



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - “ESPE”

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN BASADO EN UNA ARQUITECTURA IOT PARA EL CUARTO DE MÁQUINAS DE LA EMPRESA FUENTES SAN FELIPE S.A.”

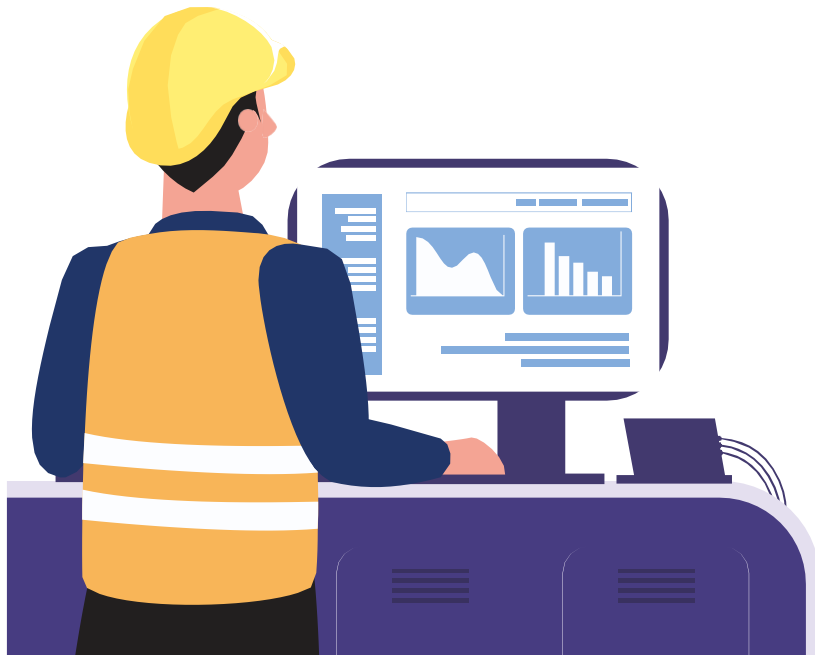
AUTOR: DIEGO ESTEBAN ÁLVAREZ ROMERO

DIRECTOR: ING. DARWIN OMAR ALULEMA FLORES, PhD.

VERSIÓN: 1.1



Temario



Antecedentes

Descripción del Proyecto

Objetivos

Diseño

Implementación

Pruebas y Resultados

Conclusiones, recomendaciones y trabajos Futuros



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Antecedentes



Antecedentes

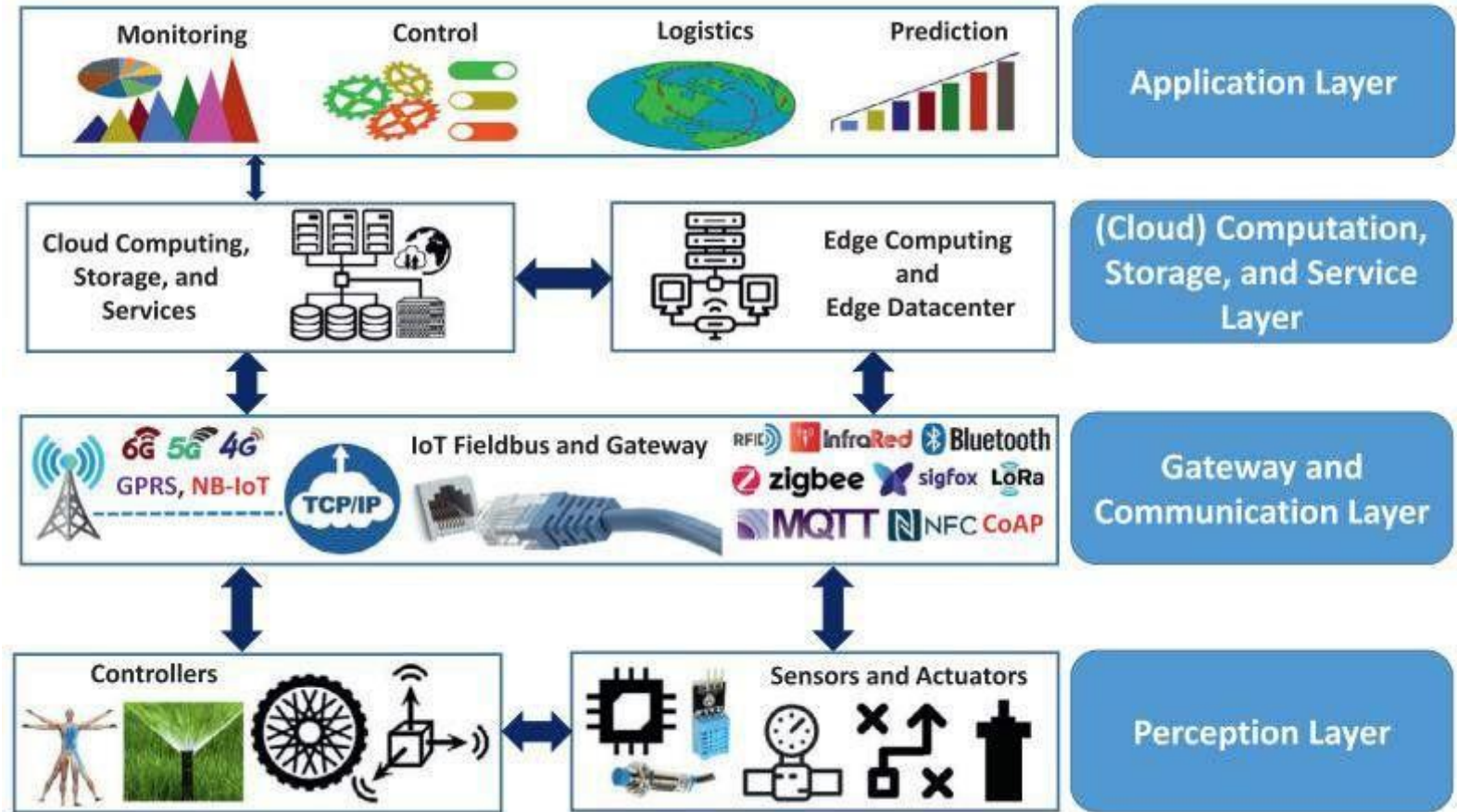
Industria 4.0



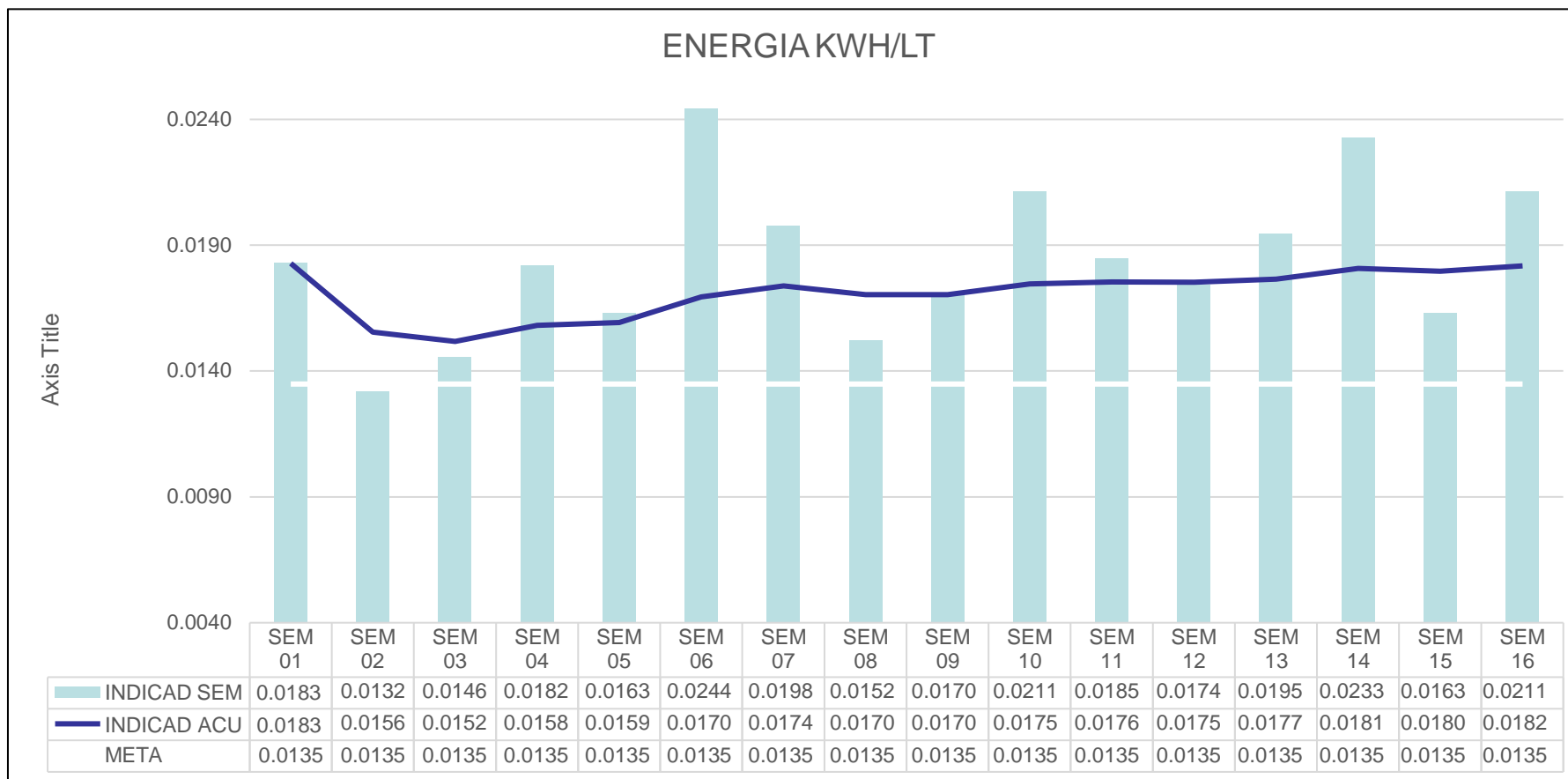
Convergencia IT/OT



Arquitectura IoT



Indicadores del Departamento de Mantenimiento

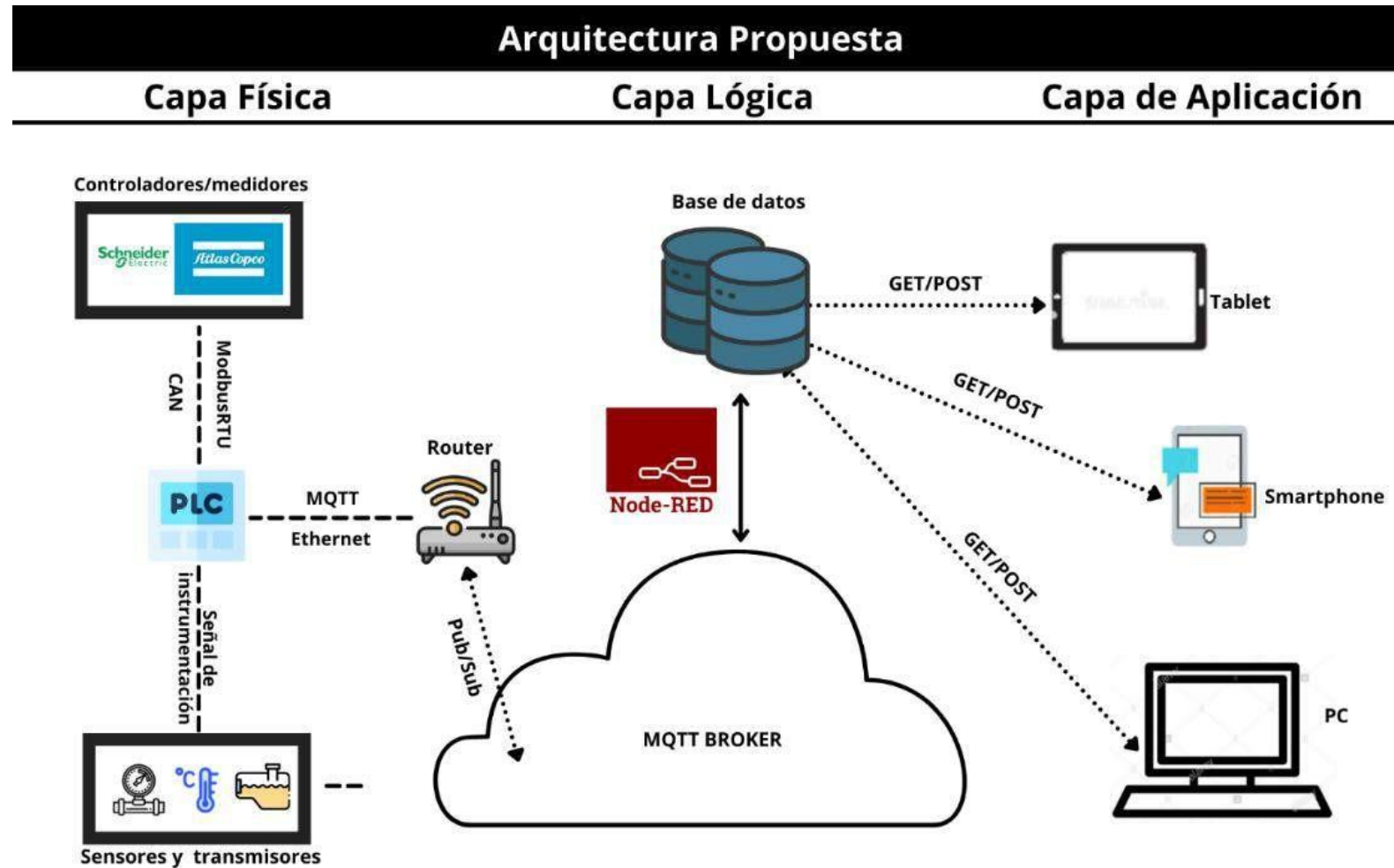


Descripción del proyecto



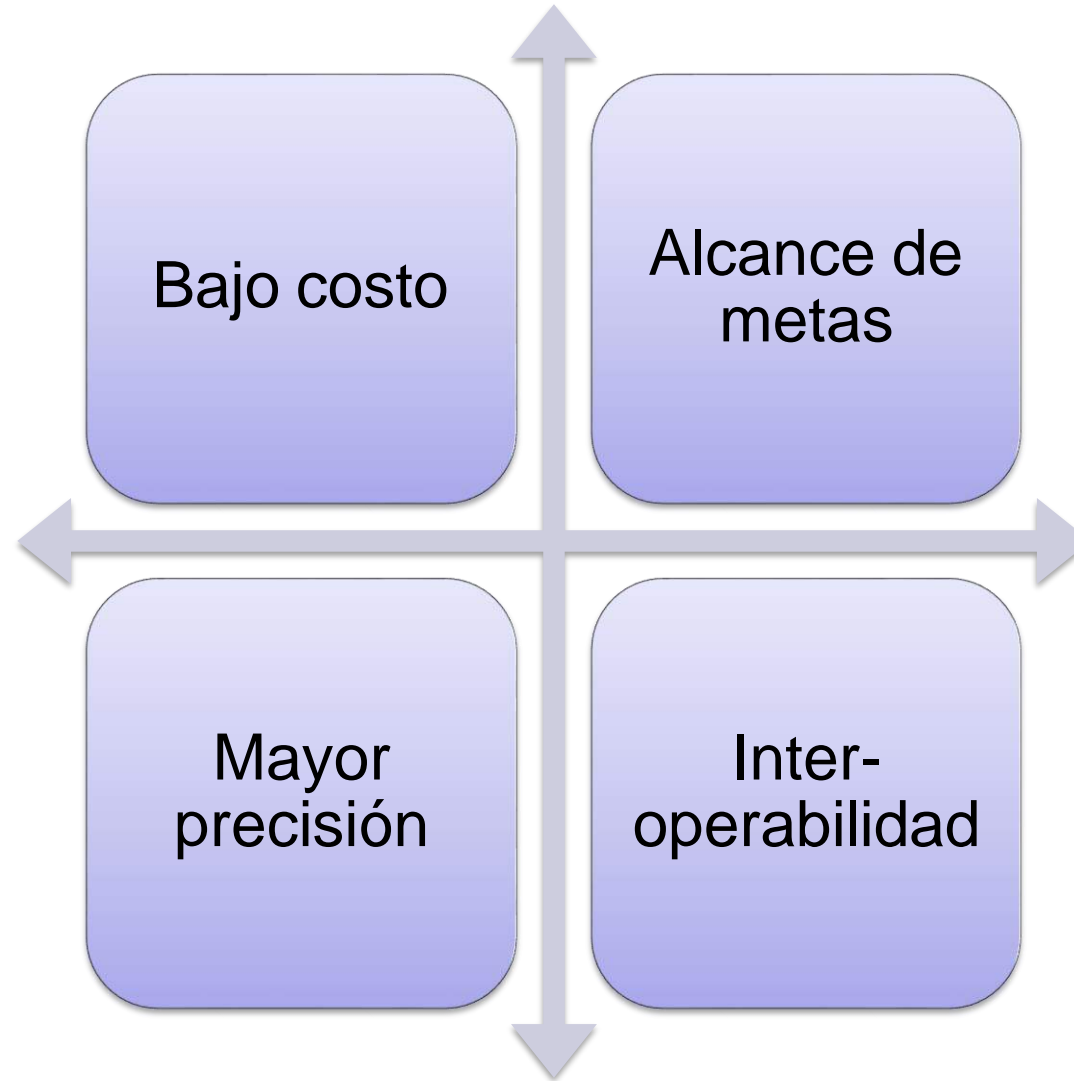
Descripción del proyecto

Arquitectura propuesta inicial



Descripción del proyecto

Beneficios



Objetivos



Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar una arquitectura basada en el IoT para la monitorización del cuarto de máquinas en la empresa Fuentes San Felipe S.A. SANLIC.



Objetivos

Objetivos Específicos

- Investigar los conceptos teóricos de: SOA (Arquitectura Orientada a Servicios), IOT (Internet de las Cosas), IT (Tecnologías de la Información), OT (Tecnologías Operativas), Web Services, Monitorización, KPIs (parámetros de desempeño), protocolos de comunicación industrial.
- Implementar la red para la zona de trabajo en la que se va a desarrollar el proyecto (red industrial).
- Implementar la instrumentación que sea necesaria en las máquinas o tanques de almacenamiento disponibles dentro del cuarto de máquinas de la empresa Fuentes San Felipe S.A.
- Diseñar una arquitectura IoT que permita la integración de todos los sensores y/o transmisores implementados.
- Analizar los protocolos de comunicación que mejor se adapten a la arquitectura propuesta y ambiente del cuarto de máquinas de la empresa Fuentes San Felipe S.A.
- Modelar un interfaz humano máquina (HMI) en base a la normativa ISA 101 para el sistema de monitorización.
- Evaluar el sistema a través de los resultados obtenidos mediante pruebas de carga, pruebas de usabilidad y pruebas de funcionamiento.

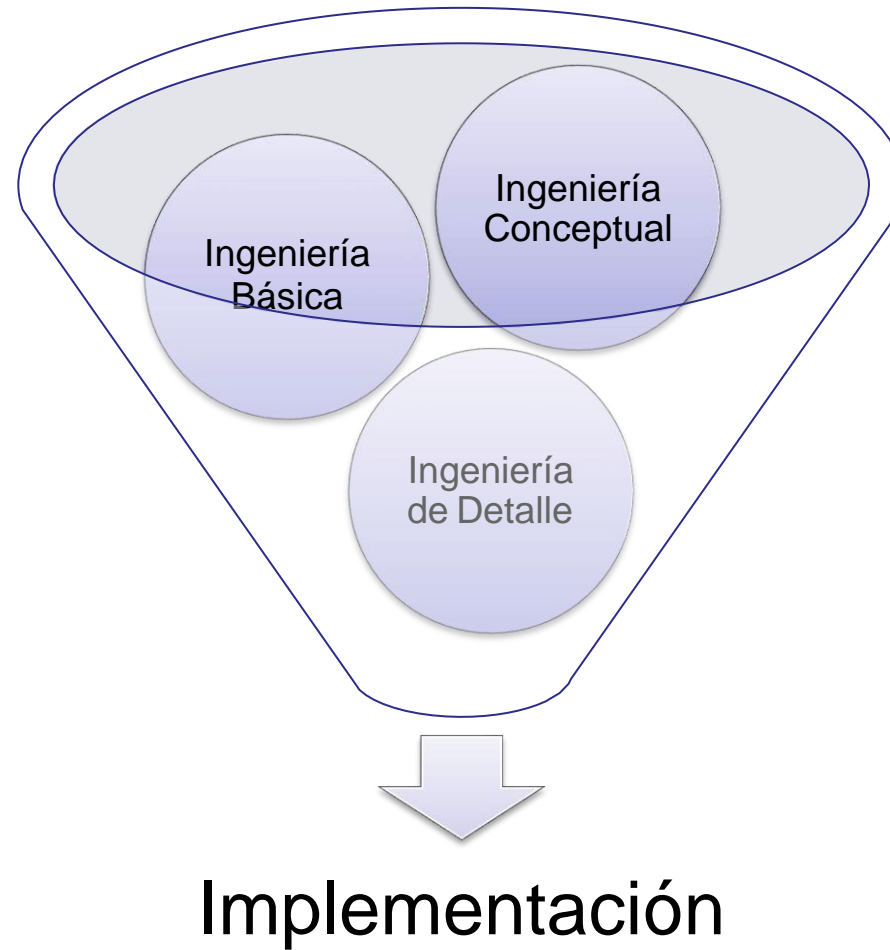


Diseño

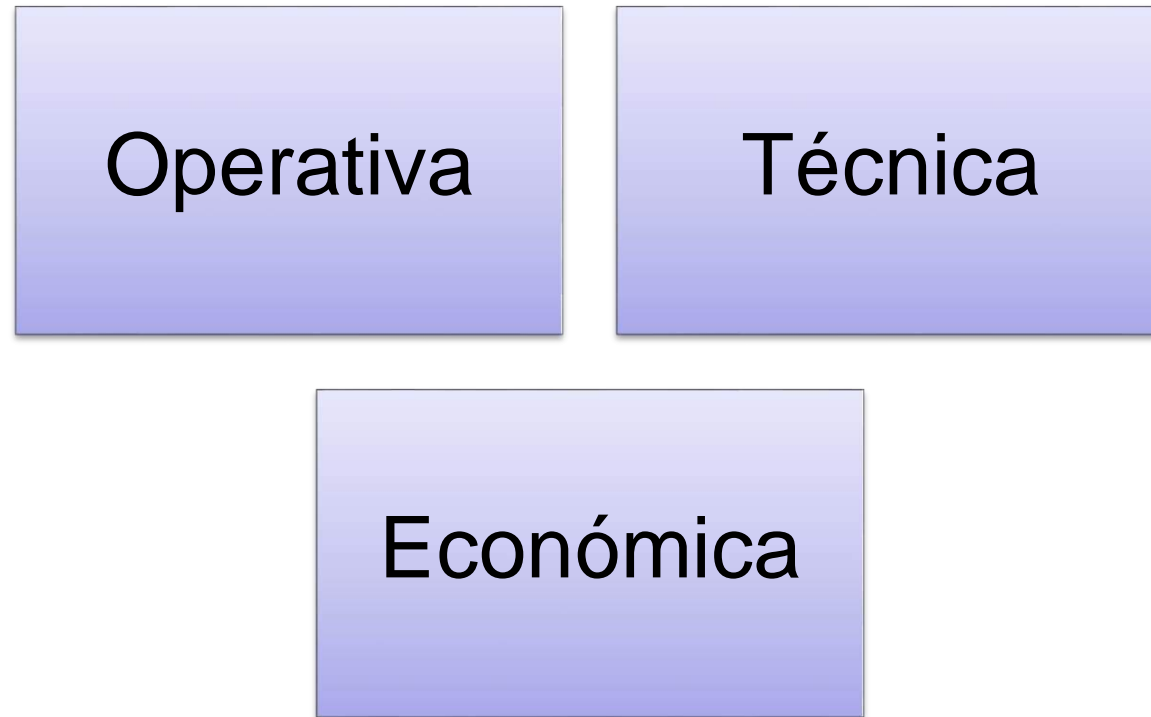


Diseño

Metodología



Análisis de factibilidades



Factibilidad Económica

Descripción de dispositivos y materiales	Cantidad	Precio Proyecto (\$)	Precio Real (\$)
PLC	1	77	566
Pasarela	1	63	585
Módulo de entradas análogas	1	99	889
Módulo RTD	1	167	747
Módulo Modbus RTU	1	92	316
Sensor de temperatura PT100 industrial	2	198	198
Transmisor para tanque de aire y tanque diario	2	1.190	1.190
Transmisor para presión de calderos y nivel de tanque de diésel	3	150	3.200
Materiales de instalación de instrumentos de medición	1	500	500
Medidor de energía inteligente (incluye 3 TCs)	1	394	394
Materiales para montaje de tablero (cableado, borneras, riel din,), cableado eléctrico (bandejas porta cables, soportes, tubería Conduit), montaje de medidor de energía y demás materiales	1	1.370	1.370
TOTAL		4.300	9.955



Definición de requerimientos generales y alcance

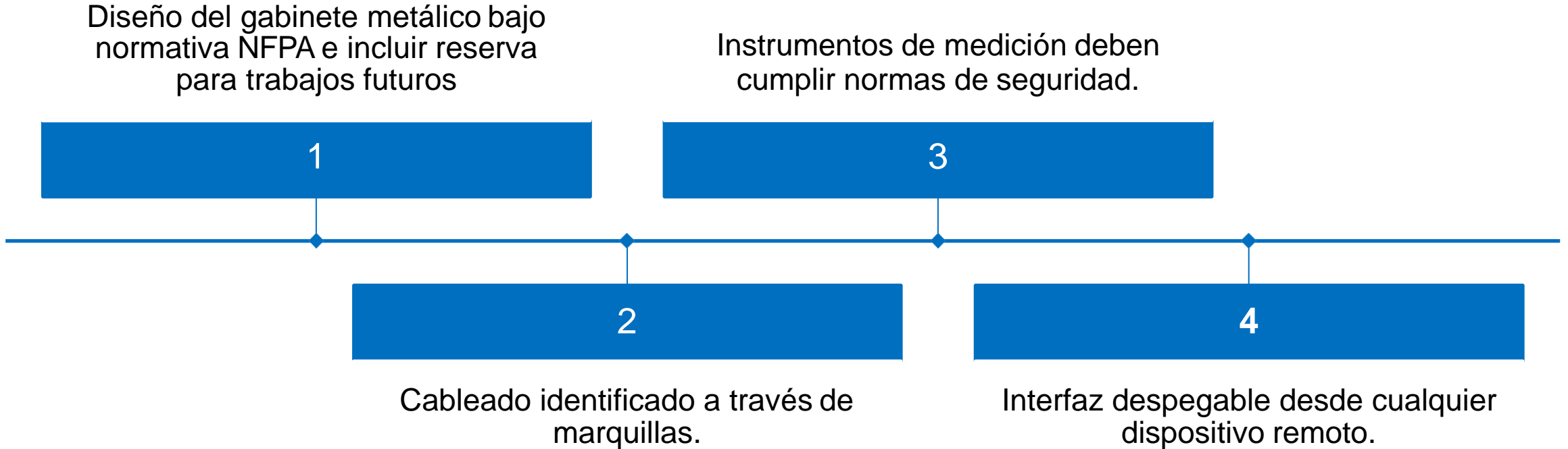
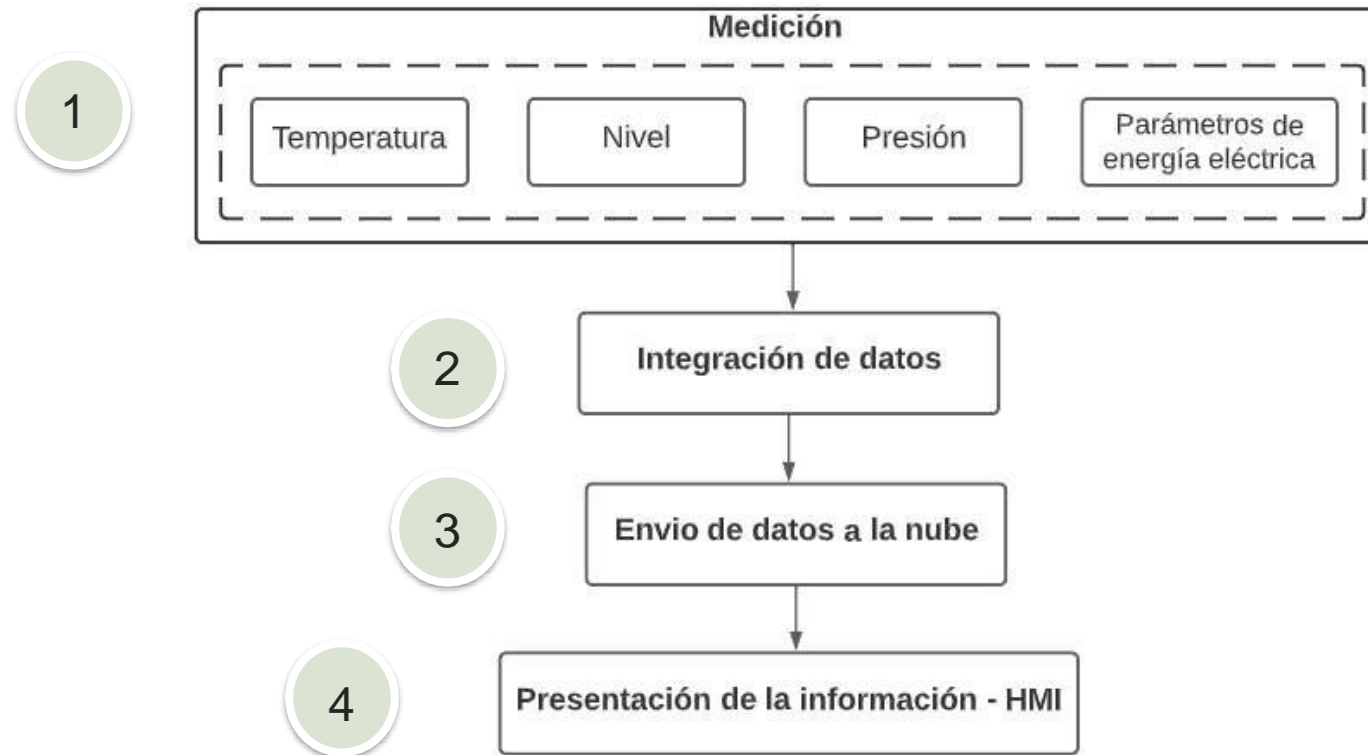
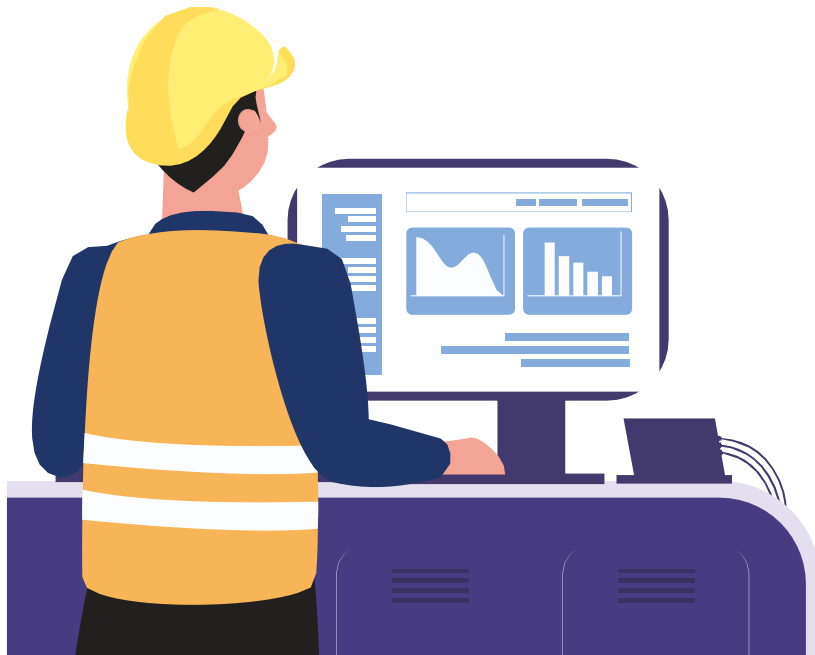


Diagrama general del sistema de monitorización



Diseño

Ingeniería Básica



Análisis y revisión de instrumentos de medición necesarios y existentes

Selección y análisis de los dispositivos de control

Memoria de cálculo para la selección del conductor

Memoria de cálculo de las señales de instrumentación

Diseño del tablero de control

Diagramas P&ID preliminares

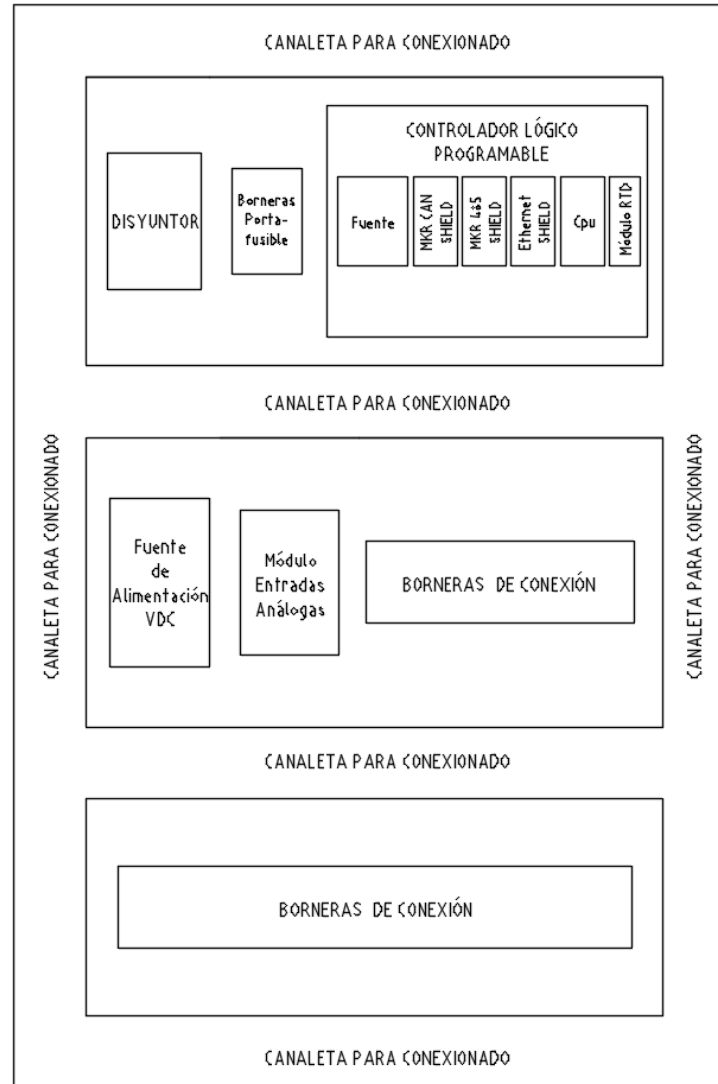
Diagramas unifilares eléctricos para cada instrumento de medición

Selección y dimensionamiento de dispositivos de protección

Especificaciones de hardware y software



Layout del tablero de control



Diseño

Ingeniería de Detalle

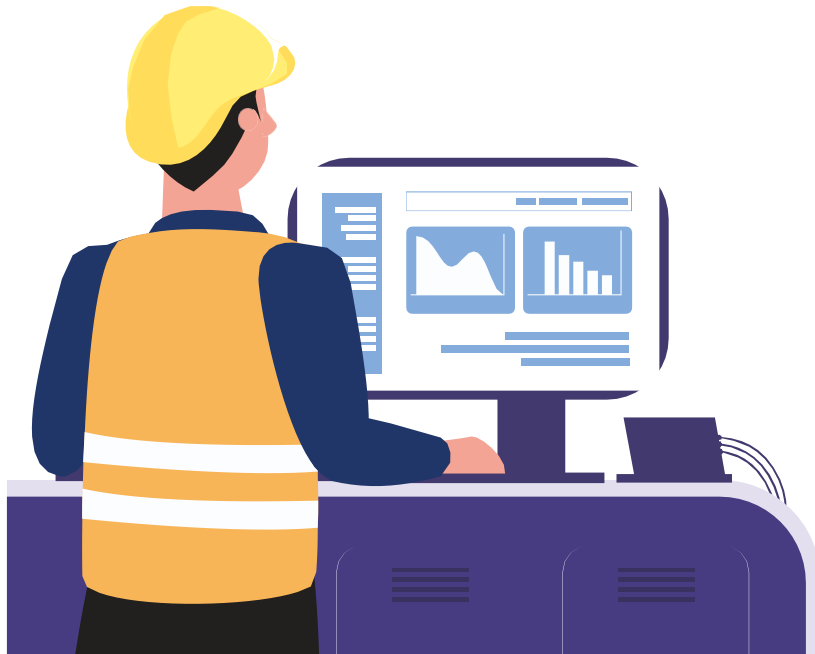


Diagrama de arquitectura de control

Diagrama de flujo de programación del PLC

Planos de montaje eléctrico

Planos P&ID definitivos

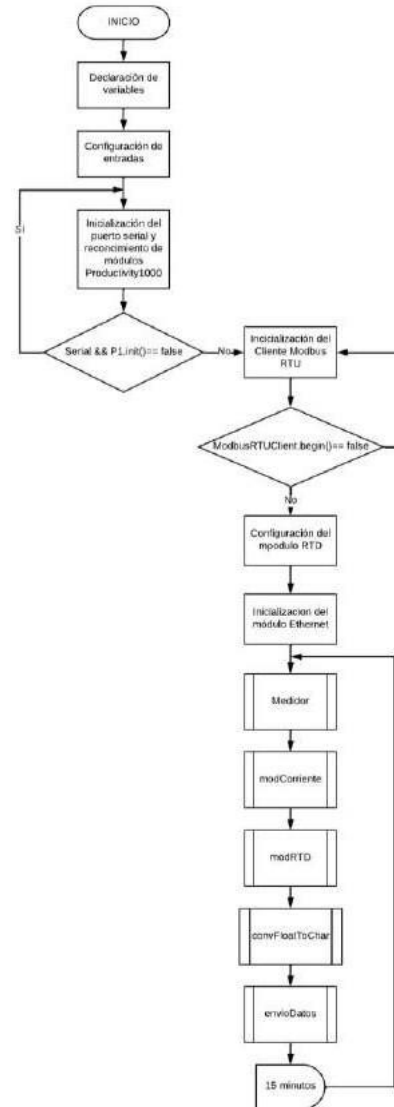
Lista y descripción de equipos y materiales

Diseño de la Interfaz Humano Máquina – HMI

Implementación de Servicios Web

Pruebas del sistema





Consideraciones de diseño – Requerimientos funcionales por usuario

Administrador

- Acceso al HMI
- Administración de usuarios
- Administración base de datos
- Envío de informe por correo

Operador

- Acceso al HMI
- Envío de informe por correo

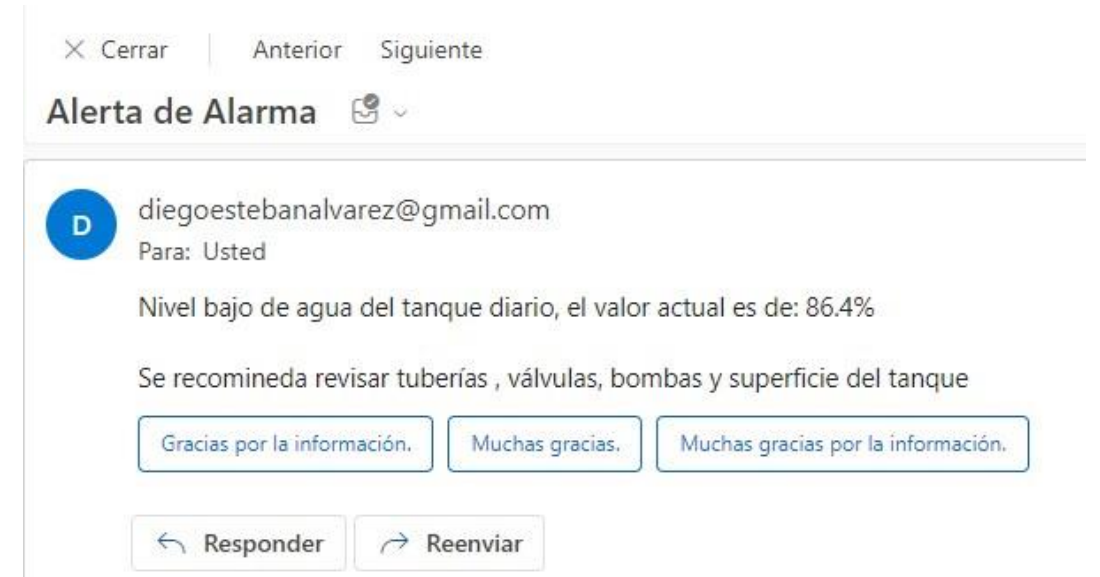


Consideraciones de diseño – Jerarquía de pantallas

Nivel	Nombre de pantalla	Función
1	Pantalla de acceso	Pantalla inicial de inicio de sesión por usuario.
1	Información	Esta pantalla tendrá información acerca del HMI.
2	Menú General	En esta pantalla el usuario tendrá acceso a las diferentes pantallas y también podrá cerrar sesión. Muestra por opciones las diferentes pantallas, dependiendo del parámetro de energía eléctrica que el usuario desea monitorear, de igual manera para los históricos
2	Menú Parámetros de Energía Eléctrica e Históricos	En estas pantallas de acceso para el administrador, se puede agregar usuarios, actualizar contraseñas y borrar colecciones de la base de datos.
3	Administración de usuarios y Otras funciones	Pantallas de monitoreo a través de indicadores gráficos e históricos.
3	Calderos, Tanques, Parámetros de Energía Eléctrica	Se despliega a través de una ventana emergente, indicando al usuario porque se ha generado la alarma.
4	Alarmas	



Consideraciones de diseño – Alarmas



Implementación de Servicios Web

Configuración del Servidor

```
import express, {json} from 'express'
const app = express();

//Rutas
import IndexRoutes from './routes/index.routes';
import TaskRoutes from './routes/task.routes';

//Configuraciones
app.set('port', process.env.PORT || 3000);

//Middlewares
app.use(json());

//Rutas - routes
app.use(IndexRoutes);
app.use('/tareass', TaskRoutes);

export default app;
```



Conexión Servidor – Base de Datos

```
import {MongoClient} from 'mongodb';

const client = new
MongoClient('mongodb://127.0.0.1:27017');

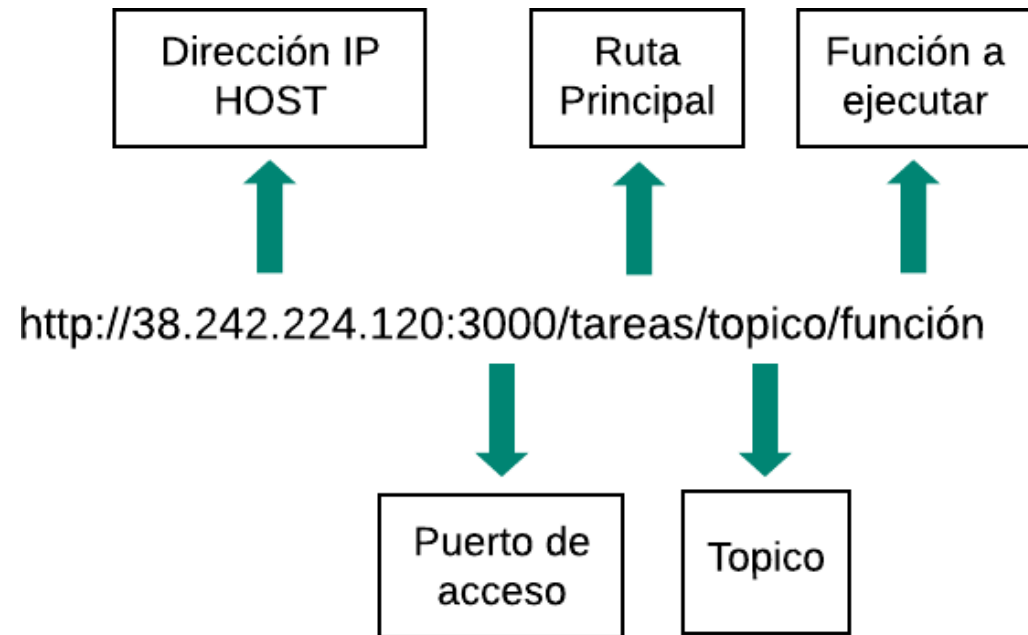
export async function conectar() {
  try {
    await client.connect();
    const db = client.db('Monitorizacion-FSF');
    console.log('Base de datos Conectada!');
    return db;
  } catch (error) {
    console.log(error);
  }
}
```



Implementación de Servicios Web



Estructura general del URI





Método POST

```
router.post('/topico/publicar', async (req, res)=>{
  const db = await conectar();
  const tarea = {
    payload: req.body.description
  };
  const result = await db.collection('NombreColeccion').insertOne(tarea);
  res.json(result);
});
```

Método DELETE

```
router.delete('/topico/vaciar', async (req, res)=>{
  const db = await conectar();
  const result = await db.collection('NombreColeccion').deleteMany({});
  res.json(0);
  console.log(result);
});
```

Método GET

```
router.get('/topico/consultar', async (req, res)=>{
  const db = await conectar();
  const result = await db.collection('NombreColeccion').find({},
  { projection: { _id: 0 } }).sort({$natural:-1}).limit(1).toArray();
  if(result.every((element) => false)){
    res.json(0);
    console.log("Base de datos vacia");
    console.log(result);
  }else{
    res.json(result[0].payload);
    console.log(result[0].payload);
  }
});
```



Implementación



Implementación

Armado del tablero de control



Implementación

Limpieza de los transmisores usados



Implementación

Instalación de instrumentos de medición

Antes



Después



Implementación

Instalación de instrumentos de medición

Antes



Después



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Implementación

Instalación de instrumentos de medición

Antes



Después



Implementación

Instalación de instrumentos de medición

Antes



Después



Implementación

Instalación de instrumentos de medición

Antes



Después



Implementación

Instalación de medidor de energía

Instalación



Resultado



Implementación

Montaje del tablero de control

Instalación



Resultado



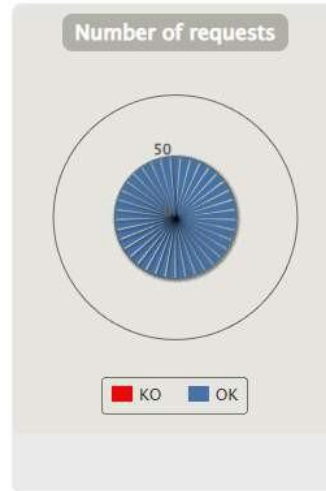
Pruebas y resultados



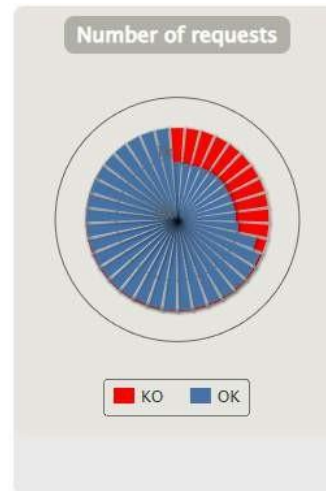
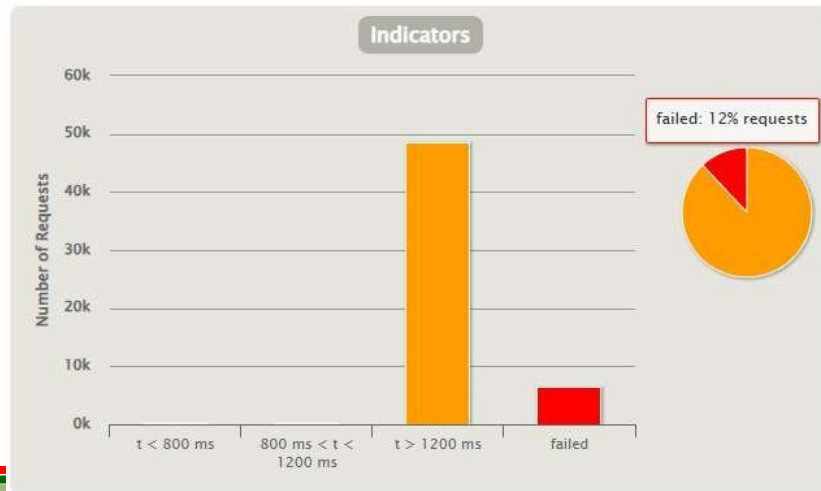
Pruebas y Resultados

Pruebas de Carga

50 Usuarios



1500 Usuarios



Resultados

Número de Usuarios	Tiempo (t) de ejecución de peticiones en milisegundos			Fallidas	Peticiones totales
	t < 800	800 < t < 1200	t > 1200		
10	370	0	0	0	370
50	1 850	0	0	0	1 850
100	3 622	78	0	0	3 700
200	3 896	3 362	142	0	7 400
500	500	645	17 355	0	18 500
800	272	293	29 035	0	29 600
1 500	0	0	48 574	6 543	55 000

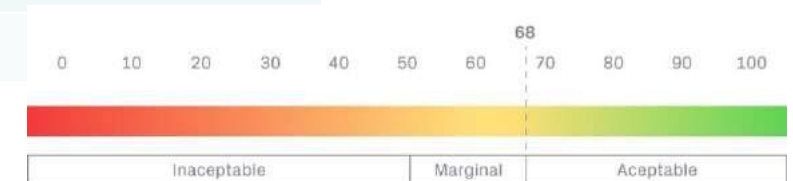


Pruebas y Resultados

Pruebas de Usabilidad

Escala de Usabilidad (SUS)

Preguntas	
Pregunta 1	Creo que usaría esta aplicación frecuentemente
Pregunta 2	Encuentro esta aplicación innecesariamente complejo
Pregunta 3	Creo que la aplicación fue fácil de usar
Pregunta 4	Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar esta aplicación
Pregunta 5	Las funciones de esta aplicación están bien integradas
Pregunta 6	Creo que la aplicación es muy inconsistente
Pregunta 7	Imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar esta aplicación en forma muy rápida
Pregunta 8	Encuentro que la aplicación es muy difícil de usar
Pregunta 9	Me siento confiado al usar esta aplicación
Pregunta 10	Necesité aprender muchas cosas antes de ser capaz de usar esta aplicación



Pruebas y Resultados

Pruebas de Usabilidad

Escala de Usabilidad (SUS)

Usuario	Valoración por pregunta										Total por Usuario
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
U1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
U2	3	2	3	4	3	3	4	3	2	4	31
U3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
U4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	36
U5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
U6	4	3	4	1	4	4	4	4	4	3	35
U7	3	2	4	2	4	3	3	2	3	2	28
U8	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	38
U9	4	4	4	1	4	4	4	4	4	3	36
U10	4	2	4	1	4	3	4	3	3	4	32
U11	3	2	4	2	2	3	3	3	3	3	28
U12	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4	37
U13	4	1	4	1	3	3	3	3	2	2	26
U14	4	4	4	1	4	4	3	4	3	0	31
U15	4	4	4	3	4	4	4	3	2	4	36
Total:											514



Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros



Conclusiones, recomendaciones y trabajos Futuros

Conclusiones

Se investigó acerca de las tecnologías, herramientas, arquitecturas necesarias para el desarrollo del presente trabajo, las cuales permitieron cumplir con las etapas de diseño e implementación de una arquitectura IoT para la monitorización de diferentes variables físicas presentes en las diferentes máquinas, tanques de almacenamiento y parámetros de energía eléctrica que conforman parte del cuarto de máquinas de la empresa

Fuentes San Felipe S.A.

En el servidor privado virtual (VPS) se implementó todo el software de desarrollo para el HMI a través de Node-RED, además del servidor HTTP a través de Node.js, de esta manera se logró alcanzar el objetivo principal del presente trabajo, el cual hace referencia al acceso del sistema de monitorización a través de un dispositivo inteligente, desde un lugar remoto.

Los protocolos de comunicación, tanto para la parte industrial como es ModbusRTU, así como también para la parte IoT como es MQTT, permitieron la integración entre las diferentes tecnologías de la información y tecnologías operativas que conforman parte del presente trabajo.

Mediante el uso de normativas tales como NFPA 70 y ANSI/ISA 101, se pudo fundamentar técnicamente el diseño del tablero de control y el diseño del HMI respectivamente, de modo que sus diseño e implementación cumple con lo estipulado dentro del alcance del proyecto.

El software de integración y desarrollo Node-RED fue la herramienta clave para la presentar la información acotada dentro del alcance del proyecto, a través de un HMI, que obtuvo un porcentaje de 88.5 sobre 100, dentro de la escala de usabilidad, lo que representa que la interfaz diseñada es útil y sencilla para el usuario.



Conclusiones, recomendaciones y trabajos Futuros

Recomendaciones

Se deben borrar las colecciones de las bases de datos cada 60 días, a través de la respectiva función creada dentro del HMI, con la finalidad de evitar la saturación del almacenamiento del servidor (ya sea virtual o local).

Para garantizar un correcto funcionamiento del transmisor de presión diferencial que se encarga de la medición de nivel del tanque de diésel, se debe realizar una limpieza mensual de dicho tanque, esto debido a que el diésel contiene muchas impurezas, lo que genera sedimentos que podrán taponar las tuberías del transmisor.

Por seguridad se recomienda que el administrador del HMI, actualice todas las contraseñas de los diferentes usuarios que tienen acceso al HMI, cada 120 días.



Conclusiones y Trabajos Futuros

Trabajos Futuros

Integrar los datos de los controladores de los dos compresores con los que cuenta la empresa, adquiriendo la pasarela Gateway Elektronikon MKV de Atlas Copco, de esta manera se puede acceder información específica de cada compresor a través de diferentes protocolos de comunicación industrial (Modbus RTU).

Implementar protocolos de seguridad para los datos que se consideren sensibles o que tengan cierto grado de privacidad, pues al estar en la nube se encuentran expuestos a vulneraciones, lo que puede desencadenar en robo de información.

Implementar instrumento que permita medir el consumo de agua en la línea principal de alimentación de agua del cuarto de máquinas, con el afán de que se puedan relacionar el consumo de energía con el consumo de agua. Tomando en cuenta que este nuevo instrumento debe contar con una señal de salida de 4 – 20 mA, de tal manera que se adapte a la arquitectura implementada.

Utilizar una plataforma IoT, como por ejemplo UBIDOTS, para que el HMI o dashboard, tenga muchas más funcionalidades y de esta manera brinde muchos más beneficios a Fuentes San Felipe S.A.



GRACIAS!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA