

Administración de Operaciones de Manufactura – MOM como pilar estratégico para la Transformación Digital en el Mantenimiento Industrial

Oscar Amaury Rojas y Jonathan Rojas

E-mails: orojas@unicauca.edu.co, jonathan.rojas@ibisa.co
Universidad del Cauca – Colombia, IBISA Group

Palabras Clave— Transformación Digital Industrial, Administración de Operaciones de Manufactura – MOM, Mantenimiento 4.0, Estandarización, Digitalización.

Resumen

La transformación digital del mantenimiento industrial, aunque ofrece la promesa de optimizar significativamente los procesos y mejorar la eficiencia, exige una planificación estratégica sólida y una ejecución bien definida. En este objetivo, es crucial establecer objetivos concretos, identificar los procesos clave que se beneficiarán de la digitalización, seleccionar las tecnologías más adecuadas y definir métricas claras para evaluar el éxito, pero sin conceptos claros y la aplicación de buenas prácticas y modelos validados, bien estructurados y estandarizados, las iniciativas de transformación digital pueden derivar en inversiones costosas sin resultados tangibles, además de generar confusión y resistencia al cambio en la organización.

Este artículo explora el papel crucial de las actividades de Administración de Operaciones de Manufactura (MOM) en la transformación digital de los procesos de mantenimiento industrial. Se destaca la importancia del estándar ISA-95.03 como marco de referencia para la conceptualización, definición, estandarización e implementación de Sistemas de Ejecución de Manufactura (MES), proporcionando una estructura sólida para habilitar las estrategias de Transformación Digital en el mantenimiento Industrial.

Finalmente, basándose en los principios y conceptos de la Administración de Operaciones de Manufactura (MOM) del estándar ISA-95.03, se desarrolló una solución integral de transformación digital para el mantenimiento industrial, la cual fue implementada en un caso de estudio con el objetivo de optimizar la gestión del mantenimiento y aumentar la disponibilidad operativa de los recursos. La implementación permitió la digitalización de procesos clave, incluyendo la asignación de recursos y el seguimiento de indicadores de desempeño. El caso de estudio demostró cómo estas innovaciones redujeron los tiempos de inactividad, mejoraron la eficiencia del mantenimiento, y generaron un impacto positivo en la disponibilidad de información y reportes para los procesos de toma de decisiones en la organización.

Introducción

La Transformación Digital (TD) definida como el cambio asociado con la aplicación de tecnología digital en todos los aspectos de sociedad humana ha sido interpretado desde varias perspectivas, desde la implementación de nuevas tecnologías hasta una nueva manera de hacer negocios y atraer nuevos clientes y oportunidades, pero en realidad muy pocos sectores y empresas tienen claridad en las oportunidades e impacto que el concepto provee para abordar de una manera estratégica e integral la cultura digital, la modernización y el mejoramiento de sus sistemas de negocios.

La Industria 4.0, el término acuñado en Alemania para referirse a la Transformación Digital Industrial (TDI), representa la cuarta revolución industrial. Esta implica una profunda transformación de los procesos de producción, impulsada por tecnologías como el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), la inteligencia artificial y el análisis de datos [1].

Si bien es cierto que cada vez más empresas reconocen la importancia de la Transformación Digital Industrial e implementan diversas iniciativas, existe una brecha significativa entre la intención y la ejecución efectiva. Muchas organizaciones carecen de una estrategia clara, de las herramientas adecuadas y del conocimiento necesario para aprovechar al máximo su potencial.

Ante la creciente complejidad de los proyectos de Transformación Digital Industrial, la adopción de estándares internacionales se ha vuelto fundamental. Los estándares de la Sociedad Internacional de Automatización (ISA) ofrecen un marco de referencia sólido, proporcionando terminología unificada, modelos de procesos y mejores prácticas que garantizan la interoperabilidad, la eficiencia y la escalabilidad de las soluciones implementadas.

Con el objetivo de profundizar en esta temática, el presente artículo se centra en el estándar ISA-95: “Enterprise-Control Integration” [2]. Este estándar, ampliamente reconocido y adoptado a nivel mundial, proporciona un marco de referencia sólido para la integración de sistemas empresariales y de control en entornos industriales. Los resultados de investigaciones y el consenso de expertos a nivel mundial han consolidado el ISA-95 como una herramienta indispensable para abordar los desafíos de la interoperabilidad y la eficiencia en los procesos de producción.

El éxito de los proyectos de Transformación Digital Industrial basados en el estándar ISA-95 depende en gran medida de la correcta

identificación de los límites entre los niveles de negocio y las operaciones de manufactura. Este estándar proporciona modelos conceptuales que permiten visualizar y comprender las interacciones entre estos niveles, facilitando así la definición precisa de los interfaces y la integración de los sistemas involucrados.

El modelo jerárquico de decisiones, como se ilustra en la Figura 1, establece una clara distinción entre los sistemas de toma de decisiones en el ámbito de los negocios y la logística, y aquellos relacionados con la manufactura [2]. Esta segmentación permite identificar las responsabilidades y los flujos de información específicos de cada nivel, facilitando así la coordinación y la optimización de los procesos.

El dominio de negocios abarca todas las decisiones estratégicas y tácticas que impactan la rentabilidad y el crecimiento de la empresa. En este ámbito, se gestionan los recursos económicos y humanos, se analizan las tendencias del mercado y se establecen las políticas de producción.

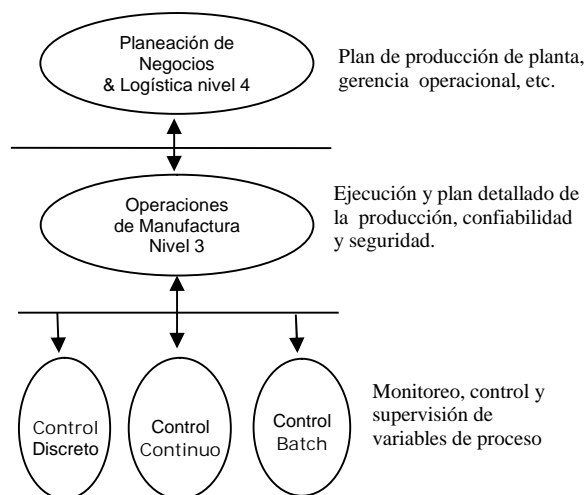


Fig. 1. Modelo jerárquico de decisiones.

El dominio de manufactura se centra en la ejecución de las operaciones productivas, asegurando que se cumplan los objetivos establecidos por el dominio de negocios. Las actividades que se llevan a cabo en este

dominio están definidas por la organización MESA - Manufacturing Enterprise Solutions Association.

Por su parte, el Modelo de Flujo de Datos Funcional del estándar ISA-95 proporciona un marco de trabajo detallado para comprender y modelar las actividades y los flujos de información dentro de una empresa manufacturera [2]. Al descomponer las operaciones en funcionalidades específicas, este modelo permite identificar las interdependencias entre los diferentes procesos y definir los requisitos de información de cada uno. La representación gráfica de estos flujos, como se muestra en la Figura 2, facilita la visualización y la comunicación de la arquitectura de información de la empresa.

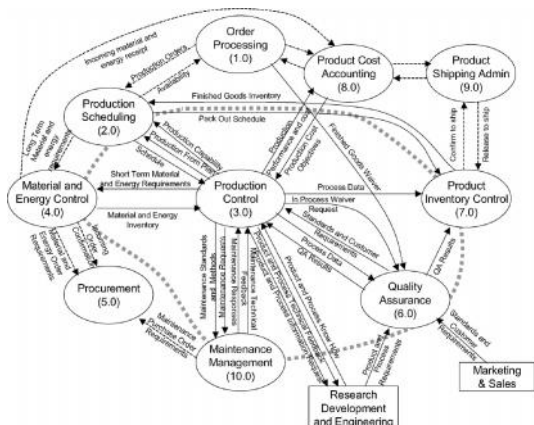


Fig. 2. Modelo de flujo de datos funcional del estándar ISA-95.

Administración de Operaciones de Manufactura - MOM

Las actividades de administración de operaciones de manufactura - MOM son aquellas actividades de una instalación de manufactura que coordinan el personal, equipo, material, y energía en la conversión de materias primas en productos. La Administración de operaciones de manufactura incluye actividades que pueden ser desempeñadas por equipo físico, esfuerzo humano y sistemas de información, e incluye también las actividades de manejo de información sobre los componentes software,

uso, capacidad, definición, historia y estado de todos los recursos (personal, equipo, y material) dentro y asociados con la instalación de manufactura.

La administración de operaciones de manufactura – MOM se estructura en cuatro áreas clave: producción, mantenimiento, calidad e inventario [2]. Esta división funcional, representada en la Figura 3, permite una gestión más especializada y eficaz de los procesos productivos.



Figura 3. Modelo de administración de operaciones de manufactura del estándar ISA-95.

En la parte 3 del estándar ISA-95 – ISA95.03 se ha definido un modelo genérico de actividades MOM que proporciona un marco de referencia flexible y adaptable para la gestión de las operaciones de manufactura de acuerdo con cada una de las necesidades específicas de cada empresa [3].

El modelo genérico de actividades de la administración de operaciones de manufactura es mostrado en la figura 4, el cual define un ciclo general de solicitud-respuesta que inicia con solicitudes de programación, las convierte en un programa detallado, despacha trabajo acorde al programa detallado, dirige la ejecución del trabajo, almacena datos y finalmente convierte los datos almacenados nuevamente en respuestas; todo esto soportado con el análisis del trabajo desempeñado para

mejoras o correcciones, la administración de los recursos usados en ejecución del trabajo desempeñado y la administración de las definiciones del trabajo desempeñado.

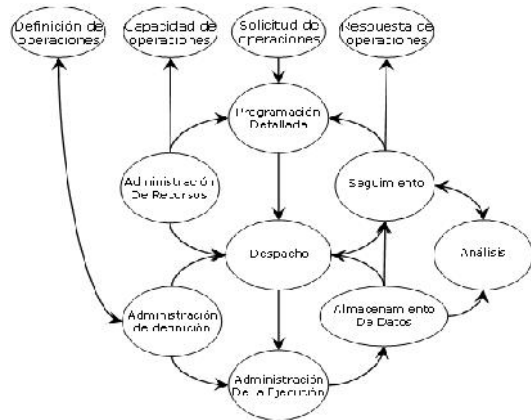


Figura 4. Modelo genérico de actividades de administración de operaciones de manufactura - MOM.

El objetivo principal de la administración de mantenimiento es garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos y herramientas productivas a través de una planificación y ejecución proactiva de tareas de mantenimiento. Esto implica monitorear el estado de los equipos, establecer programas de mantenimiento preventivo y correctivo, y analizar los datos históricos para identificar patrones de falla y tomar medidas preventivas. El objetivo final es minimizar las paradas no programadas, reducir los costos de mantenimiento y prolongar la vida útil de los activos.

Para cumplir este objetivo, el modelo genérico de la administración de operaciones de manufactura ha sido particularizado a un modelo más detallado de actividad de operaciones de mantenimiento, el cual se muestra en la figura 5. Si bien este modelo no prescribe una única forma de organizar y ejecutar las actividades de mantenimiento, sí establece un marco de referencia común que permite a las empresas adaptar el modelo a sus propias necesidades y características organizacionales [3].

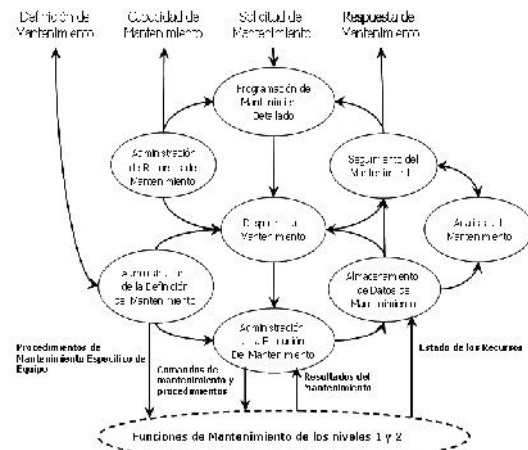


Figura 5. Modelo de Actividad de la Administración de Operaciones de Mantenimiento.

A continuación, se detallará cada una de las actividades que conforman el modelo genérico de mantenimiento. Este modelo, como se ha mencionado, proporciona una estructura para comprender y analizar los procesos de mantenimiento, y sirve como base para la implementación de sistemas de gestión de mantenimiento más sofisticados.

Administración de Definición de Mantenimiento

La Administración de Definición de Mantenimiento, como se muestra en la figura 6, se encarga de gestionar toda la información necesaria para especificar las tareas de mantenimiento de manera eficiente y eficaz. Esto incluye la creación, actualización y mantenimiento de la documentación técnica, los procedimientos de trabajo, las listas de repuestos y cualquier otra información relevante para la realización de las tareas de mantenimiento. Esta función actúa como un centro de conocimiento para las operaciones de mantenimiento. Recibe instrucciones y requisitos de mantenimiento desde los niveles superiores de planificación, y los complementa con información detallada sobre los recursos disponibles en el sitio, gestionada por la Administración de Recursos de Mantenimiento.



Figura 6. Interfaces de la Administración de Definición de Mantenimiento.

Administración de Recursos de Mantenimiento

La Administración de Recursos de Mantenimiento presentada en la figura 7, es fundamental para garantizar la disponibilidad y el correcto funcionamiento de los equipos y herramientas necesarios para llevar a cabo las tareas de mantenimiento. Esta función se encarga de gestionar la información relacionada con el estado, la ubicación y la capacidad de los recursos, incluyendo equipos especializados, herramientas, materiales consumibles, personal técnico y energía.

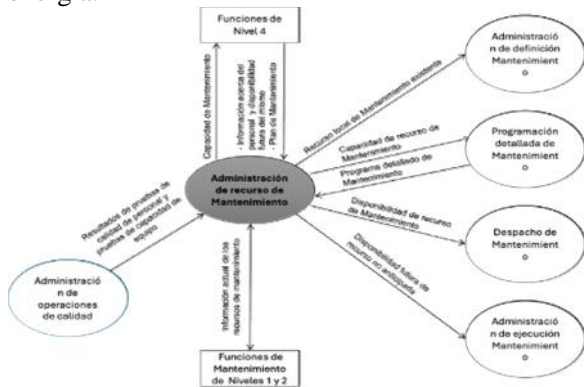


Figura 7. Interfaces de la Administración de Recurso de Mantenimiento.

Programación Detallada de Mantenimiento

La programación detallada de mantenimiento se define como el conjunto de actividades que genera un programa detallado de mantenimiento. Un programa detallado de mantenimiento puede ser generado por cada sitio o área, basado en las órdenes de trabajo

de mantenimiento requeridas y en los recursos de personal, equipos y materiales disponibles, tal como se muestra en la figura 8.

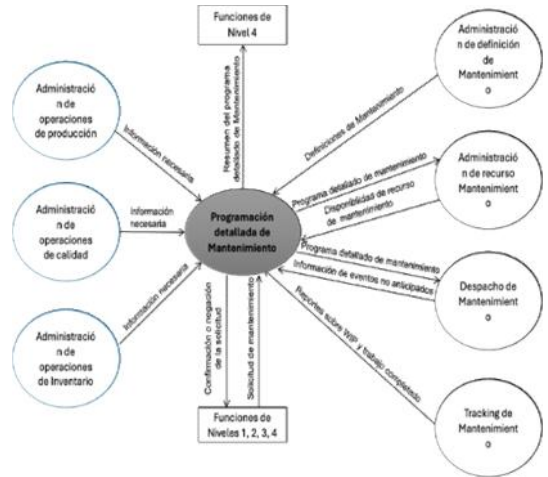


Figura 8. Interfaces de la Programación Detallada de Mantenimiento.

Despacho de Mantenimiento

El despacho de mantenimiento es el proceso de asignar y enviar las órdenes de trabajo a los recursos de mantenimiento adecuados, como técnicos y equipos especializados. Esta actividad se basa en la programación detallada de mantenimiento y asegura que las tareas se ejecuten de manera eficiente y oportuna. La figura 9 ilustra las interfaces y las interacciones clave involucradas en este proceso, garantizando un seguimiento preciso de las órdenes de trabajo desde su creación hasta su finalización.

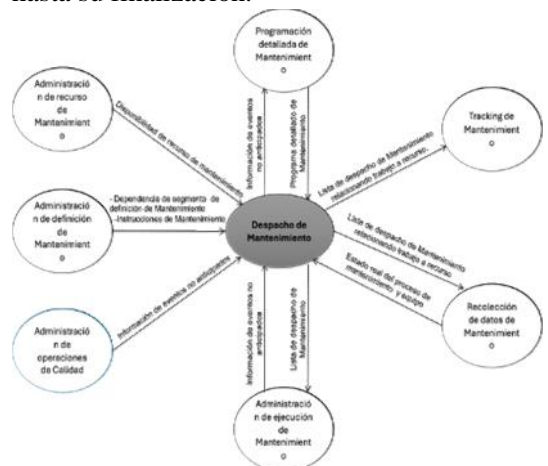


Figura 9. Interfaces del Despacho de Mantenimiento.

Administración de Ejecución de Mantenimiento.

La administración de ejecución de mantenimiento, representada en la Figura 10, es la fase en la que las órdenes de trabajo se convierten en acciones concretas. Esta actividad se encarga de supervisar y controlar la ejecución de las tareas de mantenimiento, asegurando que se cumplan los requisitos establecidos en la lista de despacho. Para ello, se emiten comandos y procedimientos detallados a los niveles de supervisión y control de la producción, los cuales se basan en la información proporcionada por las actividades de despacho de mantenimiento y de definición de mantenimiento.

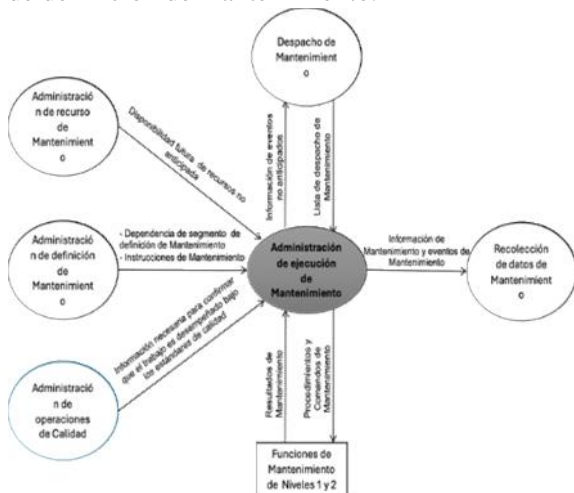


Figura 10. Interfaces de la Administración de Ejecución de Mantenimiento.

Recolección de Datos de Mantenimiento.

La recopilación de datos de mantenimiento consiste en capturar y registrar información detallada sobre la ejecución de las tareas de mantenimiento. Esta información incluye datos sobre el tiempo empleado, los materiales utilizados, los resultados obtenidos y cualquier incidencia ocurrida durante la intervención. La recopilación de datos es fundamental para evaluar la eficacia de las estrategias de mantenimiento, identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas sobre la optimización de los procesos. Las interfaces de la función de recolección de datos mantenimiento son mostradas en la figura 11.

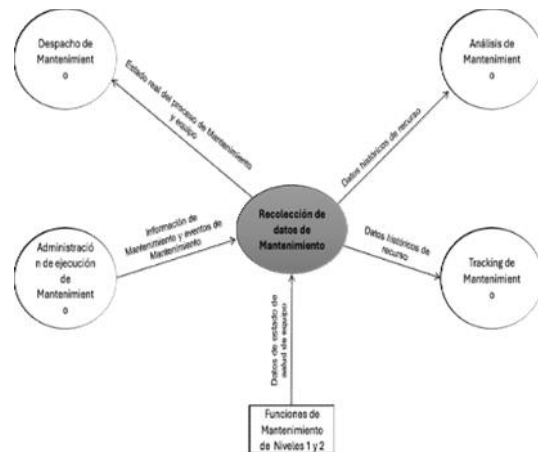


Figura 11. Interfaces de la Recolección de Datos de Mantenimiento.

Análisis de Mantenimiento.

El análisis de mantenimiento es un proceso sistemático que implica la evaluación exhaustiva de los datos históricos de mantenimiento, el desempeño de los equipos y las prácticas actuales. Su objetivo principal es identificar las causas raíz de los problemas, evaluar la eficacia de las estrategias de mantenimiento existentes y tomar decisiones informadas para mejorar la confiabilidad, disponibilidad y rendimiento de los activos. Las interfaces de la función de análisis de mantenimiento son mostradas en la figura 12.

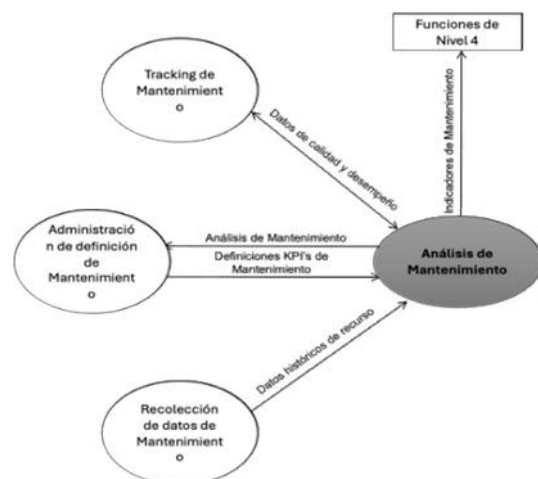


Figura 12. Interfaces del Análisis de Mantenimiento.

El análisis de mantenimiento incluye la trazabilidad de los recursos, lo que permite rastrear la historia completa de cada activo

desde su puesta en servicio hasta su desmantelamiento. El análisis de mantenimiento implica la generación de indicadores clave de desempeño (KPIs) que permiten medir y evaluar la eficacia y eficiencia de las actividades de mantenimiento.

Tracking de Mantenimiento.

El seguimiento del mantenimiento, o tracking, consiste en recopilar, analizar y evaluar los datos relacionados con la ejecución de las tareas de mantenimiento. Esta actividad permite medir la eficacia de los procesos de mantenimiento, identificar áreas de mejora y optimizar el uso de los recursos. Al rastrear el desempeño de las tareas de mantenimiento, se puede determinar si se están cumpliendo los objetivos establecidos y si los recursos se están utilizando de manera eficiente. Las interfaces de la función de Tracking de mantenimiento son mostradas en la figura 13.

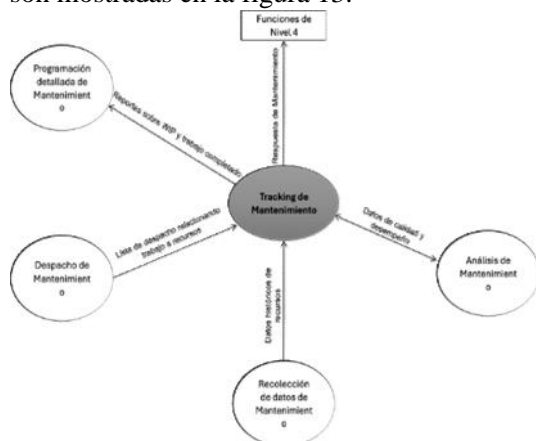


Figura 13. Interfaces del Tracking de Mantenimiento.

Aplicación de MOM en una solución de Transformación Digital en el Mantenimiento Industrial

Ibisa es una plataforma de transformación digital industrial que proporciona una solución integral para la gestión de datos y procesos. Con una arquitectura modular y flexible, Ibisa permite a las empresas recopilar, analizar y visualizar datos en tiempo real, desde la planta hasta la nube [4].

Apperator, presentada en la figura 14, es la aplicación móvil de Ibisa que brinda movilidad y agilidad a las operaciones en planta. A través de tareas, alertas y el libro de plantas, esta App permite a los usuarios interactuar con la plataforma en tiempo real, facilitando la comunicación, la recopilación de datos y la resolución de problemas [5].



Figura 14. IBISA Apperator.

Al autenticarse en la aplicación, cada operario accede a una interfaz personalizada que muestra las tareas asignadas, el estado de los equipos y los procedimientos estandarizados detallados para su ejecución. Además, cuenta con una sección de comentarios donde puede consultar las experiencias de otros operarios y registrar sus observaciones, facilitando la colaboración y la mejora continua, tal como se muestra en la figura 15.

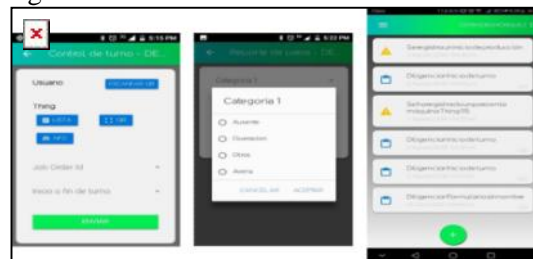


Figura 15. Autenticación, estados y colaboración en IBISA Apperator.

Al recibir una asignación de mantenimiento, el técnico escanea el código QR del equipo para acceder instantáneamente a un dossier digital con toda la información necesaria: historial de mantenimiento, especificaciones técnicas y procedimientos estandarizados basados en Business Process Model and Notation (BPMN), tal como se presenta en la figura 16.

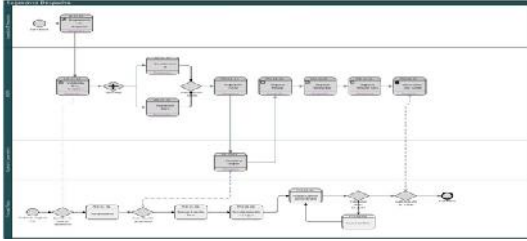


Figura 16. Estandarización de procedimientos con BPMN en IBISA.

La aplicación móvil guía al operario paso a paso en la ejecución de las tareas de mantenimiento, proporcionando instrucciones claras y concisas. A medida que el operario completa cada tarea, los datos se capturan automáticamente y se almacenan en la plataforma, lo que permite generar reportes detallados y personalizados, tal como se presenta en la figura 17. Esta información es utilizada para optimizar los procesos, identificar áreas de mejora y tomar decisiones basadas en datos, asegurando así la máxima eficiencia y confiabilidad de los equipos.



Figura 15. Dashboard en IBISA.

Conclusiones

La Administración de Operaciones de Manufactura (MOM) es un pilar fundamental para la transformación digital del mantenimiento industrial. Al adoptar los principios y conceptos del estándar ISA-95.03, las organizaciones pueden establecer una base sólida para optimizar sus procesos de mantenimiento y mejorar su eficiencia operativa.

El estándar ISA-95.03 proporciona un marco de referencia invaluable para la implementación de soluciones de MOM en el contexto del mantenimiento industrial. Este estándar ofrece una estructura clara y detallada para la definición, implementación

y gestión de los sistemas de ejecución de manufactura - MES.

La digitalización de los procesos de mantenimiento, basada en los principios de MOM, permite mejorar significativamente la eficiencia y la eficacia de las operaciones. Al automatizar tareas, recopilar datos en tiempo real y analizar la información de manera sistemática, las organizaciones pueden reducir los tiempos de inactividad, optimizar el uso de recursos y tomar decisiones más informadas.

El caso de estudio presentado demuestra la viabilidad y los beneficios de aplicar los principios de MOM en un entorno industrial real.

REFERENCIAS

- [1] Industria 4.0: Hacia una manufactura más inteligente. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Informe técnico. 2021
- [2] ISA-95. ISA-95: Integración de sistemas de control empresarial. International Society of Automation - ISA. 2000
- [3] ISA-95.03. Enterprise-Control System Integration Part 3: Activity Models Manufacturing Operations Management. International Society of Automation - ISA. 2006.
- [4] IBISA. Nuestra solución tecnológica. IBISA Group. <https://ibisagroup.com/>. 2004
- [5] IBISA Apperator. IBISA - La primera franquicia I4.0. IBISA Group. <https://ibisagroup.com/partners/>. 2004

Oscar Amaury Rojas

Ingeniero en electrónica y telecomunicaciones, especialista en informática industrial, magíster en electrónica y estudios de doctorado en automatización industrial. Profesor titular e investigador del grupo de I+D en Automática industrial de la Universidad del Cauca. Consultor en transformación digital industrial. Sus áreas de interés son: Transformación Digital Industrial, MOM/MES, Integración Empresarial

Jonathan Rojas

Ingeniero electrónico y magíster en pensamiento estratégico y prospectiva. Co-Fundador y CEO de IBISA GROUP. Chairman of the Board en Parsons Kinetics. Sus áreas de interés son: Transformación Digital Industrial, Industria 4.0, Transición Energética y soluciones al cambio climático.

Oscar Amaury Rojas
+ 57 301 251 5162
orojas@unicauca.edu.co
Calle 31N #14-01 Valle Robledo Reservado Casa
10, Popayán, Colombia

Jonathan Rojas
+57 315 221 6579
jonathan.rojas@ibisa.co