

**ARQUITECTURA SCADA PARA LA GESTIÓN Y OPERACIÓN DE LAS
PLANTAS DEL LABORATORIO DE PROCESOS DEL DEPARTAMENTO DE
ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA UNIVERSIDAD
DEL CAUCA**



Manuel Sebastián Ramírez Yasnó.

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Programa de Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, 2020

**ARQUITECTURA SCADA PARA LA GESTIÓN Y OPERACIÓN DE LAS
PLANTAS DEL LABORATORIO DE PROCESOS DEL DEPARTAMENTO DE
ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA UNIVERSIDAD
DEL CAUCA**



Proyecto presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero en Automática Industrial.

Manuel Sebastián Ramírez Yasnó

Directora: Ing. Luisa María Tumbajoy

Codirector: Ing. Juan Fernando Flórez

Asesor de Empresa: Ing. Vladimir Trujillo Arias

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Programa de Ingeniería en Automática Industrial

Popayán, 202

Notas de Aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Popayán, ___ / ___ / ___

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a cada una de las personas que creyeron en mí y me apoyaron para llegar hasta aquí y cumplir uno de tantos sueños.

A mi madre quien siempre ha sido mi inspiración, mi guía y modelo personal, profesional y educativo a seguir.

A mi padre quien siempre ha sido mi referente del trabajo duro y del esfuerzo por salir adelante, por lograr lo que uno quiere.

A mi compañera sentimental que ha sido un fiel apoyo constante durante este proceso y etapa de mi vida.

A mis hermanos esperando ser para ellos un modelo y ejemplo a seguir.

Y finalmente a Dios que siempre estuvo conmigo, iluminándome y llenándome de su amor y su luz inclusive en los momentos más oscuros.

Agradecimiento

Quiero agradecer primeramente a Dios por brindarme salud, sabiduría, entendimiento y paciencia para lograr llegar hasta este punto.

A mis padres porque siempre, pese a las condiciones económicas, personales e inclusive sociales, fueron un apoyo incondicional para que yo hoy pueda alcanzar mis sueños.

A mis formadores académicos que no solo me instruyeron en la profesión, sino que también me ayudaron a moldear de manera íntegra y correcta, convirtiéndose en un ejemplo a seguir.

A la Universidad del Cauca por abrirme sus puertas y acogerme como un hijo más de esta hermosa familia llamada Unicauca.

A mis compañeros de la academia que dejaron su huellita y pasaron a convertirse en mi familia.

A todos ustedes que creyeron en mí y en que un día podría convertirme en un gran Ingeniero en Automática Industrial, ¡infinitas gracias!.

Tabla de contenido

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Capítulo I. Visión General | 4 |
| 1.1. | Introducción | 4 |
| 1.2. | Marco Teórico..... | 5 |
| 2. | Capítulo II. Análisis del estado actual de las plantas de los laboratorios de control de procesos y máquinas eléctricas del DEIC | 13 |
| 2.1. | Reconocimiento y adquisición de información de los laboratorios de control de procesos y máquinas eléctricas | 13 |
| 3. | Capítulo III. Desarrollo técnico. Formulación de Requerimientos técnicos y operativos para el diseño de la arquitectura | 22 |
| 3.1. | Requerimientos técnicos y criterios de diseño para la arquitectura | 22 |
| 3.2. | Clasificación de señales que intervendrán en la arquitectura | 23 |
| 3.3. | Definición de topologías a utilizar y número de nodos..... | 26 |
| 3.4. | Propuestas de arquitecturas | 27 |
| 4. | Capítulo IV. Desarrollo de arquitectura de red SCADA | 37 |
| 4.1. | Diseño de la arquitectura de red..... | 37 |
| 4.1.1. | Especificación de protocolos de comunicación | 37 |
| 4.1.2. | Especificación de equipos a utilizar | 41 |
| 4.1.3. | Especificación de medios y tipos de transmisión..... | 46 |
| 4.1.4. | Definición del número de Unidades Terminales Remotas (RTU) y Unidades Terminales Maestras (MTU) | 47 |
| 4.1.5. | Cotización de equipos requeridos | 48 |
| 4.1.6. | Diseño de la arquitectura de la red | 49 |
| 4.1.7. | Conexiones y Configuraciones de la red | 54 |
| 5. | Capítulo V. Pruebas de validación de la arquitectura de red diseñada | 72 |
| 5.1. | Pruebas de funcionamiento | 72 |
| 6. | Capítulo VII. Conclusiones..... | 82 |
| | Bibliografía. | 83 |
| | ANEXOS | 85 |

1. Capítulo I. Visión General

1.1. Introducción

El proceso de formación universitaria de profesionales en diferentes disciplinas, se encuentra conformado por diversas etapas que le permiten al estudiante, un crecimiento integro, tanto académico como profesional. Dentro de estas etapas se encuentra la formación práctica del educando, la cual se desarrolla con el fin de que el mismo afiance los conocimientos teóricos adquiridos, mediante la implementación de estos sobre una problemática real [1].

Para el caso de la instrucción de profesionales en Automática Industrial, la Universidad del Cauca por medio del Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control (DEIC), cuenta con un plan de estudio conformado por un componente teórico y un componente práctico, este último componente se encuentra respaldado por una serie de ejercicios prácticos que se desarrollan dentro del Laboratorio de Control de Procesos y el Laboratorio de Máquinas Eléctricas, que permiten de manera parcial afianzar conocimientos en instrumentación industrial, sistemas de comunicación industrial, programación de sistemas de automatización, diseño e implementación de sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA), control de procesos, entre otras disciplinas que fundamentan al profesional en automática industrial [2].

A pesar de que los laboratorios del DEIC cuentan con equipos que permiten emular y simular diferentes procesos industriales (plantas de proceso) y hacer prácticas de control, diseño e implementación de un SCADA sobre un proceso, dichos laboratorios no cuentan con una arquitectura de red completa, ni con un buen plan de prácticas que permita al estudiante realizar ejercicios de vinculación de múltiples procesos a una red de comunicación industrial, ya sea para la implementación de sistemas SCADA complejos de múltiples procesos o simplemente para la transferencia de información de los mismos; prácticas y arquitectura que aumentarían sustancialmente en los educandos su diversificación de conocimiento y la capacidad de resolver problemas industriales complejos como los que se encuentran en realidad en el mundo laboral.

Por tal razón, este proyecto aporta en la solución de dicha problemática, con el diseño de una arquitectura de red completa, que permite la vinculación de las 10 plantas que componen los laboratorios de Control de Procesos y Máquinas Eléctricas del DEIC. Además, la arquitectura soporta la implementación de sistemas SCADA complejos para la gestión de todos o de ciertos procesos vinculados a la misma desde una unidad terminal maestra (MTU) y permitirá a futuro la integración del sistema remoto de medición del laboratorio de Hidráulica como una unidad terminal remota (RTU).

1.2. Marco Teórico

El diseño de una arquitectura para un sistema SCADA, requiere la aplicación de múltiples conceptos que permiten el correcto desarrollo de la misma. En este apartado, se esclarecerán términos clave para el entendimiento y ejecución del proyecto, como: Sistema SCADA, red de comunicación, protocolo de comunicación, entre otros.

Sistema SCADA

Un sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) es un conjunto de tecnologías hardware y software que permiten la obtención y procesamiento normalmente en tiempo real de datos de procesos industriales ya sean centralizados, dispersos, o en lugares remotos, transmitiendo esta información a un centro de control para su supervisión, procesamiento, ejecución de respectivas acciones de control y visualización en la pantalla del operador [3], [4], [5].

Elementos de un Sistema SCADA

De manera muy general, un sistema SCADA está conformado por dos componentes, uno hardware y otro software.

Dentro del componente hardware se encuentran:

- Estructura de red de comunicaciones, con sus respectivos protocolos de comunicación,
- Instrumentación del proceso y dispositivos de campo. (Sensores, actuadores, convertidores, etc.),
- Dispositivos de control (PLC, controladores de automatización programables (PAC), PC industriales (IPC) etc.).
- Unidades terminales remotas RTU (*Remote Terminal Unit*).
- Unidades terminales maestras MTU (*Master Terminal Unit*).

Por otro lado, un sistema SCADA también está compuesto por un software de supervisión, el cual es capaz de ejecutar diversas tareas como, dar soporte a las comunicaciones, manejo de protocolos de comunicación, manejo de base de datos, gestión de alarmas, gestión de usuarios, generación de históricos, entre otros. Este software también cuenta con la capacidad de programación y le brinda al operador una interfaz gráfica HMI (Human Machine Interface) del proceso, con datos en tiempo real [3], [4], [5].

El software de supervisión, también pueden dividirse dependiendo del fabricante entre, abiertos o propietarios, los cuales son desarrollados por ciertas empresas

y diseñados solo para soportar comunicación entre dispositivos de la misma familia equipos. Por otro lado, el software de supervisión abierto brinda la capacidad de integrar dispositivos de diversos fabricantes, por lo que han ganado popularidad en los últimos tiempos [3], [4], [5].

Red de Comunicación

Una red de comunicaciones, representa el medio físico por el cual se transmitirá e intercambiará información emitida por cada uno de los equipos dentro de la empresa. En la industria, una red de comunicación industrial está conformada por: redes de datos y redes de control [6].

Las redes de datos se encargan de gestionar información referente a producción, planeación de recursos, administración de operaciones de manufactura, entre otras actividades propias de los niveles 3 y 4 de la pirámide de automatización. Dentro de estas redes, se encuentran las redes de empresa y fábrica, en las cuales por lo general se ejecutan programas ERP, MES, y demás herramientas de gestión de la empresa. Y también se encuentran las redes de célula, que son las encargadas de dar soporte a las intercomunicaciones entre los niveles de fábrica y empresa [6], [7].

Las redes de control, son las redes que están directamente vinculadas con el proceso y son las encargadas de recolección y comunicación de todos los datos del proceso. Estas redes, operan en los niveles 1 y 2 de la pirámide de automatización. En estas redes de control se encuentran, las redes de controladores, que son las que interconectan múltiples dispositivos electrónicos de control como PLC, IPC, PACS, entre otros; y las redes de sensores y actuadores, que son las redes de campo, que tienen como tarea intercomunicar los dispositivos electrónicos de control con los dispositivos de campo conectados al proceso, como relés, finales de carrera, entre otros [6], [7].

Nodo

Dentro de las redes de comunicación industrial, un nodo representa un dispositivo físico que se conecta e interactúa dentro de la red de comunicaciones. Un nodo es un punto de conexión generalmente con una dirección [6], [8].

Bus de Campo

El bus de campo es una topología de red de comunicaciones, ampliamente utilizada en procesos industriales. Se define como un protocolo de comunicaciones, en el cual, los nodos (en este caso, dispositivos de campo y de control) se encuentran conectados a un bus digital serial bidireccional, a través de enlaces individuales, para transmitir información entre ellos [6], [7], [9].

Protocolo de Comunicación

Los protocolos de comunicación son un conjunto de reglas y convenciones que dan soporte a la comunicación de datos en una red. Estos determinan el formato, la sincronización, la secuencia y el control de errores en la comunicación de datos entre equipos dentro de una red de comunicaciones [8], [7], [10].

Topología de red

Una topología de red, hace referencia a la disposición física de los equipos en la misma y la forma en como estos comparten información entre sí.[6] A nivel general son diversas las topologías de red que se pueden encontrar, varían según su aplicación, necesidades de uso, costos, tráfico de datos que soporte o su escalabilidad [6].

A continuación, se presentan algunas de las diferentes topologías de red disponibles con sus ventajas y desventajas.

Bus o línea troncal

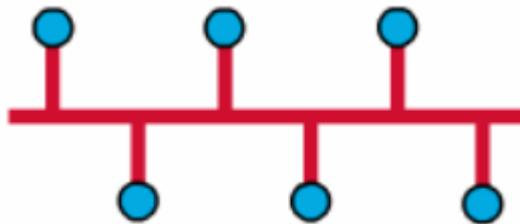


Figura 1. Topología Bus. Tomado de [22].

En esta topología los nodos se conectan a través de un Backbone (línea troncal), esta presenta varias ventajas, como la facilidad de conexión de nuevos dispositivos a la red, lo que la hace una topología bastante escalable y extensible, además de ser una topología que requiere muy poco cableado para su implementación, lo que la ha hecho atractiva para el uso industrial [6].

Sin embargo, es una topología que presenta varios detalles que se pueden considerar como desventajas, como el hecho de que si hay un fallo en el Backbone se vería afectada toda la red, que requiere el uso de terminadores, y que, a pesar de ser una red muy escalable, su desempeño disminuye a medida que se agregan más dispositivos a la red [6].

Topología en anillo

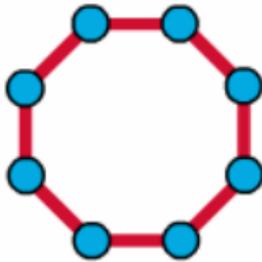


Figura 2. Topología en anillo. Tomado de [22].

En esta topología, los nodos se encuentran conectados unos con otros en forma circular, brindando la ventaja de no requerir enrutamiento, además de ser también una red fácilmente extensible debido a que cada nodo funciona como repetidor, lo que permite que el desempeño de la red no disminuya a medida que se agregan dispositivos. Sin embargo, es una red que presenta varias desventajas como la dificultad para detección de fallos, la falta de privacidad de comunicación entre nodos, y limitaciones de transferencia de información debido los datos solo fluyen en una dirección y la topología opera con el principio de token, es decir que un nodo solo puede enviar información a través de la red, cuando recibe dicho token, lo que la hace muy ineficiente [6].

Topología en estrella

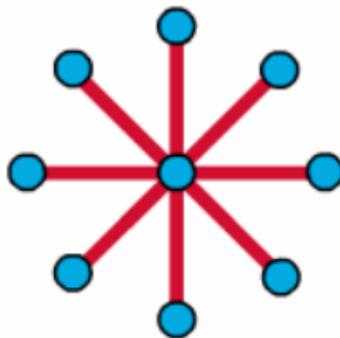


Figura 3. Topología en estrella. Tomado de [22].

En esta topología, todos los nodos se conectan y envían su información a un nodo central que se denomina concentrador, el cual se encarga de redirigirla a su destino. Esta presenta varias ventajas lo que la hacen ser una topología ampliamente utilizada, entre las que se destaca, la facilidad de implementación, la facilidad de detectar fallo, la posibilidad de desconectar nodos sin afectar toda la red por lo que el fallo en un nodo no me afectaría en nada el resto de la red. Sin embargo, también presenta algunas desventajas, en las que se puede destacar, que el fallo en el concentrador afecta toda la red, que se requiere un enrutamiento y que su desempeño disminuye a medida que se agregan dispositivos [6].

Topología en árbol o jerárquica

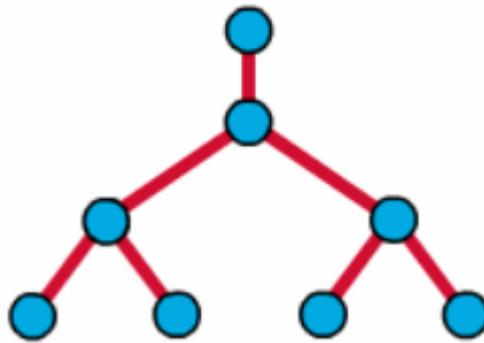


Figura 4. Topología en árbol. Tomado de [22].

Esta topología es un arreglo de redes en estrella, organizadas siguiendo una jerarquía. En esta red existe más de un concentrador, los cuales se encuentran todos conectados entre sí también de manera jerárquica. Esta topología presenta varias ventajas, al igual que la topología en estrella es una red fácil de implementar, que posibilita el desconectar nodos sin afectar la red, que da facilidad para identificar fallos, pero a diferencia de la topología en estrella, esta presenta facilidad de escalabilidad, y el fallo en un concentrador, no afectará necesariamente toda la red. Sin embargo, al igual que la topología en estrella, requiere de enrutamiento y su desempeño cae a medida que se agregan más dispositivos [6].

Topología en malla



Figura 5. Topología en malla. Tomado de [22].

En esta topología de red, todos los nodos presentes tienen un enlace punto a punto con los demás nodos de la red, esto trae consigo varias ventajas, como la alta tolerancia a fallo, posibilidad de desconectar nodos sin afectar el resto de la red, que el desempeño de la red no decaiga a medida que se adicionan más dispositivos y que haya privacidad de comunicación entre nodos. Sin embargo, esta tiene desventajas importantes, como el elevado costo y elevada complejidad para su implementación, resulta ser una red difícil de extender y escalar, y a largo plazo su mantenimiento resulta muy costoso [6].

Pirámide de automatización

La pirámide de automatización hace referencia a una estructura jerárquica de los diferentes niveles de procesamiento dentro de un ambiente industrial empresarial. La cual está conformada típicamente por 4 niveles [7].

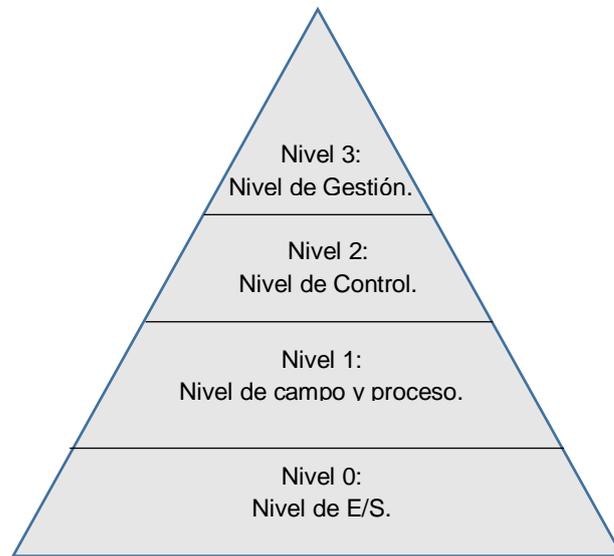


Figura 6. Pirámide de automatización, tomado de [7].

Modelo de intercambio de información

En una red de comunicaciones es necesario definir la manera como cada participante de la red transmitirá y/o recibirá su información correspondiente. Para ello existen los *modelos de intercambio de información*, los cuales definen la forma como estos participantes intercambiarán su información dentro de la red [11].

Existen diferentes modelos para el intercambio de información con características propias en cuanto a conectividad, distribución, procesamiento de datos, periodicidad del tráfico de información y sincronización de los subprocesos; y son estas características las que se deben tener en cuenta para su selección [9].

Modelo Cliente-Servidor

En el modelo cliente-servidor, el cliente es quien realiza las peticiones o solicitud de servicios, y el servidor, el cual es el encargado de manejar los recursos de la red, responde a dicha solicitud o petición [9].

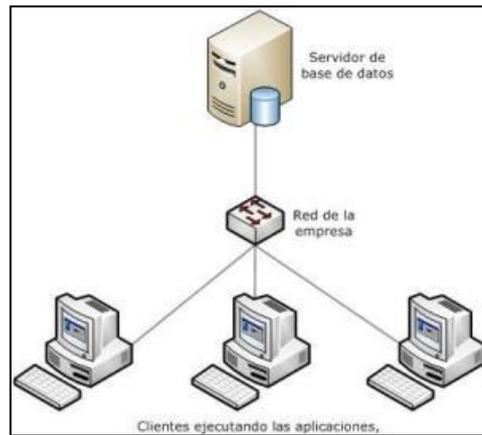


Figura 7. Modelo Cliente-Servidor, Tomado de [23].

En este modelo las solicitudes son tratadas de forma secuencial, y su comunicación se realiza punto a punto, y se basa en el principio de colas, con datos de entrada y de salida. Es un modelo apropiado para transferencia de grandes volúmenes de datos, sin embargo, si se requiere enviar el mismo dato a diferentes clientes se debe crear un paquete diferente para cada uno [9].

Modelo Productor-Consumidor

El modelo productor-consumidor utiliza grupos de buffers en el sistema de comunicación de cada participante. Cada uno de estos buffers corresponde a una variable de aplicación dentro del sistema, el productor deposita los datos en sus buffers de salida mediante una función local de escritura, la red se encarga de copiar estos datos en los buffers de entrada de los consumidores, los cuales toman estos datos por medio de una función local de escritura [9], [11].

Este modelo permite que múltiples nodos puedan consumir a la vez el mismo dato proporcionado por un productor, además presenta tiempos de respuesta mucho menor al estar los datos cargados y tomados solo cuando son necesarios, no requiere cableado adicional y permite mayor eficiencia en el ancho de banda de la red [9].

Modelos de referencia OSI y OSI reducido

El Modelo OSI (*Open system interconnection*) lanzado por la Organización Internacional para la estandarización ISO para interconexión de sistemas abiertos, es una estructura de 7 capas que define todos los métodos y protocolos para la comunicación de dispositivos en una red de comunicaciones de sistemas abiertos [12].



Figura 8. Modelo OSI de 7 capas, tomado de [9].

Modelo de referencia TCP/IP

El modelo TCP/IP, al igual que el modelo OSI es un modelo en capas, una colección de protocolos que se han especificado como estándares para la comunicación de dispositivos en una red local o de internet.



Figura 9. Modelo TCP/IP. Tomado de [9].

2. Capítulo II. Análisis del estado actual de las plantas de los laboratorios de control de procesos y máquinas eléctricas del DEIC

2.1. Reconocimiento y adquisición de información de los laboratorios de control de procesos y máquinas eléctricas

En esta etapa son definidos los elementos a tener en cuenta dentro de cada laboratorio, los cuales son:

- Plantas de procesos disponibles con su objetivo de función.
- Instrumentación disponible en cada planta de proceso.
- Equipos y arquitectura de red disponible.

2.1.1. Plantas de procesos disponibles

Inicialmente son identificadas las plantas de procesos disponibles dentro de los laboratorios de Control de procesos y Máquinas eléctricas, y que se incluirán en el proyecto, se indica su ubicación y su objetivo de funcionamiento. Estos datos fueron plasmados en la Tabla 1.

Tabla 1. Plantas de proceso, objetivo de funcionamiento y ubicación. (fuente propia.)

| Nombre | Objetivo de la planta | Ubicación. |
|-----------------------------|---|-------------------------------------|
| Planta de temperatura | Emular un sistema para control de la variable de proceso temperatura en diferentes puntos de un sistema. | Laboratorio de Control de procesos. |
| Planta de presión | Emular un sistema para el control de presión neumática, por acumulación de masa en un tanque repositario. | Laboratorio de Control de procesos. |
| Planta de tanques en serie. | Emular un proceso industrial de transferencia de fluidos desde un tanque a otro, realizando control de las variables flujo y nivel. | Laboratorio de Control de procesos. |
| Planta de nivel Amatrol | Emular un proceso industrial para el control de las variables nivel y flujo. | Laboratorio de Control de procesos. |

| | | |
|---|--|-------------------------------------|
| Planta multivariable. | Emular un sistema de múltiples entradas y salidas (MIMO) que permite ver el efecto y la relación de múltiples variables en un proceso. | Laboratorio de Control de procesos. |
| Planta convertidor giratorio de frecuencia. | Mostrar los elementos que afectan la frecuencia de la red eléctrica en un proceso de generación de electricidad. | Laboratorio de Máquinas eléctricas. |
| Planta de clasificación. | Emular un proceso de clasificación de productos según especificaciones del usuario. | Laboratorio de Máquinas eléctricas. |
| Estación virtual 1 | Simular una planta de vacío y embalaje. | Laboratorio de Máquinas eléctricas. |
| Estación virtual 2 | Simular una planta de clasificación por peso. | Laboratorio de Máquinas eléctricas. |
| Estación virtual 3 | Simular una planta ensambladora de circuitos. | Laboratorio de Máquinas eléctricas. |

Esta información fue recolectada mediante inspección visual, del inventario suministrado por el laboratorista y de información encontrada en el sitio web de uno de los docentes a cargo de las asignaturas dirigidas en mencionados laboratorios [13].

2.1.2. Instrumentación disponible en cada planta

Luego de identificar las plantas que serán involucradas en el proyecto, su objetivo y su ubicación, son identificados todos los instrumentos disponibles, las variables de proceso, las señales de entrada y salida (I/O) y las tags de equipos en cada planta.

Esta información se estructuró en la Tabla 2.

Tabla 2. Instrumentación disponible, variables de proceso y tags de equipos en cada planta. (fuente propia)

| Planta | Equipos | Entrada | Salida | Tag |
|-----------------------------|--|----------------------|--|-------------------------------|
| Planta de temperatura | Transmisor Indicador de Temperatura SIGNET 8350-3 | Δ temperatura | 4-20mA | TIT-1 TIT-2 |
| | Transmisor indicador de temperatura Thermophant T TTR31 | Δ temperatura | Ang. $\leq 3.6\text{mA(MIN)}$ $\geq 21.\text{mA(MAX)}$ | TIT-3 TIT-4 TIT-5 |
| | Actuador Resistencia de Estufa de 220 Vac | 220 Vac | Δ temperatura | TZ1 TZ2 |
| | sensor de temperatura por inyección. | Δ temperatura | S3L 9600B/S 4-20mA | TE1 TE2 |
| | Ventiladores 12 Vdc | 12 Vdc | - | M1 M2 M3 |
| | Ventilador 220 Vac | 220 Vac | - | M |
| | HMI Siemens KTP1200 | 220Vac | - | - |
| | PLC Micrologix 1500 | 4-20 mA | 0-10V | TC1 |
| | PLC Siemens SIMATIC S7 1500 | Digitales | Digitales | TC2 |
| Planta de presión | Válvula Solenoide de Posición (Electroválvula) | 0-10Vdc | %Apertura | FCV-201 |
| | Transmisor de Presión ABB | Δ presión | 4-20 mA | PT-201 |
| | Transmisor de temperatura PT100 TMT-180-A11 | Δ temperatura | 4-20mA | TT-201 |
| | PLC Micrologix 1500 | 4-20 mA | 0-10V | XC-201 |
| | Tanque de almacenamiento | - | - | TK-101 |
| Planta de tanques en serie. | Transmisor de Flujo +GF+ SIGNET 8550 Process Flow Transmitter | 4-20 mA | 4-20 mA | - |
| | Transmisor de Presión Diferencial Modelo EJA100A | Δ presion | 4-20 mA | - |
| | Actuador Válvula Solenoide 2 W | 110 Vac | % Apertura | SV3 |
| | Actuador Motobomba CZERWENY (Electrobombas Periféricas DKM 60-1) | 110 Vac | 0.5 hp 0.35 L/min | M |
| | Actuador Servo válvula | 0-5 Vdc | % Apertura | SV1, SV2,LCV |
| | Sensor de Flujo SFI-800 & SFI-801 Sign Flow Indicator | 0-60 L/min | 4-20 mA | FE |
| | PanelView 600 | 24 Vdc | - | - |
| | PLC Micrologix 1500 | 4-20 mA | 0-10V | C |
| Planta de nivel Amatrol | Actuador Válvula Solenoide ASCO Red- Hat T760832 | 110 Vac | Posición abierta o cerrada | SV-100A SV-100B SV-100C |

| | | | | |
|---|---|-------------------------|--|----------------------|
| | Actuador Válvula de control de flujo Vc-24CB-BL | 3 - 15 psi | %Apertura | FCV-100 |
| | Convertor de Corriente a Presión I/P | 4-20 mA | 3-15 psi | IY-100 |
| | Medidor de Flujo FB-85-EC-PF | 0-2 gpm | 0-2 gpm | FI100 |
| | Sensor de flujo | Δ flujo | 2970.77 - 31837.19 ppm | FE100 |
| | Transmisor Indicador de Flujo | 2970.77 - 31837.19 ppm | 4-20mA | FIT-100 |
| | Motobomba 16J14 20 01727W | 110 Vac | - | - |
| | Switch de nivel tipo flotador. | Estado On/Off | Estado On/Off | LSH-200A LSH-200B |
| | Sensor de Nivel Ultrasónico | 20-30 Vdc | 4-20 mA o 0-10 Vdc | LET-200A LET-200B |
| | Transmisor Digital de Flujo | | 4-20 mA | - |
| | Controlador PID integrado | | | - |
| Planta multivariable. | Sensor SRF 06 Ultra Sonic Ranger | Δ Nivel | 4-20 mA | LE1, LE2, LE3, LE4 |
| | Sensor de Flujo SFI-800 & SFI-801 Sign Flow Indicator | Δ flujo | Tren de pulsos de 5 Vdc 1-10 Vdc | FE-101 |
| | LSH-200A | Δ Flujo | Onda Sinusoidal 5-8 Vpp | FE-102 |
| | Transmisor de flujo Signet 8550-3 Transmisor de Flujo | Δ voltaje | 4-20mA | FIT-102 |
| | Actuador Motobomba FEDERALLI | 110 Vac | - | PP1 |
| | Actuador Motobomba EVANS | 110Vac | - | PP2 |
| | Actuador Válvula Solenoide EBCHQ | 110 Vac | %Apertura | SV1, SV2, SV3, SV4 |
| | PLC Micrologix 1500 | 4-20 mA | 0-10V | PLC |
| Planta convertidor giratorio de frecuencia. | Rotary Encoder G40B-6-400-2-24 | 24 Vdc | NPN salida tipo colector abierto. 400 pulsos / revolución | SE |
| | Variador de frecuencia Power Flex 4 22F-A8 serie A | 200-248 Vac 48-63 Hz | 3 fases 0-400 Hz | SIC2 |
| | Variador de frecuencia Power Flex 4 22F-V1 serie A | 100-115 Vac 48-63 Hz | 3 fases 0-400 Hz | SIC1 |
| | Interruptor Automático Doble SASSIN 3SB5-63-C6 | 120 Vac | 110 Vac | F1 |
| | Interruptor Automático Doble Schneider Dom A62 | 220 Vac | 220 Vac | F2 |

| | | | | |
|--------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| | Motor de Inducción Jaula de Ardilla 8221-00 Cuatro Polos | Trifásica 120 - 208 Vac 60 Hz | 1670 rpm | MC |
| | Motor Síncrono 8241-00 Motor Síncrono/ Generador | Trifásica 120 - 208 Vac 60 Hz | 1800 rpm | MM |
| | Motor de Inducción de Rotor Devanado 8231-00 Tres Fases | 120-208 Vac | 1500 rpm | MG |
| | PLC Micrologix 1100 | 10 Dig - 2 Ang | 6 Digitales | SC |
| Planta de clasificación. | Motor Trifásico BaldorElectricCo M3461 W186 | 220 Vac | | M3 |
| | Encoder incremental DRC C152-421 1000-120CLL | Δ velocidad | 1028 pulsos por revolución | ENC |
| | Motor monofásico | 110 Vac. | 0 - 200 rpm | MD,MR |
| | Cilindro neumático 1 | Δ presión | Recorrido 16 mm x 200 mm | CN1 |
| | Cilindro neumático 2 | Δ presión | Recorrido 32 mm x 350 mm | CN2 |
| | Electro Válvula Neumática 5/2 | 110 Vac | 1.5 - 8 kgf/cm ² | E-VAL2 |
| | Electro Válvula Neumática 5/3 | 110 Vac | 3-7 kgf/cm ² | E-VAL1 |
| | Electro Válvula Neumática NC | 110 Vac | 0-7 Kgf/cm ² | E-VALD |
| | Sensores ópticos Allen Bradley 42EF-D1jbak-f4 | | | S1, S2, S3, S4, S5 |
| | PLC Telemecanique TWDLCAA40DRF | Digitales | Tipo relé | PLC |
| Estación virtual 1 | Equipo de cómputo. | 110 Vac | | - |
| | PLC Micrologix 1100 | 10 Dig - 2 Ang | 6 Digitales | - |
| Estación virtual 2 | Equipo de cómputo. | 110 Vac | | - |
| | PLC Micrologix 1101 | 10 Dig - 2 Ang | 6 Digitales | - |
| Estación Virtual 3 | Equipo de cómputo. | 110 Vac | | - |
| | PLC Micrologix 1102 | 10 Dig - 2 Ang | 6 Digitales | - |

Esta información fue recolectada del inventario suministrado por el laboratorista, de los documentos técnicos de cada planta disponibles dentro del laboratorio y mediante inspección visual de los equipos.

2.1.3. Equipos de red disponibles

Posteriormente son identificados los tendidos de red y equipos de red disponibles dentro de los laboratorios, tanto los que están ubicados en las plantas de procesos, como los que están sin utilizar. Estos datos se consolidaron en las siguientes tablas: Tabla 3, que suministra la información correspondiente al laboratorio de control de procesos (sala 312) y Tabla 4 con la información correspondiente al laboratorio de máquinas eléctricas (sala 313).

Tabla 3. Equipos de red en laboratorio de control de procesos sala 312. (fuente propia.)

| Planta | Equipo | Descripción | Estado |
|-------------------------------------|---|--|-----------|
| Arquitectura de red. | Canaleta tendida por la sala. | 5 cajillas de conexión a lo largo de la canaleta. | Funcional |
| | Tendido de red para DH-485 | Cuenta con 8 conectores DB9 en 4 cajillas, 2 por cada una. | Funcional |
| | Tendido de red para DeviceNet | Cuenta con 4 conectores cerrado/abierto, de los cuales 3 son inversos, y se encuentran distribuidos 1 conector por cada cajilla, además cuenta con 1 terminador de red en la quinta cajilla. | Funcional |
| Equipos Planta de temperatura. | PLC MicroLogix 1500 | Controlador que integra interfaz de comunicación para DH-485 | Funcional |
| | PLC Siemens Simatic S7-1500 | Controlador lógico programable con interfaz para Ethernet | Funcional |
| | Switch de red | Switch con 8 puertos de comunicación EtherNet | Funcional |
| | HMI Siemens KTP 1200 | HMI Con interfaz de comunicación RS-485 | Funcional |
| | Módulo de Comunicación Allen- Bradley 1761-NET-AIC | Módulo de comunicación con interfaz para DH-485 y RS-232 | Funcional |
| Equipos Planta de presión | Módulo AIC+ Advance Interface Converte 1761-NET-AIC | Módulo de comunicación con interfaz para DeviceNet y DH-485 | Funcional |
| | PLC MicroLogix 1500 | Controlador que integra interfaz de comunicación para DH-485. | Funcional |
| | Módulo de Comunicación Allen- Bradley 1761-NET-ENI | Módulo de comunicación EtherNet/IP | Funcional |
| Equipos Planta de tanques en serie. | Módulo Escáner Compact I/O DeviceNet 1769-SDN | Módulo de red compacto para comunicación DeviceNet de PLC MicroLogix 1500 | Funcional |
| | PLC Micrologix 1500 | Controlador que integra interfaz de comunicación para DH-485 | Funcional |
| | Panel View 600 | Panel View 600 Allan Bradley con interfaces de comunicación para DeviceNet y puerto RS-232 | Funcional |

| | | | |
|---------------------------------|---|--|-------------|
| | Módulo AIC+ Advance Interface Converte 1761-NET-AIC | 2 Módulos de comunicación con interfaz para DH-485 y RS-232 | Funcional |
| Equipos Planta de nivel Amatrol | PLC con Pantalla HMI Ultronics | Controlador PID integrado al equipo, con puerto de comunicación EtherNet | Funcional |
| | Interface para PLC | La planta trae interfaz para incorporar otro PLC | Funcional |
| Equipos Planta multivariable. | PLC MicroLogix 1500 | Controlador que integra interfaz de comunicación para DH-485 | Funcional |
| | Módulo Allen Bradley 1734 - FPD | Módulo de distribución de potencia de campo. | Funcional |
| | Módulo de Comunicación Allen- Bradley 1734-ADN | Adaptador de Módulos I/O para acceso a red DeviceNet | Funcional |
| Equipos de red sin utilizar. | Módulo AIC+ Advance Interface Converte 1761-NET-AIC | 3 unidades disponibles. | Funcionales |

Tabla 4. Equipos de red en laboratorio de máquinas eléctricas. (fuente propia.)

| Planta | Equipo | Descripción. | Estado |
|---|-------------------------------|--|-----------|
| Arquitectura de red. | Canaleta tendida por la sala | 2 cajillas de conexión a lo largo de la canaleta | Funcional |
| | Tendido de red para DH-485 | Cuenta con 3 conectores DB9, 2 en una cajilla, y 1 en la otra | Funcional |
| | Tendido de red para DeviceNet | Cuenta con 2 conectores, 1 Abierto, y otro Cerrado/abierto de los cuales 3 son inversos y además 1 terminador de red | Funcional |
| Equipos Planta convertidor giratorio de frecuencia. | Controlador Micrologix 1100 | Controlador lógico programable con interfaz de comunicación DH-486 y EtherNet | Funcional |
| Equipos Planta de clasificación. | PLC Twido TWDL | Controlador lógico programable con interfaz de programación RS-485 | Funcional |
| Equipos Estación virtual 1 | Ordenador de escritorio PC1 | Computador de escritorio LENOVO | Funcional |

| | | | |
|------------------------------|--|---|-----------|
| | PLC Micrologix 1100 | Controlador lógico programable con interfaz de comunicación DH-486 y EtherNet | Funcional |
| Equipos Estación virtual 2 | Ordenador de escritorio PC2 | Computador de escritorio LENOVO | Funcional |
| | PLC Micrologix 1100 | Controlador lógico programable con interfaz de comunicación DH-486 y EtherNet | Funcional |
| Equipos Estación virtual 3 | Ordenador de escritorio PC3 | Computador de escritorio LENOVO | Funcional |
| | PLC Micrologix 1100 | Controlador lógico programable con interfaz de comunicación DH-486 y EtherNet | Funcional |
| Equipos de red sin utilizar. | PLC ControlLogix 5000 | Controlador lógico programable con módulos de expansión para comunicación DH-485, DeviceNet, y EtherNet | Funcional |
| | Módulo Allen Bradley 1734 - FPD | Módulo de distribución de potencia de campo. | Funcional |
| | Módulo de Comunicación Allen- Bradley 1734-ADN | 2 Adaptadores de I/O para acceso a red DeviceNet. | Funcional |

2.1.4. Distribución física de plantas y red disponible

Con la información de las diferentes plantas y tendidos de red y equipos disponibles que se involucrarán en el proyecto, se procede a levantar un plano de la distribución física de cada planta, así como del tendido de red disponible a lo largo de los dos laboratorios, el cual se presenta en la Figura 10.

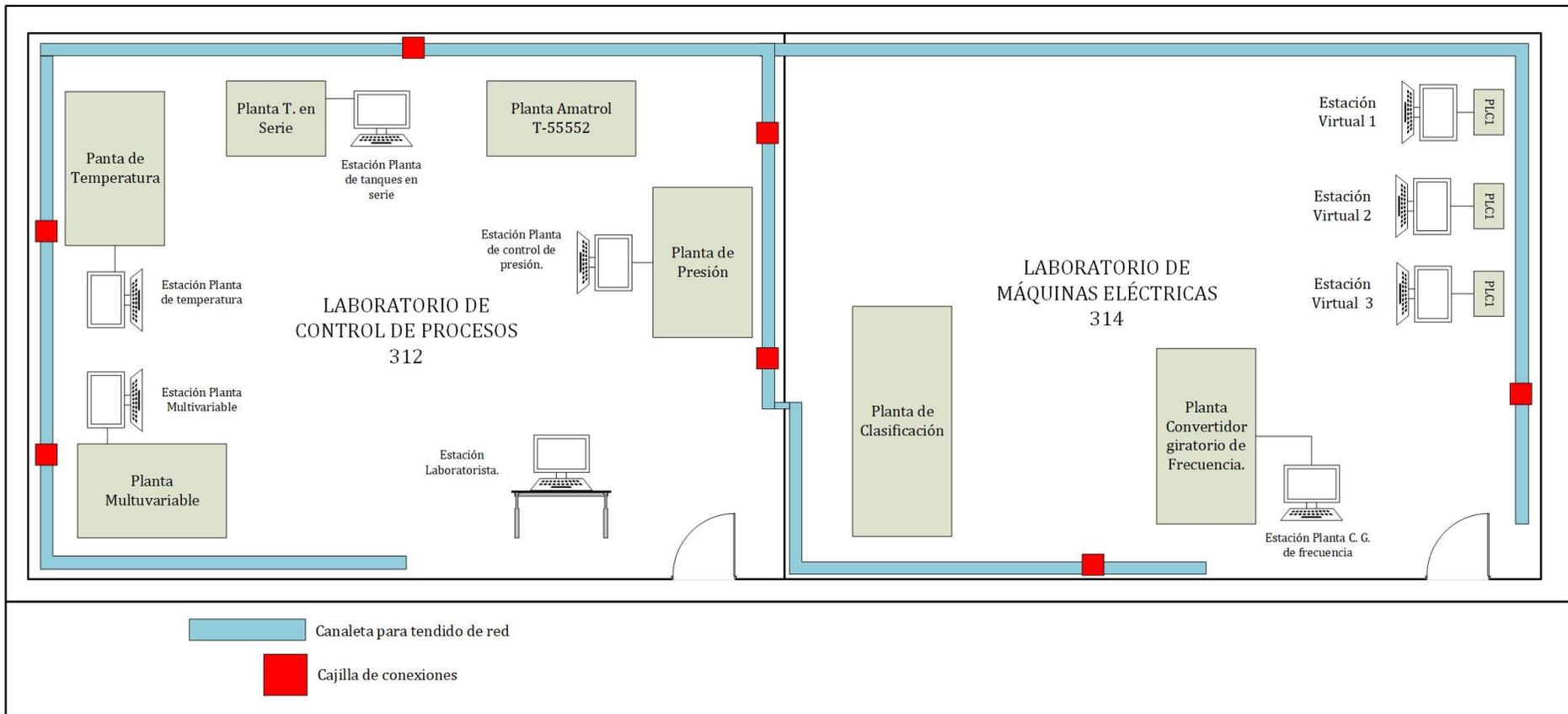


Figura 10. Distribución física de las plantas y tendidos de red a lo largo de los laboratorios de Control de procesos y Máquinas eléctricas. (fuente propia).

3. Capítulo III. Desarrollo técnico. Formulación de Requerimientos técnicos y operativos para el diseño de la arquitectura

Con la etapa de recolección de información fue posible esclarecer cuales son los procesos que se desarrollan dentro de los laboratorios, la instrumentación, los equipos y las señales que están involucradas en cada proceso individual. Dando así una vista general y completa de todos los parámetros que deberán ser incluidos en el proyecto. Esto permite plantear requerimientos y criterios de diseño para posteriormente presentar alternativas de solución.

3.1. Requerimientos técnicos y criterios de diseño para la arquitectura

Los requerimientos y criterios de diseño de la arquitectura son definidos en consecuencia y atendiendo a las solicitudes realizadas por parte del Asesor de empresa.

R1. Inclusión de todas las señales de proceso identificadas.

La arquitectura debe permitir la incorporación de todas las variables de proceso para su monitoreo y gestión.

R2. Escalabilidad de la red.

Hace referencia a la posibilidad de incorporar nuevos recursos y nuevos usuarios ante la necesidad de nuevos servicios, conservando su eficiencia ante este aumento de recursos o usuarios [5].

R3. Extensibilidad de la red.

La extensibilidad o apertura en una red, se da en el momento es que se pueden agregar nuevos servicios que impliquen recursos compartidos, sin duplicar dichos recursos, sean hardware o software [5].

R4. Tendencia en la industria.

La arquitectura debe ir acorde con las tendencias actuales en uso de equipos, herramientas software y redes de comunicación en la industria.

R5. Máximo aprovechamiento de los recursos disponibles en los laboratorios.

Se requiere que la arquitectura permita aprovechar al máximo cada uno de los recursos disponibles en los laboratorios para su uso educativo.

3.2. Clasificación de señales que intervendrán en la arquitectura

De la información recolectada, se procedió a clasificar de cada planta, los equipos y las señales que se deben incluir en la arquitectura. Esta información se estructuró en las siguientes tablas: Tabla 5, con los equipos de la planta de temperatura, Tabla 6, con los equipos de la planta de tanques en serie, Tabla 7, con los equipos de la planta de nivel Amatrol, Tabla 8, con los equipos de la planta multivariable, Tabla 9, con los equipos de la planta de presión, Tabla 10, con los equipos de la planta Convertidor giratorio de frecuencia, Tabla 11, con los equipos de las estaciones virtuales 1, 2 y 3; y la Tabla 12 con los equipos de la planta de clasificación.

Planta de temperatura

Tabla 5 Clasificación de señales y equipos Planta de Temperatura.

| Equipos | Tipo de señal | Rango |
|---|--------------------|--|
| Transmisor Indicador de Temperatura SIGNET 8350-3 | Analógica | 4 - 20 mA |
| Transmisor indicador de temperatura Thermophant T TTR31 | Analógica | ≤3.6mA(MIN) ≥21.mA(MAX) |
| Actuador Resistencia de Estufa de 220 Vac | Eléctrica | 220 Vac |
| sensor de temperatura por inyección. | Analógica | S ³ L 9600 B/S 4 – 20 mA |
| Ventiladores 12 Vdc | Eléctrica | 12 Vdc |
| Ventilador 220 Vac | Eléctrica | 220 Vac |
| HMI Siemens KTP1200 | Digital/Eléctrica. | 220 Vac |
| PLC Micrologix 1500 | Digital/Eléctrica. | - |
| PLC Siemens SIMATIC S7 1500 | Digital/Eléctrica. | - |

Planta de tanques en serie

Tabla 6. Clasificación de señales y equipos Planta de Tanques en Serie.

| Equipos | Tipo de señal | Rango |
|--|---------------|---------|
| Transmisor de Flujo +GF+ SIGNET 8550 <i>Process Flow Transmitter</i> | Analógica | 4-20 mA |
| Transmisor de Presión Diferencial <i>Model EJA100A</i> | Analógica | 4-20 mA |
| Actuador Válvula Solenoide 2 W | Eléctrica | 110 Vac |
| Actuador Motobomba CZERWENY (Electrobombas Periféricas DKM 60-1) | Eléctrica. | 110 Vac |

| | | |
|---|--------------------|---------|
| Actuador Servoválvula | Digital | 0-5 Vdc |
| Sensor de Flujo SFI-800 & SFI-801 <i>Sign Flow Indicator</i> | Analógica | 4-20 mA |
| <i>Panel View</i> | Digital-eléctrica. | - |
| PLC Micrologix 1500 | Digital-Eléctrica | - |

Planta de Nivel Amatrol

Tabla 7. Clasificación de señales y equipos Planta Amatrol T-55552.

| Equipos | Tipo de señal A/D | Rango |
|---|----------------------|------------------------|
| Actuador Válvula Solenoide ASCO Red- Hat T760832 | Eléctrica | 110 Vac |
| Actuador Válvula de control de Flujo Vc-24CB-BL | Analógica | 3-15 psi |
| Convertor de Corriente a Presión I/P | Analógica | 4-20mA – 3-15 psi |
| Sensor de flujo | Analógica | 2970.77 - 31837.19 ppm |
| Transmisor Indicador de Flujo | Analógica | 4-20 mA |
| Motobomba 16J14 20 01727W | Eléctrica | 110 Vac |
| Switch de nivel tipo flotador. | Digital | On/Off |
| Sensor de Nivel Ultrasónico | Analógica/Digital. | 4-20 mA / 0-10 Vdc |

Planta Multivariable

Tabla 8. Clasificación de señales y equipos Planta Multivariable.

| Equipos | Tipo de señal A/D | Rango |
|--|----------------------|--|
| Sensor SRF 06 Ultra Sonic Ranger | Analógica | 4-20 mA |
| Sensor de Flujo SFI-800 & SFI-801 Sign Flow Indicator | Digital | Tren de pulsos de 5 Vdc 1-10 Vdc |
| LSH-200A | Analógica | Onda Sinusoidal 5-8 Vpp |
| Transmisor de flujo Signet 8550-3 Transmisor de Flujo | Analógica | 4-20mA |
| Actuador Motobomba FEDERALLI | Eléctrica | 110 Vac |
| Actuador Motobomba EVANS | Eléctrica | 110 Vac |
| Actuador Válvula Solenoide EBCHQ | Eléctrica | 110 Vac |
| PLC Micrologix 1500 | Digital-Eléctrica | - |

Planta de Presión

Tabla 9. Clasificación de señales y equipos Planta de Presión.

| Equipos | Tipo de señal A/D | Rango |
|--|-------------------|----------|
| Válvula Solenoide de Posición (Electroválvula) | Digital. | 0-10 Vdc |
| Transmisor de Presión ABB | Analógica. | 4-20 mA |
| Transmisor de temperatura PT100 TMT-180-A11 | Analógica. | 4-20 mA |
| PLC Micrologix 1500 | Digital/eléctrica | - |

Planta Convertidor giratorio de frecuencia

Tabla 10. Clasificación de señales y equipos Planta Convertidor giratorio de frecuencia.

| Equipos | Tipo de señal A/D | Rango |
|--|-------------------|-----------------------|
| Rotary Encoder G40B-6-400-2-24 | Digital | 400 Pulsos/revolución |
| Variador de frecuencia Power Flex 4 22F-A8 serie A | Analógica | Trifásica 0-400 Hz |
| Variador de frecuencia Power Flex 4 22F-V1 serie A | Analógica | Trifásica 0-400 Hz |
| Interruptor Automático Doble SASSIN 3SB5-63-C6 | Eléctrica | 110 Vac |
| Interruptor Automático Doble Schneider Dom A62 | Eléctrica | 220 Vac |
| Motor de Inducción Jaula de Ardilla 8221-00 Cuatro Polos | Eléctricas | 110 Vac |
| Motor Síncrono 8241-00 Motor Síncrono/ Generador | Eléctricas | 110 Vac |
| Motor de Inducción de Rotor Devanado 8231-00 Tres Fases | Eléctricas | 110 Vac |
| PLC Micrologix 1100 | Eléctrica/Digital | - |

Estaciones virtuales 1, 2 y 3

Tabla 11. Clasificación de señales y equipos, Estaciones virtuales.

| Equipos | Tipo de señal A/D | Rango |
|---------------------|-------------------|-------|
| PLC Micrologix 1100 | Eléctrica/Digital | - |
| PLC Micrologix 1100 | Eléctrica/Digital | - |
| PLC Micrologix 1100 | Eléctrica/Digital | - |

Planta de Clasificación

Tabla 12. Clasificación de señales y equipos Planta de Clasificación.

| Equipos | Tipo de señal A/D | Rango |
|---|-------------------|------------------------|
| Motor Trifásico BaldorElectricCo M3461 W186 | Eléctrica | 220 Vac |
| Encoder incremental DRC C152-421 1000-120CLL | Digital | 1028 pulsos/revolución |
| Motor monofásico | Eléctrica | 110 Vac |
| Electro Válvula Neumática 5/2 | Eléctrica | 110 Vac |
| Electro Válvula Neumática 5/3 | Eléctrica | 110 Vac |
| Electro Válvula Neumática NC | Eléctrica | 110 Vac |
| Sensores ópticos Allen Bradley 42EF-D1jbak-f4 | Digital | - |
| PLC Telemecanique TWDLCAA40DRF | Eléctrica/Digital | - |

3.3. Definición de topologías a utilizar y número de nodos

Para la definición de topologías de red a utilizar en la arquitectura, y el número de nodos, son definidos inicialmente los niveles de la pirámide de automatización contemplados dentro de la arquitectura y posteriormente se proponen distintas alternativas de arquitecturas posibles, con sus respectivas topologías por niveles y sus respectivos números de nodos.

Niveles definidos para la arquitectura

Para la arquitectura a diseñar, son definidos 3 niveles siguiendo como referencia la pirámide de automatización presentada en la Figura 6.

Nivel 1: Nivel Físico

En este nivel se acoplarán los niveles 0 y 1 de la pirámide de automatización presentada en la Figura 7. En él se adicionarán todos los equipos sensores/actuadores de campo.

Nivel 2: Nivel de Control

En este nivel de control, se alojarán todos los dispositivos de control (PLC's) de cada planta dentro de los laboratorios.

Nivel 3: Nivel de Gestión

El nivel de gestión es en donde se alojarán las diferentes unidades terminales maestras MTU y se ejecutarán diferentes servicios sobre los equipos y las plantas en la arquitectura.

Con los niveles de la arquitectura definidos, es posible presentar propuestas de arquitecturas con topologías definidas y número de nodos.

3.4. Propuestas de arquitecturas

A continuación, se presentan 2 propuestas de arquitecturas posibles de implementar. Se especifica por cada nivel las características generales, la topología a utilizar, el número de nodos y algunos servicios que puede ofrecer.

Estas propuestas son planteadas teniendo en cuenta los criterios de diseño presentados en la sección 3.1.1. Además, se presenta una comparación de características entre ambas arquitecturas, ventajas y desventajas de cada una.

Propuesta Número 1

La arquitectura de red propuesta se presenta en la Figura 11, donde se visualiza por niveles la topología de red y los nodos incorporados.

Nivel Físico

El Objetivo de la arquitectura para el nivel físico es incorporar todos los dispositivos de campo a la red, reducir el cableado, lograr una óptima transmisión de información para los siguientes niveles. Además de ello, incorporar un Panel View para supervisión y/o gestión de más de un proceso.

Topología

Es definida una topología de **bus o línea troncal con derivaciones segmentada en 2**, con el fin de evitar problemas de sobrecarga en los buses. Basados en los criterios de selección, esta topología presenta varias ventajas, como poco uso de cable, facilidad de escalabilidad y alta extensibilidad. Además, en cada laboratorio se cuenta con un bus instalado.

Número de nodos

Son definidos **12 nodos**, en los cuales son incorporados, los dispositivos de campo sensores/actuadores en cada planta, mediante la conexión de estos por módulos I/O que transmitirán sus datos a través de un adaptador de acceso al bus; los controladores de cada planta, conectados por medio de un scanner para

acceso al bus, un *PanelView* y 2 estaciones de configuración de red, 1 para cada segmento de red.

Nivel de Control

El objetivo del nivel de control es brindar universalidad en la red, es decir, permitir la incorporación controladores de diferentes fabricantes y a futuro más equipos de red sin ningún inconveniente.

Topología

Es definida una **topología en estrella**, esto pensando en una óptima adquisición de información para los siguientes niveles, su facilidad de implementación y facilidad de detección de fallos.

Número de nodos

Son definidos **13 nodos** donde se incorporarán, los controladores de todas las plantas, el switch de comunicación al nivel de gestión y la estación de configuración de red.

Nivel de Gestión

El objetivo del nivel de gestión es incorporar una o más unidades Terminales Maestras (MTU), que a futuro permitan ejecutar servicios como supervisorios de los procesos, gestión de históricos, servicios de alarmas, base de datos de proceso, entre otros.

Topología

Es definida una **topología en estrella**, que soporte la incorporación de una o más unidades terminales maestras MTU.

Número de nodos

Son definidos **2 nodos** donde son incorporados, una MTU y el switch de comunicación al nivel de control.

Cumplimiento De Los Criterios Establecidos

En la Tabla 13 se presenta el cumplimiento o no de los requerimientos y criterios de diseño definidos.

Tabla 13. Cumplimiento de requerimientos propuesta número 1.

| Requerimiento. | Cumple | No cumple | Descripción. |
|---|--------|-----------|---|
| R1. Inclusión de todas las señales de proceso identificadas | X | | La arquitectura permite incorporar y gestionar todos los dispositivos de campo. |
| R2. Escalabilidad de la red | X | | La arquitectura permite en todos los niveles, la adición un gran número de equipos, de múltiples fabricantes sin afectar el rendimiento de la red. |
| R3. Extensibilidad de la red. | X | | La arquitectura permite la adición de múltiples servicios por cada nivel sin afectar el rendimiento de la red ni los equipos en ella. |
| R4. Tendencia en la industria. | X | | La arquitectura utiliza estándares de comunicación altamente utilizados en la industria actualmente que permiten la transmisión de datos a altas velocidades. |
| R5. Máximo aprovechamiento de los recursos disponibles en los laboratorios. | X | | La arquitectura utiliza todos los equipos disponibles en los laboratorios y resulta muy versátil para uso educativo. |

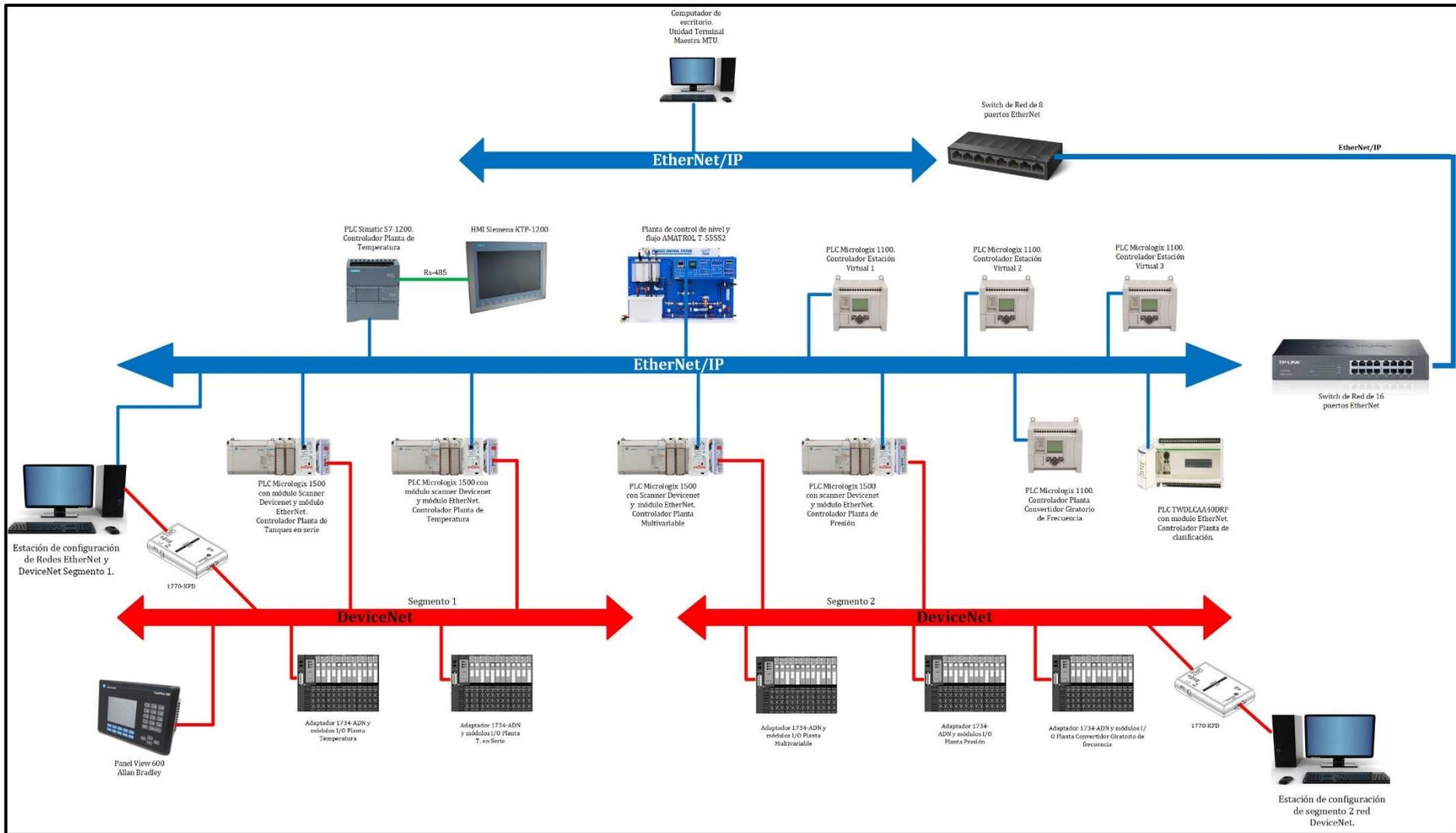


Figura 11. Propuesta de arquitectura número 1. (fuente propia.)

Propuesta Número 2

La arquitectura de red propuesta se presenta en la Figura 12, donde se visualiza por niveles la topología de red y los nodos incorporados.

Nivel Físico

El objetivo del nivel físico es incorporar todos los dispositivos de campo a la red, reducir al máximo el cableado, lograr una óptima transmisión de información para los siguientes niveles. Además, incorporar un *PanelView* para la supervisión y/o gestión de más de 1 proceso.

Topología

Es definida una topología de **bus o línea troncal con derivaciones**, por las ventajas en la instalación que esta representa, poco uso de cable, facilidad de escalabilidad, alta extensibilidad, además también cada uno de los laboratorios cuenta con un bus instalado.

Número de nodos

Son definidos **8 nodos**, en los cuales se incorporarán, los dispositivos de campo sensores/actuadores en cada planta, mediante la conexión de estos por módulos I/O que transmitirán sus datos a través de un adaptador de acceso al bus; un *PanelView*, un controlador que funcionará como servidor-pasarela al siguiente nivel, y una estación de configuración del bus.

Nivel de control

El objetivo del nivel de control es brindar universalidad en la red, es decir, permitir la incorporación controladores de diferentes fabricantes y a futuro más equipos de red sin ningún inconveniente.

Topología

Es definida una topología en estrella, pensando en una óptima adquisición de información de los 3 niveles, su facilidad de implementación, y facilidad de detección de fallos.

Número de nodos

Son definidos **14 nodos**, en los cuales se incorporarán los controladores de todas las plantas, con ayuda de módulos de comunicación; el controlador server-pasarela, el switch de comunicación al nivel de gestión y la estación de configuración de red.

Nivel de gestión

El objetivo del nivel de gestión es incorporar una o más unidades Terminales Maestras, que a futuro permitan ejecutar servicios como supervisorios de los procesos, gestión de históricos, servicios de alarmas, base de datos de proceso, entre otros.

Topología

Es definida una topología en estrella, pensando en la facilidad de integración con los demás niveles, y que además soporte la incorporación de 1 o más unidades terminales maestras MTU.

Número de nodos

Son definidos **2 nodos**, en los que se incorporan la MTU, y el switch de nivel de control.

Cumplimiento De Los Criterios Establecidos.

En la Tabla 14 se presenta el cumplimiento o no de los requerimientos y criterios de diseño definidos.

Tabla 14. Cumplimiento de requerimientos propuesta número 2.

| Requerimiento. | Cumple | No cumple | Descripción. |
|---|--------|-----------|---|
| R1. Inclusión de todas las señales de proceso identificadas | X | | La arquitectura permite incorporar y gestionar todos los dispositivos de campo. |
| R2. Escalabilidad de la red | X | | La arquitectura permite la adición un gran número de equipos, de múltiples fabricantes en todos los niveles sin afectar el rendimiento de la red. |
| R3. Extensibilidad de la red. | X | | La arquitectura permite implementar múltiples servicios en cada nivel sin afectar el rendimiento de la red ni a los equipos en ella. |
| R4. Tendencia en la industria. | X | | La arquitectura utiliza estándares de comunicación acordes con las tendencias en la industria que permiten la transmisión de datos a altas velocidades. |
| R5. Máximo aprovechamiento de los recursos disponibles en los laboratorios. | X | | La arquitectura utiliza todos los equipos disponibles en los laboratorios y resulta muy versátil para uso educativo. |

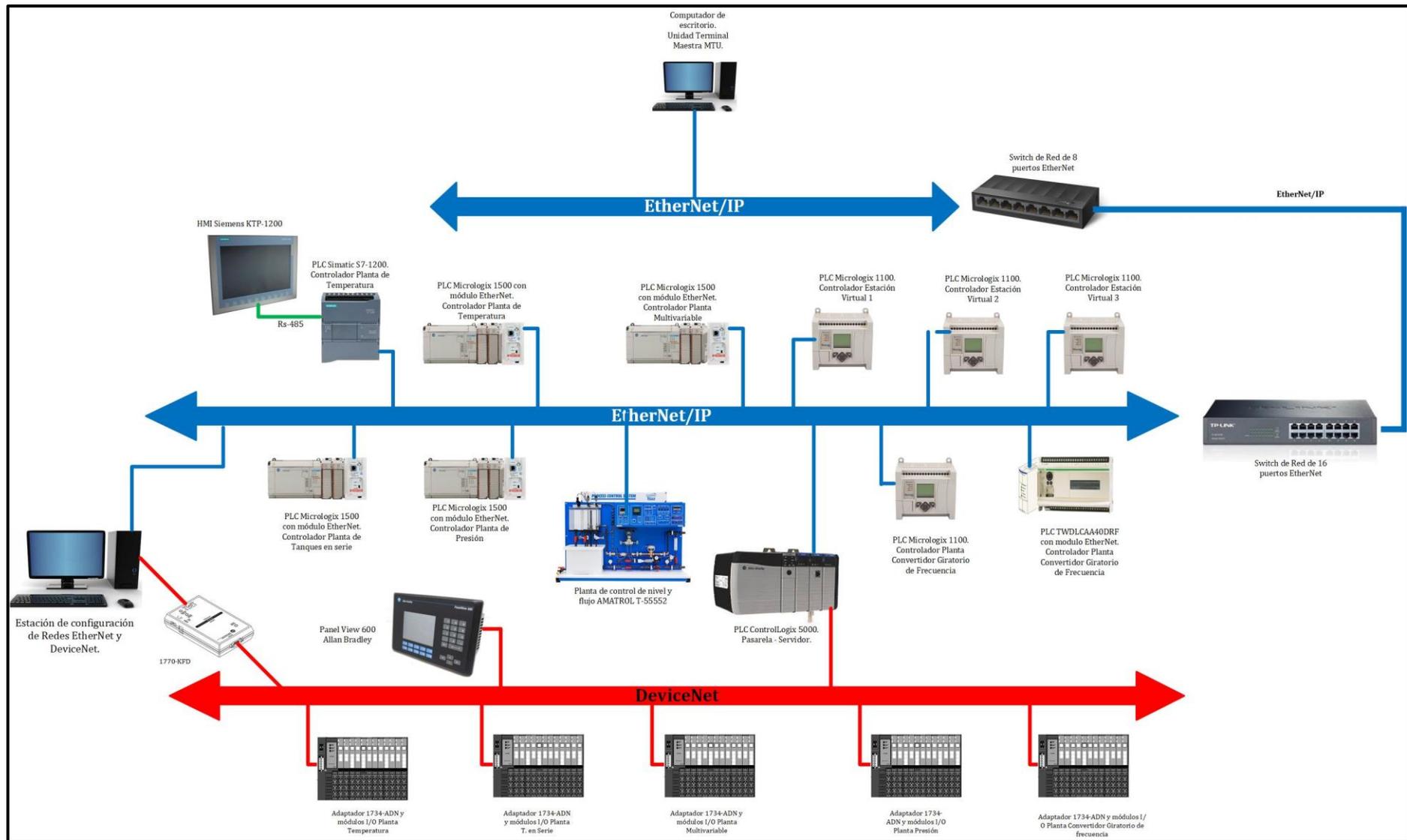


Figura 12. Propuesta de arquitectura número 2. (fuente propia.)

A continuación, en la Tabla 15, se presenta un análisis comparativo de las características que posee cada una de las propuestas de arquitecturas establecidas.

Tabla 15. Análisis comparativo entre arquitecturas propuestas. (fuente propia).

| Características | Arquitectura 1 | Arquitectura 2. |
|---|--|--|
| Número de nodos y segmentos de red nivel de gestión | 2 nodos 1 segmento de red. | 2 nodos 1 segmento de red. |
| Número de nodos y segmentos de red nivel de control | 12 nodos 1 segmento de red. | 14 nodos 1 segmento de red. |
| Número de nodos y segmentos de red nivel físico | 13 nodos 2 segmentos de red. | 8 nodos 1 segmento de red. |
| Número total de nodos. | 27 | 24 |
| Permite comunicación entre equipos de diferente fabricantes | SI | SI |
| Volumen de datos soportados y velocidad de transferencia de datos nivel físico. | 8 Bytes 500 Kb/s a 100m 250 Kb/s a 250m | 8 Bytes 500 Kb/s a 100m 250 Kb/s a 250m |
| Volumen de datos soportados nivel de control | 1500 Bytes Hasta 1Gb/s | 1500 Bytes Hasta 1Gb/s |
| Volumen de datos soportados nivel de gestión | 1500 Bytes Hasta 1Gb/s | 1500 Bytes Hasta 1Gb/s |
| Ventajas | Se pueden incluir más dispositivos en el nivel físico. Al ser segmentada, puede ser más funcional para el entorno educativo | No se requiere un scanner por cada PLC que requiera acceder al nivel físico. Reducción de costos al utilizar menos equipos. |
| Desventajas | Requiere uso de terminadores de red en nivel físico por cada segmento de red. Se requiere el uso de un Scanner por cada PLC que quiera acceder al nivel físico. Costos mucho más elevados. | Requiere el uso de un servidor pasarela para que el nivel de control y el nivel físico interactúen entre sí. |
| Cumple criterios de selección. | Sí | Sí |

Nota

Dando continuidad a la ejecución del proyecto, se realizó una reunión con el asesor de empresa, el día 2 de enero del 2021, con el objetivo de presentar las dos alternativas y discutir sobre ellas, finalmente fue elegida la propuesta de arquitectura numero dos para ser ejecutada.

A pesar de la viabilidad de la propuesta elegida y el cumplimiento de los criterios de selección, para la implementación de esta arquitectura dentro de los laboratorios de control de procesos y máquinas eléctricas, fue descubierto un limitante:

Incompatibilidad de adaptadores para entradas y salidas de nivel físico.

La arquitectura propuesta busca realizar la comunicación de las entradas y salidas de todos los equipos de campo mediante adaptadores 1734-ADN conectados a la red de nivel físico. Sin embargo, se encontró que cada planta tiene cableadas sus correspondientes entradas y salidas de equipos, mediante módulos Compact I/O, los cuales NO son compatibles con los adaptadores 1734-ADN, que utilizan módulos POINTS I/O para la lectura de dichos datos de proceso.

Ejecutar esta propuesta de arquitectura como fue planteada inicialmente, implica que todos los dispositivos de I/O de las diferentes plantas deban ser conectados a través de adaptadores 1734-ADN. Para ello se debe re cablear todas estas I/O de todas las plantas a módulos POINT I/O. Esta acción implicaría aumentar el costo del proyecto en términos de equipos y mano de obra. Además, resultaría en el desaprovechamiento de los módulos Compact I/O que actualmente se encuentran instalados y funcionando.

Dando cumplimiento al objetivo general del proyecto y superando esta limitante se propone:

- Mantener la conexión de los dispositivos I/O de cada planta a los módulos Compact I/O y que cada controlador, gestione sus entradas y salidas.
- Para el nivel físico de la arquitectura, adicionar a esta red, los 2 adaptadores 1734-ADN con los que se cuenta actualmente, uno para la conexión de entradas (I) y el otro para la conexión de salidas (O), de modo que se permita la gestión de dichas I/O desde de la Panel View local y desde una MTU del nivel de gestión.

Adaptando la arquitectura a los cambios mencionados, finalmente la propuesta queda estructurada como se indica en la Figura 13.

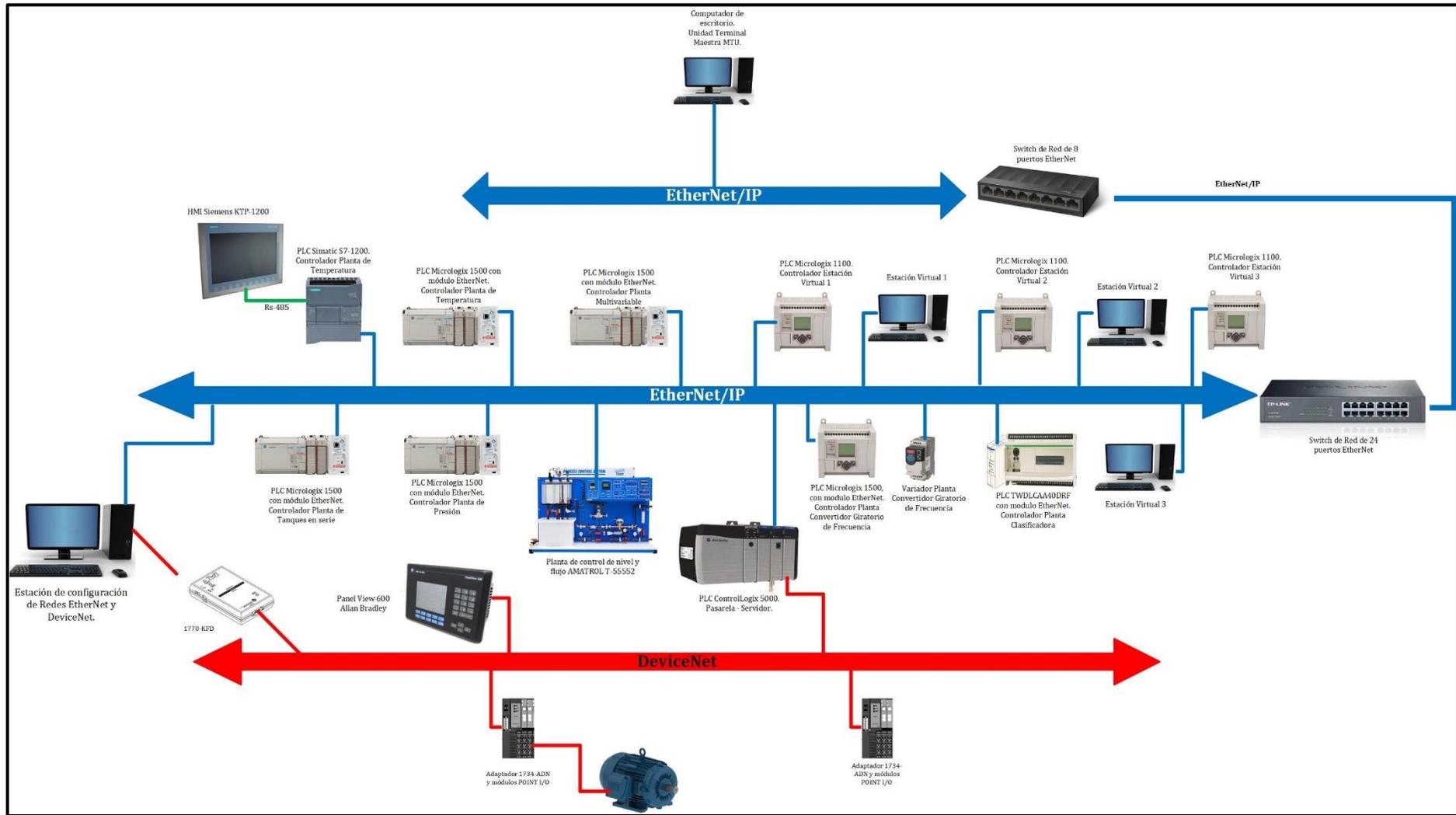


Figura 13. Propuesta de arquitectura con nuevas especificaciones. (fuente propia).

Nota

Fue realizada una reunión con el Asesor de la empresa, Ing. Vladimir Trujillo Arias, el día 2 de marzo del 2021. En donde se discutió sobre los cambios efectuados en la arquitectura propuesta. Finalmente fue aprobada la arquitectura propuesta en la Figura 13.

4. Capítulo IV. Desarrollo de arquitectura de red SCADA

Con los requerimientos y la arquitectura a implementar definida, se procede a realizar el diseño técnico y posterior configuración de los equipos dentro de la arquitectura.

4.1. Diseño de la arquitectura de red

Dentro del diseño técnico de la arquitectura se especifican los protocolos de comunicación, equipos y medios de transmisión a utilizar. Además, se presenta una cotización de los equipos requeridos y se definen las unidades terminales remotas (RTU) y las unidades terminales maestras (MTU) dentro de la arquitectura.

4.1.1. Especificación de protocolos de comunicación

Debido que la arquitectura se encuentra estructurada por niveles, **Nivel Físico**, **Nivel de Control** y **Nivel de Gestión**, la especificación de los protocolos de comunicación se realiza por cada nivel.

4.1.1.1. Protocolos del nivel físico

En este nivel, se define el uso del estándar para comunicaciones industriales **DeviceNet™**, el cual pertenece a la familia de redes que implementan **CIP** (*Common Industrial Protocol*) y sigue el modelo para interconexión de sistemas abiertos **OSI** de 7 capas presentado en la Figura 14 [14].



Figura 14. Estructura en capas de red *DeviceNet*. Datos tomados de [14]

DeviceNet utiliza para su capa física una topología de línea troncal con derivaciones, la cual se permite el uso de buses de pares trenzados separados, para distribución de señal y de energía (24 Vdc, 8mA) a lo largo de la línea, con conectores enchufables o terminales de tornillo como se indican en la Figura 15 [14], [15].



Figura 15. Terminales de tornillo (IP20), conectores enchufables mini y micro (IP67), y Cable plano con conectores troncal plano.(IP67) tomado de [14].

El estándar *DeviceNet* permite 3 diferentes velocidades para transferencia de datos, las cuales están sujetas a la distancia de extremo a extremo de la red y el tipo de cable que se utilice, estas se presentan en la Tabla 16. *DeviceNet* ofrece 3 tipos de cables diferentes, redondo delgado, redondo grueso y cable plano, y ofrece conectores enchufables o terminales de tornillo.

Tabla 16. Longitud máxima de extremo a extremo red *DeviceNet* en función de la velocidad de transferencia de datos y el tipo de cable, tomada de [14], [15]

| Tipo de cable | Velocidades de transferencia de datos. | | |
|-----------------------------|--|----------|----------|
| | 125 Kbps | 250 Kbps | 500 Kbps |
| Cable redondo Delgado | 500 m | 250 m | 100m |
| Cable Redondo Grueso | 100 m | 100 m | 100 m |
| Cable Plano | 420 m | 200 m | 75m |
| Longitud Máxima de caída | 6 m | 6 m | 6 m |
| Longitud de Caída acumulada | 156 m | 78 m | 39 m |

DeviceNet utiliza para su capa de enlace de datos el protocolo serial CAN, el cual define 2 posibles estados lógicos para el bus, *Dominante* (Valor lógico 0) y *Recesivo* (Valor lógico 1). Un nodo lleva a la red a estado Dominante en el momento en el que transmite información, es que decir esta permanecerá en estado recesivo si no hay nodos en estado Dominante [14], [15].

Además, CAN es una red de detección de portadora, y utiliza el mecanismo CSMA/NBA (*Carrier Sense Multiple Acces / non-destructive, bit-wise arbitration*) para realizar el control acceso al medio, lo cual indica que los nodos intentarán transmitir solo si no hay otro nodo transmitiendo, además utiliza el mecanismo

de arbitraje bit a bit no destructivo para la resolver el problema de múltiples nodos que intentan transmitir a la vez sin perder información o ancho de banda. Este estándar que requiere una relativa mínima sobrecarga para el enlace de datos, los cual hace a *DeviceNet* una red eficiente en el manejo de mensajes, además utiliza un mínimo de ancho de banda para empaquetarlos y transmitirlos [14], [15].

DeviceNet utiliza la trama de Datos de CAN la cual posee la estructura presentada en la Figura 16:

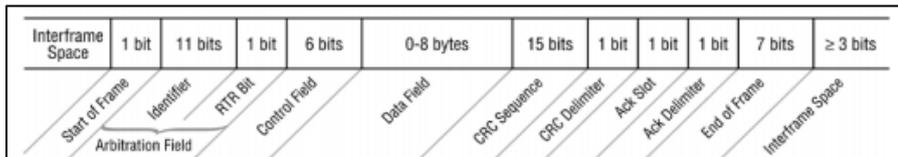


Figura 16. Estructura Data Frame de CAN, Tomado de [14].

DeviceNet además utiliza el protocolo CIP (*Common Industrial Protocol*) para sus capas superiores, el cual es un estricto protocolo orientado a objetos. Este protocolo CIP es utilizado también por estándares como *ControlNet*, estándar de nivel 2 y *EtherNet/IP*, estándares de nivel 2 y 3 de la pirámide de automatización, lo cual facilita el intercambio de mensajes entre niveles de empresa [14].

4.1.1.2. Protocolos de Nivel de Control y Nivel de Gestión

Para los niveles de control y de gestión de la arquitectura, se define el uso del estándar de comunicaciones ***EtherNet/IP™*** el cual, al igual que el estándar *DeviceNet*, pertenece a la familia de redes CIP y sigue el modelo de referencia OSI presentado en la Figura 17. *EtherNet/IP* adaptó CIP a la tecnología Ethernet, la cual brinda soluciones de conectividad a nivel mundial, con sus arquitecturas de red de área local (LAN) y redes de área amplia (WAN), permitiendo interconectar computadores y periféricos. Con esta adaptación de CIP a Ethernet, *EtherNet/IP* brinda a sus usuarios herramientas para mejorar la comunicación entre socios, procesos, dispositivos, y sistemas de aplicaciones industriales [16].

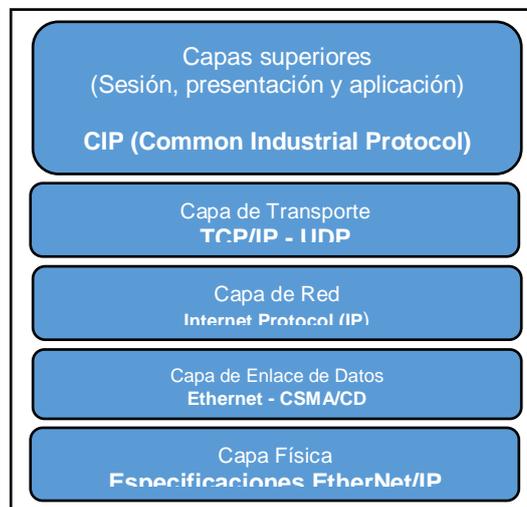


Figura 17. Estructura en capas EtherNet/IP. Tomado de [16].

EtherNet/IP implementa para su capa física, la tecnología del estándar IEEE 802.3, el cual define las especificaciones del medio físico para las conexiones entre dispositivos, el formato de la trama, el mecanismo para resolver el problema de dos nodos que intentan acceder simultáneamente a datos de la red [16].

EtherNet/IP permite el uso de diferentes topologías de red, estrella, anillo y línea troncal, ofreciendo a los usuarios, según el desempeño requerido para sus procesos, distintos rangos de velocidades, que van desde los 10 Mbps hasta 1 Gbps o mayores, con distintos medios de conexión como pares trenzados de cobre, fibra, anillo de fibra e inalámbrica [16].

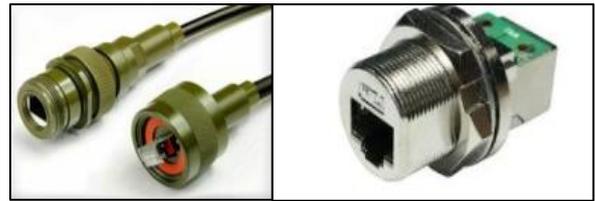


Figura 18. Conectores Fibra. Tomado de [24].

Figura 19. Conectores Cobre. Tomado de [24].

EtherNet/IP es una red de arquitectura activa, la cual permite vincular un número ilimitado de nodos, y típicamente se configura mediante el uso de segmentos de red, formados con conexiones punto a punto, en una conexión en estrella y cuyo núcleo son conmutadores Ethernet de capa 2 y capa 3 [16].

EtherNet/IP también utiliza el estándar IEEE 802.3 para su capa de enlace de datos, el cual también establece los requerimientos para la transmisión de paquetes entre dispositivos y define el formato de la trama de datos, el cual se indica en la Figura 20 [16].

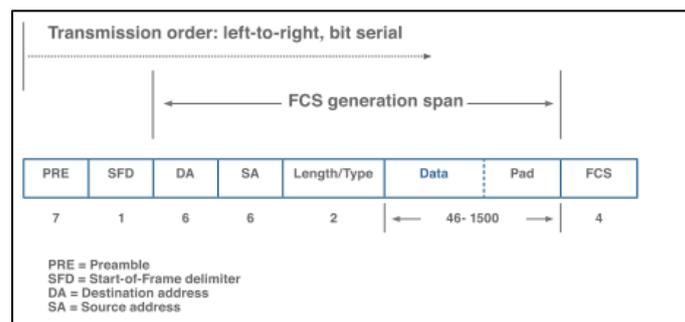


Figura 20. Data Frame EtherNet/IP, tomado de [16]

EtherNet/IP utiliza el mecanismo CSMA/CD (*Carrier Sense multiple Acces / Collision Detected*) para definir cómo los nodos acceden al medio y evitar colisiones de datos, y utiliza una transmisión full-duplex con lo cual un dispositivo es capaz de transmitir y recibir datos al mismo tiempo. Además, utiliza el Control de Acceso al Medio (MAC) de IEEE802.3, el cual es permite que un dispositivo hable en una red Ethernet, dado que cada dispositivo cuenta con dirección MAC única que permite identificar que nodo envía y a que nodo se transmite [16].

En las capas de red y de transporte, EtherNet/IP utiliza el estándar TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) para el envío de mensajes a uno o más dispositivos. Este estándar, ha sido ampliamente utilizado en aplicaciones de oficina debido a su familiaridad y alta compatibilidad. TCP/IP proporciona características importantes para la funcionalidad de la red como el direccionamiento para establecer conexión entre dispositivos y lograr el intercambio de datos [16].

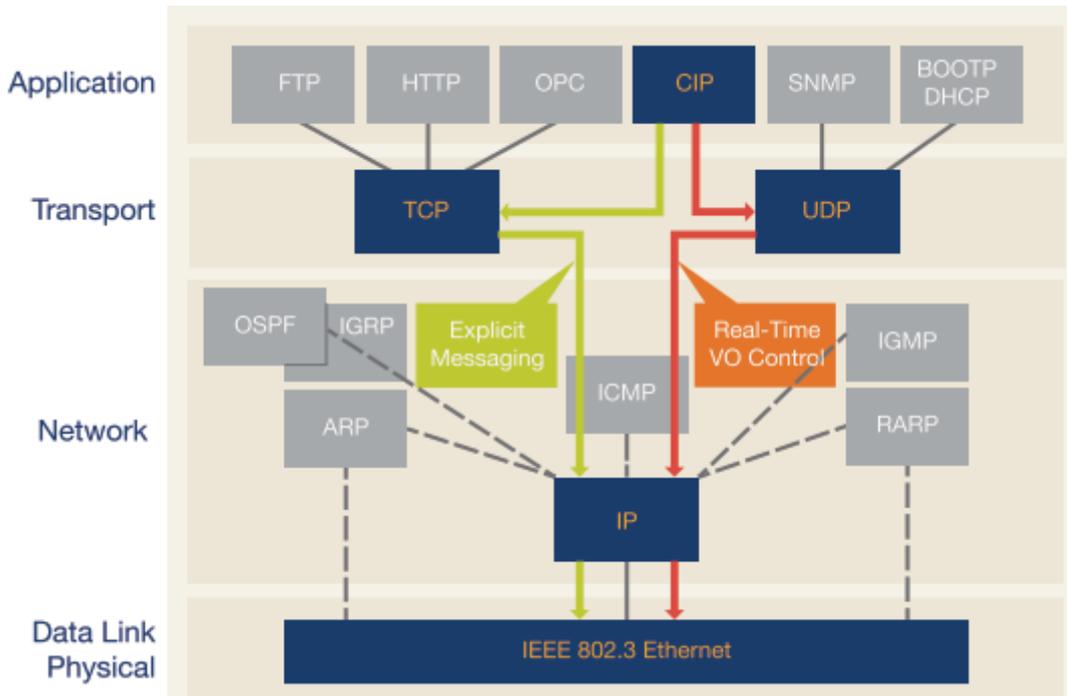


Figura 21. Modelo EtherNet/IP de CIP completo. Tomado de [10]

Para las capas superiores, EtherNet/IP utiliza el protocolo CIP (*Common Industrial Protocol*) el cual es un estricto protocolo orientado a objetos. Este protocolo CIP es utilizado también por estándares como ControlNet, estándar de nivel 2 y DeviceNet, estándar de nivel 1 de la pirámide de automatización, lo cual facilita el intercambio de mensajes entre niveles de empresa, cada objeto CIP contiene atributos (datos), servicios (Comandos) y comportamientos (reacción a eventos).

4.1.2. Especificación de equipos a utilizar

Una vez discutidos los protocolos de comunicación para cada nivel de la arquitectura, se realiza la especificación técnica general de los equipos que por cada nivel se incorporan en la red.

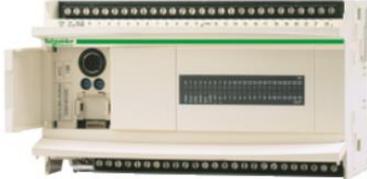
En la Tabla 17 se presentan los equipos para el nivel físico y en la Tabla 18 los equipos para los niveles de control y gestión.

Tabla 17. Especificación de equipos de Nivel físico. (fuente propia)

| Nombre | Equipos | Descripción. |
|-----------------------------|---|--|
| Fuente de voltaje 24 Vdc. |  | Fuente de 24 Vdc empotrable en riel para bus DeviceNet. |
| Adaptador 1734 – ADN |  | Adaptador utilizado para la conexión de entradas y salidas a la red DeviceNet mediante módulos PointI/O. |
| Módulos 1734 – FPD |  | Módulo para distribución de diferentes niveles de voltaje y corriente, AC, o DC a través de los módulos I/O conectados a la derecha del adaptador 1734-ADN |
| Módulo Point I/O 1734 – IB8 |  | Módulos de entradas digitales tipo relé normalmente abiertos (NA) Allan Bradley |

| | | |
|--|---|--|
| <p>Módulo Point I/O 1734 – OW4</p> |  | <p>Módulos de salidas digitales tipo relé normalmente abiertas (NA) Allen Bradley</p> |
| <p>Panel View 600 Allan Bradley</p> |  | <p>Panel View con conexión a <i>DeviceNet</i> para gestión y supervisión de procesos de nivel físico, activación y desactivación de I/O.</p> |
| <p>Módulo 1770-KFD</p> |  | <p>Módulo para comunicación entre la estación de configuración y la red <i>DeviceNet</i> para tareas de gestión y configuración</p> |
| <p>Pilotos led alimentados a 110/220 Vac</p> |  | <p>Luces Piloto para emular salidas de tipo digital en el nivel físico.</p> |
| <p>Botones Pulsadores NA y NC</p> |  | <p>Pulsadores NA o NC para emular entradas de nivel físico.</p> |

Tabla 18. Especificación de equipos de los niveles de control y gestión.

| Nombre | Equipo | Descripción. |
|--|--|---|
| Controladores PLC MicroLogix 1500 |  | 4 Controladores correspondientes a las plantas de Presión, Temperatura, Tanques en Serie y Multivariable. |
| Controladores PLC MicroLogix 1100 |  | 4 Controladores correspondientes a las plantas, Convertidor giratorio de frecuencia, y Estaciones Virtuales 1, 2 y 3. |
| Controlador PLC Schneider TWDLCAA40DRF |  | Controlador correspondiente a la planta de clasificación. |
| Controlador PLC Siemens S7-1200 |  | Controlador Auxiliar de la planta de Temperatura. |
| Chasis ControlLogix 5000 con CPU controlador y módulos EtherNet/IP y DeviceNet. |  | Controlador que actuará de Server-Pasarela entre el Nivel físico y el Nivel de Control. |
| Módulo de comunicación 1761-NET/ENI. |  | Módulo de comunicación con interfaz EtherNet/IP para controladores MicroLogix 1500 |

| | | |
|---|---|---|
| <p>TwidoPort 499TWD01100</p> |  | <p>Módulo de comunicación con interfaz EtherNet/IP para controlador Schneider TWDL</p> |
| <p>Power Flex 4 22F-ABP0N113 Serie B</p> |  | <p>Variador de velocidad de CA planta convertidor giratorio de frecuencia.</p> |
| <p>Switch de comunicaciones industriales Cisco</p> |  | <p>Switch configurable de 24 puertos para interconexión de controladores mediante EtherNet/IP</p> |
| <p>Computador de Escritorio</p> |  | <p>Estación de configuración para los niveles físico y de control.</p> |
| <p>Switch de Comunicaciones nivel de gestión</p> |  | <p>Switch básico o configurable de 8 puertos para comunicación de equipos de nivel de Gestión</p> |
| <p>Computador de escritorio para el nivel de gestión.</p> |  | <p>Unidad Terminal Maestra (MTU)</p> |

4.1.3. Especificación de medios y tipos de transmisión

Con todos los equipos definidos, se establece el medio de transmisión y el tipo de transmisión de datos para cada nivel.

En la Tabla 19, se presentan dichas especificaciones para el nivel físico, las cuales son definidas propiamente por el estándar *DeviceNet* y se mencionan en el apartado “*Protocolos de nivel físico*” del presente artículo.

Tabla 19. Especificación de medios y tipo de transmisión Nivel Físico. (fuente propia.)

| Ítem | Especificación | Cantidad |
|--|---|----------|
| Medio de transmisión. | Cableado. | - |
| Tipo de cable. | Cable <i>DeviceNet</i> Plano Clase 1 | |
| Tasa de Transferencia de datos. | 250 Kbps | - |
| Terminadores de red. | Terminadores de red <i>DeviceNet</i> . | 2 unid. |
| Conectores. | Conectores troncales planos <i>DeviceNet</i> atornillarles. | 4 unid. |
| Tipo de Transmisión. | Half-Duplex | - |

En la Tabla 20, se presentan las especificaciones para los niveles de control y gestión dado que utilizan el mismo protocolo de comunicación. Dichas especificaciones están sujetas a lo establecido en el estándar IEEE 802.3 mencionado en el apartado 4.1.1.2. del presente artículo.

Tabla 20. Especificación de medios y tipo de transmisión Nivel de Control y Nivel de Gestión.

| Ítem | Especificación | Cantidad |
|--|-----------------------|----------|
| Medio de transmisión. | Cableado. | - |
| Tipo de cable. | Cable UTP Categoría 5 | |
| Tasa de Transferencia de datos. | 100 Mbps | - |
| Terminadores de red. | No requiere. | 2 unid. |
| Conectores. | Conectores RJ-45 | 30 Unid |
| Tipo de Transmisión. | Full-Duplex | - |

4.1.4. Definición del número de Unidades Terminales Remotas (RTU) y Unidades Terminales Maestras (MTU)

Unidades terminales remotas (RTU)

Se definen nueve RTU, una por cada planta de proceso, esto debido a que cada una de las plantas cuenta con conexión a un controlador PLC y a una estación de configuración individual (PC), como se indica en la Figura 22. Dado que en cada una de estas estaciones se ejecutan acciones de configuración y programación del controlador, y se ejecuta el HMI propio de cada proceso, estas pasaran a ser RTUs dentro de la arquitectura.

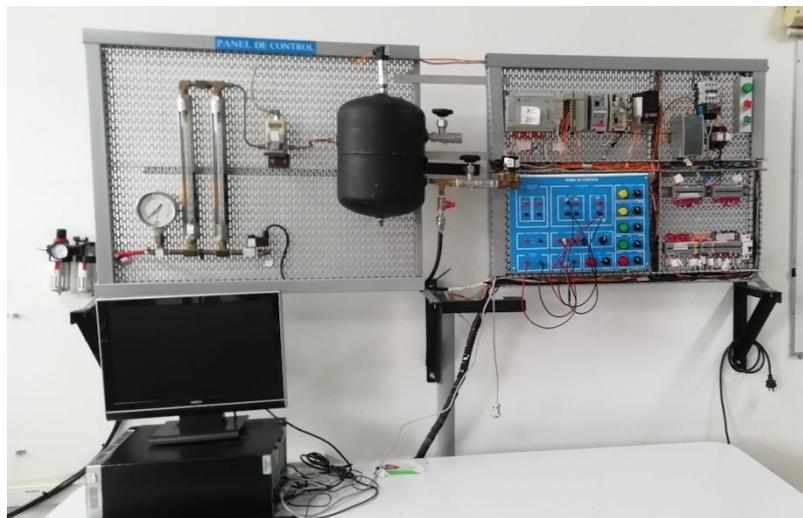


Figura 22. Planta de control de Presión, fuente propia

Cada una de estos controladores, pasarán a ser una *RTU*, dentro de la arquitectura, con lo cual permitirán ejecutar acciones de control sobre sus procesos y además la transmisión de datos para supervisión en campo y desde el nivel de gestión de sus procesos asociados.

Unidades terminales maestras

Se define una Unidad Terminal Maestra (MTU) para implementar en el nivel de gestión. Sin embargo, es posible implementar más MTU's en trabajos futuros.

En esta MTU se podrán implementar, en trabajos futuros, entre otros los siguientes servicios:

- Implementación de interfaces HMI para la supervisión y control de cada uno de los procesos en los laboratorios.
- Verificación del estado de las plantas y los equipos asociados.

- Gestión de históricos.
- Gestión de alarmas.
- Gestión de tendencias.
- Implementación de Servidores Web para la supervisión y control remoto.
- Gestión de base de datos con históricos de los procesos.

En esta oportunidad se implementará el servicio de verificación de conectividad con cada una de las plantas, esto para constatar la funcionalidad de la arquitectura diseñada.

4.1.5. Cotización de equipos requeridos

Para la implementación de la arquitectura diseñada, es necesario adquirir algunos dispositivos y suministros, para los cuales, en la Tabla 21 se presenta una cotización inicial.

Tabla 21. Cotización de equipos. (fuente propia).

| Producto | Cantidad | Fecha de cotización. | Sitio de Cotización | Precio unidad | Precio Total |
|---|--------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|
| Módulo de comunicación 1761-NET/ENI. | 2 unidades | 6/12/2021 | WIA World Industrial Automation | \$ 4.636.574,56 | \$ 9.273.149,12 |
| Gabinete para montaje de Switchs de nivel de control y Gestión. | 1 unidad | 6/12/2021 | Mercado Libre Colombia | \$ 1.949.000 | \$ 1.949.000 |
| Cable EtherNet UTP Cat 5. | 1 rollo x 100 metros | 6/12/2021 | Mercado Libre Colombia | \$ 139.900 | \$ 139.900 |
| Conectores RJ-45. | 1 Paquete x 100 unidades | 6/12/2021 | Mercado Libre Colombia | \$ 15.900 | \$ 15.900 |
| Canaleta plástica de PVC | 10 unidades x2 metros | 6/12/2021 | Homecenter | \$ 42.900 | \$ 429.000 |
| Total | | | | | \$ 11.806.949 |

4.1.6. Diseño de la arquitectura de la red

Una vez estructurada por completa la propuesta de arquitectura, sus requerimientos técnicos, protocolos y equipos a incorporar, se realiza el diseño de las redes que conforman la arquitectura y sus especificaciones, para esta tarea se utiliza la herramienta de simulación y diseño de redes *Integrated Architecture Builder (IAB)* de Rockwell Automation en la cual fue posible diseñar la red *DeviceNet* de nivel físico, y las redes *EtherNet/IP* de los niveles de control y de gestión.

Red de nivel físico

Para la red de nivel físico, en la herramienta IAB se establecen los equipos, el medio de transmisión, terminales y conectores a incorporar en la red.

En la Figura 23 se presenta el diseño para el Bus *DeviceNet* con la conexión de los equipos.



Figura 23. Diseño de red DeviceNet. fuente Propia.

Red de Nivel de Control y Nivel de Gestión

Para el diseño de las redes de nivel de control y de gestión en la herramienta IAB, se establecen los equipos, medio de transmisión y puertos de conexión

En la Figura 24 se presenta el diseño general de conexiones de los equipos de los niveles de control y gestión.

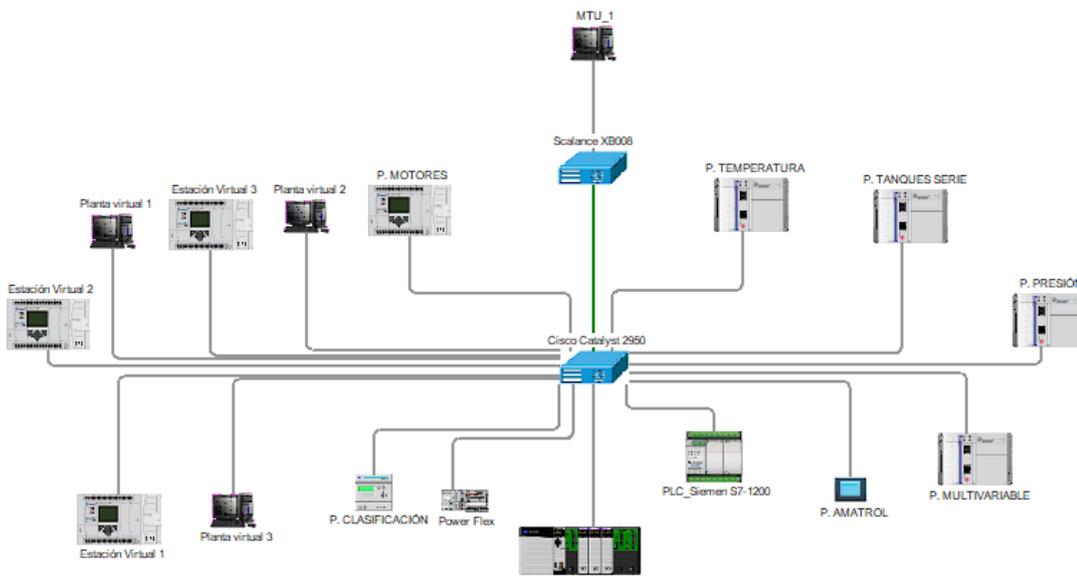


Figura 24. Red de nivel de control y gestión simulada en Cisco. Fuente propia.

Arquitectura de red general diseñada

Con cada nivel diseñado el resultado final de la arquitectura se presenta en la Figura 25.

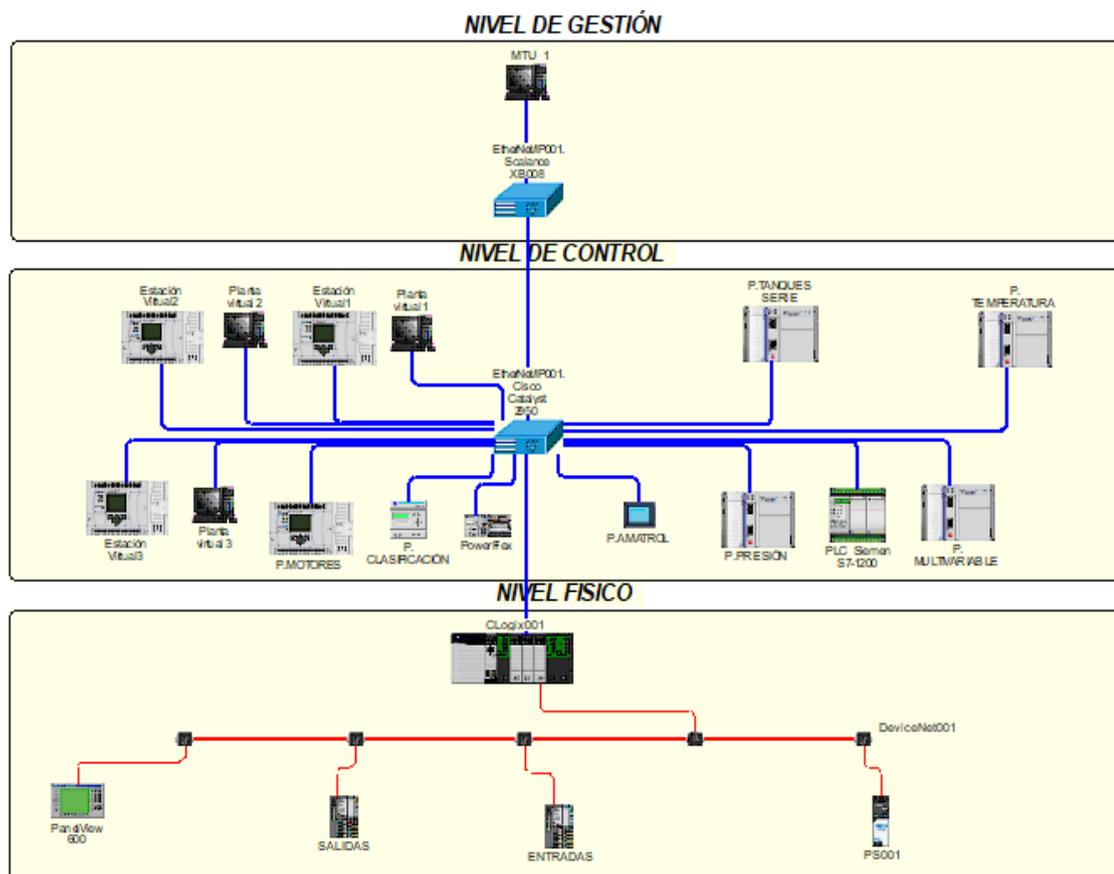


Figura 25. Diseño de arquitectura completa. (fuente propia)

Además, con ayuda de la herramienta de diseño Visio de Microsoft, se realizaron los planos pictóricos en los que se especifica la distribución de las diferentes redes a lo largo de los laboratorios de Control de Procesos y Máquinas eléctricas, así como la ubicación de los equipos que se incorporan.

Plano red *DeviceNet* de nivel físico, Figura 26.



Figura 26. Plano red *DeviceNet*. (fuente propia)

Plano red Ethernet de nivel de control y nivel de gestión, Figura 27.

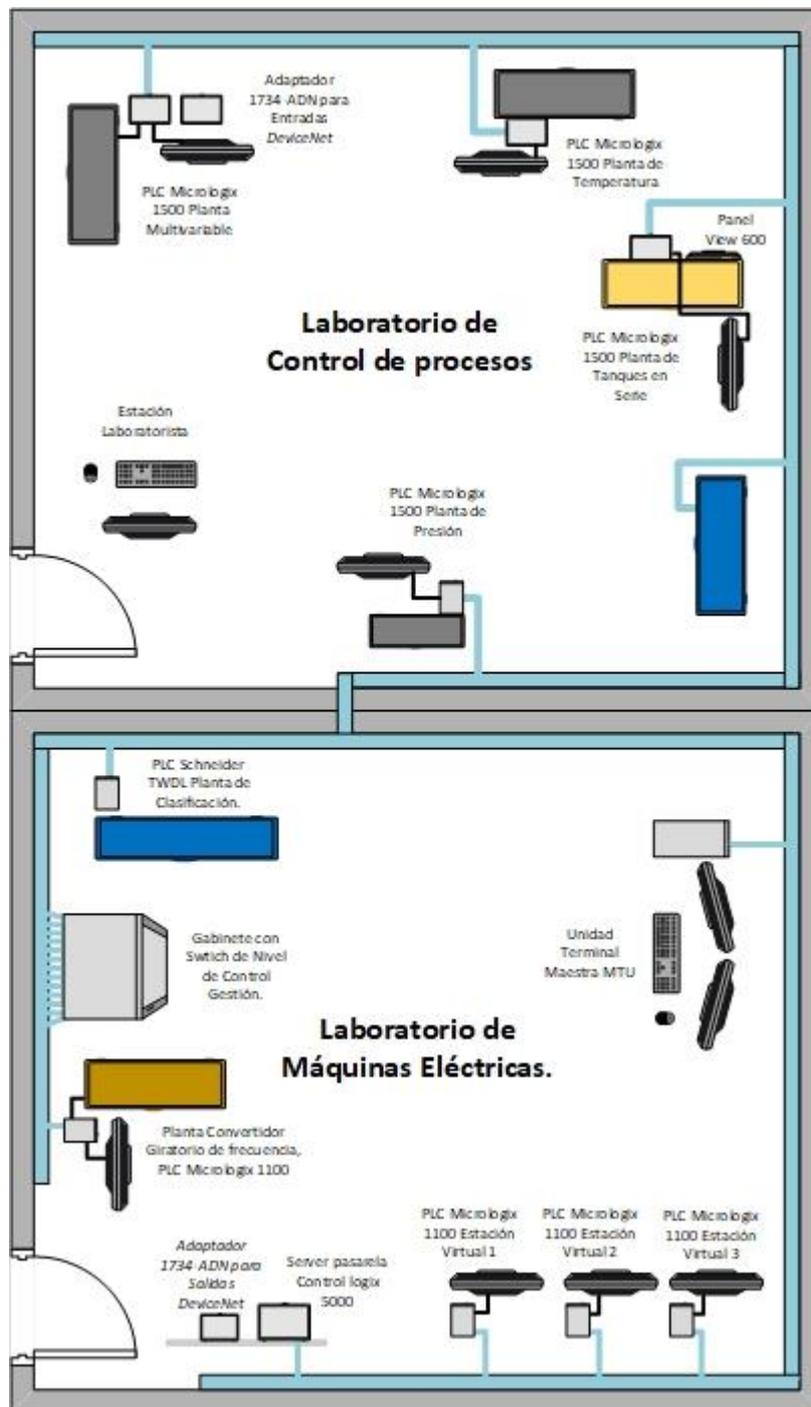


Figura 27. Plano de red *EtherNet/IP*. (fuente propia)

Plano de la arquitectura de red completa, Figura 28.

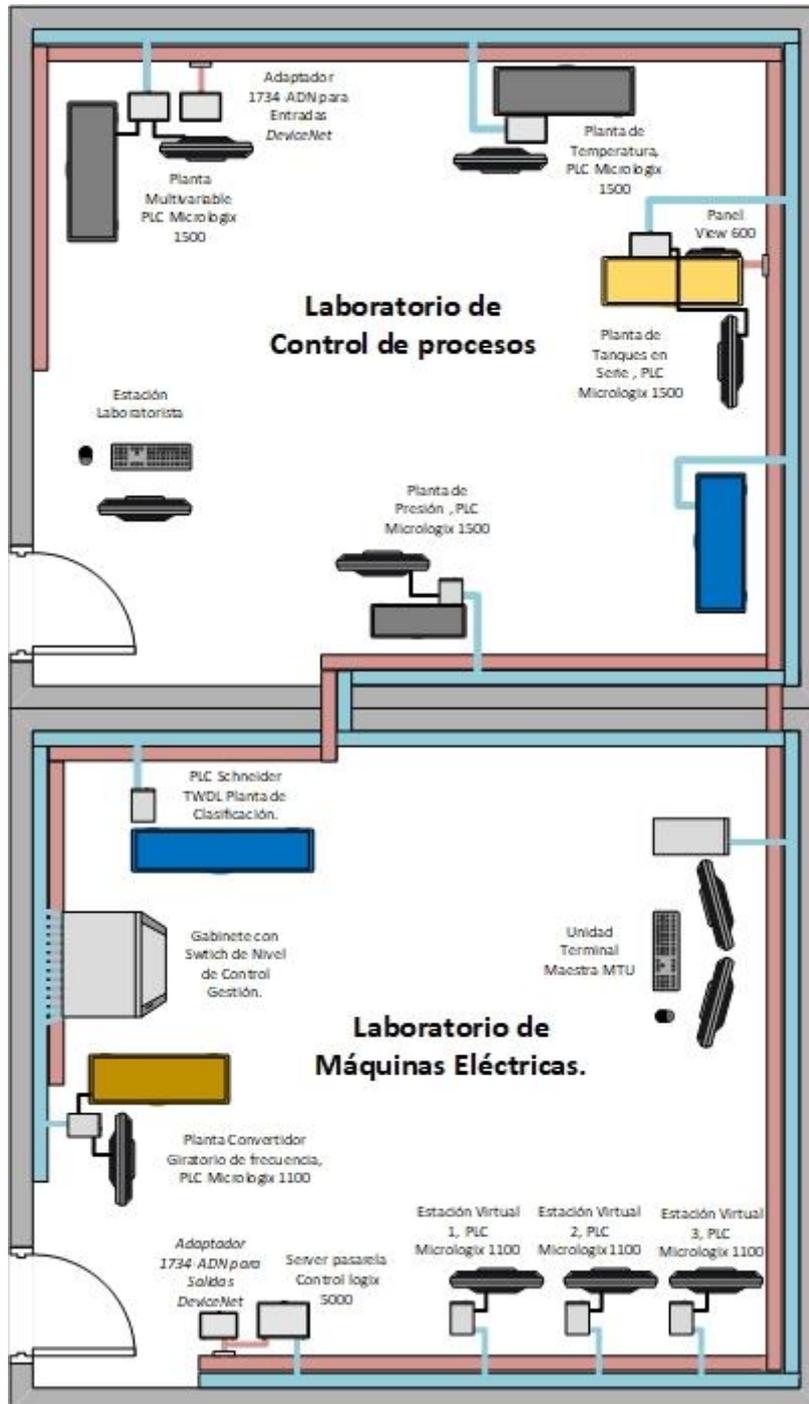


Figura 28. Plano de la arquitectura completa. (fuente propia)

4.1.7. Conexiones y Configuraciones de la red

Con la arquitectura de red diseñada por completo, con sus protocolos, equipos, medios de transmisión y su respectiva distribución física, se procede a realizar la conexión de los equipos por cada nivel y su posterior configuración para la incorporación de los equipos a cada nivel de la arquitectura.

4.1.7.1. Conexiones y Configuración de Nivel físico

Conexiones Nivel físico

Para implementar y configurar la red diseñada para el nivel físico, presentada en la figura 24, y es necesario llevar a cabo las siguientes conexiones.

Conexión de fuente 24 V a bus DeviceNet

Debido a que el bus *DeviceNet* para en el nivel físico ya se encuentra instalado y las cajillas de conexión correctamente cableadas; la fuente de alimentación, para alimentar al bus, se conecta a una de las cajillas conexión mediante cable *DeviceNet* como se indica en diagrama de la Figura 29.

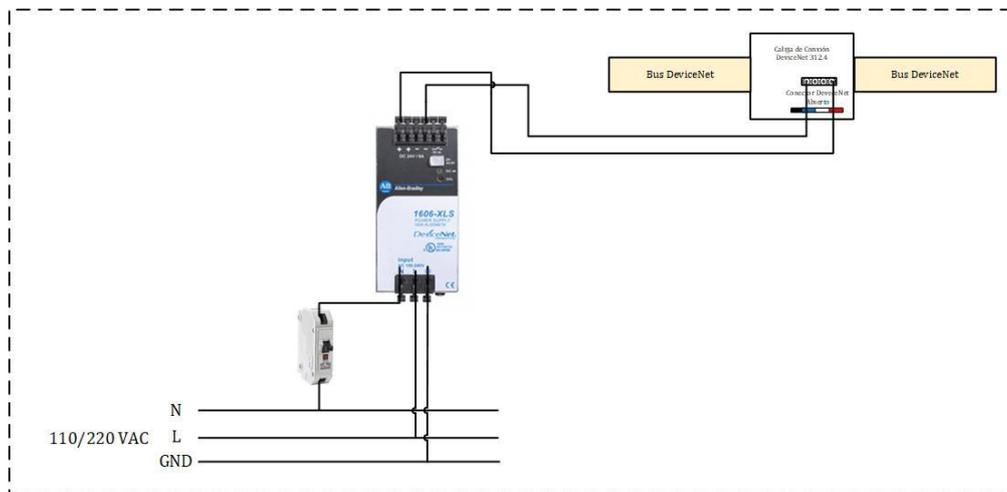


Figura 29. Conexión fuente de 24 Vdc, fuente propia.

Esta fuente se encuentra montada en el tablero de control de la planta multivariable, en el laboratorio de control de procesos y se conecta teniendo en cuenta la distribución de cables presenta en la Figura 30, especificada el manual de planificación e instalación de *DeviceNet* [17].

| Color del cable | Identidad del cable | Uso del cable redondo | Uso del cable plano |
|-----------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| blanco | CAN_H | señal | señal |
| azul | CAN_L | señal | señal |
| sin forro | tierra | blindaje | n/a |
| negro | V- | alimentación | alimentación |
| rojo | V+ | alimentación | alimentación |

Figura 30. Disposición de cables DeviceNet, Tomado de [17].

Conexión de adaptador 1734-ADN con módulo de entradas tipo relé 1734-IB8 a bus DeviceNet

Para la incorporación de las entradas al bus DeviceNet, se realiza la conexión de estas, mediante el adaptador 1734-ADN y el módulo de entradas tipo relé 1734-IB4 como se indica en la Figura 31, dichas entradas están emuladas por pulsadores industriales.

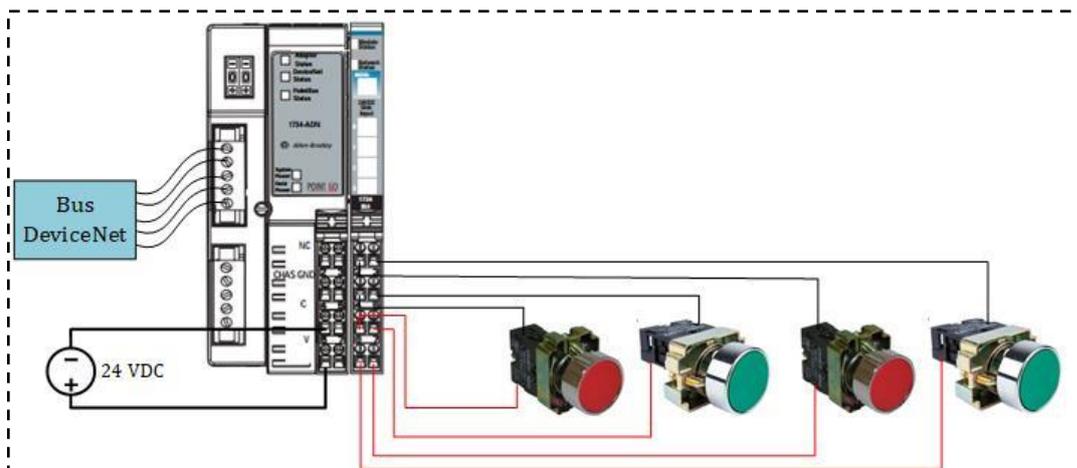


Figura 31. Conexión de entradas 1734-ADN, fuente propia.

Estas conexiones se realizan teniendo en cuenta las especificaciones para la conexión del adaptador 1734-ADN y el módulo 1734-IB4, presentada en los manuales operativos de cada equipo [18], [19].

En la Figura 32 y la Figura 33, se presentan las partes del módulo 1734-IB4 y del adaptador 1734-ADN respectivamente.

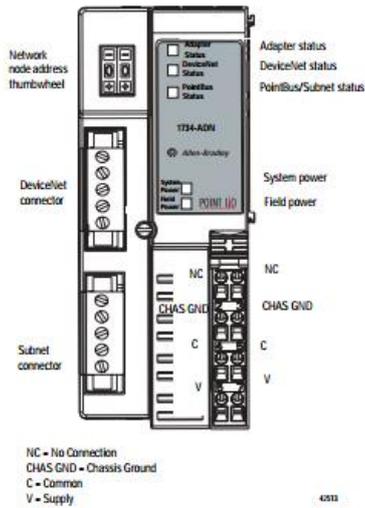


Figura 33. Adaptador 1734-ADN, tomado de [18]

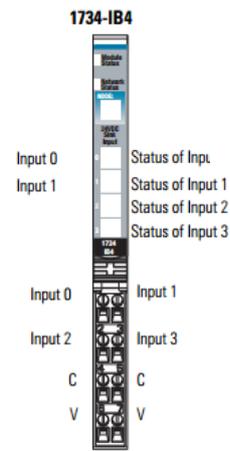


Figura 32. Módulo de entradas tipo relé 1734-IB4, tomado de [19]

La conexión del adaptador 1734-ADN se realiza teniendo en cuenta la distribución de pines del equipo presentada en la Figura 34, la cual se especifica en el manual operativo del adaptador [18].

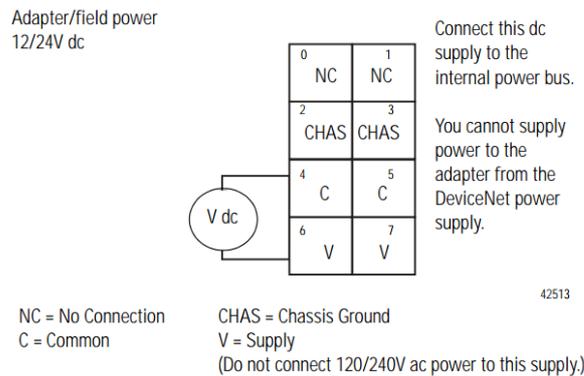


Figura 34. Conexión de adaptador 1734-ADN, tomado de [18].

La conexión de los equipos de entrada al módulo 1734-IB4, alimentados por energía del bus, se realiza teniendo en cuenta la distribución de pines del equipo presentada en la Figura 35, la cual se especifica en el manual operativo del módulo [19].

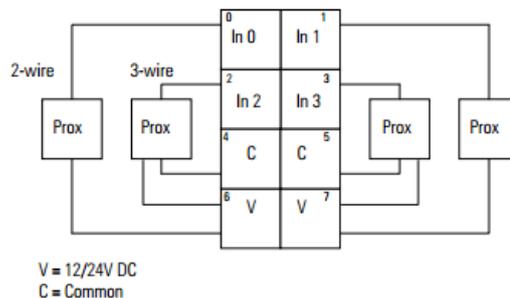


Figura 35. Conexión de entradas a módulo 1734-IB4, tomado de [19]

Conexión de adaptador 1734-ADN con módulo de salidas tipo relé 1734-OW4 a bus DeviceNet

Para la incorporación de las salidas al bus *DeviceNet*, se realiza la conexión de estas mediante el adaptador 1734-ADN, el módulo de distribución de potencia 1734-FPD, para conexión a 120/240 VAC, y el módulo de salidas tipo relé 1734-OW4 como se indica en la Figura 36, dichas salidas están emuladas por luces Piloto de 110/220 Vac.

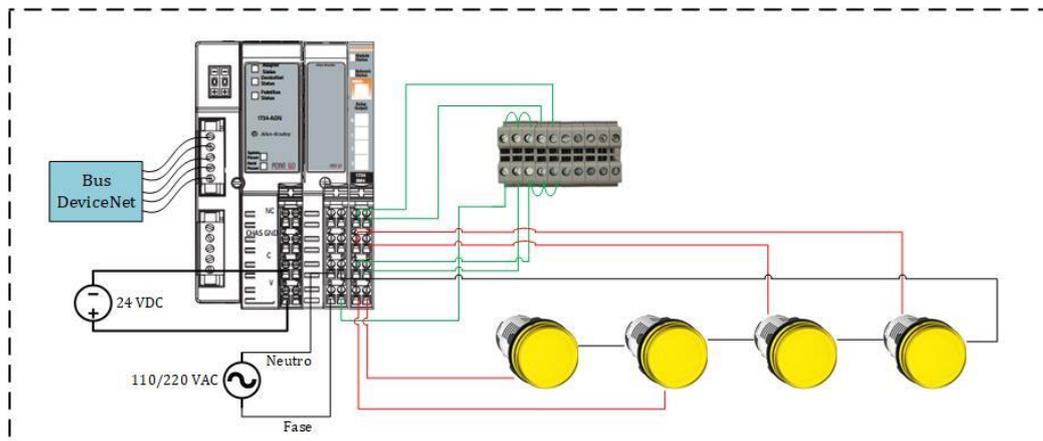


Figura 36. Conexión de salidas a 1734-ADN, fuente propia.

Estas conexiones se realizan teniendo en cuenta las especificaciones para la conexión del adaptador 1734-ADN, el módulo 1734- FPD y módulo de salidas tipo relé 1734-OW4 presentada en los manuales operativos de cada equipo [18], [19], [20].

En la Figura 37 y la Figura 38, se presentan las partes del módulo de salidas tipo relé 1734-OW4 y del módulo 1734-FPD, respectivamente.

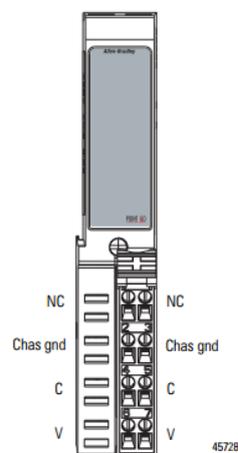


Figura 38. Módulo de distribución de potencia 1734-FPD, tomado de [20]

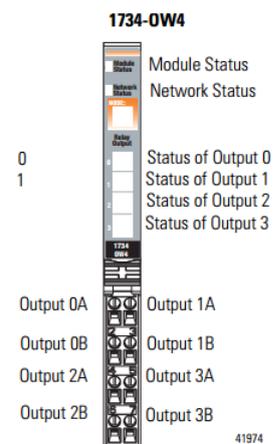


Figura 37. Módulo de salidas tipo relé 1734-OW4, tomado de [19]

La conexión del módulo 1734-FPD a fuente de 110/220 VAC para alimentación de las salidas, se realiza teniendo en cuenta la distribución de pines del equipo especificada en el manual operativo, la cual se presenta en la Figura 39.

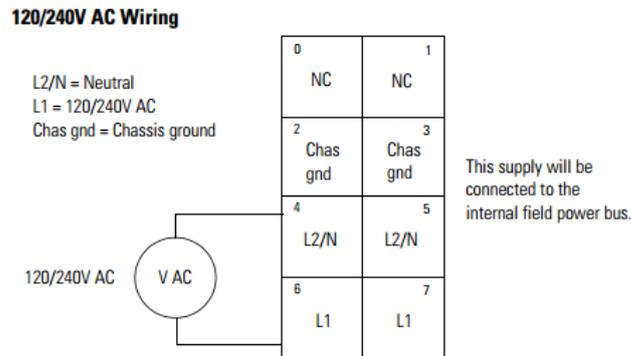


Figura 39. Conexión de módulo 1734-FPD a fuente 120/240 VAC, tomado de [20]

La conexión de los equipos de salida al módulo 1734-OW4, alimentados por línea de 110/220 Vac, se realiza teniendo en cuenta la distribución de pines del equipo, especificada en el manual operativo, la cual se presenta en la Figura 40.

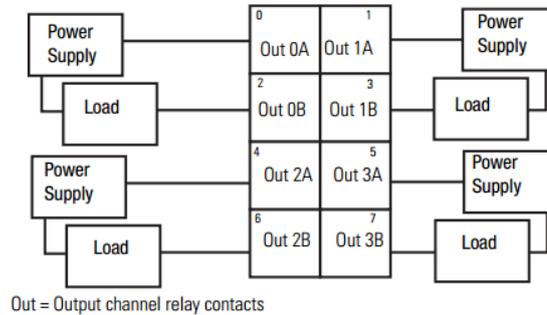


Figura 40. Conexión de salidas a módulo 1734-OW4, tomado de [19].

Conexión de PanelView 600 a bus DeviceNet

La conexión de la PanelView 600 al bus DeviceNet, se realiza de manera directa, de una de las cajillas de conexiones, mediante cable DeviceNet, directo al puerto DeviceNet de la PanelView, como se indica en la Figura 41.

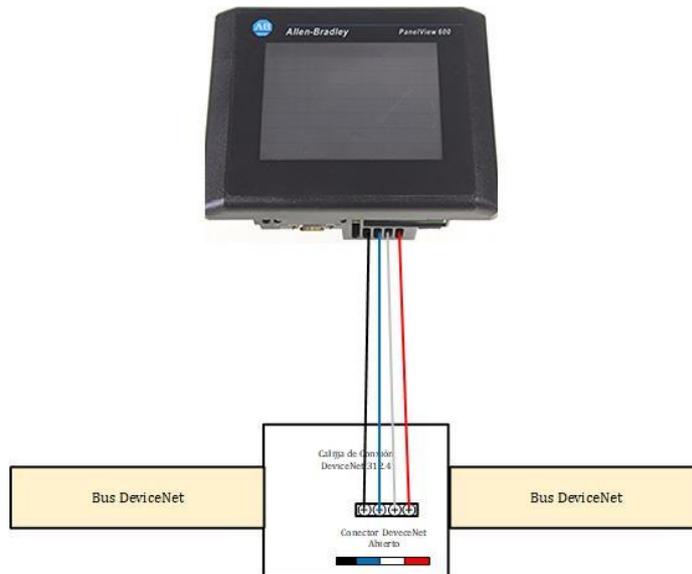


Figura 41. Diagrama de Conexión PanelView 600. (fuente propia.)

Conexión de Controlador Server Pasarela, PLC ControlLogix 5000, mediante módulo scanner 1756-DNB a Bus DeviceNet

La conexión del server-pasarela, se realiza de manera directa mediante cable *DeviceNet*, de una de las cajillas de conexión al puerto *DeviceNet* del módulo 1756-DNB en el chasis del ControlLogix 5000 como se indica en la Figura 42, dado que se cuenta con dicho módulo correctamente instalado y funcionando en el slot 3 del chasis.

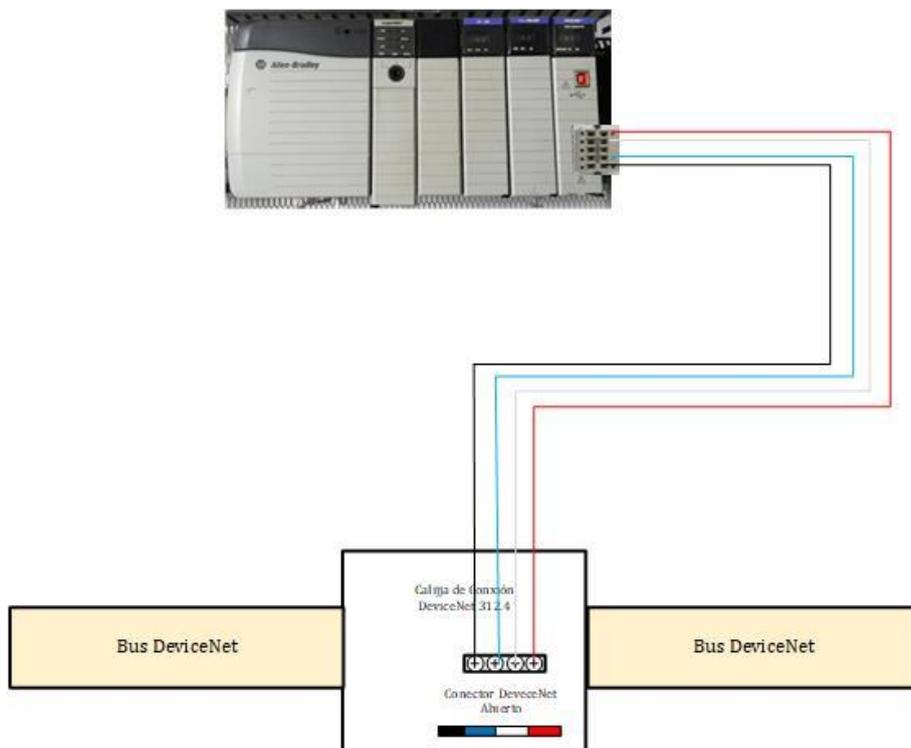


Figura 42. Diagrama de conexión Server-Pasarela a Bus DeviceNet. (fuente propia)

Conexión de módulo KFD-1770 al bus

La conexión del módulo 1770-KFD al bus *DeviceNet*, se realiza de manera directa a través de cable *DeviceNet*, de una de las cajillas de conexión del bus, al puerto DN del módulo como se indica en la Figura 43. Dicha conexión se lleva a cabo teniendo en cuenta las especificaciones del manual operativo del equipo [21].

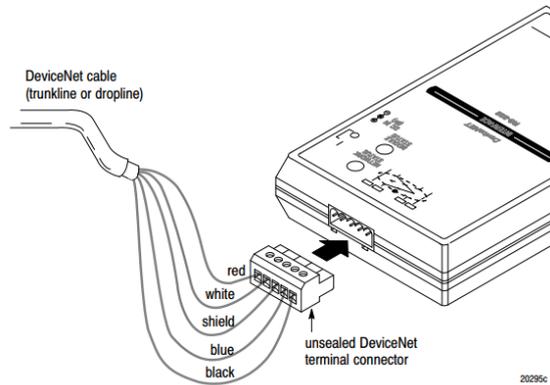


Figura 43. Conexión del módulo 1770-KFD a la red *DeviceNet*, tomado de [21]

Además, se realiza la conexión del módulo 1770 – KFD a la estación de configuración (Computador), la cual se hace de manera directa, del puerto serial del módulo a un puerto RS-232 del computador como se indica en la Figura 44.

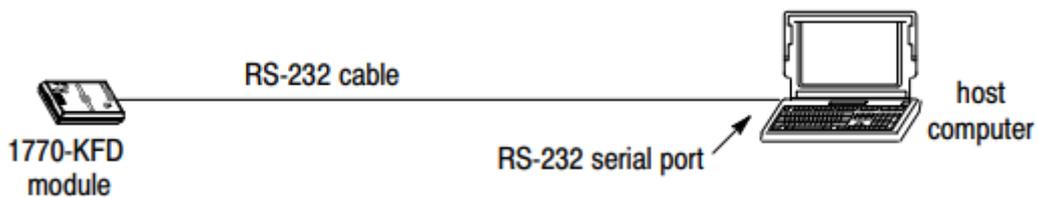


Figura 44. Conexión del módulo 1770-KFD al computador, tomado de [21]

La energización del equipo se lleva a cabo mediante su respectivo cable de alimentación, el cual se incluye con el equipo, a través del puerto de alimentación del equipo. En la Figura 45 se presenta el equipo, con la especificación de sus partes.

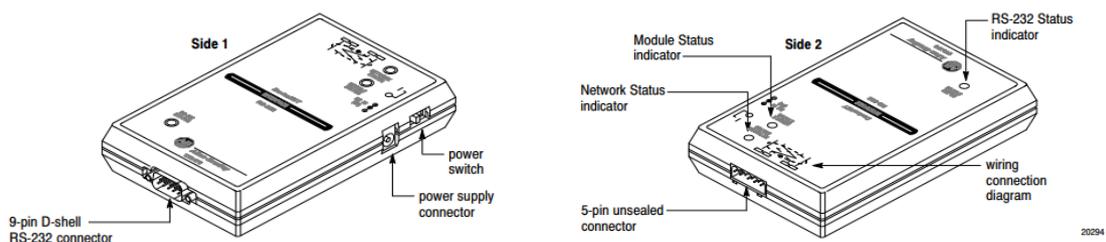


Figura 45. Vista general y componentes del módulo 1770-KFD, tomado de [21]

Una vez conectados todos los equipos al bus *DeviceNet* basta con subir el breaker de la fuente de 24 Vdc cableada, para energizar la red y todos los equipos en ella.

Configuración de Nodos de Nivel físico

Para la arquitectura de red en el nivel físico incorpora 5 nodos, los cuales corresponden: Dos para los adaptadores 1734-ADN, uno para la PanelVieW 600, uno para el módulo 1770 KFD, y uno para el Scanner 1756-DNB.

La asignación del nodo en la red *DeviceNet*, para el caso de los adaptadores 1734-ADN se puede realizar mediante los botones que posee el equipo en la parte superior como lo indica la Figura 46, o también mediante el software *RsNetwork for DeviceNet*.

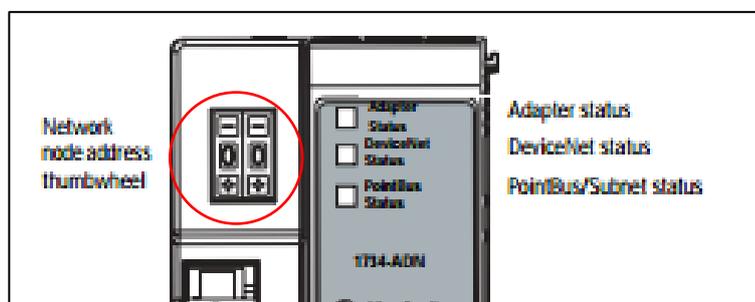


Figura 46. Ajuste de nodo adaptador 1734-ADN, tomado de [18]

Para el caso de la *PanelVieW 600*, el módulo 1770 KFD y el Scanner 1756-DNB la asignación del nodo se realiza de manera automática, dado que el equipo se aloja automáticamente en un nodo disponible dentro del bus. Sin embargo, dicho nodo también se puede gestionar mediante el software *RsNetwork for DeviceNet*.

Configuración de parámetros de red y equipos de Nivel físico

Para la puesta en marcha y gestión de la red de nivel físico se debe llevar a cabo previamente su configuración. Para ello es requerido el uso de 3 herramientas software:

RsLinks Classic: para crear el driver de comunicación y conectar la estación de configuración con el bus, ya sea por medio del módulo 1770-KFD o del chasis *ControlLogix 5000*.

RsNetwork for DeviceNet: para configurar los parámetros (*ScannList*, *sample rate*, *nodos*, ...) de la red *DeviceNet* y de los equipos en ella.

RsLogix 5000 o Studio 5000: para gestionar y programar el funcionamiento y comportamiento de las entradas y salidas asociadas a la red.

Los detalles de la configuración de la red con el uso de estas herramientas se detallan en el Anexo 1, *Configuración de la red DeviceNet* de nivel físico.

4.1.7.2. Conexiones y configuraciones de los niveles de Control y Gestión

Para llevar a cabo la implementación y configuración de la red EtherNet/IP de los niveles de Control y Gestión presentada en la Figura 25, se realizan las siguientes conexiones por cada nivel.

A continuación, se presentan las conexiones necesarias para llevar a cabo la configuración de cada uno de los equipos a incorporar en cada nivel.

Conexiones y configuraciones de Switchs de los niveles de Control y Gestión

Conexión del Switch Catalyst 2950, Nivel de Control

Para el nivel de control, los controladores PLC que se vincularán a la red EtherNet/IP, lo harán a través del switch *Cysco Catalyst 2950 series*, el cual está disponible en el laboratorio de control de proceso.

Para comunicar todos los equipos a través del switch, se realiza primeramente su configuración, la cual implica realizar las siguientes conexiones:

- Alimentación del switch mediante cable de potencia a 110 Vac.
- Conexión del puerto de consola del switch a un computador mediante el cable de consola, para realizar la respectiva configuración desde el terminal.

Dichas conexiones se presentan a Figura 47.

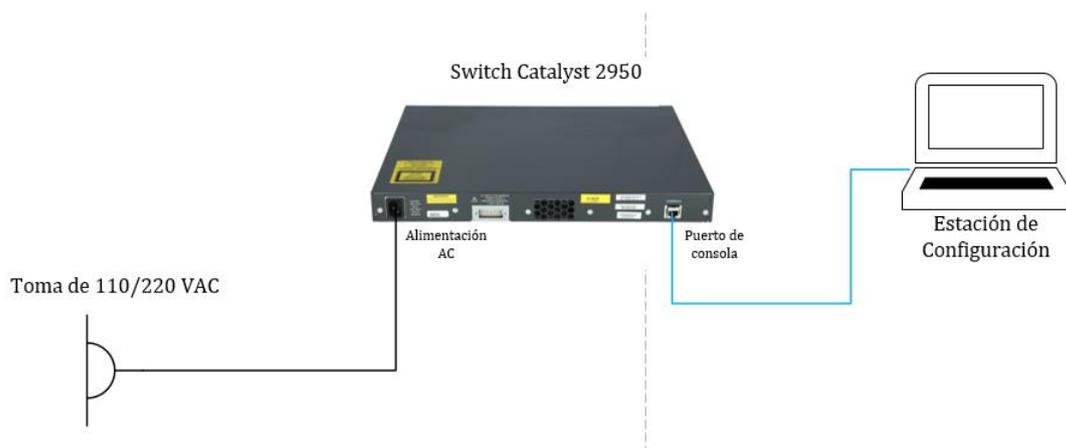


Figura 47. Conexiones switch Cisco Catalyst 2950 para configuración de equipo. Fuente propia.

Configuración del Switch Catalyst 2950 Series

La configuración del Switch Catalyst se realiza desde el terminal de consola del mismo. Para ingresar a dicho terminal se requiere el uso de la herramienta Putty, el cual es un software de uso libre.

Las especificaciones para la configuración del switch se presentan en el Anexo 2 *Configuraciones de los Niveles de Control y Gestión*.

Conexión Siemens del Switch Scalnce XB008, Nivel de Gestión

Para el nivel de gestión, los equipos se interconectarán a través del Switch Scalnce XB008 de Siemens, este equipo se usa por disponibilidad en el laboratorio de Control de proceso y para su correcto funcionamiento es necesario montarlo en riel y energizarlo por línea de 24Vdc.

Su montaje y conexión se presenta en la Figura 48.

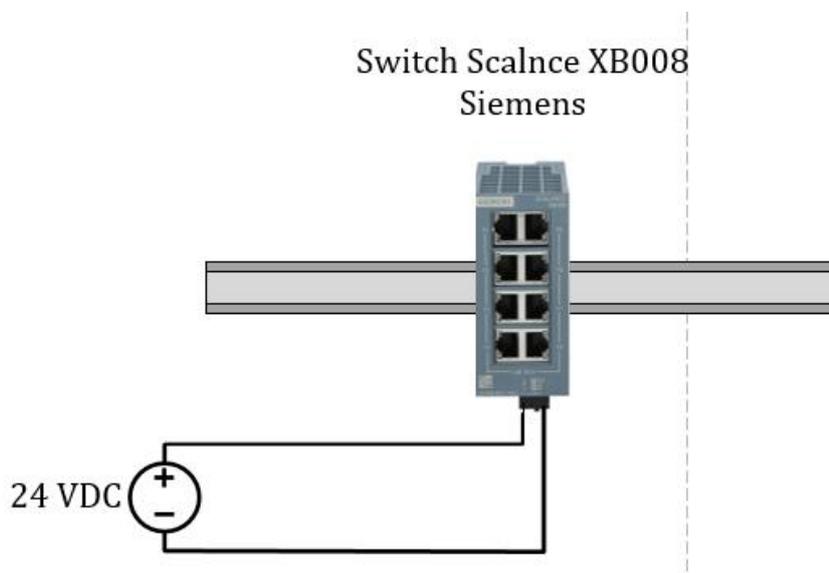


Figura 48. Conexiones Switch Siemens Scalnce XB008. Fuente propia.

Configuración del Switch Siemens Scalnce XB008

Una vez montado y energizado el Switch, la configuración de este se realiza de manera automática al conectarlo a Swtich Catalyst por puerto Ethernet, ya que el swtich Scalnce asigna una dirección IP directamente mediante protocolo DHCP. Es decir, una vez energizado está listo para funcionar.

Una vez realizada la configuración de los Switch de cada nivel, pueden ser conectados entre sí por cable Ethernet a través de uno de sus puertos, y se procede a realizar la conexión y configuración de los diferentes equipos que se intercomunicaran por cada nivel.

Conexiones y Configuraciones de Equipos, Nivel de Control

Para incorporar los diferentes equipos a la red EtherNet/IP del nivel de control, es necesario realizar las siguientes conexiones y configuraciones.

Conexión de PLC MicroLogix 1500 mediante módulo de comunicación NET/ENI-1761

Para la incorporación de los PLC Micrologix 1500 a la red EtherNet/IP de nivel de control, es necesario realizar la conexión de este mediante el módulo de comunicaciones 1761-NET/ENI. Para ello se deben realizar las siguientes conexiones.

Conexión a 24 Vdc del módulo presentada en la Figura 49.

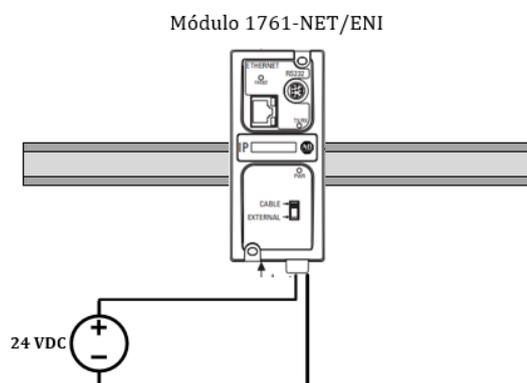


Figura 49. Conexión módulo 1761 ENI a fuente de 24 Vdc. Fuente propia.

Conexión por cable RS-232 del puerto serial del módulo 1761-NET/ENI a la estación de configuración como se indica en la Figura 50, esto para configurar el módulo y que pueda comunicarse en la red EtherNet/IP.

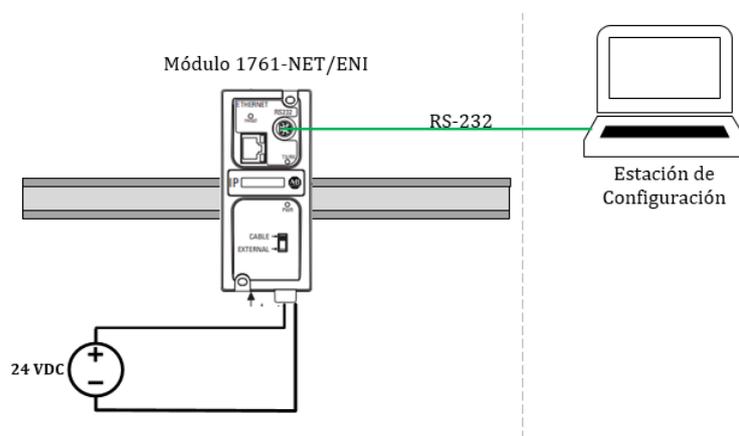


Figura 50. Conexión del módulo 1761 NET/ENI por puerto serial a estación de configuración. Fuente propia.

Por último, una vez configurado el módulo 1761-NET/ENI, se realiza la conexión entre este y el PLC como se muestra en la Figura 51, para posteriormente conectar el módulo 1761-NET/ENI al switch de nivel de control.

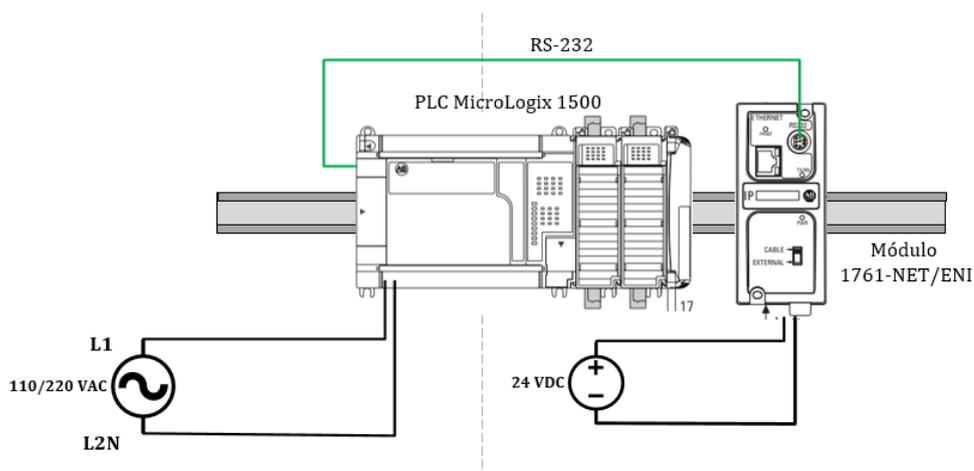


Figura 51. Conexión de PLC MicroLogix 1500 con módulo 1761 NET/ENI

Configuración de PLC MicroLogix 1500 mediante módulo de comunicación NET/ENI-1761

La configuración para incorporar mediante módulos 1761-NET/ENI los controladores MicroLogix 1500, se realiza conectando sobre el módulo, el conectándolo mediante el puerto serial del mismo a la estación de configuración.

Para llevar a cabo su configuración es necesario usar la herramienta software *ENI/ENIW Utility* el cual es de un software libre disponible en la página oficial de Rockwell Automation. Los detalles de la configuración se especifican en el Anexo 2, *Configuraciones de los Niveles de Control y Gestión*.

Conexión de controladores Micrologix 1100

Para comunicar los controladores Micrologix 1100 a través de la red EtherNet/IP del nivel de control, se debe realizar la alimentación de estos por fuente de 110-220 Vac y conectarlos directamente por cable de UTP a uno de los puertos del switch de nivel de control.

Para ello previamente se debe efectuar la configurar los parámetros del PLC desde la estación de configuración, para lo cual se realizan las conexiones presentadas en la Figura 52.

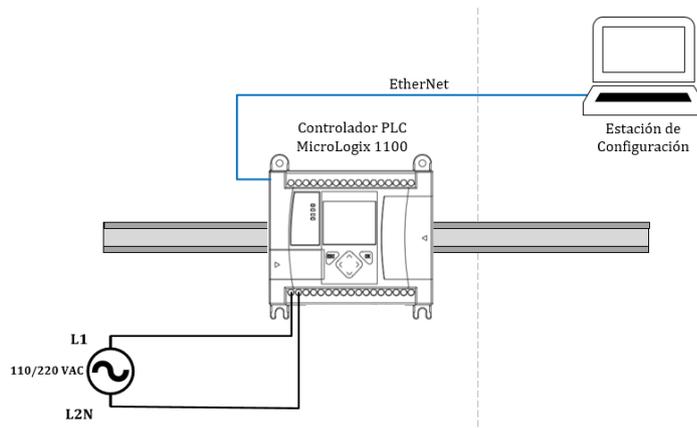


Figura 52. Conexiones PLC MicroLogix 1100. Fuente propia

Configuración controladores PLC MicroLogix 1100

Una vez conectado el PLC a la estación de configuración, es necesario utilizar la herramienta *BOOTP/DHCP Server* de Rockwell Automación para efectuar la configuración de los parámetros para la incorporación de los controladores 1100 a la red de nivel de control.

La configuración de estos parámetros se especifica en el Anexo 2 *Configuraciones de los Niveles de Control y Gestión*.

Conexión variador PowerFlex 4M

Para comunicar el variador de frecuencia PowerFlex 4M a través de la red EtherNet/IP del nivel de control, se debe realizar la alimentación de este por fuente de 110-220 Vac y conectarlo directamente por cable de UTP a uno de los puertos del switch de nivel de control.

Para ello previamente se debe efectuar la configurar los parámetros del equipo desde la estación de configuración, para lo cual se realizan las conexiones presentadas en la Figura 53.

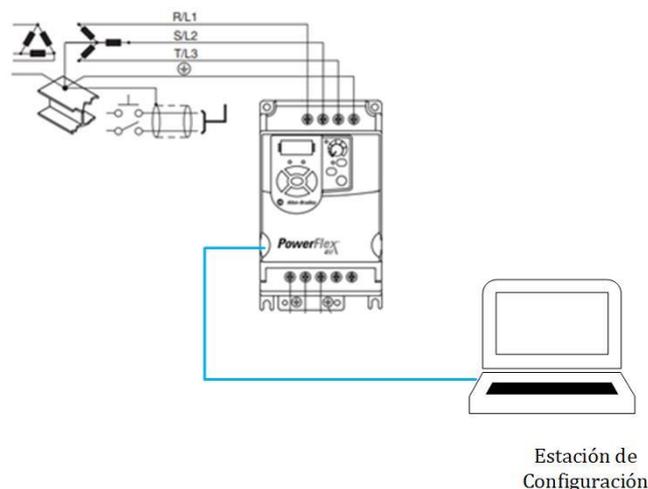


Figura 53. Conexión PowerFlex 4M. fuente propia

Configuración de variador PowerFlex 4M

Una vez conectado variador a la estación de configuración, es necesario utilizar la herramienta *BOOTP/DHCP Server* de Rockwell Automación para efectuar la configuración de los parámetros de red para la incorporación del mismo a la red de nivel de control.

Dicha configuración se realiza de la misma manera que para los PLC MicroLogix 1100.

Conexión de PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200

Para la incorporación del PLC Siemens s7-1200 a la red EtherNet/IP del nivel de control es necesario, energizarlo por línea de 110-220 Vac y conectarlo mediante su puerto EtherNet/IP a la estación de configuración para su ajuste de parámetros y posteriormente conectarlo al switch de nivel de control. Para ello es necesario realizar las siguientes conexiones presentadas en la Figura 54.

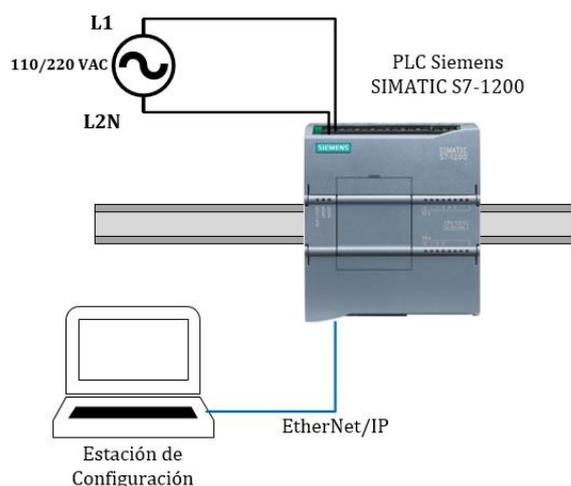


Figura 54. Conexión PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200 Fuente propia.

Configuración de PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200

Realizada la conexión entre el PLC y la estación de configuración, se debe realizar el ajuste de parámetros de red del PLC, para que el equipo se pueda comunicar en la arquitectura.

Para ello se requiere el uso de la herramienta S7-1200 Tool y los detalles para la configuración se detallan en el Anexo 2 *Configuraciones de los Niveles de Control y Gestión*.

Conexión de PLC Schneider Electric TWDLCAA40DRF mediante módulo TwidoPort 499TWD01100

Para llevar a cabo la incorporación del controlador PLC TWDLCAA40DRF de la marca Schneider Electric a la red de nivel de control, es necesario utilizar el

módulo de interfaz EtherNet/IP TwidoPort 499TWD01100 y realizar las siguientes conexiones.

Conexión del PLC a estación de configuración por cable RS-485 como se indica en la Figura 55, para configuración de parámetros del TwidoPort 499TWD.

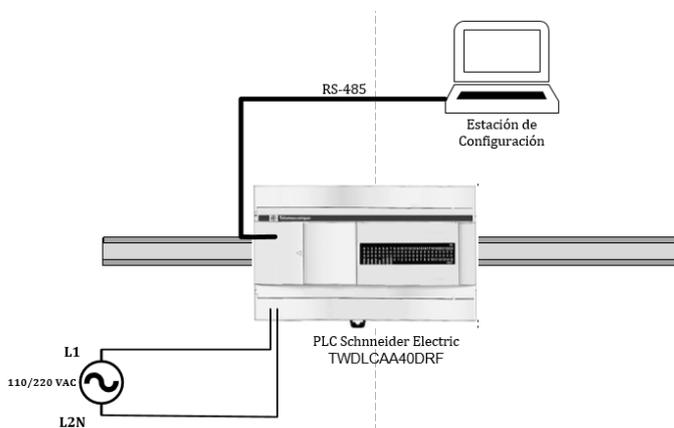


Figura 55. Conexión PLC Schneider a estación de configuración. Fuente propia.

Conexión del PLC a módulo TwidoPort 499TWD por cable RS-485 a EtherNet, como se indica en la Figura 56.

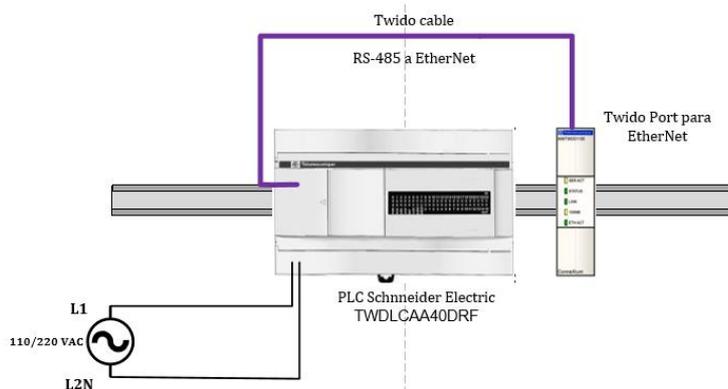


Figura 56. Conexión PLC Schneider a módulo ethernet TwidoPort. Fuente propia.

Configuración de PLC Schneider Electric TWDLCAA40DRF mediante módulo TwidoPort 499TWD01100

Para configurar e incorporar el PLC Schneider a la red de nivel de control, es necesario el uso de la herramienta *TWIDOSoft*, el cual es el software de configuración y programación de PLCs del fabricante *Schneider Electric*.

Dicha configuración se especifica en el Anexo 2, *Configuraciones de los Niveles de Control y Gestión*.

Conexión del controlador Server-Pasarela PLC ControlLogix 5561 a través de módulo 1756-ENBT

Para llevar a cabo la incorporación del chasis ControlLogix que funcionará como server pasarela entre los niveles físico y de control, se conecta el chasis mediante el módulo 1756-ENBT a la estación de configuración para su ajuste de parámetros como se muestra en la Figura 57, para posteriormente a través del mismo módulo conectarlo al switch de nivel de control.

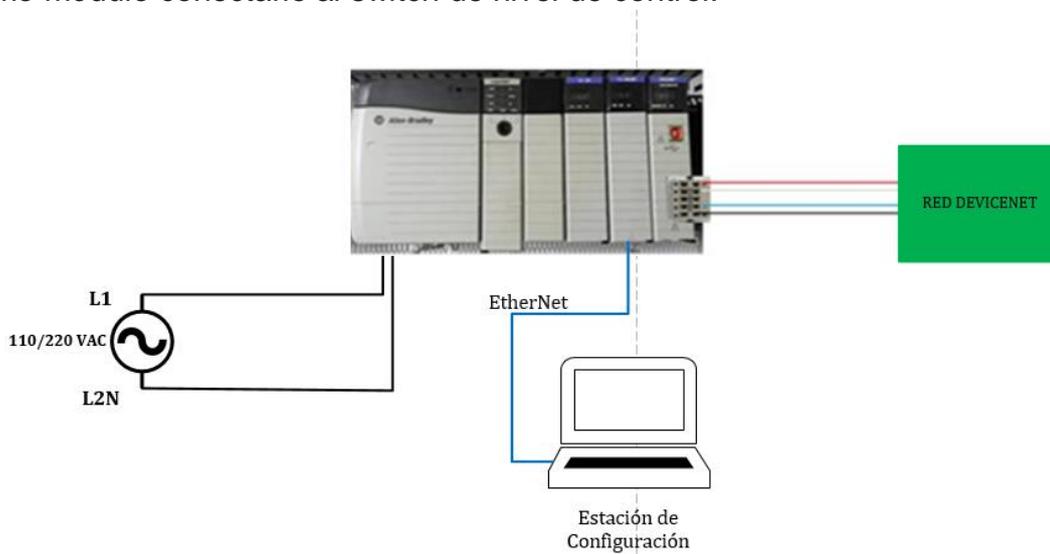


Figura 57. Conexiones Server-Pasarela ControlLogix 5561. Fuente propia.

Configuración del Server-Pasarela PLC ControlLogix 5561 a través de módulo 1756-ENBT

Con las conexiones realizadas sobre el chasis control ControlLogix y sus respectivos módulos, se procede a configurar el módulo EtherNet/IP del chasis que permitirá comunicar el controlador ControlLogix5561 con las redes de control y gestión.

Este procedimiento se especifica en el Anexo 2, *Configuraciones de los Niveles de Control y Gestión*.

Conexión de estaciones virtuales 1, 2 y 3.

Para llevar a cabo la incorporación de las plantas virtuales a la red de nivel de control, es necesario no solamente conectar sus controladores MicroLogix 1100 asociados sino también su estación que emula la planta virtual.

Para ello se debe realizar la conexión directa de los equipos, mediante cable UTP del puerto Ethernet de los mismos, a uno de los puertos del switch de nivel de control como se indica en la figura x

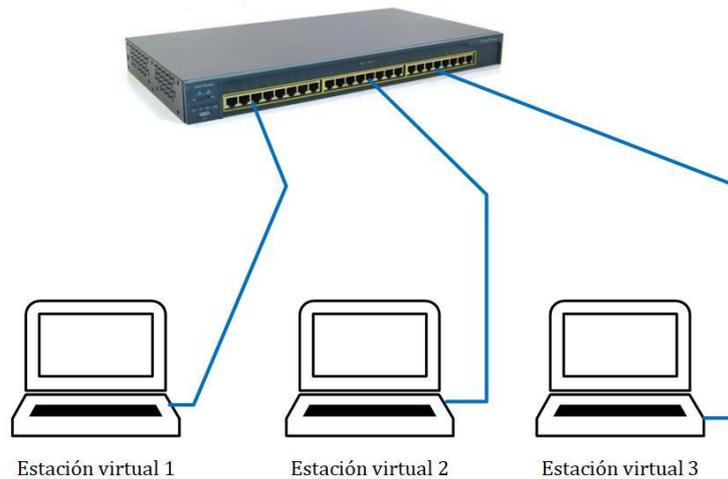


Figura 58. Conexión de estaciones virtuales 1, 2 y 3. Fuente propia.

Configuración de estaciones virtuales 1, 2 y 3.

Realizada la conexión entre las estaciones virtuales y el switch de nivel de control, es necesario realizar la configuración de los parámetros de red de dichas estaciones virtuales, para así poder vincularlas y que se comuniquen en la arquitectura.

Dicha configuración de los parámetros de red se realiza de igual manera que para la Unidad terminal Maestra MTU, y se especifica en el apartado configuraciones del nivel de control y gestión.

Una vez realizadas todas las configuraciones de los equipos de nivel de control, es posible conectarlos al switch, a través de los respectivos puertos EtherNet de cada equipo, a los puertos del Switch Cysco Catalyst 2950 para su comunicación.

Conexiones y configuraciones del nivel de gestión

Conexión de Unidad terminal Maestra MTU con Red de Nivel de Gestión

Para el nivel de gestión, siguiendo con la arquitectura propuesta y mostrada en la Figura 26, se realiza la conexión del computador que funcionará como MTU al switch Siemens Scalance XB008 del nivel de gestión, para su respectiva configuración, dicha conexión se realiza por cable de red de la MTU a uno de los puertos del switch como se indica en la Figura 59. La conexión y configuración del switch Siemens Scalance, se explica en el apartado 4.1.7.2.

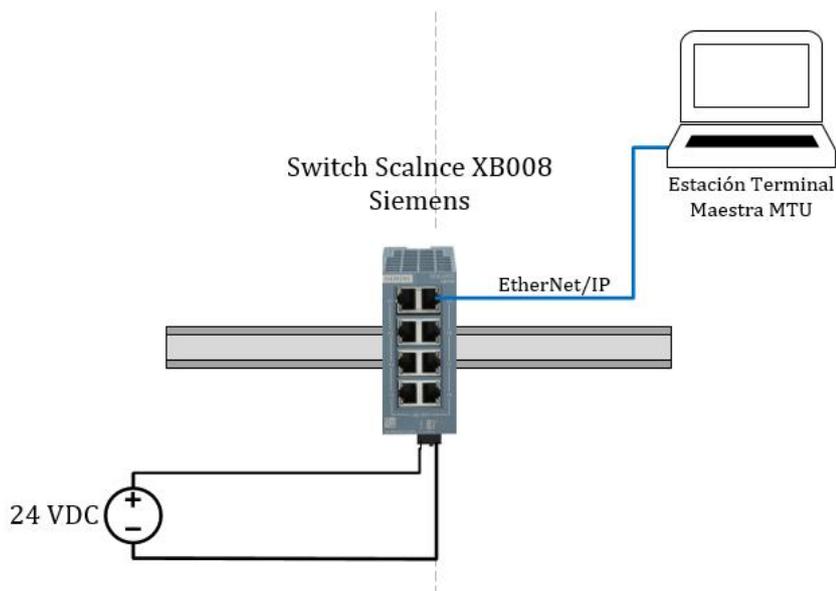


Figura 59. Conexión MTU switch de nivel de Gestión.

Configuración de Unidad terminal Maestra MTU para comunicación con Red de Nivel de Gestión

Una vez conectada la MTU al switch Scalance del nivel de gestión, se deben configurar los parámetros de red de la MTU para que pueda comunicarse con los demás equipos en la arquitectura.

Dicha configuración se especifica en el Anexo 2, *Configuraciones de los Niveles de Control y Gestión*.

Una vez establecida la comunicación de la MTU con la arquitectura, ésta está lista para comunicarse con todos los nodos de la arquitectura y ejecutar tareas supervisión, control y adquisición de datos de estos. Así como también está lista para la implementación de servicios como Interfaces Hombre Máquina (HMI) de los procesos, servidores para almacenamiento local de datos de procesos, servidores web para la transferencia de datos a través de la nube, etc.

5. Capítulo V. Pruebas de validación de la arquitectura de red diseñada

5.1. Pruebas de funcionamiento

Con el fin de validar la **operatividad** y **funcionalidad** de la arquitectura, así como la **conectividad** entre los 3 niveles de la misma, se estableció un plan de pruebas que permitiera verificar mediante implementación física, las características anteriormente mencionadas, así como también las conexiones y configuraciones de red y equipos definidas por el estudiante para cada nivel de la arquitectura.

Se opta por esta metodología para la validación basada en la implementación física sobre la validación por simulación, debido a la falta de herramientas software que permitan simular de manera precisa la comunicación y configuración de parámetros de PLCs de diferentes fabricantes en una misma red de comunicación industrial.

Plan de pruebas para la validación de la Arquitectura

El plan de pruebas para la validación de la arquitectura diseñada, fue estructurado teniendo en cuenta la disponibilidad de equipos y recursos en los laboratorios de Control de Procesos y Máquinas Eléctricas, dado que los laboratorios no cuentan con equipos y recursos como el *TwidoPort* para la comunicación del PLC Schneider Electric y cable UTP categoría 5 de amplia longitud, se buscó que el plan de pruebas pudiera incluir la interconexión de la mayor cantidad de equipos posibles por nivel para validar la comunicación entre los 3 niveles de la arquitectura diseñada.

Dicho plan de pruebas se presenta en la Tabla 22.

Tabla 22. Plan de pruebas para la validación de la Arquitectura Diseñada.

| Pruebas. | Actividades. | Objetivo. |
|---|---|--|
| <p>P.V.1. Puesta en marcha de red <i>DeviceNet</i> de Nivel físico y gestión de la misma desde la MTU del Nivel de Gestión.</p> | Conexión de entradas al bus <i>DeviceNet</i> mediante adaptador 1734-ADN con módulo de entradas tipo relé 1734-IB8. | <p>La prueba P.V.1. permitirá validar mediante la implementación física la funcionalidad y operatividad de las conexiones y configuraciones propuestas por el estudiante para el bus <i>DeviceNet</i> y los equipos I/O que conforman la red de nivel físico. Además, permitirá validar la correcta comunicación entre la MTU del nivel de gestión y la red de nivel físico.</p> |
| | Conexión de salidas al bus <i>DeviceNet</i> mediante adaptador 1734-ADN con módulo de salidas tipo relé 1734-OW4 | |
| | Conexión de Controlador Server-Pasarela, PLC ControlLogix 5561, mediante módulo scanner 1756-DNB a Bus <i>DeviceNet</i> | |
| | Conexión y configuración de switches de los niveles de control y gestión. | |
| | Conexión de Controlador Server-Pasarela, PLC ControlLogix 5561, mediante módulo 1756-ENBT EtherNet/IP a switch se nivel de Control. | |
| | Conexión y configuración de MTU al switch nivel de Gestión. | |
| | Configuración y programación de I/O en red <i>DeviceNet</i> de nivel físico, mediante RsLogix5000 desde la MTU. | |
| <p>P.V.2. Puesta en macha de red de nivel de control, incorporación de PLC MicroLogix 1500 y comunicación con MTU del nivel de Gestión.</p> | Conexión y configuración de PLC MicroLogix 1500 mediante módulo de comunicación NET/ENI-1761. | <p>Las pruebas P.V.2 y P.V.3 permitirán validar mediante implementación física la funcionalidad y operatividad de las conexiones y configuraciones propuestas por el estudiante para el nivel de control. Además, permitirá validar la correcta comunicación entre la MTU del nivel de gestión y la red de nivel de control.</p> |
| | Conexión módulo 1761-NET/ENI a switch Cisco de nivel de Control. | |
| | Envío de Ping desde la MTU de nivel de Gestión al PLC MicroLogix 1500 en el Nivel de Control. | |
| <p>P.V.3. Puesta en macha de red de nivel de control, incorporación de PLC MicroLogix 1100 y comunicación con MTU del nivel de Gestión.</p> | Conexión y configuración de PLC MicroLogix 1100 | |
| | Conexión de PLC MicroLogix 1100 a switch Cisco de nivel de Control. | |
| | Envío de Ping desde la MTU de nivel de Gestión al PLC MicroLogix 1100 en el Nivel de Control. | |

Evidencias y Resultados de las pruebas de validación

P.V.1. Puesta en marcha de red DeviceNet de Nivel físico y gestión de la misma desde la MTU del Nivel de Gestión

Para el desarrollo de la prueba P.V.1 se desarrollaron todas las actividades descritas en el plan de pruebas, las cuales están especificadas en la sección 4.1.7.1 *Conexiones y configuraciones de nivel físico*.

Los resultados de la prueba fueron exitosos pues se realizaron las conexiones y configuraciones como se presentan en el presente documento y fue posible gestionar desde la MTU del Nivel de control las I/O del Nivel físico.

A continuación, se presenta la evidencia de los montajes realizados y los resultados obtenidos.

Conexión de entradas mediante adaptador 1734-ADN

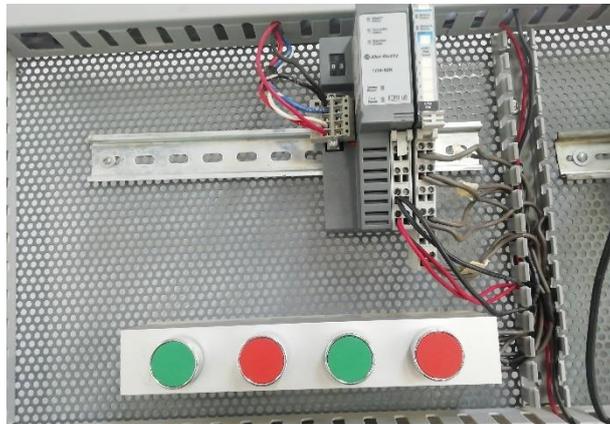


Figura 60. Evidencia conexión de salidas a bus DeviceNet mediante adaptador 1734-ADN. (Fuente propia.)

Conexión de salidas mediante adaptador 1734-ADN

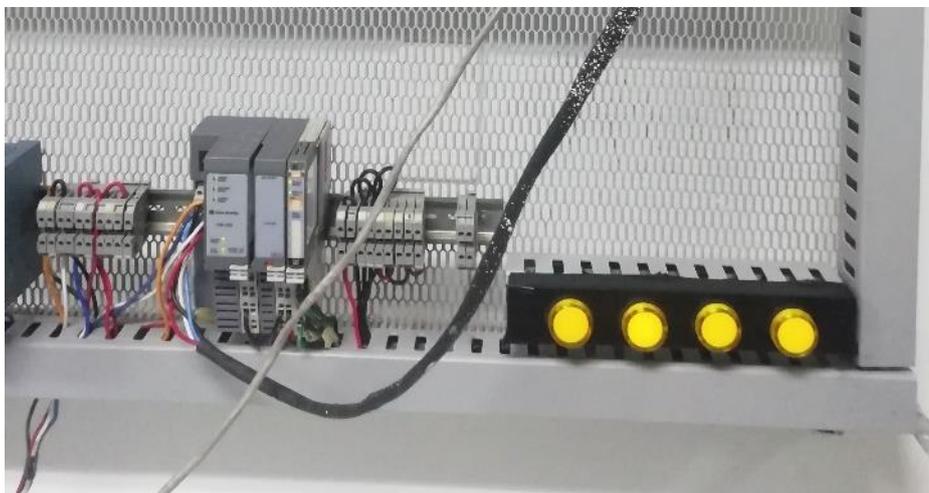


Figura 61. Evidencia conexión de salidas a bus DeviceNet mediante adaptador 1734-ADN. (Fuente propia.)

Conexión del Server-Pasarela a red de nivel de control y red de nivel de gestión mediante módulos 1756-DNB, Y 1756-ENBT

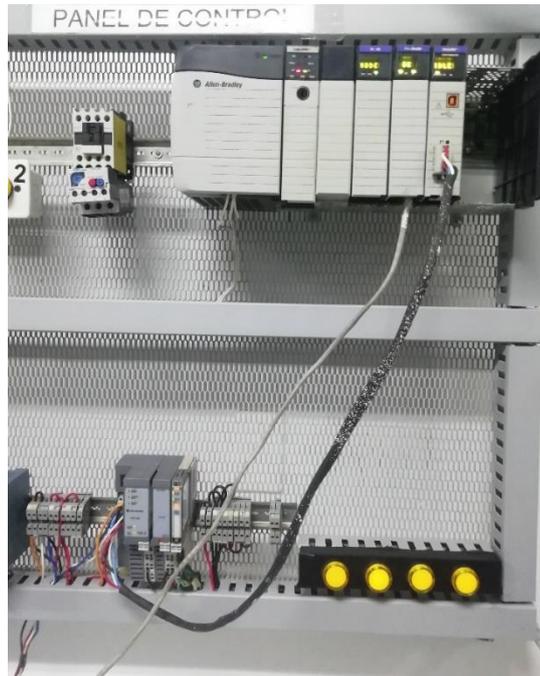


Figura 62. Evidencia conexión de server pasarela con redes de nivel físico y Control, mediante módulos 1756-DNB Y 1756-ENBT. (Fuente propia.)

Conexión de entre switch de nivel de control, switch de nivel de gestión y MTU

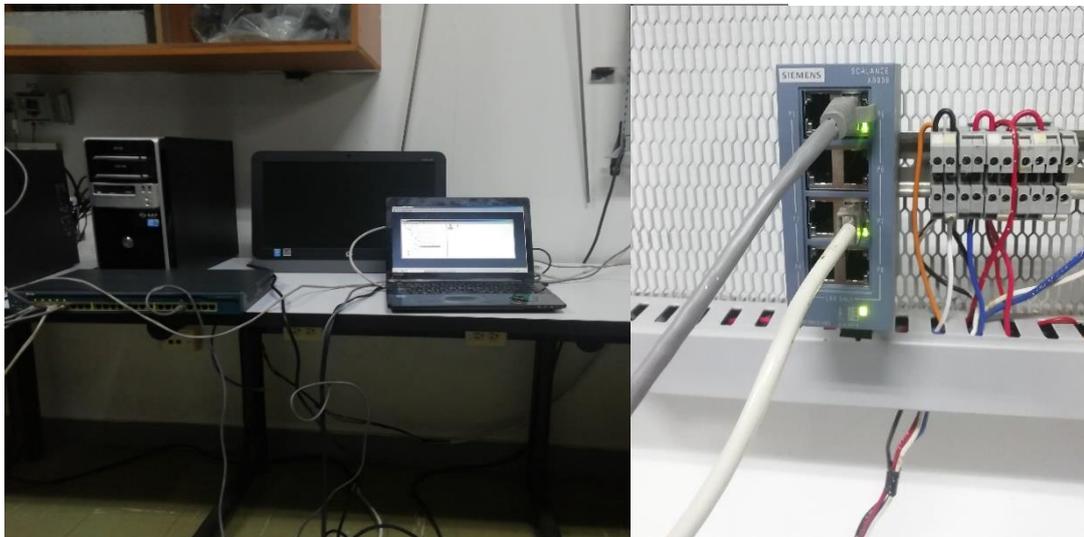


Figura 63. Evidencia conexión de switch de nivel de control con switch de nivel de gestión y con MTU. (Fuente propia.)

Reconocimiento de equipos de Nivel físico desde MTU a través de *RsLinks Classic*.

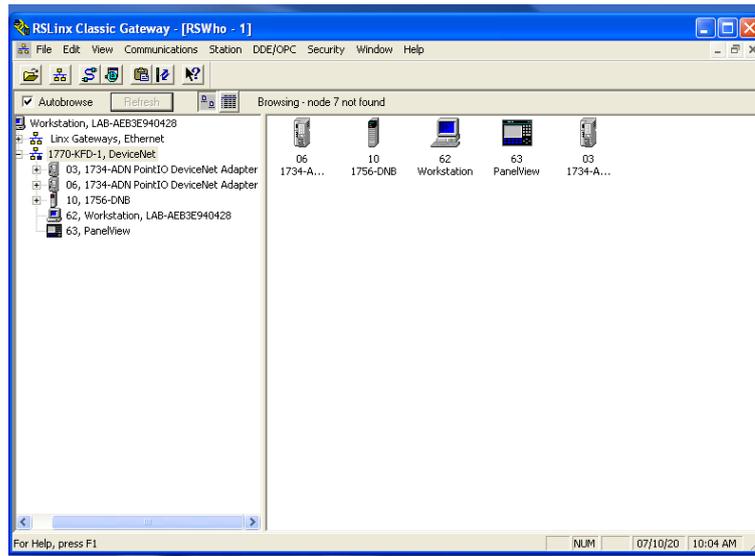


Figura 64. Reconocimiento de equipos conectados al Bus DeviceNet en sotare *RsLinkd Classic* (Fuente propia.)

Configuración de equipos de red DeviceNet en *RsNetwork for DeviceNet*

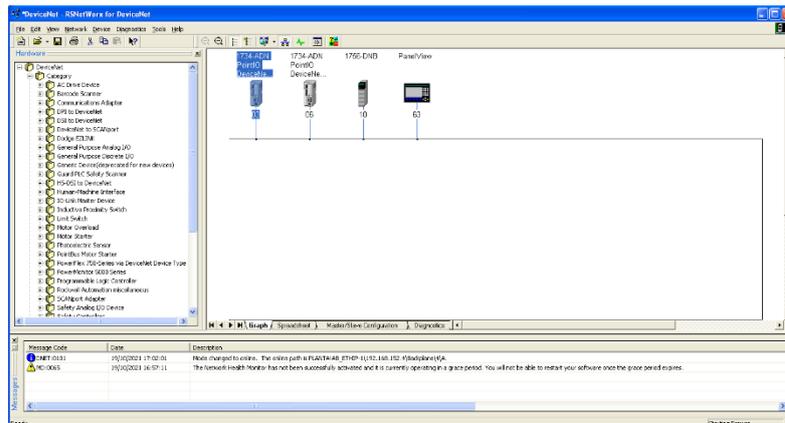


Figura 65. Equipos conectados a bus DeviceNet, configurados mediante *RsNetwork for DeviceNet*. (Fuente propia.)

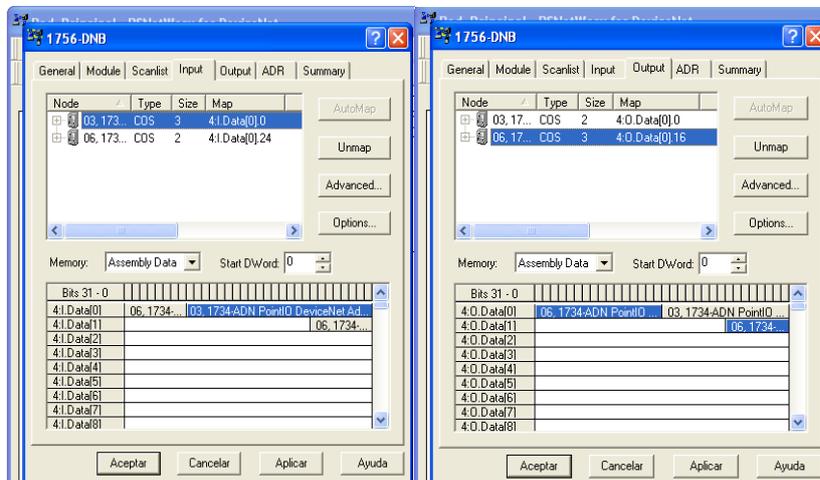


Figura 66. Entradas y salidas mapeadas por Scanner 1756-DNB en controlador server pasarela. (Fuente propia.)

Programación de I/O de nivel físico en software *RsLogix 5000* desde la MTU de Nivel Gestión.

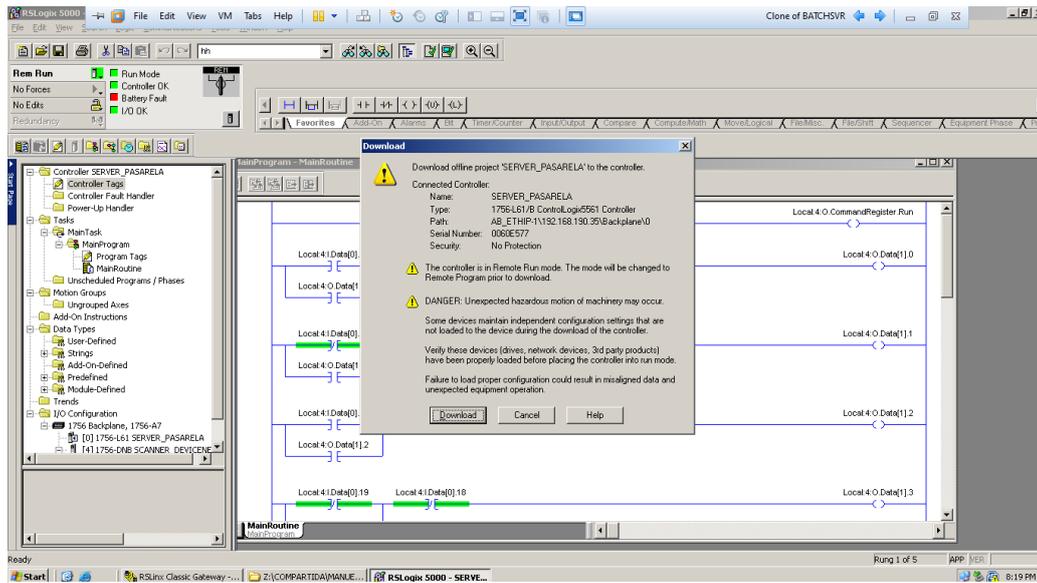


Figura 67. Descarga de programa para gestión de I/O de nivel físico desde MTU a controlador server pasarela. (Fuente propia.)

Accionamiento de Piloto de Salidas desde Pulsadores en red DeviceNet y desde MTU de nivel de Gestión.



Figura 69. Accionamiento de salidas desde Pulsadores en bus DeviceNet. (Fuente propia.)



Figura 68. Accionamiento de Salidas desde la MTU de nivel de Gestión. (Fuente Propia.)

P.V.2. y P.V.3. Puesta en marcha de red de nivel de control, incorporación de PLC MicroLogix 1500, incorporación de PLC MicroLogix 1100 y comunicación con MTU del nivel de Gestión

Para el desarrollo de las pruebas P.V.2 y P.V.3 se desarrollaron todas las actividades descritas en el plan de pruebas para cada una. Cada una de las conexiones y configuraciones se realizaron en consecuencia con lo que se describen en la sección 4.1.7.2. *Conexiones y configuraciones de los niveles de Control y Gestión* del presente documento.

Los resultados de las pruebas fueron exitosos, pues fue posible realizar cada una de las conexiones y configuraciones descritas en el presente documento y comprobar la comunicación mediante PING entre la MTU y los controladores MicroLogix 1500 y MicroLogix 1100 que se incorporaron al nivel de control.

A continuación, se presenta la evidencia de los montajes realizados y los resultados obtenidos.

Conexión de Controladores PLC MicroLogix 1100 de las plantas Estaciones Virtuales 1, 2 y 3 a switch de nivel de control.



Figura 70. Evidencia conexión de PLCs MicroLogix 1100 a switch de nivel de Control. (Fuente propia.)

Conexión de PLC MicroLogix 1500 mediante módulo 1761-NET/ENI

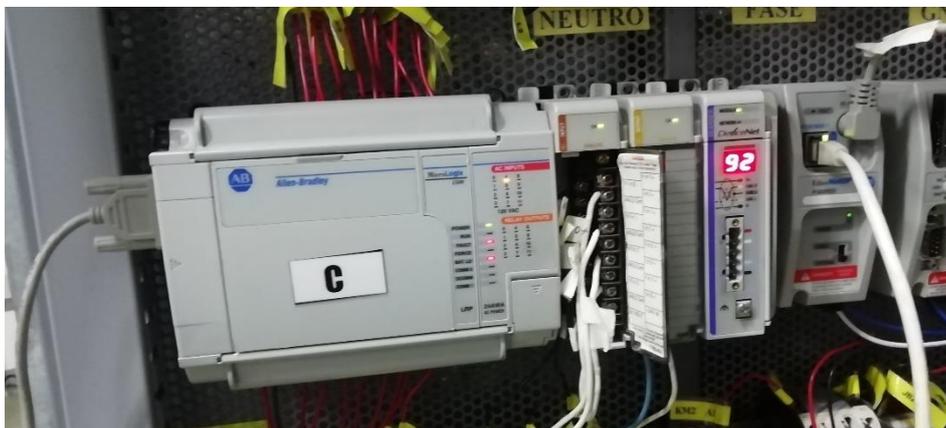


Figura 71. Evidencia conexión entre módulo 1761-NET/ENI y PLC MicroLogix 1500. (Fuente propia.)

Configuración de módulo 1761-NET/ENI para comunicación de PLC MicroLogix 1500 con red de nivel de control

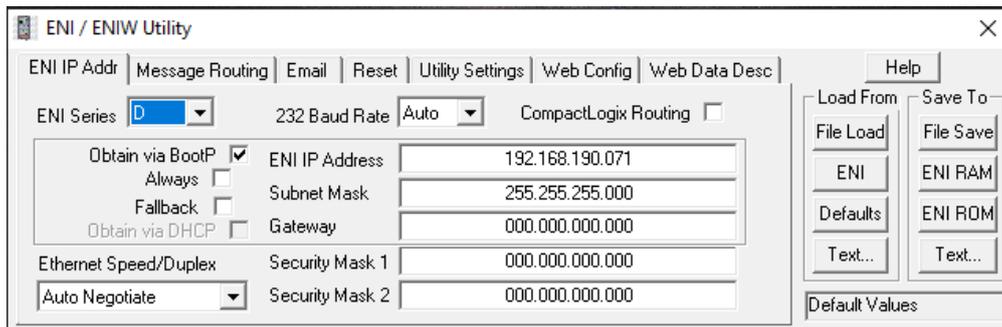


Figura 72. Evidencia configuración de módulo 1761-NET/ENI para comunicación de PLC MicroLogix 1500. (fuente propia.)

Configuración de PLCs MicroLogix 1100 para comunicación con red de nivel de control. Las direcciones IP asignadas a los 3 PLC micrologix 1100 incorporados fueron Estación 1: 192.168.190.38. Estación 2: 192.168.190.41. Estación 3: 192.168.190.81

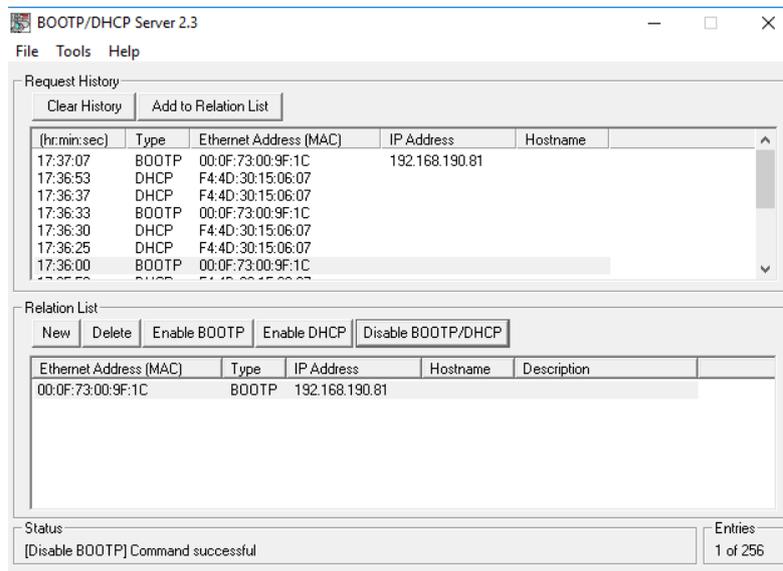


Figura 73. Evidencia configuración de PLC MicroLogix 1100. (Fuente Propia.)

Conexión de Controladores a puertos del switch cisco del nivel de control



Figura 74. Evidencia de Conexión Equipos a switch de Nivel de Control. (Fuente Propia)

Resultados de envío de PING desde la MTU a cada uno de controladores PLC MicroLogix 1100 incorporados.

```
C:\Documents and Settings\svrbatch>ping 192.168.190.38
Pinging 192.168.190.38 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.190.38: bytes=32 time=4ms TTL=128
Reply from 192.168.190.38: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.190.38: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.190.38: bytes=32 time=1ms TTL=128
Ping statistics for 192.168.190.38:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 1ms, Maximum = 4ms, Average = 1ms
C:\Documents and Settings\svrbatch>_

C:\Documents and Settings\svrbatch>ping 192.168.190.41
Pinging 192.168.190.41 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.190.41: bytes=32 time=5ms TTL=128
Reply from 192.168.190.41: bytes=32 time=2ms TTL=128
Reply from 192.168.190.41: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.190.41: bytes=32 time=2ms TTL=128
Ping statistics for 192.168.190.41:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 1ms, Maximum = 5ms, Average = 2ms
C:\Documents and Settings\svrbatch>

C:\Documents and Settings\svrbatch>ping 192.168.190.81
Pinging 192.168.190.81 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.190.81: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.190.81: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 192.168.190.81: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 192.168.190.81: bytes=32 time<1ms TTL=128
Ping statistics for 192.168.190.81:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms
C:\Documents and Settings\svrbatch>_
```

Figura 75. Respuestas exitosas de ping desde la MTU a PLCs MicroLogix 1100. (Fuente propia.)

Resultados de envío de PING a Controlador PLC MicroLogix 1500

```
C:\Documents and Settings\svrbatch>ping 192.168.190.71
Pinging 192.168.190.71 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.190.71: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.190.71: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.190.71: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.190.71: bytes=32 time<1ms TTL=64
Ping statistics for 192.168.190.71:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms
C:\Documents and Settings\svrbatch>
```

Figura 76. Respuesta exitosa de ping desde la MTU a módulo del PLC MicroLogix 1500. (fuente propia)

Reconocimiento de los equipos incorporados en todos los niveles arquitectura por el software *RsLinks Classic*.

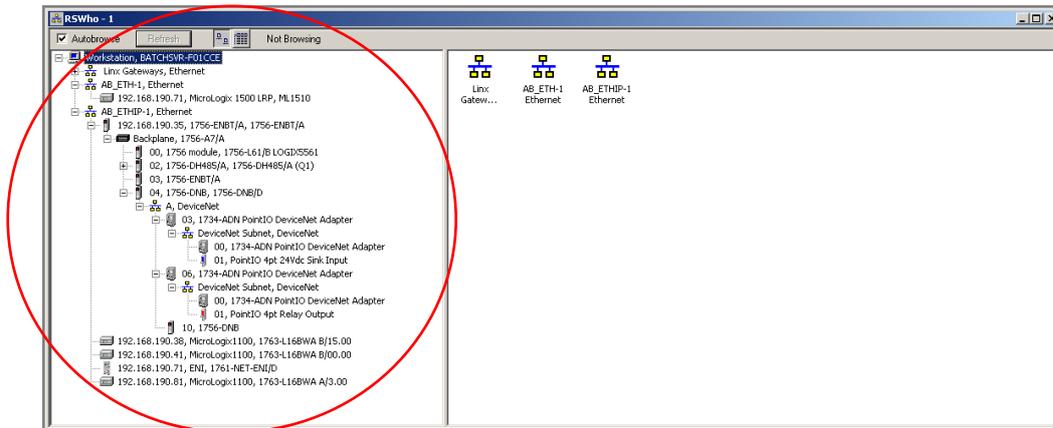


Figura 77. Equipos reconocidos exitosamente desde la MTU. (Fuente propia.)

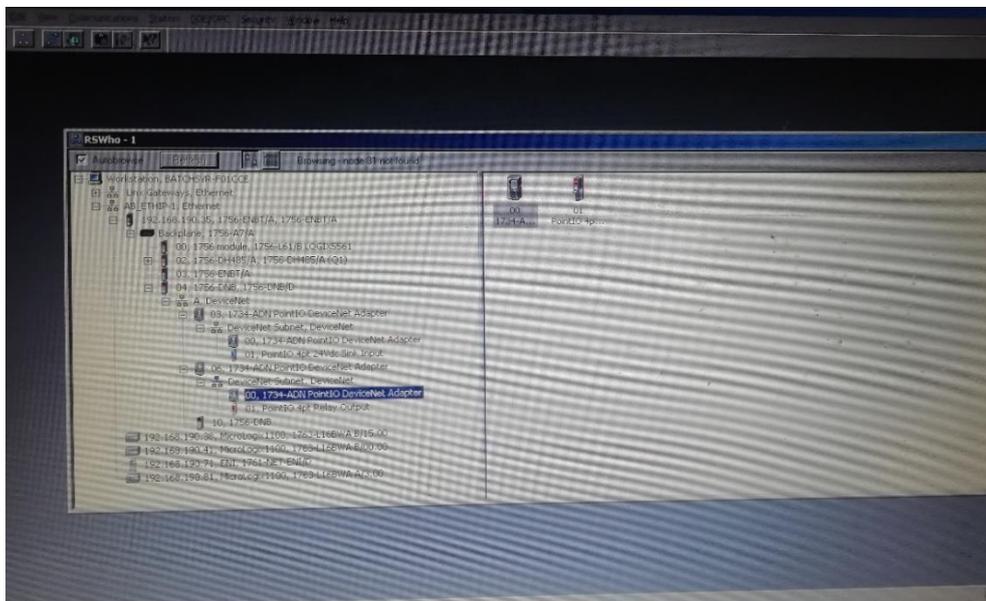


Figura 78. Foto de la pantalla física de la MTU reconociendo los equipos exitosamente. Fuente propia

Con la realización de estas pruebas, queda validada, la conexión, configuración, comunicación e incorporación a la arquitectura, de las plantas de Presión, Temperatura, Tanques En serie, Multivariable, Estaciones virtuales 1, 2 y 3, y la planta Convertidor giratorio de frecuencia, mediante el protocolo de comunicación EtherNet/IP. Además, se valida también el uso del Server-Pasarela para la incorporación y comunicación exitosa del nivel físico con el resto de la arquitectura.

En adición al trabajo realizado, se realizó también el diseño de un interfaz HMI para las líneas de generación hidroeléctrica del Laboratorio de Hidráulica, y se llevó a cabo la incorporación de estas a la arquitectura diseñada como sistema remoto de medición. El desarrollo de dicho trabajo se detalla en el Anexo 3, Sistema remoto de medición.

6. Capítulo VII. Conclusiones

1. La Arquitectura de red diseñada resulta muy versátil a la hora de escalarla y de vincular nuevos equipos a la red en cualquiera de sus tres niveles, dado a que las topologías optadas permiten vincular y desvincular equipos sin afectar los demás nodos de la red, y debido también a que protocolos de comunicación seleccionados son ampliamente usados en la industria y brindan amplia universalidad al momento de vincular equipos.
2. El uso del protocolo de comunicaciones industriales EtherNet/IP resulta ser muy efectivo al momento de comunicar equipos de diferentes fabricantes, ya que permite realizarlo de manera rápida, y económica.
3. Realizar el diseño de la arquitectura estructurada por niveles resulta de mucha utilidad, ya que no solo permitirá a los estudiantes afianzar conocimientos en redes de comunicación industrial y sistemas SCADA, sino también afianzar conceptos de integración empresarial que son de vital importancia en la formación del profesional en Automática Industrial.
4. El uso del Chasis ControlLogix 5000 como Server-pasarela entre los niveles físico y de control resulta de mucha utilidad ya que no solo permite una óptima adquisición y transmisión de datos e instrucciones entre niveles, sino que además también resulta de mucha utilidad al momento de realizar HMIs complejos con datos del nivel de control.
5. El uso del switch Cisco Catalyst 2950 resulta ser muy interesante para el uso de la arquitectura en el entorno educativo, pues mediante el uso de VLANs se puede seccionar la red del nivel de control para realizar trabajo simultaneo de múltiples estudiantes o grupos de estudiantes al tiempo sobre la arquitectura.
6. Para el nivel de gestión, se recomienda el uso de un switch gestionable como el Catalyst 2950 del nivel de Control, con el fin de brindar al nivel de gestión mayor versatilidad para el uso educativo al momento de trabajo grupal.
7. El proceso de validación del funcionamiento de la arquitectura completa mediante un software de simulación resulta muy ambiguo, debido a la escasez de herramientas simulación que permitan la incorporación de equipos de múltiples fabricantes con sus respectivos parámetros de configuración a una red de comunicación industrial.
8. Estructurar una metodología de pruebas para la validación del funcionamiento de la arquitectura mediante la implementación física parcial, resulta ser mucho más efectivo y concluyente que la validación por simulación.

Bibliografía

- [1] G. Sánchez Bolívar, “La relación teoría-práctica, otra faceta de la formación integral,” *Ing. e Investig.*, no. 21, pp. 58–67, 1990.
- [2] Universidad del Cauca, “Plan de estudios | Universidad del Cauca,” 2020. [Online]. Available: <https://www.unicauca.edu.co/versionP/oferta-academica/programas-de-pregrado/ingenieria-en-automatica-industrial/plan-de-estudios>. [Accessed: 06-Mar-2020].
- [3] D. Bailey and E. Wright, “Practical SCADA for Industry,” *IDC Technol.*, vol. 1, pp. 12–14, 2003.
- [4] E. Pérez-López, “Los sistemas SCADA en la automatización industrial,” *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 28, no. 4, pp. 5–10, 2015.
- [5] A. F. Pisso Ordoñez, “Sistemas SCADA Capitulo 1,” *Mater. clase, Univ. del Cauca.*, pp. 12–17, 2017.
- [6] E. Diaz Benachí, “Comunicaciones Industriales Capitulo 1 Topologías,” *Mater. clase, Univ. del Cauca.*, pp. 3–10, 2017.
- [7] Universidad del Cauca, “Introduccion a las redes de Comunicacion,” *Mater. clase, Univ. del Cauca.*, pp. 4–7, 2009.
- [8] O. A. ROJAS, “Software para Aplicaciones Industriales,” *Mater. clase, Univ. del Cauca.*, pp. 1–9, 2005.
- [9] E. Diaz Benachí, “Comunicaciones Industriales Capitulo 8. Buses de Campo,” *Mater. clase, Univ. del Cauca.*, pp. 8–12, 2017.
- [10] E. Diaz Benachí, “Comunicaciones Industriales Capitulo 3. Protocolos de comunicación,” *Mater. clase, Univ. del Cauca.*, vol. 0, pp. 10–15, 2017.
- [11] Universidad del Cauca, “Introducción a las redes de comunicación industrial Capitulo 1, Part. 2 Material de clase,” *Mater. clase, Univ. del Cauca.*, pp. 8–14, 2017.
- [12] ISO/IEC, “Information technology-Open Systems Interconnection-Basic Reference Model: The Basic Model.” pp. 2–4, 32–49.
- [13] Ing. Francisco Franco, “Laboratorio de Control,” 2020. [Online]. Available: <http://mgfranciscofranco.blogspot.com/p/laboratorio-de-procesos.html>. [Accessed: 06-Mar-2020].
- [14] A. Arbor, “Technology Overview Series: DeviceNet,” *ODVA Inc.*, vol. 1, pp. 2–4, 2016.
- [15] WEG, “DeviceNet Communication Manual Soft-Starter Series: SSW-07/SSW-08.” pp. 6–10, 2008.
- [16] T. O. Series, “EtherNet/IP,” no. March, pp. 1–8, 2015.
- [17] Allen-Bradley, “DN-6.7.2ES, Sistema de cables DeviceNet, Manual de planificación e instalación.”

- [18] R. Automation, "POINT I/O DeviceNet Adapter," no. April, 2005.
- [19] R. Automation, "POINT I / O Digital and Analog Modules and POINTBlock I / O Modules."
- [20] R. Automation, "POINT I/O Field Potential Distributor Modules, Installation Instructions."
- [21] R. Automation, "DeviceNet RSS232 Interface Module (Catalog Number 1770-KFD and 1770-KFDG)," 1770.
- [22] Universidad del Cauca, "Introducción a las redes de comunicación industrial Capitulo 1, Part 1," *Mater. clase, Univ. del Cauca.*, p. 6, 2018.
- [23] "cliente-servidor.jpg." [Online]. Available: <https://todoaccessvba.files.wordpress.com/2012/08/cliente-servidor.jpg>. [Accessed: 08-Feb-2021].
- [24] E. Diaz Benachí, "Nivel Físico Medios de Transmisión," *Mater. clase, Univ. del Cauca.*, pp. 41–42, 2017.

ANEXOS

ANEXO 1

Configuraciones de la red *DeviceNet* de Nivel físico

1. Configuración de driver de comunicación en *RsLinks* a través del módulo 1770 KFD

Una vez energizada la red y los diferentes equipos de nivel físico, se procede a su respectiva configuración. Para ello es necesario primeramente crear el driver de comunicación que nos permitirá conectarnos a la red desde la estación de configuración.

Para ello abrimos primero verificamos el puerto COM mediante el cual se conectó el módulo 1770 KFD al computador. Para ello, en la PC nos dirigimos a “Equipo”, presionamos clic derecho y accedemos a “propiedades” y en propiedades entramos a administrador de dispositivos, allí verificamos en que puerto COM quedo conectado el módulo.

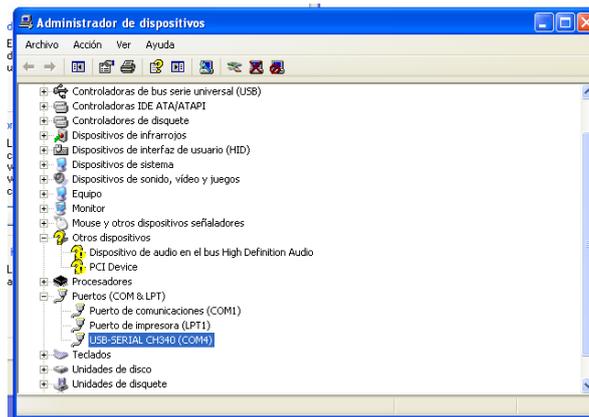


Figura 79. Verificación del puerto COM al cual se conectó el módulo 1770-KFD. (fuente propia)

Luego procedemos a abrir la herramienta *RsLinks* classic:

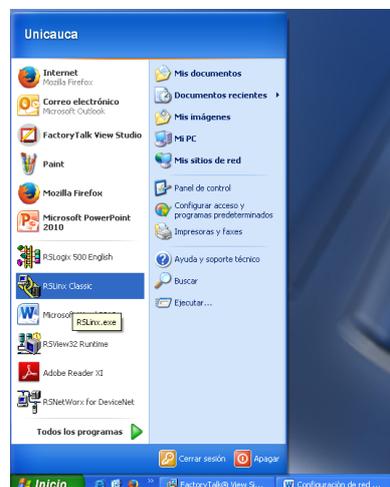


Figura 80. Inicio de herramienta *RsLinks*. (fuente propia)

Dentro de la ventana principal de la herramienta presionamos el botón de configurar nuevo driver

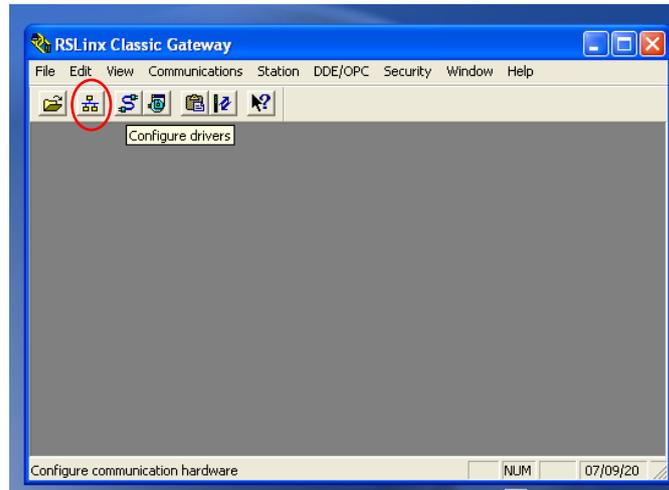


Figura 81. Ventana principal RsLinks. (fuente propia)

Seleccionamos el driver *DeviceNet Driver*, presionamos *Add New* y seleccionamos el módulo 1770 KFD

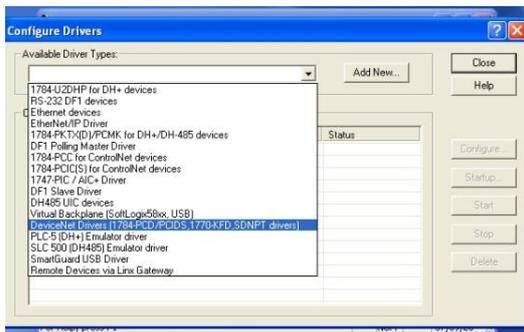


Figura 83. Selección de Driver DeviceNet. (fuente propia)

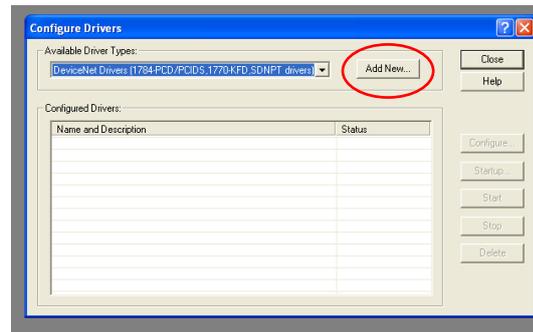


Figura 82. Adición de driver de comunicación. (fuente propia)



Figura 84. Selección del módulo 1770-KFD. (fuente propia)

Seleccionamos el puerto COM por el cual están comunicados módulo y PC y presionamos OK

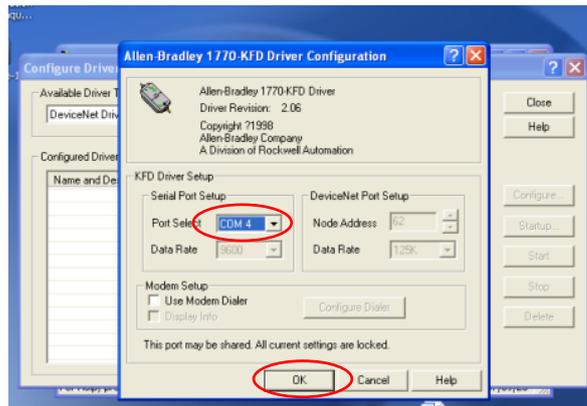


Figura 85. Verificación del puerto COM. (fuente propia)

Agregamos el nombre al driver, presionamos OK y verificamos que quede en estado Running. Posteriormente cerramos esta ventana.

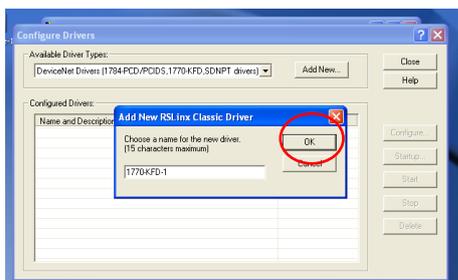


Figura 87. Adición de nombre al driver. (fuente propia)

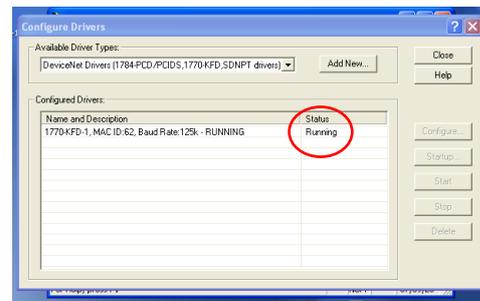


Figura 86. Verificación de Estado Running. (fuente propia)

Una vez creado el driver verificamos que en la sección de *RsWho*, aparezcan los equipos de la red.

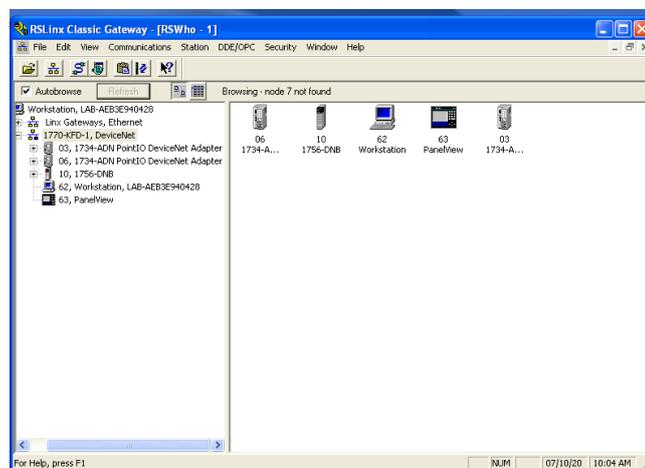


Figura 88. Equipos de la Red. (fuente propia)

2. Configuración de driver de comunicación en *RsLinks* a través del ControlLogix5000

Dado que en el chasis ControlLogix en el que se encuentran alojados el PLC ControlLogix 5000, y el Scanner 1756-DNB para DeviceNet, también encuentra alojado, instalado y funcionando un módulo 1756-ENBT para Ethernet/IP en el slot 4 de dicho chasis, el cual se utilizará para enlazar la red de nivel físico con la red de nivel de control, es posible configurar la red de nivel físico a través de un driver de EtherNet/IP.

Para ello primero conectamos por medio de cable de red, el módulo 1756-ENBT al puerto de red del computador.

En el display del módulo 1756-ENBT, deberá desplegarse la dirección IP que el equipo tiene asociada, en caso de que no lo haga debe fijársela a través de la herramienta *BOOTP/DHCP-Server* de la suite de herramientas de Rockwell Automación (RA). Ver apartado “*Configuración de controladores MicroLogix 1100*”



Figura 89. Dirección IP desplegada en display del módulo 1756-ENBT. (fuente propia)

Conocida la dirección IP del módulo EtherNet/IP 1756-ENBT, configuramos la dirección IP de la estación de configuración de modo que queden bajo la misma subred. Para ello nos dirigimos a Panel de control>redes e internet>centro de redes y recursos compartidos, seleccionamos el adaptador y fijamos la dirección IP en la misma subred, 192.168.190.xxx

Con ambas direcciones IP configuradas, iniciamos la herramienta *RsLinks Classic* y detenemos y eliminamos cualquier driver que se encuentre corriendo.

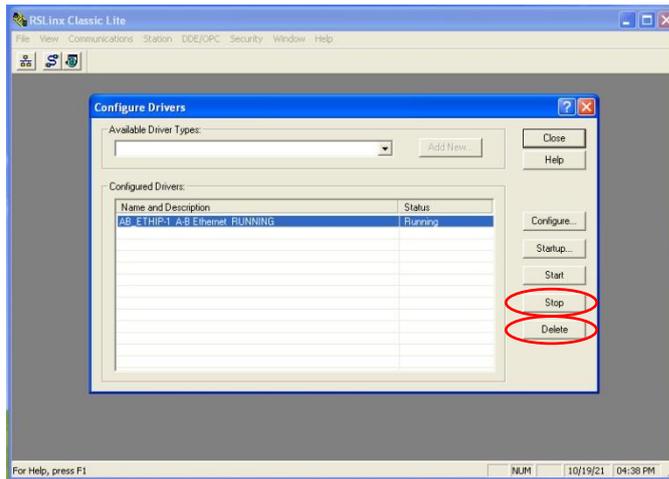


Figura 90. Stop and Delete de Drivers Ejecutados. (fuente propia)

Agregamos el nuevo Driver seleccionando *EtherNet/IP Driver* y presionando *Add New*, seguidamente agregamos un nombre al driver y presionamos *Ok*.

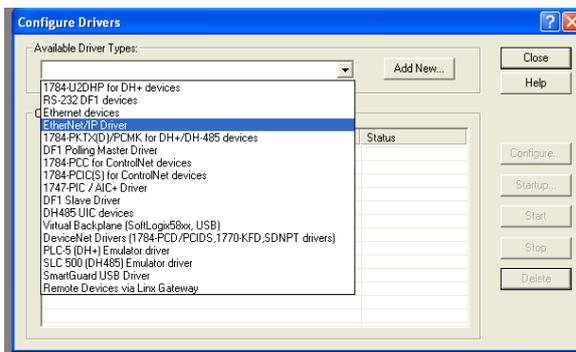


Figura 92. Selección de Driver EtherNet/IP. (fuente propia)

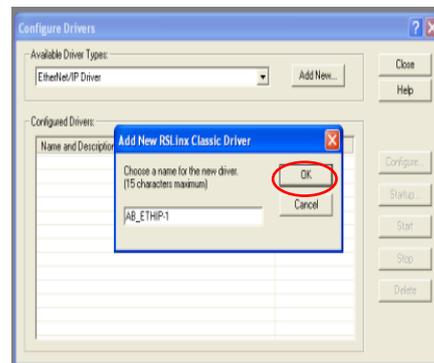


Figura 91. Adición de nombre al Driver. (fuente propia)

En la siguiente ventana seleccionamos la subred en la que queremos buscar los dispositivos, para el caso será la subred local, para ello mantenemos la opción *Windows Default* y presionamos *Aceptar*.

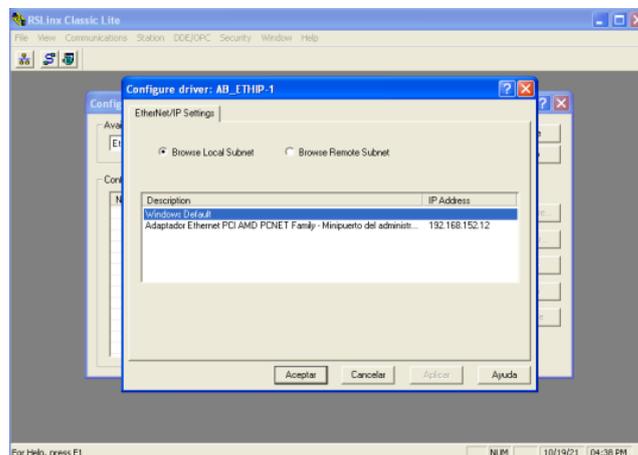


Figura 93. Selección de subred. (fuente propia)

Con esto quedará creado el driver y deberá aparecer el estado Running. Ahora ya podremos verificar en la sección RsWho, los equipos vinculados a la red.

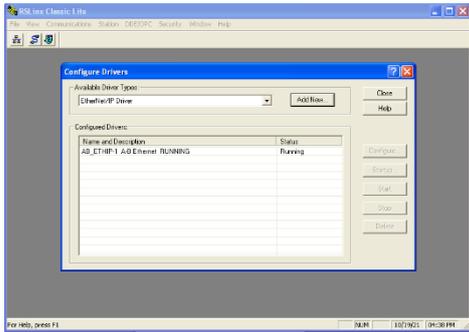


Figura 94. Driver EtherNet/IP en estado Running. (fuente propia)

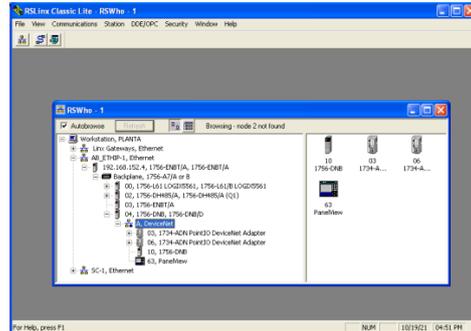


Figura 95. Equipos de la red con Driver EtherNet/IP. (fuente propia)

3. Configuración de equipos de nivel físico mediante *RsNetwork for DeviceNet*

Una vez configurado el driver de comunicación y sea posible ver los equipos vinculados, independientemente del driver utilizado, ya se puede proceder a configurar la red y los parámetros de equipos en ella.

Para ello iniciamos la herramienta *RsNetwork for DeviceNet* de la suite de RA.

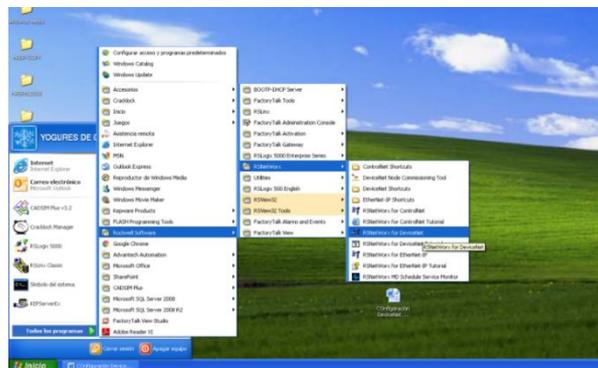


Figura 96. Abrir *RsNetwork for DeviceNet* (fuente propia)

En la ventana principal de la aplicación, nos dirigimos al botón Online, para seleccionar el driver de comunicación y desplegar los equipos.

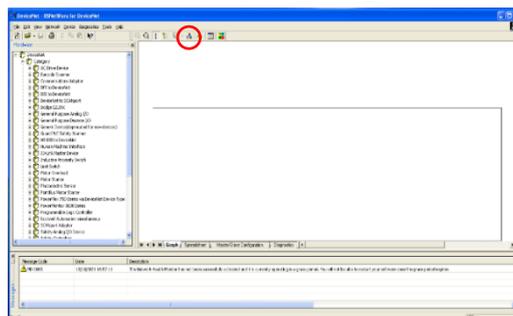


Figura 97. Pantalla Inicial *RsNetwork for DeviceNet* (fuente propia)

En la ventana que se despliega, seleccione la red DeviceNet.

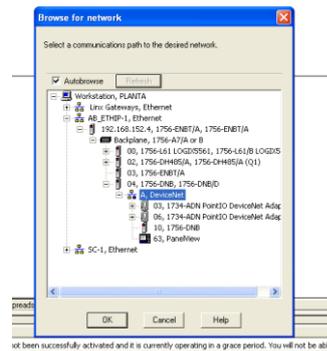


Figura 98. Selección de red DeviceNet RS Network.
(fuente propia)

Presionamos Ok y seguidamente de aceptar en la ventana emergente. Y esperamos a que carguen los equipos de la red.

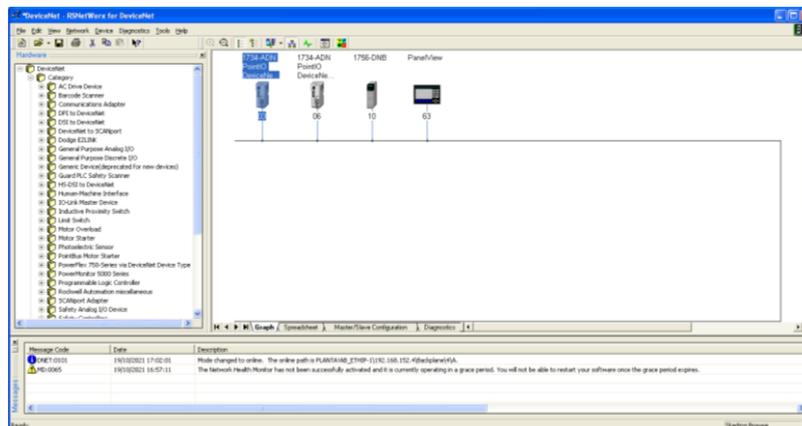


Figura 99. Equipos de la red, RsNetwork. (fuente propia).

Con los equipos cargados en la herramienta pasamos a configurar cada uno de ellos.

Configuración de Scanner 1756-DNB.

Seleccionamos dando doble clic sobre el quipo en la herramienta.

En la ventana que aparece nos dirigimos a la pestaña Module y presionamos *Download* para descargar la configuración al equipo.

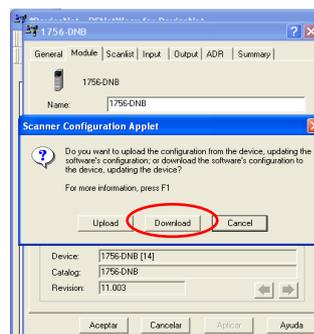


Figura 100. Configuración 1756-DNB
(fuente propia)

Ahora verificamos y ajustamos el número del Slot que ocupa el Scanner 1765-DNB en el chasis ControlLogix 5000, luego de ello, presionamos *Download to Scanner*, *Aplicar* y *Aceptar*.

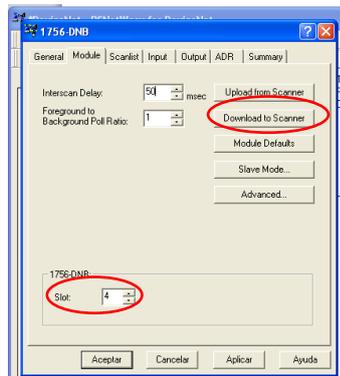


Figura 101. Ajuste de parámetros 1756-DNB.
(fuente propia)

Configuración de Adaptadores 1734-ADN.

Seleccionamos alguno de los adaptadores dándole doble clic.

En la ventana que nos aparece nos dirigimos a la pestaña *Parameter*, y presionamos *Upload* para cargar los parámetros por defecto al equipo.

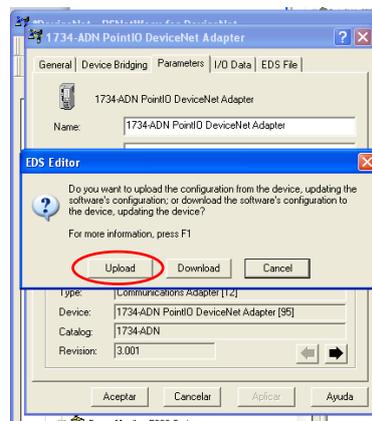


Figura 102. Configuración adaptadores 1734-ADN. (fuente propia)

En la lista de parámetros que se despliega, seleccionamos en la fila 5 la acción *Auto Start Mode* para cargar la configuración automática del equipo, y escogemos *Map Data To Word Bound*, con lo cual cada nodo I/O, será mapeado en la siguiente palabra de memoria disponible del adaptador.

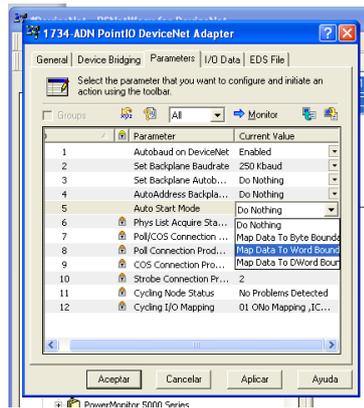


Figura 103. Ajuste de parámetros 1734-ADN. (fuente propia)

Posteriormente presionamos descargar, aplicar y aceptar y repetimos el proceso para el segundo adaptador 1734-ADN

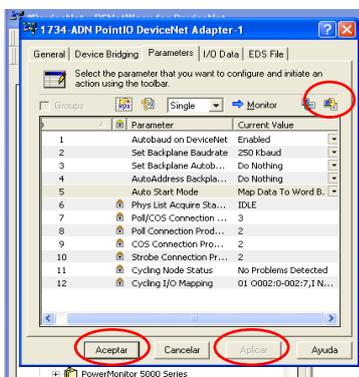


Figura 104. Descarga de parámetros 1734-ADN. (fuente propia)

Una vez configurados ambos adaptadores 1734-ADN, guardamos el archivo RsNetwork en una capeta local. Y se prosigue a configurar las subredes propias de cada adaptador 1734-ADN

Configuración de las subredes 1734-ADN y listas de Scanner.

Para la configuración de una sub red para un adaptador 1734-ADN, es necesario crear un nuevo archivo RsNetwork. Para ello, nos dirigimos al botón *Nuevo Archivo* de la parte superior y en la ventana emergente seleccionamos *DeviceNet* y presionamos *Ok*.

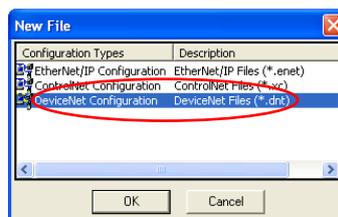


Figura 105. Configuración de subred DeviceNet. (fuente propia)

De igual manera que anteriormente, desde el botón *Online*, se selecciona el driver de comunicación y, en este caso, la sub red que se quiere configurar, la cual será la del 1734-ADN.

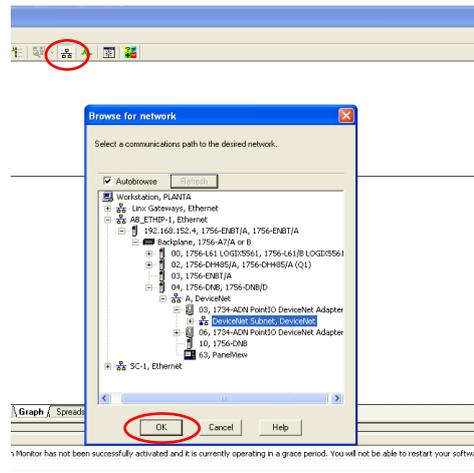


Figura 106. Selección de driver y subred a configurar. (fuente propia).

Presionamos Ok y esperamos a que carguen en pantalla, los módulos conectados al adaptador seleccionado.

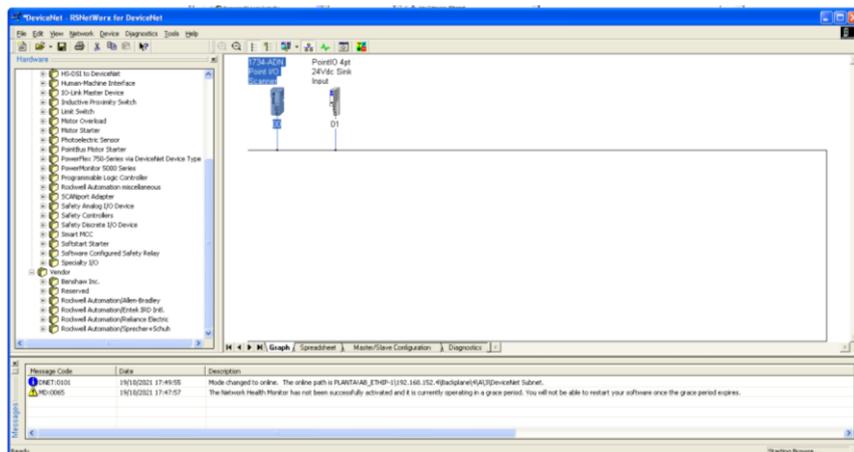


Figura 107. Equipos asociados a subred 1734-ADN RsNetwork. (fuente propia)

Una vez cargados los equipos de la subred, se debe configurar la lista de Scanner del adaptador, para ello presionamos doble clic sobre el mismo y nos dirigimos a la pestaña *ScanList*. Seguidamente, en la ventana emergente presionamos *Upload* para cargar el ScanList de Entradas y Salidas I/O al dispositivo, y por ende a la red principal, así los datos están al alcance y puedan ser tomados por el Scanner 1756-DNB del chasis ControlLogix 5000 para su gestión.

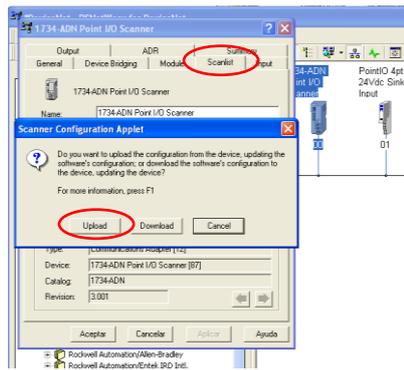


Figura 108. Cargar lista de Scanner a adaptador 1734-ADN. (fuente propia)

Una vez presionado *Upload*, esperamos a que carguen la lista de scanner y la muestre en pantalla como se ve en la Figura 108

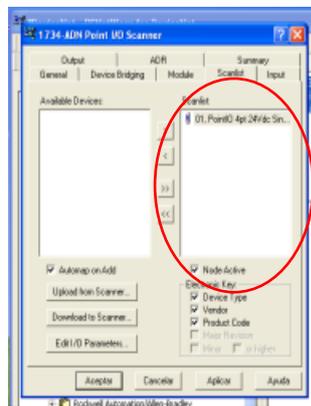


Figura 109. Lista de Scanner en el adaptador 1734-ADN. (fuente propia)

Fíjese que los módulos asociados al 1734-ADN quedan del lado derecho de la pantalla en la sección *ScanList*, como se muestra en la Figura 108.

En caso de que los dispositivos aparezcan en el lado izquierdo, agréguelos usando las flechas de la pantalla, posteriormente cárguelos al Scanner.

Presionamos *Aplicar*, *Aceptar* y guardamos el archivo en la misma carpeta que el archivo de la red principal.

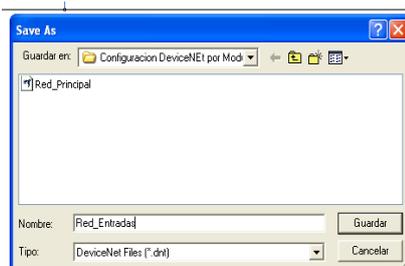


Figura 110. Guardamos archivo *RsNetwork* de la red de entradas. (fuente propia).

Ahora se debe asociar el archivo de subred guardado, con el adaptador que le corresponde dentro de la red principal, para que el Scanner 1756-DNB asociado al controlador ControlLogix 5000 pueda mapear las I/O cargadas en los adaptadores, en Bytes de memoria del controlador.

Para ello, presionamos doble clic sobre el adaptador, y nos dirigimos a la sección *Device Bridging*. Dentro de esta pestaña, seleccionamos el botón *Associate File*.

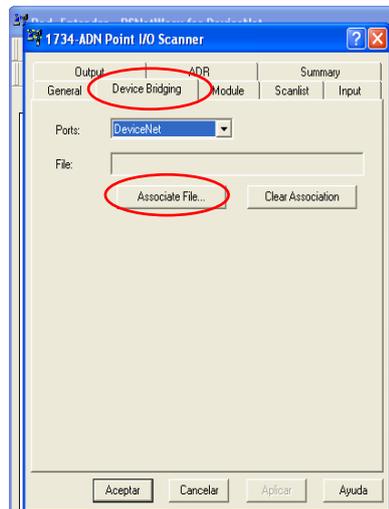


Figura 111. Asociar subred con ADN en red principal. (fuente propia).

Ahora seleccionamos la Red a la cual está asociada la Subred que acabamos de configurar y presionamos Abrir.

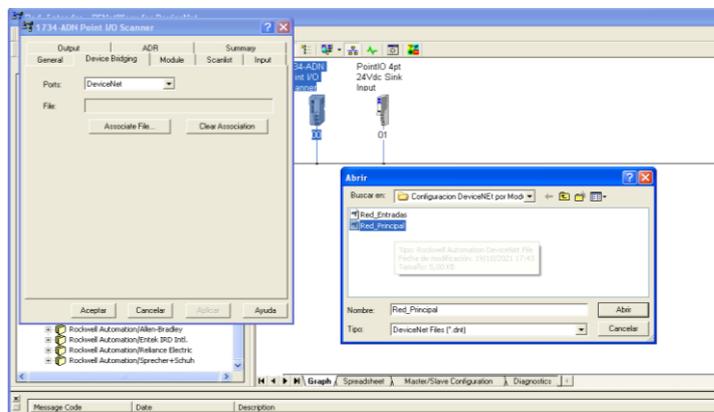


Figura 112. Seleccionar red principal. (fuente propia)

Luego se selecciona el adaptador al cual corresponde el archivo que se acaba de crear y se presiona Ok, Aplicar y Aceptar.



Figura 113. Selección de adaptador en red principal. (fuente propia).

Luego se presiona clic derecho sobre el adaptador seleccionamos la opción *Associated Network*

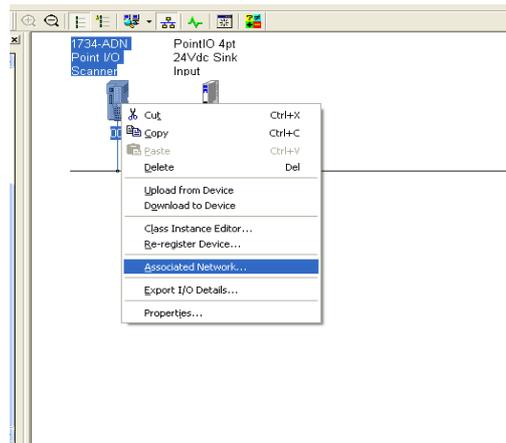


Figura 114. Asociar redes. (fuente propia).

Presionamos Sí, guardar los cambios y esperamos a que nos redirija al archivo de la Red principal.

Una vez en el archivo de la red principal, damos doble clic al adaptador al cual le estamos asociando la subred y nos dirigimos a la sección *Device Bridgin*, en donde mediante el botón *Associated File* se seleccionará el archivo de Subred que se acabó de crear y configurar.

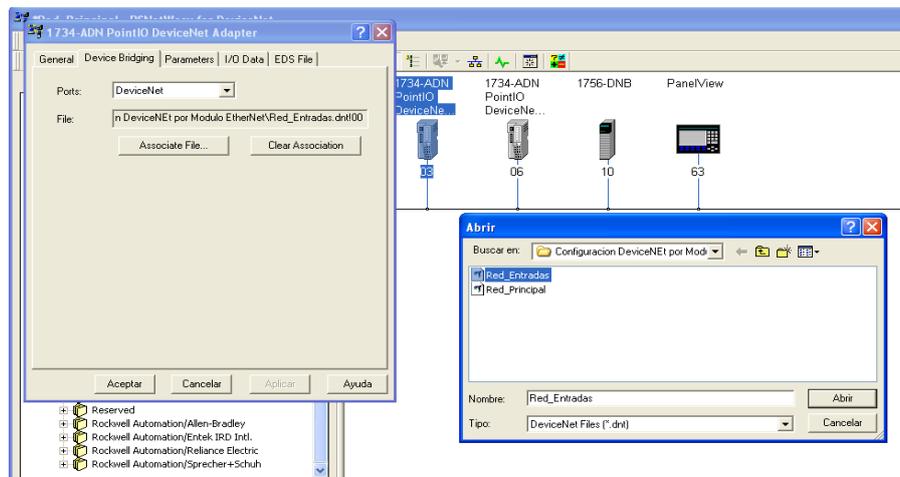


Figura 115. Asociar red de entradas en adaptador ADN de red principal. (fuente propia)

Presionamos Aplicar, Aceptar y guardamos el archivo y repetimos el proceso para el segundo adaptador 1734-ADN.

Una vez configurados ambos adaptadores, guardamos y presionamos en el archivo de Red principal, el botón *Online* para que se carguen todas las configuraciones hechas a los equipos.

Por último, se debe configurar la lista de Scanner del 1756-DNB. Para ello damos doble clic sobre el Scanner, nos dirigimos a la pestaña *ScanList* y presionamos *Download* en la pestaña emergente para descargar los datos al dispositivo.

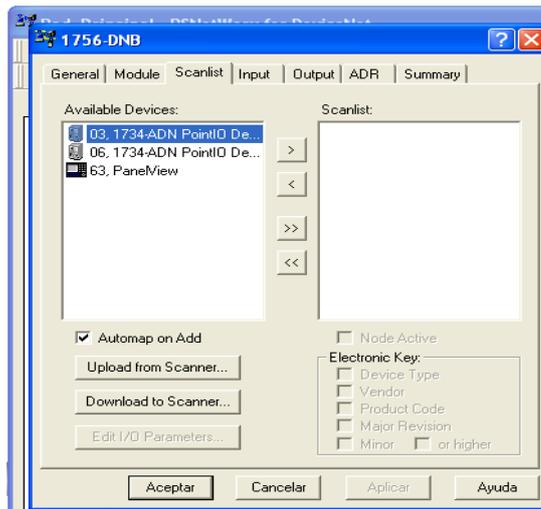


Figura 116. Lista de Scanner 1756-DNB. (fuente propia).

En esta pestaña, agregue al ScanList, lado derecho, los adaptadores 1734-ADN que acabó de configurar con el uso de las flechas que aparecen en el centro de la pantalla.

Una vez del lado derecho, presionamos el botón *Download to Scanner*.

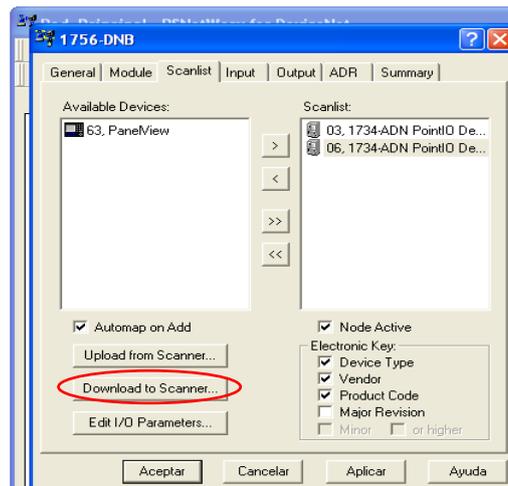


Figura 117. Descargar de lista de Scanner al 1756-DNB. (fuente propia)

Con esto, quedan cargadas las entradas y salidas en el dispositivo Scanner 1756-DNB del chasis ControlLogix 5000 y es posible ver, en las pestañas Input y Output, en que palabras de memoria del controlador quedan mapeadas dichas entradas y salidas.

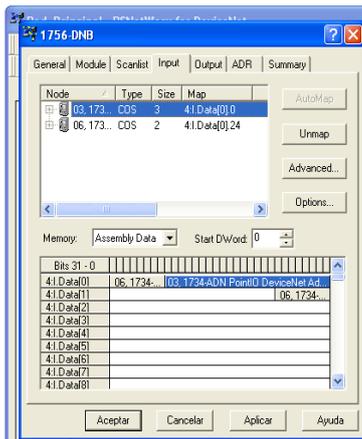


Figura 119. Entradas mapeadas por el 1756-DNB. (fuente propia).

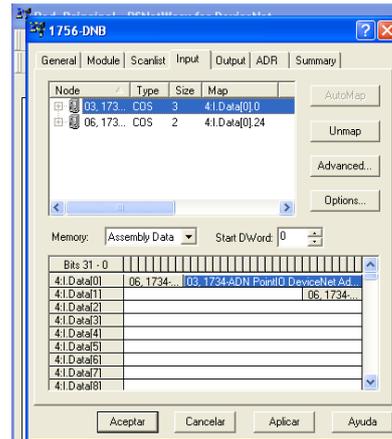


Figura 118. Salidas mapeadas por 1756-DNB. (fuente propia)

Note que, para el caso, las entradas del 1734-ADN del nodo 3, quedaron mapeadas en la palabra 4:I.Data[0] del bit 0 al 23 del controlador. Además, también se asigna para el adaptador 1734-ADN del nodo 6 las palabras 4:I.Data[0] del bit 24 al 31, y 4:I.Data[1] del bit 0 al 7, pero como en este caso no se tiene entradas en dicho adaptador, estos bits no se utilizarían.

Para el caso de las salidas, note que quedaron mapeadas en las palabras 4:OData[0] del bit 16 al 31 y en la palabra 4:OData[1] del bit 0 al 7, las salidas asociadas al adaptador del nodo 6.

Dado que las entradas y salidas, quedan mapeadas en palabras de memoria que contienen múltiples bits, dichas entradas y salidas pueden quedar asociadas a cualquiera de estos bits. Se debe verificar con ayuda del monitor de Tags del RsLogix 5000 en que bits específicos quedaron asociadas dichas I/O para su gestión.

Con esto ya queda lista la configuración de la red DeviceNet y está preparada para la gestión y uso de los datos que por allí circulan.

4. Configuración y programación del PLC ControlLogix 5000. Mediante RsLogix 5000

Una vez configurada la red DeviceNet de nivel físico, mediante el software RsNetwork, se procede a realizar la respectiva configuración del controlador PLC asociado mediante el software RsLogix5000, para posteriormente poder realizar gestión de las entradas y salidas que se comunican en la red.

Para ello abrimos la herramienta RsLogix5000 de la suite de Rockwell Automation.

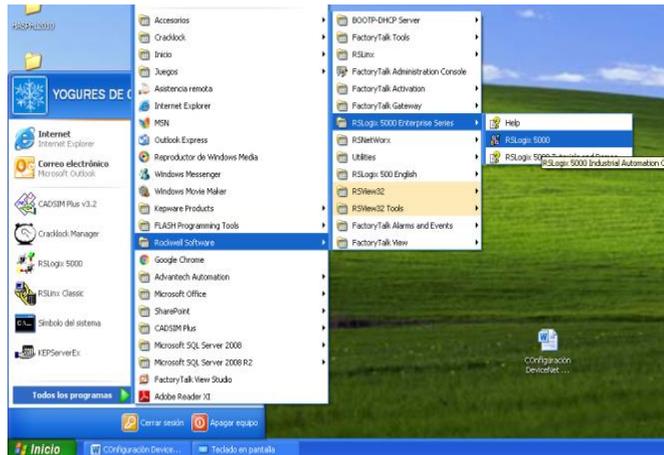


Figura 120. Inicio de herramienta RsLogix 5000. (fuente propia)

Una vez abierta nos mostrará la pantalla inicial de la herramienta, donde crearemos un nuevo proyecto, Figura 120.

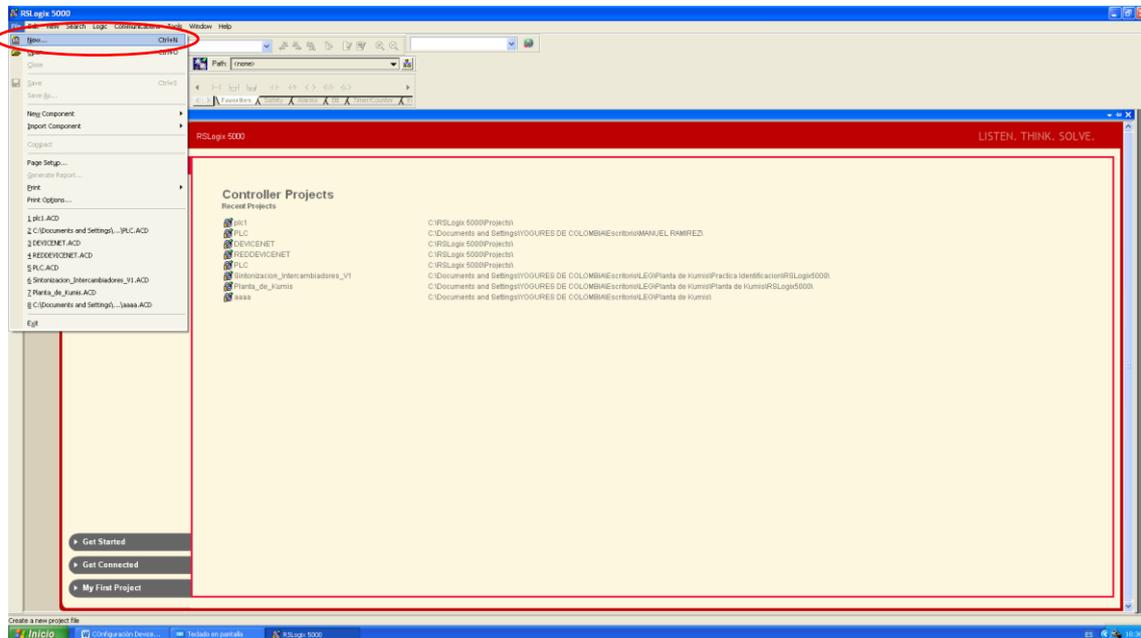


Figura 121. Pantalla inicial de RsLogix 5000, crear nuevo proyecto. (fuente propia)

Una vez seleccionado nuevo proyecto, agregamos en la ventana emergente las especificaciones de: el tipo de controlador, el tipo de chasis, y el slot que ocupa el controlador en el chasis, y presionamos Ok

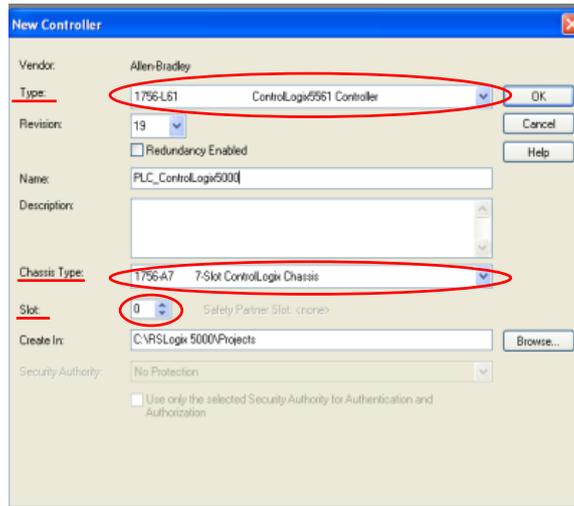


Figura 122. Especificación del controlador y chasis a utilizar en el proyecto. (fuente propia).

Una vez creado el proyecto, se desplegará la sección de trabajo del proyecto RSLogix5000.

En la parte izquierda de la pantalla se despliega el árbol de proyecto, en donde entre otras cosas se encuentran las secciones para programación del controlador en Ladder del controlador, asignación de Tags de procesos, y gestión de I/O asociadas.

Allí nos dirigimos a la parte inferior, dentro de la carpeta *I/O Configuration*, presionamos clic derecho sobre el *BackPlane* y seleccionamos *new module* para agregar el *Scanner DeviceNet* presente en el chasis.

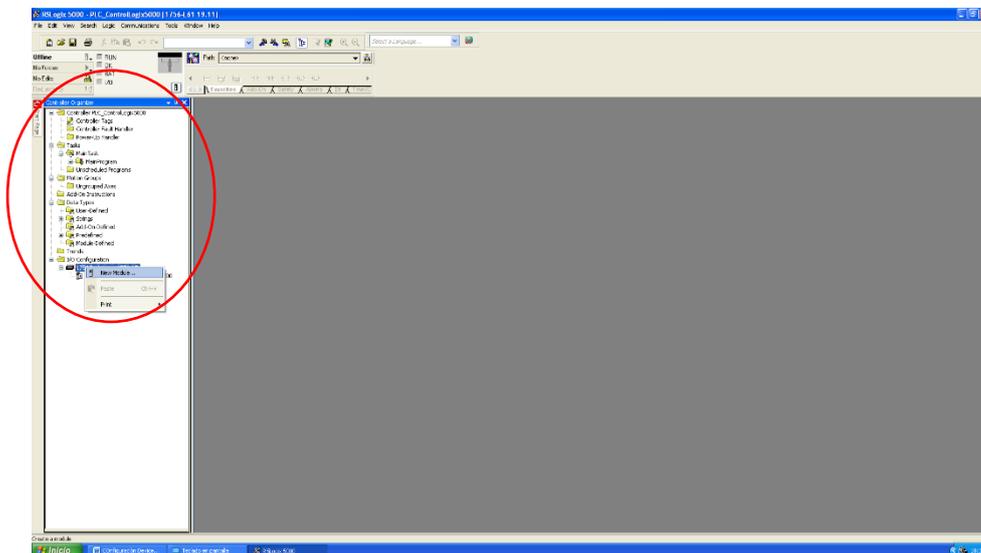


Figura 123. Ventana principal del proyecto, árbol de proyecto, y adicción de módulo. (fuente propia).

En la ventana que se despliega, buscamos dentro de la sección *Communication*, el *Scanner DeviceNet 1756-DNB* y presionamos *Ok*

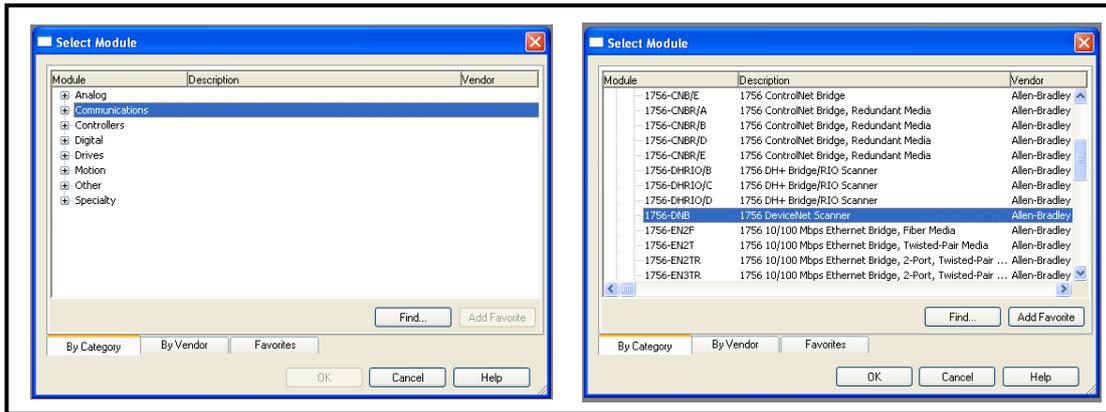


Figura 124. Selección de módulo Scanner 1756-DNB. (fuente propia).

Ahora se despliega la ventana de configuración del módulo. Aquí se debe configurar el nombre que le queremos asignar al módulo, el nodo que ocupa en la red DeviceNet, el número del slot que ocupa Scanner en el chasis ControlLogix y se debe desactivar la *Electronic Keying*, para posteriormente presionar Ok

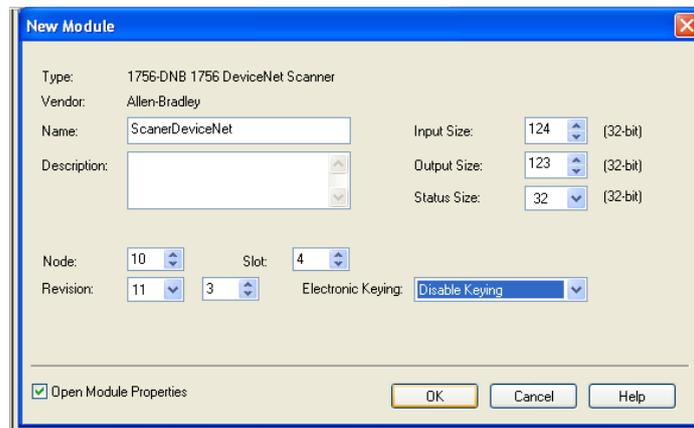


Figura 125. Configuración de parámetros del módulo Scanner 1756-DNB RsLogix 5000. (fuente propia).

Ahora nos dirigimos a la pestaña RsNetwork y agregamos el archivo de configuración DeviceNet RsNetwork de la red principal que acabamos de crear y presionamos Aplicar y Aceptar

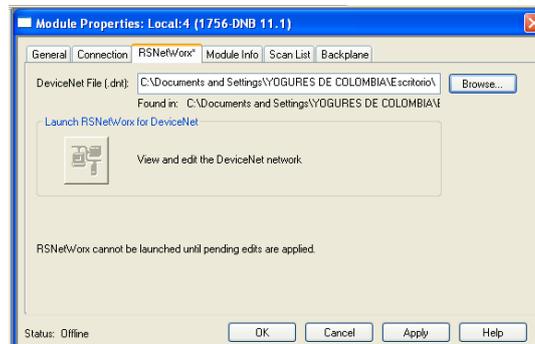


Figura 126. Adición de archivo de configuración RsNetwork. (fuente propia).

Una vez configurado el Scanner DeviceNet, es hora conectar el RsLogix 5000 con el controlador para descargar el proyecto creado y verificar las entradas y salidas mapeadas.

Para ello en la parte superior nos dirigimos a *Communications*, y seleccionamos *Who Active* para seleccionar el controlador a través del driver configurado.

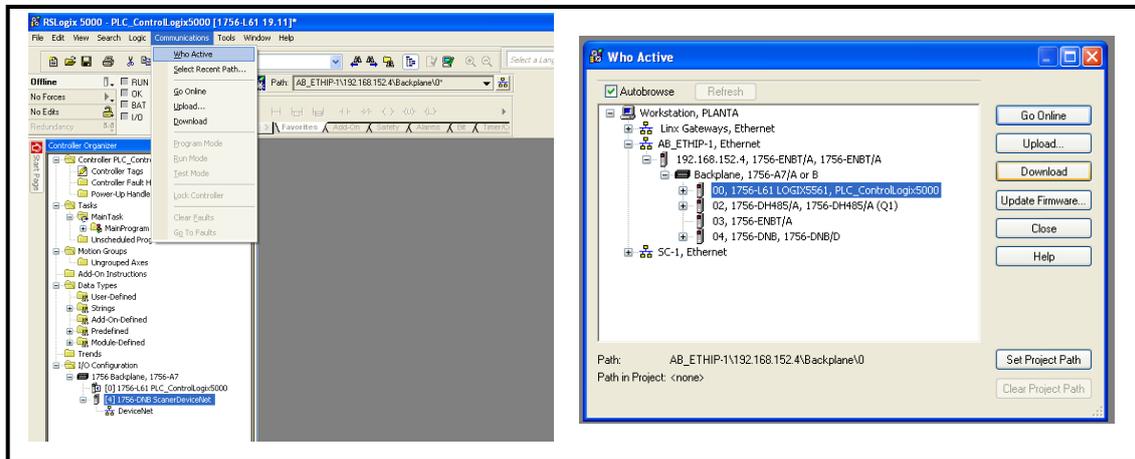


Figura 127. Descarga de programa para gestión de red DeviceNet desde RsLogix 5000. (fuente propia).

Nota. El driver de comunicación que debe usar para establecer comunicación con el controlador es el driver de EtherNet/IP configurado en la sección 1.4.

Seleccionamos el controlador y presionamos Download para descargar el proyecto al equipo, posteriormente seleccionamos ingresar a modo Run

Una vez descargado el programa en el PLC y este ingrese al modo Run, es posible verificar las palabras de memoria específicas en las que quedaron mapeadas las entradas y salidas detectadas por el Scanner, y los bits que cada una ocupa.

Para ello, estando en el modo run, nos dirigimos a la pestaña, *Logic* y seleccionamos *Monitor Tags*.

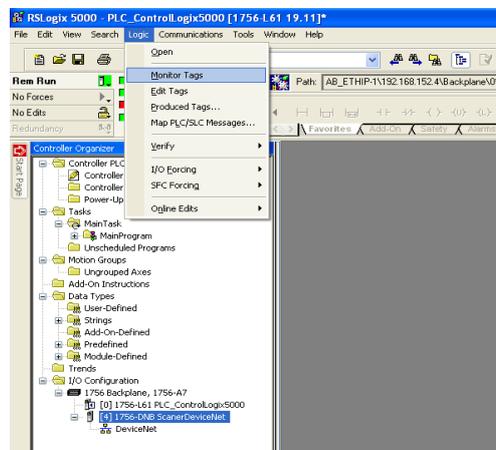


Figura 128. Ingreso al monitor de Tags ControlLogix 5000. (fuente propia)

Dentro de la pestaña de Controller Tags que se despliega, aparecen las palabras de memoria que tiene disponible el controlador, nos dirigimos a desplegar las palabras de memoria 4:IData[0] para verificar las entradas y 4:OData[0] y 4:OData[1] para verificar las salidas. Esto debido a que fue en esas palabras que indicó el RsNetwork que quedarían mapeadas.

| Name | Value | Face Mask | Style | Data Type | Description | Control |
|--------------------------------------|-------|-----------|---------|---------------------------------|-------------|---------|
| Local4I | (...) | (...) | (...) | AB 1756_DNB_500bytes1 | | |
| Local4O | (...) | (...) | (...) | AB 1756_DNB_490bytes0.0 | | |
| Local4O_CommandRegister | (...) | (...) | (...) | AB 1756_DNB_CommandRegister.0.0 | | |
| Local4O_CommandRegister.Run | 1 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4O_CommandRegister.Fail | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4O_CommandRegister.OverhaulMask | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4O_CommandRegister.HalfScan | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4O_CommandRegister.Reset | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData | (...) | (...) | (...) | DNM1127 | | |
| Local4OData0 | 0 | | Decimal | DNMT | | |
| Local4OData1 | 15 | | Decimal | DNMT | | |
| Local4OData10 | 1 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData11 | 1 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData12 | 1 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData13 | 1 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData14 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData15 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData16 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData17 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData18 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData19 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData110 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData111 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData112 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData113 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData114 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData115 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData116 | 0 | | Decimal | BOOL | | |
| Local4OData117 | 0 | | Decimal | BOOL | | |

Figura 129. Entradas y Salidas mapeadas por controlador ControlLogix de adaptadores 1734 DN. (fuente propia).

Para verificar las entradas es necesario activarlas, en este caso presionando los pulsadores, para así verificar, dentro de la palabra, el bit exacto que ocupa el pulsador accionado, ya que el valor del bit cambiará de 0 a 1 al accionarlo.

Para el caso de las salidas, debe tomar los bits de las palabras mapeadas y accionar cada uno cambiando su valor desde la herramienta de 0 a 1 para ver cuál enciende las luces pilotos que están conectadas en este caso.

Una vez identificados los bits de memoria que ocupa cada entrada y cada salida de la red DeviceNet, es posible realizar gestión de ellas mediante programación en Ladder del controlador haciendo uso de dichos bits.

Esto se realiza desde la sección *MainProgram* que se encuentra ubicada dentro de la carpeta Task del árbol de proyecto, dando doble clic sobre el programa te dirigirá al Ladder del controlador donde se puede hacer libre programación de los datos mapeados en el controlador.

ANEXO 2

Configuraciones de los niveles de Control y Gestión

1. Configuración del Switch Catalyst 2950 mediante la herramienta Putty

Una vez energizado y conectado el switch Cisco Catalyst a la estación de configuración mediante cable de consola, lo primero que haremos es verificar el puerto COM mediante el cual se comunican el switch y el computador. Este se verifica mediante el administrador de dispositivos del computador.

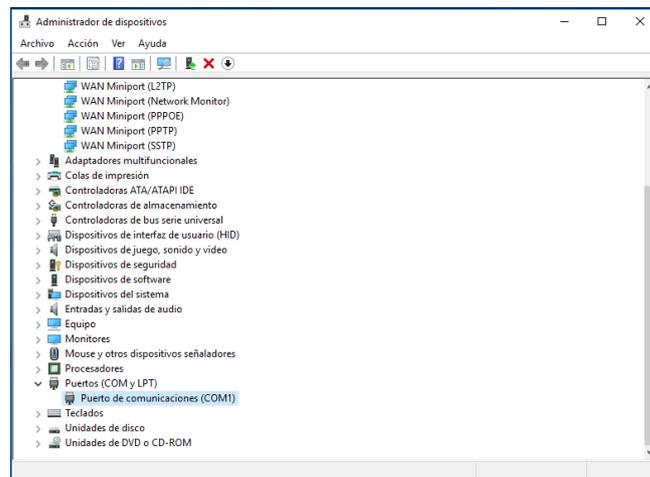


Figura 130. Verificación del puerto COM del Switch.
(fuente propia)

Una vez verificado el puerto, iniciamos la herramienta Putty, el cual es un software de uso libre para la configuración de múltiples equipos de red.

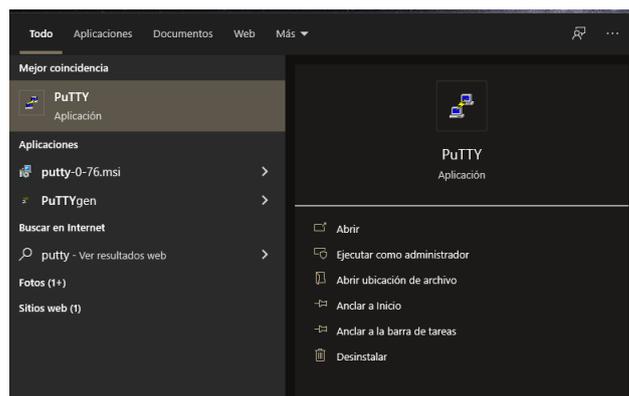


Figura 133. Inicio del software Putty. (fuente propia).

Dentro de la pantalla inicial de la aplicación, seleccionamos el tipo de comunicación con el equipo, el cual es *Serial*, seleccionamos el puerto COM y presionamos *Open* para ingresar al terminal del switch.

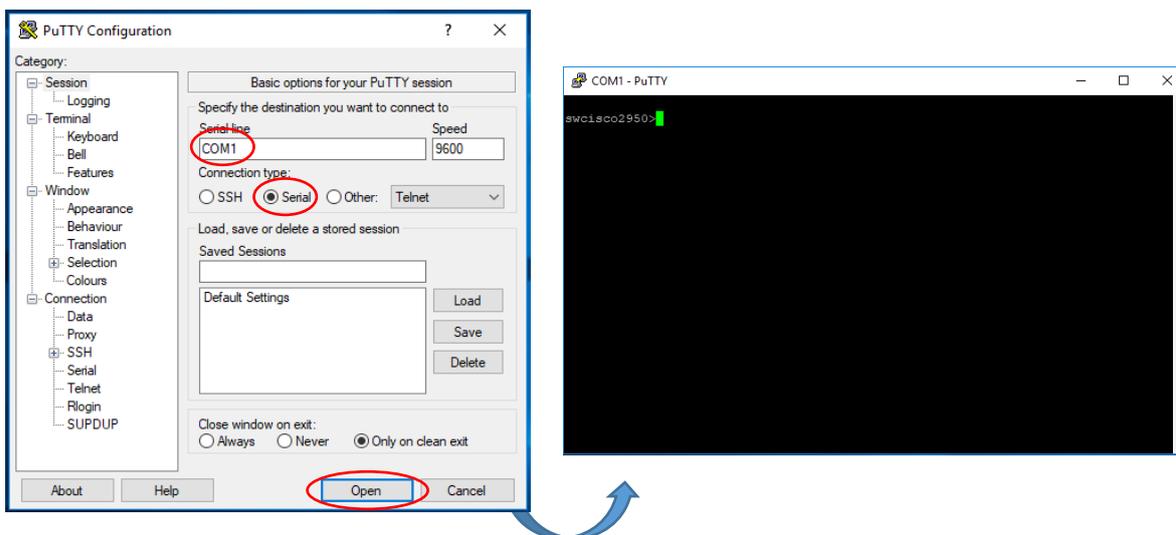


Figura 134. Inicio del Terminal de configuración del switch Cysco Catalyst 2950 mediante Putty. (fuente propia).

Una vez en el terminal de switch es posible realizar múltiples configuraciones sobre el equipo: como ajustar nombre del equipo, crear contraseñas para ingresar al terminal, crear Vlans para seccionar los puertos del switch en diferentes redes, gestionar puertos, etc.

A continuación, se presenta una configuración básica que consiste únicamente en asignación de dirección IP, mascara de red y Gateway al switch para poder comunicar equipos en la misma subred a través de él.

Para configurar dichos parámetros básicos, basta con ejecutar las siguientes líneas de comandos, uno a uno seguidos de la tecla Enter dentro del terminal.

```
swcisco2950 > enable
swcisco2950 # configure terminal
swcisco2950(config) # interface vlan 1
swcisco2950(config-if) # ip address 192.168.190.105 255.255.255.0
swcisco2950(config-if) # no shutdown
swcisco2950(config-if) # ip default-gateway 192.168.190.1
swcisco2950(config) # exit
```

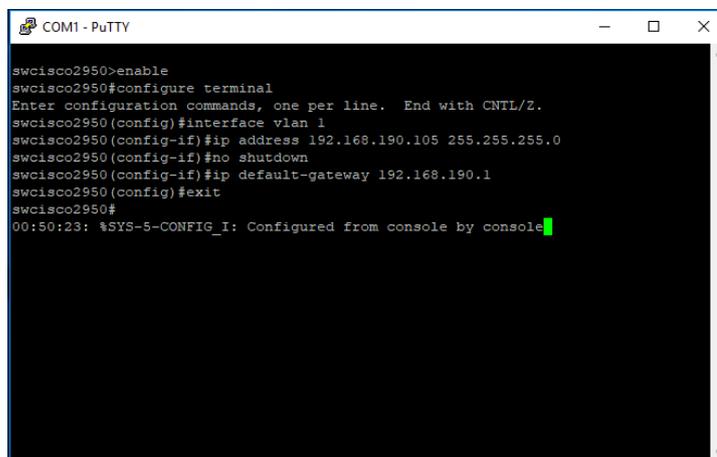


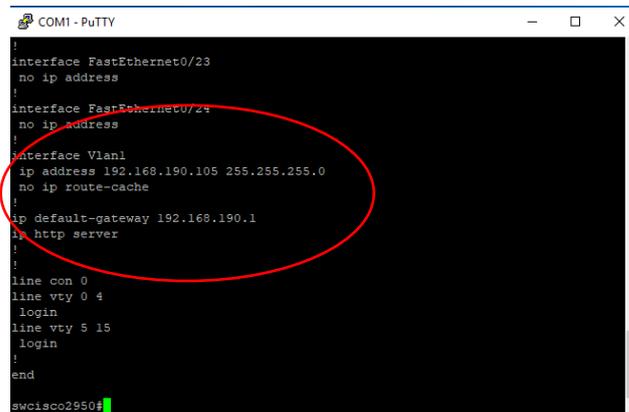
Figura 135. Comandos de configuración Switch Catalyst. (fuente propia)

Una vez realizadas estas configuraciones, verificamos que en efecto haya quedada asignada la dirección IP que le ingresamos.

Para ello ingresamos en el terminal la línea de comando

```
swcisco2950 # show running-config
```

Y presionamos Enter seguidamente hasta terminar la ejecución.



```
!
interface FastEthernet0/23
no ip address
!
interface FastEthernet0/24
no ip address
!
interface Vlan1
ip address 192.168.190.105 255.255.255.0
no ip route-cache
!
ip default-gateway 192.168.190.1
!
http server
!
!
line con 0
line vty 0 4
login
line vty 5 15
login
!
end
swcisco2950#
```

Figura 136. Verificación de IP Switch Catalyst. (fuente propia).

Con esto queda realizada la configuración básica del Switch Catalyst 2950 permitiendo comunicar equipos Ethernet en la subred 192.168.190.YYY. Por ultimo ejecute el comando *copy running-config startup-config* para guardar la configuración y cierre el programa.

2. Configuración de PLC MicroLogix 1500 mediante módulo de comunicación NET/ENI-1761

La configuración para integrar los PLC MicroLogix 1500 a la red EtherNet/IP del nivel de control se realiza sobre el módulo 1761-NET/ENI una vez energizado y conectado mediante su puerto serial con la estación de configuración, y para ello es necesario el uso de la herramienta *ENI/ENIW Utility* la cual se puede descargar gratuitamente de la página de Rockwell Automation.

Primero verificamos en el computador, el puerto serial mediante el cual quedaron comunicados.

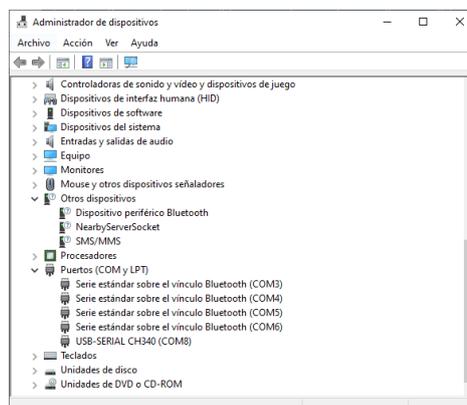


Figura 137. Verificación puerto COM. (fuente propia).

Una vez verificado el puerto, iniciamos la herramienta *ENI/ENIW Utility* de Allan Bradley.

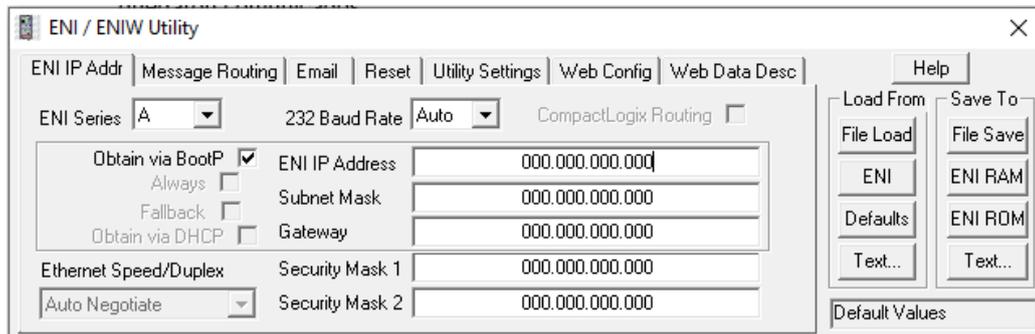


Figura 138. Pantalla inicial ENI/ENIW Utility. (fuente propia).

En las líneas *ENI IP Address* y *Subnet Mask* asignamos los parámetros de la red, asignando una IP en el mismo segmento de red 192.168.190.YYY, y la máscara de subred 255.255.255.0 y seleccionamos el tipo de serie D en *ENI Series*

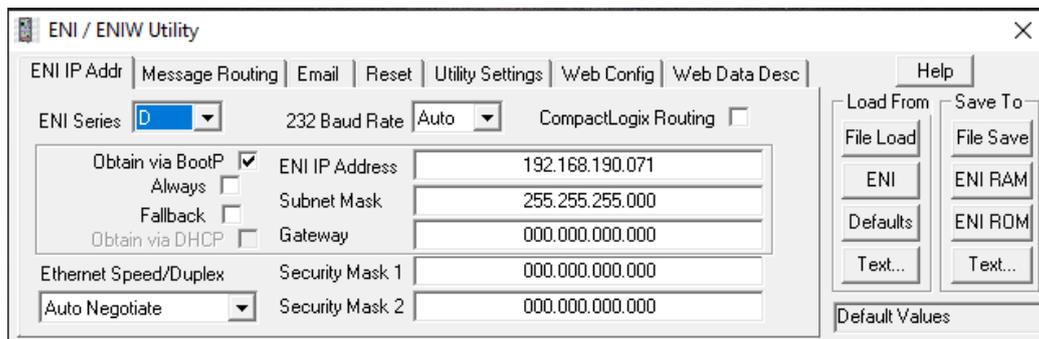


Figura 139. Ajuste de parámetros de red. módulo 1761 ENI serie D. (fuente propia).

Posteriormente nos dirigimos a la pestaña *Utility Settings*, donde seleccionaremos el Puerto COM por donde se están comunicando (solo seleccionarlo).

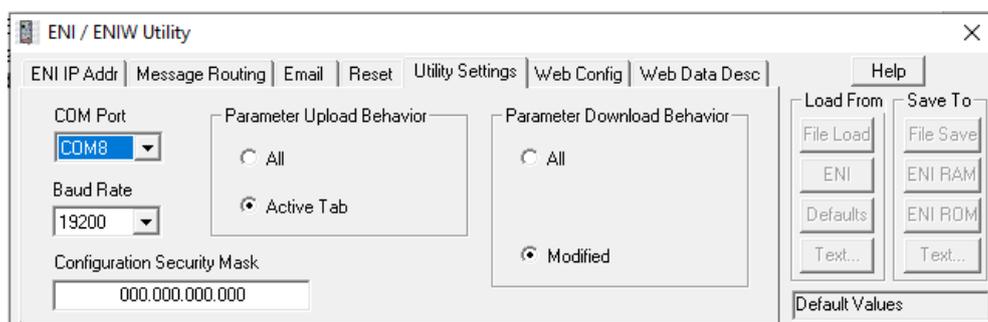


Figura 140. Ajuste de puerto COM ENI/ENIW Utility. (fuente propia).

Una vez hecho esto, nos devolvemos a la pestaña *ENI IP Addr*, y descargaremos la configuración al equipo, presionando *ENI RAM*, para guardar en memoria volátil, luego *ENI ROM* para guardar en memoria no volátil y por ultimo *ENI* para poner online el dispositivo.

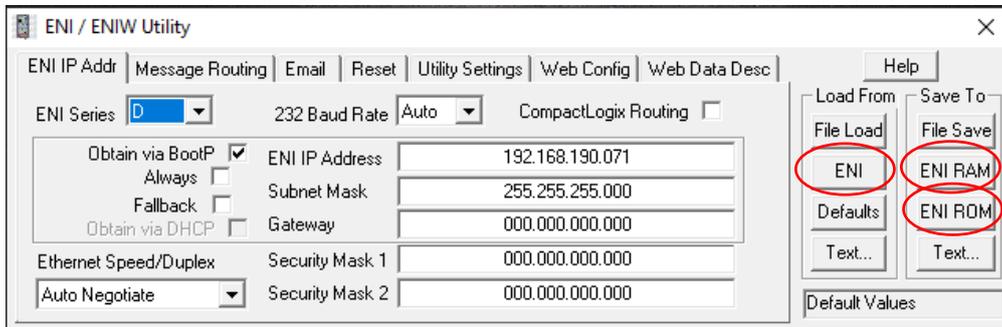


Figura 141. Descarga de parámetros a módulo 1761 ENI. (fuente propia).

Esperamos que finalice la descarga y cerramos la aplicación. Con esto queda lista la configuración del módulo, ahora se puede proceder a realizar la conexión entre PLC y módulo mediante RS-232 y entre módulo y switch de red mediante EtherNet.

3. Configuración controladores Micrologix 1100

Antes de conectar el PLC al switch de nivel de control, se debe conectar a la estación de configuración para ajustar sus parámetros de red y que se pueda comunicar con la arquitectura, para ello se requiere el uso de la herramienta *BOOTP/DHCP Server* de *Rocwell Automation*, la cual permite mediante protocolo DHCP identificar equipos Ethernet conectados, para asignación de dirección IP y nombre de Host. Para ello nos dirigimos a la suite de herramientas de Rocwell, buscamos la herramienta *BOOTP/DHCP Server* y la ejecutamos.

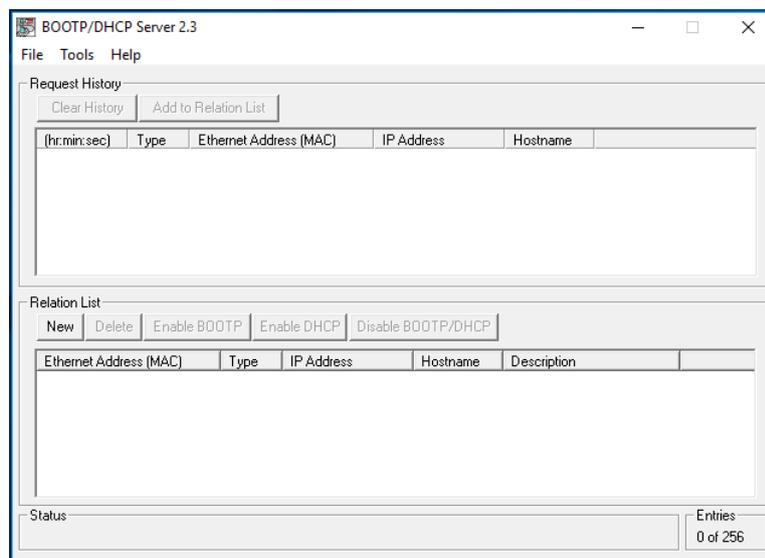


Figura 142. Pantalla inicial herramienta BOOTP/DHCP Server. (fuente propia).

Una vez iniciada la aplicación, debemos asegurarnos de que en el computador que estamos usando para la configuración esté habilitada la opción de asignación de IP de forma automática, por DHCP.

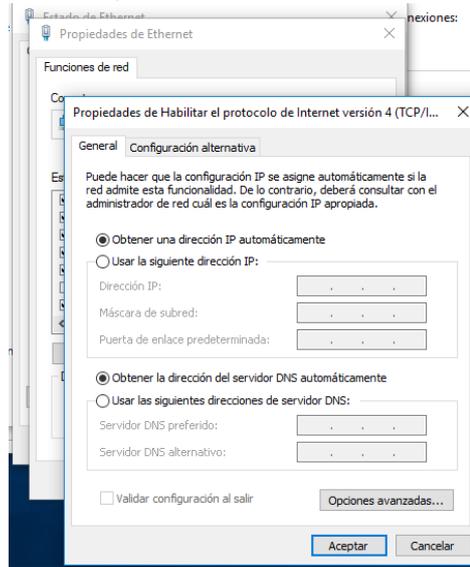


Figura 143. Verificación de IP automática en estación de Configuración. (fuente propia).

Con este parámetro configurado, en la herramienta *BOOTP/DHCP Server* empezarán a desplegarse los equipos EtherNet que usen BOOTP o DHCP, no solo PLC Micrologix 100 sino múltiples equipos.

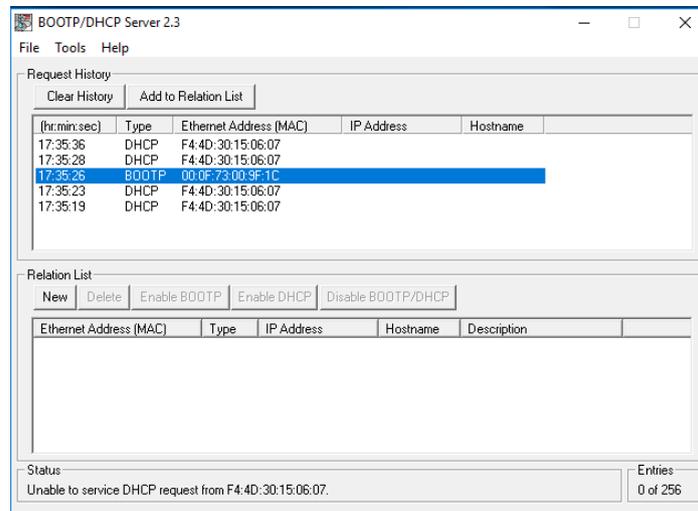


Figura 144. Reconocimiento de MACs de equipos conectados. (fuente propia).

Una vez identificada la dirección MAC del controlador lo seleccionamos y presionamos *Add to Relation List* para cambiar su IP.

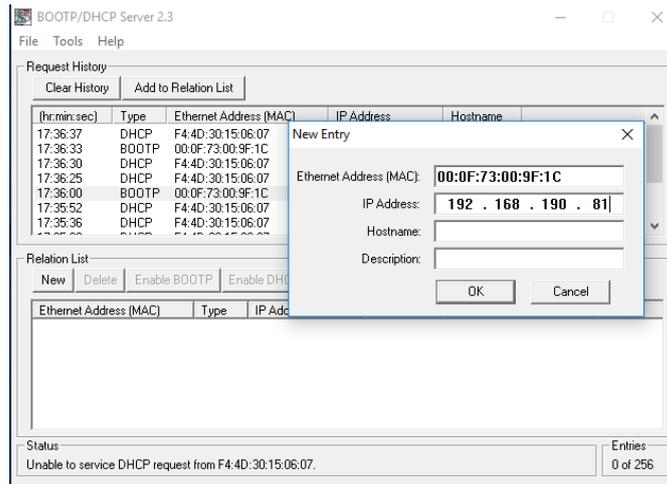


Figura 145. Asignación de IP a Controlador MicroLogix 1100. (fuente propia).

En la ventana emergente agregamos su dirección IP en el segmento 192.168.190.YYY y presionamos Ok. Con eso el equipo se desplegará en la sección *Relation List* de la parte inferior y aparecerá un mensaje en la parte baja que indica que la IP fue enviada a la MAC seleccionada.

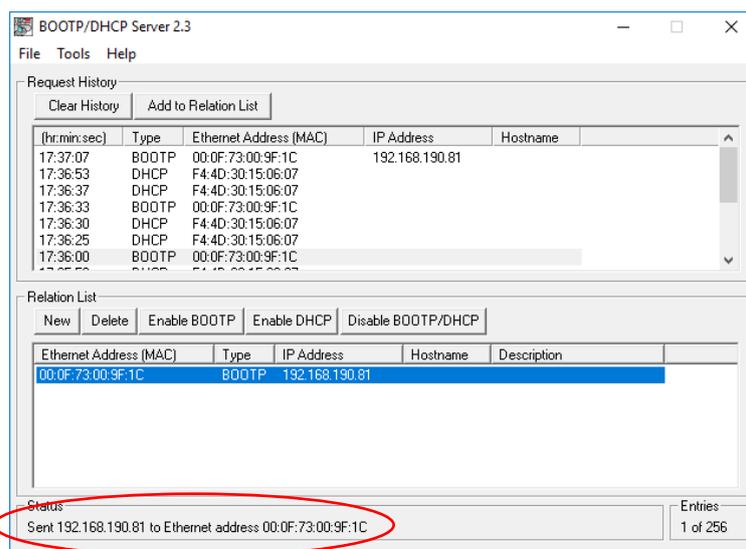


Figura 146. Dirección IP enviada a PLC MicroLogix 1100. (fuente propia).

Desplegado el mensaje de IP enviada, se debe proceder a cambiar la dirección IP del computador de configuración por una en el mismo segmento de red que acabó de configurar el controlador, para que la comunicación no se pierda y poder continuar.

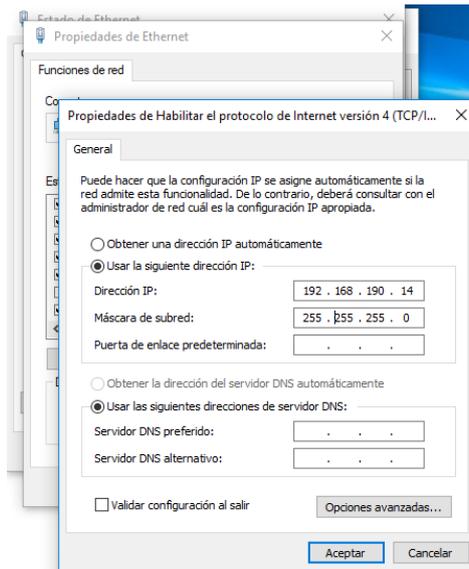


Figura 147. Cambio de dirección IP de la estación de configuración. (fuente propia).

Con la IP del computador cambiada, regresamos a la herramienta *BOOTP/DHCP Server* y seleccionando el controlador en la *Relation List*, presionamos *Disable BOOTP/DHCP*, lo que garantizará que una vez apagado el equipo al momento de encenderlo nuevamente mantenga la misma configuración.

Realizado este proceso de manera correcta se desplegará el mensaje *[Disable BOOTP] Command successful*, con lo cual ya queda lista la configuración del Micrologix 1100.

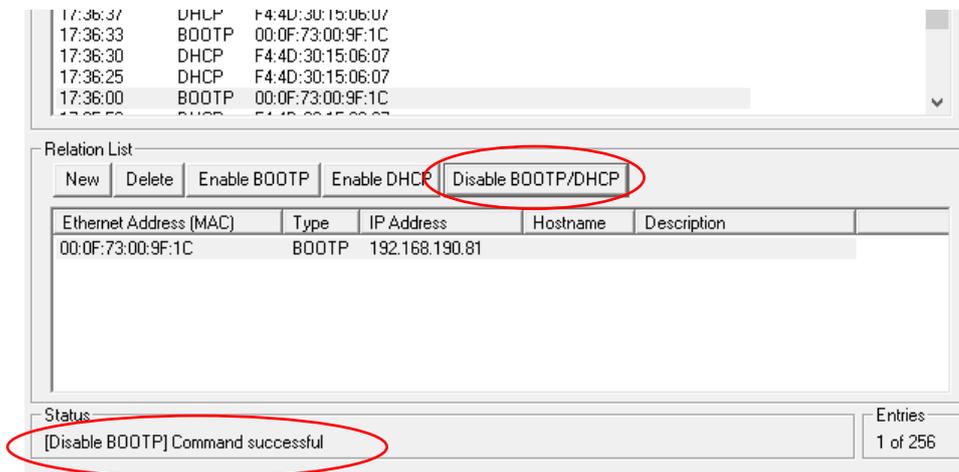


Figura 148. Desactivación de BOOTP/DCHP del equipo. (fuente propia).

Se debe realizar este mismo procedimiento para los 4 controladores Micrologix 1100 de la red.

4. Configuración de PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200

Realizada la conexión entre el PLC y la estación de configuración, se debe realizar el ajuste de parámetros de red para que el equipo se pueda comunicar posteriormente en la red.

Para ello llevamos a cabo las siguientes instrucciones estructuradas en la Tabla 23, dispuestas por Siemens para la configuración de dichos parámetros en el equipo con ayuda de la herramienta *S7-1200 Tool*, la cual permite asignar direcciones IP a CPUs Siemens sin el uso del software *STEP 7 Basic*. [6]

Tabla 23. Ajustar Interface PG/PC para comunicación entre PLC y estación de configuración. Tomada de [6]

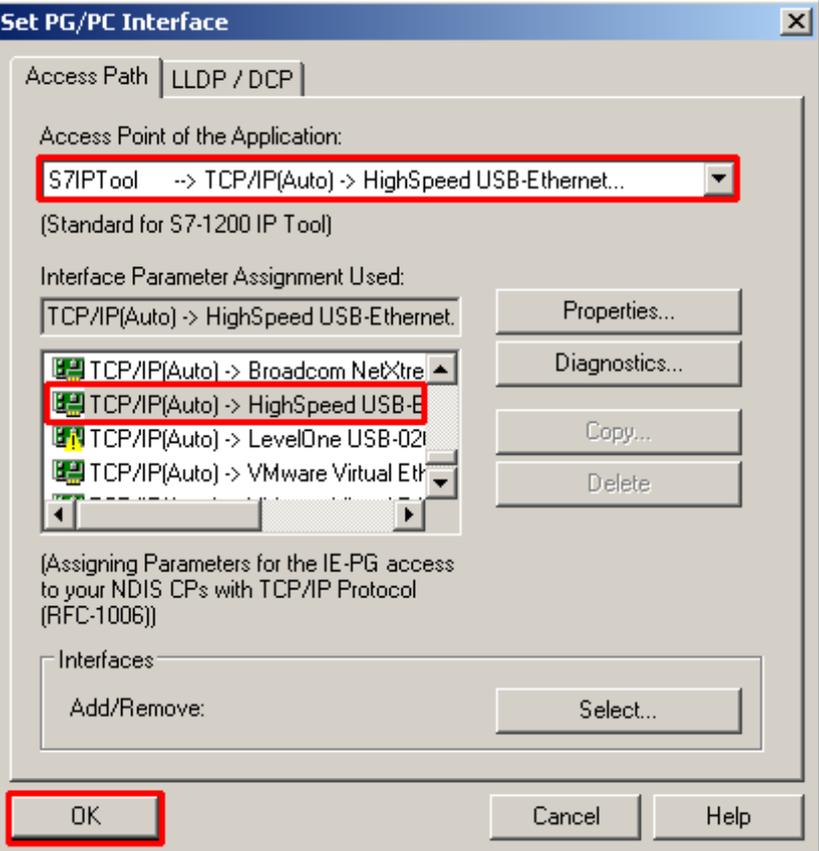
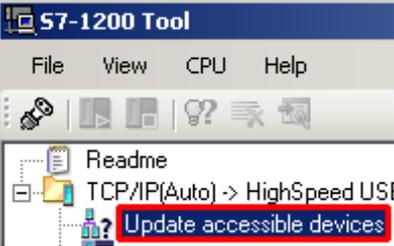
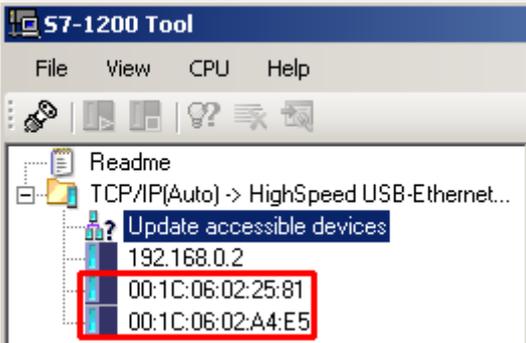
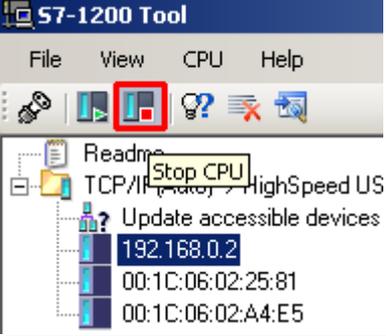
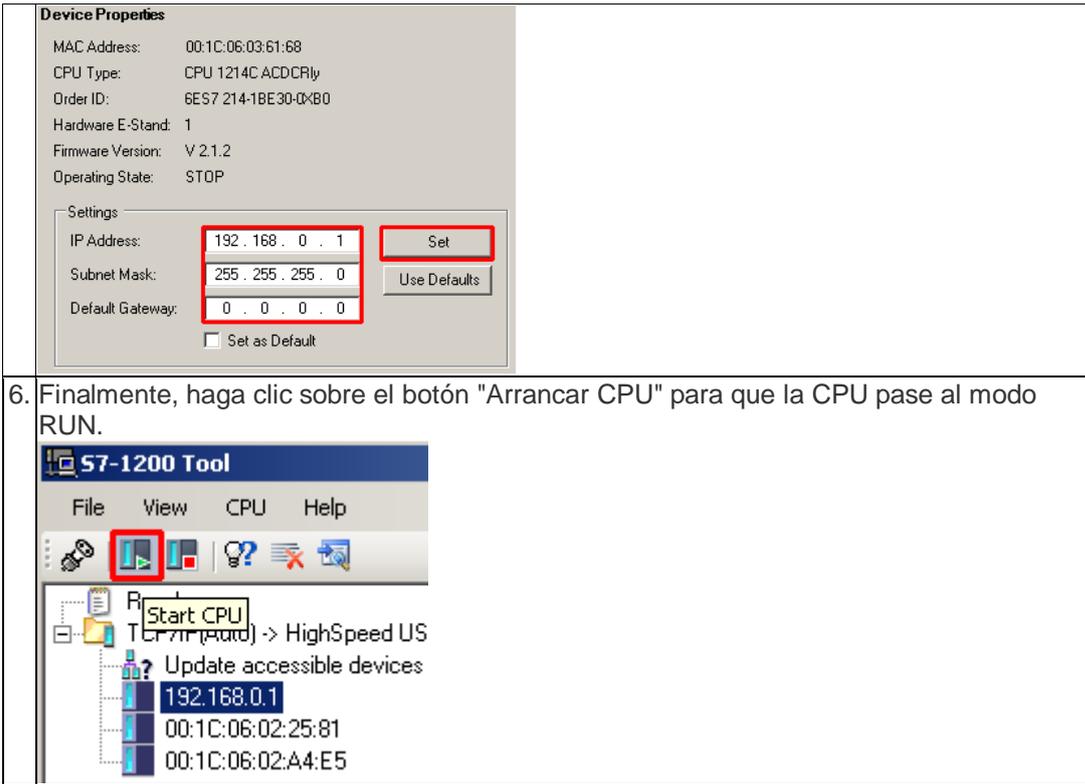
| | |
|----|---|
| Nº | Ajustar interface PG/PC |
| 1. | <p>Pulse el botón "PG/PC Interface".</p>  |
| 2. | <p>1. Seleccione la aplicación "S7IPTool" como punto de acceso. 2. Seleccione como "parametrización de la interface: TCP/IP" la tarjeta de red utilizada. Los mejores resultados se obtienen con el ajuste "TCP/IP(Auto)" para la configuración automática de la tarjeta de red utilizada. 3. Acepte los ajustes con "OK".</p>  |

Tabla 24. Asignación manual de dirección IP PLC S7-1200. Tomada de [6]

| |
|---|
| <p>Nº Asignación manual de una dirección IP para el S7-1200</p> <p>1. Haga doble clic sobre el botón "Actualizar estaciones accesibles" para actualizar la lista de los participantes accesibles.</p>  |
| <p>2. La herramienta "S7-1200 Tool" muestra la dirección MAC en aquellas CPUs sin dirección IP asignada.</p>  |
| <p>3. 1. Seleccione la CPU a configurar en la lista de participantes accesibles. 2. Haga clic sobre el botón "Luces LED intermitentes" para que parpadeen los LEDs de estado de la CPU elegida.</p>  |
| <p>4. Haga clic ahora sobre el botón "Parar CPU" para que la CPU pase al modo STOP.</p>  |
| <p>5. 1. Indique la dirección IP, la máscara de subred y la dirección de pasarela para la CPU seleccionada. 2. a continuación pulse el botón "Set" (ajustar). La selección de la opción "Ajuste por defecto" guarda la configuración actual "por defecto" cuando se pulsa el botón "Set". 3. Al pulsar el botón "Utilizar la configuración por defecto", se cargan los ajustes "por defecto".</p> |



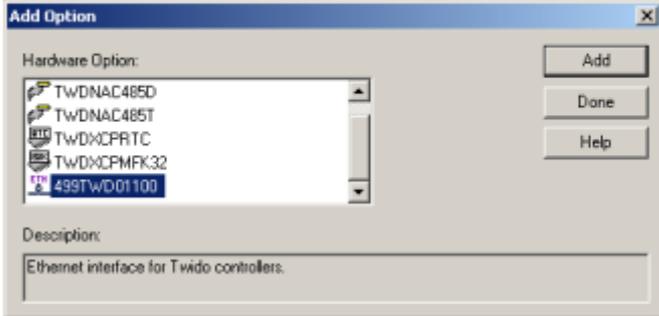
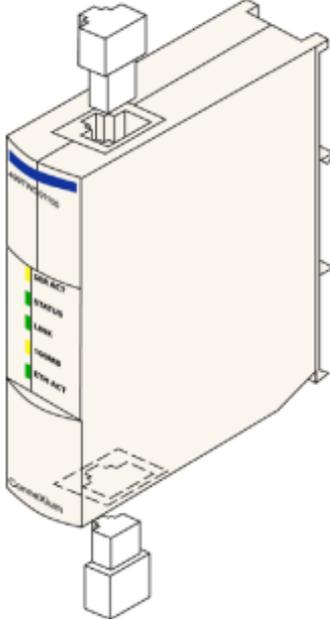
5. Configuración de PLC Schneider Electric TWDLCAA40DRF mediante módulo TwidoPort 499TWD01100

Dado que los laboratorios no cuentan con los equipos necesarios para llevar a cabo estos montajes y realizar su configuración, a continuación, en la Tabla 25 se presenta un paso a paso presentado en el manual de usuario del módulo TwidoPort, para realizar su respectiva configuración. [7]

Tabla 25. Instrucciones de configuración módulo TwidoPort. Tomado de [7]

Note: Plug 'n play: When TwidoPort is configured with TwidoSoft, TwidoPort's IP configuration is stored in the Twido controller. Therefore, maintenance personnel can exchange TwidoPorts without additional configuration. To use the plug 'n play functionality, use TwidoSoft version 3.0 or higher and upgrade the Twido firmware to 3.0 or higher. Use Telnet to manually configure TwidoPort with older versions of TwidoSoft.

| Step | Action |
|------|---|
| 1 | While using TwidoSoft (v. 3.0 or higher) to configure the Twido Controller, change communication port 1 to the Modbus protocol. (See notes 1, 2, and 3.) |
| 2 | Right-click on the <i>Hardware</i> icon in the tree control and select <i>Add option</i> .  |

| | |
|--|---|
| 3 | <p>Select the option 499TWD01100.</p>  |
| 4 | <p>Configure the IP parameters for TwidoPort.</p>  |
| 5 | <p>Validate the configuration before downloading it to the Twido Controller. (See note 4).</p> |
| 6 | <p>Download the TwidoSoft project to the Twido controller.</p> |
| 7 | <p>Attach a grounded wire to the M3 screw terminal on the bottom of the TwidoPort.</p> |
| 8 | <p>Connect the mini-DIN end of the (supplied) TwidoPort-to-Twido cable to the RS-485 serial port on the Twido controller. This cable (illustrated elsewhere in this guide) is supplied with TwidoPort.</p> |
| 9 | <p>Connect the modular plug end of the TwidoPort-to-Twido cable to TwidoPort's serial port.</p> |
| 10 | <p>Connect the RJ-45 plug from a standard Ethernet network cable (not supplied) into TwidoPort's Ethernet port.</p>  <p>Top plug: from Twido (serial)</p> <p>Bottom plug: from Ethernet, either a straight or crossover cable</p> |
| <p>Note 1: Any RS-485 Modbus port on Twido can be used.</p> | |
| <p>Note 2: The Twido controller's RS-485 Modbus port must be configured to 9600, 19200, or 38400 baud to support TwidoPort's auto-baud feature. (See note 1.)</p> | |
| <p>Note 3: For the fastest initial autobaud, choose 19200-8-N-1 with a Twido Modbus address of 1.</p> | |
| <p>Note 4: See the TwidoSoft user's manual (TWDUSE10AE, Version 1.0).</p> | |

6. Configuración del Server-Pasarela PLC ControlLogix 5561 a través de módulo 1756-ENBT

Con las conexiones realizadas sobre el ControlLogix y sus respectivos módulos, se procede a configurar el módulo EtherNet que permitirá comunicar el controlador ControlLogix5561 con las redes de control y gestión.

Este procedimiento, consiste en asignarle al módulo 1756-ENBT, una dirección IP y una Máscara de red, en el mismo segmento de red que estamos manejando para el resto de equipos de 192.168.190.YYY, esto se puede realizar de igual manera que con el controlador MicroLogix 1100, mediante la herramienta *BOOTP/DHCP Server*. Ver apartado “Configuración de controladores MicroLogix 1100”, o bien desde la herramienta RsLinks Classic

Para ello se realiza la configuración del driver EtherNet/IP y se establece comunicación con el controlador de igual manera como se indica en el Anexo 1 sección 1.2. “Configuración de driver de comunicación en RsLinks a través del ControlLogix5000.”

Una vez comunicados se presiona clic derecho sobre el módulo 1756-ENBT en RSLink y se selecciona *Module Configuration*.

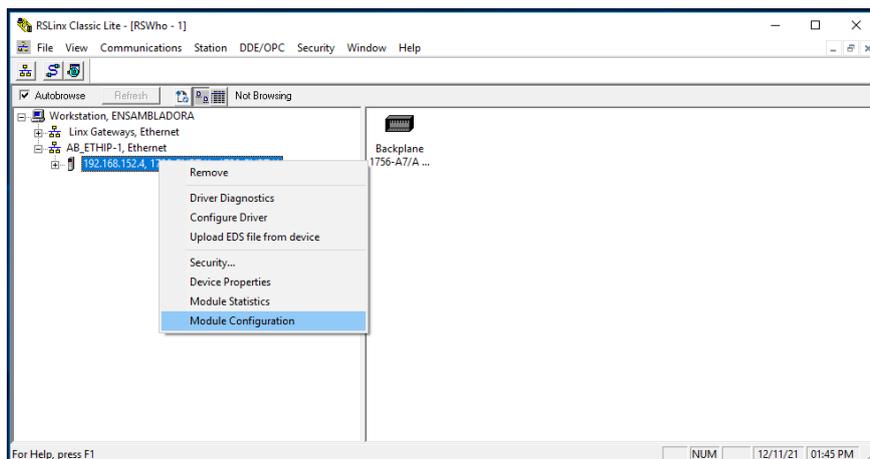


Figura 149. Ingreso ventana de configuración módulo 1756-ENBT mediante RsLinks. (fuente propia).

A continuación, se despliega una ventana de configuración, allí, nos dirigimos a la sección *Port Configuration*, donde se ajustan sus parámetros de red y posteriormente se aplican al equipo, Figura 149. Con esta configuración el equipo 1756-ENBT está listo para vincularse a la red de nivel de control.

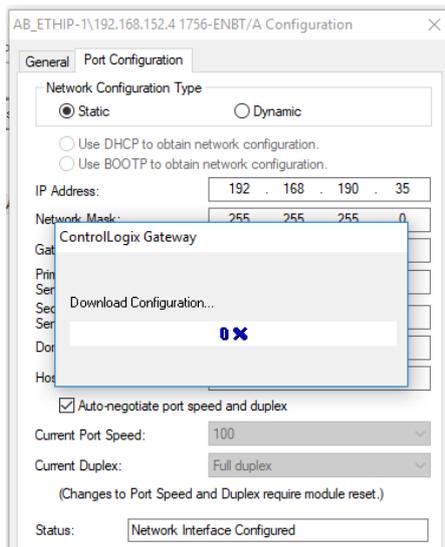


Figura 150. Configuración de parámetros de red 1756-ENBT mediante RsLinks. (fuente propia).

Una vez realizadas todas las configuraciones de los equipos de nivel de control, y direccionados todos bajo el mismo segmento de res 192.168.190.YYY, es posible conectarlos, mediante sus respectivos puertos Ethernet, a los puertos del Swtich Cysco Catalyst 2950 para su comunicación.

Configuración de Unidad terminal Maestra MTU para comunicación con Red de Nivel de Gestión

Una vez conectada la MTU al Stich de nivel de gestión, solo basta con configurar la dirección IP de esta, asignándola bajo el mismo segmento de red que se ha trabajado para el resto de los equipos, 192.168.190.YYY y máscara 255.255.255.0, para que la MTU pueda intercomunicarse con los demás equipos de la red.

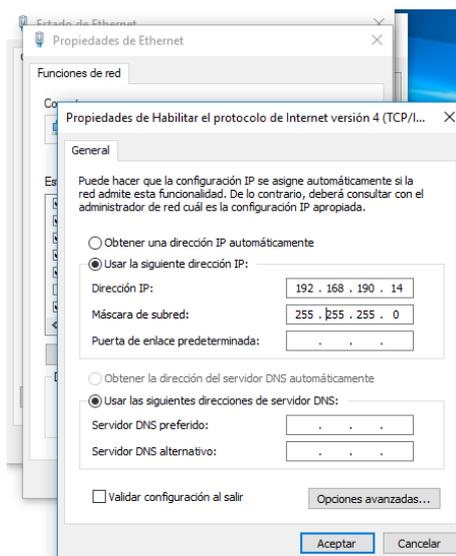


Figura 151. Configuración de parámetros de red MTU. (fuente propia).

Una vez establecida la comunicación de la MTU con el resto de equipos de los diferentes niveles, es posible desde esta realizar tareas de supervisión, control y adquisición de datos de los demás equipos, así como de sus procesos asociados.

ANEXO 3

Sistema Remoto de Medición

Diseño y puesta en marcha de interfaz HMI bajo estándar ISA 101 para líneas de generación de energía hidroeléctrica del Laboratorio de Hidráulica de la facultad de Ingeniería Civil e incorporación con la arquitectura Scada diseñada mediante sistema remoto de medición

Actualmente, la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, cuenta en su Laboratorio de Hidráulica con 2 líneas que emulan procesos de generación de corriente hidroeléctrica, la línea *ChFrancis*, que posee un generador *Kaplan* de corriente alterna AC; Y la línea *CHPelton* que posee un generador *WestingHouse* de corriente directa DC.

A parte del generador con su respectiva turbina, cada línea está conformada por una tubería para el paso de agua, un tanque de regulación de presión, el cual es cerrado para la línea *Pelton* y abierto para la línea *Francis*; y una motobomba que succiona el agua del tanque principal y la hace fluir a gran velocidad por la tubería para así mover la turbina del generador.

Durante la ejecución del proyecto descrito en el presente documento, se llevó a cabo dentro del laboratorio de hidráulica, un proyecto para la instrumentación de las dos líneas de generación eléctrica. El cual consistió en la instalación de múltiples equipos transmisores para el monitoreo de las diferentes variables de proceso, presión a lo largo de las tuberías y nivel de agua en el tanque principal; además de la instalación un variador de frecuencia para el arranque de las motobombas, de módulos analizadores de red para el monitoreo de los parámetros de la energía generada en cada línea y de un computador industrial Advantech para la ejecución de una interfaz HMI de las dos líneas.

En adición al trabajo realizado descrito en el presente documento y en coordinación con el proyecto ejecutado en el laboratorio de hidráulica, se realizó el diseño y puesta en marcha del interfaz HMI para la gestión y supervisión de las dos líneas de generación, bajo el estándar para el desarrollo de interfaces HMI ISA 101 y la integración de estos dos procesos con la arquitectura de red diseñada para los laboratorios de control y maquinas eléctricas, como un sistema remoto de medición basado en puntos de acceso inalámbrico.

Diseño de Interfaz HMI para líneas de generación.

El diseño del interfaz HMI se realizó en atención a los requerimientos solicitados por el director del proyecto ejecutado en el laboratorio de hidráulica, los cuales se enmarcaron en la puntualidad de la información, sencillez para la interpretación y manejo del HMI y el cumplimiento del estándar para el desarrollo de interfaces HMI ISA 101.

Para ello primeramente se realizó un reconocimiento general de las líneas de generación y la instrumentación instalada en cada una. Para ello fue utilizada la inspección visual y los diagramas P&ID levantados para cada línea.

Posteriormente se realizó una revisión de las pautas estipuladas por el estándar ISA 101 y se comenzó con el diseño estructural y de contenido del HMI.

Con la estructura general del HMI definida y discutida con el coordinador del proyecto del laboratorio de hidráulica, se procedió al desarrollo de las pantallas con el uso de la herramienta de *Rockwell Automation, Factory Talk View Machine Edition*.

En total fueron realizadas 25 pantallas, una de primer nivel, la cual corresponde a la pantalla del menú principal o de bienvenida, Figura 151.



Figura 152. Pantalla inicial, interfaz HMI líneas de generación. (fuente propia).

Dos de las 25 pantallas son de nivel 2, y corresponden a las vistas generales de cada línea, en ellas se muestran los equipos instalados lo largo de las líneas, con su respectivo valor medido en tiempo real y sus unidades medida.

En la Figura 152 se muestra la pantalla de línea CHPelton, y en la Figura 153 la pantalla de la línea ChFrancis.

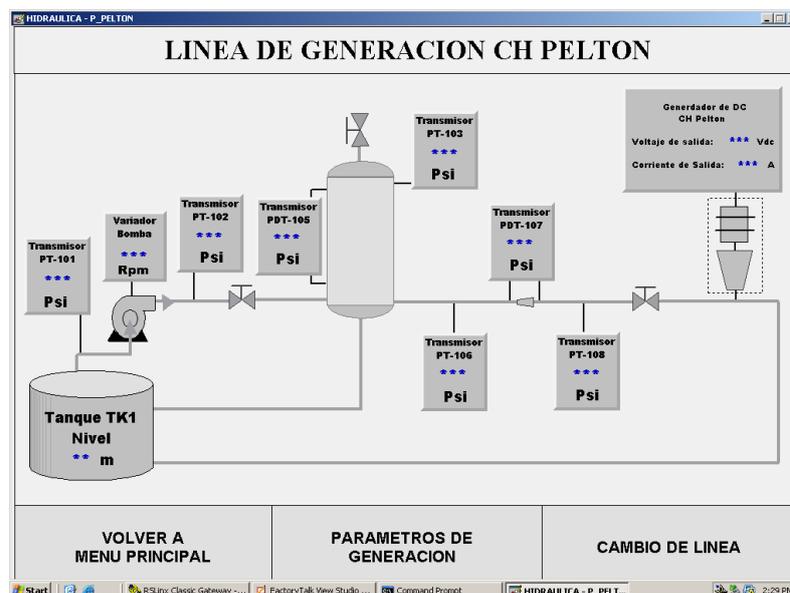


Figura 153. Pantalla línea ChPelton. (fuente propia).

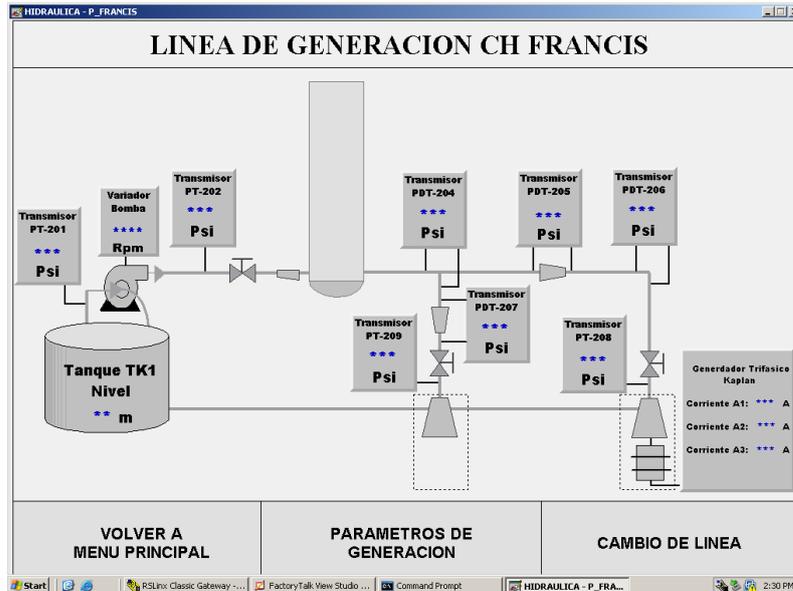


Figura 154. Pantalla línea ChFrancis. (fuente propia).

Las otras 22 pantallas, son de nivel 3 y corresponden a pantallas de los equipos, en las cuales se presentan especificaciones de los mismos, así como detalles del proceso asociado y ubicación del equipo, la Figura 154 muestra una de estas pantallas.

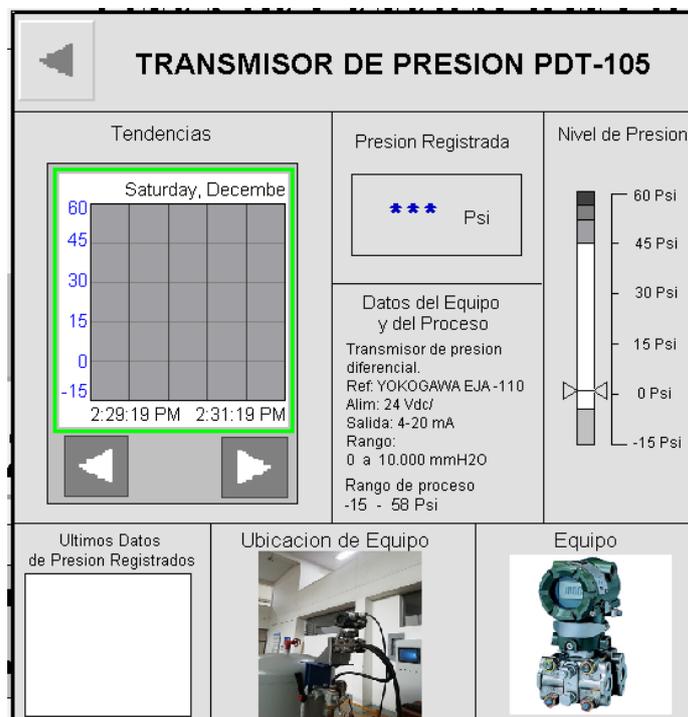


Figura 155. Pantalla de equipo Transmisor diferencial de presión PDT-105. (fuente propia).

Los equipos transmisores instalados para la instrumentación de las líneas del laboratorio de hidráulica, fueron cableados a módulos de entradas analógicas 1756-IF8H montados sobre un chasis ControlLogix, que cuenta con un módulo de comunicación EtherNet 1756-ENBT y que en adelante seguiremos llamando chasis remoto. El cual está ubicado dentro del gabinete de control instalado en el mismo laboratorio en donde también se instaló el computador industrial Advantech para la ejecución del HMI.



Figura 156. Gabinete de control instalado en laboratorio de hidráulica. (fuente propia)

Dado que en este chasis remoto no se cuenta con un CPU controlador que funcione como anfitrión de los módulos 1756-IF8H para el mapeo sus datos y posterior despliegue en el HMI, primero se realizó la incorporación del chasis remoto mediante el módulo 1756-ENBT a la red EtherNet/IP del nivel de control de la arquitectura diseñada, con el fin de utilizar la CPU controlador del chasis ControlLogix, utilizado como server-pasarela, como anfitrión de los módulos del chasis remoto. En adelante, llamaremos a este server-pasarela chasis local.

Integración del sistema remoto de medición con la arquitectura de red diseñada y puesta en marcha del HMI

La integración de este sistema remoto de medición instalado en el laboratorio de hidráulica con la arquitectura de red diseñada para los laboratorios de control de proceso y máquinas eléctricas, se logra vinculando el chasis remoto con la red del nivel de control de la arquitectura diseñada y para ello, el director del proyecto del laboratorio de hidráulica instaló dos Access Point Ubiquiti Unifi AC Mesh Pro en línea de vista, los cuales crean un enlace inalámbrico entre sí y se conectan uno un swicht en el gabinete del chasis remoto, y otro al switch del nivel de control de la arquitectura, para lo cual primero se realiza la respectiva configuración de los Acces Point.

Para realizar la configuración de los Access Point Ubiquiti Unifi AC Mesh Pro se precisó el uso de un software controlador propio del equipo, el cual es de uso libre y se descarga gratuitamente de la página del fabricante. Dicha configuración se resume en adoptar, bajo el mismo controlador, los dos equipos Access Point y asignarles una dirección IP en el mismo segmento de red que la arquitectura diseñada, la cual está en el segmento 192.168.190.XYY.



Figura 157. Controlador Unifi V6.4.54. (fuente propia)

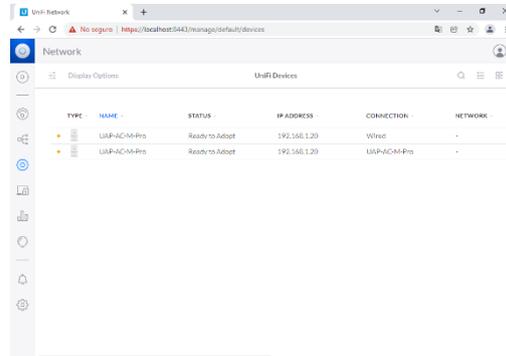


Figura 158. Adopción de equipos en controlador Unifi V6.4.54. (fuente propia)

Una vez configurados y enlazados los dos puntos de acceso, se configuró el chasis remoto asignándole la dirección IP 192.168.190.31 al módulo 1756-ENBT en él, en el mismo segmento de red mencionado anteriormente, con lo cual ya fue posible vincular dicho chasis con la red de nivel de control para el uso del CPU controlador del chasis local como anfitrión del chasis remoto y poner en marcha el HMI.

Para ello se utilizó la herramienta RsLinks para crear el driver y establecer comunicación entre chasis mediante protocolo EtherNet/IP. Una vez echo eso se utilizó el software RsLogix5000 para mapear las entradas asociadas a los módulos 1756-IF8H y generar los Tags de datos que se utilizaron en el HMI.

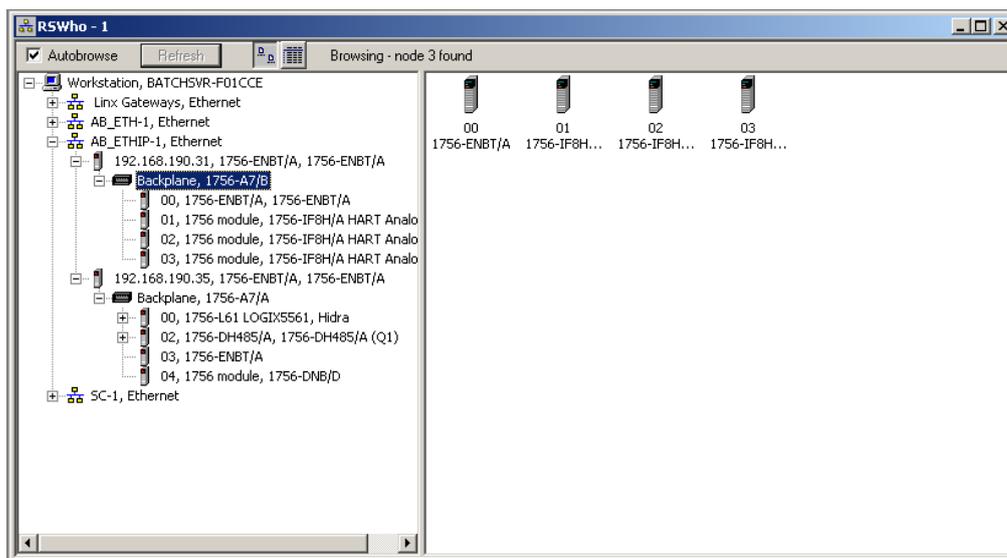


Figura 159. Comunicación establecida entre chasis local y remoto mediante driver EtherNet/IP en RsLinks Classic. (fuente propia)

Puesta en marcha e integración de interfaz HMI

Con la comunicación entre chasises establecida y los tags de proceso generados, se procedió mediante un *shortcut* del software Factory Talk View al PLC controlador en el chasis local, a asignar cada Tag al elemento que le corresponde dentro del HMI, para posteriormente ponerlo en marcha.

A continuación, se presentan las evidencias de la puesta en marcha del HMI en el computador industrial Advantech del gabinete de control del Laboratorio de Hidráulica, gracias a la integración con el chasis ControlLogix del nivel de control de la arquitectura.

Ejecución de la interfaz HMI en computador industrial Advantech del gabinete de control.



Figura 160. Ejecución de HMI en computador industrial Advantech. Pantalla inicial (fuente propia)

Vista de la pantalla de la línea ChPelton ejecutándose en computador Advanteh y desplegando en tiempo real de los datos enviados por los transmisores



Figura 161. Ejecución de HMI en computador industrial Advantech. Pantalla línea ChPelton (fuente propia)

Vista de la pantalla del transmisor PDT-105 de la línea ChPelton ejecutándose en computador Advantech y desplegando en tiempo real el valor enviado por el transmisor



Figura 162. Ejecución de HMI en computador industrial Advantech. Pantalla Transmisor PDT-105. (fuente propia)

Pantalla del variador de frecuencia de la motobomba de la línea ChPelton ejecutándose en computador Advantech y gestionando en tiempo real la salida en frecuencia del variador.



Figura 163. Ejecución de HMI en computador industrial Advantech. Pantalla variador de frecuencia PowerFlex 400 (fuente propia)

El desarrollo de este trabajo adicional permitió reafirmar aún más al versatilidad, escalabilidad y extensibilidad de la arquitectura de red diseñada, permitiendo incorporar nuevos equipos y nuevos servicios como la trasmisión inalámbrica de datos.

ANEXO 4.

Adecuaciones finales a la arquitectura y lista de compra.

Posterior al cierre del proyecto, y en reunión con los evaluadores del mismo, se llegó a la conclusión de que resulta mucho más factible para el nivel de control, dado el elevado costo de los módulos de comunicación 1761-NET/ENI para los controladores Micrologix 1500, retirar dos de los mencionados controladores, los correspondientes a las plantas Multivariable y de Temperatura, y en su lugar adicionar un PLC siemens S7-1200, que cuenta con interfaz para EtherNet/IP integrada, para la planta Multivariable y dado que la planta de temperatura cuenta con un PLC auxiliar S7-1200, se decide vincular a la arquitectura únicamente éste controlador para esta planta.

Con estos cambios adecuados, la arquitectura queda estructurada como se indica en la figura 163:

Con el fin de poner en marcha futuramente la arquitectura tal como se plantea en la figura 163, se presenta una nueva cotización de los instrumentos a adquirir:

| Producto | Cantidad | Fecha de cotización. | Sitio de Cotización | Precio unidad | Precio Total |
|-----------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|---------------|--------------|
| PLC Siemens SIMATIC S7-1200 | 1 unidad | 14/02/22 | wiautomation | \$ 1.301.713 | \$ 1.301.713 |
| Cable EtherNet UTP Cat 5. | 2 rollos x 100 metros | 14/02/2022 | Mercado Libre Colombia | \$ 139.900 | \$ 279.800 |
| Conectores RJ-45. | 1 Paquete x 100 unidades | 14/02/2022 | Mercado Libre Colombia | \$ 15.900 | \$ 15.900 |
| Total | | | | | \$ 1.597.520 |

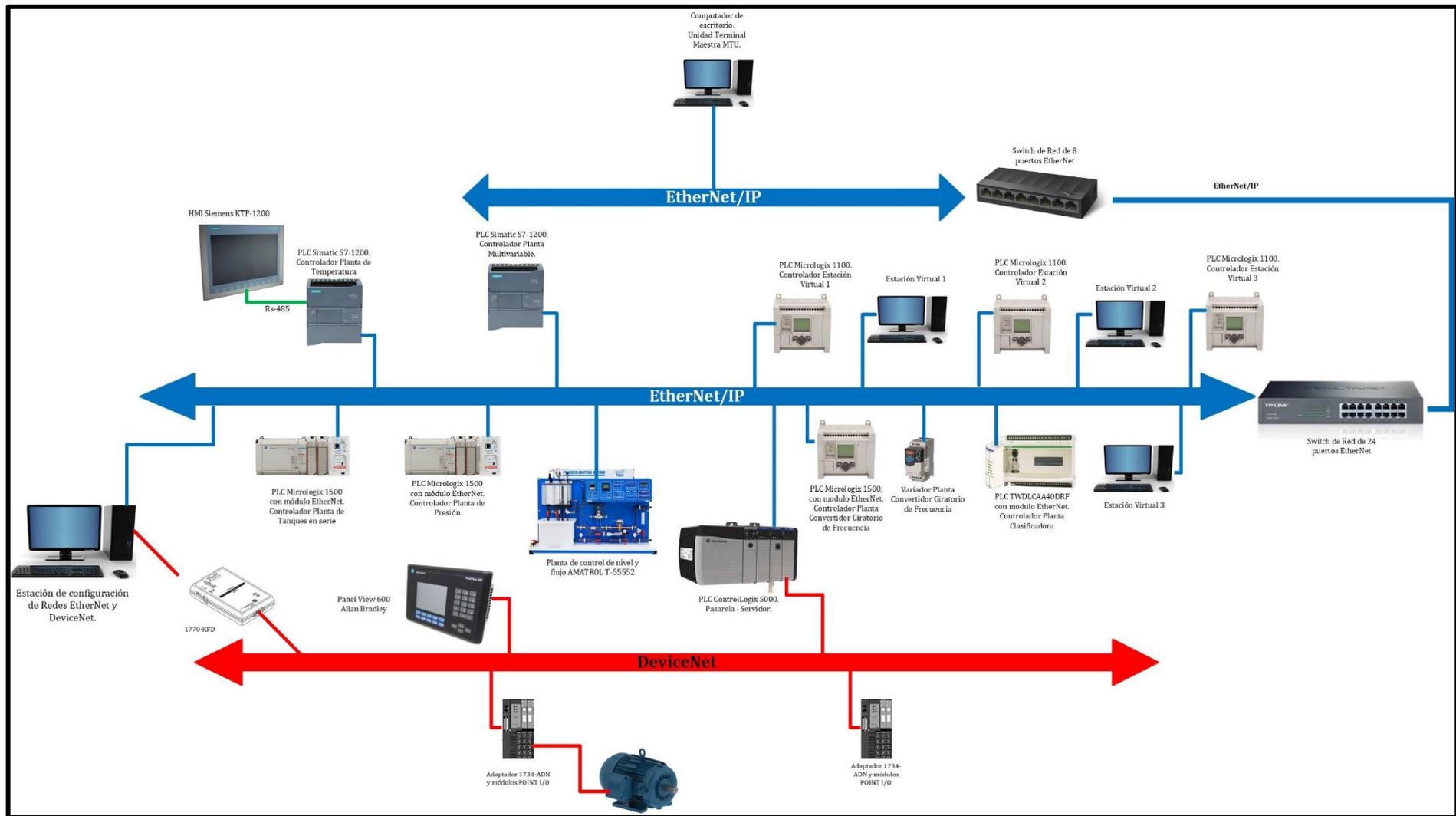


Figura 164. Arquitectura final. Fuente propia.