

Plataforma web de soporte a la gestión de la producción, integrando IoT, analítica y programación predictiva de operaciones: un caso en industria de envases soplados

María A. Rodríguez¹, Juan I. Ramello¹, Federico Hernandez², Aldo Vecchietti²,
Juan M. Novas^{3,4}

¹ Instituto de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Procesos y Química Aplicada (IPQA)
Universidad Nacional de Córdoba-CONICET, Córdoba 5000, Argentina

² Instituto de Desarrollo y Diseño (INGAR)
Universidad Tecnológica Nacional-CONICET, Santa Fe 3000, Argentina

³ Centro de Investigación y Estudios de Matemática (CIEM)
Universidad Nacional de Córdoba-CONICET, Córdoba 5000, Argentina

⁴ Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Sistemas de Información (CIDS)
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Córdoba, Córdoba 5000, Argentina
jmnovas@famaf.unc.edu.ar

Resumen. Actualmente, las PyMES industriales deben enfrentar el desafío de adaptarse al paradigma productivo de Industria 4.0 (I4.0), adoptando nuevas tecnologías y adecuando sus procesos. La producción es un área clave y crítica, la cual se requiere sea cada vez más ágil, con capacidad de respuesta rápida y eficiente en sus operaciones. En este sentido, el presente trabajo muestra los resultados logrados en el desarrollo de una plataforma web que da soporte al área de gestión de producción, para una empresa de elaboración de envases plásticos. La misma, integra tecnologías habilitadoras I4.0 como IoT, analítica y modelos prescriptivos matemáticos para la programación de la producción

Palabras clave: Industria 4.0, Investigación Operativa, Analítica, Programación de la Producción.

1 Introducción

Actualmente, la adopción de nuevas tecnologías y digitalización de procesos, en el marco del paradigma de Industria 4.0 (I4.0), es a la vez un objetivo y un desafío para las pequeñas y medianas empresas (PyMES) industriales [1, 2]. Las capacidades de adaptabilidad y reacción que brindan las tecnologías habilitadoras de I4.0 constituyen un recurso que las compañías deben adaptar para no perder sus ventajas competitivas y potenciar su futuro [3]. En el contexto de las empresas industriales, la gestión de la manufactura y su performance, condicionan el funcionamiento armónico de otras áreas de la organización (e.g. abastecimiento, despacho y distribución) [4]. Una tarea esencial para la buena performance productiva es la correcta planificación y programación de la producción. En ese sentido, los recursos tecnológicos disponibles se tornan fundamentales [5].

En este trabajo se presenta el caso de una empresa de elaboración de envases plásticos que abordó un proyecto de actualización tecnológica para la gestión del área productiva, cuyo objetivo fue el desarrollo de una plataforma web (PW) que facilitara la gestión de operaciones del área de producción. A continuación, se presentan los desafíos enfrentados, la propuesta implementada y conclusiones.

2 Desafíos y propuesta

A partir de un relevamiento *as-is* de los procesos, se estableció la necesidad de desarrollar una PW con capacidad de proveer: (i) una agenda de producción predictiva semanal, (ii) la visualización del estado de los equipos en tiempo real y KPIs, así como (iii) *dashboards* de analítica descriptiva.

Además de establecer qué tipo de hardware IoT emplear y definir el *tech stack*, se abordó el desafío de crear un modelo de programación matemática para la agenda de producción, que considere (i) la lógica de negocio *ad-hoc* existente, (ii) las condiciones físicas, de procesos y disponibilidad de recursos, y, (iii) la posibilidad de generar escenarios alternativos y optimizar diferentes métricas. La premisa, fue crear una herramienta de robustez aceptable y potencial de escalabilidad, mediante soft libre o accesible al presupuesto de la compañía.

2.1 Arquitectura y tech stack

Con base en los requerimientos planteados, la PW que se desarrolló se compone de microservicios, y se distribuye y despliega en imágenes de Docker. El microservicio de *back-end* es un API en lenguaje Python, mientras que el microservicio de *front-end* está escrito en Vue.js.

Según la arquitectura propuesta, las máquinas emiten información, a modo de señales en tiempo real, mediante placas ESP32 asociadas a cada una de ellas, las que habilitan funcionalidades IoT (Fig. 1).

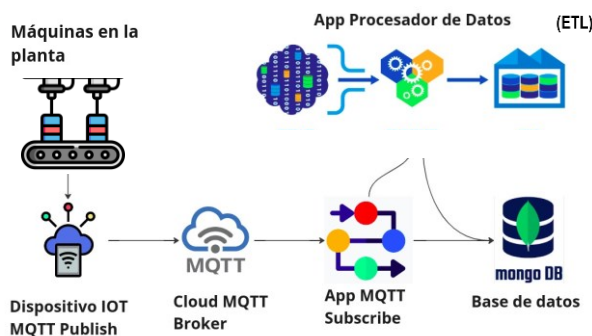


Fig. 1. Esquema ilustrativo del flujo de datos.

Por un lado, mediante un servicio cloud, se lee y procesa esta información. Se usó el protocolo HTTP cliente/servidor en forma asíncrona con aiohttp (Asyncio/Python), mientras que para mensajes MQTT se utilizó Aimqtt. Los datos recibidos, por un lado,

se muestran y almacena tal como son provistos: vista de estados de equipos en tiempo real. Por otra parte, dichos datos se procesan y/o agregan, para conformar indicadores: vista KPIs. Se empleó MongoDB como sistema de base de datos NoSQL. Para los modelos de programación de producción, luego de testear varias librerías (Pyomo, CBC), se decidió el uso de ORTools [6], que integra el solver SCIP. El *tech stack* completo no se despliega aquí por cuestiones de espacio.

2.2 Modelo para scheduling

El proceso de desarrollo consistió en un ciclo de tipo modelado-testeo-validación iterativo, donde la validación se realizó tanto a nivel del modelo en sí, como con los usuarios. Luego de explorar diferentes enfoques, se avanzó con un modelo MILP (mixto entero lineal) que permite determinar predictivamente la secuencia de procesamiento de órdenes de fabricación (OTs), para el horizonte de la semana inmediata posterior, considerando que los datos de entrada son conocidos y determinísticos, y son provistos por el área de planificación. El modelo decide sobre: (i) momento de inicio y de fin del procesamiento de cada OT, (ii) relación de precedencia entre OTs, (iii) identificación de OTs tardías, (iv) momento final de completamiento de todas las OTs, (v) recursos de mano de obra (MO) asignados a cada equipo produciendo una dada OT. Además, el usuario puede seleccionar entre varias medidas de performance.

Algunos de los aspectos más relevantes que se consideran: (i) aplicación a un conjunto de máquinas, (ii) soluciones que respetan prioridades de las OTs, (iii) disponibilidad de MO en piso de planta limitada y compartida entre diferentes equipos (mayor complejidad), (iv) existencia de períodos con equipos inhabilitados (p.e. mantenimiento), (v) soluciones que balancean tres aspectos: secuencia en función de prioridades, tiempo de fin de todas las OTs, y productividad de MO.

2.3 Interfaz de usuario

La UI es de fácil uso, con cinco accesos diferenciados: (i) Estado actual, (ii) Planificación, (iii) KPIs, (iv) Máquinas, (v) Productos. Aquí se comenta sobre los dos primeros.

Estado Actual: La UI muestra una matriz de máquinas habilitadas para sensorización (arquitectura MQTT), donde para cada una se muestra su ID, el último estado observado con su correspondiente *TimeStamp* (*soft real-time*) y un ícono indicativo (con color asociado al estado), y la descripción del producto en proceso.

Planificación: Sección dedicada a la generación del plan semanal de producción y la visualización del resultado. La interfaz es simple e intuitiva, adaptada a la lógica de negocio de la empresa. La pantalla de salida de la ejecución muestra la agenda generada, tanto como diagrama de Gantt y como tabla, junto a sus indicadores más relevantes (p.e.: duración total del plan, tiempo total de producción y productividad de operarios, entre otros). Una vista parcial de ello se muestra en la Fig. 2. Entre la información más relevante entregada, encontramos: (i) ID OT, su fecha y hora de inicio y fin de procesamiento, (ii) la máquina donde se agenda, (iii) la cantidad de operarios requeridos por dicha OT, (iv) la descripción del producto vinculado a la OT. Además, la herramienta permite la comparación de planes generados: el usuario puede crear diferentes escenarios y comparar indicadores de cada uno.

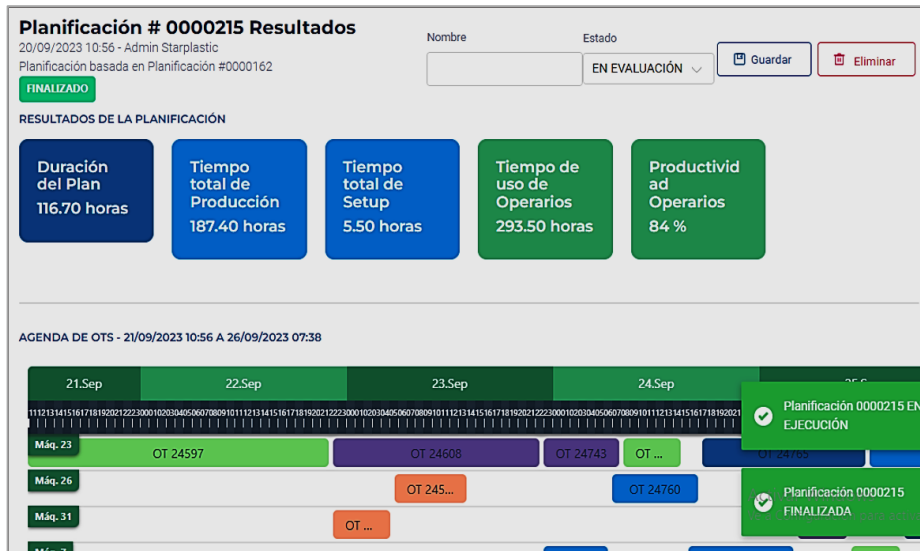


Fig. 2. Impresión de pantalla: Indicadores y agenda generada (vista parcial) por modelo MILP, transparente al usuario.

3 Conclusiones

En el presente trabajo, se muestran las principales características de la PW para la gestión de la producción, orientada a las necesidades de una empresa de elaboración de envases plásticos, que integra tecnología IoT, analítica y modelos de programación matemática para la generación de una agenda de producción semanal. La PW brinda dos servicios principales: la visualización en tiempo real de los estados de las máquinas en piso de planta, y la funcionalidad de creación de planes de producción a corto plazo. A futuro, se plantea la posibilidad de dotar a la PW de capacidades reactivas.

Referencias

1. A. G. Frank, L. S. Dalenogare, N. F. Ayala, "Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies," *Int. J. Prod. Econ.*, 210, 15-26, 2019.
2. M. Ghobakhloo, "Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability," *J. Clean. Prod.*, 252, 119869, 2020.
3. Y. Lu, "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues," *J. Ind. Inf. Integr.*, 6, 1-10, 2017.
4. T. Krishnan, A. Khan, J. Alqurni, "Aggregate Production Planning and Scheduling in the Industry 4.0 Environment," *Procedia Comput. Sci.*, 204, 784-793, 2022.
5. H. Cañas, J. Mula, F. Campuzano-Bolarín, R. Poler, "A conceptual framework for smart production planning and control in Industry 4.0," *Comput. Ind. Eng.*, 173, 108659, 2022.
6. ORTools. <https://developers.google.com/optimization?hl=es-419>. Accedido 13/06/2024.