

Ventajas del uso de herramientas de diseño 3D en los proyectos de centrales nucleares

P. Roldán, J. Melendro, A. Gómez e I. Hermana

PARTRICIA ROLDÁN, JESÚS MELENDRO, ANDRÉS GÓMEZ, IGNACIO HERMANA

Departamento de Nuevas Centrales, Generación Nuclear. Iberdrola Ingeniería.

Si hay algo que distingue a Iberdrola Ingeniería y Construcción, como parte del grupo Iberdrola, es su apuesta firme por la innovación y la mejora continua. Es esta filosofía la que llevó a la compañía a interesarse por las herramientas de diseño tridimensional cuando aún éstas estaban en un grado de desarrollo inicial: poca implantación a nivel internacional, falta de integración con otras aplicaciones, ausencia de experiencias previas que permitieran conocer la mejor configuración posible para cada caso, etc. No obstante la empresa supo ver la enorme ventaja que supone contar con un programa de construcción en los primeros meses del proyecto, un programa detallado que permita anticipar y por tanto eliminar los problemas que de no preverse se presentarían en la fase de construcción, cuando ya implican incremento de costes, tiempos y multitud de complicaciones.

Las herramientas de diseño 3D ofrecen precisamente esta posibilidad, la anticipación, y así ha quedado constatado en los últimos proyectos de ciclos combinados, realizados con estas herramientas. Un proyecto ejecutado sin errores no sólo disminuye plazos y extra-costes sino que aumenta necesariamente la calidad del resultado: eficiencia y calidad, ambos objetivos básicos de Iberdrola Ingeniería y Construcción.

El grado de conocimiento y destreza en el uso de estas herramientas ha crecido a la vez que el desarrollo de las mismas alcanzaba cotas cada vez mayores. Es por ello que Iberdrola Ingeniería y Construcción cuenta hoy con amplia experiencia en el manejo de herramientas de diseño tridimensional y está preparada para los retos que estas herramientas presentan para el futuro, cuyas capacidades han alcanzado niveles tales que permiten abordar uno de los proyectos de mayor exigencia técnica que existen, una planta nuclear... y ello nos disponemos.

If there is anything that distinguishes Iberdrola Ingeniería y Construcción, as part of the Iberdrola Group, it is its firm commitment to innovation and continuous improvement. This is the philosophy that led the company to its interest in three-dimensional design tools back when they were in an early stage of development: very little international implementation, lack of integration with other applications, absence of previous experiences to understand the best possible configuration for each case, etc.

Nevertheless, the company was able to see the tremendous advantage of having a construction program in the early months of a project – a detailed program that could predict, and therefore avoid, the problems that, if not anticipated, would arise in the construction phase when they result in higher costs, longer timeframes and a multitude of complications.

This is precisely what 3D design tools offer – prediction – and this has been proven in the latest combined cycle projects executed with these tools. A project executed without errors not only decreases cost and time overruns, but also necessarily increases the quality of the end result.

Efficiency and quality: these are both basic goals of Iberdrola Ingeniería y Construcción.

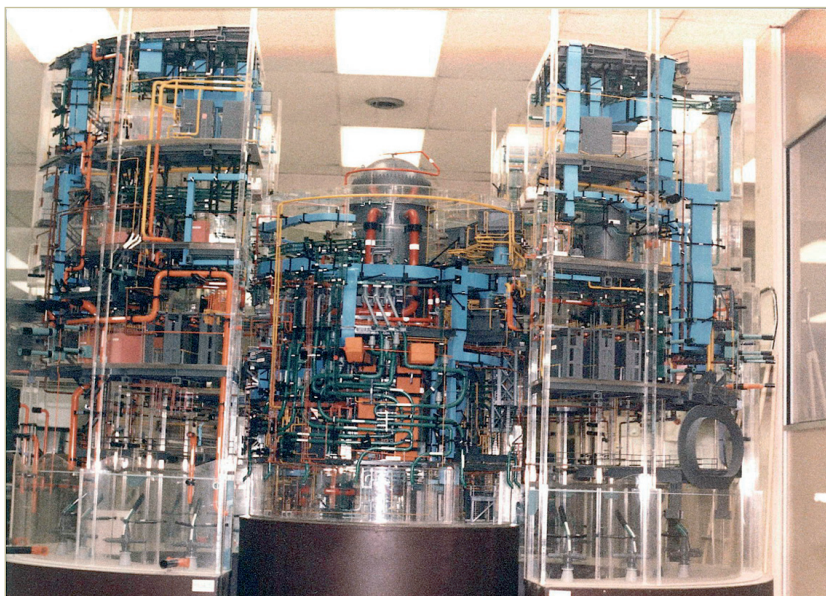
The knowledge of and skill in the use of these tools have grown at the same time that their development has reached increasingly higher levels. As a result, Iberdrola Ingeniería y Construcción now has extensive experience in the use of 3D design tools and is prepared for the future challenges posed by these tools, the capabilities of which have attained such heights that it is possible to take on one of the most technically challenging projects that exists – a nuclear power plant. And we are ready.

ANTECEDENTES

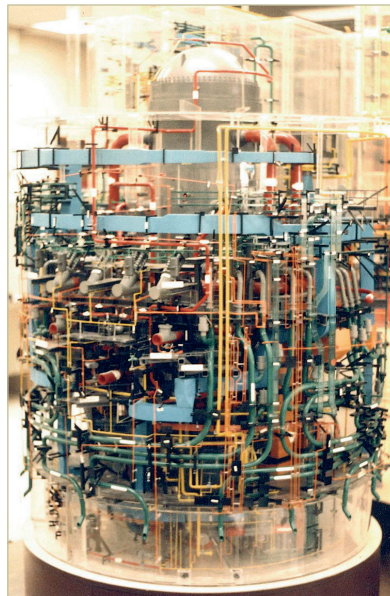
Miles de kilómetros de cable, otros tantos de tubería, edificios, por ejemplo el de contención, que alojan decenas de equipos, conectados entre sí y a la vez lo suficientemente separados unos de otros para no quebrantar las normas (RG 1.75 y otras). Sin duda un diseño complicado, y demasiado caro “jugar” a “prueba y error” durante la construcción cuando de lo que hablamos es de construir una central nuclear. En este contexto no es exagerado afirmar que contar con un modelo 3D no es una ayuda, sino una necesidad, idea que se ve reforzada por el hecho de que el control de plazos y costes en la ejecución de un proyecto es cada vez más exigente.

En 1975 se inició la construcción de la central de Valdecaballeros, que si bien no llegó a terminarse nunca, sí dejó para la historia la primera maqueta física tridimensional que se hizo en España para un proyecto de central nuclear junto con la de Trillo. Unos 40 m² de extensión, casi 3 m de altura en su punto más alto, 5 años para alcanzar un desarrollo del 60% y 300 millones de pesetas. A pesar de las cifras “faraónicas” permitió identificar 3500 interferencias antes de la fase de construcción con lo que resultó absolutamente rentable.

A mediados de los años 60 aparecen los primeros sistemas CAD; su difusión no llegaría hasta los 80, cuando se desarrollaron sistemas CAD para PC. La revolución que supuso respecto a la forma tradicional de realizar planos relegó las maquetas físicas a un segundo plano, pero sólo temporalmente. Los sistemas CAD evolucionaron hacia el diseño 3D. Esta nueva capacidad de la herramienta se utilizó, por su espectacularidad, para realizar maquetas 3D al final del proyecto, con la idea de mostrar el resultado. Puesto que se conocían



Maqueta de la central nuclear de Valdecaballeros. Una obra de artesanía.



Vasija de CN Valdecaballeros.

las ventajas de poder contar con la maqueta tridimensional al principio del proyecto, el paso siguiente estaba claro: no realizar la maqueta a partir del diseño sino diseñar a partir de la maqueta. Y así empresas como Intergraph comenzaron a desarrollar y sacar al mercado productos como PDS que aprovechaban la capacidad de los sistemas informáticos no sólo para el dibujo tridimensional sino también para el almacenamiento y gestión de datos. Aumentaron progresivamente la cantidad y tipo de tareas que podían desarrollarse a partir de la maqueta y así, llegamos al día de hoy en que la maqueta constituye una herramienta extraordinariamente potente en la que se basan todos los aspectos del proyecto relacionados con el diseño espacial y que, por tanto, está en el principio de prácticamente "todo".

DESCRIPCIÓN

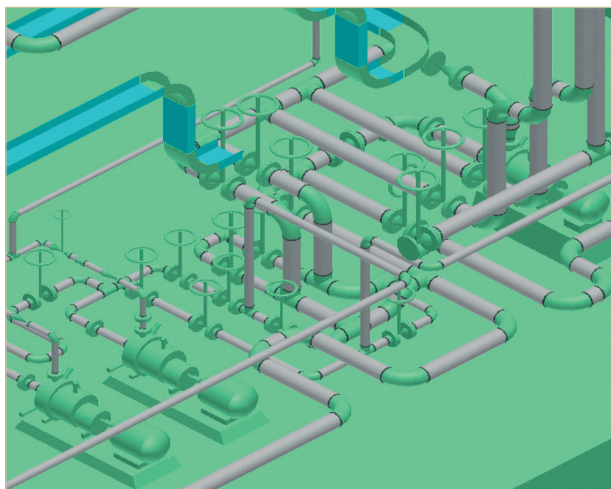
Las herramientas 3D constituyen un potente entorno de trabajo que abarca todas las disciplinas involucradas en el diseño de plantas. Son además una base de datos centralizada y completa, conectada gráficamente con el *layout* 3D, que permite por tanto localizar, listar y relacionar entre sí toda la información del proyecto, automática y gráficamente.

Se diseña directamente en 3D, conectando el diseño tridimensional a los diagramas P&ID realizados previamente con la propia herramienta. El diseño está soportado por catálogos y especificaciones definidos/introducidos por el usuario junto con herramientas de diseño que minimizan la existencia de errores e inconsistencias.

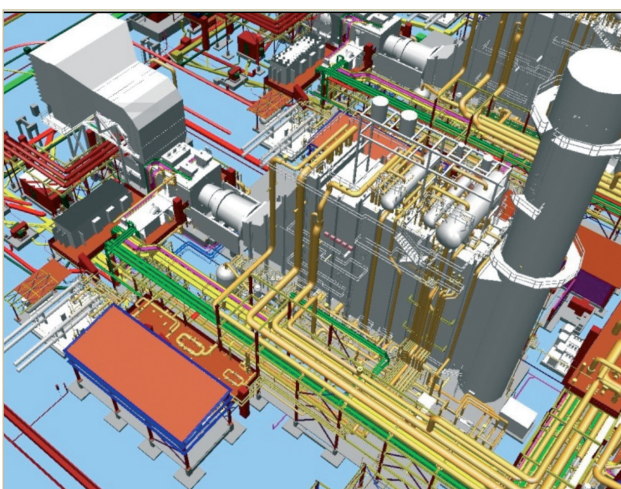
A medida que avanza el diseño, el software almacena todos los datos de

la planta y proporciona desde planos de layout a planos de detalle, listas de materiales (MTO) y elementos y, en general, cualquier documento relacionado con el proyecto. La obtención de los documentos a partir directamente del modelo tridimensional y siguiendo una metodología adecuada evita inconsistencias. El carácter global de la herramienta como centro en el que concurren los trabajos de todas las disciplinas implicadas, y su capacidad para gestionar esa información hacen de ella un instrumento eficaz para el siempre difícil control de interfaces: disposición espacial de elementos (diseño 3D), flujo de datos entre las disciplinas y entre empresas colaboradoras, etc.

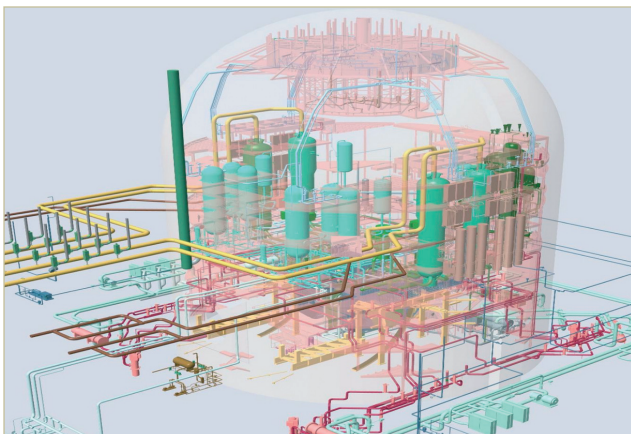
Las herramientas de diseño 3D son por tanto mucho más que herramientas gráficas y la ganancia que



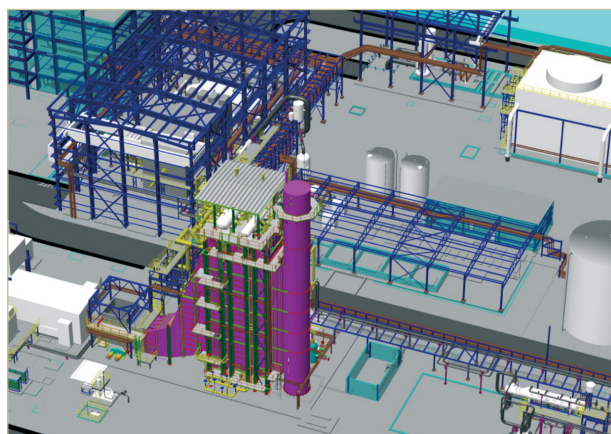
Edificio de residuos de CN Cofrentes-Smart Plant.



¿Altamira o Tamazunchale? - PSD.



AECL - ACR - 1000 - SmartPlant 3D



Central de ciclo combinado Kuryamat - Smart Plant 3D.

proporcionan en términos de tiempo y calidad del producto es indiscutible.

Las distintas aplicaciones se desarrollan en módulos. Entre las numerosas capacidades actuales de estas herramientas, algunas de las más interesantes en las distintas disciplinas son:

Piping. Ruteado automático de tuberías y obtención de lista de materiales (MTO) preliminar. Producción de isos de spools, con la incorporación de las soldaduras a la base de datos del modelo. Integración con programas de cálculo de soportes, flujo y espesores de pared.

HVAC y ductos. División en spools para fabricación y pre-montaje. Producción de isométricos y diseño de soportes.

Estructuras. Orientación al tratamiento de hormigón y estructuras metálicas. Obtención de gran variedad de planos e información precisa sobre MTO y pesos. Funcionalidades específicas para el diseño de estructuras de hormigón propias de plantas nucleares.

Sistema eléctrico. Ruteado de cables en el modelo. Diseño de soportes.

Documentación. Se admite el volcado de datos en formato Excel. La información obtenida a partir del modelo, ya sean planos o documentos, en general es compatible con otros formatos (AutoCAD, Microstation, CSV). Se pueden incorporar aplicaciones propias de usuario escritas en lenguajes compatibles.

Gestión. Integración del trabajo simultáneo de muchos diseñadores, incluso desde localizaciones diferentes.

Calidad. Registro de la información de todos los estadios del desarrollo del proyecto con lo que se cuenta con la historia completa de progreso y modificaciones.

En definitiva, las ventajas son tantas y tan claras que no sólo interesan estas herramientas por sí mismas si-

no que hoy en día son exigidas por los tecnólogos.

EXPERIENCIA

Iberdrola Ingeniería y Construcción cuenta con amplia experiencia en la utilización de herramientas de ingeniería basadas en diseño 3D:

- Intergraph: PDS, Support Modeler, SmartPlant 3D.
 - Bentley: AutoPlant, PlantSpace .
 - Aveva: PDMS.
 - CEA Eng. Software: Plant 4D.
- Además de otras aplicaciones 3D:
- Pro/Engineer
 - Catia
 - SolidWorks
 - Inventor

Los principales proyectos llevados a cabo por Iberdrola Ingeniería y Construcción basados en las herramientas PDS y SmartPlant son:

- Arcos I-II (España) - Ciclo Combinado, 400 + 400 MWe.
- Aceca (España) - Ciclo Combinado, 400 MWe.
- Arcos III (España) - Ciclo Combinado, 800 MWe.
- Escombreras (España) - Ciclo Combinado, 1200 MWe.
- Tamazunchale (México) - Ciclo Combinado, 1135 MWe.
- Castellón IV (España) - Ciclo Combinado, 850 MWe.
- Riga (Letonia) - Ciclo Combinado, 420 MWe
- Mesaieed (Qatar) - Ciclo Combinado, 2.000 MWe.
- Fujairah (Emiratos Árabes Unidos) - Ciclo Combinado, 225 MWe.
- Puertollano (España) - Termosolar, 50 MWe.

Los trabajos antes mencionados han permitido a Iberdrola Ingeniería y Construcción adquirir amplios conocimientos y alcanzar logros importantes con el diseño 3D, como por ejemplo vincular los elementos de la maqueta

con el programa de montaje (real y planificado), o la coordinación de los contratistas para realizar los montajes sin riesgos de coincidencias en un mismo espacio y consiguiente mejora de la seguridad

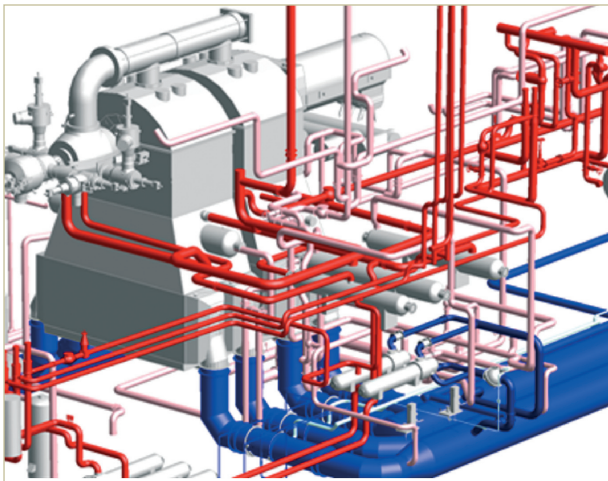
METODOLOGÍA

A lo largo de todos estos proyectos la metodología de trabajo se ha ido adaptando a las herramientas consiguiéndose mayor estandarización de los proyectos, mayor control del producto y mayor eficiencia durante la ejecución. Así por ejemplo puede trabajarse en remoto, facilitando la relación con el cliente y colaboradores, accediendo ambos en tiempo real a la información última de proyecto, sin perder el control de los datos suministrados. Las funciones de configuración y administración aseguran el cumplimiento del estándar de Iberdrola Ingeniería y Construcción y la concordancia entre listados, BD y Maquetas minimiza la posibilidad de error humano.

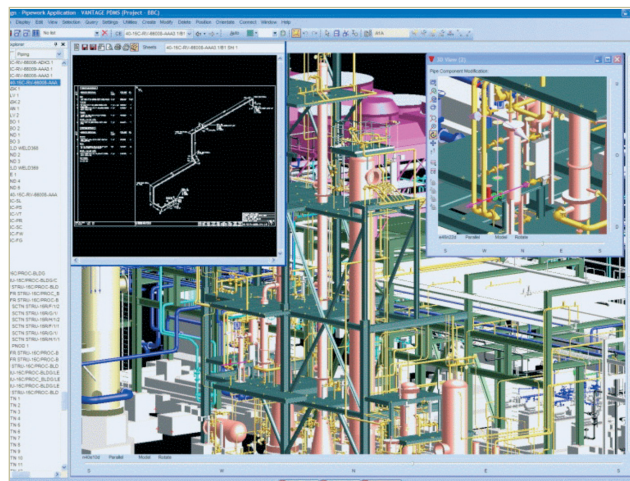
A la hora de plantear un proyecto nuclear usando herramientas 3D, tanto la naturaleza del proyecto, nuclear, como la herramienta escogida para el diseño, determinan una serie de factores, característicos de estas dos circunstancias, que necesariamente han de tenerse en cuenta

Entre las peculiaridades del proyecto nuclear cabe señalar:

- Presupuesto extraordinariamente elevado y plazos de ejecución relativamente altos respecto de otros tipos de planta.
- Gran peso de la intervención de organismos reguladores con procesos de aprobación largos y complejos.
- Clasificación de ESC (Estructuras, Sistemas y Componentes) respecto a seguridad, sismicidad, condiciones ambientales y control de calidad.



MDR.



CAD.

- Gran densidad de anclajes y penetraciones.
- Predominio de las estructuras de hormigón sobre las de acero, siendo las primeras mucho más difíciles de modifica/reforzar una vez construidas, puesto que las placas de anclaje han de colocarse antes del hormigonado, lo que complica extraordinariamente cualquier refuerzo y/o modificación *a posteriori*.

Este último punto es determinante puesto que condiciona la organización del proyecto. Las distintas disciplinas deberán adelantar los cálculos necesarios para definir las placas de anclaje antes de finalizar la ingeniería de detalle estructural (planos estructurales constructivos). Debe evitarse cualquier penetración *a posteriori*; las condiciones de estanqueidad, tanto hidráulica como radiológica, el coste del perforado y la necesidad de armaduras de refuerzo hacen de estas penetraciones una modificación altamente compleja y costosa.

Además, hoy en día, son muchos los que proponen la "construcción modular" como método para reducir los plazos del proyecto. Este sistema de construcción aumenta la interacción interdisciplinar y las restricciones geométricas. Si los módulos han de ser puestos en obra previamente al hormigonado bien porque actúen a modo de encofrado o porque contengan partes embebidas, el diseño de cada disciplina habrá de adelantarse aun más.

Todos estos condicionantes hacen especialmente necesario aquello de "cero defectos" & "right first time", esto es, "todo bien a la primera".

Por otro lado, el hecho de escoger una herramienta de diseño 3D para llevar a cabo el proyecto tiene, lógicamente, importantes implicaciones en la organización:

- Se trabaja sobre un modelo único. No sólo las distintas disciplinas de ingeniería sino cliente, subcontratistas, suministradores, empresas de montaje, etc. necesitarán tener acceso al diseño en algún momento a lo largo del proyecto. Básicamente las ingenierías crearán el modelo 3D y los listados y resultados obtenidos serán utilizados o revisados por ellas mismas y además por compras, construcción, montaje, calidad, seguridad, etc. El equipo de construcción y montaje, por ejemplo, diseñará andamios y comprobará secuencias de montaje sobre la maqueta virtual, pero no podrán en ningún caso modificarla sin coordinación con la ingeniería. Esto obliga a definir previamente y con exactitud los flujos de información permitidos a través del modelo tridimensional y los permisos de escritura y/o modificación.
- El compartir el soporte de trabajo con otras disciplinas/intervinientes obliga a que cada elemento individual esté identificado no sólo a través de sus coordenadas y los códigos correspondientes (según tipo, sistema, características, elementos a los que va conectado, habitación donde se encuentra, número de documento o plano que lo describe) sino que deberá tenerse en cuenta una nueva codificación que permita diferenciar grupos de elementos distintos con el fin de que sean seleccionados, visualizados y listados separadamente; se proporciona de este modo sólo la información estrictamente necesaria a cada interviniente haciendo posible el control absoluto de los flujos de información.
- Las herramientas 3D permiten diseñar con distintos grados de detalle:

desde solo el contorno exterior de un equipo hasta cada uno de sus internos. Debe quedar definido *a priori* y con claridad qué y con qué grado de detalle tiene que ser modelado cada elemento, y durante qué fase. Cada disciplina representará sus sistemas y elementos con exactitud o al menos mediante elementos envolventes a la forma real para evitar colisiones. Todo lo que pueda interferir con otras disciplinas ha de identificarse y ser representado. Las distancias mínimas entre elementos han de tenerse en cuenta incluso señalando ya en el modelo 3D los espacios que han de quedar libres: aislamientos, espacios necesarios para transporte y montaje, medios de elevación, etc.

A la vista de todas estas condiciones es claro que el trabajar con herramientas de diseño 3D en un proyecto nuclear requiere una metodología adaptada y un esfuerzo extra de previsión y planificación.

Los numerosos proyectos realizados desde Arcos I, en 2005, han hecho posible que Iberdrola Ingeniería haya desarrollado una metodología eficaz y plenamente adaptada a las nuevas condiciones de trabajo. Durante el proceso de aprendizaje la compañía contó con la colaboración de CT3, especialistas en diseño 3D.

Toda la experiencia acumulada no hace sino reforzar el convencimiento del extraordinario interés que tiene trabajar con este tipo de herramientas. El afán por tanto de Iberdrola Ingeniería en profundizar en su manejo, incorporar las nuevas aplicaciones y cumplir con solvencia las exigencias de los tecnólogos está llevando a la compañía a extender sus capacidades con SmartPlan 3D en ciclos combinados a proyectos nucleares y

a alcanzar un grado de conocimiento semejante respecto a PDMS.

¿Y cómo abordar grandes modificaciones de diseño en plantas de las que no se tiene una maqueta digital 3D previa? En Iberdrola Ingeniería se procede realizando un escaneo 3D (con precisión de pocos milímetros) y haciendo maquetas parciales que permiten la simulación estática de los equipos, y también la simulación dinámica de las posibles maniobras de montaje (especialmente útil para movimientos de grandes equipos).

CONCLUSIÓN

Tras esta breve descripción de qué son las herramientas de diseño 3D y cómo se trabaja con ella veamos, a modo de conclusión, las ventajas que se derivan de su aplicación.

Se facilita la tarea de diseño. Una vez modelado una estructura/equipo, cualquier modificación o revisión posterior no requerirá el estudio de los planos sino que se realizará directamente sobre el modelo tridimensional. Además la estructura/equipo en revisión estará rodeado en el modelo por el resto de estructuras/equipos con los que comparte ubicación dentro de la planta, los cuales contarán a su vez con todas las actualizaciones introducidos por el resto de disciplinas. En estas condiciones la capacidad de detectar interferencias es prácticamente total. En la actualidad muchos suministradores ya proporcionan modelos 3D de sus equipos los cuales se incorporan directamente al diseño de la planta, permitiendo comprobar de forma sencilla el ajuste de dicho equipo al espacio y las conexiones correspondientes.

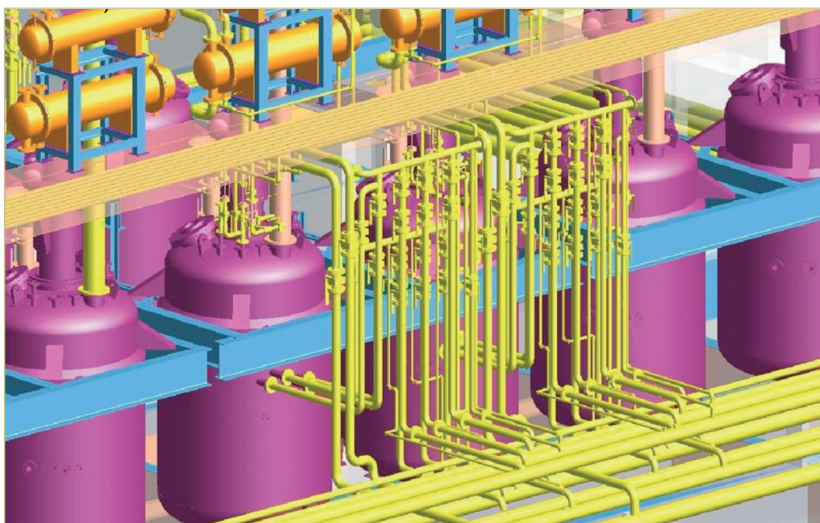
No hay cifras concretas acerca de la reducción de tiempo y costes, puesto que esto está fuertemente relacionado con el tipo de proyecto, el tipo de herramienta y, cómo no, la experiencia y grado de preparación del equipo humano. Cada herramienta cubre en mayor o menor medida una necesidad concreta. Así mientras unas facilitan la obtención de planos o el trabajo en remoto, otras priorizan la compatibilidad con programas de cálculo específicos utilizados por la ingeniería. Es este un punto fundamental, la posibilidad de volcar los *outputs* de programas de cálculo directa o indirectamente en la base de datos del diseño tridimensional agiliza enormemente los procesos y minimiza posibles errores durante el traspaso de datos. En cualquier caso, con la herramienta y el equipo adecuado, y si no surgen inconvenientes

GLOSARIO DE TÉRMINOS	
BD	Base de Datos
CAD	Computer-Aided Design
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
Isos	Planos Isométricos
Layout	Disposición espacial
MTO	Material Take Off (lista de materiales)
PC	Personal Computer
Piping	Sistema de tuberías para líquidos y gases
Ruteado	Trazado o recorrido (en líneas, tubos, conductos)
Spool	Conjunto de tuberías conectadas entre sí para cumplir una determinada función. Se conectan durante la fabricación y se transportan y montan en la planta como conjunto.

extraordinarios, el tiempo de ejecución del proyecto global podría reducirse hasta en un 30%. Entre el primero y los siguientes proyectos desarrollados por un mismo equipo la mejora es notable. No sólo se adquiere experiencia sino que parte del diseño y de la documentación (especificaciones, catálogos, etc.) es trasladable de uno a otro proyecto, especialmente en los casos en que se trata de construir nuevas unidades en una planta nuclear ya existente. En cuanto a los costes, es aún más difícil dar una cifra ya que esto depende del ahorro propiciado por la eliminación de errores en obra. Teniendo en cuenta lo costoso que puede llegar a ser cualquier retraso o una incluso ligera modificación en campo, cabe decir que el ahorro es significativo. De lo que no hay duda es del enorme valor del producto, como modelo tridimensional y como fuente de información precisa y perfectamente ordenada, sin duda también útil para futuros proyectos similares.

Las herramientas 3D no sólo son el futuro sino el presente (para diseño de nuevas plantas y también para grandes modificaciones en plantas existentes). Su proceso de implantación es complejo, requiere una inversión inicial importante (poner operativa la herramienta y actualizar catálogos y especificaciones), e implica incluso un cambio en la metodología de trabajo y una mayor especialización en algunas áreas. Por otro lado los estándares de calidad en términos de plazos, costes y ausencia de errores en un proyecto nuclear son, y deben ser, cada vez más exigentes. Se ha ejercitado en ciclos, ahora se va a dar un paso más en la aplicación a nucleares, con estándares más elevados. La única forma de alcanzar dichos estándares y trabajar en pro de la excelencia pasa hoy en día por el manejo de estas herramientas.

Atrás quedó la maqueta de la central nuclear de Valdecaballeros, una obra excelsa de artesanía, para dar paso a los modelos virtuales 3D, ingeniería en estado puro. ■



Piping.