in three dimensions by using an industrial routing machine. Factum Arte's research found that the best method for recording the colours is state-of-the-art digital photography, which is both accurate and detailed. The digital colour information can then be printed directly onto a



Izquierda: Tarea de investigación en la tumba de Seti I.

Opuesto: Las zonas no acabadas de la tumba son de gran valor, pues nos permiten comprender los métodos de los antiguos egipcios.



Left: Unfinished areas of the tomb give a valuable insight into the methods of the ancient Egyptians.

Opposite: Conducting research in the tomb of Seti I.

avances de la fotografía digital. La información digital del color se puede imprimir en la superficie en relieve gracias a la utilización de una impresora específicamente modificada para tal efecto.

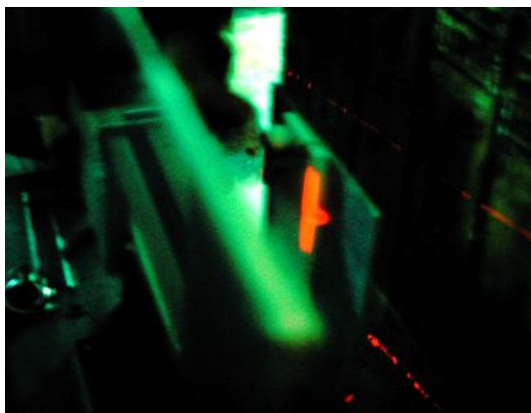
Aunque la tecnología necesaria ya existía, ha sido preciso realizar modificaciones e innovaciones en cada una de las fases del proyecto. Sólo mediante la unión de cada rama de la tecnología, la sensibilidad artística y el conocimiento adecuado de los problemas que plantea la conservación se podía obtener el mejor resultado. La función de Factum Arte ha consistido en obtener el mayor nivel de resolución posible, pero también se hizo deseable la utilización de materiales que se parecieran tanto como fuera posible a los originales encontrados en la tumba. Por lo tanto fue necesario investigar sobre los materiales y técnicas de los antiguos egipcios, así como examinar detenidamente la superficie de la tumba tal y como se nos presenta hoy día.

En junio de 2001 realizamos la primera visita a la tumba. Nuestro propósito era evaluar las características de la superficie de los muros e identificar los problemas que conllevaba trabajar en el interior de la tumba. A esta visita le siguió un periodo de investigación sobre la mejor manera de superar los retos técnicos que se nos plantearon. Una vez que se acordó un método práctico de trabajo, se integró a subcontratistas en el equipo. A finales de 2001 se realizó, en la tumba misma, un ensayo para poner a prueba el equipo y los métodos acordados. Después de esta sesión de prueba se recopilaron los datos recogidos y se utilizaron para realizar pruebas de producción y para reconstruir una sección de 16 m² de la cámara mortuoria, completada a finales de 2002.

relief surface using a specially modified pigment printer.

Although none of this technology is new, modifications and innovations were required at all stages. It is only by linking all the technologies together with a craft sensibility and an understanding of the conservation issues that the most successful outcome can be achieved. Factum Arte's brief was to work to the highest possible resolution, but it was also desirable to use materials that were as similar as possible to the originals used in the tomb. This would help to reproduce the surface qualities and characteristics of the walls.

The first visit to the tomb took place in June 2001. The purpose was to assess the surface characteristics of the walls and to identify the problems inherent in working inside the tomb. This visit was followed by a period of research into the optimum way to overcome the technical challenges. Once a practical working method was agreed, specialist subcontractors were approached and incorporated into the team. A trial season took place at the end of 2001 to test the equipment and methods in the tomb, after which the data gathered during this season was used to run production tests and to produce the sixteen square metre section of the burial chamber which was completed towards the end of 2002.



Izquierda: La tira láser es el único punto de contacto con el muro.

Opuesto: Una de las primeras muestras ruteadas, comparada con el original.



Left: One of the first routed samples in comparison with the original.

Opposite: The laser strip is the only point of contact with the wall.

LAS VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL

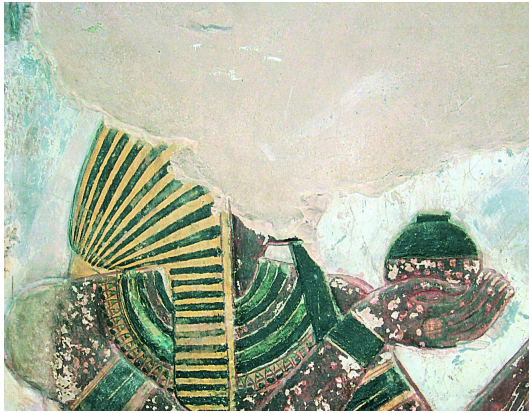
Uno de los aspectos fundamentales de la tecnología utilizada por Factum Arte es que no causa daño alguno a la tumba. Ninguno de los métodos utilizados in situ precisa del contacto con las superficies y, a diferencia de otras técnicas de análisis y recogida de datos, no es necesaria la anotación de datos y referencias para la medida en la superficie estudiada. El láser utilizado en el escaneado no puede generar la energía necesaria para originar daños en la frágil superficie. En un láser la energía se reparte a lo largo de la línea escaneada, reduciéndose así su intensidad. Durante el escaneado, un punto cualquiera de la pared tendrá contacto con el láser durante tan sólo una fracción de segundo. Teniendo en cuenta el recelo que despierta el uso de la tecnología en el terreno del patrimonio artístico, Factum Arte ha encargado un informe sobre el uso del escaneado láser al Conservation Centre de los National Museums and Galleries de Merseyside.

La utilización de procesos mecanizados y digitales permite prescindir de la intervención humana en fases críticas de la producción. Esto no sólo reduce los costes, sino también el nivel de interpretación que el factor humano conlleva, por ello la técnica puede describirse como objetiva. La sección de la tumba que ha finalizado Factum Arte se ha reproducido a una resolución 2.500 veces mayor que la del facsímil de las cuevas de Altamira, el único facsímil a gran escala que también se ha elaborado mediante proceso mecánico. Se ha tomado medida de 100.000.000 de puntos

THE ADVANTAGES OF DIGITAL TECHNOLOGY

One of the most important aspects of the technology that Factum Arte uses is that it does not put the tomb at risk. All of the methods that were researched and tested are non-contact and, unlike other survey techniques, they do not involve attaching markers or measurement aids to surfaces. The laser used in the scanning is not capable of generating enough radiation to cause damage. During scanning the laser is in contact with any point on the wall for only a fraction of a second. Due to the sensitivity towards the use of new technology in heritage, Factum Arte has commissioned a report on the safe use of scanning lasers from the Conservation Centre at National Museums and Galleries of Merseyside.

The use of mechanised, digital processes eliminates the need for human intervention at key stages of the production. This not only reduces the cost, but also reduces the level of interpretation involved. These techniques can be described as objective. The section of the tomb completed by Factum Arte has been reproduced at 2,500 times higher resolution than the facsimile of the Altamira caves in Spain, the only other mechanically produced large-scale facsimile. There are 100,000,000 independently measured 3D points



Izquierda: La cabeza de Seti sin cara.

Opuesto: La cabeza de Seti con una nueva cara.



Left: The head of Seti with face replaced.

Opposite: The head of Seti with missing face.

tridimensionales por metro cuadrado. A esta resolución quedarán reproducidos los más mínimos detalles, incluso las señales de pinceladas superpuestas que se solapan o del grano de la pintura.

Los datos digitales recogidos durante el proyecto constituirán un valioso archivo de la tumba que podrá ser utilizado para futuras labores de conservación; por ejemplo, como herramienta de referencia a la hora de seguir el desplazamiento de los estratos rocosos y el deterioro de la pintura. También se presentará como un importante recurso para la investigación académica, pues permitirá un más fácil acceso a las pinturas y a las inscripciones.

Otra ventaja del medio digital es su enorme capacidad para manipular datos. Podremos restaurar digitalmente algunas zonas mediante el escaneado de fragmentos de la tumba que se encuentran repartidos en diferentes museos y la combinación de los datos resultantes. Aún ha de crearse el protocolo necesario para ello, aunque ya se está investigando la manera de construir una base de datos que recoja el emplazamiento de los fragmentos conocidos. La propuesta actual es ensamblar estos fragmentos y señalar claramente el punto de unión de forma discreta, pero visible. Además, la restauración de determinadas características que se repiten puede llevarse a cabo mediante la reproducción de características equivalentes halladas en cualquier otro lugar de la tumba. En teoría sería posible restaurar la tumba entera de forma que reflejara el aspecto que mostraba cuando fue descubierta en 1817, o incluso cómo era en la época del mismo Seti I.

per square metre. At such a high resolution even the most minute details are reproduced, such as overlapping brushmarks and the grain of the paint surface.

The digital data collected during the project will be a valuable record of the tomb for use in future conservation work, for example as a reference tool for monitoring of the movement of the rock strata and the deterioration of the paintings. It will also be an important academic resource, making the paintings and inscriptions more widely accessible and reducing the need for first-hand research in the tomb itself.

Another advantage of digital media is the potential to manipulate the data. It will be possible to restore some areas by scanning fragments of the tomb that are in museum collections and merging the data. The precise protocol for this has yet to be established although the current proposal is to insert these fragments while clearly marking the join in a discreet but visible way. Restoration of certain repeated features can be carried out by reproducing equivalent features from elsewhere in the tomb. In theory, it would be possible to restore the entire tomb to suggest how it may have looked when it was uncovered in 1817, or how it may have looked in the days of Seti I.

RECOPIACIÓN DE DATOS

DATA GATHERING





Izquierda:
Escaneado en la
tumba.

Opuesto: Montaje
del escáner.



Left: Setting up the
scanner.

Opposite: Scanning
in the tomb.

ESCAÑEADO LÁSER TRIDIMENSIONAL

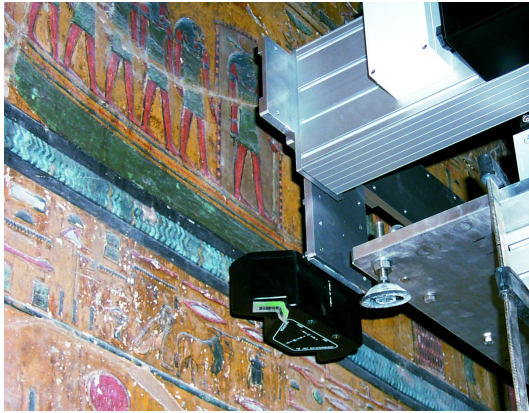
El proyecto para la realización del facsímil requiere un sistema que permita el escaneado vertical, in situ, y con una alta resolución impecable. Otra exigencia, dada la escala del proyecto, es la de poder reducir el tiempo necesario para el post-procesado. FactumArte ha trabajado en colaboración con 3D Scanners UK a fin de desarrollar el prototipo de uno nuevo, llamado Escáner Seti (Seti Scanner). Rapier Engineering (Gran Bretaña) se ha encargado de su construcción. El prototipo fue utilizado satisfactoriamente durante la sesión de prueba en el interior de la tumba, que duró seis semanas. Tras este periodo se llevaron a cabo otras modificaciones, entre ellas el desarrollo de software nuevo.

El Escáner Seti está formado por una cabeza Reversa de alta resolución montada en un sistema de rieles construidos para este propósito, y es controlado por ordenador. Factum Arte se encargó de diseñar para este proyecto el software que dirige el servomotor en los rieles lineales del sistema. Una vez montado y calibrado, el escáner realizará un escaneado previo de una sección de la pared de 52 cm², a fin de establecer la profundidad máxima y mínima, calcular el número de barridos que tendrá que realizar, escanear la superficie, recolocarse y seguir escaneando hasta haber recopilado el número óptimo de datos. Terminada la operación, los datos se numeran y se descargan en el

3D LASER SCANNING

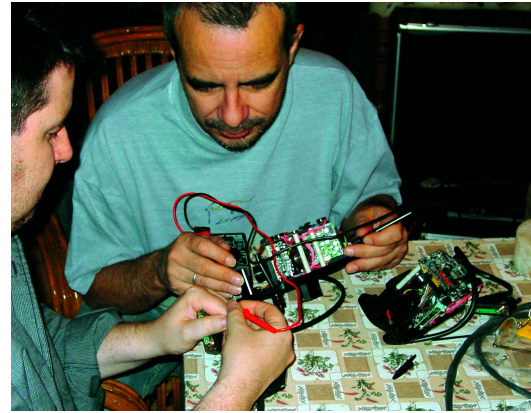
The facsimile project demands a scanning system that can scan vertically, in situ, to a rigorously high resolution. An additional demand, owing to the scale of the project, is the need to reduce the time spent on post-processing. Factum Arte worked with 3D Scanners UK to develop the prototype for a new system, the Seti Scanner. This scanning system was built by Rapier Engineering in the UK and was used successfully during the six-week trial season in the tomb. Following this period of work, further modifications were made, including the development of new software.

The Seti Scanner consists of a high-resolution Reversa scanning head mounted onto a specially designed tracking system which is controlled by a computer. The software to control the servo motor on the linear drives of this system has been specially written by Factum Arte. Once the scanner has been set up and calibrated it will automatically prescan a 52cm sq section of the wall to establish the minimum and maximum depth, calculate the required scanning passes, scan the surface, reposition and rescan until it has gathered an optimum data set. When this operation is completed the data is numbered and downloaded to the computer. The scanner then



Izquierda:
Escaneado en la
cámara mortuoria.

Opuesto: Reparando
el escáner en Luxor.



Left: Conducting
repairs in the field.

Opposite: Scanning
in the burial
chamber.

ordenador. El escáner se repositiona en vertical automáticamente y repite el proceso en la baldosa superior. Puede repetir el proceso hasta seis veces, escaneando automáticamente una sección de 52 cm de ancho y tres metros de alto. Mientras el Escáner Seti realiza su tarea, el operador puede comprobar los datos y copiarlos a un disco compacto. Después puede desplazarse el escáner a la siguiente posición para reiniciar el proceso. El software Riscan, utilizado por el escáner para capturar y mostrar datos, ha sido modificado sustancialmente por Factum Arte a fin de incorporar una serie de nuevas funciones operativas.

Una de las principales preocupaciones a la hora de diseñar el sistema ha sido la de prever problemas que pudieran surgir al trabajar sobre el terreno. El Escáner Seti ha sido ideado para resistir las altas temperaturas y el polvo del interior de la tumba, así como las fluctuaciones en el suministro de electricidad. Otro factor de importancia era la posibilidad de reparar el escáner in situ. También era necesario que fuese fácil de calibrar.

El Escáner Seti es capaz de escanear el 80% de la superficie de la tumba. Para la parte restante se empleará un ModelMaker X, fabricado por 3D Scanners UK. La diferencia más significativa entre ambos sistemas es que la cabeza del ModelMaker está montada en un brazo articulado que permite seis grados de libertad en su posicionamiento.

Siguiente: Visualización de los datos tridimensionales del escáner ModelMaker.

automatically moves vertically and repeats the process on the tile above. It can repeat this six times, automatically scanning a section 52 cms wide and 3 meters high. While the Seti Scanner is scanning the operator can check the data and copy it to CD. The scanner can then be moved to the next position to repeat the process. The Riscan software used by the scanner to capture and display the data has been significantly modified by Factum Arte to incorporate a number of new operating features.

The logistics of working in the field was an important issue in the design of the system. The Seti Scanner is designed to be robust enough to cope with the heat and dust inside the tomb, as well as with fluctuations in the electricity supply. The ability to repair the scanner in the field is also a significant factor. It must also be easy to calibrate.

The Seti Scanner is capable of scanning 80% of the surface of the tomb. The remaining parts will be scanned using a ModelMaker X made by 3D Scanners UK. The most significant difference between these systems is that the ModelMaker scanning head is mounted on an articulated arm which has six degrees of movement. It is a hand-held system and flexible enough to scan around corners and in areas

Overleaf: A visualisation of the 3D data.





Izquierda:
Visualización del
software que alinea
las baldosas.

Opuesto: El
ModelMaker X



Left: The
ModelMaker X.

Opposite: The 3D
data appears on
computer screen in
real time.

Se trata de un sistema manual lo bastante flexible como para escanear rincones y zonas a las que el Escáner Seti no tiene acceso. No obstante, los datos recogidos son de resolución inferior, y la pericia del operador es fundamental. El Modelmaker puede escanear con una precisión de 200 micras (0,2 mm) y genera una nube de puntos aleatorios que debe procesarse con el programa *Surfacer* antes de que pueda procederse a su unión con los datos Riscan procedentes del Escáner Seti.

La decisión de utilizar este sistema de captura de datos ha desempeñado un papel importante a la hora de reducir el tiempo necesario para el post-procesado previo al fresado. Los puntos generados por el Escáner Seti mantienen una distancia de 100 micras (0,1 mm) en una trama ortogonal, y la posición de cada punto es precisa a una resolución de una micra. Estos datos no requieren ninguna clase de interpolación.

DESARROLLO DEL SOFTWARE

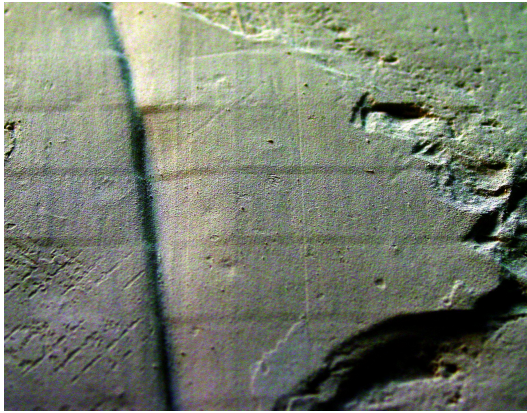
Cuando se efectúa un escaneado a tan alta resolución es inevitable que aparezcan elementos no deseados en los datos. Desarrollar nuevos programas de software que corrijan estos elementos, sin alterar los datos, lleva mucho tiempo y es tarea de especialistas. Factum Arte se ha encargado de este trabajo en sus propias instalaciones. El efecto tejado es el elemento del escaneado más fácil de ver y que más problemas

that are inaccessible to the Seti Scanner. The quality of the data gathered is of a lower resolution and is dependent on the skill of the operator. The ModelMaker X can scan to an accuracy of 200 microns (0.2mm) and generates a random point cloud which must be processed using *Surfacer* software before it can be merged with the Riscan data from the Seti Scanner.

The decision to use a mechanised system of data capture has been a critical factor in reducing the amount of post-processing needed to prepare the data for routing. The points of data gathered by the Seti Scanner are regularly positioned 100 microns (0.1mm) apart in an orthogonal grid and the position of each point is accurate to a resolution of 1 micron. This data does not require interpolation of any kind.

SOFTWARE DEVELOPMENTS

Artifacts in the data are unavoidable when scanning to such a high resolution. Writing new software to correct these artifacts without affecting the data is time-consuming and requires specialised skills. This has been done, in-house, by Factum Arte. The 'factory roofing' effect is the most visible and problematic scanner artifact caused by



Izquierda: Efecto tejado tal y como se ve en el vaciado de una baldosa.

Opuesto: Enfocando la cámara.



Left: Focussing the camera.

Opposite: The factory roofing effect as seen on a cast tile.

plantea; se debe a una ligera desalineación en cada barrido realizado por la cabeza del escáner, lo que produce una diminuta relevación en el área en que los barridos no han coincidido. En la pantalla se nos presenta como un detalle insignificante, pero se salta a la vista una vez que se han fresado los datos. El ojo es muy sensible a la presencia de elementos regulares en una superficie orgánica y, si no se eliminan, estas líneas estropearían la ilusión que proporciona un facsímil. También se ha desarrollado un software que orienta las baldosas, a fin de asegurar una alineación perfecta que permita un encaje impecable tanto en los ejes horizontal como vertical. Con este programa también pueden eliminarse otros elementos, como picos, agujeros en los datos, vibraciones o ruido.

FOTOGRAFÍA DIGITAL

Factum Arte y Senecio Digital investigaron el mejor método de registrar digitalmente el color de las superficies pintadas de la tumba. Durante la sesión de prueba se ensayaron dos métodos: fotografía digital y un sistema de escaneado plano. Los datos fotográficos se registraron con una cámara Hasselblad dotada de una lente de 120 mm y equipada con un respaldo digital Phase One H20 que funciona con un chip de Kodak. Esto genera un primer archivo LAB/RGB de 48 megabytes de una densidad de color de 24 bits. La cámara se había montado en un trípode a una distancia determinada de la pared y los datos del color se

slight misalignment in each pass of the scanning head resulting in a tiny ridge between passes. This is not significant when viewing the image on screen but is instantly visible once the data has been cut. The eye is very sensitive to regular artifacts that occur in an organic surface and unless removed these lines would destroy the realistic effect of the facsimile. Software has also been written to orientate the complete tiles to perfect alignment, ensuring a seamless fit in both horizontal and vertical axes. Other artifacts such as spikes, holes in the data, vibrations and noise can also be removed using this programme.

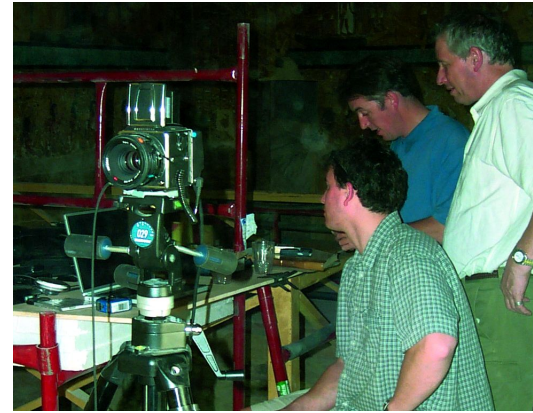
DIGITAL PHOTOGRAPHY

Factum Arte worked with Senecio Digital to identify the best method to record the colour on the painted surface of the tomb digitally. Two methods were tested in the trial season - digital photography and a flatbed scanning system. The photographic data was recorded using a Hasselblad camera with a 120mm digital lens, fitted with a Phase One H20 instant capture back running on Kodak chip technology. This generates a raw LAB/RGB file of 48 megabytes with a 24 bit depth of colour. The camera was mounted



Izquierda: Montaje de las luces.

Opuesto: Conexión de la cámara al ordenador portátil.



Left: Connecting the camera to the laptop.

Opposite: Setting up the lights.

capturaron en cuadrículas de 52 cm. Después se numeraron los archivos y se transfirieron in situ a un disco compacto.

El uso de cualquier sistema basado en el uso de lentes acarrea cierto grado de distorsión dimensional. Esto es de fundamental importancia, pues incluso la diferencia más minúscula lleva a problemas de registro en los datos tridimensionales. Un problema adicional es que al intentar crear una imagen plana de una superficie tridimensional se produce una ligera distorsión en la perspectiva que es preciso eliminar.

Si se desea que el registro del color sea el correcto es fundamental que la fuente de luz sea siempre la misma. En la elección de la fuente de luz es importante tener en cuenta las condiciones del interior de la tumba, en particular los problemas que podrían surgir a causa del calor y de los rayos ultravioleta que emiten la mayoría de los focos. Para la sesión de prueba utilizamos un par de lámparas *Larn* fluorescentes montadas en trípodes, calibradas de modo que emitieran la misma intensidad luminosa que la luz del día y que respetasen de manera estricta los criterios de conservación estipulados en lo relativo al calor y los rayos ultravioleta.

Tras la sesión de prueba en la tumba se decidió dotar al Escáner Seti de luces y una cámara de diez millones de píxeles con el propósito de registrar las secciones más pequeñas con mayor distancia focal a mayor resolución. Este método simplifica algunos de los problemas que surgen al unir los datos tridimensionales y los del color.

on a tripod at a fixed distance from the wall and colour data was captured in 52cm tiles. The files were then numbered and written to CD on site.

The use of any lens-based system results in a degree of dimensional distortion. This is critical because even the most minute difference leads to problems of registration with the 3D data. An additional problem is that attempting the flat imaging of a three-dimensional surface produces very slight perspectival distortion which needs to be accounted for.

In order to record accurate colour it is essential to maintain a consistent light source. When choosing a light source it was also important to consider the conditions inside the tomb, particularly the potential problems caused by the heat and ultraviolet (UV) light emitted by most bulbs. For the trial season a pair of tripod mounted *Larn* fluorescent light units were used. These lights are calibrated to have the same colour temperature as daylight and are designed to meet stringent conservation criteria relating to the emission of UV light and heat.

Following the trial season in the tomb it was decided to integrate a 10 million megapixel camera and lights into the Seti Scanner in



Izquierda y opuesto:
Mezcla de las
muestras pintadas
con gouache.



Left and opposite:
Mixing gouache
swatches.

MEDICIÓN DEL COLOR

Además de la fotografía digital era fundamental contar con un archivo físico de los colores de la tumba, de manera que sirvieran de guía de referencia llegado el momento de imprimir las baldosas. Durante la sesión de prueba se evaluaron cuatro métodos de medición del color: la Tabla de Colores Munsell, el colorímetro Minolta CR-221, la copia del color mediante un aparato desarrollado por Factum Arte y la sencilla asignación del color a ojo de muestras pintadas con gouache.

Se seleccionaron zonas coloreadas de la pared y se igualaron a ojo con colores en gouache. Al mismo tiempo se anotaron todos los comentarios relativos a los detalles de la superficie, como el desgaste o la textura, por ejemplo. Este método requiere una fuente luminosa constante, y que se parezca todo lo posible a la luz del día. Sin duda, el mezclado de las muestras de gouache es un proceso subjetivo, y en él influye en gran medida la pericia y buen criterio de quien lo realiza. No obstante, la principal ventaja de éste es que es muy flexible y tiene en cuenta las variaciones de la superficie, como gradaciones de color o texturas irregulares.

El principal escollo con que nos encontramos al registrar el color es la extrema complejidad de la superficie pintada. La paleta con que se realizaron las pinturas era limitada, y cada color ocupa una amplia superficie, pero el envejecimiento a través de los siglos unido a la

order to record smaller sections with a greater depth of focus at a higher resolution. This approach simplifies some of the problems encountered when merging the 3D and colour data.

COLOUR MEASUREMENT

In addition to the digital photography it was essential to have a physical record of the colours in the tomb so as to have a guide to refer to when printing the tiles. During the trial season four methods of colour measurement were tested: the Munsell Book of Colour, the Minolta CR-221 colourimeter, copying the colour using a device developed by Factum Arte, and straightforward colour matching, by eye, in painted gouache swatches.

Colours of selected areas of the wall were matched by hand in gouache paint and painted onto paper swatches. At the same time notes were taken of any other useful details about the surface, for example, abrasion or texture. This method requires a very consistent light source that is as similar to daylight as possible. The production of painted swatches is undoubtedly a subjective process and dependent on the skill and judgement of the colourist, nevertheless, the main advantage of this method is that it is very flexible and can



Izquierda exterior:
La compleja
superficie pintada.

Opuesto: En
algunas zonas la
superficie tiene un
brillo reflectante.



Left: In some areas
the surface has a
reflective sheen.

Opposite: The
complex painted
surface.

intervención de la mano del hombre desde su descubrimiento hacen que nos encontremos con una superficie revesada e inconsistente. En un área de un mismo color, aunque sea pequeña, pueden apreciarse muchos tonos.

Previamente se investigó qué pigmentos y aglutinantes utilizaban los antiguos egipcios a fin de comprender las variadas características de las superficies de la tumba. A partir de la información tridimensional se logra comprender mejor las técnicas que empleaban, pero en ello no evita que deba observarse detenidamente las superficies pintadas de la tumba, sino que más bien sirve de ayuda complementaria. El escaneado debe ir acompañado siempre de un estudio detallado en el que se describan las impresiones de la superficie: las variaciones de cada uno de los colores, la textura, la calidad de mate o brillo, los restos de otras pinturas en capas inferiores o de correcciones, los varios tipos de daños sufridos por las paredes, en particular la forma en que la pintura se agrieta y se descascarilla, la presencia de acumulaciones o residuos, o la forma en que encajan el relieve tallado en la superficie y el color.

be adapted to cope with the variations in the surface such as gradations of colour and uneven textures.

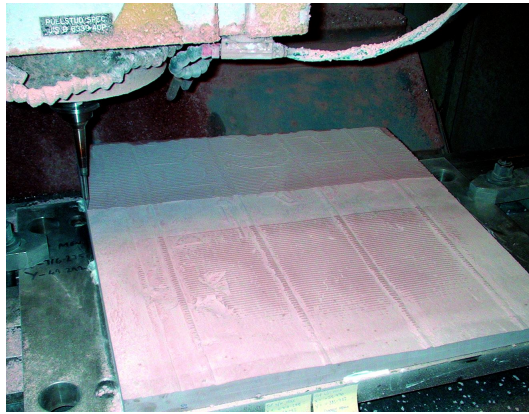
The main difficulty of recording the colour is the extreme complexity of the painted surface. The paintings were executed as broad areas of paint with a limited palette but a combination of centuries of ageing and modern interference has resulted in an inconsistent and intricate surface. Even within a tiny area of colour there is a wide variety of hue and tone.

Research was carried out into which pigments and binders were used by the Ancient Egyptians in order to understand the range of surface characteristics in the tomb. A partial understanding of their techniques can be gained from the 3D information, but this supplements rather than replaces, close observation of the painted surface in the tomb. All scanning must be accompanied by a detailed survey of surface effects recording the variations within each colour, the surface texture, the varieties of matt and gloss surface, evidence of underpainting and corrections, the character of the cracking and flaking, the presence of deposits or residues and the fit between the carved relief surface and the colour.

PRODUCCIÓN

PRODUCTION





Izquierda: Cortando una baldosa.

Oposición: Baldosas fresadas.



Left: Routed tiles.

Opposite: A tile being cut.

FRESADO

De vital importancia al realizar el fresado era poder mecanizar a la mayor resolución posible al tiempo que se reducía al mínimo cualquier muestra visible del proceso. Pero también era preciso tener en cuenta el tiempo necesario para el proceso y su coste. Se realizaron una serie de pruebas para determinar la mejor combinación de software, herramientas y sustrato. Delcam UK se encargó de ensayar el fresado de los datos recogidos durante la sesión de prueba, para ello utilizó una fresadora Bridgeport y software *Artcam*. Se utilizaron paneles de poliuretano de uso industrial. Las baldosas se mecanizaron con una herramienta redondeada de 0,6 mm y una distancia entre pasadas de corte de 0,1 mm. A esta resolución cortar una baldosa llevaba aproximadamente 24 horas.

La mayor parte de las dificultades que surgen durante el fresado son de tipo práctico. El tamaño de los archivos es mayor de lo acostumbrado (los datos de una baldosa ocupan 650 MB) y la precisión del corte roza los límites de lo posible hasta que no se desarrollen nuevos equipos. Una baldosa de prueba se cortó con una cuchilla redondeada de 0,1 mm y una distancia entre pasadas de corte de 0,03 mm; el resultado fue magnífico, pero utilizar un cuchilla de 100 micras aumenta drásticamente el tiempo necesario, y con ello los costes. Es preciso que avance más la investigación y el desarrollo si se quieren aumentar la velocidad y calidad del corte sin sacrificar ninguno de los datos.

ROUTING

When routing the tiles it was essential to cut to the highest possible resolution while minimising the visible evidence of the machining. However, the cutting time and cost also had to be considered. A range of tests were carried out to identify the best combination of software, cutting heads and substrate. For the test section the data gathered during the trial season was routed by Delcam UK using Artcam software on a Bridgeport router. Industrial grade polyurethane board was used. The tiles were offset-cut using a 0.6mm ball-nosed cutter with a 0.1mm stepover. At this resolution one tile took about 24 hours to cut.

Most of the difficulties arising during the routing are practical. The size of the files (data for one tile is 650 MB) is larger than those usually used and the accuracy of the cutting is at the limit of what is practically possible without designing new equipment. One test tile was cut with a 0.1mm ball-nosed cutter and a stepover of 0.03mm with impressive results, but using the 100 micron cutting head dramatically increases the cutting time and therefore the cost. Further research and development is required to increase the speed and efficiency of the cutting without sacrificing any of the data.



Izquierda: Taller de Factum Arte

Oponesto: Probando los materiales.



Left: Testing materials.

Opposite: Factum Arte's plaster workshop.

MOLDEADO Y VACIADO

Tras examinar detenidamente cada una de las baldosas fresadas, se limpian y se crea un molde de silicona. La ventaja de utilizar moldes en vez de utilizar directamente los originales fresados es que el fresado ocupa la mayor parte del tiempo empleado para el proceso, y durante la impresión se desperdicia mucho material. De la labor de moldeado y vaciado se encargó Factum Arte en sus propios talleres de Madrid, lo que permitió que se probaran los materiales para los moldes al tiempo que se desarrollaban los diversos aspectos del proceso de impresión.

Se probaron e imprimieron más de 250 combinaciones diferentes de métodos y materiales hasta llegar a obtener la superficie óptima. El propósito de estas pruebas era encontrar la mejor manera de conseguir una superficie que se pareciera a la capa original de pintura, tanto en la textura como en el brillo, y ello sin perder un ápice del elaborado detalle captado durante el fresado. También era fundamental que el sustrato aceptase a los pigmentos utilizados en la impresión, de modo que el resultado fuese de alta resolución y presentase la gama real de colores. El sustrato también debía ser estable, fácil de cortar y prestarse bien al acabado a mano.

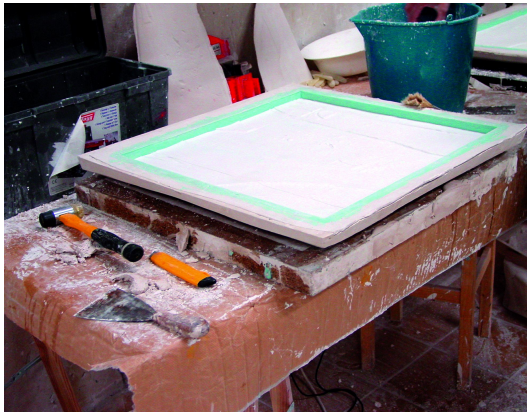
De entre los materiales utilizados mencionaremos acrílicos, caseína, témpera, guache, varios tipos de cola, varios engrudos conservantes, resinas y poliuretano. También se desarrollaron experimentos con

MOULDING AND CASTING

The routed tiles are inspected, cleaned and then a silicon mould is produced. The advantage of making moulds rather than using the routed masters directly is that the routing is the most time-consuming part of the process and wastage levels during the printing are significant. The moulding and casting work has been carried out at Factum Arte's workshops in Madrid. This has enabled all tests on the casting materials to be done alongside the development of the various aspects of the printing process.

Over 250 different combinations of methods and materials were tried and printed before the best surface was found. The aim of the tests was to find the best way to achieve a surface that resembled the original paint layer in both texture and sheen, without losing any of the intricate detail achieved in the routing. It was also critical that the substrate should respond well to the pigments used in the printing to ensure high resolution results and a true range of colour. The substrate also had to be stable, easy to cut and had to respond well to hand-finishing.

Materials used during the testing include: acrylics, casein, tempera, gouache, various glues, conservation pastes, resins, and



Izquierda:
Aplicación de la
mezcla de aparejo
flexible al molde.

Opuesto: Baldosas
de aparejo flexible
listas para la
impresión.



Left: Flexible gesso
tiles waiting to be
printed.

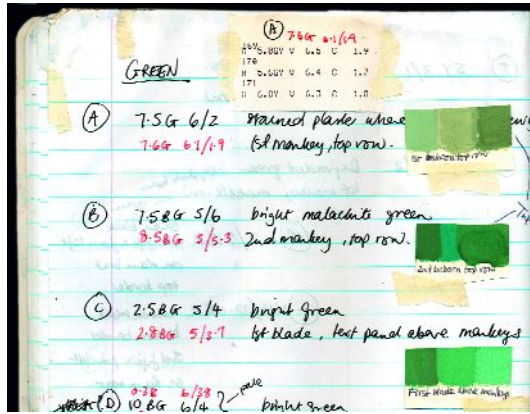
Opposite: Painting
the gesso mix into a
mould.

diversos revestimientos preparados y capas receptoras que mejoran la resolución de impresión e impiden que los puntos se extiendan. Además, se investigó en la misma tumba qué capas de yeso, aglutinantes y técnicas pictóricas habían sido utilizadas; labor fundamental para poder desarrollar una superficie imprimible que ni la vista ni el tacto distinguiesen del original. Tras exhaustivas pruebas desarrollamos un yeso acrílico flexible.

Fue necesario utilizar un sustrato flexible, dado lo difícil que resulta imprimir con precisión sobre una superficie irregular. La impresora puede imprimir en bajorrelieve, pero pierde resolución si las irregularidades sobrepasan los dos centímetros de profundidad. Este problema surge donde la estructura general de los muros no es lisa. Si las baldosas se vaciaron en bloques sólidos de yeso no se obtendría una impresión precisa por toda la superficie. Cualquier área alejada en exceso de las cabezas impresoras saldría borrosa. Por esta razón, cada baldosa se hace con dos capas separadas: una lámina flexible en la superficie y una madre de mezcla de poliuretano. La lámina superior de aparejo flexible se puede aplanar para situarse en la plancha de impresión sin perder por ello detalle de la superficie. Así puede imprimirse en plano para después ser montada sobre la madre.

polyurethane. Experiments were also carried out with prepared coatings and receiver layers that enhance the print resolution and prevent the dots from spreading. The research carried out in the tomb to identify the gesso layers, binders and painting techniques was essential in the development of a printable surface that looks and feels like the original. The result of the extensive tests was the development of a flexible gesso.

A flexible substrate was needed because of the difficulty of printing accurately onto an uneven surface. The printer is able to print onto a bas-relief but loses resolution if the surface undulates unevenly by more than a depth of around 2cm. This arises where the overall structure of the wall is not flat. If the tiles were cast in solid blocks of plaster the accuracy of the printing might not be maintained over the whole surface. Any areas too far away from the print heads would be blurred. Each tile is therefore made out of two separate layers – a flexible surface sheet and, beneath it a base, cast in a polyurethane mix. The flexible gesso top sheet can be flattened onto the bed of the printer without sacrificing the surface detail. It can then be printed flat. The printed sheet is then mounted back onto the base.



Izquierda: Notas sobre el color recogidas en la tumba.

Opuesto: Pruebas de color impreso.



Left: Printed colour tests.

Opposite: Colour notes taken in the tomb.

ASOCIACIÓN DE COLORES

La corrección y manipulación de los colores es parte esencial de cualquier proceso de impresión. Los datos relativos al color deben convertirse en datos imprimibles que respeten las limitaciones del sustrato. Este trabajo lleva mucho tiempo y es muy especializado, y debe realizarlo un operador que se maneje bien con Adobe Photoshop y Onyx Postershop.

Se realizó un perfil de color ICM para el sustrato de yeso. Para ello se utilizó el colorímetro y software de Gretag. Con este perfil se construyeron curvas de colores especiales que se aplicaron a cada archivo digital antes de realizar los últimos ajustes. Se trata de un proceso de ensayo-error; en primer lugar se corrigen todos los colores juntos y después se trabaja con curvas de colores selectivos para crear aquellos colores que no entran en la gama. Los colores de la tumba son muy delicados, y una desviación de sólo el uno o dos por ciento produce cambios radicales.

La asociación de color se realiza consultando constantemente las muestras tomadas en la tumba, y bajo las mismas condiciones luminosas. Se diseñó una franja en la que aparecían los ocho colores comprendidos en la gama que aparece en la tumba, y se incorporó a cada juego de fotografías.

COLOUR MATCHING

The correction and manipulation of colours is an essential part of all printing processes. The colour data must be converted into a printable form that takes into account the limitations of the substrate. The work is time-consuming and highly specialised, and requires an operator with good working knowledge of software to control the image manipulation and colour management.

An ICM colour profile for the gesso substrate was built using the Gretag colour measuring system and software. This profile was used to construct special colour curves which were applied to each digital file before the final adjustments were made. This is a process of trial and error, first correcting all the colours together and then working with selective colour curves in order to create the colours that fall out of the range. The colours in the tomb are very subtle and a movement of one or two percent has a dramatic effect.

The colour matching is done with constant reference to the painted colour swatches taken in the tomb and under the same lighting conditions. A painted colour bar, containing eight colours spanning the range of colours used in the tomb, was also made and was incorporated into each set of photographs.



Izquierda: Detalle de una baldosa fuera de registro.

Opuesto: Utilización de una hoja de acetato para registrar una baldosa.



Left: Using an acetate sheet to register a tile.

Opposite: Detail of a misregistered tile.

COMBINACIÓN DE DATOS

Cada fase del proceso de producción origina distorsiones minúsculas, y si el registro no es perfecto se rompe la ilusión de una superficie homogénea. El registro se complica dado que el relieve y la pintura tienen pocos puntos cuya coincidencia sea predecible. La solución fue centrar la atención en las zonas bien delimitadas donde la pintura había sido dañada. El primer paso consistió en "encajar" los datos de color con los del relieve. Se tomaban secciones pequeñas de una en una, y las fotografías de color se colocaban encima de los datos de relieve y se distorsionaban hasta que encajaban a la perfección. El segundo paso fue corregir el balance del color entre las baldosas.

El siguiente paso importante suponía registrar la impresión en la baldosa de yeso de modo que se situase correctamente. Para esto se utilizaron hojas de acetato, empleando una técnica parecida a la ya conocida en el cine de animación tradicional o en la impresión con transfer de pigmentos. Se ajustaba una hoja de acetato a la plancha de impresión mediante un sistema de pernos y agujeros especialmente diseñados. Después se producían máscaras digitales y se imprimían en el acetato utilizando como guía el contorno de las grietas específicas. Posteriormente, la baldosa de yeso se colocaba a mano debajo del acetato hasta que las formas impresas en éste estuviesen alineadas exactamente con las formas de la superficie en relieve.

Siguiente: La impresora Mammoth en el taller de Factum Arte.

MERGING THE DATA

Every stage of the production process introduces minute distortions and if the registration is not perfect the illusion of an integrated surface is destroyed. The registration is complicated by the fact that the relief and the painting have few points that coincide in a predictable way. The solution was to focus attention on sharp-edged areas of paint loss. The first stage was to 'fit' the colour data to the relief data. Taking small sections at a time, the colour photographs were laid over the relief data and distorted until they fitted perfectly. The second stage was correcting the colour balance within each tile and between adjoining tiles.

The next important stage was to register the printing onto the gesso tile so that it was positioned correctly. This was done by using acetate sheets, in a technique similar to that used in traditional animation or pigment transfer printing. An acetate sheet was attached to the printing bed via a system of shaped, punched holes and pins. Digital masks were produced and printed onto the acetate using the outlines of specific cracks as a guide. The gesso tile was then positioned beneath the acetate by hand until the shapes printed on the acetate aligned exactly with the shapes on the relief surface.

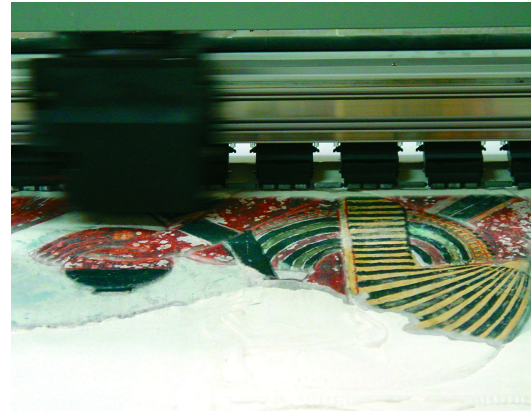
Overleaf: The Mammoth printer in Factum Arte's workshop.





Izquierda:
Impresión del panel
de yeso para el
nicho.

Opuesto: Impresión
de una baldosa.



Left: Printing a tile.

Opposite: Printing
the plaster panel for
the niche.

IMPRESION

Todo el trabajo de impresión se llevó a cabo en los talleres que Factum Arte posee en Madrid. Para ello se utilizó una impresora Mammoth con una plancha de impresión de 113 x 300 cm y equipada de cabezas pigmentadas de Epson controladas por RIP *postscript*. Las baldosas de aparejo flexible se imprimieron con una resolución de 1.220 dpi. La impresora reparte pequeñas gotas de tinta de forma irregular, de modo que incluso si analizamos la superficie aumentada de tamaño no discerniremos patrón alguno.

Nos llevó hora y media registrar e imprimir cada una de las baldosas de 52 cm². La impresión necesitaba de una supervisión constante, a fin de comprobar que las cabezas de impresión no se bloqueaban o entraban en contacto con la superficie de la baldosa durante la impresión.

Después de impresa, examinábamos cada baldosa detenidamente para cerciorarnos de que no se habían producido errores de registro, color o ganancia de punto. Ahora estamos trabajando en el desarrollo de una impresora más avanzada, con cabezas impresoras dinámicas capaces de seguir la superficie irregular de los muros.

Para la impresión se emplearon tintas pigmentadas en vez de las estándares de colorantes. Las de tinte no son estables a la luz, y pueden apagarse en poco tiempo, mientras en condiciones de iluminación de museo, las pigmentadas pueden mantener su calidad durante al menos cien años. Otra ventaja de la utilización de tintas pigmentadas es que

PRINTING

All printing work was carried out at Factum Arte's workshop in Madrid using a specially modified Mammoth printer with a 113 x 300cm printing bed. The printer is fitted with Epson piezo pigment heads controlled by a postscript RIP. The gesso tiles were printed to a resolution of 1220 dpi. The printer places ink droplets in a stochastic or random pattern so even under magnification no regular pattern is discernable.

It took one and a half hours to register and print each 52 cm² tile. The printing needed constant supervision to ensure that the printing heads did not get blocked or make contact with the surface of the tile during printing. After being printed each tile was carefully checked to make sure there were no errors in the registration, colour or dot gain. We are now working on the production of a more advanced printer with dynamic print heads that will track the undulating surface of the wall.

The printing was carried out using pigment-based inks rather than dye-based inks. Dyes are not light-fast and are susceptible to rapid fading whereas it is anticipated that pigments are unlikely to degrade under museum lighting conditions for at least 100 years.



Izquierda:
Colocación de las baldosas en la estructura de madera.

Opuesto: Fijación de las baldosas de aparejo flexible a las madres de escayola.



Left: Fixing the gesso tiles to their bases.

Opposite: Positioning the tiles on the wooden frame.

sería posible desarrollar toda una gama de tintas cuya base fueran los pigmentos utilizados por los antiguos egipcios. Éste es un campo aún en estado de desarrollo.

MONTAJE

Las medidas tomadas en la tumba nos sirvieron como guía para construir una estructura de madera. Esta estructura se diseñó cuidadosamente de modo que proporcionase puntos de anclaje para las bases de poliuretano expandido. El cortado y posicionado se realizó con las baldosas colocadas ya en su sitio en esta estructura de madera. Las baldosas impresas se cortaron de manera que encajasen a lo largo de las juntas; éstas se ajustaban al trazo de las grietas o bordes del original, pues de haber sido rectas hubiesen saltado de inmediato a la vista. Fue una labor enrevesada, pues era importante que las uniones de las *madres* de escayola no se correspondiesen con las de las baldosas de aparejo flexible, pues de ser así la estructura final se hubiera visto debilitada. Una vez cortadas, las baldosas se fijaron de forma permanente. Las *madres* se fijaron a la estructura de madera desde detrás con ayuda de resinas y fibra de vidrio. Por último, se acoplaron las baldosas de aparejo flexible.

Las zonas del muro donde no había pintura decorativa no se escanearon, sino que se fotografiaron y se construyeron a mano. En el

Another advantage of using pigment-based inks is that it would be possible to develop a range of inks based on similar pigments used by the ancient Egyptians. Further development is needed in this area.

ASSEMBLY

Measurements taken in the tomb were used as a guide to construct a wooden substructure. This structure was carefully designed to provide fixing points for the polyurethane bases. Trimming and positioning was carried out with the tiles in place on this wooden frame. The printed tiles were trimmed so as to fit together along joints that followed naturally occurring breaks or outlines because any straight line would instantly distract the eye. It was an intricate task – it was important that the joints on the base tiles should not correspond with the joints in the gesso tiles as this would weaken the final structure. Once they had been trimmed the tiles were fixed permanently in place. The bases were fixed to the wooden structure from behind using resin and fibreglass. Finally, the gesso tiles were attached.

Areas of the wall where there was no painted decoration were not scanned but were photographed and then constructed by hand. In the test facsimile the main area made in this way was the bottom section of



Izquierda: Fijación de las baldosas finales.

Opuesto: Acabado a mano.



Left: Hand-finishing.

Opposite: Fixing the final tiles in place.

facsímil de prueba, la zona principal construida de esta manera fue la sección del fondo de la pared, añadida a la tumba para reparar los daños causados por inundaciones. Para estos añadidos se utilizó en el facsímil el mismo mortero de conservación que el de la tumba. La incorporación de estos materiales aumenta considerablemente el efecto realista del facsímil.

ACABADO A MANO

Una vez que se hubo montado toda la estructura, se aplicó una capa protectora a la superficie. Todas las juntas se retocaron cuidadosamente hasta lograr que resultaran invisibles en las condiciones de iluminación características de una exposición. También fue precisa la labor manual para conseguir el brillo que se aprecia en varias partes del muro, fundamental si se quería que los colores tuviesen la brillantez adecuada. Por lo general, la superficie de los cerros de las puertas y los nichos abiertos en las paredes tienen una peculiar capa de suciedad y grasa que se logró imitar mediante un cuidadoso trabajo manual. Las gotas de cera visibles en ciertas zonas de la pared también requerían especial atención, y se trataron con una superficie de cera. El retoque final consistió en aplicar a toda la pared una mezcla diluida de talco y tinte que crea un efecto de capa polvo. Se procedió a eliminarla parcialmente con gamuzas especiales.

Siguiente: El facsímil de 16 metros cuadrados terminado.

the wall that was put into the tomb to repair flood damage. For these additions the same conservation mortars were used in the facsimile as those used in the tomb. The addition of these materials significantly increases the realism of the facsimile.

HAND-FINISHING

Once the whole structure had been assembled it was sealed with a coating to protect the surface. All joins were then carefully retouched until they were invisible under the display lighting conditions. A degree of hand-finishing was also necessary to achieve the sheen which is apparent in various parts of the wall. This was essential to give the colours the required richness of tone. Around the door and niche openings the walls tend to have a dirty, oily surface with a particular character which was reproduced by careful hand-finishing. The wax drops visible in certain areas of the wall also required special attention and these were treated with a wax surface. The final retouching was to coat the entire wall with a dilute mixture of talc and dye to create the effect of dust. This was then partially removed with special dusters.

Overleaf: The finished 16 square metre facsimile.



CONCLUSIÓN

El elevado nivel de satisfacción con que se ha concluido la primera fase de este proyecto y la construcción del facsímil de prueba han demostrado que la reproducción digital de alta resolución a escala monumental es posible tanto desde un punto de vista técnico como logístico. La conclusión de la segunda fase (es decir, el registro y reproducción íntegros de la tumba de Seti I) constituiría, por su envergadura, un logro sin precedentes.

La aplicación de la tecnología digital promete cambiar la gestión y conservación del patrimonio artístico de manera radical. El éxito alcanzado con el facsímil de las cuevas de Altamira, alojado en el Museo de Altamira, ha demostrado que visitar una réplica en vez del original no constituye necesariamente una experiencia de segunda categoría. Es más, la tecnología digital puede ser una potente herramienta para la documentación de monumentos, al proporcionar un modo consistente y objetivo de registrar superficies y estructuras.

Proyectos de esta clase ofrecen enormes posibilidades para el desarrollo de la cooperación entre patrimonio y tecnología. La tecnología ya está disponible, y lo único que se necesita es entender las posibilidades que ofrece y adaptarla a los desafíos específicos que plantea la gestión del patrimonio. Más de una vez, esto conllevará necesariamente un cambio en nuestra postura respecto a la tecnología: no hay mejor forma de entender la importancia de los facsímiles de conservación que la experiencia de visitar uno.

CONCLUSION

The successful completion of the first phase of this project and the construction of the test facsimile has shown that high-resolution digital reproduction on a monumental scale is technically and logistically possible. The completion of the second phase – to record and reproduce the entire tomb of Seti I – would be an achievement of unprecedented scale and ambition.

The application of digital technology has the potential to radically change the management and conservation of heritage sites. The success of the Altamira museum, which houses a facsimile of the Altamira caves, has shown that visiting a replica rather than the original site need not be a second-rate experience. Furthermore, digital technology can be a powerful tool for the documentation of monuments by providing a consistent and objective way to record surfaces and structures.

There is much scope for the further development of the links between the heritage and technology sectors on projects of this kind. The technology already exists, and all that is necessary is that its potential is understood and that it is adapted to meet the specific challenges of heritage management. This will sometimes mean that attitudes towards the use of technology must change too: there is no better way to understand the significance of a conservation facsimile than by the experience of walking into one.

PUBLISHED BY / *PUBLICADO POR:*

Factum Arte

TEXT BY / *TEXTO POR:*

Adam Lowe and Jess Ahmon

EDITED AND DESIGNED BY / *EDITAD Y DISEÑAD POR:*

Jess Ahmon

SPANISH TRANSLATION BY / *TRADUCCIÓN AL ESPAÑOL BY:*

Raúl Ramos

FACTUM ARTE:

Adam Lowe and Manuel Franquelo (Directors / *Directores*)

Jess Ahmon, Juan Carlos Andrés, Silvia Esteruelas, Carmen Garcia Figueras,

Fernando Garcia-Gueta, Kevan Haslon, Pedro Miro and Tevi de la Torre

THANKS TO / *AGRADECIMIENTOS*

The Supreme Council of Antiquities, Egypt, Dr Ahmed Bahgat, and the three main sub-contractors; Senecio Digital, 3D Scanners and Delcam UK