

3D Modeling and functional analysis of a Spanish historical invention of the nineteenth century for mineral extraction: The Emilina Machine

José Ignacio Rojas-Sola ^a & Juan Pedro Martínez-Escobar ^b

^a Universidad de Jaén, Jaén - España. jirojas@ujaen.es

^b Universidad de Jaén, Jaén - España. jpme0001@red.ujaen.es

Received: September 15th, 2014. Received in revised form: November 18th, 2014. Accepted: November 18th, 2014

Abstract

In this paper, we analyze in detail a Spanish historical nineteenth-century invention used for mineral extraction: the Emilina machine. In particular, three-dimensional modeling is performed using software parametric (CATIA v5) of each of the elements of the set. Also, after obtaining the 3D model, a functional analysis using techniques of Computer Aided Engineering has been performed, based on the analysis of the von Mises stress and displacement, ensuring that the highest stress concentrations occur in the principal axis, the radii of the pulleys, the upper cable of the main drum, the connection between the secondary shaft and the main drum and the wood support structure, and that the highest concentration of displacements on the steering wheel of the steam machine, in the main shaft on which it is coupled and in the pulleys.

Keywords: mining industrial historical heritage; historical invention; computer-aided design; computer-aided engineering; functional analysis.

Modelado tridimensional y análisis funcional de una invención histórica española del siglo XIX para la extracción del mineral: La Máquina Emilina

Resumen

En el artículo se analiza en detalle una invención histórica española del siglo XIX utilizada para la extracción del mineral: la máquina Emilina. En particular, se ha realizado el modelado tridimensional con ayuda de software paramétrico (CATIA v5), de cada uno de los elementos que componen el conjunto. Asimismo, una vez obtenido el modelo 3D, se ha realizado un análisis funcional mediante técnicas de Ingeniería Asistida por Ordenador, basadas en el análisis de la tensión de von Mises y de desplazamientos, comprobando que las mayores concentraciones de tensiones se producen en el eje principal, los radios de las poleas, el cable superior del tambor principal, la unión entre el eje secundario y el tambor principal, así como en la estructura soporte de madera, y que la mayor concentración de desplazamientos se encuentran en el volante de la máquina de vapor, el eje principal sobre el que va acoplado y las poleas.

Palabras clave: patrimonio histórico industrial minero; invención histórica; ingeniería gráfica; ingeniería asistida por ordenador; análisis funcional.

1. Introducción

El presente artículo sigue una línea de investigación en el campo de la minería iniciada en publicaciones anteriores [1-3], relativa al estudio y caracterización del patrimonio histórico industrial minero español desde el punto de vista de la ingeniería gráfica e ingeniería asistida por ordenador.

La investigación desarrollada en el presente artículo se ha basado en resultados obtenidos de la búsqueda de información relacionada con la minería en el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas, dependiente del Ministerio de Industria, Energía y Turismo del Gobierno de España. A través de diversas consultas a la base de datos presente en su sitio web oficial [4], ha sido

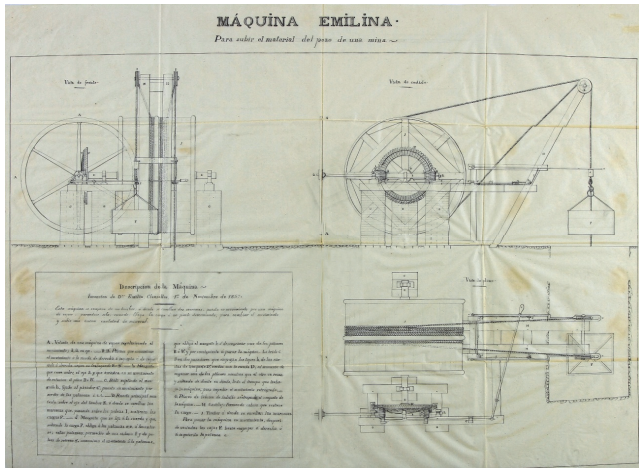


Figura 1. Documento gráfico de la máquina Emilina.
Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Oficina Española de Patentes y Marcas. Archivo Histórico. Expediente nº 1712.

posible obtener información relevante acerca de los privilegios de invención (1826-1878) que obran en poder de dicho Archivo Histórico [5], así como de las patentes de invención (1878-1966) [6].

En la mayor parte de los casos, los expedientes constan de una pequeña memoria descriptiva con algún documento gráfico muy deficiente, pero esta información es de suma importancia para estudiar la evolución de las invenciones históricas desarrolladas en España desde el siglo XIX hasta la actualidad, puesto que proporciona una visión global del desarrollo tecnológico en el campo de la minería, y más concretamente, en la fase extractiva del mineral.

1.1. Descripción y funcionamiento de la máquina Emilina

La máquina Emilina es un privilegio de invención presente en el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas, presentado por Emilio Clausolles el 21 de abril de 1858, cuyo fin era la extracción de minerales y agua de las minas. El certificado de invención que pertenece a la clasificación internacional de patentes E21C (explotación de minas o canteras) tuvo una vigencia de 15 años y fue ampliamente utilizado [7].

El expediente de la máquina Emilina sólo aporta una única representación gráfica (Fig. 1), en el que se aprecian las principales vistas (alzado, planta y perfil).

Se trata de un malacate mecánico accionado por vapor. El volante de la máquina de vapor proporciona un movimiento de rotación continuo a un árbol, sobre el cual se encuentra el elemento principal de la invención, el mangón. Este mangón puede recorrer longitudinalmente el árbol para engranar con uno de los dos piñones que transmiten el movimiento al tambor sobre el que se encuentra enrollada la maroma que baja a la mina.

Así pues, asegurada la forma de engranar del mangón con los piñones se controla todo el dispositivo, utilizándose para ello, una palanca que permite ya sea engranar con un piñón moviendo el tambor en un sentido, con el otro piñón en sentido contrario, o con ninguno, quedando el dispositivo parado.

La forma de engranar el mangón con los piñones se realiza

a través de una palanca que puede ser accionada por un usuario, pero que también se encuentra mecanizada ya que, cuando una cubeta cargada sube hasta cierta altura presiona la palanca, de modo que ésta desengrana el mangón del piñón quedando parado el tambor y por tanto, la carga.

Las maromas se enrollan en el tambor en sentido opuesto de forma que cuando una suba baje la otra. De esta forma, la parada automática que se produce en el ascenso provoca también la parada automática en el descenso.

Por tanto, las principales aportaciones tecnológicas de este privilegio son que basta una sola persona para realizar la extracción debido a su diseño mecánico; que se produce una parada automática de manera que los cubos que llevan el peso se paran por sí solos, y que el diseño mecánico de la palanca permite no tener que parar la máquina de vapor o fuerza motriz para descargar o cargar las cubetas [5].

2. Ingeniería gráfica

Esta fase de la investigación es fundamental pues de la precisión de los resultados obtenidos dependerá la obtención de resultados fiables en la fase de ingeniería asistida por ordenador, lo que permitirá realizar el análisis funcional de manera correcta. Por tanto, se destaca la importancia del modelado basado en CAD para una recuperación fidedigna de los restos del patrimonio cultural [8].

El modelado tridimensional se ha realizado con el software paramétrico CATIA v5 R18 [9], que ofrece más ventajas que otros programas como Autodesk Inventor Professional, Solidworks o SolidEdge. Dicho software presenta diversos módulos, entre los que cabe destacar: *Part Design* (módulo para la creación de sólidos), *Wireframe and Surface Design* (módulo para crear modelos alámbricos y de superficies), y *Assembly Design* (módulo para ensamblar los distintos componentes aplicando diversas restricciones).

Al carecer el documento gráfico del expediente de la máquina Emilina de ningún tipo de escala o referencia al respecto, se ha optado por emplear la escala 1:20 al ser ésta una escala normalizada, proporcionando unas dimensiones acordes para el fin de la maquinaria, y que ya era usada a mediados del siglo XIX.

La documentación gráfica de la que se dispone es escasa, pues tan sólo se dispone de una representación gráfica, en la que se omiten algunos detalles necesarios para el modelado y presenta errores de diverso tipo, por lo que ciertas partes de varios componentes se han modelado empleando el sentido común y reflejando la que se entiende como la solución de diseño óptima.

Asimismo, se desconoce el tipo de material del que estaban realizados los componentes pues no aparece indicado en la memoria, pero se ha tomado la madera como material de la estructura soporte y el hierro para el resto de los elementos.

Con esta información, se han impuesto ciertos requerimientos de diseño prestando especial atención a que se pudiesen acoplar a la estructura soporte los diferentes elementos que van unidos a ésta, así como los diversos agujeros en los que se insertan distintos ejes de poleas u otros elementos.

El aspecto final con renderizado de la estructura soporte se refleja en la Fig. 2, una vez obtenido el modelado de la misma, con el software Keyshot [10].

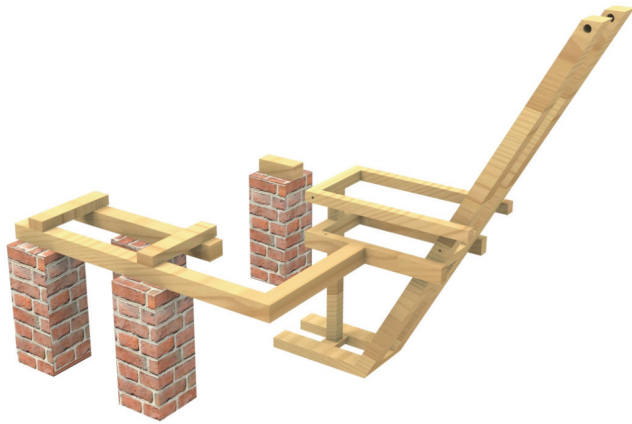


Figura 2. Renderizado de la estructura soporte.
Fuente: Elaboración propia.

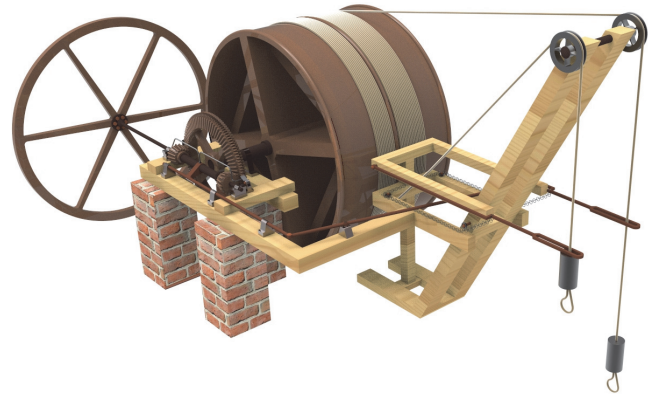


Figura 4. Renderizado final de la máquina Emilina en perspectiva isométrica SO (sur oeste).
Fuente: Elaboración propia.

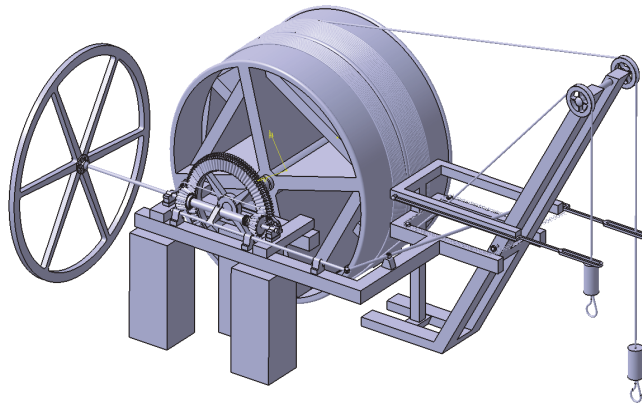


Figura 3. Ensamblaje final de la máquina Emilina.
Fuente: Elaboración propia.

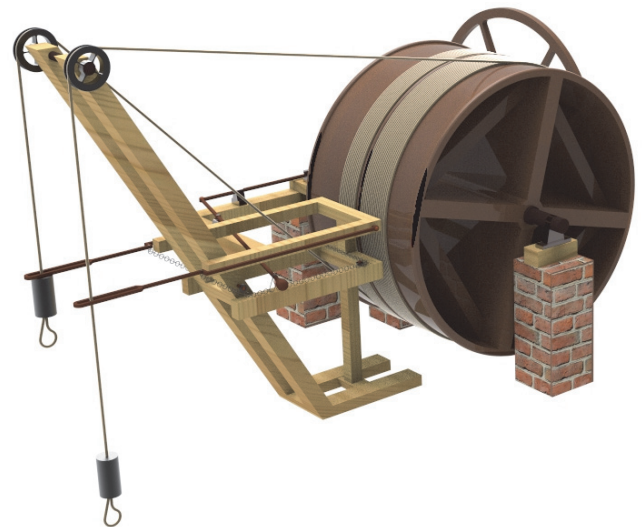


Figura 5. Renderizado final de la máquina Emilina en perspectiva isométrica SE (sur-este).
Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se ha realizado el modelado de cada uno de los elementos que componen la máquina en estudio: volante, eje principal, mangón, piñón, rueda dentada, tambores (principal y secundario), cuerdas y poleas, palanca, así como otros elementos accesorios.

Una vez modelados todos los componentes de la máquina Emilina, se procede al ensamblaje de todos ellos.

Para ello, se ha empleado el módulo *Assembly* de Catia v5 R18, cuyo funcionamiento se basa en la colocación de los distintos elementos mediante la aplicación de ciertas restricciones (*constraints*) que fijan el movimiento de unos elementos respecto a otros, y por tanto, con diferentes grados de libertad. Las principales restricciones empleadas han sido: ‘Coincidencia’ (hace coincidir dos elementos, ya sean caras, ejes de revolución, etc), ‘Contacto de superficies’ (pone en el mismo plano dos superficies seleccionadas), ‘Distancia entre planos, rectas o puntos’ (fija una determinada distancia entre dos entidades seleccionadas), ‘Ángulo entre planos o rectas’ (fija el ángulo entre dos entidades seleccionadas), y ‘Fijación’ (mantiene inmóvil un elemento, es decir, su grado de libertad es 0).

La Fig. 3 muestra el conjunto ensamblado, y las Figs. 4 y 5 muestran su aspecto final tras el renderizado.

3. Ingeniería asistida por ordenador

El análisis funcional de la máquina Emilina se ha realizado con técnicas de ingeniería asistida por ordenador, realizándose las siguientes operaciones: preprocesado, aplicación de materiales, establecimiento de las condiciones de contorno, establecimiento de las fuerzas aplicadas, discretización o mallado, y obtención de resultados en lo relativo a la deformación obtenida, desplazamientos (mm) y tensión de von Mises (N/m²).

3.1. Preprocesado

Al tratarse de un conjunto de elementos ensamblados en CATIA v5 R18, el preprocesado se realiza en el módulo *Assembly*, en el cual se definen las restricciones necesarias sobre las cuales se van a definir las distintas condiciones de contacto entre las piezas.

Debido a los altos requerimientos computacionales, se han eliminado todos los elementos auxiliares (tornillería,

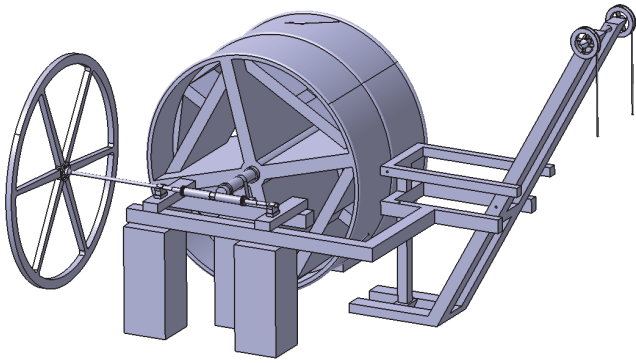


Figura 6. Modelo reducido para el análisis general.
Fuente: Elaboración propia.

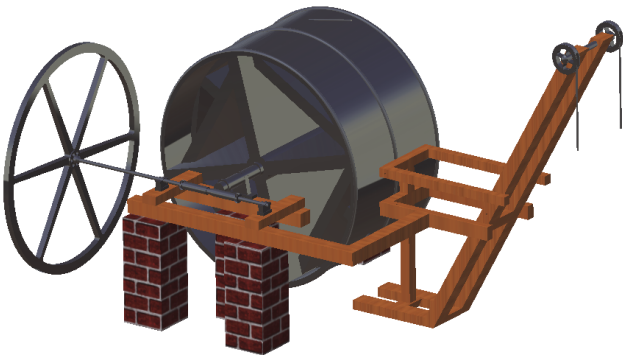


Figura 7. Resultado final de la aplicación de materiales.
Fuente: Elaboración propia.

cojinetes, topes...) que no tienen una influencia significativa en el análisis estático del conjunto.

Asimismo se han eliminado del análisis, los engranajes cónicos y la rueda dentada, ya que para el mallado de estos elementos se necesita una precisión demasiado elevada, por lo que se aplican en su lugar una serie de fuerzas que simulan el peso ejercido por dichos elementos (Fig. 6).

Finalmente, se ha realizado un análisis general del conjunto de la estructura soporte junto a los principales componentes de la máquina Emilina, como los ejes, las poleas o los tambores entre otros, suponiendo que las 2 cubetas de subida de mineral están cargadas, que es el caso donde se producen mayores sollicitaciones.

3.2. Aplicación de materiales

Para la aplicación de materiales se hace uso del comando *Apply Material* en CATIA v5, seleccionando para ello, la madera y el hierro con sus correspondientes propiedades físicas (módulo de Young (N/m^2), módulo de Poisson, densidad (Kg/m^3) y tensión de rotura (MPa)), resultando finalmente una apariencia como la expresada en la Fig. 7.

3.3 Condiciones de contorno

En primer lugar, se procede a empotrar la base de los pilares y de la estructura soporte de madera (Fig. 8).

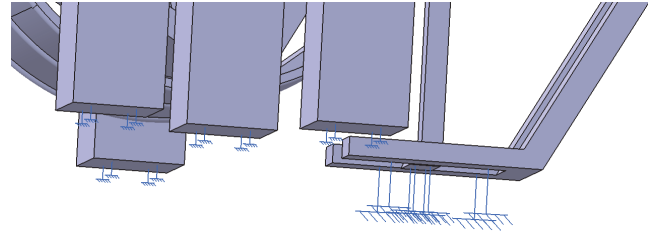


Figura 8. Empotramientos de la base de pilares y de la estructura soporte.
Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se procede a definir el tipo de conexión entre todas las superficies que se encuentran en contacto. Se han empleado principalmente dos modos de conexión: *Contact Connection Property* (hace posible la combinación de dos componentes que compartan una misma área en común, transmitiendo sólo presión en dirección perpendicular a estos), y *Fastened Connection Property* (donde los elementos que intervienen son fijados como si fueran soldados unos con otros, transmitiendo toda la carga y momentos).

Asimismo, para definir estos tipos de conexión hay que basarse en las restricciones del ensamblaje pero, si se carece de éstas, se emplea el comando *General Analysis Connection* que proporciona la unión necesaria entre dos piezas para la posterior definición del modo de conexión.

La Fig. 9 muestra la máquina Emilina tras haber sido establecidos todos los modos de conexión entre los distintos elementos.

3.4. Fuerzas aplicadas

Las fuerzas aplicadas han sido las siguientes:

- Peso de la estructura: Se aplica empleando el comando *Acceleration* y su símbolo es una flecha en sentido de la aceleración de la gravedad (vertical) (Fig. 10).
- Carga elevada (poleas): Se simula el peso de la carga elevada. Para ello se aplica una fuerza de 8.233 N en el cable que está unido a las poleas, ya que sobre éste va suspendida la carga (Fig. 11). La justificación de este valor se debe a la existencia de una cubeta de 0.108 m^3 de volumen, suponiendo en el caso desfavorable, un material de galena de 7.600 kg/m^3 , más la masa

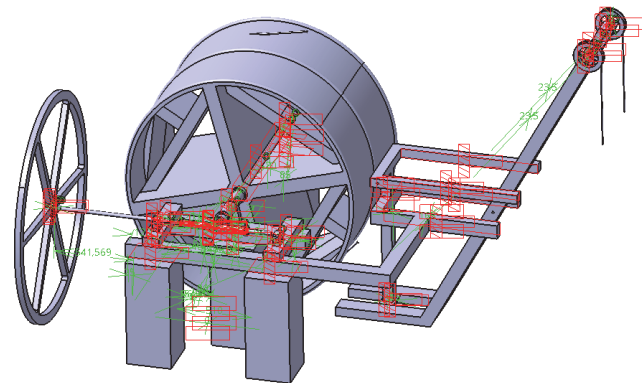


Figura 9. Condiciones de contorno.
Fuente: Elaboración propia.

de la jaula y el tope de aproximadamente 20 Kg, lo que hace un total de 840 Kg aproximadamente, es decir, 8.233 N.

- Carga elevada (tambor principal): Se aplica en el cable que va enrollado en el tambor principal una carga de 8.233 N que simula la carga elevada. Dicha carga se divide en sus componentes x e y para que vaya en la dirección del cable (Figs. 12 y 13).
- Peso de los piñones y rueda dentada: Se simula el peso que ejercen los piñones y la rueda dentada sobre sus respectivos ejes. Para ello, se aplica una carga de 50 N en el eje principal en el caso de cada piñón, y de 820 N en el extremo del tambor secundario en el caso de la rueda dentada (Figs. 14 y 15).

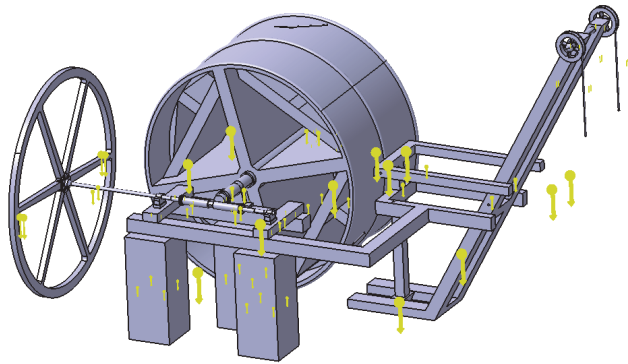


Figura 10. Herramienta *Acceleration* aplicada al análisis general.
Fuente: Elaboración propia.

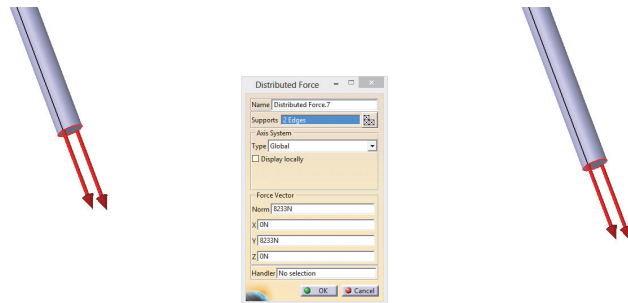


Figura 11. Cargas aplicadas a los cables de las poleas.
Fuente: Elaboración propia.

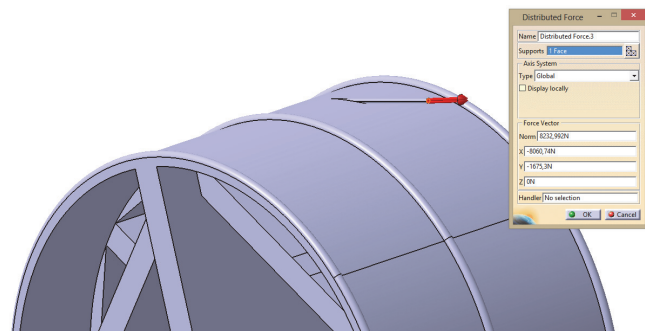


Figura 12. Carga aplicada al cable superior del tambor.
Fuente: Elaboración propia.

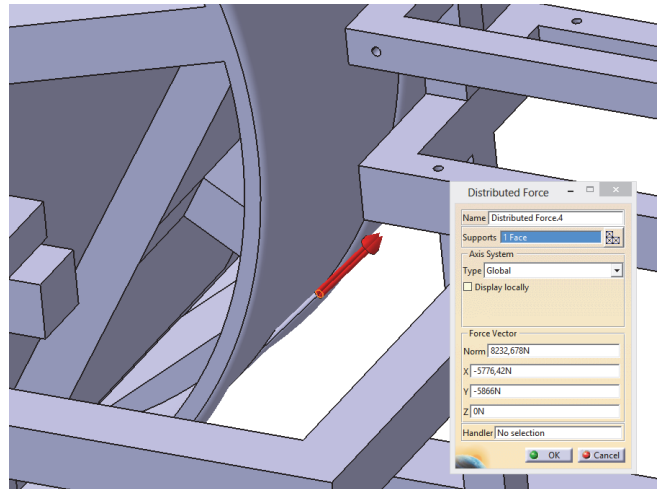


Figura 13. Carga aplicada al cable inferior del tambor.
Fuente: Elaboración propia.

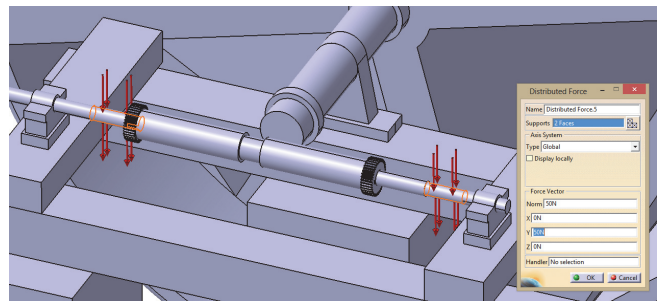


Figura 14. Carga aplicada al eje principal.
Fuente: Elaboración propia.

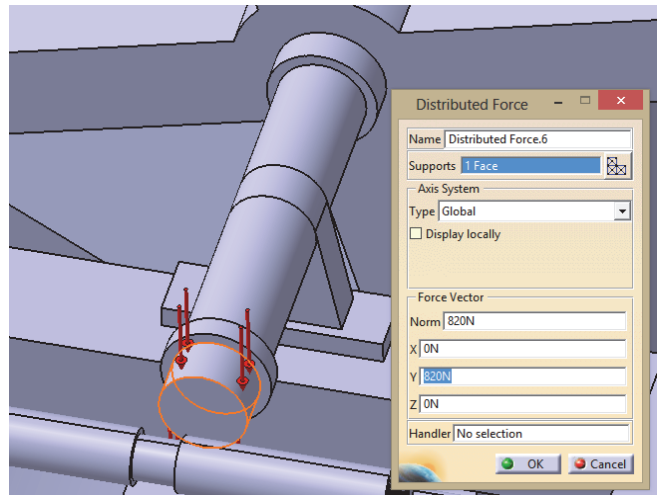


Figura 15. Carga aplicada al eje del tambor secundario.
Fuente: Elaboración propia.

3.5. Discretización o mallado

CATIA v5 R18 discretiza automáticamente el conjunto modelado, pero ofrece la posibilidad de refinar este mallado en las zonas que se consideren críticas o de mayor interés. La Fig. 16 muestra el mallado inicial que proporciona dicho software.

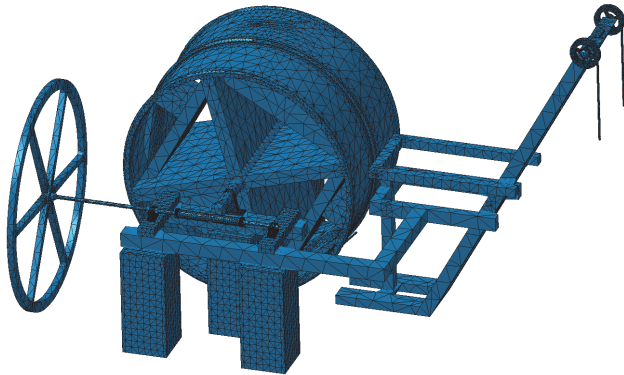


Figura 16. Discretización inicial proporcionada por CATIA v5 R18.
Fuente: Elaboración propia.

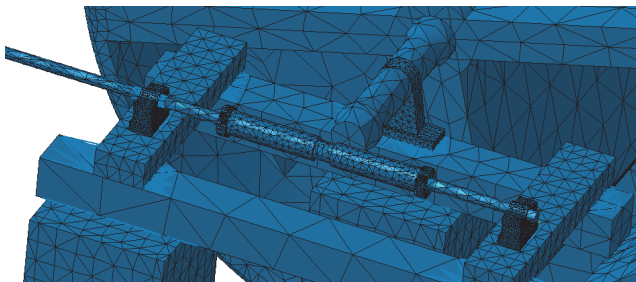


Figura 17. Discretización refinada del eje principal.
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura anterior, el software ajusta automáticamente la malla en función de los elementos. No obstante, se procede a refinar la malla en el eje principal y en las poleas, ya que a priori será donde mayores esfuerzos se obtengan. Para refinar la malla en un elemento determinado, éste se selecciona en el apartado *Nodes and Elements* dentro del árbol de operaciones, definiendo dos parámetros que son la longitud media del elemento tetraedro (*Size*), así como la flecha absoluta (*Absolute sag*) que va a experimentar dicho tetraedro. En este caso, se establece un valor de 5 mm para *Size* y de 1 mm para *Absolute sag*. Las Figs. 17 y 18 muestran el mallado refinado obtenido.

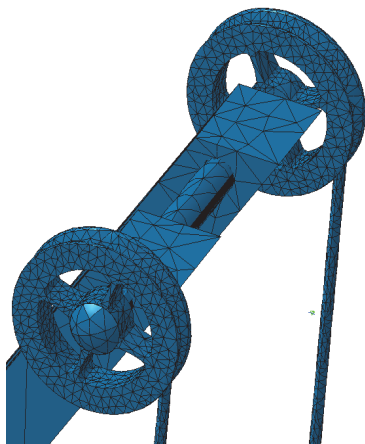


Figura 18. Discretización refinada de las poleas.
Fuente: Elaboración propia.

3.6. Resultados obtenidos

3.6.1. Deformada

La Fig. 19 muestra la deformada que se produce en los distintos elementos.

Así pues, se puede apreciar que la mayor deformación se produce en el extremo del eje, ya que al situarse el volante en su extremo, actúa como una viga empotrada con una carga en su extremo.

La Fig. 20 muestra una vista de alzado donde se puede apreciar la deformación de la estructura soporte de madera.

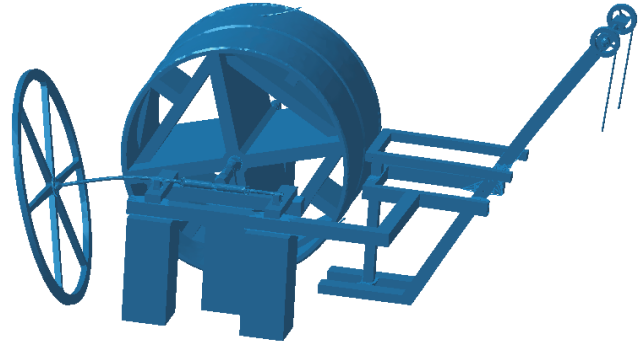


Figura 19. Deformada de la máquina Emilina.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 20. Alzado de la deformada de la máquina Emilina.
Fuente: Elaboración propia.

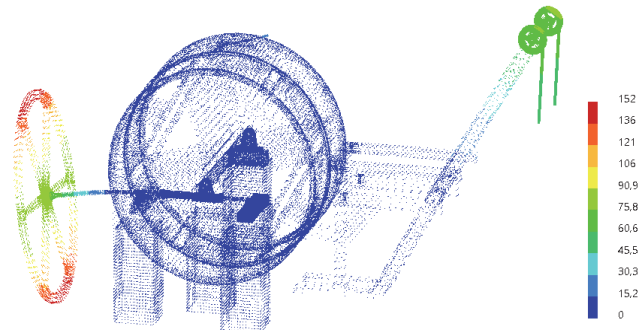


Figura 21. Alzado de la deformada (en mm) de la máquina Emilina.
Fuente: Elaboración propia.

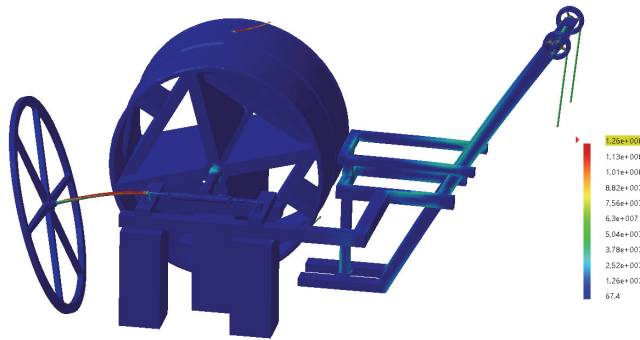


Figura 22. Tensión de von Mises (en N/m^2) en la máquina Emilina.
Fuente: Elaboración propia.

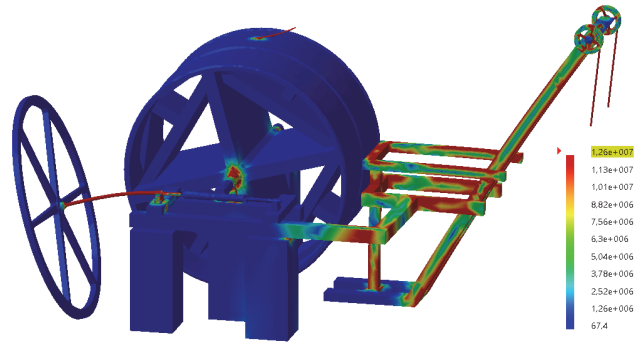


Figura 24. Tensión de Von Misses (en N/m^2) en la máquina Emilina (escala ajustada).
Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Desplazamientos

La Fig. 21. muestra los desplazamientos producidos en la máquina Emilina, cuyos valores deben ser coherentes con la deformación obtenida.

Se comprueba lógicamente, cómo los lugares que experimentan una mayor deformación son aquellos que sufren un mayor desplazamiento, como el volante de la máquina de vapor, el eje principal sobre el que va acoplado y las poleas, aunque cabe suponer que el volante no experimentará tal deformación ya que estaría acoplado a algún elemento de la máquina de vapor que compensaría la acción de su peso.

3.6.3. Tensión de von Mises

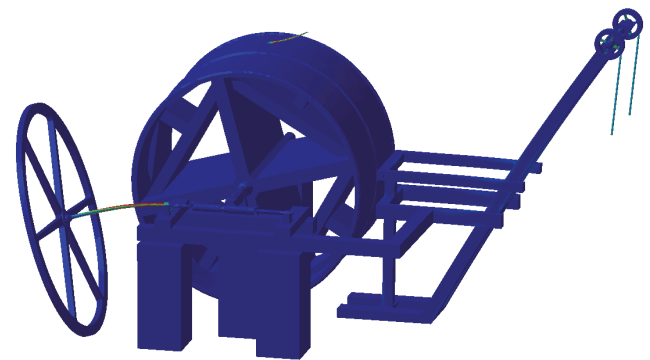


Figura 25. Tensión de Von Misses en la máquina Emilina (escala ajustada a la tensión de rotura del hierro).
Fuente: Elaboración propia.

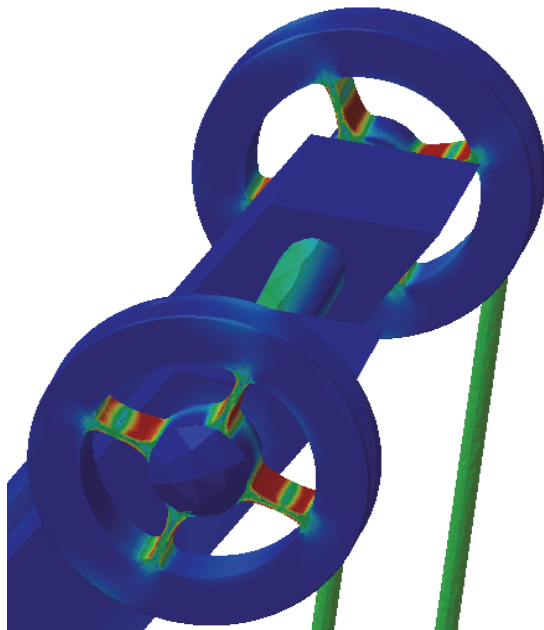


Figura 23. Tensión de von Mises (en N/m^2) en las poleas.
Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 22. muestra los esfuerzos soportados por los distintos componentes de la máquina Emilina.

Como se esperaba, tras visualizar la deformación que

experimentan los distintos componentes, se observa cómo es el eje principal, el que soporta más esfuerzos.

La Fig. 23 muestra la tensión de von Mises en las poleas, puesto que son los elementos más propicios para sufrir grandes tensiones.

Como se puede apreciar, los radios de las poleas también están sometidos a grandes esfuerzos, ya que son los elementos que transmiten las tensiones de las poleas al eje. Sin embargo, para visualizar los esfuerzos que soportan el resto de elementos, es necesario ajustar la escala (Fig. 24).

Asimismo, se puede observar que es la estructura soporte de madera la que experimenta mayores tensiones junto con las zonas de unión entre los elementos, las cuales actúan como concentradores de tensiones al tratarse en su mayor parte de soldaduras.

Seguidamente, para visualizar si alguno de los componentes de la máquina Emilina rompe o falla, es necesario modificar la escala de colores estableciendo como máximo valor, la tensión de rotura del hierro (Fig. 25), y la tensión de rotura de la madera (Fig. 26).

Así pues, se observa que existe una zona en la que se alcanza la tensión de rotura del hierro, por lo que el eje principal rompería. Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, en realidad el volante iría acoplado a algún elemento evitando así que se produjeran esfuerzos tan elevados en el eje que produjeran su rotura.

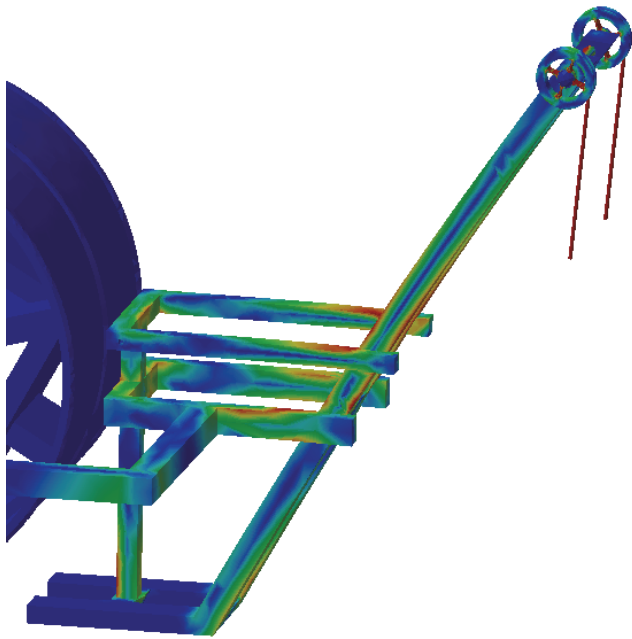


Figura 26. Tensión de Von Mises en la Máquina Emilina (escala ajustada a la tensión de rotura de la madera).
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se observa que se alcanza la tensión de rotura de la madera en varias zonas de la estructura soporte, por lo que ésta rompería. Este hecho, hace pensar que quizás no todas las partes de dicha estructura fuesen de madera (dato desconocido pues no aparece en la memoria descriptiva del expediente).

4. Conclusiones

Se ha diseñado y documentado geoméricamente la invención histórica (máquina Emilina) y se ha realizado el análisis funcional de la misma.

Por otro lado, se ha comprobado cómo a finales del siglo XIX aún se carecía de un sistema de normalización que facilitara la interpretación de los documentos gráficos, por lo que ésta contiene multitud de errores desde el punto de vista de la normalización actual. No obstante, se ha obtenido un modelo tridimensional robusto y fiable.

Visualizando los resultados del análisis funcional, se puede afirmar que por lo general está diseñada de forma correcta. Sin embargo, existen ciertos puntos donde se alcanzan tensiones y desplazamientos demasiado elevados, pudiendo dar lugar a problemas de funcionamiento y de rotura.

Asimismo, una vez obtenido el modelo 3D, se ha realizado un análisis funcional mediante técnicas de Ingeniería Asistida por Ordenador, basadas en el análisis de la tensión de von Mises y de desplazamientos, comprobando que las mayores concentraciones de tensiones se producen en el eje principal, los radios de las poleas, el cable superior del tambor principal, la unión entre el eje secundario y el tambor principal, así como en la estructura soporte de

madera, y que la mayor concentración de desplazamientos se encuentra en el volante de la máquina de vapor, el eje principal sobre el que va acoplado y las poleas.

Finalmente, se ha comprobado cómo el eje principal rompería si se analiza como elemento independiente, aunque en la práctica esto no sucedería, al estar el volante de la máquina de vapor acoplado a otro elemento de la misma. Asimismo, la estructura soporte de madera también fallaría al ser cargada, aunque también esto no ocurriera en realidad, puesto que el material empleado debía no ser exclusivamente la madera.

Agradecimientos

La investigación expuesta en el presente artículo se ha realizado en el seno del Proyecto de Investigación titulado ‘El patrimonio histórico industrial minero: un estudio integral para su puesta en valor y difusión desde la ingeniería gráfica’ (HAR2012-30723), financiado en el seno del Plan Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación (2008-2011) por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España.

Referencias

- [1] Rojas-Sola, J. I., Montalvo-Gil, J. M. and Castro-García, M. Modelado tridimensional y análisis funcional de una cabria para la extracción del mineral. *Dyna-Colombia*, vol. 80 (181), pp. 118-125, 2013.
- [2] Rojas-Sola, J.I., Montalvo-Gil, J.M. and Castro-García, M., Geometric documentation of mining industrial historical heritage: application to a Cornish pumping engine house from the ancient mining district in Linares-La Carolina (Jaen), Proceedings of XXIII International Conference on Engineering Graphics, 2013.
- [3] Tejero-Manzanares, J., Garrida-Saenz, I., Perez-Calle, M.D. and Montes-Tubio, F., Virtual reconstruction in recovery metallurgical heritage of Almaden mines. *Dyna*, 88 (3), pp. 299-307, 2013. <http://dx.doi.org/10.6036/5209>.
- [4] Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas. [en línea], Available at: <http://historico.oepm.es/archivohistoricow3c/index.asp>
- [5] Rojas-Sola, J.I., Lupiáñez-Cruz, P. and Carranza-Cañadas, M.P., Caracterización tecnológica de las invenciones del Archivo Histórico de la Oficina Española de patentes y marcas relacionadas con la fase extractiva del mineral: Privilegios de invención (1826-1878). *De Re Metallica*, 22, pp. 93-104, 2014.
- [6] Rojas-Sola, J.I., Lupiáñez-Cruz, P. and Carranza-Cañadas, M.P., Caracterización tecnológica de las invenciones del Archivo Histórico de la Oficina Española de patentes y marcas relacionadas con la fase extractiva del mineral: Patentes de invención (1878-1966). *De Re Metallica*, 23, en prensa, 2014.
- [7] Información del expediente de la Máquina Emilia: Búsqueda en formulario con número de expediente 1712. [en línea], Available at: http://historico.oepm.es/archivohistoricow3c/index.asp#formulario_privilegios
- [8] Bouza-Rodríguez, B., Comesana-Campos, A. and Gonzalez-Pineiro, L., CAD-based methods applied to the reconstruction of archaeological remains. *DYNA-Colombia*, 80 (179), pp. 70-78, 2013.
- [9] Dassault Systèmes. *Catia v5 R18*. California: Woodlands Hills, 2007.
- [10] Jo, J.L., *KeyShot 3D rendering: showcase your 3D models and create hyperrealistic images wit KeyShot in the fastest and most efficient way possible*. Birmingham: Packt Publications, 2012.

J.I. Rojas-Sola, es Dr., e Ing. Industrial y Catedrático en el área de expresión gráfica en la Ingeniería en la Universidad de Jaén, España. Jefe

del Grupo de Investigación 'Ingeniería Gráfica y Arqueología Industrial' desde 1996 y ha sido Director para Europa del Oeste de la International Society for Geometry and Graphics desde 1999 hasta 2008. Actúa como revisor de artículos científicos en revistas internacionales indexadas en el Journal Citation Reports (JCR) y autor de más de 200 artículos y comunicaciones en Congresos Internacionales, y es experto evaluador de proyectos de investigación, desarrollo e innovación para el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y para el Ministerio de Educación del Gobierno de Italia. Es investigador principal en proyectos de investigación y director de tesis doctorales. Sus líneas de investigación incluyen arqueología industrial, arquitectura vernácula, ingeniería gráfica aplicada al patrimonio industrial o cultural, ingeniería asistida por ordenador, animación por ordenador, realidad virtual, realidad aumentada, e historia de la tecnología, entre otras.
ORCID: 0000-0001-9001-1050

J.P. Martínez-Escobar, es Ing. Técnico Industrial en 2012 y finaliza sus estudios en Ingeniería Industrial en 2014 ambos por la Universidad de Jaén, España. Sus intereses se centran en el modelado y el análisis funcional.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Ingeniería Mecánica

Oferta de Posgrados

Maestría en Ingeniería - Ingeniería Mecánica

Mayor información:

E-mail: acmecanica_med@unal.edu.co
Teléfono: (57-4) 4259262