



Utilización de modelos virtuales de máquinas-herramienta en formato de fácil acceso para la docencia en asignaturas relacionadas con fabricación mecánica

I. Cambero Rivero⁽¹⁾, R. González Andrino⁽¹⁾, D. Rodríguez Salgado⁽¹⁾, J. M. Herrera Olivenza⁽¹⁾

(1) Dpto. de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales. Universidad de Extremadura
icambero@unex.es

En trabajos precedentes al que aquí se presenta, se ha realizado la caracterización dimensional y modelado 3D de varias máquinas-herramienta, con el fin de ser utilizadas como material docente en la impartición de las asignaturas relacionadas con el Área de Conocimiento de Ingeniería de los Procesos de Fabricación.

Tras la primera oferta a los estudiantes para utilizar el material mediante el software nativo de modelado 3D o en otro formato de fácil difusión como son los PDF, se decidió utilizar solo la segunda posibilidad. Esta decisión se tomó ante la necesidad de adaptar los programas de las asignaturas al EEES y por la obligación de tener en cuenta el tiempo de estudio del alumno como parte de las enseñanzas a evaluar.

Como resultado se ha ofrecido al alumno modelos virtuales, que a diferencia de videos o imágenes, pueden ser fácilmente por él manipulados, permitiendo el acceso a un conocimiento virtual de la material que posteriormente en clase o en laboratorios será tomado como conocido.

Entre las conclusiones se presentan los resultados obtenidos con esta experiencia, tras la utilización de los medios durante varios cursos académicos.

1. ANTECEDENTES

En trabajos anteriores realizados por los autores se presentó la creación de una serie de modelos 3D realizados con el software de diseño mecánico SolidWorks. Estos modelos constituyen el reflejo fiel de algunas de las máquinas-herramienta existente en el Laboratorio de Fabricación de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura. Tras la finalización del modelado de las máquinas se generaron modelos en formato PDF 3D que han sido usados tanto para la impartición de clases, como por los alumnos durante el estudio en actividad no presencial, facilitando la comprensión de las lecciones relacionadas. [1]

Una ventaja que ha presentado la utilización de archivos 3D en formato PDF ha consistido en la utilización de un software base de distribución gratuita como es Adobe Reader, instalado en la mayoría de equipos informático. Y si bien se puede tomar como limitación la imposibilidad de editar los archivos, si ha proporcionado como argumento de utilización la facilidad de interactuar sobre el punto de vista deseado.

El hecho de la manipulación del modelo ha permitido que el alumno adapte su necesidad de percepción de detalle a las exigencias de las explicaciones durante la exposición por parte del profesor, sustituyendo presentaciones y dibujos estáticos que exigen mayor percepción espacial por parte del alumno y que en ocasiones provoca la aparición de errores conceptuales.

Los modelos generados en trabajos anteriores subsanaron inconvenientes del procedimiento clásico de presentar las máquinas estáticas, dado que poseen detalles tanto para describirlas de forma general, como para explicar los diferentes mandos y movimientos

específicos que poseen. Durante la impartición de clases, el profesor no necesita señalar o dibujar nada, tan sólo modifica el punto de vista o el acercamiento, centrando su tiempo en la explicación, lo que conlleva un mayor rendimiento de las clases.

Los trabajos presentados hasta el momento [1], vienen a ratificar otras experiencias afines llevadas a cabo y así, como presenta [2] en sus estudios, el rendimiento obtenido por alumnos a los que se les facilita material en 3D suele ser mayor que los de aquellos que disponen sólo de representaciones 2D. Por otro lado, como se comenta en [3], la modelización 3D proporciona nuevas formas para que los estudiantes relacionen el diseño con la construcción.

2. LAS APLICACIONES CAD/CAM EN EL ENTORNO INDUSTRIAL

Actualmente el concepto de Diseño Asistido por Ordenador y Fabricación Asistida por Ordenador (CAD/CAM) se encuentra completamente implantado en el desarrollo de la actividad profesional de ingenieros, arquitectos y profesionales del diseño. Siendo también utilizado durante el proceso de administración del ciclo de vida del producto.

Como se establece en [4], no hay que olvidar que el fin último de la concepción de los productos es la satisfacción de una necesidad. El proceso de concepción es lo que normalmente se denomina proceso de diseño, y los programas CAD/CAM permiten una mayor integración de todos los aspectos concernientes a la creación de los productos. Con ellos se puede pasar desde el ámbito más técnico de la ingeniería, hasta aspectos más estético del diseño.

Los programas CAD/CAM facilitan la intercomunicación entre profesionales, como diseñadores, proyectistas e ingenieros, permitiendo interactuar adecuadamente con el producto tanto desde un punto de vista estético (color, textura, olor, ...), como técnico (material, fabricación, análisis de diferentes tipos, ...).

No ha de olvidarse que los productos diseñados y fabricados saldrán al mercado, y es allí donde los compradores y usuarios percibirán las sensaciones que realmente pretenden originar.

Por otra parte en [5] se expone como el diseño, antes que actividad profesional, debe entenderse como un proceso, una tecnología o un saber hacer (know-how), una disciplina y, finalmente, un servicio. Todo ello es debido a que el diseño es un proceso analítico, técnico y creativo, que lleva a determinar las características de un producto concreto. En resumen, se puede entender como tecnología, por cuanto para obtener el fin coordina habilidades intelectuales con instrumentales. Es obvio que esa coordinación obedece a una disciplina proveniente de una formación de capacidades analíticas y de conocimientos técnicos, sumados a una sensibilidad cultural y a una capacidad creativa.

Se habla del diseño como un saber hacer del cual se depende para minimizar el riesgo en la generación, desarrollo y lanzamiento de nuevos productos. Por esta razón, una mayor afinidad entre las definiciones de estrategias empresariales y gestión correcta del proceso de desarrollo de nuevos productos, permitirá optimizar todos los recursos que se inviertan en esta tarea. Ésta es la misión de la gestión del diseño, siendo los programas CAM/CAD potentes herramientas en este campo. Por tanto, para poder integrar todos los anteriores puntos de vista referentes al diseño y fabricación, se necesitan herramientas que permitan trabajar las diferentes facetas en las que se refleja el desarrollo del producto.

Estas herramientas se pueden dividir en programas de dibujo en dos dimensiones (2D), de dibujo en tres dimensiones (3D) y modeladores en tres dimensiones. Las herramientas de dibujo se basan en entidades geométricas vectoriales (puntos, líneas, arcos, circunferencias y polígonos) y no en puntos aislados generando figuras, estas entidades posteriormente se pueden modificar cambiando su tamaño, orientación, color, forma... Los modeladores en tres dimensiones trabajan con entidades tipo superficies y sólidos.

Ahora bien, como se presenta en [6], el modelado en tres dimensiones requiere mayor tiempo para la creación de los diseños frente al 2D, y exige al diseñador definir completamente el producto para incluir todos sus detalles. Por ejemplo, para definir una

serie de radios de redondeo a lo largo de varias aristas, en un plano 2D se puede especificar con un texto: “R5 aplicado a todas las aristas”. Sin embargo, para el modelado en tres dimensiones se deben definir dichos radios para todas las aristas que se consideren, es decir, es necesario especificar explícitamente todas aquellas características que se requieran en las aristas.

Si sólo se quiere realizar un diseño, el uso de un software de modelado CAD 3D tiende a invertir más tiempo e inversión que el uso de programas de dibujo 2D. Ahora bien, cualquier desarrollo serio de un producto requiere mucho más que el simple hecho de realizar sus planos y, para todas aquellas operaciones subsiguientes, es cuando toda la potencia del CAD 3D se despliega con una impresionante lista de ventajas y el rendimiento económico se hace patente [7]. El usuario puede manejar la información de las entidades de forma lógica, con lo que es posible enlazar estos programas con aplicaciones de gestión y producción.

3. PROCEDIMIENTO Y CONSIDERACIONES SOBRE EL MODELADO

Para el modelado de las máquinas-herramienta objetivo del presente trabajo se ha tomado la decisión de utilizar el paquete de diseño mecánica tridimensional SolidWorks. El paquete SolidWorks es un programa de diseño mecánico en tres dimensiones que se ejecuta en la plataforma Microsoft Windows y que ha sido desarrollado por Dassault Systèmes.

SolidWorks es un modelador sólido basado en parasólidos, que utiliza funciones paramétricas para las creación de modelos, dibujos y ensamblajes. Las características de asociativo y paramétrico de manera bidireccional hacen de este programa una herramienta versátil y precisa.

La característica de asociativo se gestiona a través de sus módulos principales, de manera que aunque los documentos generados posean diferentes extensiones, se encuentran vinculados entre sí para asignar las modificaciones recibidas por alguno de ellos, sin la intervención del usuario. Cuando se abre un documento existente el programa busca posibles modificaciones de sus asociados, razón por la cual se aconseja que todos se encuentren en una misma carpeta para evitar una búsqueda manual.

Otro aspecto a destacar en el programa es la existencia de un gestor de diseño, que permite visualizar/ocultar operaciones, suprimirlas o eliminarlas, cambiar sus colores y, aún más importante, editar las operaciones para modificar sus parámetros de definición.

Seleccionada la aplicación CAD 3D adecuada para la consecución del presente trabajo, se ha establecido un procedimiento de trabajo, consistente en el desarrollo secuencial de los apartados presentados en la figura de más abajo:



Fig. 1. Pasos seguidos para la obtención de los modelos.

De manera preliminar, siguiendo las pautas reflejadas en el gráfico anterior y para establecer el alcance de detalle de los modelos, se realizaron estudios previos modelando mecanismos y máquinas simples. Se comenzó por el modelado individual de piezas, para después realizar el ensamblaje de éstas y subconjuntos. El análisis de los resultados previos

puso de manifiesto el consumo de recursos informático cuando se modelaban funciones con curvas y espirales para la generación de sólidos complejos, tal y como es el caso del modelado de elementos mecánicos con engranajes y roscas. Además, los equipos informáticos resultaban saturados cuando con la existencia de los detalles expuestos anteriormente, se pretendía realizar animaciones de movimientos para caracterizar operaciones de mecanizado de la máquina.

Consecuentemente, a la vista de los resultados previos, se tomó como decisión no modelar cadenas cinemáticas y detalles que supusieran la necesidad de desmontaje de partes de las máquinas, en favor de incluir mayor número de detalles sobre las partes vistas.

Siguiendo las pautas indicadas se han modelado las principales máquina universales, una de cada tipo, existentes en el Laboratorio de Fabricación de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura. Teniendo en cuenta la premisa de no desmontar elementos de máquinas, a determinados dispositivos sólo se les ha dotado de un aspecto visual idéntico exteriormente, estando constituidos interiormente por elementos macizos que no contienen los mecanismos que le correspondan.

Indicar que para facilitar la labor de modelado completo del conjunto, se ha procedido atendiendo a las partes másicas principales de cada máquina, de manera que el ensamble total está compuesto por subensamblajes característicos de las mismas.

Finalmente, a las máquinas modeladas con el programa SolidWorks, se las ha dotado para cada uno de sus elementos con las funcionalidades de movilidad características, de esta manera elementos como: volantes, palancas carros,... tienen la posibilidad de movimientos de acuerdo a la realidad. Esta virtud de movimiento queda eliminada cuando desde el programa CAD 3D se generan los ficheros PDF 3D, en tal caso la movilidad de los elementos sólo sirve para situarlos en aquella posición más adecuada para obtener el modelo PDF 3D, según convenga.

En la figura de más abajo se ha incluido una imagen de uno de los modelos PDF 3D. Debe indicarse que el resultado visual final dista mucho de lo que la propia figura representa, ya que en realidad corresponde a un modelo con posibilidad de visualización en tres dimensiones.

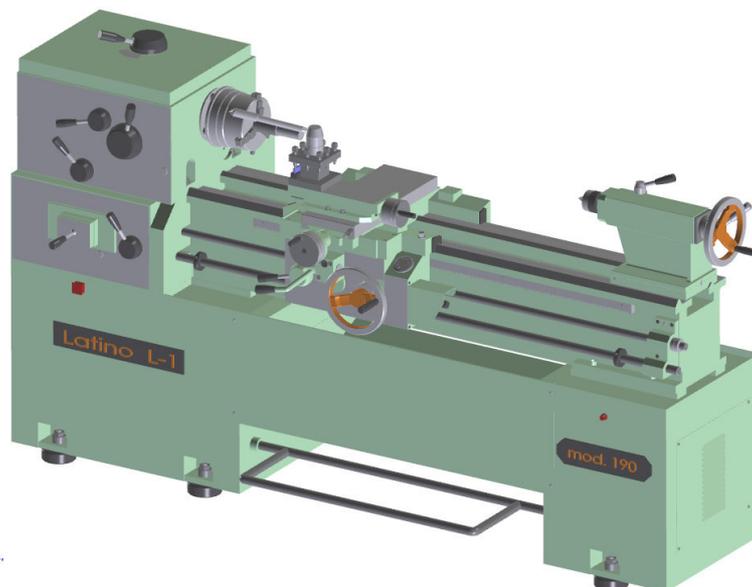


Fig.2. Imagen de torno paralelo en modelo PDF 3D.

4. EL ENTORNO 3D DE ADOBE READER

Cuando se ejecuta un archivo PDF en formato 3D automáticamente es detectado por la aplicación, abriendo un entorno de presentación diferente al habitualmente conocido.

Aparece, junto a las herramientas habituales, una nueva constituida por botones que permiten interactuar con el modelo 3D. Los botones de la barra de herramienta 3D son muy parecidos a los de navegación existente en los programas de modelado 3D, si bien para el caso presenta particularidades como las que a continuación se describen.

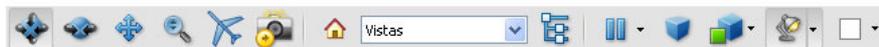


Fig.3. Barra de herramientas para la visualización PDF 3D.

Como elementos básicos de modificación de la visualización se incluyen las herramientas de: giro, desplazamiento y zoom, que permiten posicionar y centrar la imagen para visualizar de manera amplia o detallada el elemento requerido para el estudio, de esta forma mientras el alumno trata de posicionar el modelo adecuadamente, a la vez centra la atención sobre determinados detalles que de otra manera pasarían desapercibidos, ya sea por su tamaño, situación o por no poder ser tenidos en cuenta. Así, inconscientemente el alumno asimila los elementos y dispositivos que constituyen la máquina.

Además incluye un botón denominado volar, que mediante el desplazamiento del ratón permite un desplazamiento continuo del modelo en modo película. Esta opción no es especialmente interesante desde el punto de vista didáctico ya que distrae la atención del alumno sobre el comportamiento del movimiento del modelo, quedando en segundo plano los detalles que visualiza.

La barra incluye un botón denominado propiedades de cámara, que de manera precisa permite situar el modelo en una posición deseada. Esta opción es especialmente interesante cuando se desea una colocación específica o interesante, que no puede ser alcanzada con certeza con el desplazamiento del ratón.

Aunque no es el caso para los modelos PDF 3D generados con la aplicación de diseño mecánico SolidWorks, la barra de botones del menú de visualización de Adobe Reader incluye la posibilidad de incluir posiciones de vistas predeterminadas e incluso un reproductor de animaciones, lo cual aporta a esta sencilla aplicación de visualización una potencialidad inesperada como herramienta de intercambio de información para el desarrollo de productos. Para la temática de este trabajo, queda como futura línea de desarrollo la inclusión de vistas previas de detalles interesantes necesarios para el estudio de cada máquina en concreto, así como la posibilidad de incluir animaciones que caractericen operaciones típicas a realizar.

En el presente trabajo especial interés presenta el botón denominado modo de procesamiento modelo, ya que permite modificar el aspecto visual del modelo, pudiendo seleccionarse vista como: ilustración, trama, cuadro delimitador, vértice,... y especialmente importancia es el modo transparente. El modo de procesamiento transparente permite visualizar los sólidos del modelo con un grado de transparencia predeterminada y, sin necesidad de más interacción del usuario, visualizar elemento sólidos interiores del modelo, siempre, claro está, que se hayan generado. Esta posibilidad entra en conflicto, con la decisión acordada en el apartado anterior sobre el grado de detalle de reproducción de los modelos.

Como último botón con utilidad para el estudio de los modelos existe la posibilidad de activar iluminaciones adicionales, para alumbrar partes o elementos que con la luz por defecto queden sombreadas o a oscuras. Todos los modos de iluminación incluidos tienen una configuración prefijada que no puede ser modificada, por lo que se recomienda elegir aquella que mejor se adapte en cada momento para la zona a estudiar.

5. ESTUDIO DEL ALCANCE DE DETALLES DE LOS MODELOS

Como ya se ha indicado en este trabajo, para la realización de los modelos utilizados en la obtención de los archivos PDF 3D se han tomado dos decisiones que influyen decisivamente en los resultados. Recordando, se trata por una parte no haber reproducido detalles y

elementos ocultos que para su modelado supusiera el desmontaje de partes de la máquina, y por otra, fijar el nivel de detalle a incluir para cada uno de los modelos.

Respecto a la primera decisión ha sido sin duda de fácil aplicación, ya que un primer juicio crítico de la medida tomada ha permitido al modelador discernir qué era lo que debía modelar. Así desde el inicio del modelado de piezas individuales, para la obtención de subensamblajes o para el propio ensamblaje final, quedó claro que lo que se pretendía era reproducir la apariencia exterior que presenta cada una de las máquinas, sin tratar de ilustrar interiores. Esta medida sólo es relevante cuando se activa la visión transparente del modelo PDF 3D, ya que, para aquellos concedores de la máquina se echará de menos, por ejemplo, elementos propios e internos correspondientes a la cadena cinemática. Pero como ya se ha indicado, este nivel de detalle exige unos recursos informáticos que sobrepasan con creces los equipos disponibles por los alumnos, a la vez que para el caso del fichero PDF 3D sería de un tamaño excesivo, no siendo manejable desde el punto de vista de agilidad para uso docente.

Para aclarar la idea sobre el nivel de detalle de interiores, en la siguiente figura se incluye a la izquierda la vista de un fichero PDF 3D correspondiente al cabezal universal de una fresadora, junto a él, a la derecha, se incluye su vista en modo transparente.

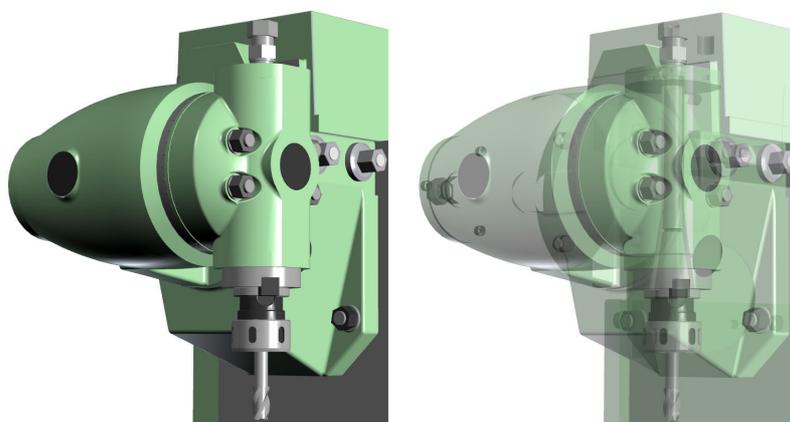


Fig.4. Visualización de detalle de montaje con PDF 3D transparente.

Como puede observarse, la vista de la izquierda en modo sólido reproduce fielmente el aspecto de este elemento de la máquina con el nivel de detalle exterior que también a continuación se discutirá. En la parte derecha se encuentra la misma vista en modo transparente. En esta segunda vista se puede observar como se ha obviado el modelado de la cadena cinemática compuesta por una serie de elementos mecánicos, ya que para acceder a ellos habría que realizar el desmontaje del cabezal. Por otra parte, también puede observarse que, por su acceso inmediato, sí se ha modelado el conjunto para la sujeción de la herramienta compuesto por el tirante y el cono portapinza. Bajo las premisas expuestas para este ejemplo, se ha realizado la creación de un limitado número de elementos interiores.

El otro aspecto decisivo a la hora de modelar las máquinas-herramienta ha sido el nivel de detalle exterior. Los primeros ensayos de modelado arrojaron la conclusión de que el nivel de detalle exterior influye de manera decisiva en la sensación de realismo que evoca el modelo en comparación con la máquina real.

Efectivamente la inclusión en los modelos de chaflanes y redondeos, grabados, grafismos, texturas y color, los dota de un aspecto fotorrealista, que para el caso corresponde con una de las intenciones perseguidas en este trabajo.

Entre los elementos citados en el párrafo anterior se estima que colores y texturas son dos aspectos que no requieren discusión a la hora de justificar su importancia, si se pretende obtener impresiones realistas del modelo. Además, en general la incorporación de estos dos elementos no supone un aumento sustancial en el peso de los ficheros. Por consiguiente, la

selección de colores y texturas en los modelos han sido siempre dotadas, tratando de obtener tonalidades y aspectos lo más parecido al que presenta la realidad.

Con respecto a los grafismos sólo se han incorporado aquellos que han sido posible modelar, de esta manera las tablas que suelen ir adheridas a cualquier máquina, como tablas de velocidades y avances, no han sido incluidas. La única posibilidad que se planteó para incorporar estos elementos fue realizar una foto real, editarla e incorporarla en el modelo como una inclusión fotorrealista, pero teniendo en cuenta que este trabajo sobrepasaba las intenciones del modelador, no han sido incluidas.

Por último, chaflanes, redondeos y grabados, fueron incorporados en la justa medida que, sin saturar las piezas modeladas con estas funciones, se consiguiera el aspecto de realidad que estos detalles proporcionan. Así, los grabados fueron utilizados para modelar las divisiones de los tambores de los carros, cabezal móvil o las divisiones del dial de roscado. Las operaciones de grabado incluidas han sido utilizadas por los alumnos para la elaboración de ejercicios en el cálculo de desplazamientos de carros durante la realización de problemas sobre operaciones características y, aún a mayor nivel, el grabado del dial para el estudio del acoplamiento de la palanca de roscar y realización de roscas con varias entradas.

Para finalizar, como ya se ha indicado, las operaciones de redondeo en general utilizan elevados recursos en relación con otras de parecida simplicidad, por ello la incorporación masiva de redondeos provocará un aumento del peso y exigencias de los recursos informáticos. Así a la hora de modelar redondeos se estableció un valor mínimo, según el caso, por debajo del cual no han sido modelados. El valor mínimo de redondeo se adoptó en aquel valor que visualmente no afectara al aspecto realista de la máquina-herramienta modelada. No es posible indicar un valor determinado de redondeo mínimo ya que éste ha sido establecido en proporción al tamaño de la máquina o del elemento, según el caso.

6. UTILIZACIÓN DE LOS MODELOS PDF 3D COMO MATERIAL DOCENTE

Las nuevas titulaciones de grado hacen una clara distinción de los tiempos de dedicación al estudio por parte del estudiante. En base a ello se incorpora el aspecto de la presencialidad y la no presencialidad, dándose la misma importancia a ambos, razón por la cual deben ser tenidos en cuenta con el mismo interés. Es decir, hasta antes de la entrada en la escena educativa de los nuevos grados, los profesores principalmente apoyábamos nuestra docencia pensando en el tiempo en el cual entre el profesor y el alumno existía reunión, de manera más coloquial, nos estamos refiriendo a la presencialidad en las aulas por parte del estudiante. En los nuevos planes de estudio la presencialidad del alumno se ha visto drásticamente reducida en favor del trabajo independiente para la preparación de la asignatura, siendo computado con un tiempo de dedicación establecido. El nuevo panorama debe hacer reflexionar al profesor para adaptar su material docente a las actuales necesidades educativas.

Bajo las anteriores premisas el trabajo que aquí se presenta trata de aportar material docente para que el alumno, sin encontrarse en los laboratorios en los que pasará menos tiempo, tenga la posibilidad de estudiar las mismas máquinas que en ellos se encuentran.

Dentro de la actividad presencial las máquinas-herramienta modeladas han sido incluidas como vínculos en las presentaciones en PowerPoint para las asignaturas correspondientes. Así, al llegar a la parte descriptiva de cada una de las máquinas, el profesor accede directamente mediante el vínculo al fichero PDF 3D, realizando la exposición acompañado del modelo virtual que mueve según conveniencia de su explicación. Esta opción, a diferencia de imágenes estáticas o dibujos en pizarra, facilita al estudiante percibir con claridad los detalles que se explican y su ubicación en el conjunto de la máquina. Por otra parte, el movimiento en tres dimensiones de la máquina permite dar una continuidad en el sentido de la explicación, encadenando conceptos a través de la relación espacial entre ellos.

Para la actividad no presencial de estudio a través del Campus Virtual de la Universidad de Extremadura se han puesto a disposición de los estudiantes los ficheros en formato PDF 3D, de manera que una vez bajados pueden ser abiertos directamente con el único requisito

de tener instalada la aplicación Adobe Reader de libre distribución. Junto al modelo virtual en 3D y acompañado de apuntes o bibliografía, el alumno accede a los detalles y conceptos que se explican sobre cada máquina-herramienta, que es fiel reflejo de la existente en el laboratorio. Tras las clases teóricas y estudio no presencial, la utilización de máquinas virtuales por parte del estudiante ha supuesto un considerable avance en la comprensión que muestra cuando accede a las sesiones prácticas, observando como finalmente el alumno adquiere conocimientos con mayor profundidad, extremos que se refleja tanto en las exposiciones durante los exámenes, como en sus resultados.

7. CONCLUSIONES

Una limitación que establece la utilización del material en el formato establecido corresponde con la imposibilidad de edición, de manera que el estudiante durante el estudio no puede desarrollar el movimiento de cada una de las partes de la máquina-herramienta. Por parte de los autores se sigue trabajando en ofrecer tal posibilidad al alumno, con la premisa de utilizar contenidos recursos.

Aspecto a destacar es la comprensión y profundidad de los conocimientos que los alumnos han adquirido con la utilización del material, esta comparación se ha realizado sobre los alumnos identificados que no han accedido a los recursos puestos a su disposición en el Campus Virtual de la Universidad de Extremadura.

Se ha observado en el estudiante que con la utilización de los modelos PDF 3D aún quedaban lagunas referentes a movimientos y operaciones características de cada máquina, conocimientos que han sido impartidos durante la realización de las prácticas de laboratorio.

Se puede concluir indicando que la utilización de material docente virtual ha supuesto un apoyo para la mejora de resultados, ya que la posibilidad de disponer de estos modelos ha facilitado el estudio y comprensión del alumno tanto en las sesiones teóricas como prácticas, a la vez que ha puesto a disposición del profesorado una herramienta que le facilita la labor de descripción de las mismas en diferentes vertientes.

8. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Junta de Extremadura - Consejería de Economía, Comercio e Innovación - y el Fondo Social Europeo (FEDER).

9. REFERENCIAS

- [1] I. Cambero Rivero, R. González Andrino, D. Rodríguez Salgado, F. J. Alonso Sánchez, *Virtualización de máquinas-herramienta para uso docente en asignaturas relacionadas con fabricación mecánica*, XVIII Congreso de Ingeniería Mecánica, Ciudad Real, España, (2010).
- [2] Wang Hao-Chuan, Chang Chun-Yen, Li Tsai-Yen, *The comparative efficacy of 2D- versus 3D- based media design for influencing spatial visualization skills*, Computers in Human Behavior, 23-4 (2007), 1943-1957.
- [3] Mark J. Clayton, Robert B. Warden, Thomas W. Parker, *Virtual construction of architecture using 3D CAD and simulation*, Automation in Construction, 11-2 (2002), 227-235.
- [4] S. Gago Masagué, J. Lloveras Macia, *¿Ingeniería de diseño o ingeniería artística?*, XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Badajoz, España, (2009).
- [5] Gabriel Songel, *Valores del Diseño: diseño, visión, innovación*, Círculo de Bellas Artes, (2008).
- [6] Lennings Lex, *CAD/CAM integration in practice: Two cases of computer aided toolmaking*, Computers in Industry, 18-2 (1992), 127-134.
- [7] Raoul G. Wild, *Economic efficiency analysis of complex CAD/CAM systems demonstrated by an integrated design/SFM system*, Computer in Industry, 28-1 (1995), 47-56.