

Sistema de Monitoreo en Tiempo Real para la Supervisión de Avances en Proyectos de Construcción Mecánica

*Ricardo J. González Rodríguez
Maestría en Gestión de Ingeniería
Héctor J. Cruzado, PhD
Escuela Graduada
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Resumen — *En proyectos de construcción mecánica del sector farmacéutico, el seguimiento tradicional suele depender de reportes manuales y consolidaciones periódicas que generan latencia informativa y dificultan la detección temprana de desviaciones críticas. Este estudio propone un esquema de paneles de control en tiempo real (dashboards) para integrar reportes de progreso, datos de campo, estatus de tareas y registros de calidad, con el fin de mejorar la visibilidad operativa. Para ello se efectuó una revisión bibliográfica, un diagnóstico del proceso actual con datos anonimizados y el diseño conceptual de un panel de control con Indicadores Clave de Desempeño y una estrategia de integración. Como resultado, y en base a evidencia bibliográfica y un análisis conceptual de sensibilidad, se proyecta de forma conservadora una reducción del 15% en el tiempo medio de detección de desviaciones y un aumento del 20% en la precisión de los reportes. Se concluye que la solución propuesta aumenta la capacidad de respuesta y la toma de decisiones proactivas en entornos regulados.*

Términos clave — *Gestión Proactiva, Indicadores Clave de Rendimiento, Industria Farmacéutica, Monitoreo de Obra*

INTRODUCCIÓN

La gestión eficaz de proyectos en la industria de construcción mecánica, particularmente en el exigente sector farmacéutico, requiere un monitoreo continuo y altamente preciso del avance, los recursos utilizados y el cumplimiento de los estrictos estándares de calidad. Este proyecto se situó en un contexto hipotético: un proyecto de construcción mecánica en las instalaciones de una importante farmacéutica global. La empresa ejecutora fue un contratista general mecánico

especializado en sistemas de tuberías de alta pureza y servicios mecánicos generales para el mercado de las ciencias de la vida, abarcando fases desde el diseño y la fabricación hasta la instalación, inspección y documentación. En este ambiente de alta regulación, calidad crítica y plazos inflexibles, la precisión y el cumplimiento fueron de vital importancia.

Sin embargo, el seguimiento tradicional basado en informes periódicos y reuniones de control a menudo generó demoras en la detección de desviaciones. Esto dificultó las decisiones proactivas y expuso el proyecto a sobrecostos, retrasos y posibles incumplimientos normativos, impactando la eficiencia, la comunicación, el control y la capacidad de respuesta. La dependencia de la información fragmentada y desactualizada limitó la visión integral del estado del proyecto. Ante este panorama, las tecnologías de la información ofrecieron herramientas innovadoras para la visualización, análisis y gestión de datos en tiempo real.

El objetivo de este proyecto fue diseñar y proponer una solución de paneles de control en tiempo real para el monitoreo y control de proyectos de construcción mecánica en entornos de alta exigencia, optimizando la gestión de proyectos donde la precisión y el cumplimiento fueron de vital importancia. Los paneles de control (dashboards), también denominados paneles visuales, consolidaron información relevante en una interfaz accesible y actualizada automáticamente, facilitando decisiones rápidas y basadas en datos precisos. La implementación de paneles de control en este tipo de proyectos de construcción mecánica fue crucial, ya que permitió integrar datos reales provenientes de reportes de progreso general y por disciplina, informes de campo, el estatus en tiempo

real de tareas en ejecución, así como información detallada sobre recursos y control.

REVISIÓN DE LITERATURA

La implementación de paneles de control en tiempo real ha sido fundamental para transformar la gestión de proyectos, permitiendo una toma de decisiones más ágil y proactiva [1]. Estos paneles de control visuales consolidan información crítica y ofrecen una visión clara del rendimiento, lo que es esencial en entornos de alta complejidad [1]. En el ámbito de la construcción, se han desarrollado marcos específicos para el seguimiento del rendimiento de proyectos mediante paneles de control en tiempo real, enfocándose en la captura y visualización de datos de campo para monitorear el progreso, la productividad y los costos [2]. La capacidad de monitorear y controlar los proyectos de construcción en tiempo real ha demostrado tener un impacto directo y positivo, mejorando la eficiencia, la gestión de riesgos y el control estricto del cronograma y el presupuesto [3].

La efectividad de los paneles de control modernos se potencia por su capacidad para integrar diversas fuentes de datos, lo que es crucial para proporcionar una imagen completa y coherente del estado del proyecto [4]. Aunque la integración de datos de sistemas de planificación, de Planificación de Recursos Empresariales (ERP, por sus siglas en inglés) y de registros de calidad presenta desafíos, es vital para la interoperabilidad en proyectos de construcción mecánica [4]. Este enfoque es particularmente relevante en la industria farmacéutica y de ciencias de la vida, donde la gestión de proyectos está sujeta a estrictas regulaciones, altos estándares de calidad y plazos inflexibles [5]. En este contexto, la visibilidad en tiempo real no solo mitiga riesgos y asegura el cumplimiento, sino que también optimiza la eficiencia operativa y respalda la adherencia a las normativas y la trazabilidad, elementos críticos en la fabricación e instalación de sistemas de alta pureza [5].

METODOLOGÍA

La metodología para este proyecto se estructuró en las siguientes fases para lograr un diseño práctico y aplicable a proyectos de construcción mecánica en el sector farmacéutico:

- **Revisión bibliográfica:** Se investigaron las mejores prácticas, casos de éxito y tecnologías disponibles para la implementación de paneles de control en tiempo real en proyectos de construcción, con énfasis en construcción mecánica y el sector de ciencias de la vida.
- **Diagnóstico del proceso actual:** Se analizó cómo se realiza el seguimiento del avance, recursos y control en proyectos representativos de construcción mecánica en el sector farmacéutico. Para ello se revisaron documentos internos anonimizados, registros de progreso y datos de campo procedentes de proyectos reales seleccionados por su similitud en alcance (por ejemplo, instalación de tuberías de alta pureza, montaje de equipos y actividades de validación). El diagnóstico identificó limitaciones típicas del sector: actualizaciones periódicas (frecuentemente semanales), consolidación manual de la información y ausencia de integración automática entre sistemas, factores que dificultan la detección temprana de desviaciones
- **Diseño del esquema del panel de control:** Se propuso un diseño conceptual que incluyó los principales indicadores y métricas a visualizar (ej., avance físico por disciplina como tuberías de alta pureza, cumplimiento del cronograma, desviaciones de costos, estatus de calidad). Se definieron las tecnologías y plataformas necesarias (Power BI, Tableau, etc.) y la fuente de los datos (reportes de progreso, informes de campo, estatus de tareas en ejecución, datos de recursos y control, registros de calidad).
- **Integración y ejemplo piloto (conceptual):** Se describió cómo estos paneles de control se integrarían con los sistemas de gestión existentes en una empresa contratista

general mecánica. Se señalaron los mecanismos de actualización automática de datos (ej., Interfaces de Programación de Aplicaciones (APIs, por sus siglas en inglés) para conectar sistemas de planificación y ERP, exportación/importación de datos de campo) y los roles del personal involucrado en la generación y uso de la información.

La Figura 1 detalla la arquitectura de datos y el flujo de información del sistema de monitoreo en tiempo real propuesto. El diagrama ilustra cómo los datos se recogen de diversas fuentes de datos (Planner/Scheduling, ERP, Field App, QC Records, Excel/CSV), considerando sus frecuencias de actualización (Batch diario o Near-real-time).

Luego, los datos pasan por un robusto proceso ETL que incluye etapas de ingestión, normalización y validación para asegurar su calidad y consistencia, antes de ser almacenados en un Data Mart optimizado para consultas. Finalmente, se presentan las Salidas y Visualizaciones del sistema, que incluyen la Interfaz de Usuario del Dashboard (Dashboard UI) con actualización continua, la generación automática de Reportes en PDF y la integración con sistemas externos a través de APIs. Adicionalmente, el diagrama contempla las Políticas de calidad de datos y roles clave, asegurando una gestión integral del proceso de información.

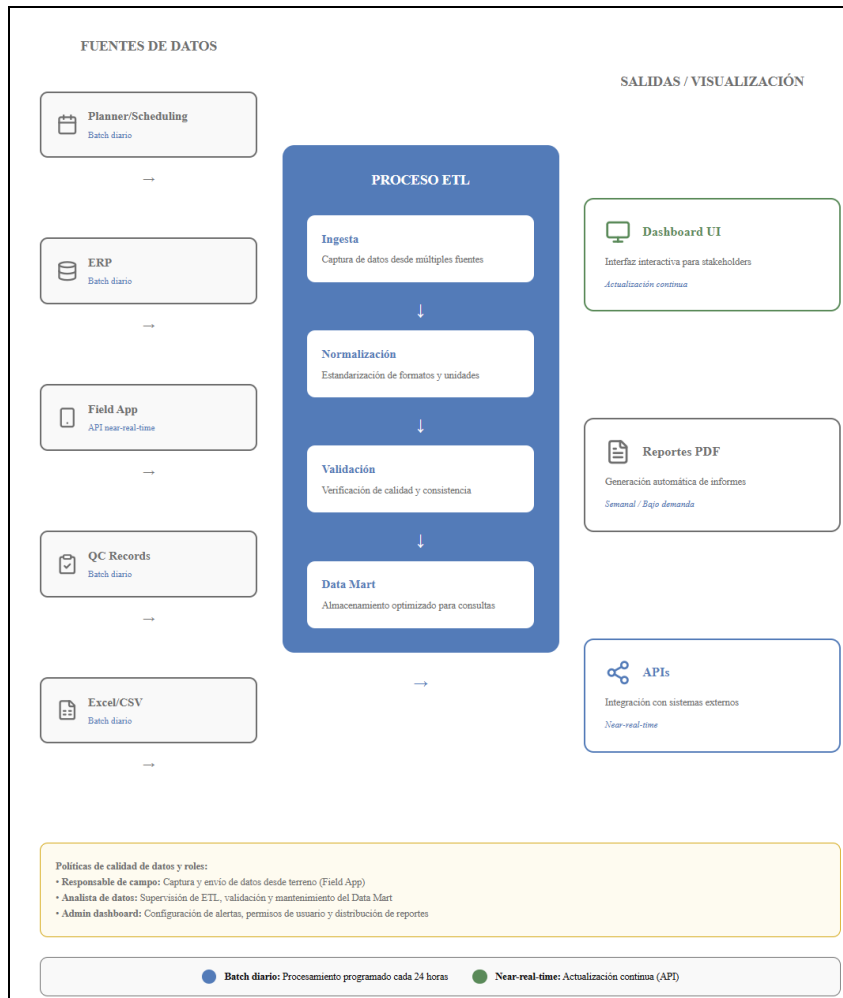


Figura 1
Arquitectura completa de datos y flujo del sistema de monitoreo en tiempo real

RESULTADOS

Los resultados del proyecto, basados en el diseño y la propuesta de la solución de paneles de control, demostraron un potencial significativo para optimizar la gestión de proyectos de construcción mecánica en el sector farmacéutico. Se evidenció una mejora sustancial en la visibilidad y la transparencia del progreso del proyecto, lo que facilitó una comprensión más clara del estado actual frente a los objetivos planificados.

La estructura visual propuesta en la Figura 2 presenta una vista esquemática de la interfaz de usuario del panel de monitoreo, diseñada para ofrecer una visión intuitiva y rápida del estado de los proyectos. La interfaz se organiza en secciones que priorizan la visibilidad de los Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs, por sus siglas en inglés), los cuales se muestran mediante tarjetas con datos numéricos y visuales claros, permitiendo una rápida identificación de áreas de atención. Se incluye un área destacada para filtros personalizables (ej., por proyecto, disciplina, período), facilitando la

navegación y el análisis detallado. Gráficos de tendencias, como la Curva S y desgloses de avance por disciplina, complementan los KPIs, mientras que un panel de alertas permite visualizar desviaciones o riesgos en tiempo real. Este diseño busca maximizar la claridad, la usabilidad y la capacidad de respuesta de la solución propuesta.

Las cifras reportadas (reducción del 15 % en el tiempo medio de detección de desviaciones y aumento del 20 % en la precisión de los reportes) son estimaciones conceptuales sustentadas en la literatura sobre monitoreo en tiempo real y en un análisis de sensibilidad realizado para este estudio. No proceden de mediciones empíricas del proyecto; por tanto, se presentan como proyecciones conservadoras que deben validarse mediante un piloto operativo. Estudios previos documentan rangos similares de mejora (aprox. 10–25 % y 10–30 %, respectivamente), y los valores puntuales aquí adoptados se seleccionaron como representativos y conservadores dentro de dichos rangos.

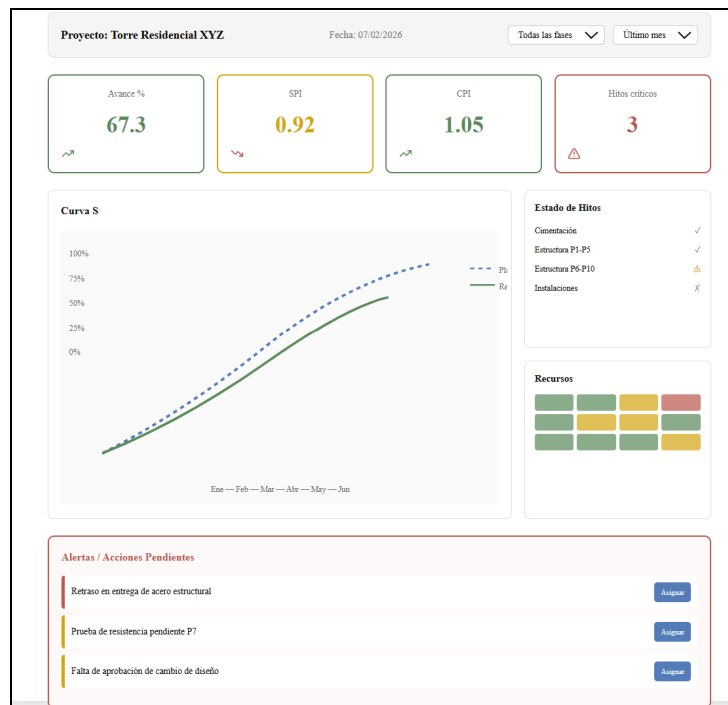


Figura 2

Ejemplo de estructura visual del panel de control

La Tabla 1 resume un análisis de sensibilidad conceptual. Los valores puntuales adoptados en este estudio corresponden al escenario "Puntual (adoptado)". Estas estimaciones deben validarse mediante un piloto operacional y mediciones empíricas.

Tabla 1
Análisis de sensibilidad (estimaciones proyectadas)

Escenario	Reducción Tiempo de Detección (%)	Aumento Precisión de Reportes (%)	Supuestos Clave
Conservador	10	10	Mejora mínima en frecuencia (semanal → cada 3–4 días); automatización parcial de validaciones; integración básica entre fuentes.
Puntual (adoptado)	15	20	Actualizaciones diarias; automatización moderada (APIs/ETL); consolidación centralizada en data mart.
Optimista	25	30	Actualizaciones horarias o en tiempo real; validaciones automatizadas; interoperabilidad completa entre sistemas (ERP, planificación, registros de calidad).

La centralización de datos provenientes de diversas fuentes (reportes de progreso, informes de campo, estatus de tareas, recursos y datos de calidad) en una única plataforma visual representó un resultado clave, eliminando la fragmentación de la información y reduciendo los esfuerzos manuales

de recopilación y consolidación. Finalmente, la propuesta detalló cómo esta solución optimizaría la toma de decisiones para la asignación de recursos y la mitigación de riesgos, al proporcionar a los gerentes datos actualizados y relevantes de manera constante.

CONCLUSIÓN

Este proyecto concluyó que la implementación de paneles de control en tiempo real es una herramienta indispensable para la optimización de la gestión de proyectos de construcción mecánica, particularmente en el sector farmacéutico de alta exigencia. La propuesta abordó eficazmente el problema de la información fragmentada y desactualizada que conduce a decisiones reactivas y costosas. Los resultados proyectados, incluyendo una mejora en la detección de desviaciones y en la precisión de los reportes de avance, validaron el potencial de la solución.

Se recomienda que futuras investigaciones se centren en la implementación práctica de un proyecto piloto a escala real, con mediciones cuantitativas de los beneficios en un entorno operativo en vivo. Asimismo, se sugiere la exploración de la integración con tecnologías emergentes como la inteligencia artificial para el análisis predictivo de datos, lo que podría elevar aún más la capacidad de gestión proactiva de proyectos en esta industria crítica. La adopción de estos paneles de control representa un paso fundamental hacia una gestión más eficiente, transparente y alineada con los requisitos de calidad y cumplimiento del sector.

REFERENCIAS

- [1] Mihaylova, T. (2020). Real-Time Project Management Dashboards: A Guide to Data-Driven Decision Making. CRC Press.
- [2] Mahzuni, M., Tezel, A., & Tezel, B. A. (2022). "A Real-Time Dashboard Framework for Tracking Construction Project Performance." Construction Management and Economics, 40(3), 226-242.
- [3] Ahmad, T., & Khan, S. A. (2019). "Impact of Real-Time Monitoring and Control on Project Performance in

- Construction Industry." *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 38(1), 19-27.
- [4] Kassem, M., Succar, B., & Dawood, N. (2018). "BIM-based project management dashboards: The status quo, benefits, and challenges." *Construction Innovation*, 18(2), 171-197.
- [5] Brescia, A. (2021). *Project Management in Pharmaceutical and Life Sciences Industry*. Springer.