

# ESTUDIO Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE ESPACIOS SINGULARES: MOLINOS DE VIENTO DE LA MANCHA

Enrique PÉREZ MARTÍN<sup>1</sup>, Tomás Ramón HERRERO TEJEDOR<sup>1</sup>, Miguel Ángel GÓMEZ-ELVIRA GONZÁLEZ<sup>1</sup>, Miguel Ángel CONEJO MARTÍN<sup>1</sup>, José Ignacio ROJAS SOLA<sup>2</sup>,  
Alejandra EZQUERRA CANALEJO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría-Expresión Gráfica. Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2</sup> Dpto. de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos. Universidad de Jaén

<sup>3</sup> Dpto. de Construcción y Vías Rurales. Universidad Politécnica de Madrid.

enrique.perez@upm.es, tomas.herrero.tejedor@upm.es, miguelangel.gomezelvira@upm.es,  
miguelangel.conejo@upm.es, jirojas@ujaen.es, alejandra.ezquerra@upm.es

## RESUMEN

En el Departamento de *Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría-Expresión Gráfica* de la Universidad Politécnica de Madrid venimos trabajando en los últimos años con el objetivo de representar gráficamente y poner en valor diferentes espacios singulares relacionados con la trashumancia, la observación del paisaje y el impacto visual de las grandes infraestructuras lineales.

Ejemplos significativos que afloran sobre la superficie terrestre son las vías pecuarias, en esa misma línea incluimos lugares de interés científico y cultural como los antiguos molinos y palomares. También incluimos obras bajo tierra como antiguas cuevas o bodegas subterráneas y túneles de gran longitud que están presentes en diferentes puntos de la península ibérica.

En cuanto a lugares de interés científico y cultural, los molinos de viento son una parte muy importante del patrimonio rural construido en nuestro país, por todo el territorio hay señales de ellos. Ya en desuso debido al avance tecnológico y a la aparición de nuevos sistemas más eficaces de molienda, los molinos no se utilizan para la función para la cual fueron diseñados y creados y por eso se están perdiendo, lo cual supone no sólo una pérdida del patrimonio agroindustrial, sino también la pérdida de una parte muy importante de nuestras raíces y de nuestra historia.

En la presente comunicación se pretende dar a conocer una metodología específica para representar gráficamente y divulgar este patrimonio agroindustrial. Se trata, por otra parte, de informar y concienciar a la sociedad, utilizando avanzadas tecnologías de ingeniería gráfica y cartográfica que ayuden a catalogar y conservar estos ingenios para nuestro patrimonio cultural.

En el estudio integral de estos espacios singulares, así como para la restauración, documentación gráfica y animación virtual del proceso de molienda en los Molinos de Viento, se han utilizado técnicas digitales de forma complementaria: Estación Fotogramétrica Digital (DPW), Sistemas de Posicionamiento por Satélite (GNSS), Dibujo Asistido por Ordenador (DAO) e Infografía.

Además de los molinos de Consuegra (Toledo) y Campo de Criptana (Ciudad Real), para su restauración virtual integral, también se ha tenido como referencia el molino del Tío Genaro en Madrideojos (Toledo) por ser el único que aún dispone del 90% de su maquinaria original, y por el buen estado de conservación de ésta.

Como resultados de la investigación aportamos además de los gráficos, ortoimágenes, tratamiento infográfico y multimedia, una metodología específica que integra las técnicas citadas. La principal conclusión es una respuesta al reto de la inventarización gráfica y divulgación técnica y científica de estos espacios singulares “los Molinos de Viento de la Mancha”.

**Palabras clave:** Ingeniería Gráfica, Espacio Singular, Molino de Viento, Patrimonio Rural Construido, CAD, Topografía, Fotogrametría y Cartografía.

**Presentación:** comunicación.

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio y representación gráfica de espacios singulares: molinos de viento de la Mancha forma parte de la tesis doctoral que llevaba por título: *Estudio histórico-tecnológico y representación gráfica de los molinos de viento de La Mancha, en la España de los siglos XVI al XIX, mediante técnicas de dibujo asistido por ordenador (DAO)* (PÉREZ, 2008).

Es evidente que los nuevos tiempos vienen acompañados de hábitos, costumbres, instrumentos y técnicas que en la mayoría de las ocasiones mejoran a sus ancestros. El caso de los molinos de viento es un ejemplo representativo de un pasado que poco a poco va desapareciendo de nuestra memoria. Este es un criterio básico a la hora de plantearnos el trabajo que aquí presentamos.

Es nuestro objetivo aportar soluciones efectivas y prácticas para la recomposición y reinterpretación de antiguas formas de trabajo, así como de los artilugios en los que se apoyaban.

El ejemplo que explicamos es un espacio singular por su emplazamiento geográfico y desde el punto de vista de la evolución en la percepción y observación del paisaje agrario, pues acoge en sus cotas altas unos molinos de viento que se empleaban en la molienda de granos.

Aportamos soluciones para su estudio, representación gráfica y cartográfica mediante la integración de técnicas asistidas dibujo, topografía, fotogrametría, cartografía e infografía.

## 2. LOCALIZACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se centra en los molinos de viento del espacio singular del Cerro Calderico en el municipio de Consuegra (Toledo) y Sierra de los Molinos y Cerro de la Paz en Campo de Criptana (Ciudad Real) (figura 1).

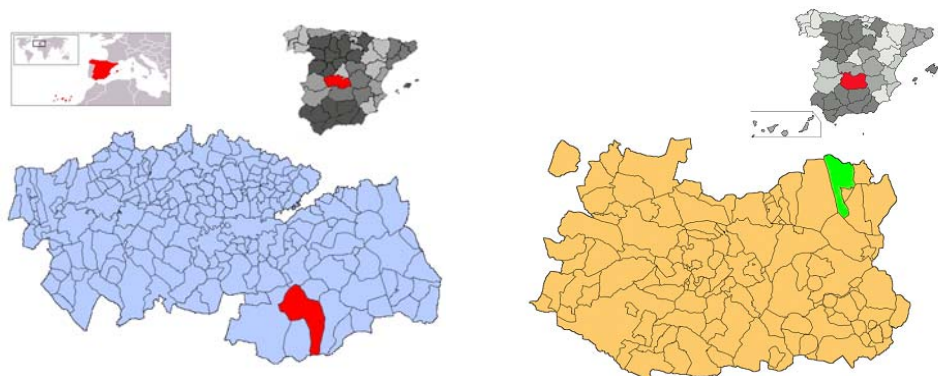


Fig. 1: Localización de Consuegra (Toledo) y Campo de Criptana (Ciudad Real)

La razón de la elección de los espacios singulares seleccionados en La Mancha: Consuegra y Campo de Criptana ha sido debido a que se trata de dos municipios de la Mancha con gran tradición en cuanto a molienda de cereal y además se caracterizan por ser declarados Sitio Histórico por Patrimonio Histórico Español (figura 2).

La declaración de Sitio Histórico conlleva según lo dispuesto en los artículos nº 11 y 16 de la Ley 16/1985, del Patrimonio Histórico Español, que las obras que hayan de realizarse en dicho Sitio Histórico, no podrán llevarse a cabo sin aprobación previa del proyecto correspondiente por el órgano autonómico con competencia en la materia (Comisión del Patrimonio Histórico respectiva o, en su caso, la propia Dirección General de Bienes y Actividades Culturales).

Patrimonio Histórico		Patrimonio Histórico	
<b>Bien:</b>	Cerro Calderico y sus Diez Molinos	<b>Bien:</b>	Molinos de viento "Cerro de la paz y Sierra de los Molinos
<b>Comunidad Autónoma:</b>	C.A. Castilla-La Mancha	<b>Comunidad Autónoma:</b>	C.A. Castilla-La Mancha
<b>Provincia:</b>	Toledo	<b>Provincia:</b>	Ciudad Real
<b>Municipio:</b>	Consuegra	<b>Municipio:</b>	Campo de Criptana
<b>Categoría:</b>	Sitio Histórico	<b>Categoría:</b>	Sitio Histórico
<b>Código:</b>	( A.R.I. - 54 - 0000229 - 00000	<b>Código:</b>	( R.I. ) - 54 - 0000145 - 00000
<b>Registro:</b>	( A.R.I.	<b>Registro:</b>	( R.I. )
<b>Fecha de Incoación:</b>	28-11-2006	<b>Fecha de Incoación:</b>	09-07-2001
<b>Fecha Boletín Incoación:</b>	12-01-2007	<b>Fecha de Declaración:</b>	03-05-2002
<b>Disposición:</b>	RESOLUCION	<b>Fecha Boletín Incoación:</b>	11-10-2001
<b>Matiz:</b>	TRAMITADOS 6º A	<b>Fecha Boletín Declaración:</b>	03-05-2002
		<b>Disposición:</b>	RESOLUCION
		<b>Matiz:</b>	TRAMITADOS 6º A

Fig. 2. Consulta en la base de datos de Patrimonio Histórico. Ministerio de Cultura

Fernández-Layos (1985) describe como uno de los primeros grabados en el que nos aparece la crestería del cerro Calderico data del siglo XVIII, como consecuencia de uno de los viajes de Don Juan José de Austria, dibujado por Pier María Baldi, aparece el Calderico totalmente desposeído de molinos de viento, solamente coronado por la vieja fortaleza sanjuanista. La utilización del castillo hasta el siglo XVIII como sede Prioral, seguramente condicionó la prohibición de ubicar en su entorno estos ingenios. En el siglo XVIII, las crónicas destacan dos molinos harineros sobre el río Amarguillo. Sobre el 1847 Consuegra cuenta con 10 molinos de viento (Madoz, 1846), seguramente la mayoría sobre el cerro Calderico (figura 3).



Fig. 3. Molino en el Cerro Calderico (Consuegra) con cubierta de madera.1920 Fondo Rodríguez (Archivo Histórico Provincial de Toledo)

Actualmente se hallan en pie once de los trece molinos que en su día coronaban el cerro. El denominado "Sancho" conserva maquinaria del siglo XVI en perfecto estado, sirviendo al acto de la molienda de trigo que anualmente se celebra en la ciudad coincidiendo con la Fiesta de la Rosa del Azafrán (último domingo de octubre). Otros molinos de interés son "El Caballero del Verde Gabán" con ediciones del Quijote en diferentes idiomas, así como una edición en Braille de 22 volúmenes; "Chispas" que acoge la obra de Gregorio Prieto; "Bolero" aloja la oficina de turismo y "Espartero", ambos restaurados por la Escuela Taller de Consuegra, este último con exposición de trabajos realizados por escuelas taller de la provincia.

Los Molinos de Viento de Campo de Criptana presiden los parajes de Sierra de los Molinos y Cerro de la Paz. Según el Catastro del Marqués de Ensenada, de 1752, había más de 30 Molinos de Viento en la "Sierra de los Molinos" de Campo de Criptana. De los que existieron en otro tiempo, sólo se conservan diez. Tres de ellos, los denominados Sardinero (en el Cerro de la Paz), Burleta e Infante, están declarados Bienes de Interés Cultural por Real Decreto de 7 de diciembre 1978 (BOE: 3 de febrero de 1979). El resto, conocidos con los nombres de Cariari, Culebro, Inca Garcilaso, Lagarto, Pión, Poyatos y Quimera, fueron construidos a partir de 1900.



Fig. 4. Molino de viento Burleta e Infante en Campo de Criptana (Ciudad Real).  
Isidro de las Heras (2005)

### 3. METODOLOGÍA

La metodología específica para divulgar este patrimonio agroindustrial se articula en dos apartados: el correspondiente al trabajo de campo y la posterior reconstrucción gráfica.

El trabajo de campo se planificó de la siguiente manera:

- ✓ Proceso Fotogramétrico utilizando técnicas GNSS para obtener un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y la correspondiente ortofotografía del Cerro Calderico (Término municipal de Consuegra – Toledo).

- ✓ Proceso Topográfico. Trabajos llevados a cabo para obtener la altura y otras medidas del molino de viento denominado Rucio, localizado en el cerro Calderico (Término municipal de Consuegra - Toledo).
- ✓ Proceso de toma de datos (fotografías, croquis, mediciones, entrevistas, etc) para la posterior reconstrucción gráfica de un molino de viento. En este apartado se tomaron los siguientes molinos de referencia: Molino Infante (Campo de Criptana), Molino Rucio (Consuegra) y Molino del Tío Genaro (Madridejos).

### **3.1. Proceso fotogramétrico**

En los últimos años la utilización de la cartografía digital como documento básico en la ordenación y planificación territorial conlleva tener actualizadas las bases de datos geográficas y poder manejar otras aplicaciones digitales que nos ayuden a la hora de dar una respuesta rápida y eficaz. En este ámbito, la generación y la aplicación de los Modelos Digitales de Elevación (MDE) nos sirve para disponer de una representación tridimensional de la superficie donde se va a intervenir. Por tanto la fotogrametría digital en general presenta un conjunto de ventajas frente a otros sistemas, (Heipke, 1995).

El proceso fotogramétrico conlleva una metodología propia:

- Proyecto de vuelo. Planificación del vuelo a partir de la delimitación de la zona en función de la escala óptima requerida.
- Ejecución del vuelo fotogramétrico. Las características técnicas del vuelo se ajustaron a una escala 1/8.000 por considerarla adecuada para los fines previstos. El recubrimiento longitudinal del 60% y la dirección de las pasadas ha sido libre. La cámara empleada ha sido una RMK TOP 15 con un objetivo gran-angular de 153,761 mm de la casa ZEISS de alta precisión.
- Escaneado de fotografías aéreas. Con un escáner métrico de fotogrametría se escanearon las fotografías aéreas que componen el proyecto, con los siguientes valores: resolución 1200 (equivalente a 21 micras), tipo imagen color 24-bit, tamaño de fichero 350 MB, formato de fichero TIFF.
- Mediante técnicas GNSS se tomaron los puntos de campo necesarios para poder apoyar los fotogramas de la zona objeto de estudio. Una vez finalizados todos los trabajos y después de la correspondiente transformación tendremos coordenadas UTM en el sistema cartográfico de referencia ED-50 de todos los puntos observados.
- Ajustes de orientación interna y externa en la Estación Fotogramétrica Digital (DPW).
- Elaboración del Modelo Digital de Elevaciones mediante un algoritmo de correlación automática supervisada.
- Obtención de la ortofotografía del espacio singular cerro Calderico en Consuegra (Toledo) (figura 5).



Fig 5. Ortografía generada del Espacio Singular Cerro Calderico (Consuegra – Toledo)

### 3.2. Proceso Topográfico.

Se describen los trabajos realizados en campo para la obtención, entre otros resultados, de la altura del molino de viento denominado Rucio y localizado en el cerro Calderico, término municipal de Consuegra (Toledo).

La metodología llevada a cabo, fue la siguiente:

- Estudio en campo de la visibilidad entre estaciones que forman la poligonal cerrada alrededor del molino y desde cada una de ellas al punto más alto del fraile. Para ello se localizaron tres estacionamientos: E1 (figura 6), E2 y E3 visibles entre ellas de dos en dos. Las coordenadas de partida de la poligonal cerrada se obtuvieron mediante técnicas GNSS.

Para el cálculo de la altura del molino se utilizó el método denominado Intersección directa, método por el cual se obtiene las coordenadas de un punto desconocido visando desde puntos de coordenadas conocidas (figura 6). Desde el suelo a la punta del fraile la altura obtenida fue de 11.93 metros.

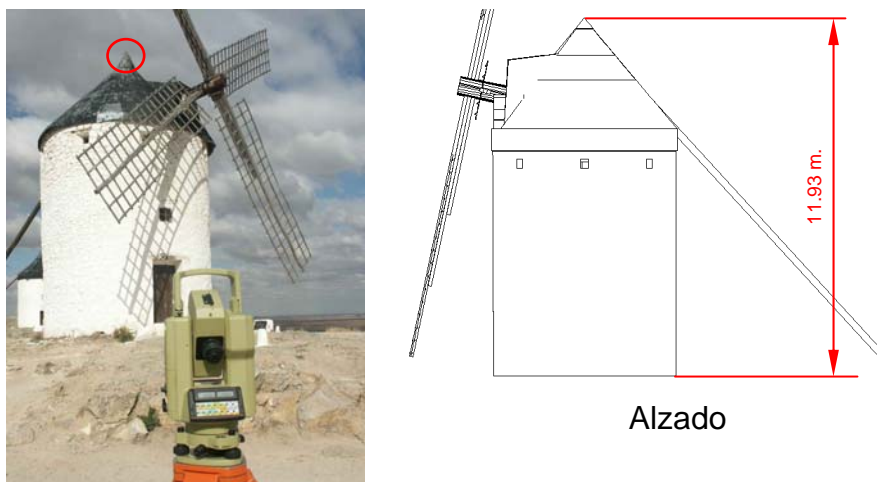


Fig 6. Planificación de toma de datos topográficos y método de intersección directa

### 3.3. Proceso de toma de datos

Recopilación de toda la información necesaria para poder representar gráficamente toda la maquinaria de un molino de viento de Castilla-La Mancha.

Se obtuvieron una serie croquis acotados (figura 7) y fotografías del molino de viento Infante, todos ellos han servido para la realización de esquemas de funcionamiento de los molinos típicos de La Mancha y para la posterior elaboración de la reconstrucción gráfica.

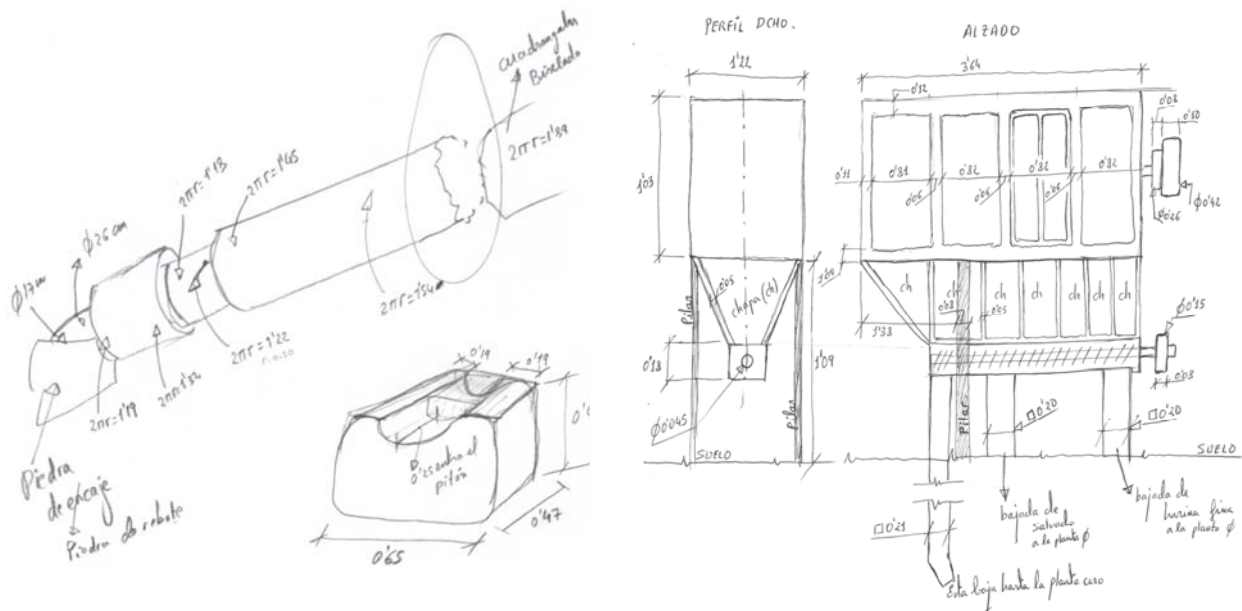


Fig 7. Croquis del eje y piedra rebote. Croquis de un Cedazo (Molino del Tío Genaro)

El trabajo de gabinete y la correspondiente reconstrucción gráfica se planificó de la siguiente manera:

### 3.4. Modelado 3D

Desde el punto de vista visual se trata de una representación esquemática, visible a través de un conjunto de objetos, elementos y propiedades que, una vez procesados (renderización), se convertirán en una imagen en tres dimensiones o en una animación tridimensional sustitutiva de la realidad.

El trabajo de modelado se ha realizado en el espacio de tiempo entre y después de las visitas al molino de viento. Tras las primeras visitas se realizó un avance del modelado en el que las dudas que surgieron se solventaron en posteriores visitas.

El modelado 3D se realizó con el programa Autodesk 3ds Max, para crear las escenas tanto de la maquinaria como del molino en sí.

A partir de objetos básicos y mediante herramientas de operaciones booleanas, extrusión o revolución se va consiguiendo las distintas piezas de la maquinaria del molino de viento objeto de estudio (figura 8).

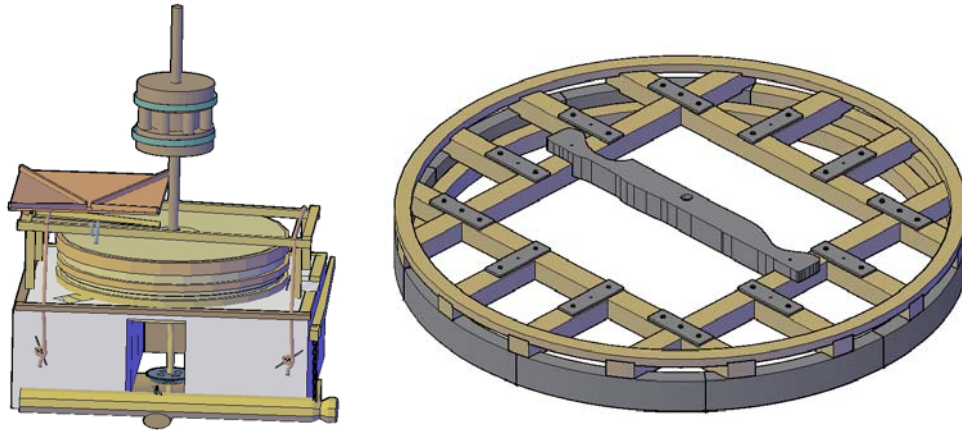


Fig 8. Modelado de la bancada con tolva, canaleja, linterna, husillos y piedras de moler  
Modelado de la cuella y madres sobre anillo.

### 3.5. Aplicación de texturas

“Texturizar” consiste en aplicar una imagen 2D a un objeto 3D. Un objeto real tiene una serie de propiedades en su superficie: color, rugosidad, brillo, etc, dependiendo de la luz que reciban, que caracterizan al material. Una textura es un archivo de imagen, formato .jpg, .bmp, .gif, etc. Las texturas utilizadas en el estudio proceden, después de un proceso de retoque fotográfico en el software Adobe Photoshop CS3, de las obtenidas a través del reportaje fotográfico de las mismas piezas que componen la maquinaria del molino. Estas texturas se sitúan sobre las superficies de los objetos, haciendo que adopten el aspecto de dicha foto.

Una manera cómoda y práctica de trabajar es unir en grupos o conjuntos homogéneos de piezas según los materiales como son las de hierro, madera, etc.

### 3.6. Iluminación y sombras

Con la iluminación y las sombras se pretende adaptar las distintas partes del molino a las condiciones más parecidas a la realidad posible, además de dar sentido de profundidad a las escenas. En el modelo se han utilizado cerca de 30 luces, sobretodo omnidireccionales y alguna direccional.

En cuanto a las cámaras, se han utilizado unas 20 cámaras para componer la animación del modelo. Las cámaras han sido montadas sobre una espiral que ha hecho de trayectoria y posteriormente animada.

### 3.7. Animación 3D y edición de video.

Una animación describe el cambio de una imagen a lo largo del tiempo, con el suficiente número de fotogramas por segundo para dar un efecto de continuidad.

En la animación realizada se ha incluido y tratado para simular el proceso de molienda el denominado sistema de partículas. Los sistemas de partículas son grupos de objetos que actúan como uno sólo y que simulan elementos, en nuestro caso granos de trigo. Una vez creado y ubicado el sistema de partículas se tiene que configurar todos los parámetros de dicho sistema: tamaño de partículas, forma, densidad, dirección, velocidad, variación en la caída, color, fuerza gravitatoria, superficies de choque, etc.

A su vez hay que definir como pantallas de choque (deflectores) las distintas piezas que intervienen en la animación del sistema de partículas, así la tolva y canaleja tendrán la



propiedad de ser deflectores del sistema de partículas creado, de lo contrario la simulación de la caída de los granos atravesaría estos elementos. Como propiedades en estos deflectores hay que definir la fuerza de choque de partículas, el caos, la fricción, etc.

En el proceso de renderización se selecciona el segmento de tiempo a renderizar o la escena completa. Los ficheros de audio utilizados han sido grabados en campo durante las jornadas donde se realiza la molienda de cereal en el municipio de Campo de Criptana, posteriormente han sido editados para su mejor audición y tratados en relación a los ficheros de video para crear un ambiente más cercano al real. Una vez obtenidos todos los archivos de video, en formato AVI, estos han sido montados para su presentación, en formato MPEG, mediante el software de edición de video Adobe Premiere CS3.

En las siguientes figuras se pueden visualizar algunas escenas creadas en el modelado sólido:



Fig 9. Modelo Digital de Elevaciones con ortofotografía superpuesta y molinos virtuales.



Fig 10. Silo o cuadra y moledero.

#### 4. CONCLUSIONES

- ✓ Después de desarrollar la investigación, de las experiencias vividas a lo largo del trabajo de campo realizado y de las conversaciones con las distintas personas del entorno de la molinología, la principal conclusión ya conocida por todos es la de que se considera

necesario salvaguardar el patrimonio histórico-tecnológico que representan los molinos de viento.

- ✓ Es necesario utilizar una metodología específica para divulgar este patrimonio agroindustrial utilizando las actuales tecnologías de ingeniería gráfica y cartográfica.
- ✓ El uso de la fotogrametría digital ofrece, a la hora de valorar el patrimonio histórico, la capacidad de poder trabajar con una representación tridimensional del espacio singular donde se va a intervenir en gabinete. A partir de la obtención del Modelo Digital de Elevaciones se pueden efectuar estudios de cuencas visuales, de pendientes, escorrentía, etc. La utilización de la ortofotografía a la hora de interpretar el espacio singular, ofrece una herramienta más a la hora de desarrollar planes de actuación sobre el espacio singular.
- ✓ La reconstrucción del molino de viento manchego mediante herramientas infográficas, como técnicas DAO y de animación por ordenador, así como de fotografía y otras, permiten la reconstrucción “real” de mecanismos, máquinas, edificios, etc., lo cual permite conocer cómo fue el patrimonio histórico-tecnológico objeto de estudio. La consiguiente divulgación a la sociedad actual dará a conocer el proceso de la molienda y de toda la maquinaria del molino de viento manchego.
- ✓ Una idea a desarrollar sería la implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se integre toda la información tanto alfanumérica, cartográfica, fotográfica como las animaciones virtuales del patrimonio molinar eólico, con el fin de acercar al gran público la enorme riqueza de nuestro patrimonio cultural. Sobre estas premisas se han iniciado proyectos como la que lleva a cabo la Asociación para la Conservación y Estudio de los Molinos (ACEM) para la creación de una completa base de datos de molinos, norias, aceñas y otros artefactos mecánicos existentes en España, ingenios movidos por energías tradicionales. También la iniciativa de un Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía denominado El Patrimonio molinar eólico donde se va a realizar un inventario con todos los molinos de viento de Andalucía como paso previo a su catalogación y a la realización de un SIG.

## 5. REFERENCIAS

CAMUÑAS-ROSELL, J.L. (2000). El molino manchego. Olías del Rey (Toledo): Azacanes

CARO BAROJA, J. (1983). Tecnología popular española. Madrid, Edición Nacional, 1983. 597 p. ISBN: 84-276-0588-9.

ESCRIBANO SÁNCHEZ-ALARCOS, F. (2000). Los molinos de viento del Campo de Criptana a mediados del siglo XVIII. Ciudad Real: Imprenta Provincial. Ciudad Real.

FERNÁNDEZ-LAYOS MIER, J.C. (1985). El molino de viento y su evolución tipológica en Consuegra (Toledo). Toledo: Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos. Diputación Provincial Toledo. Toledo.

HEIPKE, C. (1995). State-of-the-art of digital photogrammetric workstations for topographic applications. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 61 (1), 49 – 56.

HERRERO TEJEDOR, T.R. (2005). Propuesta metodológica para el estudio de las vías pecuarias. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

JIMÉNEZ BALLESTA, J. (2001). Molinos de viento en Castilla-La Mancha. Piedrabuena (Ciudad Real): Llanura. Piedrabuena (Ciudad Real). ISBN 84-95685-01-9. 199 pags.

MADOZ, P. (1846). Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar, I. pag. 441, 2.

MAZUECOS, R. (1971). Molinos de viento manchegos. Hombres, lugares y cosas de La Mancha. Fascículo XXXIII, pag. 29

PÉREZ MARTÍN, E. (2008). "Estudio histórico-tecnológico y representación gráfica de los molinos de viento de La Mancha en la España de los siglos XVI al XIX, mediante técnicas de Dibujo Asistido por Ordenador (DAO)". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

SÁNCHEZ MOLLEDO, A. (1991). Molinos, molinos y siempre molinos. Centro Nacional de los Molinos de Viento en España. Madrid.