



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Sistemas e Informática

Tema:

**Diseño y desarrollo de un prototipo de Gemelo Digital
para la gestión de instalaciones en PYMES
ecuatorianas: Caso estudio empresa CONSTRUIBLEC.**

Autor:

Valdebenito Montalvo Luis Alberto

Tutor:

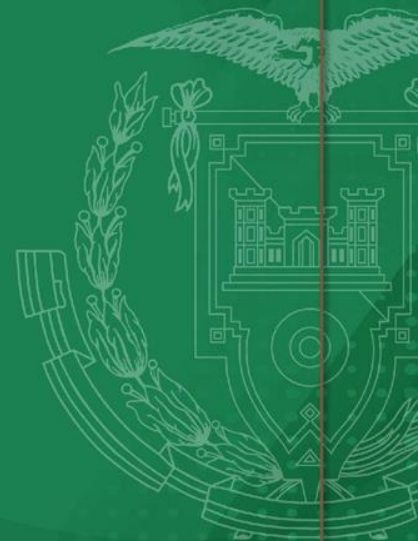
Ing. Díaz Zúñiga Magi Paúl Mgtr.

SANGOLQUÍ, 26 de Febrero 2026



Índice de Contenidos

- Introducción
- Objetivos
- Trabajos Relacionados
- Desarrollo
- Evaluación
- Resultados Obtenidos
- Conclusiones y Trabajos Futuros





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Introducción



Introducción

Antecedentes

- La gestión de instalaciones como campo en crecimiento.
- El software libre como apoyo a pequeñas empresas.
- La integración del Internet de las cosas a la gestión de instalaciones.
- La visualización 3D ayuda a identificar mejor los activos de la empresa.
- BIM, de la construcción a la operación.
- Gemelos digitales como tecnología en evolución para concentrar la información de objetos físicos en entornos reales. De lo estático a lo dinámico.



Introducción

Planteamiento del Problema

- Los recursos son limitados en las pequeñas y medianas empresas.
- La formalización de la gestión de instalaciones es un campo nuevo.
- Pasar de lo reactivo a lo preventivo.



Introducción

Alcance

Definir los componentes que permitan cumplir con las características de un gemelo digital, esto es tener una visión dinámica de un modelo que permita ver en tiempo real su estado. Por lo que se debe ver el modelo BIM, permitir la gestión de mantenimiento con posibilidad de escalar y la integración con IoT para la visualización de datos en tiempo real, con el fin de mejorar la operación de la empresa.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Objetivos



Objetivo General

Implementar una plataforma inicial que cumpla con las características de un gemelo digital orientado a la gestión de instalaciones aplicado al caso específico de los activos de la empresa, así mejorar la eficiencia de los recursos.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Trabajos Relacionados



Trabajos Relacionados

- Bases de datos: 3 (Scopus, SpringerLink, Google Scholar)
- Total de estudios identificados: 865
- Estudios excluidos: 853
- Estudios incluidos: 12
- Libros incluidos: 4

Conceptos clave identificados:

- BIM en etapa de operación
- Arquitectura de gemelo digital
- Internet de las cosas como habilitador de gemelos digitales
- Gestión de mantenimiento como base de la gestión de instalaciones
- BIM y gemelos digitales





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Desarrollo



Metodología

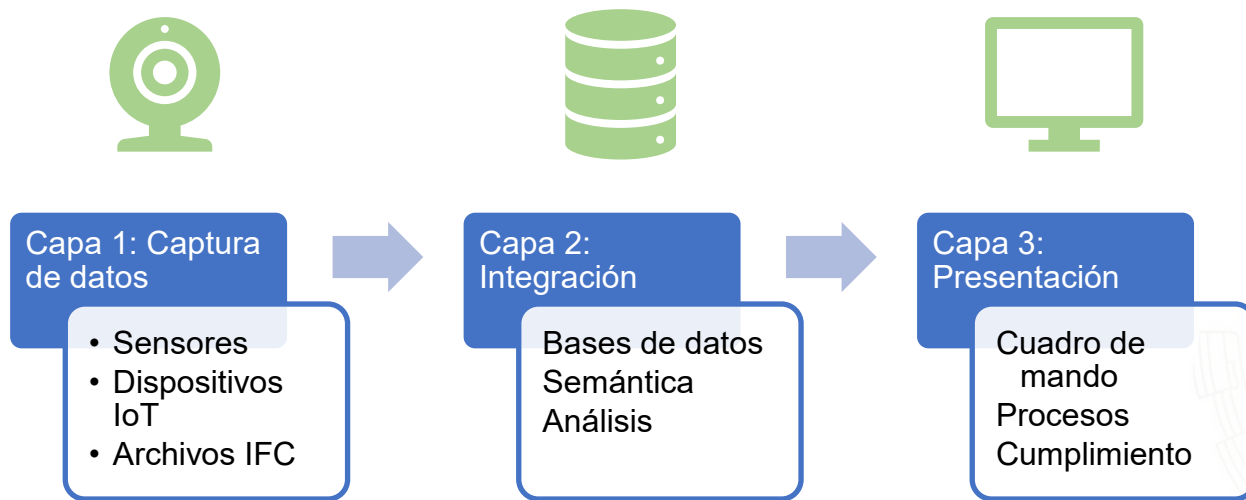
- Conocer los trabajos previos desde la Ingeniería Civil para la incorporación de la gestión de instalaciones a las operaciones y procesos que llevan acabo.
- Análisis de software propietario y software libre en el ámbito de la gestión de instalaciones que puedan escalar hacia un gemelo digital.
- Incorporar las funcionalidades desde los componentes existentes al gemelo digital.

Fases:

- Definición de requisitos, principalmente comprender la gestión de instalaciones
- Propuesta de arquitectura
- Desarrollo e implementación de los componentes del gemelo digital
- Pruebas piloto



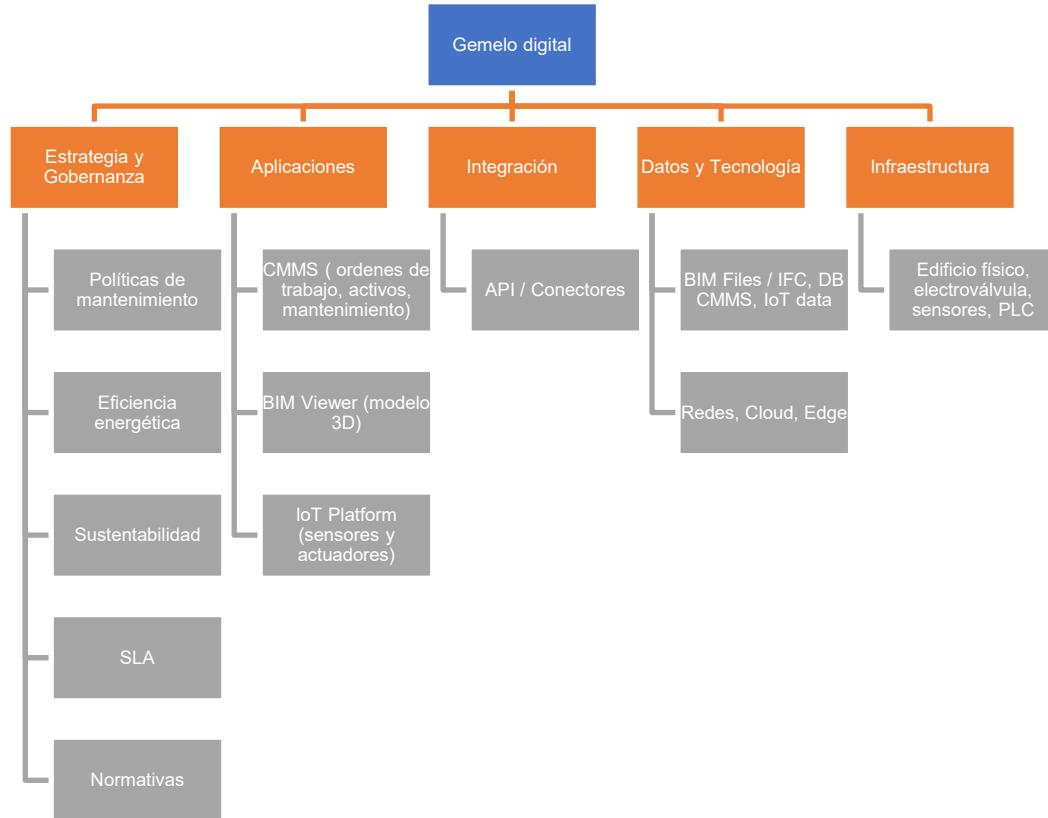
Arquitectura Propuesta



Estructura del gemelo digital



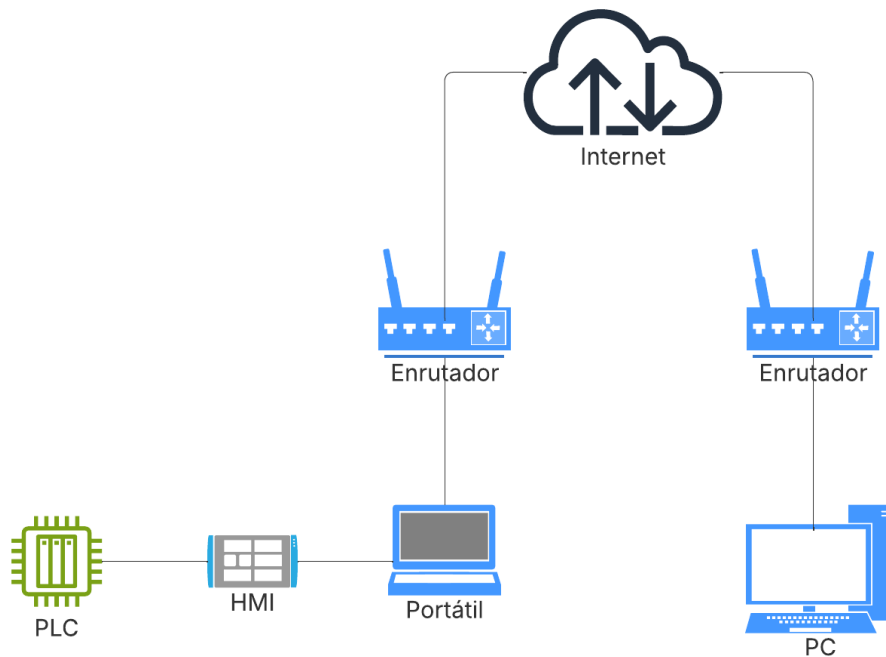
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



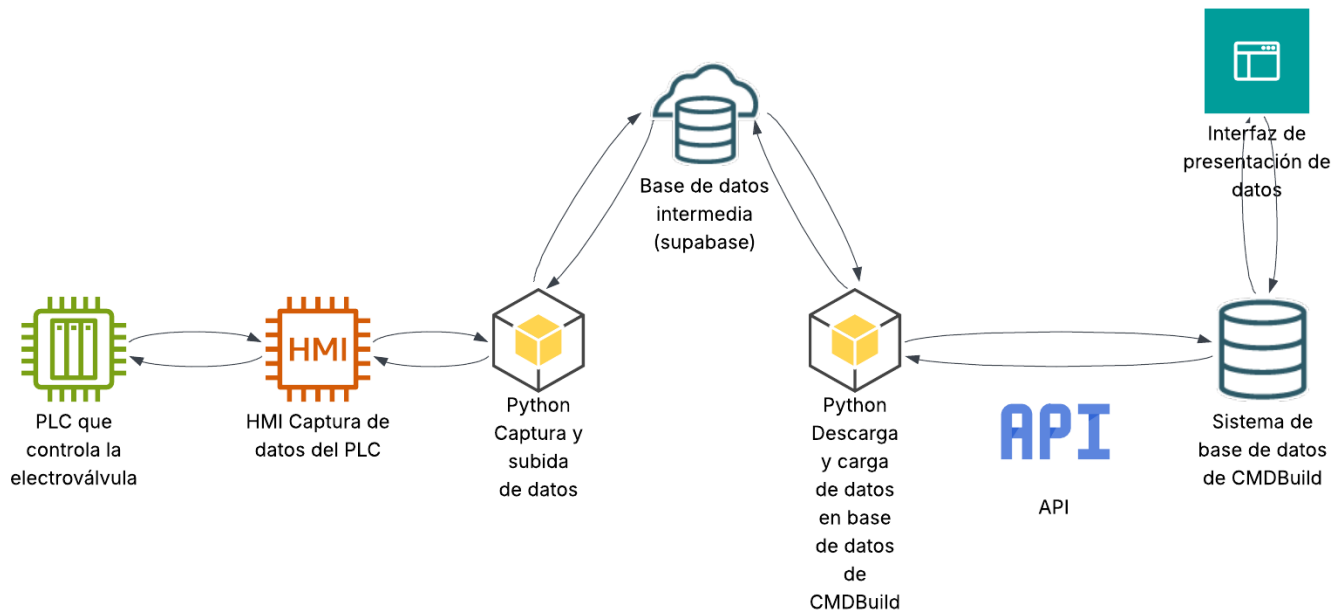
Selección de openMAINT

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
OpenMAINT	CMMS open source basado en CMDBuild para gestión de mantenimiento, activos e instalaciones.	CMDBuild como framework para crear opciones personalizables (módulos/funcionalidades)	• Curva de instalación compleja, interfaz menos moderna. • Soporte técnico, portal de autoservicio y aplicación tienen costo adicional
Atlas CMMS	CMMS open source enfocado en mantenimiento preventivo y correctivo.	Interfaz moderna, móvil, QR, fácil despliegue.	• Sin soporte BIM • El acceso a la API requiere pago
Odoo Community	ERP modular con aplicaciones de mantenimiento y activos.	Modular, moderna, adaptable.	• El visualizador BIM usa formato xkt y puede necesitar uso de conversiones • No soporta importación de archivos ifc de forma nativa, requiere convertir o usar un módulo externo
ERPNext	ERP open source con módulo de mantenimiento, activos y operaciones.	Integración ERP total, escalable.	• Complejo si solo se usa para mantenimiento.

Implementación del gemelo digital



Implementación del gemelo digital





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Evaluación



Diseño de la Evaluación

- Componentes que se consideran en la evaluación del prototipo

Componente	Tipo de prueba	Elemento de prueba	Duración	Resultado esperado
Latencia	Comparación	Tiempo de detección de fallos	7 días	Disminución progresiva en la detección de alertas.
Uptime	Medición	Disponibilidad	5 días	Mantener una disponibilidad permanente del monitoreo y alertas.
Visor 3D	Carga y Estrés	Soporte del modelo 3D	24 horas	Fluidez con archivos de gran tamaño.

- La evaluación se llevó a cabo en un periodo de dos semanas con la participación del equipo involucrado en el proyecto, en especial quien tiene comprensión en el modelo BIM y quien da soporte en la operación de los sistemas incorporados.

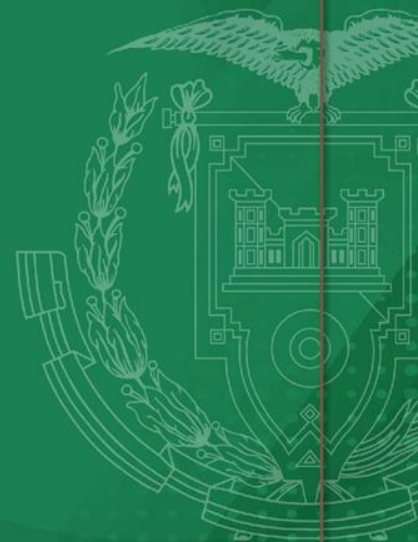


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Resultados Obtenidos



Resultados Obtenidos

Línea base operativa (antes del prototipo)

Indicador	Situación inicial
Detección de fallos	Manual
Tiempo promedio detección	3–4 horas
Registro histórico digital	No estructurado
Visualización espacial activos	No disponible
Alertas automáticas	No

Medidas de latencia en detección de eventos

T1	T0	Latencia
08:11:22	08:11:16	00:00:06
09:00:15	09:00:09	00:00:06
09:35:36	09:35:30	00:00:06
11:16:48	01:16:43	10:00:05
12:42:08	12:42:00	00:00:08

$$Latencia = T_{registro_openMAINT} - T_{registro_PLC}$$

Resultados Obtenidos

Comparación entre línea base operativa (antes del prototipo) y el prototipo

Indicador	Antes	Después	Mejora
Tiempo detección	4 horas	6 segundos	~99%
Registro estructurado	No	Sí	Total
Visualización 3D	No	Sí	Total
Monitoreo remoto	No	Sí	Total

Resultados Obtenidos

Disponibilidad: Aunque es una medida utilizada principalmente para determinar el tiempo en línea de servidores web, ha evolucionado en su forma para mejorar la comprensión de lo que representa (Netline, 2025).

$$Uptime = \left(\frac{Tiempo\ total - Tiempo\ caído}{Tiempo\ total} \right) * 100$$

Se hizo un monitoreo durante 5 días:

Tiempo activo: 59 horas

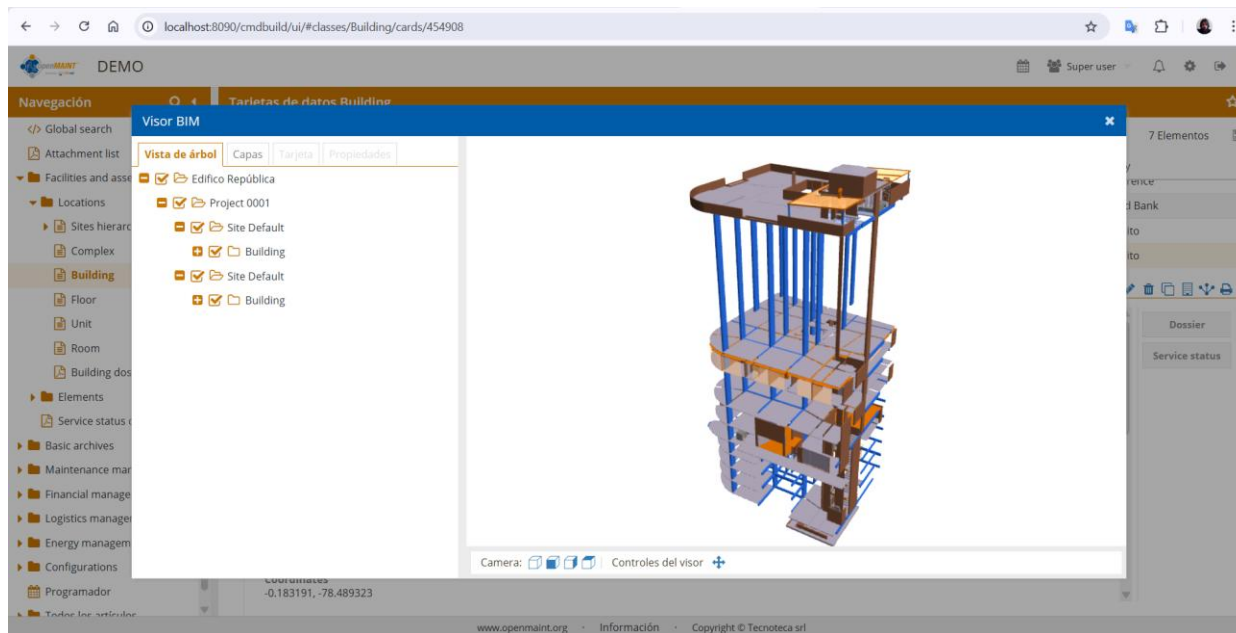
Tiempo total: 60 horas

$$Uptime = \left(\frac{59}{60} \right) \times 100 = 98.33\%$$



Resultados Obtenidos

Vista del proyecto cargado en BIM





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Conclusiones y Trabajos Futuros



Conclusiones y Trabajos Futuros

- El prototipo implementado demostró viabilidad técnica considerando una arquitectura multicapa basada en las tecnologías usadas: BIM, CMMS e IoT, que permita la visión del funcionamiento en tiempo real.
- Se comprobó la versatilidad de openMAINT como solución escalable para la incorporación de los sistemas de un edificio y la posibilidad de aumentar funcionalidades que cubran las necesidades de un sistema de gestión de instalaciones.

Trabajos Futuros:

- La integración de más activos y variables operativas.
- La incorporación de técnicas de análisis predictivo basadas en datos históricos.
- El uso de más sensores en entornos productivos, aunque esto conlleve un análisis y un trabajo adecuado para su integración.
- La evaluación del impacto del gemelo digital en indicadores de eficiencia y costos de mantenimiento.



Gracias por su
atención

