

La aplicación de los gemelos digitales para revolucionar las prácticas de mantenimiento.

Luis Alfonso Luna Díaz

Jaime Balmes #11, Torre C Piso 1, Los Morales, Polanco, Ciudad de México, CP 11510

Resumen

La llegada de los gemelos digitales se han revolucionado las prácticas de mantenimiento, permitiendo manejar un enfoque de mantenimiento proactivo y basado en datos, lo cual apoya de sobremanera al tener una mayor eficiencia operativa, reducir costos, minimizar el tiempo de inactividad y el mantenimiento correctivo.

Problemática

En la actualidad existen diversas empresas que aun siguen presentando un alto índice de mantenimiento correctivo, lo cuál de forma evidente tiene grandes impactos económicos al derivarse paros no planeados en las operaciones de las máquinas impactando de forma directa en la producción, gastos no planeados y en ocasiones excesivos para la reparación de los equipos, asociando uso de repuestos, tiempos extras del personal interno, contratación emergente de personal tercero, etc.

De igual manera, el mantenimiento preventivo o planificado, se lleva de forma calendarizada ya sea basado en las recomendaciones de los fabricantes, en algunas ocasiones es controlado en base a medidores, que una vez que se cumplen los ciclos o mediciones correspondientes, sin embargo aun cuando se tienen planes de mantenimiento planificado o preventivo, por diversas circunstancias estos mantenimientos no son ejecutados de forma correspondiente.

Existen algunas otras empresas que han realizado inversiones en sistemas de control y monitoreo, así como de sensores, a fin de poder estar supervisando el comportamiento de las máquinas, de forma que cuando se presenta algún comportamiento anómalo o problema, se puede visualizar y permite avisar al personal para que se realice la inspección correspondiente y tratar de evitar algún paro en el proceso, atendiendo el problema de una forma más ágil.

Sin embargo, aun cuando se pueden tener diversas formas de control de monitoreo y mantenimiento como las ya mencionadas anteriormente, se suelen presentar controles en silo, es decir, no hay una interconexión entre los sistemas, dispositivos y esto ocasiona retrasos en la obtención de información para la toma decisiones.

Estableciendo un sumario sobre los problemas que se derivan al no utilizar o bien, utilizar de forma parcial herramientas tecnológicas orientadas a gemelos digitales, podemos encontrar:

1. **Altos costos por mantenimiento reactivo:** Al no predecir fallas, las empresas incurren en reparaciones de emergencia costosas, paradas de producción no planificadas y un mayor desgaste de la maquinaria, reduciendo su vida útil.
2. **Ineficiencia operativa y baja disponibilidad de activos:** La falta de visibilidad en tiempo real (que proporcionan los gemelos digitales)

conlleva a tiempos de inactividad más largos y menor productividad (OEE - Eficiencia General de los Equipos).

3. **Riesgos de seguridad y accidentes:** La operación continua de equipos sin una supervisión basada en datos reales puede derivar en fallas graves y accidentes laborales.
4. **Gestión de datos ineficiente:** Sin un gemelo digital, las empresas suelen tener datos desarticulados, lo que dificulta la toma de decisiones informada y la planificación del mantenimiento.
5. **Vulnerabilidades en infraestructura:** En sectores críticos, la falta de gemelos digitales para la simulación impide prever cuellos de botella y fallas en la calidad del servicio, especialmente ante cambios de demanda.

Propuesta de Solución

Para poder adentrarse a lo que hoy en día se denomina Gemelo Digital, es importante conocer un poco la historia detrás del mismo:

A. Si bien el término “Gemelo Digital” es relativamente nuevo (2002), el origen conceptual surgió entre las décadas de 1960-1990, y sus raíces se encuentran en “La ingeniería de sistemas y la simulación computacional”, empleadas para modelar el comportamiento de equipos complejos, un ejemplo, son los sistemas de la **NASA** en los cuales se empleaban modelos físicos y digitales en tierra, para replicar el estado de las naves espaciales para poder apoyar en la detección de fallas y así poder determinar acciones de mantenimiento de forma remota[1].

El termino de Gemelo Digital o Digital Twin (en inglés), se introdujo en 2002 por Michael Grieves en el contexto del PLM (Product

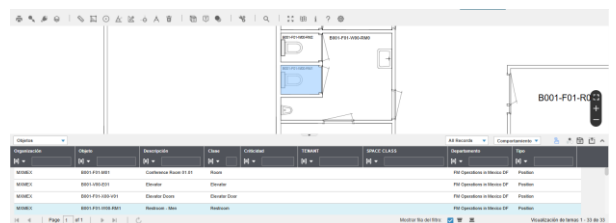
Lifecycle Management – Gestión del ciclo de vida del producto), en el que se propuso un modelo compuesto de 3 elementos: el objeto físico, su representación digital y el flujo de información entre ambos elementos. Y aunque este enfoque estaba más orientado al diseño y la manufactura, ya se vislumbraba el gran potencial para el mantenimiento durante el ciclo de vida de los activos[2].

En este punto es importante mencionar que en la actualidad existen sistemas denominados EAM (Enterprise Asset Management), que permiten relacionar documentos en modelos 2D, 3D e inclusive modelos creados a partir de nube de puntos, y estos no solo quedan como adjunto de referencia en el activo, sino interactuar, facilitando la gestión del activo, componentes, órdenes de trabajo, inclusive, generar desde modelo mismo, registros de órdenes de trabajo, permitiendo una gestión más amigable, clara y eficiente del mantenimiento y del activo.

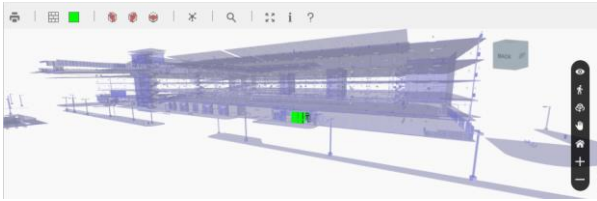
Las siguientes imágenes puede dar un ejemplo:



Modelo visto desde un EAM



Componentes/órdenes de trabajo resaltadas en el Modelo.



Modelo 3D visto desde un EAM

B. La integración con sensores e IoT (Internet of Things o Internet de las Cosas) surgió entre 2010-2015, impulsando fuertemente al mantenimiento con el uso de sensores inteligentes, el IoT, así como el uso de sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition o Control de Supervisión y Adquisición de Datos), los cuales permitieron que los Gemelos Digitales pasaran de ser “modelos estáticos” a “modelos vivos”, ya que permiten:

1. Reflejar el estado real de un equipo en tiempo casi real,
2. Detectar desviaciones de operación,
3. Y apoyar al Mantenimiento Basado en Condición (CBM, por sus siglas en Ingles, Condition Based Maintenance)

Lo que permitió dar una transición del mantenimiento y preventivo a modelos de mantenimiento más avanzados y precisos[3].

En este punto es de relevancia mencionar que algunos EAM en el mercado, permiten la definición, parametrización y control de variables de control en los activos, así como el registro de datos ya sea de forma manual o bien, realizando integraciones a los sistemas SCADA, sensores o dispositivos IoT para poder tener comunicación “en línea” sobre los datos correspondientes y definir acciones en el EAM en consecuencia a las definiciones realizadas.

Las siguientes imágenes muestran un ejemplo:

Aspecto	Descripción del aspecto	Tipo de punto	Descripción del punto	Punto	Método	Valor nominal	Origen
PIES	Pressure	PuTT	Pressure Measuring Point	1		10 A	
TEMP	TEMP	PuTT	Temperature Measuring Point 1	2		25 A	
TEMP	TEMP	PuTT	Temperature Measuring Point 2	4		25 A	
WTH	Wall Thickness	WALL	Pump Casing Wall	3		20 A	

Acciones	
Aspecto: PIES	Pressure
Tipo de punto: PuTT	Pressure Measuring Point
Punto: 1	
Método: 01	
Valor nominal: 10	pa. 10'
Detalles de minivida	
Extremo mínimo: 0	Extremo máximo: 20
Critico mínimo: 5	Critico máximo: 15
Origen: A	Último valor: [barra]
	Fecha: [barra]

Definición de parámetros en un EAM

Aspecto	Descripción del aspecto	Tipo de punto	Descripción del punto	Punto	Resultado	Fecha	Grado de confianza	Orden de trabajo	Terminado
PIES	Pressure	PuTT	Pressure Measuring Point	1	Valido	10/02/2023 10:17	40007		☐
PIES	Pressure	PuTT	Pressure Measuring Point	1	Valido	07/08/2023 17:05	40007		☐
PIES	Pressure	PuTT	Pressure Measuring Point	1	Valido	06/08/2023 15:20	40007		☐
TEMP	Temperature	PuTT	Temperature Measuring Point 2	4	Valido	13/10/2014 16:26	Grado de confianza		☐

Detalles del resultado	
Aspecto: PIES	Pressure
Tipo de punto: PuTT	Pressure Measuring Point
Punto: 1	
Fecha: 10/02/2023 10:17	
Grado de confianza: High	
Impresión Valor: 50	
Resultado: Valido	
Orden de trabajo: 40007	
Terminado: ☐	
Fechas: 10'	

Resultados obtenidos y OTs resultantes

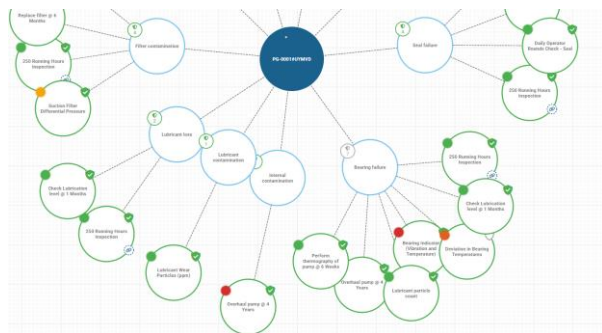
C. La integración del Big Data, Aprendizaje Automático o Machine Learning y la Inteligencia Artificial, han impulsado el uso de los gemelos digitales en el Mantenimiento Predictivo, ya que permiten predecir el momento más probable de fallo de un activo, basándose en datos históricos y en tiempo real[4].

Tomando gran adopción en los sectores de manufactura, energía, aviación y transporte ferroviario, reduciendo paradas no programadas y costos de mantenimiento[5].

Este tipo de herramientas han permitido impulsar soluciones denominadas APM (Asset Performance Management), las cuales se integran a las soluciones EAM, así como a las herramientas de monitoreo (SCADA), Sensores y dispositivos IoT, ya que algunas ofrecen librerías de gemelos digitales con un listado de funciones y modos de fallo, los cuales permite activarse y con base a las definiciones propias de la organización y operaciones, actuar de forma anticipada ante

cualquier “mal comportamiento” y evitando paros innecesarios en las operaciones y activos, reduciendo costos en las organizaciones.

Las siguientes imágenes muestran ejemplos:



Ejemplo del gemelo digital de un activo



Ejemplo de los registros referidos al activo



Ejemplo de un modelo entrenado

D. El desarrollo del Mantenimiento Prescriptivo, es una evolución más de los Gemelos Digitales, donde no solo se predicen fallos, sino que también se recomiendan acciones óptimas de mantenimiento, las cuales consideran variables técnicas, económicas y operativas[6].

Que integrándose este a sistemas de gestión de mantenimiento como un EAM, apoya la toma de decisiones estratégicas alineadas los principios de gestión de activos definidos por la ISO 55000[7].

En relación a este punto, es de importancia considerar que algunos APM en el mercado, permite hacer análisis sobre las bases del

mantenimiento planificado, en donde es fácil poder identificar la línea de planificación y contrastar esta con la ejecución de los mismo, de forma que puedan tenerse una herramienta de apoyo gráfica y sencilla para poder determinar replanificaciones sobre los planes, de tal forma que estos puedan tener un impacto económico favorable al no realizar paros en los activos cuando no sea requerido y como consecuencia, evitar el consumo de repuestos, así como la optimización de los tiempos sobre el recurso humano.

La siguiente imagen muestra un ejemplo:



Ejemplo sobre lo planificado y ejecutado.

Resultados Obtenidos y Beneficios

De alguna forma existen ya ciertos procesos en las organizaciones que permitirían iniciar con el proceso de la implementación del gemelo digital, retomando un poco las diferentes etapas evolutivas del gemelo digital, pueden ir encaminando a las organizaciones a poder dar el paso correspondiente y de esta forma ver resultados, como ejemplo, la representación gráfica en modelos 2D y 3D al poder integrarlo a un EAM con capacidades de control e interacción ya sea en el escritorio de trabajo o en dispositivos móviles, permitirá tener la visión integral del activo desde el diseño hasta su retiro, mejorar la información entre diseño, operación y mantenimiento, optimizar estrategias de mantenimiento desde etapas tempranas.

Si a esto se le suma la integración con sensores, sistemas de monitoreo e IoT, permitirá tener un monitoreo continuo del estado real del equipo, detección temprana de anomalías y desviaciones que se tengan en la operación, ir

mejorando las prácticas y tiempos de mantenimiento al actuar cuando se requiera y no solo en base a lo que se tiene preestablecido como fijo en las programaciones y claramente la reducción de fallos inesperados.

Dando el siguiente paso en con la implementación del gemelo digital sería el desarrollo de mantenimiento predictivo, lo cual permite actuar de una forma más proactiva al poder predecir fallos antes de que estos ocurran, optimización de costos de mantenimiento, mejora la disponibilidad y confiabilidad de los activos, esto vinculando la información de los modelos de diseño, la información del sistema de gestión de mantenimiento, la información de los sistemas de control y monitoreo, sensores, IoT, y la incorporación de sistemas de control de rendimiento de activos, mejor conocidos como APM.

Todo esto en miras hacia la incorporación de las organizaciones al modelo de Industria 4.0.

Bibliografía

- [1] Shafto, M. et al. (2010), Modeling, Simulation, Information Technology & Processing Roadmap.
- [2] Grieves, M. (2002). Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking. McGraw-Hill
- [3] Glaessgen, E., & Stargel, D. (2012). The digital twin paradigm for future NASA and U.S. Air Force vehicles. Proceedings of the AIAA.
- [4] Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 3, 18–23.
- [5] Selcuk, S. (2017). Predictive maintenance, its implementation and latest trends. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers.
- [6] Zhang, H., Liu, Q., Chen, X., Zhang, D., & Leng, J. (2019). A digital twin-based approach for manufacturing system design and optimization. Journal of Cleaner Production, 229, 181–191.
- [7] ISO. (2014). ISO 55000: Asset Management — Overview, Principles and Terminology.

Luis Alfonso Luna Díaz

Consultor senior de negocios con más de 25 años de experiencia en el ramo de gestión de activos y mantenimiento.

Cuenta con una trayectoria comprobada en la materia, habiendo participado participando en varios proyectos en Latino América de diversas industrias tales como Manufactura Discreta y de Procesos, Flota Vehicular, Utilities entre otras, en los cuales se desempeñó como Consultor Senior, implementando las soluciones, posteriormente como Project Leader trabajando con grupos multidisciplinarios en los proyectos.

Actualmente apoya en los procesos de ventas participando en sesiones de entendimiento de los requerimientos de los clientes/prospectos, presentando las herramientas enfocadas en las necesidades de los clientes.

- 1. Nombre del Autor: Luis Alfonso Luna Díaz
- 2. Teléfono Celular: +52-55-3999-2019
- 3. E-mail: luis.luna@hexagon.com
- 4. Ciudad: Ciudad de México
- 5. País: México