UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

DISEÑO DE COMUNICACIÓN LORAWAN / PROFINET PARA CONTROL DE PROCESO DIDÁCTICO MEDIANTE PLC

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero de Ejecución en CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:

Yeison Andre Horta Godoy

Profesor Guía:

Franz Yurjevíc Perin

2026

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): [x] Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Diseño de comunicación LoraWan/Profinet para control de proceso didáctico mediante PLC.

Nombre del candidato(a): YEISON ANDRE HORTA GODOY.

Carrera / Grado: INGENIERÍA DE EJECUCIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Campus: Sede Viña del Mar Departamento**: ELECTROTECNIA E INFORMÁTICA (ELINF)**

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, **FRANZ YURJEVIC PERIN**, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

[x] El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

_____

_____

_____

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 21-10-2026 **Firma:** _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 21/10/2026 **Firma:** _____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

KEYWORDS: PLC, LoraWan, Profinet, Adquisición de datos.

El presente trabajo de título presenta el diseño de comunicación inalámbrica para lograr comunicar dos equipos PLC marca Siemens a través del uso de la tecnología LoRaWAN.

Se utilizará el software TIA Portal V18 para la configuración de los equipos PLC y el software de ADFweb para configurar los conversores profinet/LoRaWAN

Finalizando el trabajo se propone una actividad didáctica y su programación para la realización en la universidad.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 2

1 ANTECEDENTES GENERALES 3

1.1 Planteamiento del problema 3

1.2 Solución del problema 3

1.3 Requerimientos 6

1.3.1 Conversor LoraWan/Profinet. 6

1.3.2 TIA Portal V18 8

1.4 Objetivos del proyecto 11

1.4.1 Objetivo general 11

1.4.2 Objetivos específicos 11

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN 12

2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN 13

2.1 Diseño e implementación 13

2.1.1 Selección de equipos 13

2.1.1.1 Controladores lógicos programables Siemens S7-1200 13

2.1.1.2 Conversores ADFweb 14

2.1.2 Topología del sistema 15

2.1.3 Configuración de red y direccionamiento 16

2.1.4 Configuración conversor ADFweb “LORA SLAVE A” 16

2.1.4.1 Software 17

2.1.5 Configuración conversor ADFweb B 22

2.1.5.1 Software y configuración 22

2.1.6 Configuración de equipos PLC 29

2.1.6.1 Configuración Tía Portal V18 29

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN DOCENTE DE POYECTO Y ANÁLISIS ECONÓMICO 37

3 ANTECEDENTES GENERALES 38

3.1 Materiales y equipos requeridos.....39

3.2 Capacitaciones requeridas 40

3.3 Planificación.....42

3.4 Pasos para la actividad práctica 43

3.5 Análisis económico para implementación académica 46

3.6 Inversión inicial.....46

3.7 Retorno de inversión.....47

CONCLUSIONES.....48

BIBLIOGRAFÍA.....53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Topología general.....15
Figura 2-2 Software SW67D33 17
Figura 2-3 Configuración de comunicación.....18
Figura 2-4 LoraWan Access Uplink.....19
Figura 2-5 LoraWan Access Downlink. 20
Figura 2-6 Exportación archivo GSD. 20
Figura 2-7 Carga de configuración en dispositivo. 21
Figura 2-8 Software SW67F33 Profinet Slave/LoRaWAN Gateway. 23
Figura 2-9 Configuración de comunicación. 24
Figura 2-10 Listado de dispositivos en red LoraWan y Uplink Rules 25
Figura 2-11 Listado de dispositivos en red LoraWan y Downlink Rules.....26
Figura 2-12 Exportación archivo GSD. 27
Figura 2-13 Carga de configuración en dispositivo. 28
Figura 2-14 Vista topológica. 29
Figura 2-15 Memorias archivo GSD devicename2 en TIA Portal. 30
Figura 2-16 Memorias archivo GSD devicename 1 en TIA Portal. 30
Figura 2-17 Árbol de proyecto Distributed I/O 32
Figura 2-18 Información devicename1 34
Figura 2-19 Configuración de red dispositivo LoraWan.....35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Tabla comparativa tecnologías.....5
Tabla 2-1. Tabla direcciones profinet.....16
Tabla 3-1 Tabla de planificación.....42
Tabla 3-2 Tabla de planificación tipo Gantt 43
Tabla 3-3 Inversión inicial.....46
Tabla 3-4 Retorno de inversión por curso.....47
Tabla 3-5 Ingreso anual 47

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS:

HMI	: Interfaz Hombre-Máquina.
PLC	: Controlador Lógico Programable.
VI	: Virtual Instrument
TCP	: Transmission Control Protocol
IP	: Internet Protocol
E/S	: Entrada/Salida
GSD	: General Station
GSDML	: General Station Description Markup Language

B. SIMBOLOGÍA:

V	: Volts.
%	: Porciento.
cm	: Centímetros
s	: Segundos.
b	: Bit

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la automatización industrial, las comunicaciones entre controladores lógicos programables (PLC) desempeñan un papel fundamental en la coordinación, supervisión y control de procesos distribuidos. Sin embargo, en determinadas aplicaciones, la distancia entre los equipos y las dificultades asociadas a la instalación de cableado convencional pueden representar importantes desafíos técnicos y económicos. Ante esta problemática, las tecnologías de comunicación inalámbrica surgen como una alternativa para facilitar la interconexión de dispositivos industriales, permitiendo el intercambio de información sin requerir una conexión física directa.

Para el desarrollo del proyecto, se contempla el estudio de las tecnologías involucradas, la configuración de los dispositivos de comunicación, la programación de los PLC y la implementación de la arquitectura propuesta.

Finalmente, el proyecto busca demostrar la viabilidad de implementar un sistema de comunicación inalámbrica para aplicaciones de automatización industrial, proporcionando una alternativa de interconexión entre equipos distribuidos geográficamente y sentando las bases para futuras aplicaciones que requieran monitoreo, supervisión e intercambio de información a distancia.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1 ANTECEDENTES GENERALES

Este capítulo presenta la problemática a resolver, el método mediante al cual se da solución y se definen los objetivos a cumplir.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema para solucionar corresponde a las dificultades para comunicar equipos PLC de manera inalámbrica a larga distancia con sensores.

1.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Existen varias formas de comunicar equipos de forma inalámbrica:

- Radiofrecuencia (RF): Utiliza módulos de radiofrecuencia para establecer una comunicación inalámbrica entre los PLC. Esto puede ser mediante protocolos como Zigbee, Wi-Fi, Bluetooth, etc.
- Wi-Fi: Si los PLC tienen capacidad Wi-Fi integrada o mediante un módulo Wi-Fi externo, se puede conectarlos a una red Wi-Fi existente o crear una red ad-hoc entre ellos.
- Celular (GPRS/3G/4G): Utiliza módulos celulares para conectar los PLC a una red de telefonía móvil y enviar datos entre ellos.
- Satélite: En áreas remotas donde no hay cobertura de red, se puede utilizar comunicación satelital para conectar los PLC.
- Bluetooth: Para distancias cortas, se puede utilizar Bluetooth para comunicar los PLC.

LoRaWAN es una tecnología de comunicación inalámbrica de baja potencia y larga distancia que es adecuada para comunicar PLC (Controladores Lógicos Programables) en aplicaciones de automatización industrial, IoT y otros.

Ventajas de LoRaWAN para PLC:

- Larga distancia: LoRaWAN puede cubrir distancias de hasta 15 km en áreas urbanas y 50 km en áreas rurales.
- Baja potencia: LoRaWAN consume poca energía, ideal para aplicaciones con baterías o energía solar.
- Seguridad: LoRaWAN utiliza cifrado AES-128 y autenticación para proteger los datos.
- Escalabilidad: LoRaWAN admite hasta 65.000 dispositivos en una sola red.
- Costo efectivo: LoRaWAN es una opción rentable en comparación con otras tecnologías de comunicación inalámbrica.

Tabla 1-1 Tabla comparativa tecnologías.

Tecnología	Rango de Cobertura	Consumo de Energía	Velocidad de Datos	Topología	Licencia de Espectro	Ventajas	Desventajas
LoRaWAN	Hasta 15-20 km (rural), 2-5 km (urbano)	Muy bajo	Hasta 50 kbps	Estrella	Sin licencia (ISM)	Gran alcance, bajo consumo, red pública o privada	Velocidad baja, no ideal para datos grandes
NB-IoT	Hasta 10-15 km	Bajo	Hasta 250 kbps	Celular	Licenciada (LTE)	Alta cobertura, buena penetración en interiores	Dependencia de operadores, mayor costo
Sigfox	Hasta 10 km (urbano), 40 km (rural)	Muy bajo	Hasta 100 bps	Estrella	Sin licencia (ISM)	Muy bajo consumo, fácil despliegue	Velocidad muy baja, dependencia de red Sigfox
Wi-Fi	Hasta 100 m	Alto	Hasta 1 Gbps (Wi-Fi 6)	Estrella	Sin licencia (ISM)	Alta velocidad, ampliamente disponible	Alto consumo, corto alcance
Zigbee	Hasta 100 m	Bajo	Hasta 250 kbps	Malla	Sin licencia (ISM)	Bajo consumo, comunicación en malla	Alcance limitado, interferencia con Wi-Fi

Fuente: https://news.rakwireless.com/lorawan-vs-zigbee-vs-ble-vs-wifi-vs-nb-iot/ - https://tektelic.com/es/expertise/lorawan-vs-nb-iot-sigfox-and-lte-comparison/

1.3 REQUERIMIENTOS

Requisitos para comunicar PLC con LoRaWAN

- Módulo LoRaWAN: El PLC debe tener un módulo LoRaWAN integrado o conectado externamente.
- Gateway LoRaWAN: Se necesita un gateway LoRaWAN para conectar los dispositivos LoRaWAN a la red.
- Servidor de aplicaciones: Un servidor de aplicaciones para procesar y analizar los datos recibidos desde los PLC.
- Protocolo de comunicación: Se debe utilizar un protocolo de comunicación compatible con LoRaWAN, como CoAP o MQTT.

.

1.3.1 Conversor LoraWan/Profinet.

El convertidor LoRaWAN / PROFINET de ADFweb permite integrar redes industriales basadas en PROFINET con redes inalámbricas IoT tipo LoRaWAN. Este dispositivo puente facilita la comunicación bidireccional entre PLCs, SCADA o HMI conectados por PROFINET y dispositivos IoT remotos, sin necesidad de reconfigurar la red industrial o interrumpir procesos en marcha

Modelos y Configuraciones

- HD67D33-B2: Versión *Slave* (LoRaWAN → Profinet o Profinet → LoRaWAN) Ambos disponibles en frecuencias 868 MHz y 915 MHz, con rango operativo de −40 °C a +85 °C y carcasa tipo B con bornes para montaje en riel DIN

Funcionalidades básicas:

- Publicación de datos (Uplink)

  Lectura de datos de un maestro PROFINET y su envío como paquetes LoRaWAN hacia Gateways
- Recepción de comandos (Downlink)

  Recepción de paquetes LoRaWAN y escritura de datos en esclavos o maestros PROFINET según el caso
- Compatibilidad de red LoRaWAN

  Compatible con todas las tasas de datos estándar, redes públicas y privadas. Opera como dispositivo final (*end device*) capaz de comunicarse con diversos gateways

Configuración y mantenimiento:

Se utiliza el software Compositor SW67D33 (para versión slave) que permite:

- Crear proyectos y gestionar configuraciones (export/import).
- Definir parámetros de comunicación PROFINET (IP, máscara, GSD).
- Establecer mensajes LoRaWAN para Uplink/Downlink
- Actualización de firmware y ajustes de parámetros mediante interfaz Ethernet y software dedicado

Ventajas y aplicaciones:

- Integración sin interrupciones: conecta sistemas PROFINET existentes con IoT sin reconfiguración integral.
- Amplia cobertura IoT: ideal en áreas remotas o plantas industriales amplias donde el cableado es complejo o costoso.
- Robustez industrial: rango térmico y montaje en riel DIN facilitan la instalación en entornos exigentes.
- Aplicaciones típicas:
  - Monitoreo remoto de dispositivos en campo.
  - Alimentación de nube IoT o plataformas de análisis.

- Automatización distribuida en agricultura, plantas de tratamiento y minería.

1.3.2 TIA Portal V18

El entorno de desarrollo Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) es una plataforma de ingeniería integral desarrollada por Siemens para el diseño, configuración, programación, monitoreo y mantenimiento de sistemas de automatización industrial. La versión TIA Portal V18, lanzada en noviembre de 2022, representa un avance significativo en la ingeniería de sistemas automatizados, integrando una amplia gama de herramientas para la automatización de fábricas y procesos.

TIA Portal V18 permite a los ingenieros desarrollar proyectos completos en un entorno unificado, facilitando la integración de controladores lógicos programables (PLC), interfaces hombre-máquina (HMI), sistemas de accionamiento (drives), redes industriales, instrumentación, y sistemas de control distribuido (DCS).

Características principales de TIA Portal V18

A continuación, se detallan las características más destacadas de esta versión:

Entorno integrado de ingeniería

- TIA Portal unifica en una sola plataforma las herramientas necesarias para la ingeniería de sistemas PLC, HMI, redes industriales y dispositivos de accionamiento.
- Permite la colaboración multidisciplinaria en un único entorno compartido, reduciendo errores y mejorando la eficiencia.

Mejora en el rendimiento y la escalabilidad

- TIA Portal V18 optimiza el rendimiento del sistema, especialmente al trabajar con proyectos grandes y complejos.
- Compatibilidad con hardware de última generación como los controladores SIMATIC S7-1500, incluyendo las versiones TF (Technology CPU) y FailSafe para aplicaciones de seguridad.

Programación avanzada

- Soporte completo para lenguajes de programación estandarizados conforme a la norma IEC 61131-3: LAD (escalera), FBD (diagrama de bloques), SCL (Structured Control Language), STL (lista de instrucciones), y gráfico secuencial (Graph).
- Introducción de funciones modernas como *code folding*, resaltado de sintaxis, referencias cruzadas y comprobación de errores en tiempo real.

Gestión avanzada de proyectos y trabajo colaborativo

- Integración con Teamcenter y TIA Portal Multiuser Engineering, facilitando el trabajo en equipo y la gestión de versiones.
- Funcionalidad de control de versiones, comparación de proyectos y restauración de versiones anteriores.

Simulación y validación

- Herramienta PLCSIM Advanced V5.1 permite la simulación detallada de programas de PLC sin necesidad de hardware físico.
- Posibilidad de realizar pruebas de integración virtual con modelos digitales (*Digital Twin*), lo cual mejora la calidad y reduce costos de implementación.

Seguridad y protección

- Integración de funciones de seguridad funcional con Safety Integrated, para desarrollar aplicaciones con altos requisitos de seguridad (SIL 3, PL e).
- Herramientas de protección de acceso, encriptación de bloques y gestión de usuarios para mantener la integridad de los proyectos.

Conectividad y comunicación industrial

- Soporte para una amplia gama de protocolos de comunicación industrial: PROFINET, PROFIBUS, Modbus TCP, OPC UA, entre otros.
- Configuración intuitiva de redes industriales y diagnósticos integrados.

Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

- Herramientas para diseñar, simular e implementar interfaces gráficas de usuario.
- Compatibilidad con paneles HMI de Siemens, como los SIMATIC HMI Comfort Panels y Mobile Panels.
- Biblioteca de objetos gráficos, scripts y funcionalidades avanzadas de navegación y alarmas.

Aplicaciones prácticas de TIA Portal V18

TIA Portal V18 se utiliza ampliamente en la ingeniería de automatización industrial, incluyendo:

- Automatización de líneas de producción industrial en sectores como el automotriz, alimentario, farmacéutico, embotellado y empaque.
- Sistemas de transporte y logística, tales como cintas transportadoras, grúas y sistemas de almacenamiento automatizado.
- Control de procesos continuos, como en plantas químicas o de tratamiento de aguas.
- Integración con sistemas de supervisión SCADA y control distribuido (DCS).
- Proyectos de Industria 4.0, gracias a su integración con sistemas IoT industriales y la arquitectura digital de Siemens (MindSphere).

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Para el correcto desarrollo del proyecto, se definirán objetivo general y específicos.

1.4.1 Objetivo general

Comunicar equipo PLC de manera inalámbrica a larga distancia con otro PLC.

1.4.2 Objetivos específicos

a. Describir fundamentos y requerimientos para la comunicación inalámbrica de PLC.
b. Proponer una actividad didáctica para implementar en laboratorio.
c. Realizar evaluación económica.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

El siguiente capítulo da a conocer el proceso mediante el cual se da cumplimiento a los objetivos definidos anteriormente.

2.1 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Para poder desarrollar una solución se deben considerar ciertos equipos y software con el cual se podrán configurar los equipos para lograr el objetivo deseado.

2.1.1 Selección de equipos

Este trabajo de título requiere el uso de distintos equipos los cuales fueron seleccionados por disponibilidad en laboratorio, los cuales por las características que tienen son una buena alternativa para el desarrollo de este trabajo.

2.1.1.1 Controladores lógicos programables Siemens S7-1200

- Modelo: CPU 1214C DC/DC/DC
- Software de programación: TIA Portal V18
- Función de red:
- PLC A: I/O Controller
- PLC B: I/O Device

Ambos PLCs disponen de un puerto Ethernet integrado, el cual se utilizará para establecer la comunicación con los dispositivos ADFweb mediante Profinet.

2.1.1.2 Conversores ADFweb

La empresa italiana ADFweb desarrolla dispositivos industriales de conversión de protocolos para facilitar la integración entre redes heterogéneas. En este proyecto se utilizan dos modelos específicos:

HD67D33-915MHz

- Funciona como: Slave LoRa + I/O Device Profinet
- Se configura mediante software ADFweb Compositor SW67D33 y utiliza archivo GSDML para integrarse en TIA Portal.
- Se conecta al PLC A
- Su GSDML permite su integración como esclavo en el proyecto TIA Portal.

HD67F33-B2-915MHz

- Funciona como: Slave LoRa + I/O Controller Profinet
- Compatible con el software ADFweb Compositor SW67F33, utilizado para la configuración del dispositivo.
- Se conecta al PLC B
- Se configura para enviar y recibir datos hacia el dispositivo remoto.

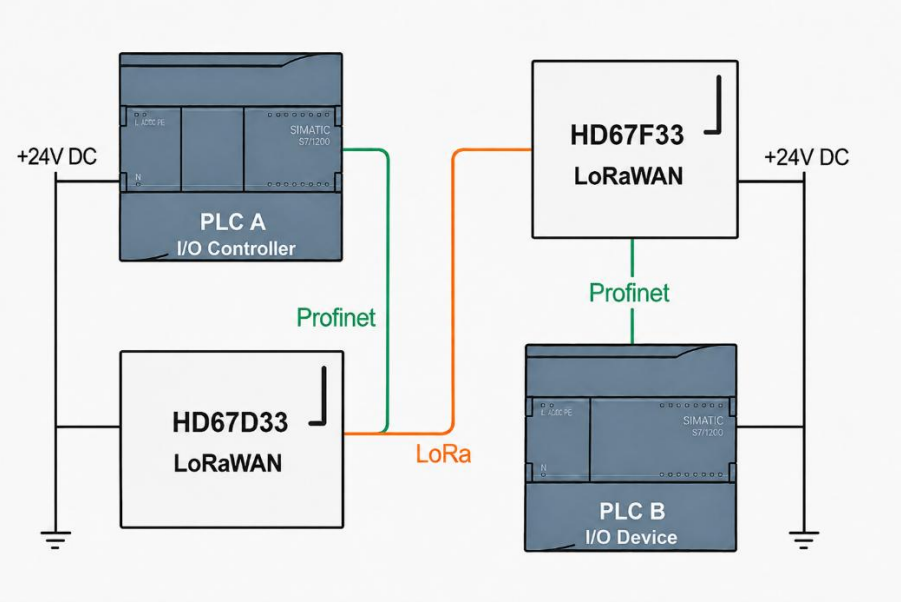
Ambos conversores deben ser configurados cuidadosamente para definir:

- Direcciones IP para la comunicación Profinet.
- Configuración de red LoRa (frecuencia, canales, modo de transmisión).
- Mapas de variables para el intercambio de datos entre los PLCs.

El uso conjunto de estos dispositivos permite una comunicación punto a punto inalámbrica basada en LoRa, actuando como un túnel transparente entre dos redes Profinet.

2.1.2 Topología del sistema

El sistema diseñado busca establecer una comunicación inalámbrica industrial entre dos controladores lógicos programables (PLC Siemens S7-1200) utilizando como medio de enlace dos conversores ADFweb que operan bajo la tecnología Profinet/LoRa. La configuración se basa en una arquitectura punto a punto, donde un PLC principal (PLC A) actúa como I/O Controller (Maestro) y el segundo PLC (PLC B) como I/O Device (Esclavo), la topología se puede apreciar en la figura 2-1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-1 Topología general

Esta topología permite que los datos generados por sensores o salidas conectadas al PLC B puedan ser monitoreados o utilizados por el PLC A, sin la necesidad de una red cableada directa entre ambos.

2.1.3 Configuración de red y direccionamiento

Es necesario definir una red Profinet estática, las cuales se muestran en la tabla 2-1.

Tabla 2-1. Tabla direcciones profinet.

.

Dispositivo	Dirección IP	Nombre del dispositivo Profinet
PLC A	192.168.0.2	PLC A
HD67D33	192.168.0.5	LORA SLAVE A
HD67F33	192.168.0.10	LORA SLAVE B
PLC B	192.168.0.3	PLC B

Fuente: elaboración propia.

Es indispensable que todos los dispositivos estén en el mismo rango de red y que no exista duplicación de direcciones IP, para que los equipos se puedan comunicar correctamente.

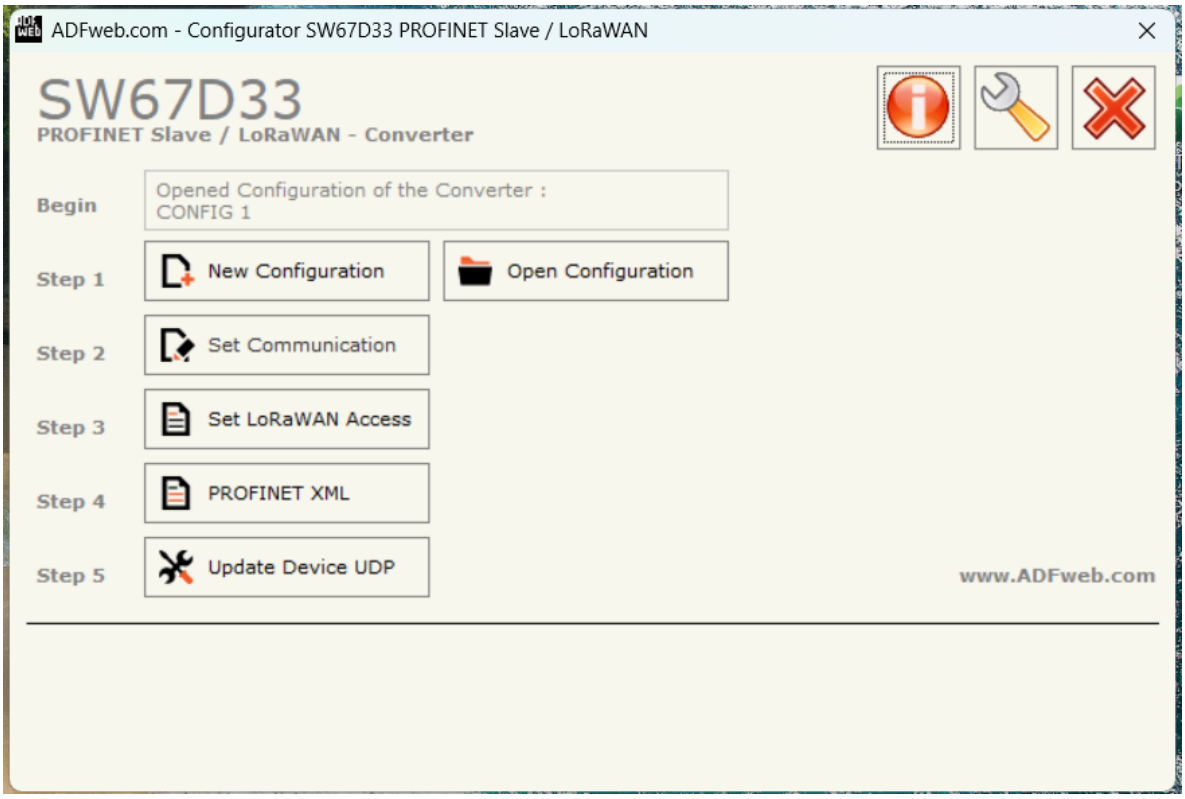
2.1.4 Configuración conversor ADFweb “LORA SLAVE A”

Un conversor LoRa (Long Range) es un dispositivo electrónico diseñado para actuar como puente de comunicación entre dispositivos remotos que utilizan el protocolo de radiofrecuencia LoRa y redes cableadas o industriales, tales como Ethernet, Profinet, Modbus, entre otras. Este tipo de conversor se encarga de recibir, encapsular, transmitir o traducir datos desde dispositivos remotos que se comunican mediante tecnología LoRa, hacia sistemas de control o supervisión convencionales.

2.1.4.1 Software

Se debe instalar el software SW67D33 directamente de la página de ADFweb, el cual ya ejecutado mostrará la figura 2-2, en la cual se configura este dispositivo.

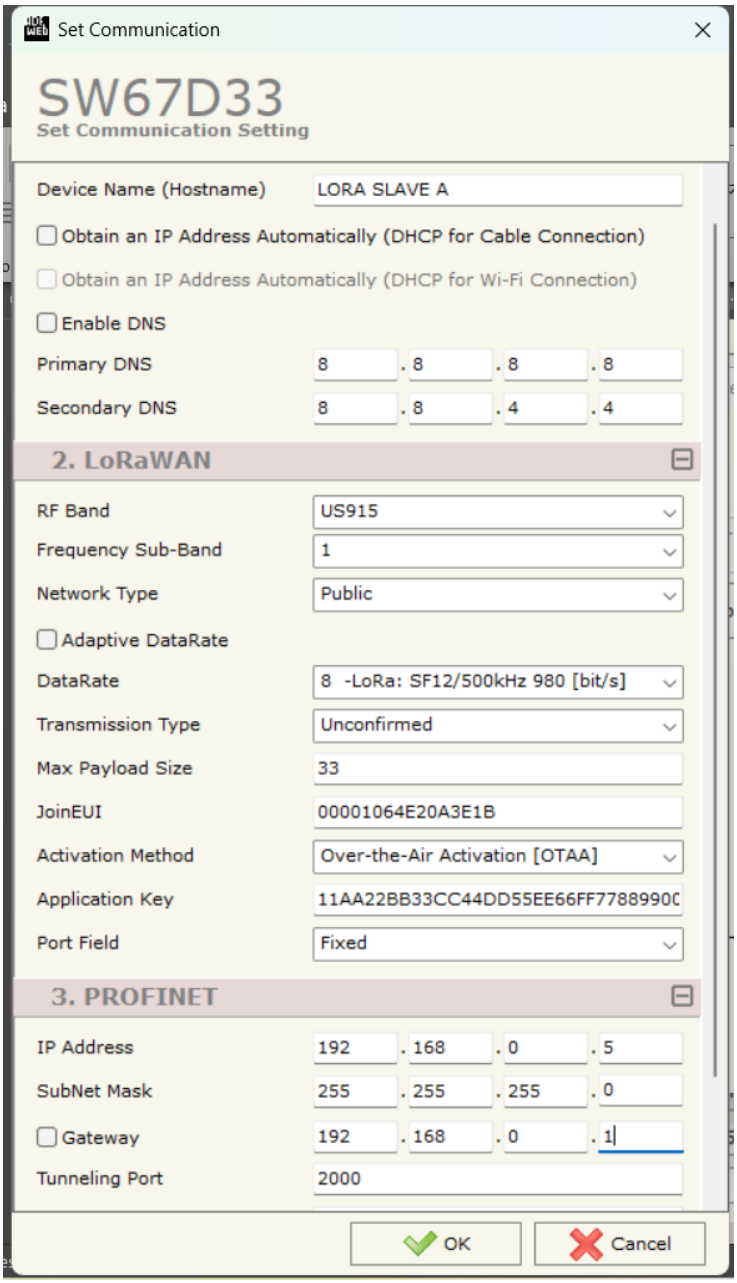
El dispositivo se debe conectar mediante profinet hacia el computador donde se realiza la configuración.



Fuente: Elaboración propia en software ADFweb.

Figura 2-2 Software SW67D33

Lo primero que se debe configurar es “Set comunication” donde se trabajarán las direcciones del dispositivo, sus frecuencias de funcionamiento, nombre de dispositivo y el número de bytes de entrada como de salida, en la figura 2-3 se aprecia la configuración realizada:



Fuente: Elaboración propia en software ADFweb.

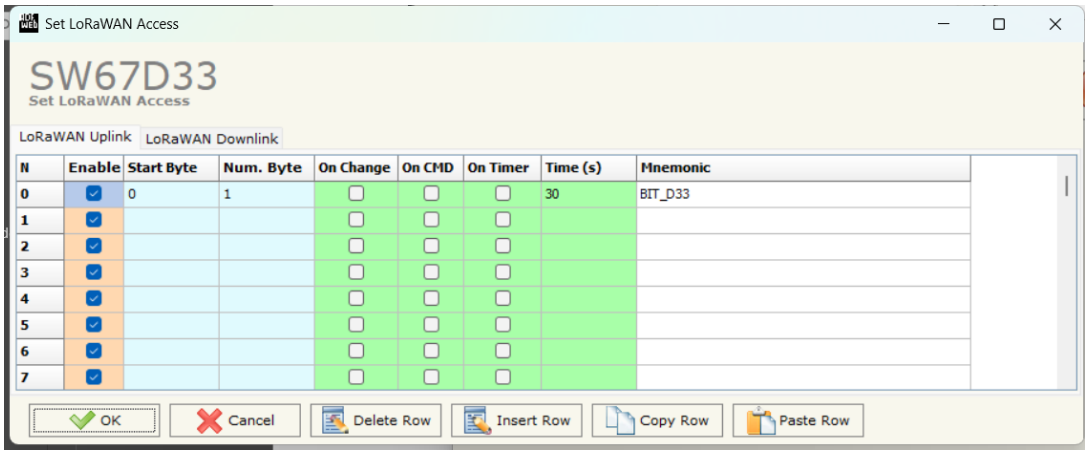
Figura 2-3 Configuración de comunicación

Posteriormente se debe configurar el LoRaWAN Access, en el cual se deben definir todos los dispositivos que se conectarán mediante la Red LoRaWAN, en este caso se ha configurado el

otro dispositivo lora, ahí es donde irá conectado el PLC B, los valores han sido definidos por el autor del trabajo el cual se ha direccionado de la siguiente manera:

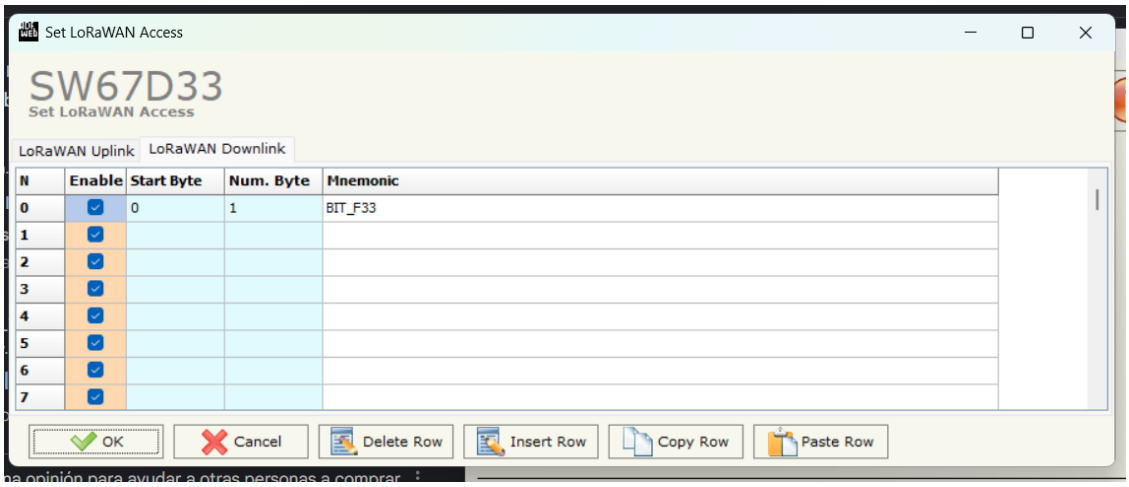
Device EUI:	00001064E20A3E19
Join EUI:	00001064E20A3E1B
Device Name:	LORA SLAVE A
Activation Method:	Activation by personalization
Network Session Key:	A1B2C3D4E5F60718293A4B5C6D7E8F90
Application Session Key:	11AA22BB33CC44DD55EE66FF77889900
Device Address:	26012A3F

Posteriormente se deben configurar las reglas de comunicación Lora, es decir los bytes que se utilizarán como entrada y salida, en el software se definen como Uplink y Downlink, en la figura 2-4 y figura 2-5 se muestra como se ha configurado el dispositivo para efectos de prueba solo se utilizará un bit de entrada y uno de salida.



Fuente: Elaboración propia en software ADFweb.

Figura 2-4 LoraWan Access Uplink

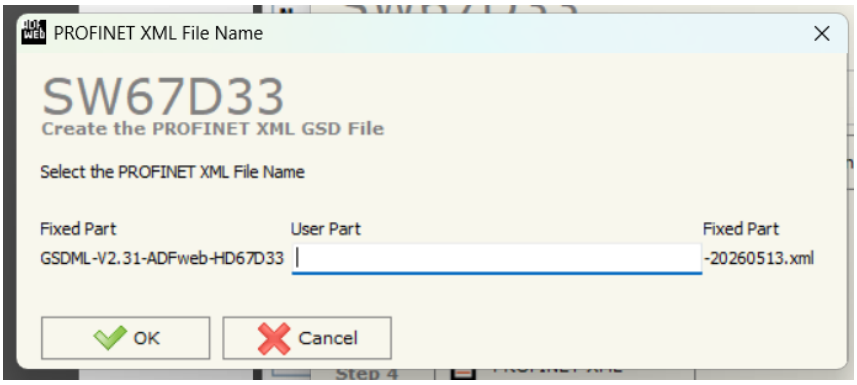


Fuente: Elaboración propia en software ADFweb.

Figura 2-5 LoraWan Access Downlink.

Ya con la configuración LoRa terminada se debe avanzar al siguiente paso, el cual es exportar el archivo GSD el cual se debe integrar dentro de la programación en Tia Portal para que el PLC pueda comunicarse con el conversor LoRaWAN/Profinet y poder compartir los bytes de entrada y salida como se han configurado en el dispositivo.

En la figura 2-6 se ve la ventana que ese abre al exportar el archivo GSD en donde se le puede dar el nombre a gusto y la ubicación en la que se desee guardar.



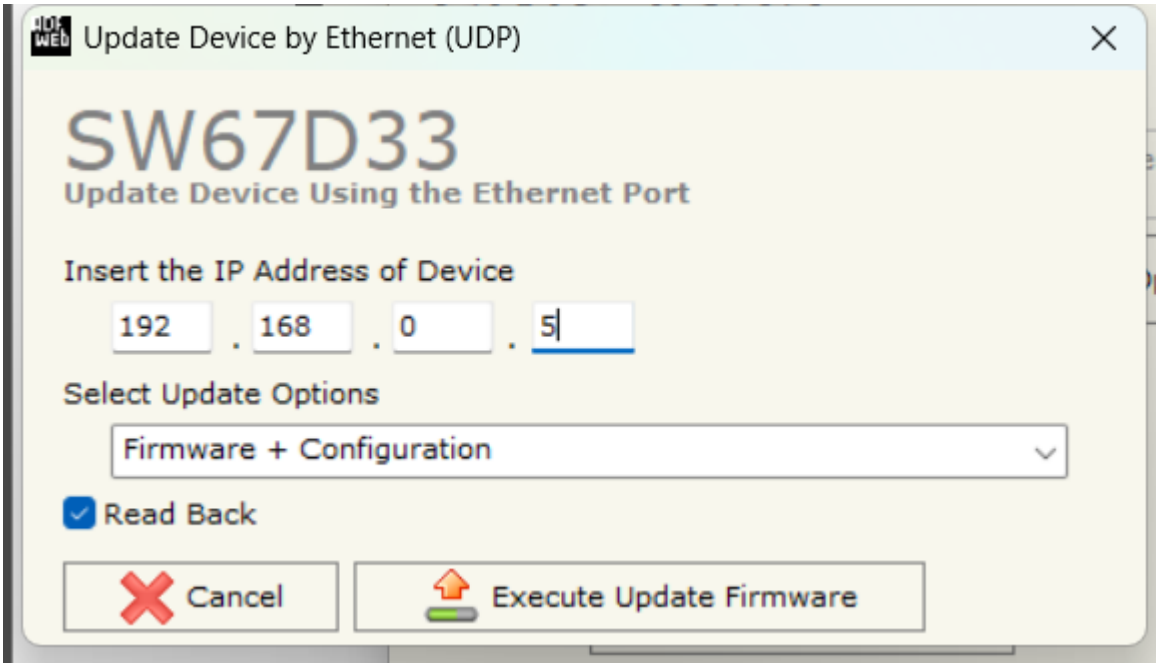
Fuente: Elaboración propia en software ADFweb.

Figura 2-6 Exportación archivo GSD.

Ya con el archivo GSD exportado se procede a cargar la configuración al dispositivo.

Al conectar el dispositivo mediante profinet se debe utilizar inicialmente la dirección IP: “192.168.2.206” para poder cargar el programa inicial con el Deep switch en “ON”, posteriormente ya cargado inicialmente el programa se debe volver el Deep switch a su posición original y se debe utilizar la dirección IP configurada para poder modificar o cargar nuevas configuraciones.

Se utiliza la ventana update device para cargar el programa hacia el conversor, como se muestra en la siguiente imagen



Fuente: Elaboración propia en software ADFweb.

Figura 2-7 Carga de configuración en dispositivo.

Ya con la configuración cargada en el dispositivo este está listo para utilizar y conectar al PLC, en este caso sería al PLC A.

2.1.5 Configuración conversor ADFweb B

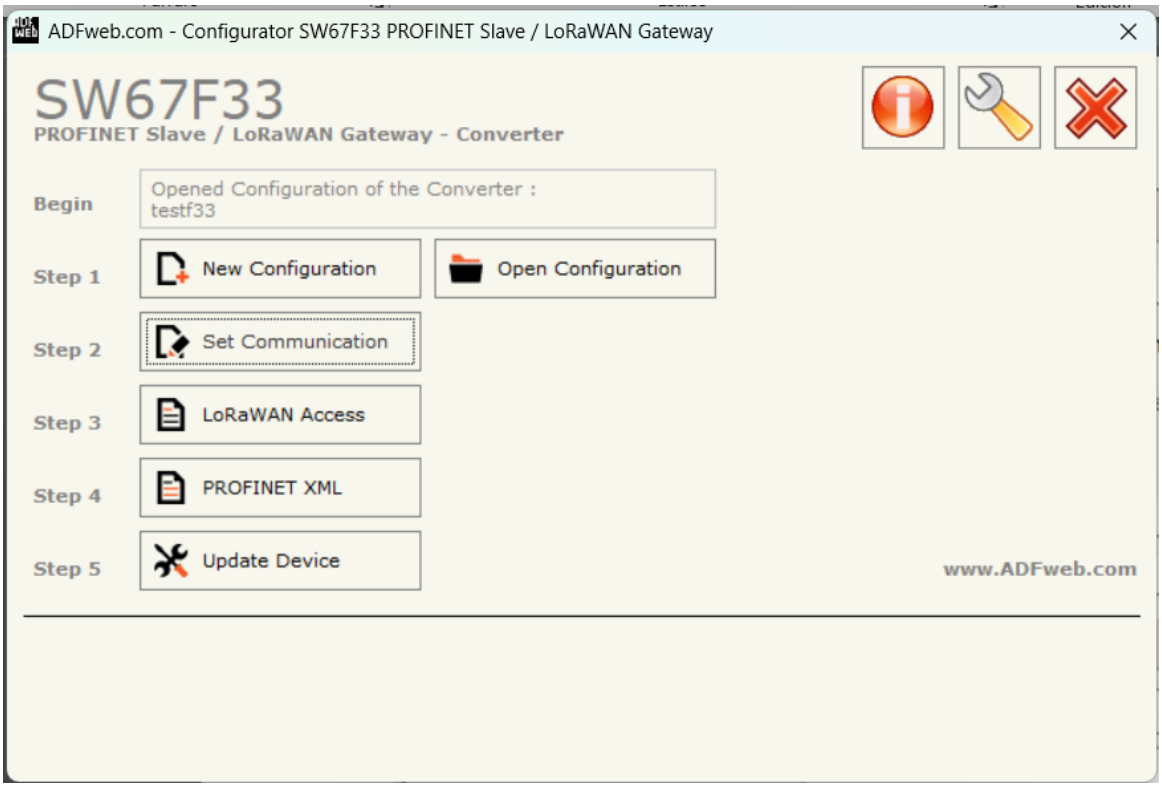
El conversor LoRaWAN/Profinet HD67F33-915MHz ha sido configurado como Gateway slave Profinet, con el objetivo de establecer la comunicación cíclica con el conversor HD67D33, que actúa como I/O Device. Esta configuración permite que el HD67F33 tome el rol activo en la red, solicitando y recibiendo datos del esclavo remoto a través del enlace inalámbrico LoRa, y entregándolos posteriormente al PLC o sistema superior local.

Esta implementación demuestra la factibilidad de construir una red Profinet inalámbrica basada en LoRa, utilizando componentes industriales certificados, manteniendo la compatibilidad con estándares Siemens y asegurando la integridad de la comunicación bajo condiciones reales de operación.

2.1.5.1 Software y configuración

Se debe instalar el software SW67F33 directamente de la página de ADFweb, el cual ya ejecutado mostrará la figura 2-8 , en la cual se configura este dispositivo.

El dispositivo se debe conectar mediante profinet hacia el computador donde se realiza la configuración.



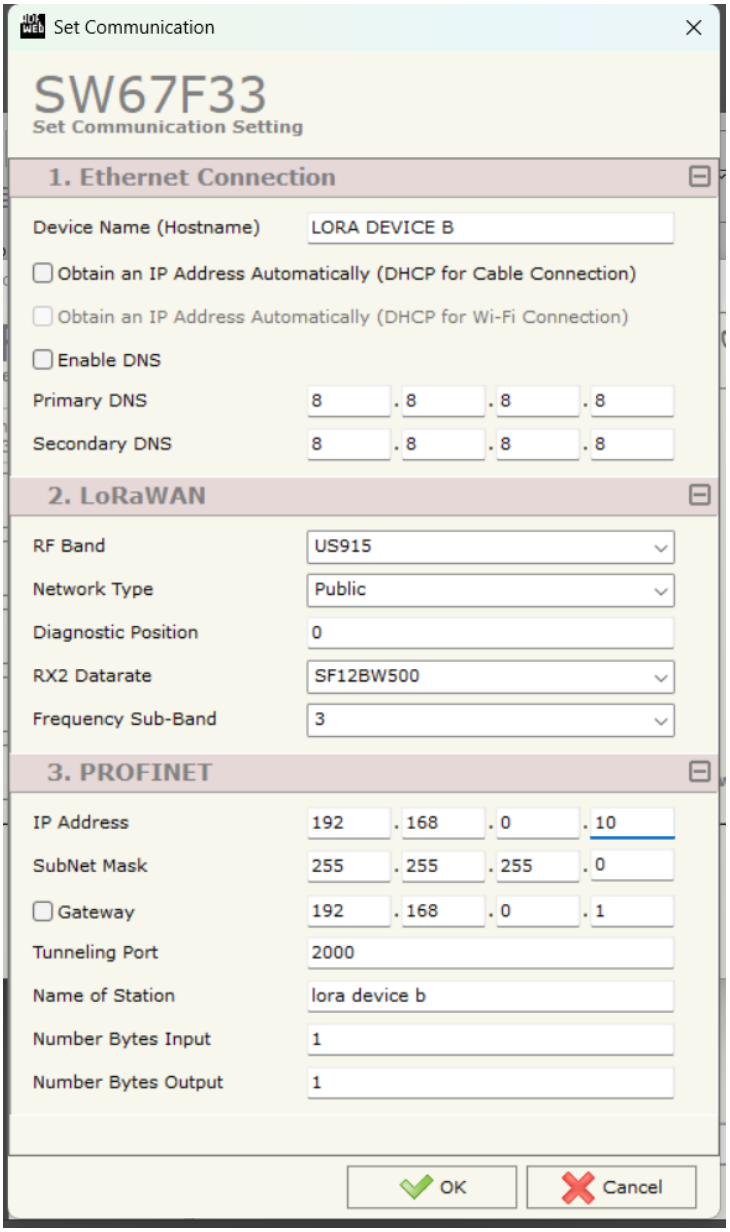
Fuente: Elaboración propia en software ADFweb.

Figura 2-8 Software SW67F33 Profinet Slave/LoRaWAN Gateway.

Lo primero que se debe configurar es “Set comunication” donde se trabaja las direcciones del dispositivo, sus frecuencias de funcionamiento y nombre de dispositivo, esta configuración es personalizable y se define de la siguiente manera:

Device EUI:	00001064E20A3E19
Join EUI:	00001064E20A3E1A
Device Name:	LORA SLAVE B
Activation Method:	Activation by personalization
Network Session Key:	A1B2C3D4E5F60718293A4B5C6D7E8F90
Application Session Key:	11AA22BB33CC44DD55EE66FC77889900
Device Address:	26012A3F

En la figura 2-9 se aprecian las configuraciones realizadas en el software.

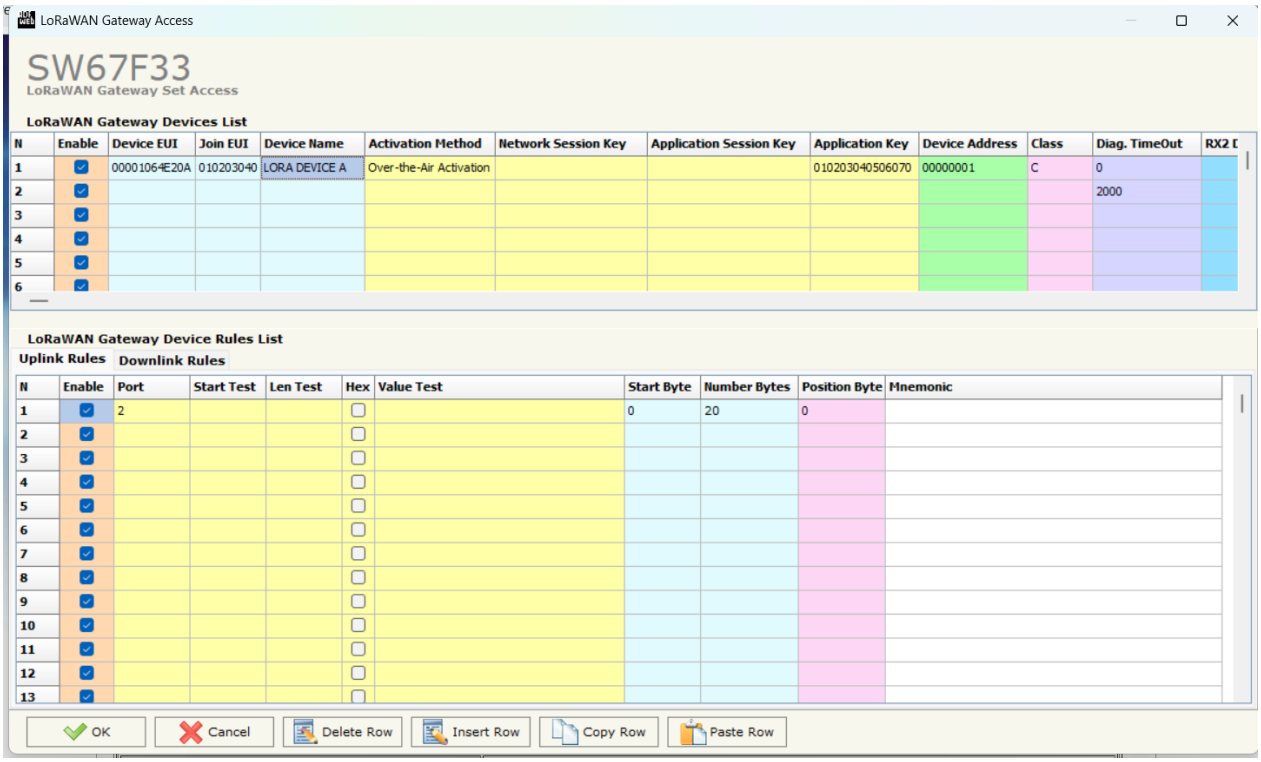


Fuente: Elaboración propia en software ADFweb.

Figura 2-9 Configuración de comunicación.

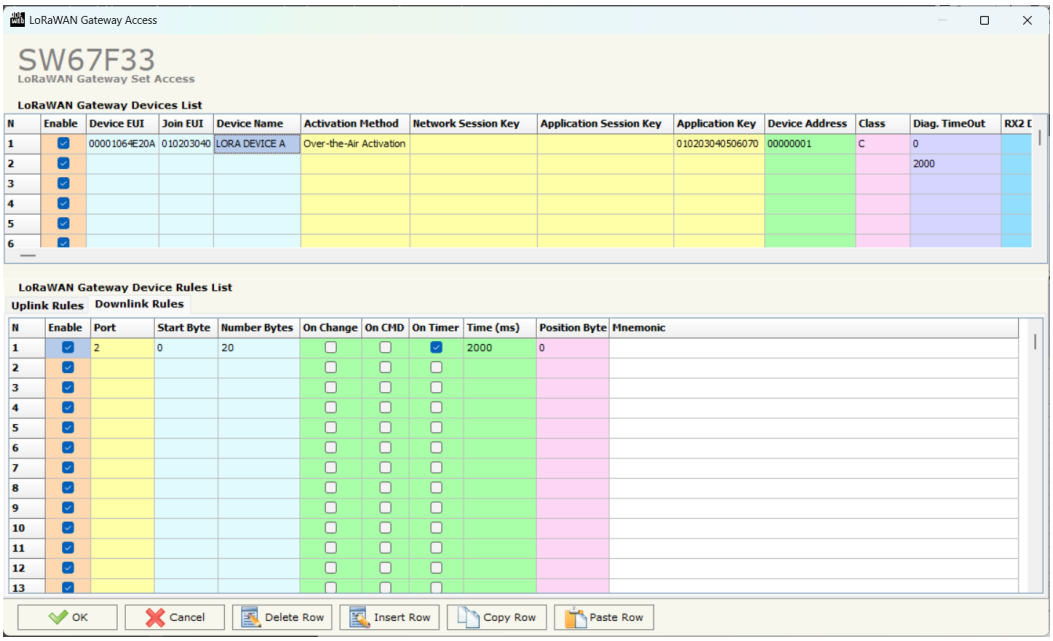
Posteriormente se deben configurar las reglas de comunicación Lora, es decir los bytes que se utilizarán como entrada y salida, en el software se definen como Uplink y Downlink, en la figura 2-10 y figura 2-11 se muestra como se ha configurado el dispositivo para efectos de prueba solo se utilizará un bit de entrada y uno de salida, estos deben ser iguales a la configuración del dispositivo “Lora Slave A”.

También se configuran los dispositivos que se conectarán mediante LoRaWAN, en este caso se configura el “Device Lora A”



Fuente: Elaboración propia en software ADFweb.

Figura 2-10 Listado de dispositivos en red LoraWan y Uplink Rules

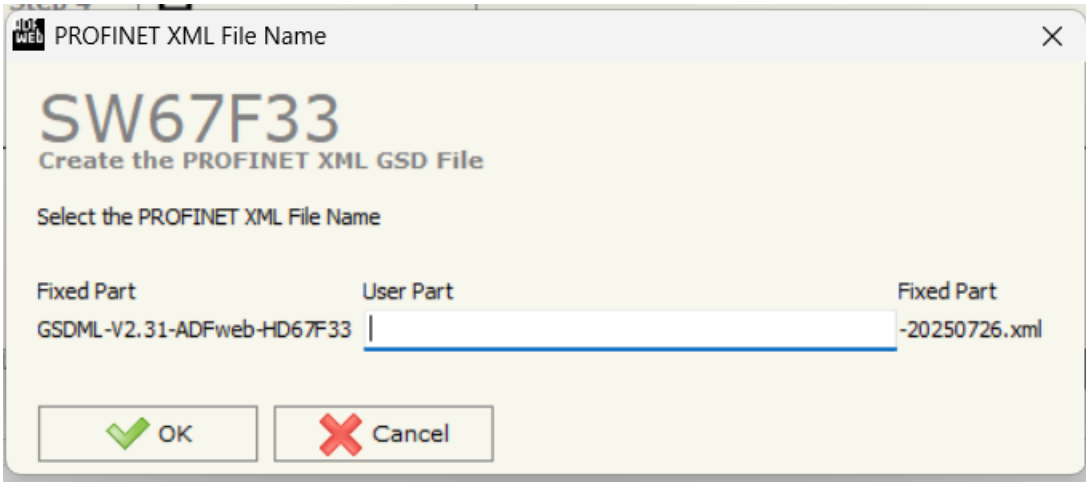


Fuente: Elaboración propia en software ADFweb.

Figura 2-11 Listado de dispositivos en red LoraWan y Downlink Rules

Ya con la configuración LoRa terminada se debe avanzar al siguiente paso, el cual es exportar el archivo GSD el cual se debe integrar dentro de la programación en Tia Portal para que el PLC pueda comunicarse con el conversor LoRaWAN/Profinet y poder compartir los bytes de entrada y salida como se han configurado en el dispositivo.

En la figura 2-12 se ve la ventana que ese abre al exportar el archivo GSD en donde se le puede dar el nombre a gusto y la ubicación en la que se desee guardar.



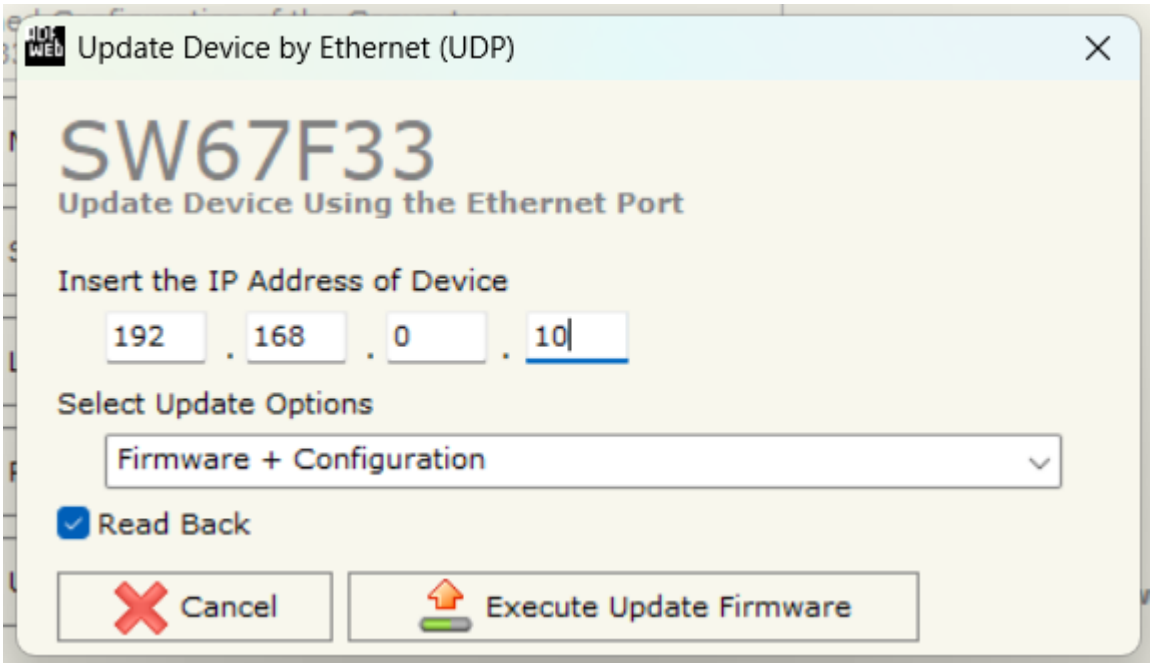
Fuente: Elaboración propia en software ADFweb.

Figura 2-12 Exportación archivo GSD.

Ya con el archivo GSD exportado se procede a cargar la configuración al dispositivo.

Al conectar el dispositivo mediante profinet se debe utilizar inicialmente la dirección IP: “192.168.2.206” para poder cargar el programa inicial con el Deep switch en “ON”, posteriormente ya cargado inicialmente el programa se debe volver el Deep switch a su posición original y se debe utilizar la dirección IP configurada (ver tabla 2-1) para poder modificar o cargar nuevas configuraciones.

Se utiliza la ventana update device para cargar el programa hacia el conversor, como se muestra en la figura 2-13.



Fuente: Elaboración propia en software ADFweb.

Figura 2-13 Carga de configuración en dispositivo.

Ya con la configuración cargada en el dispositivo este está listo para utilizar y conectar al PLC, en este caso sería al PLC A.

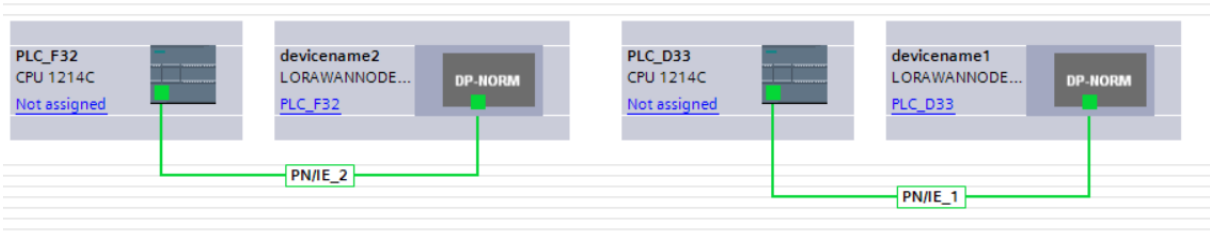
2.1.6 Configuración de equipos PLC

Para configurar los equipos PLC siemens S7-1200 se debe utilizar el software TIA Portal V18, en este programa se configuran ambos PLC involucrados en este proyecto, en donde se agregan las funciones para poder enviar y recibir la información, se cargan los archivos GSD de ambos dispositivos “Lora Device A” y “Lora Device B”.

2.1.6.1 Configuración Tía Portal V18

El primer paso es agregar los dispositivos PLC, en este caso se utilizan 2 equipos modelo S7-1200, en su versión 1214 DC/DC/DC 4.2.

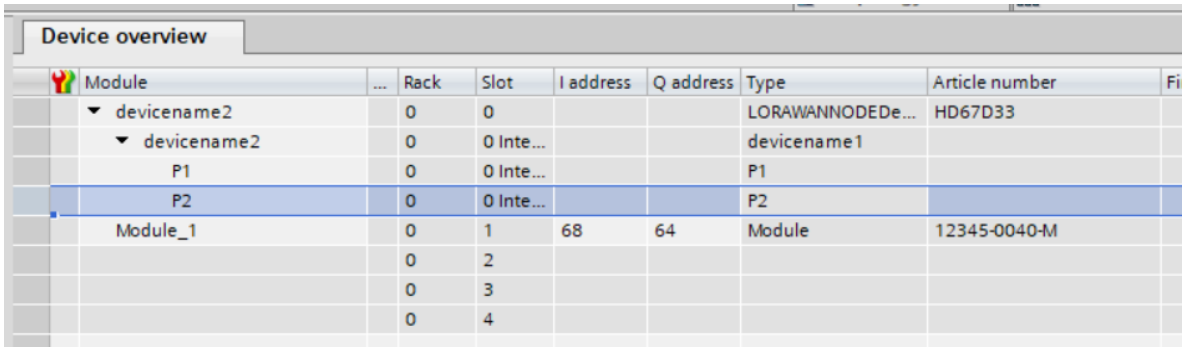
Posteriormente se debe cargar el archivo GSD exportado del Gateway de ADFweb, ya cargando este dispositivo se tiene la siguiente topología en el software TIA Portal:



Fuente: Elaboración propia en TIA Portal V18.

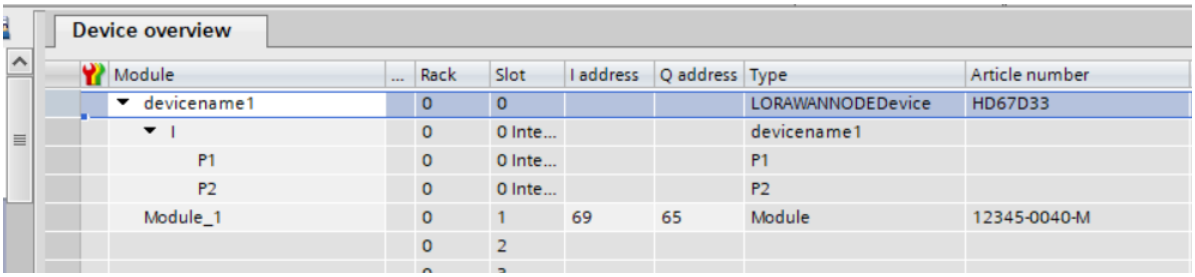
Figura 2-14 Vista topológica.

Dentro del archivo cargado se puede ver las memorias en las cuales se puede trabajar, dentro del programa se puede cambiar las direcciones de estas memorias para poder utilizarlas según requisitos, en este caso solo se desea enviar y recibir información, por lo que las memorias que se utilizarán son las que se ven en la figura 2-15 y la figura 2-16:



Fuente: Elaboración propia en TIA Portal V18.

Figura 2-15 Memorias archivo GSD devicename2 en TIA Portal.



Fuente: Elaboración propia en TIA Portal V18.

Figura 2-16 Memorias archivo GSD devicename 1 en TIA Portal.

Una vez generados e importados correctamente los archivos GSDML de los dispositivos LoRaWAN dentro del entorno TIA Portal V18, y posteriormente enlazados a sus respectivos PLC Siemens S7-1200, es posible acceder a las direcciones de entradas y salidas asignadas a cada dispositivo para utilizar dichos datos dentro de la lógica de control del proyecto. Esta integración permite que las variables transmitidas mediante el enlace inalámbrico LoRaWAN sean tratadas por el PLC de la misma manera que una señal de entrada o salida convencional dentro de una red Profinet industrial.

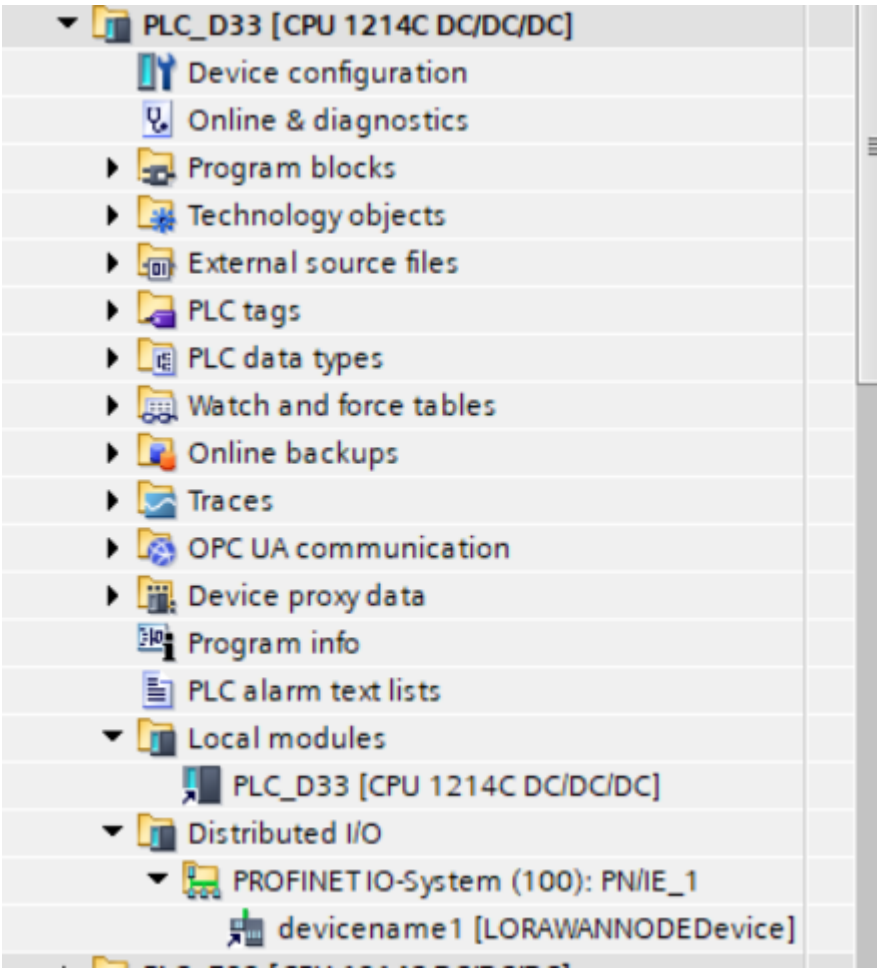
Sin embargo, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de comunicación implementado, es fundamental considerar ciertos aspectos durante la etapa de configuración e integración de los dispositivos dentro del proyecto de automatización. Una configuración

incorrecta de parámetros de red, nombres Profinet o asignación de dispositivos puede provocar fallos de comunicación, pérdida de reconocimiento de equipos o errores durante el intercambio de datos entre ambos PLC.

Uno de los primeros puntos que debe verificarse corresponde a la correcta vinculación entre el PLC Siemens S7-1200 y el módulo LoRaWAN configurado como dispositivo Profinet IO. Esta validación puede realizarse directamente desde el árbol del proyecto en TIA Portal, específicamente dentro de la sección denominada “Distributed I/O” como muestra la figura 2-17. En esta área del proyecto debe visualizarse una carpeta identificada como “PROFINET IO-System”, dentro de la cual debe aparecer correctamente asociado el dispositivo LoRa correspondiente al PLC configurado.

La presencia del dispositivo dentro de esta estructura confirma que el PLC ha reconocido correctamente el archivo GSDML importado y que la relación IO entre el controlador y el dispositivo Profinet ha sido establecida de manera adecuada. Esta verificación debe realizarse en ambos PLC que forman parte del sistema, ya que cada controlador debe reconocer correctamente su respectivo dispositivo HD67D33 para permitir el intercambio de información mediante el enlace inalámbrico LoRaWAN.

Adicionalmente, es importante comprobar que el dispositivo no presente errores de configuración ni alertas dentro del entorno TIA Portal, verificando parámetros como dirección IP, nombre Profinet y asignación de módulos de entrada y salida. Una vez confirmada la correcta integración de ambos dispositivos dentro del sistema Profinet, se puede proceder a utilizar las áreas de memoria asignadas para desarrollar la lógica de control y realizar el intercambio de variables entre ambos PLC mediante la comunicación inalámbrica implementada.



Fuente: Elaboración propia en TIA Portal V18.

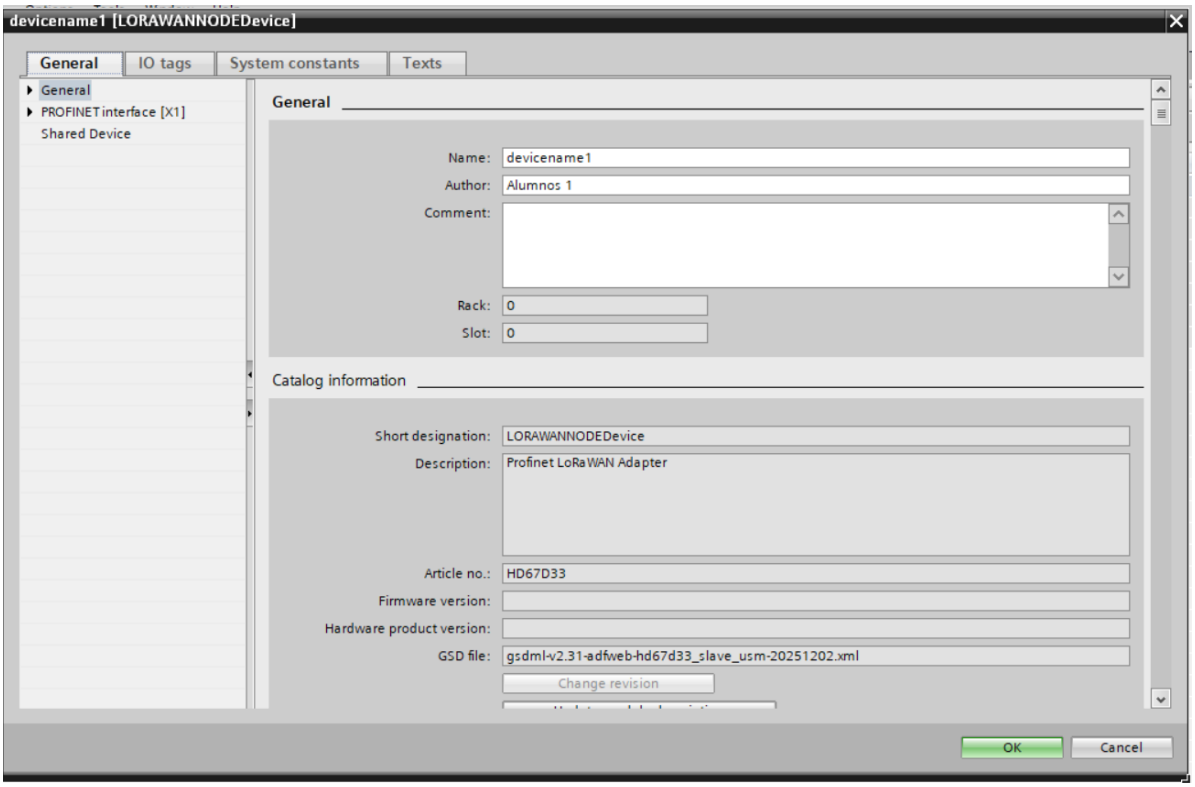
Figura 2-17 Árbol de proyecto Distributed I/O

Seleccionando el dispositivo Profinet dentro del árbol del proyecto en TIA Portal V18, es posible acceder a las distintas configuraciones asociadas al equipo, permitiendo verificar y complementar los parámetros previamente configurados durante la integración del sistema. Esta sección resulta fundamental para validar que el dispositivo LoRaWAN haya sido incorporado correctamente al proyecto y que todos los parámetros de identificación y comunicación coincidan con la configuración física del equipo.

Dentro de las propiedades del dispositivo es posible acceder a configuraciones generales relacionadas con la identificación y administración del equipo Profinet. Entre las opciones disponibles se encuentra la visualización y modificación del nombre del dispositivo, parámetro esencial para el reconocimiento dentro de la red Profinet, ya que cada equipo debe poseer un nombre único asociado a su dirección IP y configuración de comunicación.

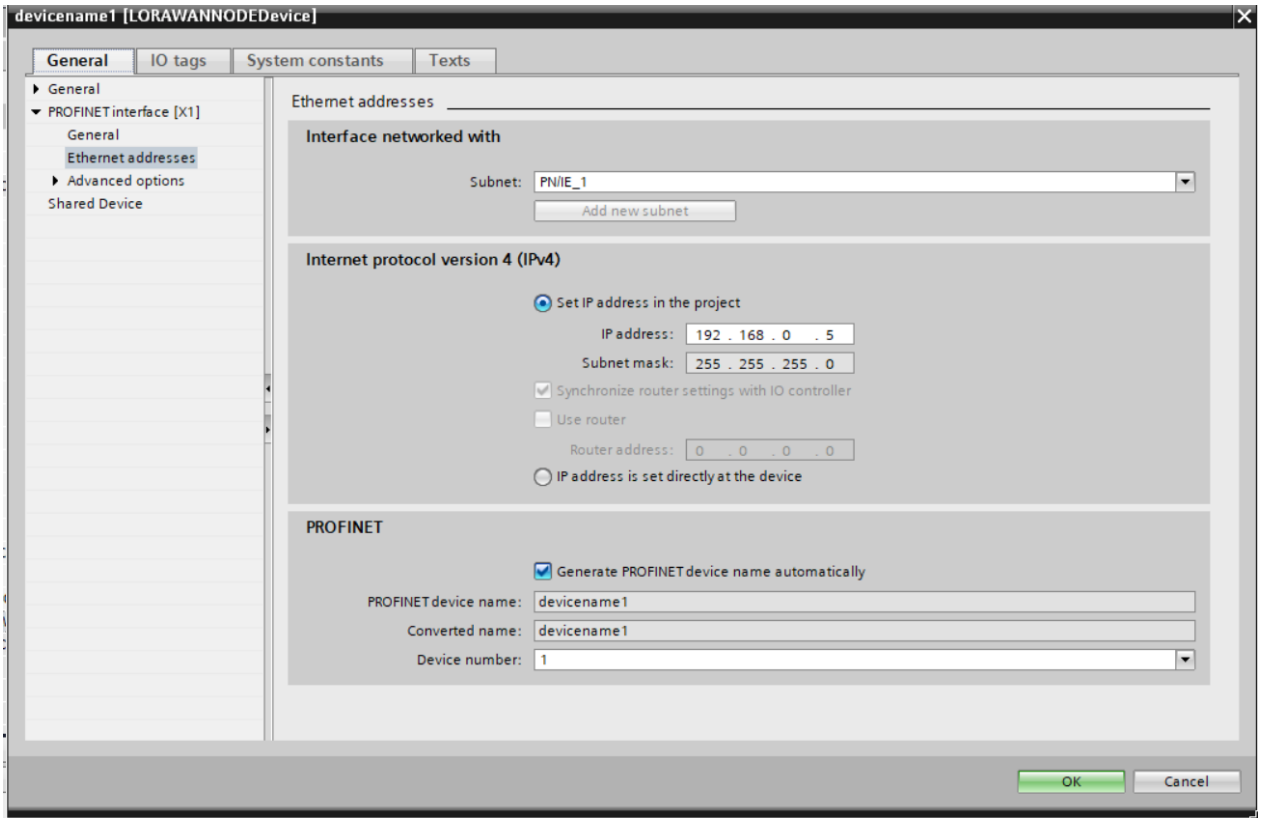
Asimismo, la sección de la figura 2-18 y figura 2-19 permite visualizar información relevante asociada al fabricante y al modelo específico del dispositivo integrado, facilitando la identificación del equipo utilizado dentro del proyecto de automatización. También es posible consultar información relacionada con el archivo GSDML utilizado para la integración, incluyendo la versión del archivo, módulos configurados y estructura de entradas y salidas disponibles para el intercambio de datos con el PLC.

Estas herramientas de configuración y verificación permiten asegurar que el dispositivo HD67D33 haya sido parametrizado correctamente dentro del entorno TIA Portal, reduciendo posibles errores de comunicación y garantizando una integración estable entre el PLC Siemens S7-1200 y el sistema inalámbrico LoRaWAN implementado.



Fuente: Elaboración propia en TIA Portal V18.

Figura 2-18 Información devicename1



Fuente: Elaboración propia en TIA Portal V18.

Figura 2-19 Configuración de red dispositivo LoraWan

Una vez finalizada la configuración e integración de los dispositivos dentro del entorno TIA Portal V18, es posible acceder a la vista online del PLC para verificar el estado de comunicación entre el controlador Siemens S7-1200 y el conversor LoRaWAN HD67D33. Esta etapa corresponde a una de las validaciones finales del proceso de configuración, ya que permite comprobar en tiempo real que la comunicación Profinet entre ambos dispositivos se encuentra establecida correctamente y sin presencia de fallos o alarmas de diagnóstico.

Desde la vista online del proyecto es posible observar el estado operativo del dispositivo Profinet, confirmando que el PLC reconoce correctamente el conversor LoRaWAN y que el

intercambio de datos entre ambos equipos se encuentra activo. Esta verificación resulta fundamental antes de comenzar el desarrollo de la lógica de programación, debido a que garantiza que las áreas de entradas y salidas configuradas estarán disponibles para ser utilizadas dentro del programa de control.

Una vez validada la comunicación, las direcciones de entradas y salidas asignadas al dispositivo pueden ser utilizadas libremente dentro de la programación del PLC, permitiendo realizar activación de señales, intercambio de estados, transmisión de comandos o monitoreo de variables provenientes del sistema remoto conectado mediante LoRaWAN. De esta manera, el enlace inalámbrico implementado pasa a formar parte de la lógica de automatización del sistema de manera transparente para el usuario.

Cabe destacar que el mismo procedimiento de configuración debe repetirse en caso de requerir la incorporación de nuevas áreas de entradas o salidas dentro del sistema. Para ello, es necesario modificar la configuración del dispositivo en el software SW67D33, generar nuevamente el archivo GSDML correspondiente e importar la nueva configuración dentro de TIA Portal para actualizar la estructura de datos disponible en el PLC.

Asimismo, es importante considerar que las entradas y salidas configuradas en este proyecto corresponden a variables digitales manejadas a nivel de bits, por lo que cada señal transmitida representa un estado lógico binario. Esto permite implementar comunicaciones simples y eficientes entre ambos PLC, especialmente para aplicaciones de control discreto, monitoreo de estados y transmisión de señales digitales a larga distancia mediante tecnología LoRaWAN.

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN DOCENTE DE POYECTO Y ANÁLISIS ECONÓMICO

3 ANTECEDENTES GENERALES

Para el correcto desarrollo de la actividad docente asociada al presente proyecto, se requiere disponer tanto de personal capacitado como del equipamiento técnico necesario para la implementación y validación de las experiencias prácticas relacionadas con automatización industrial y comunicaciones inalámbricas. En este contexto, se considera el desarrollo e implementación de la actividad en las dependencias de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Viña del Mar, específicamente en el laboratorio de Control y PLC, el cual cuenta con la infraestructura adecuada para la ejecución de actividades académicas orientadas al aprendizaje práctico de sistemas de control industrial.

El laboratorio dispone de estaciones de trabajo, equipamiento de automatización industrial y recursos tecnológicos necesarios para la configuración, programación y puesta en marcha de sistemas basados en PLC Siemens S7-1200. Asimismo, el entorno de trabajo permite realizar pruebas de comunicación industrial utilizando software de ingeniería TIA Portal V18, redes Profinet y dispositivos de integración industrial, facilitando el desarrollo experimental del proyecto y la validación de la arquitectura de comunicación implementada.

Desde el punto de vista humano, resulta fundamental contar con personal docente y técnico con conocimientos en automatización industrial, programación de PLC y configuración de redes de comunicación industrial, ya que la correcta implementación de este tipo de sistemas requiere comprender aspectos relacionados con protocolos industriales, parametrización de dispositivos, integración de hardware y resolución de problemas de comunicación.

Adicionalmente, para la implementación de la actividad práctica fue necesaria la adquisición de los módulos conversores Profinet/LoRaWAN de la marca ADFweb, específicamente los dispositivos HD67D33 utilizados para establecer el enlace inalámbrico entre ambos PLC Siemens S7-1200. Estos equipos constituyen el elemento central del sistema de comunicación desarrollado, permitiendo transmitir variables de proceso mediante tecnología

LoRaWAN a larga distancia y facilitando la integración de redes inalámbricas dentro de entornos industriales basados en Profinet.

Por otra parte, los PLC Siemens S7-1200 utilizados durante el desarrollo del proyecto ya se encontraban disponibles dentro del laboratorio de Control y PLC de la universidad, por lo que no fue necesaria la adquisición de nuevos controladores para la ejecución de las pruebas y actividades prácticas. Esto permitió optimizar los recursos disponibles y concentrar la inversión principalmente en los dispositivos de comunicación inalámbrica requeridos para el desarrollo del sistema implementado.

3.1 MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS

Para el desarrollo e implementación del sistema de comunicación inalámbrica entre PLC Siemens S7-1200 fue necesario disponer de distintos equipos y herramientas de software orientadas a la automatización industrial, configuración de redes Profinet y parametrización de dispositivos LoRaWAN. La selección de los componentes utilizados se realizó considerando criterios de compatibilidad industrial, facilidad de integración y capacidad de comunicación inalámbrica a larga distancia, permitiendo desarrollar una arquitectura funcional dentro del entorno de automatización propuesto.

Los equipos y software empleados durante la ejecución del proyecto permitieron llevar a cabo tareas de programación, configuración de dispositivos, integración de redes industriales y validación experimental del sistema de comunicación implementado. Asimismo, cada uno de los elementos utilizados cumplió una función específica dentro de la arquitectura desarrollada, contribuyendo al correcto funcionamiento del enlace inalámbrico entre ambos PLC Siemens S7-1200.

A continuación, se presentan los principales materiales y equipos requeridos para el desarrollo del proyecto:

- 2 Equipos PLC Siemens S7-1200.
- Convertidores Profinet/LoRaWAN ADFweb HD67D33 Y HD67F33.
- Software TIA Portal V18 para programación, configuración y diagnóstico de redes Profinet.
- Software SW67D33 y SW67F33 para configuración y parametrización de dispositivos ADFweb LoRaWAN.
- Cableado Ethernet para configuración y comunicación Profinet.
- Fuente de alimentación de 24 VDC para energización de PLC y dispositivos de comunicación.
- Computador de programación para ejecución de software de ingeniería y configuración del sistema.

3.2 CAPACITACIONES REQUERIDAS

Para la correcta ejecución de la actividad práctica asociada al presente proyecto, resulta fundamental que el personal encargado de impartir el curso cuente con conocimientos técnicos relacionados con automatización industrial, configuración de redes Profinet y parametrización de dispositivos de comunicación inalámbrica LoRaWAN. Debido a que la implementación del sistema involucra integración entre hardware industrial, software de ingeniería y protocolos de comunicación, es necesario realizar una capacitación previa orientada a familiarizar al equipo docente con el funcionamiento y configuración de las distintas arquitecturas evaluadas durante el desarrollo del proyecto.

La capacitación propuesta considera la participación de un docente responsable y un ayudante de laboratorio, quienes deberán adquirir las competencias necesarias para realizar la

puesta en marcha, configuración y validación del sistema de comunicación implementado. Entre los principales contenidos a abordar durante la capacitación se incluyen la configuración de PLC Siemens S7-1200 en TIA Portal V18, integración de dispositivos Profinet mediante archivos GSDML, parametrización de módulos ADFweb HD67F33 y HD67D33, así como el análisis del funcionamiento de la tecnología LoRaWAN aplicada a entornos industriales.

Asimismo, durante la capacitación es necesario utilizar los softwares de configuración SW67F33 y SW67D33, correspondientes a los dispositivos ADFweb HD67F33 y HD67D33 respectivamente. Estos softwares permiten realizar la parametrización de los equipos, configuración de direcciones IP, ajuste de parámetros de comunicación inalámbrica, generación de archivos GSDML e integración de dispositivos dentro del entorno TIA Portal V18.

Adicionalmente, la capacitación contempla actividades prácticas relacionadas con la conexión física de los equipos, asignación de nombres Profinet, diagnóstico de comunicación y monitoreo de variables dentro del entorno de programación Siemens. También se considera la revisión de la arquitectura preliminar basada en el dispositivo HD67F33, permitiendo comprender las limitaciones detectadas durante la etapa de validación experimental, así como el posterior rediseño del sistema utilizando dispositivos HD67D33 como solución definitiva para la implementación de la comunicación inalámbrica entre ambos PLC.

Se estima un total de 8 horas de capacitación para cada integrante del equipo docente, distribuidas entre actividades teóricas y prácticas orientadas al uso del sistema desarrollado. Durante este período, los participantes deberán realizar la configuración completa de los equipos, validar la comunicación entre ambos PLC y ejecutar pruebas funcionales del sistema inalámbrico, con el objetivo de garantizar que posteriormente puedan impartir la actividad práctica de manera adecuada dentro del laboratorio de Control y PLC.

La realización de esta capacitación previa permitirá asegurar un correcto manejo de los equipos y software involucrados, contribuyendo al desarrollo eficiente de las actividades

docentes y mejorando la experiencia de aprendizaje de los estudiantes en áreas relacionadas con automatización industrial, redes industriales y tecnologías de comunicación inalámbrica aplicadas a procesos industriales.

3.3 PLANIFICACIÓN

En la tabla 3-1 se muestran los ítems de planificación y su duración correspondiente, en la tabla 3-2 se presenta la tabla Gantt la cual propone tiempos estimativos

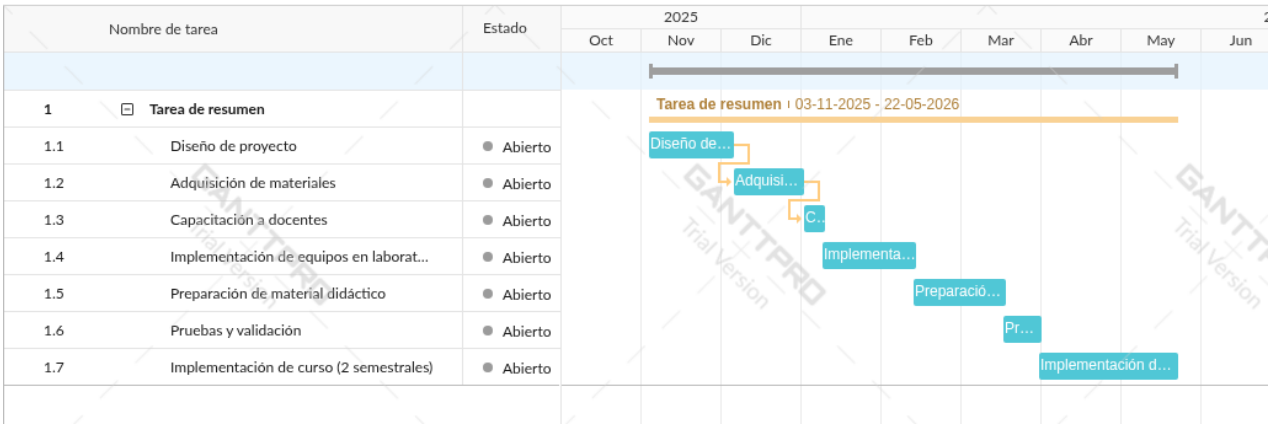
Tabla 3-1 Tabla de planificación

Tarea	Duración	Progreso	Dependencias
Diseño de proyecto	30 días	70%	Ninguna
Adquisición de materiales	31 días	0%	Diseño de proyecto
Capacitación a docentes	7 días	0%	Adquisición de materiales
Implementación de equipos en laboratorio	24 días	0%	Capacitación a docentes
Preparación de material didáctico	21 días	0%	Implementación de equipos
Pruebas y validación	10 días	0%	Preparación de material didáctico
Implementación de curso (2 semestrales)	14 días	0%	Pruebas y validación

Fuente: elaboración propia basada en tiempos estimados de ejecución.

Tabla 3-2 Tabla de planificación tipo Gantt

My Team | PROYECTO DOCENTE



Fuente: elaboración propia basada en tiempos estimados de ejecución.

3.4 PASOS PARA LA ACTIVIDAD PRÁCTICA

Para la correcta ejecución de la actividad práctica propuesta, es necesario realizar una serie de procedimientos orientados a la configuración, integración y validación del sistema de comunicación inalámbrica entre ambos PLC Siemens S7-1200 mediante tecnología LoRaWAN. Estas actividades contemplan tanto la conexión física de los equipos como la configuración lógica de la red Profinet y la parametrización de los dispositivos ADFweb utilizados durante el desarrollo del proyecto.

Asimismo, la actividad práctica considera el uso de los dispositivos ADFweb HD67F33 y HD67D33, junto con sus respectivos softwares de configuración SW67F33 y SW67D33, permitiendo a los estudiantes comprender tanto la arquitectura preliminar evaluada como la solución final implementada dentro del proyecto. De esta manera, además de desarrollar competencias relacionadas con configuración de redes industriales y programación de PLC, los

participantes podrán analizar aspectos asociados a validación experimental, compatibilidad entre dispositivos y resolución de problemas de integración industrial.

A continuación, se describen las etapas principales requeridas para el desarrollo de la actividad práctica:

1. Conexión física de los equipos

Conectar físicamente cada PLC Siemens S7-1200 al convertidor ADFweb correspondiente mediante interfaz Ethernet/Profinet, asegurando la correcta alimentación eléctrica de todos los dispositivos y verificando el estado operativo de los módulos de comunicación.

2. Configuración inicial de los dispositivos ADFweb

Realizar la parametrización de los dispositivos ADFweb HD67F33 y HD67D33 utilizando los softwares SW67F33 y SW67D33 respectivamente. Durante esta etapa se deben configurar parámetros básicos de comunicación, direcciones IP, nombres Profinet y modos de funcionamiento de cada equipo dentro de la arquitectura propuesta.

3. Configuración de la red Profinet

Configurar la comunicación Profinet entre los PLC Siemens S7-1200 y los dispositivos ADFweb, verificando la correcta integración de los archivos GSDML generados mediante los softwares de configuración correspondientes. Asimismo, se debe comprobar que cada dispositivo aparezca correctamente asociado dentro del árbol “PROFINET IO-System” en TIA Portal V18.

4. Configuración de la comunicación LoRaWAN

Parametrizar la red LoRaWAN en los dispositivos de comunicación, incluyendo la selección de la banda de frecuencia correspondiente a Chile (915 MHz), configuración de parámetros inalámbricos y ajuste de variables necesarias para el establecimiento del enlace de comunicación entre ambos dispositivos.

5. Configuración y mapeo de variables en TIA Portal

Programar en TIA Portal V18 las variables Profinet que serán intercambiadas entre ambos PLC, realizando el correspondiente mapeo de entradas y salidas digitales asociadas a los dispositivos LoRaWAN. Esta etapa permite definir las señales que serán transmitidas y recibidas mediante el enlace inalámbrico implementado.

6. Verificación de integración y diagnóstico de comunicación

Acceder a la vista online del PLC para verificar el correcto reconocimiento de los dispositivos Profinet y validar el estado operativo de la comunicación entre los PLC y los conversores LoRaWAN. Durante esta etapa se deben revisar posibles alarmas, errores de configuración o problemas de sincronización entre equipos.

7. Validación experimental de la comunicación inalámbrica

Realizar pruebas funcionales enviando señales digitales desde un PLC hacia el otro, verificando mediante monitoreo online en TIA Portal que las variables transmitidas sean recibidas correctamente en el sistema remoto. Estas pruebas permiten validar el correcto funcionamiento de la comunicación inalámbrica implementada y comprobar la estabilidad operativa del sistema.

8. Análisis de resultados y comportamiento del sistema

Finalmente, se debe analizar el comportamiento general de la arquitectura implementada, evaluando aspectos relacionados con estabilidad de comunicación, tiempo de respuesta, sincronización de variables y desempeño del sistema bajo condiciones normales de operación. Esta etapa permite reforzar el aprendizaje práctico relacionado con redes industriales y tecnologías de comunicación inalámbrica aplicadas a automatización industrial.

3.5 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA IMPLEMENTACIÓN ACADÉMICA

3.6 INVERSIÓN INICIAL

Se ha realizado un análisis para implementar el equipamiento en laboratorio considerando 10 módulos de aprendizaje

Para el siguiente análisis mostrado en la tabla 3-3 se ha considerado un valor UF de $ 39,643 pesos chilenos a la fecha de 26 de Noviembre de 2025.

Tabla 3-3 Inversión inicial

Detalle	Unidad	Cantidad	UF	Total
Módulos ADFWEB MASTER	UN	10	17	170
Módulos ADFWEB SLAVE	UN	10	17	170
Cable Ethernet CAT6	UN	20	0,2	4
Capacitación docente	HH	8	2	16
Sueldo Ing. en Control e Instrumentación (Desarrollo)	HH	40	1,7	68
Sueldo Ayudante	HH	8	1	8
TOTAL INVERSIÓN INICIAL (UF):				436

Fuente: https://www.laborum.cl/salarios

3.7 RETORNO DE INVERSIÓN

Se considera realizar anualmente 4 cursos de 8 horas académicas, el detalle se muestra en la tabla 3-4.

El curso práctico se considera para un aproximado de 20 alumnos.

El Valor por alumno es de 3 UF.

Tabla 3-4 Retorno de inversión por curso

Detalle	Unidad	Cantidad	UF	Total
Alumnos	UN	20	3	60
Honorarios Profesor	HH	8	2	-16
Honorarios Ayudante	HH	8	1	-8
Gastos uso laboratorio	UN	1	4	-4
TOTAL INGRESOS POR CURSO				32

Fuente: elaboración propia basada en tiempos estimados de ejecución.

Tabla 3-5 Ingreso anual

Detalle	Unidad	Cantidad	UF	TOTAL
Ingresos por curso	UN	4	60	240
Gastos por curso	UN	4	28	-112
TOTAL INGRESOS ANUALES				128

Fuente: elaboración propia basada en tiempos estimados de ejecución.

Se proyecta que en menos de 4 años se recuperaría el total de la inversión inicial, considerando realizar 4 cursos de 8 horas anualmente, en la tabla 3-5 se muestra el cálculo anual..

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente proyecto de título permitió abordar la problemática asociada a la comunicación inalámbrica entre dos controladores lógicos programables Siemens S7-1200 ubicados a gran distancia entre sí, situación frecuente en aplicaciones industriales donde la implementación de cableado convencional Ethernet o Profinet resulta compleja, costosa o técnicamente poco viable. Frente a esta necesidad, se planteó el diseño e implementación de un sistema de comunicación industrial basado en tecnología LoRaWAN, orientado a establecer un enlace inalámbrico confiable para el intercambio de variables de proceso entre ambos PLC, manteniendo compatibilidad con entornos de automatización industrial Siemens.

La solución desarrollada permitió implementar exitosamente un sistema de comunicación inalámbrica entre dos PLC Siemens S7-1200 mediante el uso de dispositivos conversores Profinet/LoRaWAN de la marca ADFweb. La arquitectura final implementada se basó en dos dispositivos HD67D33 operando como esclavos Profinet independientes, permitiendo establecer una red de control distribuida capaz de transmitir datos de proceso entre ambos controladores sin necesidad de conexión física directa entre ellos. Esta solución permitió resolver de manera eficiente la problemática de interconexión industrial a larga distancia, utilizando una tecnología inalámbrica de bajo consumo energético y amplio alcance de transmisión.

Durante el desarrollo del proyecto se abordaron diversas áreas relacionadas con automatización industrial, comunicaciones industriales y tecnologías inalámbricas aplicadas a procesos industriales. Entre ellas destacan la configuración de redes Profinet utilizando TIA Portal V18, la integración de dispositivos industriales mediante archivos GSDML, la programación de PLC Siemens S7-1200 y el estudio práctico de la tecnología LoRaWAN como solución de comunicación inalámbrica industrial. Asimismo, fue necesario parametrizar los dispositivos ADFweb mediante el software SW67D33, configurando parámetros de comunicación, direcciones IP, nombres de dispositivos Profinet y áreas de intercambio de datos entre los PLC y los conversores implementados.

Uno de los aspectos más relevantes del proyecto correspondió al proceso de validación experimental y análisis de compatibilidad realizado durante las primeras etapas de implementación. Inicialmente, se propuso una arquitectura basada en los dispositivos ADFweb HD67F33 y HD67D32, ambos operando mediante tecnología LoRaWAN y comunicación industrial Profinet. El objetivo principal de esta configuración consistía en establecer un enlace inalámbrico entre dos PLC Siemens S7-1200 mediante una estructura maestro/esclavo, donde el dispositivo HD67F33 actuaría como gateway maestro LoRaWAN conectado al PLC principal, mientras que el dispositivo HD67D32 funcionaría como dispositivo remoto esclavo encargado de establecer el enlace inalámbrico con el gateway principal.

Bajo esta arquitectura inicial, se esperaba implementar un sistema capaz de transmitir datos industriales entre ambos PLC utilizando una infraestructura inalámbrica de largo alcance y bajo consumo energético. Sin embargo, durante la etapa de implementación y validación práctica se identificaron diversas limitaciones relacionadas con la integración de los dispositivos dentro del entorno TIA Portal V18. Las pruebas realizadas incluyeron la configuración de parámetros de red, asignación de direcciones IP, parametrización de los dispositivos mediante el software SW67D33 y generación de archivos GSDML necesarios para el reconocimiento de equipos Profinet dentro del entorno Siemens.

A diferencia de otros dispositivos industriales convencionales, los equipos ADFweb utilizados en el proyecto no incorporan archivos GSDML predefinidos entregados directamente por el fabricante. En su lugar, dichos archivos deben ser generados mediante el software de configuración correspondiente a cada dispositivo. Durante las pruebas efectuadas se comprobó que el dispositivo HD67D32 permitía generar correctamente su archivo GSDML para ser posteriormente importado en TIA Portal. No obstante, se verificó que el dispositivo HD67F33, configurado como gateway maestro LoRaWAN, no disponía de la opción de exportación del archivo GSDML dentro de su software de configuración.

Esta limitación representó un problema crítico para la implementación del sistema, debido a que los PLC Siemens S7-1200 requieren los archivos GSDML correspondientes para reconocer y parametrizar dispositivos IO dentro de una red Profinet. Como consecuencia, el entorno TIA Portal no lograba identificar adecuadamente el dispositivo HD67F33, imposibilitando la integración completa de la arquitectura inicialmente propuesta y evitando establecer una comunicación funcional entre ambos PLC.

Con el objetivo de validar técnicamente esta condición, se realizaron consultas directas con el fabricante ADFweb, quien confirmó las restricciones asociadas al funcionamiento e integración del dispositivo HD67F33 dentro de redes Profinet administradas desde TIA Portal. Como resultado de este proceso de validación, el fabricante recomendó reemplazar la arquitectura inicial por una configuración basada en dos dispositivos HD67D33 operando como esclavos Profinet independientes. Esta nueva configuración permitía generar individualmente los archivos GSDML de cada equipo mediante el software SW67D33, facilitando su correcta importación y parametrización dentro del entorno de ingeniería Siemens.

A partir de esta validación experimental y del rediseño efectuado, se desarrolló finalmente una arquitectura basada en dos dispositivos HD67D33, solución que permitió asegurar compatibilidad, estabilidad operativa y correcta integración dentro de la red industrial implementada. La nueva arquitectura posibilitó establecer exitosamente la comunicación inalámbrica entre ambos PLC Siemens S7-1200, permitiendo el intercambio de variables de proceso mediante tecnología LoRaWAN y validando el funcionamiento correcto del sistema bajo condiciones reales de operación.

A nivel funcional, el sistema implementado logró transmitir y recibir datos de manera estable y confiable entre ambos controladores, verificándose el correcto intercambio de variables mediante pruebas de monitoreo, activación de señales y ejecución de lógica de control en cada PLC. Las pruebas realizadas permitieron comprobar que las variables eran actualizadas correctamente desde y hacia el PLC remoto utilizando el enlace inalámbrico implementado.

Asimismo, la arquitectura desarrollada demostró poseer características de escalabilidad y flexibilidad, permitiendo futuras ampliaciones mediante la incorporación de nuevos dispositivos, sensores o sistemas de supervisión industrial.

Desde el punto de vista académico y profesional, este proyecto permitió consolidar conocimientos relacionados con automatización industrial, redes de comunicación industrial, programación de PLC Siemens y tecnologías inalámbricas aplicadas a procesos industriales. Del mismo modo, el trabajo desarrollado contribuyó significativamente al fortalecimiento de competencias asociadas a la resolución de problemas técnicos, análisis de compatibilidad entre dispositivos industriales, validación experimental de arquitecturas de comunicación y toma de decisiones bajo criterios de ingeniería.

Finalmente, se concluye que la implementación de tecnologías inalámbricas como LoRaWAN representa una alternativa técnicamente viable para aplicaciones industriales que requieren comunicación entre dispositivos distribuidos a gran distancia, especialmente en escenarios donde el cableado tradicional presenta dificultades técnicas o económicas. Como trabajo futuro, se recomienda profundizar en aspectos relacionados con la seguridad de las comunicaciones inalámbricas, análisis de comportamiento frente a interferencias electromagnéticas, evaluación de latencia y pérdida de paquetes, así como la incorporación de plataformas SCADA o soluciones IoT que permitan ampliar las capacidades de monitoreo y supervisión remota del sistema desarrollado.

Recomendaciones

Verificar la compatibilidad de los equipos: Confirmar previamente la disponibilidad de archivos GSDML y la compatibilidad de los dispositivos con TIA Portal y los PLC Siemens S7-1200 antes de definir la arquitectura de comunicación.

Evaluar el alcance de la comunicación: Realizar pruebas en el entorno real de instalación, considerando obstáculos físicos, ubicación de antenas y calidad de la señal inalámbrica.

Medir el desempeño del enlace: Evaluar la latencia, la pérdida de paquetes, la frecuencia de actualización de las variables y la estabilidad de la comunicación durante periodos prolongados.

Implementar mecanismos ante fallas de comunicación: Incorporar temporizadores de vigilancia (watchdogs), indicadores de estado y estrategias para evitar el uso de datos desactualizados cuando se interrumpa el enlace.

Fortalecer la seguridad de la comunicación: Revisar los mecanismos de cifrado, autenticación y control de acceso disponibles para proteger la información intercambiada entre los dispositivos.

Evaluar futuras ampliaciones del sistema: Analizar la integración con plataformas SCADA o IoT para ampliar las capacidades de monitoreo remoto, registro histórico y supervisión de variables de proceso.

Validar la escalabilidad de la solución: Realizar pruebas adicionales antes de incorporar más dispositivos, considerando las limitaciones de comunicación, los tiempos de actualización y los requerimientos de la aplicación industrial.

BIBLIOGRAFÍA

Manual HD67F33-B2

<https://www.adfweb.com/home/download/edown.asp?file=https://www.adfweb.com/download/filefold/MN67F33_ENG.pdf>

Manual HD67D32-B2

<https://www.adfweb.com/home/download/edown.asp?file=https://www.adfweb.com/download/filefold/MN67D33_ENG.pdf>

Software HD67F33-B2

<https://www.adfweb.com/home/download/edown.asp?file=https://www.adfweb.com/download/filefold/SW67F33.zip>

Software HD67D32-B2

<https://www.adfweb.com/home/download/edown.asp?file=https://www.adfweb.com/download/filefold/SW67D32.zip>

Controlador programable S7-1200: Manual de sistema. Siemens.

<https://docs.tia.siemens.cloud/r/simatic_s7_1200_manual_collection_eses_20/communication/profinet/cpu-communication>