



Informe Técnico Semana 03

“Aplicación de un Gemelo Digital para la modernización de una sección de almacenamiento de líquidos”

Pablo Huenupil Gonzalez

P.huenupil01@ufromail.cl

22/09/2026

Resumen

Los Gemelos Digitales integran modelos de procesos, instrumentación y datos operacionales para representar el estado de sistemas industriales. Se analizó su aplicación en la modernización de una sección de almacenamiento de líquidos compuesta por tres tanques. Se aplicó un enfoque documental y de estudio de caso, basado en el material de la Semana 02, una transcripción de cátedra, literatura técnica y apoyo de inteligencia artificial declarado mediante el marco Ciencia Generativa. Como resultado, se definió una solución integrada con cinco subsistemas tecnológicos y cuatro instancias lógicas de gemelo, cuyo costo inicial se estimó entre USD 30.000 y USD 55.000. La discusión mostró que una implementación piloto permite evaluar la calidad de los datos, la utilidad del modelo y los beneficios operacionales antes de ampliar el alcance. Se concluye que el Gemelo Digital puede mejorar la supervisión, el análisis de desviaciones, la simulación y la toma de decisiones, siempre que responda a un problema concreto y utilice modelos validados.

1. Introducción

La automatización industrial requiere representar y comprender el comportamiento de los procesos que se desean supervisar o controlar. En el material correspondiente a la Semana 02 de la asignatura se relacionan explícitamente la automatización con el modelado matemático, los diagramas de bloques y el control. Asimismo, se presenta el sistema de control automático como una interconexión de elementos capaz de operar sin intervención humana directa, y se muestran ejemplos de representación entrada-proceso-salida y de modelado de un tanque mediante variables de nivel, caudal y tiempo [1].

Entre las tendencias contemporáneas de automatización se encuentra el Gemelo Digital, mencionado durante la Semana 02 como uno de los posibles focos de análisis de la asignatura [2]. El Digital Twin Consortium lo define como una representación virtual integrada y basada en datos de entidades o procesos del mundo real, con interacción sincronizada a una frecuencia y fidelidad determinadas [3]. La sincronización es esencial: un modelo matemático aislado puede describir un proceso, mientras que un gemelo digital incorpora datos del sistema físico para actualizar su representación y apoyar el análisis o la toma de decisiones.

La literatura de manufactura distingue entre modelos digitales sin intercambio automático de datos, sombras digitales con un flujo de información principalmente desde el sistema físico hacia

el modelo y gemelos digitales con un grado de integración superior [4]. Desde esta perspectiva, el modelado matemático y los diagramas de bloques constituyen fundamentos relevantes, pero la condición de gemelo digital exige integrar el modelo con datos operacionales y mecanismos de sincronización.

En una planta con almacenamiento de líquidos, la sincronización entre el proceso físico y su representación virtual permite relacionar variables como nivel, caudal, presión, temperatura y estado de bombas o válvulas. Esta relación es relevante porque una sección acotada de tanques puede funcionar como entorno piloto para verificar la utilidad técnica y económica de la tecnología antes de extenderla hacia procesos de mayor escala.

2. Objetivo

Analizar la implementación de un sistema de Gemelo Digital para modernizar una sección industrial compuesta por tres tanques de almacenamiento de líquidos, determinando los subsistemas requeridos, estimando su costo inicial de implementación y evaluando las principales ventajas técnicas y operacionales de su utilización.

3. Metodología

Se empleó un enfoque documental y aplicado. En primer lugar, se revisaron la presentación y la transcripción de cátedra de la Semana 02 para identificar los fundamentos tratados en la asignatura: automatización, sistemas de control automático, conversión de señales, diagramas de bloques, relaciones entrada-salida, modelado de procesos y Gemelo Digital como tendencia de automatización [1], [2]. En segundo lugar, se consultaron fuentes externas para ampliar la definición de Gemelo Digital, distinguirlo de un modelo digital convencional y revisar criterios económicos relacionados con su adopción [3]-[7].

En tercer lugar, se definió un caso de estudio hipotético de una sección con tres tanques. La arquitectura propuesta se construyó a partir de las funciones mínimas necesarias para observar el proceso físico, adquirir y transmitir datos, ejecutar los modelos digitales y presentar información al operador. Finalmente, se realizó una estimación económica de orden de magnitud mediante categorías de costo. La estructura de estas categorías se apoya en la literatura que propone considerar actividades de adquisición, interacción, almacenamiento, procesamiento, provisión de servicios y mantenimiento de datos, además de recursos de personal, equipamiento, materiales e infraestructura [6].

Los valores monetarios utilizados no corresponden a una cotización comercial ni a precios de un proveedor específico. Son supuestos de ingeniería contruidos para fines académicos y buscan mostrar una escala de inversión coherente con una modernización acotada. Se excluyen grandes modificaciones mecánicas, renovación completa de la red de planta, impuestos, aranceles de importación y costos recurrentes posteriores al primer año. Esta limitación es importante porque la conveniencia económica de un gemelo digital depende del caso de uso y debe compararse con los beneficios esperados de la inversión [5].

3.1. Uso de IA

Se utilizó ChatGPT, modelo GPT-5.6 Sol, para investigar fuentes públicas, contrastar conceptos, proponer y desarrollar el caso de los tres tanques, estructurar parte del método de análisis, efectuar la estimación formal de costos, construir las tablas y apoyar la redacción y revisión del informe. El estudiante seleccionó la temática 1.2, estableció que el material de la Semana 02 debía constituir la base del trabajo y proporcionó los materiales y transcripciones utilizados para orientar y revisar su desarrollo. Debido a que la IA propuso el caso específico de los tres tanques y participó en la definición del procedimiento, la Conceptualización y la

Metodología se reconocen como contribuciones compartidas. Esta declaración se formula conforme al marco Ciencia Generativa [7].

Evaluación de contribuciones realizada por ChatGPT para esta versión del documento:
Pablo Huenupil (Humano): Conceptualización, Metodología, Validación.
ChatGPT, GPT-5.6 Sol (IA): Conceptualización, Metodología, Investigación, Análisis formal, Redacción del borrador original, Revisión y edición, Visualización.

4. Resultados

4.1. Fundamento del Gemelo Digital y relación con el proceso de tanques

El resultado conceptual principal es que un gemelo digital no debe confundirse con una representación gráfica ni con un modelo matemático aislado. La representación virtual debe estar vinculada a la entidad o proceso real mediante datos y mecanismos de sincronización [3]. Por ello, el modelo de un tanque presentado en clase puede considerarse una base para construir un gemelo digital, pero requiere información operacional proveniente del equipo físico.

En el caso de un tanque, las variables más relevantes pueden incluir nivel de líquido, caudal de entrada, caudal de salida, presión, temperatura y estado de bombas o válvulas. Los contenidos de la Semana 02 muestran precisamente que un proceso puede representarse mediante entradas, una operación o modelo y una salida, y que el comportamiento del tanque puede relacionarse matemáticamente con variables como altura, velocidad de salida y tiempo [1]. En una implementación real, los sensores proporcionan valores medidos, el sistema de adquisición los transmite y el gemelo utiliza esos datos para mantener actualizada su representación del proceso.

4.2. Sistemas requeridos para la modernización

Para responder a la cantidad de sistemas necesarios, se propone una única solución integrada de Gemelo Digital para la sección de tres tanques. Esta solución se divide en cinco subsistemas tecnológicos. Dentro de la plataforma se configurarían cuatro instancias lógicas de gemelo: tres gemelos de activo, uno por cada tanque, y un gemelo de proceso que represente el comportamiento conjunto de la sección. La Tabla 1 resume la arquitectura propuesta.

Subsistema	Cantidad	Función principal	Elementos típicos
Instrumentación de campo	3 paquetes	Medir el estado de cada tanque.	Sensores de nivel y caudal; mediciones complementarias de presión o temperatura; señales de válvulas y bombas.
Control y adquisición	1 sistema	Recibir señales, ejecutar lógica básica y concentrar datos.	PLC, módulos de E/S y acondicionamiento de señales.
Comunicaciones y Edge	1 sistema	Transferir datos entre OT y la plataforma digital.	Gateway industrial, red Ethernet/industrial, protocolos de comunicación y almacenamiento local temporal.
Plataforma de Gemelo Digital	1 plataforma	Mantener modelos, datos históricos y sincronización.	Tres gemelos de activo + un gemelo de proceso; base de datos y motor de modelado.

Subsistema	Cantidad	Función principal	Elementos típicos
Visualización y analítica	1 sistema	Presentar indicadores, alarmas, tendencias y simulaciones.	HMI o panel web, reportes, tendencias y herramientas de análisis.

Tabla 1. Arquitectura propuesta para modernizar una sección compuesta por tres tanques. Elaboración propia.

La solución puede conectarse con sistemas existentes de la planta. Si los tanques ya disponen de PLC, sensores y comunicaciones compatibles, parte de la infraestructura podría reutilizarse. En ese escenario, la inversión se concentraría en integración, calidad de datos, modelado y software. Si la instalación es antigua y carece de instrumentación suficiente, el costo de modernización aumenta por la necesidad de incorporar sensores, módulos de adquisición, redes y tareas de puesta en marcha.

4.3. Estimación del costo de implementación

La literatura económica sobre gemelos digitales señala que la decisión de invertir debe analizar conjuntamente costos, beneficios y circunstancias específicas de adopción [5]. Además, una metodología reciente de estimación de costos en manufactura propone desagregar el proyecto según actividades relacionadas con los datos y los recursos consumidos [6]. Aplicando esta lógica al caso académico propuesto, la Tabla 2 presenta un presupuesto de orden de magnitud.

Categoría	Mínimo (USD)	Máximo (USD)	Alcance considerado
Instrumentación para los tres tanques	8.000	14.000	Sensores, interfaces, accesorios y adaptación básica de señales.
PLC, adquisición, gateway y comunicaciones	5.000	9.000	Controlador, módulos de E/S, conectividad industrial y dispositivo Edge.
Modelado, integración y desarrollo de la solución	10.000	17.000	Modelos de los tanques, integración de datos, lógica del gemelo y paneles.
Plataforma, almacenamiento y servicios del primer año	2.000	5.000	Licencias o servicios de software, base de datos y almacenamiento.
Instalación, pruebas, ciberseguridad, capacitación y contingencia	5.000	10.000	Montaje, puesta en marcha, pruebas, endurecimiento básico y formación.
TOTAL ESTIMADO	30.000	55.000	Rango de inversión inicial para el caso académico.

Tabla 2. Estimación de orden de magnitud para la implementación del Gemelo Digital. Valores académicos en dólares estadounidenses; no constituyen una cotización comercial.

El intervalo resultante es de USD 30.000 a USD 55.000, con un valor central aproximado de USD 42.500. El rango relativamente amplio representa la incertidumbre propia de un proyecto conceptual. Las variables que más podrían modificar el presupuesto son el grado de instrumentación ya disponible, el número de señales que deben integrarse, la complejidad de los modelos, las exigencias de ciberseguridad, el uso de software comercial o de desarrollo propio y el nivel de integración con sistemas existentes.

4.4. Ventajas potenciales de la modernización

La primera ventaja es la supervisión integrada del proceso. Al mantener una representación sincronizada, el operador puede visualizar el estado de cada tanque y de la sección completa utilizando datos actuales e históricos. El Digital Twin Consortium señala que estos sistemas pueden representar el pasado y el presente y simular estados futuros, lo que amplía su utilidad más allá de una pantalla de monitoreo convencional [3].

La segunda ventaja es la posibilidad de detectar desviaciones entre el comportamiento esperado y el observado. Por ejemplo, si el modelo estima una variación de nivel diferente de la medición real, la diferencia puede orientar una revisión de sensores, válvulas, bombas, obstrucciones o pérdidas. Esta capacidad no implica que el gemelo diagnostique automáticamente todas las fallas, pero entrega una base estructurada para análisis y mantenimiento.

La tercera ventaja es la simulación de escenarios antes de intervenir físicamente el proceso. Se pueden evaluar cambios de consignas, secuencias de operación, capacidades o condiciones de flujo en el entorno digital y comparar los resultados antes de ejecutar una modificación real. Esto puede reducir pruebas innecesarias y apoyar decisiones de ingeniería, siempre que el modelo haya sido validado con datos representativos.

La cuarta ventaja es económica y organizacional. La literatura de NIST destaca que los gemelos digitales deben evaluarse como una inversión, contrastando costos y beneficios esperados [5]. En una sección de tanques, los beneficios podrían provenir de reducción de paradas, mejor utilización de activos, menor tiempo de análisis, disminución de errores operacionales o una planificación más informada. No obstante, el retorno no puede asegurarse únicamente por instalar la tecnología: depende de que el sistema se diseñe para un problema operacional concreto y se utilice efectivamente en la toma de decisiones.

5. Discusión

Los resultados muestran que los fundamentos estudiados en la Semana 02 son pertinentes para comprender la lógica de un Gemelo Digital. La presentación relaciona diagramas de bloques, modelado matemático y control [1], mientras que la transcripción identifica explícitamente el Gemelo Digital como una tendencia posible de analizar [2]. El Gemelo Digital integra estos fundamentos con adquisición y gestión de datos para mantener una representación sincronizada del proceso físico.

Para el caso propuesto, considero más razonable comenzar por una sección limitada de la planta que intentar digitalizar inmediatamente todas las instalaciones. Una prueba acotada en tres tanques permite validar la calidad de los datos, la utilidad de los modelos, la aceptación por parte de los operadores y el beneficio económico antes de ampliar el alcance. Este enfoque también reduce el riesgo de realizar una inversión tecnológica elevada sin haber definido previamente qué decisión o problema operacional se pretende mejorar.

La estimación de USD 30.000 a USD 55.000 debe interpretarse como una referencia académica. No representa el costo universal de un Gemelo Digital, ya que dos plantas con el mismo número de equipos pueden presentar diferencias significativas en instrumentación, comunicaciones, software, integración y personal especializado. El trabajo de Su et al. [6] refuerza precisamente la necesidad de desagregar las actividades y recursos del gemelo para estimar costos, mientras que NIST propone incorporar los beneficios y la decisión económica de inversión [5].

Respecto del uso de inteligencia artificial, la interacción modificó la distribución inicial de responsabilidades. Yo seleccioné la temática, aporté los materiales de la asignatura y solicité

que el informe se ajustara a las reglas del curso. Sin embargo, ChatGPT propuso el caso específico de los tres tanques y participó en el desarrollo del enfoque metodológico. Por esta razón, la Conceptualización y la Metodología se reconocen como roles compartidos, además de los roles de Investigación, Análisis formal, Redacción del borrador original, Revisión y edición y Visualización realizados con apoyo de la IA. Considero que esta declaración representa de forma transparente cómo se desarrolló realmente el informe. La Validación final corresponde a mi responsabilidad como autor, luego de revisar, comprender y aprobar el contenido antes de su entrega.

6. Conclusiones

Un Gemelo Digital es una representación virtual basada en datos que se mantiene sincronizada con una entidad o proceso real. Esta característica lo distingue de un modelo digital aislado y permite utilizar información actual e histórica para comprender el estado del sistema y, cuando el modelo lo permite, analizar escenarios futuros.

Para modernizar la sección hipotética formada por tres tanques se propone una única solución integrada compuesta por cinco subsistemas tecnológicos: instrumentación, control y adquisición, comunicaciones y Edge, plataforma de Gemelo Digital y visualización/analítica. Dentro de la plataforma se utilizarían cuatro instancias lógicas: tres gemelos de activo y un gemelo de proceso para la sección.

La inversión inicial se estima entre USD 30.000 y USD 55.000 para el alcance definido, con un valor central cercano a USD 42.500. La estimación es de orden de magnitud y debe reemplazarse por una ingeniería de detalle y cotizaciones reales antes de tomar una decisión de inversión.

Las ventajas potenciales incluyen supervisión continua, comparación entre comportamiento esperado y real, simulación de escenarios, apoyo al mantenimiento y una toma de decisiones mejor informada. Sin embargo, el valor del Gemelo Digital depende de la calidad de los datos, la validez de los modelos y la existencia de un caso de uso concreto. En consecuencia, una implementación piloto en una sección acotada constituye una estrategia razonable para evaluar resultados antes de escalar la tecnología al resto de la planta.

7. Declaraciones

Disponibilidad pública. El autor solicita que, una vez revisado y aprobado, este informe quede disponible públicamente en una plataforma digital.

Uso de IA. Se utilizó ChatGPT, modelo GPT-5.6 Sol, en los roles de Conceptualización, Metodología, Investigación, Análisis formal, Redacción del borrador original, Revisión y edición y Visualización. La Validación final fue realizada por el autor.

Licencia: Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> - versión actualizada 2026-09-22.

8. Bibliografía

- [1] C. Alarcón García, "Automatización de Procesos Productivos: Semana 02," Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile, 2026. [Presentación de clase].
- [2] C. Alarcón García, "Revisión de taller y requerimientos del informe," transcripción de cátedra, Semana 02, Automatización de Procesos Productivos, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile, 26 ago. 2026.
- [3] Digital Twin Consortium, "Definition of a Digital Twin." [Online]. Available: <https://www.digitaltwinconsortium.org/initiatives/the-definition-of-a-digital-twin/> [Accessed: Sep. 2, 2026].
- [4] W. Kritzinger, G. Karner, G. Traar, J. Henjes, and W. Sihn, "Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification," IFAC-PapersOnLine, vol. 51, no. 11, pp. 1016-1022, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
- [5] D. Thomas, Economics of Digital Twins: Costs, Benefits, and Economic Decision Making, NIST Advanced Manufacturing Series 100-61. Gaithersburg, MD, USA: National Institute of Standards and Technology, 2024. <https://doi.org/10.6028/NIST.AMS.100-61>
- [6] S. Su, A. Nassehi, A. McClenaghan, A. Langridge, and B. Hicks, "A methodology for estimating the cost of a digital twin," Journal of Manufacturing Systems, vol. 80, pp. 841-858, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2025.04.004>
- [7] C. Alarcón, "Generative Science as an analytical framework for integrating the full capabilities of generative artificial intelligence into scientific research while preserving scientific recognition," Generative Science Preprints, vol. 2026, no. 07, Art. no. 19055673, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19055673>