

# Modelado y puesta en servicio virtual de sistemas de fabricación

Desarrollos de IDEKO sobre Digital Twin y Virtual Commissioning

La inversión en nuevas tecnologías, la digitalización y su flexibilidad para adaptar las soluciones a los requisitos de los clientes son clave para lograr este éxito. Sin embargo, la industria se está volviendo cada vez más competitiva y es crucial invertir más en la investigación de tecnologías innovadoras, como los gemelos digitales, para superar los límites reales de las máquinas 4.0 y las células de fabricación flexibles integradas con las soluciones de TI a nivel de planta. Las tareas de integración horizontal y vertical son cada vez más complejas, y la flexibilidad requiere nuevas tecnologías de automatización.

El trabajo que se está desarrollando en el centro tecnológico IDEKO en esta línea, está orientado a investigar y desarrollar gemelos digitales o modelos de representación virtual para máquinas y celdas de producción con el objetivo de comisionar más rápido, antes y con mayor calidad. Y para usar esos modelos de desarrollo para la optimización y la evaluación del rendimiento a nivel celular.

Las condiciones del negocio están variando y conceptos como el Digital Twin y Virtual Commissioning suenan en el ámbito de la fabricación, englobando a muchos de los sectores entre los que está la máquina-herramienta.

Los modelos de negocio están rotando hacia un modelo de producto y servicio en el que el uso de las herramientas digitales se hace indispensable para poder satisfacer las necesidades de sus clientes en parámetros de coste-rentabilidad adecuados reduciendo el riesgo y tiempo de ejecución de las nuevas inversiones. En esta visión, la digitalización está integrada en el propio desarrollo de sus productos, con objeto de ofrecer la ingeniería y soluciones más ajustadas, así como en las otras fases del ciclo de vida de estas máquinas y líneas productivas.

En este contexto, los desarrollos en la digitalización de las empresas fabricantes de productos se centran en desarrollar analizar y validar el concepto de gemelos digitales y Virtual Commissioning o Puesta en Marcha Virtual y los beneficios derivados de su aplicación en sistemas productivos, sin que para ello sea necesario disponer de los propios equipos físicos. Lo que permitirá eliminar la necesidad de realizar prototipos, reducir la cantidad de tiempo necesario para el desarrollo, mejorar la calidad de las máquinas, y una adecuación más rápida en respuesta a los cambios de especificaciones de los clientes.

El llamado “gemelo digital” es un modelo virtual de un proceso o producto que reproduce digitalmente con la máxima precisión el comportamiento y el rendimiento de la versión real

a la que está vinculado. Los gemelos digitales se pueden aplicar a nivel de máquinas y células de fabricación compuestas por más de una máquina para resolver problemas específicos de los fabricantes de las máquinas y los usuarios finales. Es necesario la planificación de acciones concretas para identificar el impacto del uso de gemelos digitales durante el ciclo de vida completo de una máquina.

La simulación se ha utilizado tradicionalmente para el diseño de nuevos productos en disciplinas de ingeniería aisladas, eliminando la necesidad de construir múltiples prototipos antes del lanzamiento del producto, por ejemplo, la simulación por elementos finitos. Hoy en día, las nuevas herramientas de ingeniería ofrecen la posibilidad de integrar y probar enfoques interdisciplinarios que combinan diseños eléctricos, mecánicos, de fluidos y software y completan los modelos digitales mencionados anteriormente.

Otro problema a tener en cuenta es el de la interoperabilidad que surge durante la creación de los gemelos digitales de las máquinas. Una máquina es una entidad mecatrónica compleja, y su gemelo digital también es complejo. Al igual que la máquina

El llamado “gemelo digital” es un modelo virtual de un proceso o producto que reproduce digitalmente con la máxima precisión el comportamiento y el rendimiento de la versión real a la que está vinculado

real, el gemelo digital necesita ser segmentado en módulos (una imagen virtual del equipo CNC, y una imagen virtual de la mecánica...). Al mismo tiempo, hay que evaluar la interoperabilidad entre las herramientas de ingeniería y las plataformas de colaboración con el objetivo de optimizar el “proceso de cumplimiento de pedidos de máquinas-herramienta”, teniendo en cuenta que los gemelos digitales deben construirse con una cantidad limitada de esfuerzo adicional.



Definición e implementación de soluciones de gemelo digital

## NECESIDAD TECNOLÓGICA DEL PROYECTO: ANTECEDENTES

Una de las principales tendencias tecnológicas remarcada durante los últimos años por diversas consultoras es la creación de gemelos digitales, un concepto al que en ocasiones también se refieren por su nombre en inglés: “Digital twins”. A grandes rasgos, la apuesta por esta tecnología no es más que la generación de una réplica virtual de un producto, servicio o proceso que simula el comportamiento de su homólogo físico, con el objetivo de monitorizarlo, analizar su reacción ante determinadas situaciones y mejorar su rendimiento y eficacia.

Por lo tanto, la puesta en marcha de un gemelo digital se concreta en un sistema u objeto real cuya estructura y la información que maneja cuenta con una copia virtual donde es posible experimentar sin correr riesgos, algo muy beneficioso para los procesos de fabricación. De hecho, Gartner predice que en 2021 la mitad de las compañías industriales usará gemelos digitales, lo cual les ayudará a aumentar su eficacia en un 10%.

El término “digital twin” comenzó a aplicarse a la Industria 4.0 a partir de 2003, cuando fue utilizado por el ingeniero informático Michael Grieves en una conferencia en la Universidad de Michigan sobre la gestión del ciclo de vida de un producto. No obstante, este método tiene su origen en los trabajos realizados por la NASA en los años 80 del pasado siglo. Durante esta década, la agencia espacial de Estados Unidos comenzó a realizar simulaciones sobre el comportamiento de las naves o equipamientos para asegurar la viabilidad de ciertas misiones y velar por la integridad física de los astronautas. Ahora, los avances en “big data”, “cloud computing” o el internet de las cosas (IoT), así como la facilidad de acceso a estas tecnologías, han facilitado la expansión de los gemelos digitales en otro tipo de organizaciones y sectores.

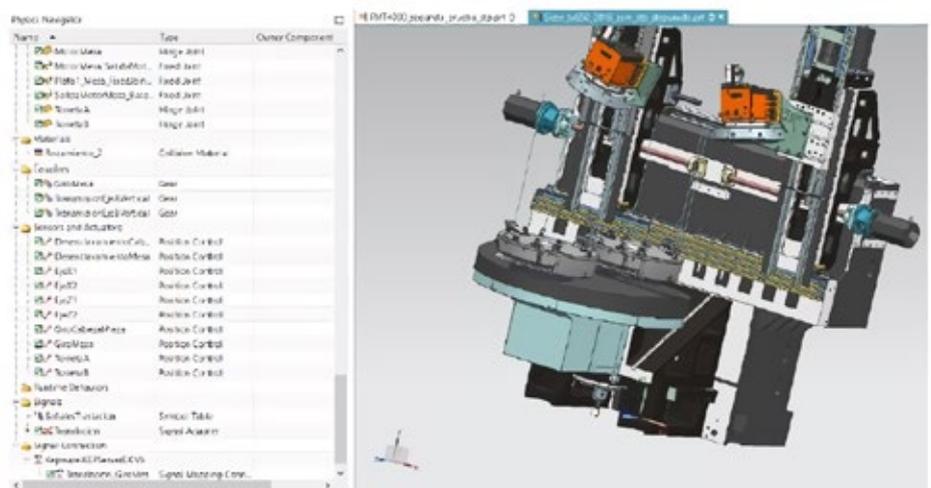
Principalmente se centran en la unión de los mundos físico y virtual mediante gemelos digitales para posibilitar un análisis exhaustivo de la información, algo que combinado con soluciones de “big data”, inter-

net de las cosas e inteligencia artificial permite llevar un riguroso control de los sistemas para evitar problemas, prevenir tiempos de inactividad, probar nuevas oportunidades de negocio, planificar escenarios futuros mediante simulaciones y personalizar la producción a partir de los requerimientos de los clientes.

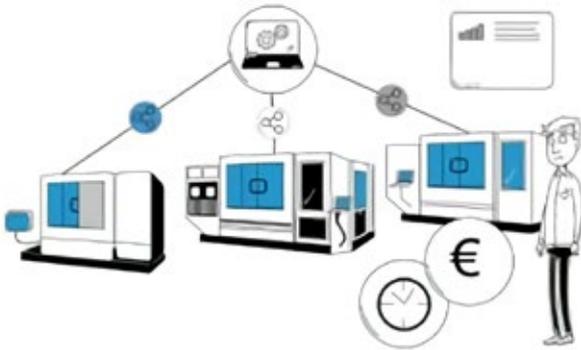
## CON QUE NOS ENCONTRAMOS HOY EN DÍA

Existen múltiples plataformas digitales de este tipo que se centran en un mercado único digital. Los proveedores comerciales se están volviendo dominantes en el mercado, mientras que las soluciones de investigación proporcionan solo ejemplos prácticos y estudios de prueba de concepto. Las líneas de desarrollo se están orientando hacia:

- *Hardware y software en el bucle*: las simulaciones de hardware y software en el bucle (HIL y SIL) evolucionan rápidamente de una herramienta de creación de prototipos de control a un modelo de sistema, simulación, que combina muchas ventajas de la creación de prototipos físicos y virtuales. Se necesita poner más atención en su metamorfosis de una herramienta de validación de control a un paradigma de desarrollo del sistema.



Digital Twin para el Virtual Commissioning de una máquina-herramienta



### Interoperatividad entre elementos

- *Digital Twin para máquina-herramienta Virtual Commissioning*: el objetivo con VC es acortar el tiempo de entrega desde que se solicita la máquina hasta que se entrega. Es importante construir el modelo digital antes de construir el físico, porque el modelo digital permitiría ver si los diseños (mecánicos, eléctricos, programas...) interactuarán adecuadamente entre sí. Esto da como resultado un ahorro de tiempo y capital. Para realizar una puesta en servicio virtual, se debe establecer una conexión entre varias herramientas y disciplinas de diseño desde las primeras etapas de la fase de diseño.
- *Gemelos digitales experimentales y modelos de simulación compleja híbrida*: la creación de gemelos digitales de máquinas, celdas y líneas de producción, conducen a un nuevo tipo de "gemelos digitales experimentales" que abren nuevos caminos en la simulación de eventos discretos de sistemas de fabricación complejos. Los "Gemelos Digitales Experimentales" pueden actuar como el núcleo de los procesos de desarrollo basados en simulación que agilizan el proceso de desarrollo, permitiendo simulaciones detalladas a un nivel de sistema de fabricación más complejo. La aplicación de técnicas de simulación da vida a los gemelos digitales y los convierte en gemelos digitales experimentales (EDT). Se pueden crear y simular representaciones digitales completas de los activos reales y sus comportamientos. La conexión en red de EDT con activos reales conduce a escenarios de aplicaciones híbridas en los que los EDT se usan en combinación con hardware real, lo que da lugar a algoritmos de control complejos o interfaces de usuario innovadoras.
- *Programación y control*: las tecnologías de vanguardia actuales se centran en la simulación y la optimización en la etapa de planificación, donde las capacidades, la cartera de productos y la combinación son primordiales, así como los planes de turnos, las calificaciones del operador, los tiempos de funcionamiento de las herramientas, los planes de mantenimiento preventivo, etc.

Por otro lado, en estos momentos existe una tendencia hacia la servitización y el mantenimiento predictivo, que parece ser una de las claves para las empresas que, previsiblemente, venderán horas de máquina o capacidad de fabricación en lugar de la máquina en sí.

El sector de la maquinaria está liderado por Alemania y Japón (además de China). Dejando aparte el caso chino, los líderes mundiales (Alemania y Japón) marcan una estrategia de mercado basada en la tecnología: sus máquinas son las que incorporan en primer lugar los avances tecnológicos y apoyan en esos avances tecnológicos su posicionamiento en el mercado, con productos diferenciados en su competitividad. En el ámbito de la Industria 4.0 también son los fabricantes alemanes y japoneses quienes están marcando la pauta, desarrollando funcionalidades de máquina y servicios asociados, que ya comienzan a incorporar a sus catálogos.

Destacar también a Estados Unidos con su iniciativa "MT Connect" que poco a poco va penetrando en el mercado donde se pide que los equipos productivos sean conectables de manera abierta. Aquellas máquinas que no cumplan estas posibilidades quedarán fuera de un mercado en crecimiento como es el americano. Este mercado ha estado ralentizado en los últimos años, pero desde que Obama puso en marcha su iniciativa "Manufacturing in the USA", este país está retomando un protagonismo para el que debemos estar preparados.

La previsión de Oxford Economics de la evolución del sector de la maquinaria a nivel mundial en relación al consumo aparente de máquina-herramienta es que en 2017 el consumo crezca respecto a 2016 y que este crecimiento se mantenga estable hasta 2020 en tasas de entre el 2 y el 3%.

### HACIA DONDE SE DIRIGEN LOS DESARROLLOS TECNOLÓGICOS PREVISTOS

La capacidad del gemelo digital admite tres de las herramientas más poderosas del kit de herramientas de conocimiento humano. Estas tres herramientas son: conceptualización, comparación y colaboración.

En conjunto, estos atributos forman la base para la próxima generación de resolución de problemas e innovación para los fabricantes de máquinas-herramienta.

Ha habido grandes avances durante los últimos años en las capacidades y tecnologías, tanto de monitorización de activos industriales (IIoT, Cloud, Analytics...) como en la creación y representación de gemelos digitales. El problema es que, si bien la información de datos de cada una de estas áreas ha aumentado dramáticamente, la conexión entre las dos fuentes de datos se ha quedado rezagada. En los próximos años, se sincronizará una fuerte conexión entre los datos creados por máquinas reales y los datos sintéticos creados por los gemelos digitales.

Por lo tanto, un enfoque tecnológico de los desarrollos futuros será la conexión de datos de máquinas del mundo real y

**Gartner predice que en 2021 la mitad de las compañías industriales usará gemelos digitales, lo cual les ayudará a aumentar su eficacia en un 10%**

## Los beneficios derivados de la aplicación de gemelos digitales y Virtual Commissioning o Puesta en Marcha Virtual en sistemas productivos permitirán eliminar la necesidad de realizar prototipos, reducir la cantidad de tiempo necesario para el desarrollo, mejorar la calidad de las máquinas, y una adecuación más rápida en respuesta a los cambios de especificaciones de los clientes

modelos digitales. Un segundo enfoque será el desarrollo de gemelos digitales orientados hacia gemelos digitales experimentales basados en simulación.

En un nivel de sistema de producción, por ejemplo, en una línea de producción con flujo de material entre múltiples máquinas, los gemelos digitales se pueden utilizar para mejorar aún más la optimización de la eficiencia operativa, por ejemplo, medida en términos de OEE (Overall Equipment Effectiveness o Eficiencia General de los Equipos) que es una razón porcentual que sirve para medir la eficiencia productiva de la maquinaria industrial. Múltiples interdependencias estocásticas y dinámicas que no pueden describirse analíticamente pueden considerarse en algoritmos de planificación basados en simulación. Además, se pueden usar modelos de simulación digital más detallados para hacer predicciones y pronósticos precisos del rendimiento del sistema.

### RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados de este proyecto van directamente orientados a incrementar la cuota de mercado de los fabricantes de máquinas dentro de este contexto competitivo de mercado. El proyecto persigue la fabricación de piezas de mayor valor añadido en los productos españoles. Si bien el concepto Industria 4.0 en Alemania persigue incrementar en 10 años un 8% el peso de la industria en el VAB (Valor Agregado Bruto), en España este valor se desea que sea del 6% fabricando en España piezas de alto valor añadido para sectores industriales estratégicos.

Por otro lado, los sectores clave se caracterizan además por ser los más exigentes a nivel de producción, con los requisitos más estrictos en términos de calidad, productividad, disponibilidad, flexibilidad, operatividad, trazabilidad. Requisitos que se trasladan directamente a las responsabilidades y funcionalidades de las máquinas.

Es por esto que la apuesta en el desarrollo del virtual commissioning tendrá un gran impacto en los procesos de fabrica-

ción en el sector de la máquina-herramienta, ya que posibilitará una colaboración óptima a lo largo de toda la cadena de ingeniería entre las diferentes partes en el desarrollo de la parte mecánica, los sistemas eléctricos y la automatización.

Al mismo tiempo, el uso de los gemelos digitales permitirá involucrar a los usuarios finales en las primeras etapas del diseño. De esta manera, los fabricantes de maquinaria ofrecerán una experiencia de cliente de nueva generación que permitirá mejoras en actividades de diseño e ingeniería, reduciendo los costes de no calidad desarrollando productos más fiables. Dentro de las aplicaciones en contextos de empresa a consumidor (B2C), es posible esperar al menos una reducción del 30% de los costos de diseño de calidad. En contextos de empresa a empresa (B2B) se obtendrá una mayor satisfacción y fidelidad del cliente.

Es necesario la extensión de la perspectiva de un gemelo digital de una máquina hacia una aplicación real, por ejemplo, en una línea de producción que incluya el flujo de material.

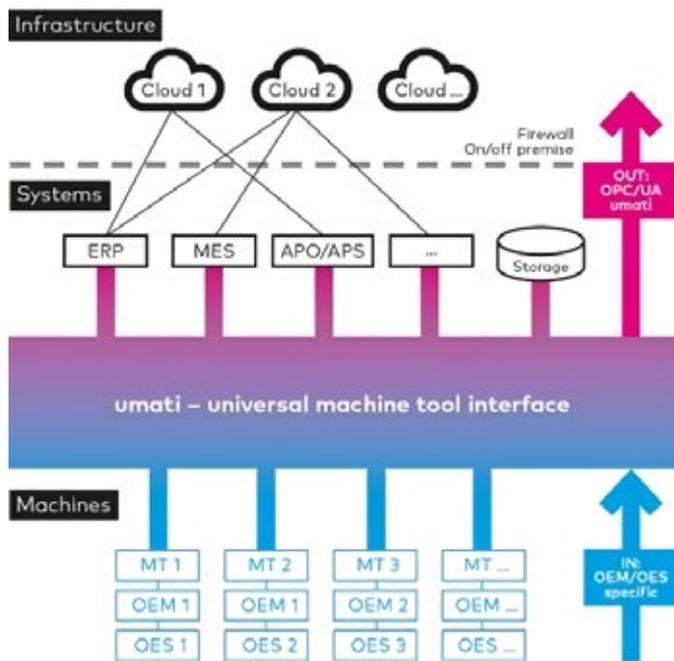
En cuanto a los resultados aplicados a los procesos, nos encontramos con que:

- La puesta en marcha virtual tendrá un gran impacto en los procesos de fabricación de máquinas-herramienta. Colaboración óptima a lo largo de toda la cadena de ingeniería y entre las diferentes subespecialidades, como mecánica, sistemas eléctricos y automatización.
- Al mismo tiempo, el uso de los gemelos digitales permitirá involucrar a los usuarios finales en las primeras etapas del diseño. De esta forma, las empresas fabricantes de máquinas ofrecerán una experiencia de cliente de próxima generación.
- Mejora las actividades de diseño e ingeniería, reduciendo los malos diseños y los costos de garantía y poniendo a disposición soluciones más confiables. Dentro de las aplicaciones en contextos de empresa a consumidor (B2C), es posible esperar al menos una reducción del 30% de los costos de diseño de calidad. En contextos de empresa a empresa (B2B), debemos esperar una mayor satisfacción y fidelidad del cliente.
- Extienda la perspectiva de un solo gemelo digital de una máquina hacia la aplicación real dentro de, por ejemplo, una línea de producción que incluya el flujo de material.

### RESULTADOS PREVISTOS DEL PROYECTO



### Resultados del proyecto



#### UMATI: nuevo protocolo para el big data

### DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

A día de hoy, las simulaciones se realizan en departamentos estancos. Los ingenieros mecánicos trabajan con programas de diseño y de cálculo de elementos finitos y los programadores de PLC/CNC utilizan las IDE's (entornos de desarrollo) y simuladores de los propios fabricantes de los controles numéricos.

Asimismo, los ingenieros están utilizando enfoques y aproximaciones de simulación muy limitadas. Además de no trabajar de manera sincronizada en los proyectos, lo que acarrea un gran número de costes de no calidad.

Además del software con funciones estándar, el fabricante de máquinas suele desarrollar sus propios ciclos e interfaces (HMI) para poder utilizarlos (por ejemplo, los ciclos de medición, y de calibración).

Estas funcionalidades adicionales, pueden ser muy complejas de validar en entornos reales, y requieren de mucho tiempo durante la puesta en marcha. Lo que significa que la interoperabilidad entre este software conversacional con el control numérico virtual y el modelo 3D de la máquina, es crucial para reducir el plazo de entrega y mejorar las condiciones de seguridad durante la puesta en marcha.

Podemos decir que en un entorno cambiante de controles numéricos reales y virtuales, de simuladores de PLC, de medidores in-process, y de componentes software tales como interfaces conversacionales integrados en máquina, las necesidades de virtualización y simulación son cada vez más complejas. Las soluciones propietarias y monolíticas que ofrecen las grandes multinacionales solucionan solo una pequeña parte de las necesidades de los fabricantes de máquina (y a un alto coste).

Así pues, los desarrollos realizados deben permitir a los fabricantes de máquinas diferenciarse competitivamente mediante el uso de herramientas de puesta en marcha virtual, simuladores y gemelos digitales.

Finalmente, el objetivo es integrar estas tecnologías (de diseño y desarrollo de producto), en el mundo de IOT, Big Data, Monitorización del estado de la máquina y las plataformas de analítica disponibles a día de hoy en los entornos industriales.

Finalmente, además de mejorar en el diseño y la puesta en marcha, las soluciones derivadas de estos desarrollos permitirán dar un gran paso adelante en el mantenimiento predictivo y la optimización de los procesos.

Para llevar a cabo esto, hay que abordar la interoperabilidad entre el mundo virtual y el mundo real, para controlar los gemelos digitales híbridos. Concretamente, las máquinas se conectarán a través de una caja de herramientas de interoperabilidad que permitirá a los ingenieros combinar componentes y máquinas reales y virtuales y administrarlos mediante el uso de un shell de administración de activos híbrido (real y virtual). Los datos que provienen de máquinas reales tienen que ser fusionados con datos sintéticos generados por gemelos digitales. De esta manera, hay que definir los gemelos digitales controlados por datos, además de los gemelos digitales impulsados por modelos que solucionarán los problemas que tradicionalmente se encuentran en las plantas de producción.

### ¿CUÁL ES EL IMPACTO EN EL MERCADO PREVISTO?

Utilizar los gemelos digitales:

- Permite la validación virtual y la prueba del producto en diseño.
- Elimina la necesidad de prototipos.
- Reduce la cantidad de tiempo necesario para el desarrollo.
- Mejora la calidad del producto final fabricado.
- Permite una reiteración más rápida en respuesta a los comentarios de los clientes.
- Nueva aplicación; de herramientas y métodos de ingeniería existentes, así como nuevos enfoques para la ingeniería colaborativa creados y experimentados en contextos emergentes.
- Identificar las mejores aplicaciones de los gemelos digitales para fomentar la colaboración real en los procesos de diseño e ingeniería.

Todo esto tendrá un impacto estimado en:

- Menor tiempo de comercialización debido a la reducción del período de desarrollo de la máquina hasta en un 30%.
- Reducción del tiempo de comercialización de nuevos productos y servicios: 20%.
- Reducción de los costos de desarrollo de nuevos productos y servicios: 20%.
- Mejora de las capacidades de diseño y desarrollo: 20%.

Las organizaciones dispuestas a ser pioneras en lugar de rezagadas deben poner en cascada estas prioridades en los modelos de negocio, procesos y modelos de trabajo y remodelarlos en consecuencia.

Línea de Investigación de TICs y Automatización  
IDEKO