



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**PROYECTO: “Banco de pruebas para
sensores, válvulas y transmisores”**

**EMPRESA: Convertidora de papel S.A de
C.V**

PRESENTA:

Anel Hernández Hernández 21370663

ASESOR INTERNO:

Dr. José Manuel Cervantes Vázquez

ASESOR EXTERNO:

Ing. Manuel Otero Cano

Agradecimiento

Principalmente agradezco a Dios por cada día que me otorga de vida y por permitirme llegar hasta este punto de la vida.

Agradezco a mi mamá Verónica Hernández que siempre me apoyó en todo este proceso por más difícil que fuera me dio fuerzas, ánimos y todo su amor incondicional para seguir adelante. Le agradezco también por los valores que me ha inculcado durante mi formación personal porque gracias a ello estoy hasta acá. Me dio un hogar, un techo para vivir y alimentos que nunca faltaron en la mesa. Gracias por apoyarme en cada paso, por motivarme y por ser mi mayor inspiración. Había días difíciles y siempre me sacaste muchas sonrisas, eres y siempre serás mi curita del alma y de mi vida.

A mi papá Álvaro Hernández que siempre me motivó a seguir adelante, fue mi guía en todo el proceso, consejos sabios que me han ayudado bastante a lo largo de la vida, gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la disciplina, gracias porque por ti también hoy estoy aquí. Te agradezco que me hayas enseñado tu trabajo, a lo que te dedicas porque gracias a ello decidí dedicarme a esto, me inspiraste tanto que lo estoy logrando y este logro también te pertenece porque nunca negaste nada y siempre me apoyaste totalmente.

A mi familia que siempre creyó en mí, por sus palabras de aliento y por brindarme un hogar lleno de cariño y comprensión. Cada uno de ustedes ha sido un pilar importante en este proceso. Darme ánimos que han hecho creerme todo lo que puedo lograr.

A mis abuelitas Juana Luna y Sara Suárez, que me dieron todo el cariño y amor que un nieto puede recibir, palabras sabias, ánimos y ese beso que llega al corazón para curar todo mal.

A mis abuelitos Rafael y José que desde el cielo me han cuidado y guiado por el camino que me ha traído hasta aquí.

A mis tíos, que han sido como unos segundos padres para mí, Epifanía y Manuel, gracias porque también estuvieron muy presentes en el proceso, me apoyaron muchas veces y ese amor y cariño que me han dado vale más que cualquier cosa. Les agradezco todo su amor incondicional y por tratarme como una hija más.

A ti, que me has acompañado estos dos últimos años de la carrera, que me diste todo tu amor y muchos ánimos para seguir adelante cuando sentía que no podía

más, por tu amor, comprensión y apoyo inagotable. No hay palabras para dar gracias por estar conmigo en los días difíciles. Decidiste creer en mí y gracias por acompañarme en cada logro y cada desafío. Y tú presencia ha sido un impulso constante para seguir adelante.

A mis amigos que me enseñaron el significado de una verdadera amistad, que siempre estuvieron a mi lado, con los que creé un lazo muy importante y me hicieron más ameno y ligero el camino, con los que formé miles de recuerdos, que estuvieron en mis días buenos y también en los malos, les agradezco haber estado en la etapa importante de mi vida.

También quiero agradecerles a mis maestros que me enseñaron y sacaron de mi el potencial del cual dudaba tener.

A mis asesores en la empresa que me han compartido sus conocimientos y me han tenido la paciencia en todo el proceso y que me han dado la oportunidad de seguir aprendiendo.

Siempre estaré agradecida con todos ustedes de alguna u manera estuvieron presentes en todo momento apoyándome, enseñándome y más que nada recordándome los motivos que me han hecho llegar hasta donde hoy me encuentro.

La vida no es el baile que nos prometieron, pero ya estamos aquí, así que bailemos.

Aun me sorprende como sin saber pedir ayuda, la vida me ha rodeado de una red tan sólida, amorosa y leal.

Gracias por abrazarme sin palabras, por estar y por no soltarme.

Estoy eternamente agradecida con quienes me sostienen incluso cuando yo mismo no se como hacerlo, los amo.

ANEL HERNANDEZ HERNANDEZ.

RESUMEN.

El presente proyecto se desarrollará dentro de las instalaciones de la empresa Convertidora de papel S.A de C.V, específicamente en el área de mantenimiento instrumentista. Su alcance abarca el diseño, montaje y puesta en marcha de un banco de pruebas destinado a la verificación funcional de sensores, válvulas neumáticas y un transmisor de presión.

El banco de pruebas estará diseñado para operar con alimentación eléctrica de 24 VDC y suministro neumático regulado, permitiendo realizar pruebas de activación, respuesta, lectura de señal y detección de fallas en los dispositivos. Se empleará un controlador lógico programable (PLC) para gestionar las señales de entrada y salida, así como los circuitos de control necesarios para la operación segura del sistema.

El proyecto se delimita al entorno de pruebas y calibración de campo, sin intervenir en los procesos productivos ni en la automatización de las máquinas principales de la planta. Por tanto, el banco se construirá de forma independiente y portátil, con el propósito de ser utilizado tanto para capacitación como para mantenimiento preventivo.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	7
<i>Sobre la empresa.....</i>	<i>7</i>
Problemática.....	9
Objetivo General.....	10
Objetivos específicos.....	10
Justificación.....	10
Fundamentos teóricos	11
<i>Antecedentes y Estudios Previos.....</i>	<i>11</i>
<i>Conceptos fundamentales.....</i>	<i>12</i>
Sensores	12
Actuadores eléctricos.....	14
Contactores	14
Controladores Lógicos Programables (PLC)	14
Señales Analógicas y Digitales	15
Sistemas Neumáticos	15
Mantenimiento y Calibración de Instrumentos	16
Válvulas de Control	16
Transmisores	18
¿Qué es un banco de pruebas?	19
Evaluación del desempeño	19
Verificación de la calidad.....	19
METODOLOGÍA	20
Diagnóstico del Área y Análisis de Necesidades	20
DISEÑO DEL BANCO	22
PROCEDIMIENTO	23
Materiales y consideraciones generales	24
Arquitectura del sistema.....	24
Procedimiento de montaje	24

<i>Instalación física</i>	24
Alimentación común	25
Procedimiento para la Configuración y Programación de la Lógica en RSLogix 5000 (FBD)	31
Lógica básica implementada en FBD en el tablero	36
Interfaz Hombre–Máquina (HMI)	42
<i>Pantalla de prueba del lazo de control de nivel</i>	42
<i>Pantalla de señales digitales</i>	43
Conclusiones	48
Recomendaciones	49
Aprendizajes adquiridos	49
ANEXO 1	51
ANEXO 2	52
ANEXO 3	53
BIBLIOGRAFIA	54

INTRODUCCIÓN.

En la industria papelera, los procesos de control y automatización desempeñan un papel fundamental para garantizar la calidad del producto final, la eficiencia energética y la seguridad operativa. En este contexto, el área de mantenimiento instrumentista requiere personal capacitado y equipos adecuados para la verificación, calibración y diagnóstico de instrumentos de medición y control, tales como sensores, válvulas y transmisores.

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de un banco de pruebas para sensores, válvulas y transmisores, destinado al área de mantenimiento de la empresa Convertidora de papel S.A de C.V, dedicada a la fabricación de papel tissue, servilletas y papel higiénico a partir de material reciclado. Este banco permitirá realizar pruebas funcionales, de respuesta y verificación de señal de distintos dispositivos utilizados en las líneas de producción, sin necesidad de intervenir directamente en los equipos de proceso.

El desarrollo del proyecto busca fortalecer las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, reduciendo tiempos de parada por fallas instrumentales y permitiendo la capacitación práctica del personal técnico. Además, servirá como una herramienta de apoyo para el diagnóstico rápido de componentes, promoviendo la seguridad, la estandarización y la confiabilidad de las operaciones.

Este proyecto se enmarca en el área de automatización y mantenimiento industrial, y combina aspectos eléctricos, neumáticos y de instrumentación, siguiendo los lineamientos establecidos por normas nacionales e internacionales como la NOM-001-SEDE-2012, IEC 60204-1, NFPA 79 y IEC 60617, asegurando así un diseño seguro, ordenado y funcional.

Sobre la empresa.

La empresa Convertidora de papel S.A. de C.V. "Convertipap" es una compañía mexicana dedicada a la fabricación de productos de papel tissue, tales como papel higiénico, servilletas y toallas de papel, utilizando como materia prima papel 100% reciclado. Se encuentra ubicada en Atlangatepec, Tlaxcala, y se distingue por su compromiso con la sustentabilidad y el aprovechamiento responsable de los recursos.

Entre sus procesos principales se encuentran la recolección y clasificación del papel reciclado, el desfibrado, blanqueado, prensado, secado, bobinado y la conversión del material en productos finales listos para su distribución. La misión de Convertipap es fabricar productos de papel de alta calidad mediante procesos

eficientes y sostenibles que contribuyan al cuidado del medio ambiente. Su visión es consolidarse como una empresa líder en la industria papelera nacional, reconocida por su innovación, calidad y responsabilidad ambiental. Sus valores fundamentales incluyen la mejora continua, el trabajo en equipo, la calidad y la responsabilidad ecológica.

El área de mantenimiento instrumentista tiene un papel fundamental dentro de la planta, ya que se encarga de garantizar el correcto funcionamiento de los equipos electrónicos y neumáticos utilizados en los distintos procesos de producción. Entre sus principales funciones destacan la supervisión, calibración y reparación de sensores, transmisores y válvulas; la revisión de controladores lógicos programables (PLC) y tableros de control; la ejecución de mantenimientos preventivos y correctivos, así como el monitoreo constante de variables críticas como presión, temperatura, nivel y flujo.

Además, este departamento participa activamente en proyectos de mejora y automatización industrial, contribuyendo al desarrollo de soluciones que incrementan la eficiencia y seguridad de los procesos. En este contexto, el proyecto de banco de pruebas para sensores, válvulas y transmisores se integra como una herramienta de apoyo para realizar diagnósticos, calibraciones y pruebas de funcionamiento de los instrumentos sin afectar la operación de la planta, promoviendo la capacitación técnica y el mantenimiento preventivo.

Dentro del área de mantenimiento instrumentista de la empresa Convertidora de papel S.A. de C.V., desempeño el puesto de practicante de ingeniería mecánica, colaborando directamente en las labores técnicas relacionadas con la operación y conservación de los equipos de control e instrumentación industrial.

Entre mis principales actividades se encuentran el apoyo en la calibración de transmisores de consistencia, flujo y presión, asegurando que los instrumentos proporcionen mediciones precisas para el correcto control de los procesos productivos. Asimismo, participo en tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, que incluyen la limpieza, inspección y ajuste de equipos electrónicos y sensores, con el objetivo de prolongar su vida útil y prevenir fallas en la línea de producción.

También he contribuido en el diagnóstico y reparación de sistemas eléctricos y electrónicos, así como en la revisión de conexiones y señales dentro de los tableros de control y PLC's. Estas actividades me han permitido fortalecer mis conocimientos prácticos en instrumentación, automatización y mantenimiento industrial, integrando tanto el uso de herramientas de medición como la interpretación de diagramas eléctricos y neumáticos.

Gracias a esta experiencia, he identificado la necesidad de contar con un banco de pruebas de instrumentación que permita verificar el funcionamiento de los sensores, válvulas y transmisores fuera de las máquinas de producción, optimizando el mantenimiento y la capacitación técnica dentro del área.

Problemática.

Durante el desarrollo de las actividades en el área de mantenimiento instrumentista de Convertidora de papel S.A. de C.V., se ha identificado que uno de los principales desafíos es la falta de un sistema dedicado para la prueba y calibración de equipos de instrumentación, como sensores, transmisores y válvulas, fuera de las líneas de producción. Actualmente, estas pruebas se realizan cuando se quita alguno ya descompuesto o que ya se quitó de la máquina para revisión, lo que aumenta el riesgo de paros de producción, retrasa las actividades de mantenimiento y dificulta la capacitación del personal técnico.

El primer problema prioritario es la dependencia de los equipos en operación para verificar o calibrar los instrumentos. Esto genera tiempos muertos y retardados cuando se requiere detener una línea para realizar ajustes o verificar el correcto funcionamiento de un sensor o transmisor.

El segundo problema identificado es la falta de un entorno controlado de prueba que permita asegurar la precisión de los equipos antes de ser instalados. La ausencia de un sistema estandarizado provoca que las calibraciones se realicen de manera empírica, lo que puede afectar la confiabilidad de las mediciones en los procesos.

El tercer problema es la limitada capacitación práctica del personal técnico en el manejo de instrumentos industriales. Al no contar con un banco de pruebas, los técnicos y practicantes carecen de un espacio seguro para practicar conexiones, configuraciones y diagnósticos sin afectar la operación de la planta.

Ante esta situación, el presente proyecto propone el diseño y construcción de un banco de pruebas para sensores, válvulas y transmisores, que permitirá realizar pruebas funcionales, calibraciones y diagnósticos de fallas de manera independiente y segura. Este banco facilitará el mantenimiento preventivo, reducirá costos por paros imprevistos, y fortalecerá las competencias técnicas del personal del área.

En conjunto, el proyecto contribuirá a optimizar los tiempos de mantenimiento, mejorar la confiabilidad de los instrumentos y elevar la eficiencia operativa del área de mantenimiento e instrumentación de Convertipap, alineándose con su política de mejora continua y sustentabilidad industrial.

Objetivo General.

Diseñar y construir un banco de pruebas para sensores, válvulas y transmisores en el área de mantenimiento instrumentista de Convertipap S.A. de C.V., que permita realizar pruebas, calibraciones y diagnósticos de equipos de instrumentación de manera segura, eficiente y sin afectar los procesos productivos de la planta.

Objetivos específicos.

1. Analizar los tipos de sensores, válvulas y transmisores utilizados en la planta para definir las condiciones eléctricas y neumáticas necesarias en el banco de pruebas.
2. Diseñar el sistema eléctrico y neumático del banco de pruebas, integrando fuentes de alimentación, conexiones seguras y elementos de control.
3. Implementar un PLC para la simulación de señales digitales y analógicas que permitan la activación y lectura de los dispositivos de prueba.
4. Seleccionar y montar los materiales y componentes adecuados, garantizando la seguridad, funcionalidad y facilidad de mantenimiento del sistema.
5. Realizar pruebas de validación para comprobar la respuesta y precisión de los sensores, válvulas y transmisores conectados al banco.
6. Capacitar al personal del área de mantenimiento e instrumentación en el uso y aplicación del banco de pruebas para fines de calibración y diagnóstico.
7. Documentar el diseño, construcción y operación del banco de pruebas, estableciendo un protocolo estandarizado para su uso y mantenimiento.

Justificación.

Actualmente, en el área de producción de Convertipap, la verificación y diagnóstico de sensores, válvulas y transmisores se realiza directamente en las líneas de fabricación o cuando ya se hizo el cambio por uno nuevo y se le da mantenimiento correctivo al que se quitó. Esto genera varios problemas y riesgos:

- Paros en la producción por pruebas o calibraciones realizados en línea.
- Riesgo de daños en equipos y accidentes por trabajar con maquina en operación
- Falta de procedimientos estandarizados para pruebas y calibraciones- Incremento de costos por fallas no detectadas a tiempo y reemplazo innecesario de componentes

Con la implementación de este banco de pruebas:

- Se podrán realizar pruebas fuera de línea evitando afectaciones en la producción.
- Se optimizará el tiempo de diagnóstico y reparación
- Se prolongará la vida útil de los equipos mediante mantenimiento preventivo eficaz
- Se generará documentación técnica que apoye la capacitación y estandarización del trabajo.

En consecuencia, este proyecto contribuirá directamente a la reducción de paros no programados, mayor eficiencia y disminución de costos operativos.

Fundamentos teóricos

Antecedentes y Estudios Previos

En la industria moderna, la instrumentación y el control automático son pilares fundamentales para garantizar la eficiencia, seguridad y calidad de los procesos productivos. Las empresas del sector paplero, como en la Convertidora de papel S.A. de C.V., dependen de una gran variedad de dispositivos de medición y control entre ellos sensores, transmisores y válvulas neumáticas para monitorear variables críticas como la presión, la temperatura, el flujo y la consistencia de la pulpa de papel.

Con el paso del tiempo, la complejidad de los sistemas industriales ha aumentado, y con ello la necesidad de realizar mantenimientos más precisos y especializados en los equipos de instrumentación. Sin embargo, muchas empresas enfrentan la limitante de no contar con un entorno de pruebas que permita verificar y calibrar los instrumentos fuera de la línea de producción, lo que ocasiona paros innecesarios, mayores tiempos de inactividad y posibles errores de medición.

A nivel técnico, diferentes estudios y prácticas industriales han demostrado que la implementación de bancos de pruebas modulares en áreas de mantenimiento permite evaluar el comportamiento y desempeño de instrumentos bajo condiciones controladas. Estos bancos se utilizan comúnmente en sectores como el petroquímico, alimenticio, farmacéutico y paplero, donde la confiabilidad de la instrumentación es esencial para la estabilidad del proceso.

El concepto de banco de pruebas surge como una herramienta didáctica e industrial que facilita la simulación de señales y condiciones reales de operación, sin afectar los procesos productivos. Su uso ha permitido optimizar los tiempos de mantenimiento, mejorar la trazabilidad de las calibraciones y ofrecer un espacio seguro para la capacitación del personal técnico en instrumentación y control.

En estudios previos, se ha identificado que los bancos de pruebas más eficientes son aquellos que integran instrumentos de medición reales, válvulas controladas, fuentes reguladas y controladores lógicos programables (PLC). Estas configuraciones permiten replicar el comportamiento de un proceso industrial en un entorno seguro y controlado, contribuyendo al aprendizaje práctico y a la detección temprana de fallas en los dispositivos.

El desarrollo de un banco de pruebas en el área de mantenimiento e instrumentación de Convertipap representa una adaptación de estas prácticas industriales a las necesidades específicas del sector paplero, con el objetivo de mejorar la eficiencia en la calibración y diagnóstico de instrumentos utilizados en los procesos de producción de papel tissue.

Conceptos fundamentales

Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar una magnitud física o química y convertirla en una señal eléctrica o neumática que puede ser medida o interpretada por un sistema de control. En la industria, los sensores son esenciales para el monitoreo de variables como temperatura, nivel, presión, flujo y posición.

Los sensores analógicos generan una señal proporcional a la variable medida, generalmente en un rango estándar como 4-20 mA o 0-10 V, mientras que los sensores digitales entregan una señal de encendido/apagado (0 o 1), utilizada comúnmente para detección de presencia o posición.

En el área de mantenimiento de Convertipap, los sensores se emplean para supervisar la operación de equipos rotativos, el flujo de papel y el control de válvulas, por lo que su correcto funcionamiento es crucial para la continuidad del proceso.

Tipos de sensores

- Sensores de proximidad sin contacto

La detección (sin contacto) de la presencia de un objeto depende de diversos factores como, por ejemplo, el material del objeto a detectar o la distancia a la que debe ser colocado para ser detectado. De acuerdo con el principio físico en el que se basa su funcionamiento pueden ser optoelectrónicos (accionados por luz), inductivos (de acción magnética), capacitivos (de acción capacitiva) y ultrasónicos (de acción ultrasónica).

Pueden tener salida todo/nada normalmente abierta (NO) o normalmente cerrada (NC) y estar implementados con relés o transistores.

- Sensores inductivos de proximidad

El sensor inductivo detecta la presencia de cualquier objeto de material conductor sin necesidad de contacto físico, y su funcionamiento se basa en la influencia sobre algunos metales y semiconductores del campo magnético generado por la bobina del sensor.

- Sensores capacitivos de proximidad

Estos sensores se basan en la interacción producida entre el objeto a detectar y el campo electrostático que genera el propio sensor. El funcionamiento es similar al caso inductivo, pero ahora el sensor es un condensador.

La capacidad de un condensador depende de la distancia entre electrodos, su área y la permitividad dieléctrica que representa la capacidad del material de polarizarse

ante la presencia de un campo eléctrico. La permitividad dieléctrica es igual al producto de la permitividad del vacío y de la permitividad relativa del material dieléctrico que separa las placas del condensador.

Cuando un objeto se aproxima al sensor y entra al campo electrostático de los electrodos, la capacidad del condensador se incrementa. La variación de la capacidad se detecta mediante un circuito oscilador del que forma parte. Debido a un aumento de capacidad, la amplificación del oscilador se incrementa haciendo al oscilador entrar en oscilación. Cuando la amplitud de oscilación supera un cierto nivel ante la presencia de un objeto, el estado del sensor cambia. Si el objeto se aleja, la amplitud del oscilador disminuye hasta conmutar al estado original (sin oscilación).

- *Sensores optoelectrónicos de proximidad*

Son sensores que detectan la presencia de un objeto mediante fenómenos relacionados con la luz. También se conoce a estos sensores como fotocélulas, sensores ópticos o detectores fotoeléctricos.

En cada sensor existe un emisor que genera un haz de luz (en el espectro visible o infrarrojo) y un receptor que puede recibir o no el haz de luz emitido o recibirlo modificado, según la presencia del objeto. Estos sensores se pueden clasificar, atendiendo al método de detección utilizado y la disposición de los elementos emisor y receptor.

- *Interruptor de lengüeta (Reed Swicht)*

Un interruptor de lengüeta o reed switch es un interruptor eléctrico activado por un campo magnético generado por un imán permanente o una bobina. Está formado por un par de contactos ferrosos encerrados al vacío dentro un tubo de vidrio, de manera que cuando los contactos están normalmente abiertos se cierran en la presencia de un campo magnético; cuando están normalmente cerrados se abren en presencia de un campo magnético.

- *Sensores de posición*

La posición y el avance de objetos en los procesos de fabricación son datos que normalmente se desean conocer para controlar el proceso. Según el margen de distancias de trabajo (puede variar desde centésimas de milímetros hasta decenas de metros) se utilizan sensores basados en diferentes principios físicos.

- *Codificadores de posición optoelectrónicos: Encoders*

Estos sensores están basados en la detección de señales de luz que atraviesan un disco que posee n pistas concéntricas, cada una con zonas opacas y transparentes alternas asignadas a los números 0 y 1 respectivamente. A cada pista le corresponde un emisor de luz y un receptor sensible a la luz, de manera que, si

dividimos el disco en 2^n sectores, cada uno se puede codificar con un bit por pista cuyo valor depende de la medida del receptor. La señal recibida pasa a un circuito cuya salida se encuentra a un nivel de tensión correspondiente a un nivel lógico si recibe luz, y al contrario si no hay señal luminosa.

Los codificadores de posición pueden ser absolutos (cuando miden la posición respecto a una referencia) o incrementales (cuando miden un incremento de la posición). El principal inconveniente de estos últimos es que pierden datos si se desconecta la alimentación.

Actuadores eléctricos

- Relé

Se trata de un dispositivo electromagnético que consiste en un interruptor automático controlado por un circuito eléctrico, en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se actúa sobre uno o varios contactos. Cuando la señal de mando excita al electroimán, se hace pasar corriente por la bobina, se produce un campo magnético que interacciona con uno o varios contactos provocando el cierre o apertura de estos, lo que permite abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Esto permite controlar un circuito de salida de mayor potencia (circuito de fuerza) que el circuito estimulador (circuito de control) que solo necesita una pequeña fuente de tensión para activar el relé.

Contactores

Este dispositivo electromecánico tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente controlándolo a distancia. Constructivamente son similares a los relés, aunque difieren en su aplicación, ya que los contactores se utilizan como interruptores electromagnéticos en la conexión y desconexión de circuitos de elevada tensión y potencia, y los relés manejan corrientes de poco valor.

Los contactores se usan en combinación con los relés, de manera que un relé puede activar y desactivar varios contactores, encargándose cada contactor de abrir y cerrar un circuito eléctrico. Por ejemplo, para alimentar un motor trifásico.

Controladores Lógicos Programables (PLC)

El Controlador Lógico Programable (PLC) es un dispositivo electrónico diseñado para automatizar procesos industriales mediante la ejecución de programas lógicos que controlan señales de entrada y salida. Los PLC's reciben información proveniente de sensores o transmisores (entradas digitales o analógicas), la procesan de acuerdo con una lógica preestablecida, y envían órdenes a actuadores como válvulas, motores o relevadores (salidas digitales o analógicas).

El uso de PLC en un banco de pruebas permite simular condiciones de operación reales, controlar válvulas neumáticas, registrar señales y activar alarmas o indicadores visuales. Entre los modelos más utilizados en la industria destacan los de las marcas Siemens, Allen-Bradley y Schneider Electric, por su versatilidad, robustez y facilidad de programación.

El lenguaje de programación más común es el diagrama de escalera (Ladder), que utiliza símbolos similares a los circuitos eléctricos convencionales, lo que facilita su interpretación por parte del personal técnico.

Señales Analógicas y Digitales

Las señales digitales son aquellas que solo pueden adoptar dos estados posibles: *encendido (1)* o *apagado (0)*. Se utilizan principalmente para detectar presencia, posición, nivel o activación de un elemento, y son interpretadas directamente por las entradas digitales del PLC.

Por otro lado, las señales analógicas varían de forma continua dentro de un rango definido, representando valores proporcionales a una magnitud física. Los rangos más comunes son 4-20 mA o 0-10 V, empleados para transmitir variables como presión, flujo, temperatura o consistencia.

En el banco de pruebas, ambas señales estarán presentes:

- Las digitales para activar válvulas o detectar el estado de sensores.
- Las analógicas para evaluar la respuesta de transmisores y calibrar instrumentos.

Esto permitirá verificar la linealidad y estabilidad de los equipos, así como detectar posibles errores de lectura o conexión.

Sistemas Neumáticos

La neumática es la tecnología que utiliza aire comprimido para transmitir energía y realizar movimientos mecánicos. En instrumentación industrial, se emplea para accionar válvulas de control, regular presiones y simular condiciones de proceso.

Un sistema neumático básico está compuesto por un compresor, reguladores de presión, mangueras, conectores, válvulas de control y actuadores. En el banco de pruebas propuesto, el sistema neumático permitirá aplicar presión controlada a los transmisores y válvulas, con el fin de evaluar su desempeño bajo diferentes condiciones.

El aire comprimido debe pasar por un filtro-regulador-lubricador (FRL) para garantizar que el fluido esté limpio y seco, evitando daños en los instrumentos.

Además, se deben instalar válvulas de seguridad y manómetros para mantener la operación dentro de límites seguros.

Mantenimiento y Calibración de Instrumentos

El mantenimiento de instrumentación tiene como objetivo asegurar que los dispositivos de medición y control operen dentro de las tolerancias especificadas por el fabricante. Existen tres tipos principales de mantenimiento: preventivo, correctivo y predictivo.

La calibración consiste en comparar la lectura de un instrumento con un patrón o referencia conocida para determinar su precisión. Este proceso es fundamental para garantizar la confiabilidad de los datos en los sistemas de control.

El banco de pruebas permitirá realizar calibraciones de manera más eficiente, utilizando fuentes de señal, aire regulado y un sistema de medición estándar. De esta manera, se reducirá el tiempo de diagnóstico, se evitarán errores de medición y se mejorará la trazabilidad de las calibraciones.

Válvulas de Control

Las válvulas son dispositivos mecánicos que regulan el flujo de un fluido (líquido o gas) dentro de un sistema. En instrumentación, se utilizan válvulas neumáticas o eléctricas que pueden ser operadas manual o automáticamente.

Las válvulas de control permiten ajustar de manera continua la cantidad de fluido que pasa a través de una línea, mientras que las válvulas solenoides (o electroválvulas) funcionan mediante una bobina eléctrica que acciona el paso o cierre del aire comprimido o líquido.

En procesos industriales como los de Convertipap, las válvulas controlan el paso de aire, vapor o agua hacia equipos de secado, presas o sistemas de mezcla, y su mantenimiento es esencial para evitar fugas o variaciones en la presión de trabajo.

El banco de pruebas incluirá distintos tipos de válvulas (neumáticas y solenoides) para evaluar su tiempo de respuesta, estanqueidad y funcionamiento bajo presión regulada.

Partes de una válvula neumática

Las válvulas, sin importar el tipo que sean, disponen de partes comunes que son necesarias para un buen desarrollo de su funcionamiento. Estas son:

- Actuador: también llamada accionador o motor. Se caracteriza por ser neumático, hidráulico o eléctrico, pero los que más se utilizan son el neumático y el eléctrico, ya que actúan más rápido y fácil.
- Eje: también llamado husillo, se encarga de fijar y conducir el obturador.

- **Obturador:** es el responsable de hacer un bloqueo o interrumpir el fluido de forma física, y también es llamado disco en caso de tener una parte metálica.
- **Empaquetadura del eje:** para su montaje, se rodea el eje metálico que suministra seguridad a la estanqueidad de la atmósfera del fluido.
- **Asiento:** porción de la válvula que se cierra por medio del contacto con el obturador.
- **Tapa y cuerpo:** retienen la presión y envuelven porciones internas de la válvula neumática.
- **Pernos de unión:** tienen el trabajo de unir la tapa de la válvula de seguridad neumática y el cuerpo entre sí, con el propósito de asegurar la estanqueidad atmosférica, colocando estas superficies juntas.
- **Accionamiento:** se usa para hacer funcionar la válvula.
- **Extremos:** pertenece a una parte de la válvula que posibilita la conexión a la tubería, caracterizándose por ser ranurados, soldados o roscados.
- **Juntas de cierre:** ubicada por encima y alrededor del órgano de cierre y otorgando seguridad a la estanqueidad del obturador.

¿Cómo funcionan las válvulas neumáticas?

El agua ingresa en la válvula neumática por la línea principal del sistema, ejerciendo una fuerza contra el centro de su diafragma.

Un orificio pequeño en el diafragma permite que el agua fluya por medio de la cámara de combustión entrando a la tapa y al diafragma.

El agua continúa viajando hasta la zona del solenoide, que cuenta con un pistón accionado por resorte de metal ligero, cubriendo el orificio de entrada cuando la válvula está cerrada.

El área de superficie donde el agua entra en contacto con la parte superior del diafragma es mayor que su parte inferior, logrando que la válvula quede cerrada hasta que el agua en la cámara se libera.

Para centralizar las funciones de varios depósitos, mejorar la eficiencia del sistema y permitir un mejor control, se puede usar manifold de válvulas neumáticas.

Tipos de válvulas

- *Válvulas distribuidoras*

Encargadas de cambiar el aire comprimido, este modelo tiene dos o hasta cinco conexiones y se opera de modo mecánico, eléctrico, manual o neumático.

Estas válvulas pueden tener una pérdida de potencia que se debe a la presión o la carga.

- *Válvulas de control de dirección*

Estas válvulas direccionales se encargan de cambiar el flujo del aire comprimido que se dirige a las pinzas neumáticas y para manejar cilindros de simple efecto.

- *Válvulas de control de dirección*

Estas válvulas direccionales se encargan de cambiar el flujo del aire comprimido que se dirige a las pinzas neumáticas y para manejar cilindros de simple efecto.

- *Válvulas de control de caudal*

Las válvulas de control caudal también se les conoce como válvula estranguladora neumática. Se conforman por dos accesos que pueden ser de salida o entrada.

- *Válvulas de control de presión*

Este es un elemento del circuito de inyección encargado de permitir el paso del combustible desde la bomba hasta el tubo de presión.

También, están las válvulas EGR eléctricas (Exhaust Gas Recirculation), su finalidad es la recirculación de los gases para evitar que se conviertan en gases contaminantes.

Por otro lado, se encuentra el modelo de válvula On Off neumática que se puede usar con gas, vapor, agua, aire, gas combustible, etc.

Se trata de un dispositivo fabricado para controlar el flujo (On Off) de un fluido y es la única válvula neumática con 1 entrada y 2 salidas.

- *Válvulas proporcionales*

Una válvula proporcional proporciona control en aplicaciones en las que la presión o el caudal de salida varían o se basan en un punto de ajuste dinámico. Proporcionan control sobre aire, gases o agua mediante una respuesta rápida y muy precisa, y ayudan a agilizar las aplicaciones al mismo tiempo que ofrecen un control repetible y un rendimiento deseado. La amplia selección de válvulas y reguladores proporcionales de Emerson, de bajo o alto caudal, de mando directo, pilotados, abiertos o de bucle cerrado, ofrecen un rendimiento ultra fiable y preciso.

Transmisores

Un transmisor es un instrumento que convierte la señal de un sensor en una señal estandarizada de salida (comúnmente de 4-20 mA) para ser interpretada por un

sistema de control o PLC. Los transmisores pueden medir presión, flujo, nivel, temperatura o consistencia, dependiendo del proceso al que estén integrados.

En la planta de Convertipap, los transmisores de consistencia, flujo y presión son fundamentales para controlar la calidad de la pulpa de papel, el caudal de agua y el aire comprimido en las líneas de producción. Su calibración periódica garantiza lecturas precisas que contribuyen a la eficiencia energética y de materia prima.

El banco de pruebas permitirá verificar la respuesta, linealidad y estabilidad de los transmisores sin necesidad de detener la producción, mediante la simulación de señales y el uso de aire regulado para generar presión o flujo de referencia.

¿Qué es un banco de pruebas?

Un banco de pruebas es un conjunto de equipos y herramientas diseñados para evaluar, simular y medir el desempeño de componentes, productos o sistemas completos bajo condiciones controladas, con los cuales se pueden realizar ensayos para verificar su funcionamiento, resistencia y seguridad, proporcionando datos críticos para mejorar su diseño o validar su calidad.

Los bancos de pruebas pueden ser simples plataformas para ensayos básicos o sistemas complejos automatizados que simulan condiciones extremas. Dependiendo de la industria y el tipo de producto, pueden variar en configuración, tecnología y capacidad.

Evaluación del desempeño

Su función principal es replicar las condiciones operativas reales para medir y analizar su rendimiento bajo diferentes escenarios para identificar fortalezas y debilidades, garantizando que el producto cumpla con los estándares de calidad y seguridad requeridos.

En el ámbito industrial, los bancos de pruebas son esenciales para validar prototipos y componentes críticos como válvulas, motores o sistemas hidráulicos. Durante el proceso, se monitorean parámetros como presión, temperatura, velocidad y resistencia, proporcionando datos valiosos para la toma de decisiones en el diseño o mejora del producto.

Otra función clave es la detección temprana de fallos para corregir problemas antes de la producción en masa o la implementación en campo.

Verificación de la calidad

Su función principal en este ámbito es hacer que los elementos evaluados cumplan con los estándares de calidad, especificaciones técnicas y normativas aplicables. Para lograrlo, el banco simula condiciones de funcionamiento reales o incluso

extremas, con el fin de evaluar parámetros clave como resistencia, durabilidad, eficiencia y seguridad.

Durante las pruebas, se monitorean variables críticas, generando datos precisos sobre el comportamiento del producto. La idea es detectar posibles defectos de fabricación o fallos estructurales.

METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se estructurará en diferentes etapas metodológicas que permitirán llevar a cabo la planeación, diseño, construcción y validación del banco de pruebas para sensores, válvulas y transmisores, garantizando su funcionalidad y seguridad en el área de mantenimiento e instrumentación de Convertipap.

Cada etapa estará orientada a cumplir los objetivos específicos planteados, aplicando criterios técnicos de instrumentación, control y seguridad industrial.

Diagnóstico del Área y Análisis de Necesidades

En esta etapa se realizará una inspección y análisis de las condiciones actuales del área de mantenimiento instrumentista. Se identificarán los tipos de sensores, transmisores y válvulas utilizados en la planta, así como sus rangos de operación, tipo de señal, alimentación eléctrica y requerimientos neumáticos. Además, se determinarán las limitaciones del mantenimiento actual, como la falta de herramientas para pruebas fuera de línea y la necesidad de mejorar la capacitación práctica del personal técnico.

Tras el diagnóstico, se identifican las siguientes necesidades prioritarias del área:

Espacio controlado de pruebas:

Falta un entorno seguro donde se puedan simular condiciones de proceso (presión, caudal, señal digital y analógica, etc.) sin intervenir la línea de producción.

→ Solución propuesta: Implementar un banco de pruebas con fuente de 24 VDC, aire comprimido, válvulas y transmisores.

Estandarización del mantenimiento y calibración:

No se cuenta con un sistema o método uniforme para probar y validar el funcionamiento de los instrumentos antes de su instalación.

→ Solución: Incorporar manómetros, reguladores y conexiones rápidas que permitan pruebas repetibles y comparables.

Reducción de tiempo fuera de línea (downtime):

Los transmisores y sensores deben probarse directamente en campo o cuando se hace un mantenimiento correctivo, lo que prolonga los tiempos de mantenimiento.

→ Solución: Realizar verificaciones previas en el banco para garantizar su correcto funcionamiento.

Capacitación técnica del personal:

Los técnicos y practicantes requieren un espacio donde puedan aprender conexiones, calibración y diagnóstico de dispositivos sin afectar equipos reales.

→ Solución: El banco servirá como módulo didáctico para prácticas seguras y repetibles.

Verificación de nuevas adquisiciones:

Los nuevos instrumentos o válvulas compradas no pueden probarse fácilmente antes de instalarse.

→ Solución: El banco de pruebas permitirá realizar pruebas de funcionamiento y compatibilidad eléctrica/neumática.

En el inventario de instrumentos críticos se encontraron los siguientes:

- Transmisor de flujo
- Transmisor de presión
- Transmisor de nivel (obtener sus rangos)

(Hay transmisores de consistencia y temperatura, pero para las pruebas solo utilizaremos esos dos)

Todos los anteriores tienen una señal de salida de 4 a 20mA y el transmisor de flujo y presión se pueden probar con flujo de aire.

- Sensores digitales NPN/PNP
- Válvulas proporcionales
- Válvulas solenoide
- Regulador de presión
- Manómetros
- Fuente de alimentación, convirtiendo 110V A 24VDC

Los recursos por utilizar son:

-Desarmadores, clemens.

-Taladro

-Pinzas para cortar cable

-Etiquetadora

-Laptop para documentar

-Acceso a documentación

Los riesgos que son posibles enfrentar en el proceso es la falta de datasheets, tomar medidas in situ de rangos y conectores.

DISEÑO DEL BANCO

Para la selección del material a utilizar para el banco de pruebas se investigaron las normas a las que tiene que estar regido el banco, en base a esto se realizó la compra de los materiales para que el banco cumpla con las normas necesarias, por lo que se obtuvo la siguiente información;

NORMATIVAS UTILIZADAS EN TABLEROS ELECTRICOS

IEC 60204-1 (Seguridad de maquinaria)

- 13.22.2: “El conductor protector se identificará por la combinación de color verde y amarillo”
- 13.2.3: “Todos los conductores deben estar claramente identificados por color o por marcas alfanuméricas”
- 13.2.4: “Las diferentes funciones se distinguen por diferentes colores o marcas”.
 - a) Cables
 - 24 VDC positivo= Rojo
 - 0 VDC= Negro o azul
 - Tierra= Verde/Amarillo
 - Señales analógicas= Azul
 - Señales digitales= Marrón

Cláusula 16: Marcas, señales de advertencia y designaciones de referencia.

Todos los dispositivos (interruptores, conductores, PLC, bornas, etc.) deben tener referencias únicas y legibles.

Se recomienda usar sistemas de designación normalizados como IEC 81346 para nombrar componentes

- a) Entradas y salidas PLC
 - Entradas digitales: I0.0, I0.1, I0.2...
 - Salidas digitales: Q0.0, Q0.1, Q0.3....
 - Entradas analógicas: AI0, AI1
 - Salidas analógicas: AQ0...
- b) Identificación
 - Breaker: Q1
 - Fuente: PS1
 - PLC: PLC1
 - Fusibles: F1, F2...
 - Bornas: X1, X2...
 - Válvulas: Y1, Y2...
 - Sensores: B1, B2...
 - Transmisor: PT-1
- c) Señalización de seguridad
 - Paro de emergencia, Peligro Voltaje eléctrico, Solo personal autorizado.
 - NOM-001-SEDE-2012

110-21. Marcado. En todos los equipos eléctricos se debe colocar el nombre del fabricante, la marca comercial u otra marca descriptiva mediante la cual se pueda identificar a la empresa responsable del producto. Debe haber otras marcas que indiquen la tensión, la corriente, la potencia u otros valores nominales, tal como se especifica en otras secciones de esta NOM. El marcado debe ser suficientemente durable para resistir las condiciones ambientales involucradas.

110-22. Identificación de los medios de desconexión. a) General. Cada uno de los medios de desconexión debe estar marcado de modo legible para que indique su propósito, a no ser que estén situados e instalados de modo que ese propósito sea evidente. El marcado debe ser suficientemente durable para resistir las condiciones ambientales involucradas.

PROCEDIMIENTO

El presente procedimiento describe las actividades realizadas para el montaje, interconexión y verificación de un banco de pruebas de instrumentación industrial, empleando módulos de E/S distribuidos Flex I/O conectados a un adaptador Ethernet. El sistema está diseñado para pruebas de señales analógicas y digitales, así como el accionamiento de dispositivos eléctricos, utilizando material reutilizado proveniente de la planta.

Materiales y consideraciones generales

Se utilizó cable calibre 16 AWG, adecuado para circuitos de control a 24 VDC y salidas de potencia moderada.

Para la codificación de los colores se utilizo negro y azul

Negro: común / 0 VDC

Azul: señal o alimentación según el circuito
(Debido a disponibilidad de material reutilizado, se documenta claramente la función de cada conductor mediante etiquetado)

Tipo de montaje: Todos los dispositivos de campo y módulos fueron cableados mediante clemas de paso, evitando conexiones directas a los módulos para facilitar mantenimiento y diagnóstico.

Voltaje de control: 24 VDC para sensores, módulos de entrada/salida y dispositivos de mando.

Arquitectura del sistema

El sistema de control se compone de un nodo Flex I/O con los siguientes elementos:

- Adaptador Ethernet 1794-AENTR
- Módulo de salidas analógicas 1794-OE12
- Módulo de entradas analógicas 1794-IE4XOE2
- Módulo de entradas digitales 1794-IB16
- Módulo de salidas digitales 1794-OB16
- Módulo de relevadores 1794-OW8

Todos los módulos se comunican mediante EtherNet/IP con el controlador principal.

Procedimiento de montaje

Instalación física

1. Se busco el lugar donde se adaptaría el banco, ya que en los tableros disponibles no caben todos los módulos.
2. Se fijo el riel DIN en la tabla que se realizara. Se pusieron dos rieles de 64 cm uno para los módulos y otro para las clemas a las que irán las conexiones.
3. Se fijo la canaleta en la que irán los cables.
4. Se le puso una pastilla para la alimentación

5. Como segundo elemento del rack se puso la fuente de 24V.
6. Se montó el adaptador 1794-AENTR como tercer elemento del rack.
7. Se instalaron los módulos Flex I/O respetando el orden definido en el diseño.
8. Se verificó el correcto acoplamiento mecánico y eléctrico entre módulos.

Todo este procedimiento se muestra en la imagen siguiente (figura 1).



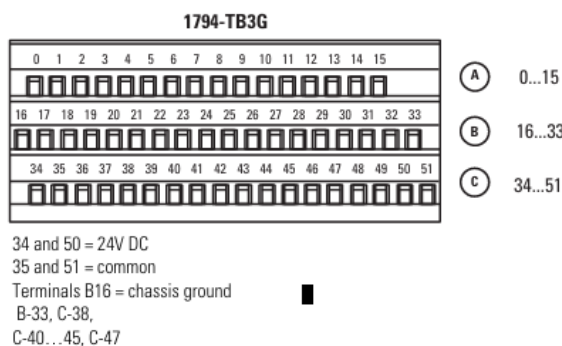
Figura 1. Se muestra todo el procedimiento de montaje ya descrito anteriormente

Alimentación común

1. Se distribuyó la alimentación de **24 VDC** a través de clemas:
 Negro: 0 VDC (COM)
 Azul: +24 VDC

Para los puentes que se les hicieron a los módulos se investigaron las fichas técnicas para saber cuales eran las entradas y salidas de voltaje, a continuación, se muestran en las siguientes imágenes y se detalla a la entrada que va.

Se buscó el modelo de la base del módulo, el módulo 1794-OE12 su base es una 1794-TB3G.



En la figura 2 podemos observar el modelo y dice que los 24V irán a la terminal 34 y su común irá a la terminal 35, la salida de estos para distribuirla a los otros módulos saldrá de la terminal 50 los 24V y el común a la terminal 51.

Figura 2. Terminales de la base del módulo.

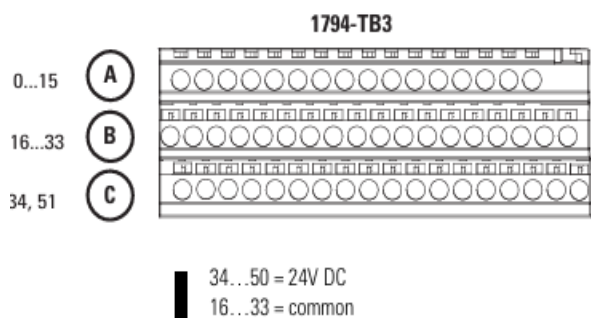


Figura 2.1 Terminales de la base del módulo.



Figura 2.2 Terminales de la base del módulo.

En la figura 2.1 se muestra el modelo 1794-TB3 que es el que tienen los módulos IE4XOE2, IB16, OB16 por lo que sería la entrada de los 24V a la terminal 34 y el común a la terminal 16, mientras su salida de 24V a la terminal 50 y su común a la 33.

Como vemos en la figura 2.2 para el módulo de relés su base es 1794-TBNF su entrada de 24V va a la terminal y el común a la 34.



Figura 3. Cableado de módulos.

En la siguiente imagen (figura 3) se muestran las conexiones físicas realizadas en los módulos.

2. Conexión de salidas analógicas – Módulo OE12

Las salidas analógicas se destinaron al control de válvulas proporcionales o dispositivos de prueba. Cada canal se configuró para operar en corriente 4–20 mA.

Las salidas analógicas del módulo OE12 se cablean desde los canales de salida (AO) del módulo hacia clemas intermedias del gabinete, permitiendo orden, identificación y facilidad de mantenimiento.

Cada canal analógico trabaja en señal de corriente 4–20 mA, utilizando dos conductores:

- Positivo de señal (AO+) cable azul.
- Retorno de señal (AO– / COM) cable negro.

El conductor AO+ se conecta a la clema de señal correspondiente, mientras que el conductor AO– se conecta a la clema común de retorno.

Desde las clemas, la señal se distribuye al dispositivo de campo (válvula proporcional, variador, transmisor, etc.).

Para la identificación de los canales nuevamente se recurrió a la ficha técnica del modulo por lo que se obtuvo la siguiente información mostrada en la tabla de la imagen siguiente (figura 4).

Wire Connections for 1794-TB3G, and 1794-TB3GS using the 1794-OE12 Module

Channel	Signal Type	Label Markings	1794-TB3G and 1794-TB3GS Output	Common Terminal
Output 0	Current	I	A-0	B-17
	Voltage	V	A-1	
Output 1	Current	I	A-2	B-18
	Voltage	V	A-3	
Output 2	Current	I	A-4	B-23
	Voltage	V	A-5	
Output 3	Current	I	A-6	B-24
	Voltage	V	A-7	
Output 4	Current	I	A-8	B-25
	Voltage	V	A-9	
Output 5	Current	I	A-10	B-26
	Voltage	V	A-11	
Output 6	Current	I	A-12	B-31
	Voltage	V	A-13	
Output 7	Current	I	A-14	B-32
	Voltage	V	A-15	
Output 8	Current	I	B-19	C-37
	Voltage	V	B-20	
Output 9	Current	I	B-21	C-39
	Voltage	V	B-22	

Channel	Signal Type	Label Markings	1794-TB3G and 1794-TB3GS	
			Output	Common Terminal
Output 10	Current	I	B-27	C-46
	Voltage	V	B-28	
Output 11	Current	I	B-29	C-48
	Voltage	V	B-30	
	24V DC common	1794-TB3G – C-35, C-51 ⁽¹⁾ 1794-TB3GS – C-35, C-51		
	+24V DC power	1794-TB3G – C-34, C-50 ⁽²⁾ 1794-TB3GS – C-34, C-50		
	Chassis ground (Shield)	1794-TB3G – B-16, B-33, C-38, C-40...45, C-47 ⁽³⁾ 1794-TB3GS – B-16, B-33, C-38, C-40...45, C-47		

⁽¹⁾ Terminals C-35 and C-51 are internally connected in the terminal base unit.

⁽²⁾ Terminals C-34 and C-50 are internally connected in the terminal base unit.

⁽³⁾ Terminals B-16, B-33, C-38, C-40 through C-45, and C-47 are internally connected to chassis ground

Figura 4. Se muestran las terminales que se utilizaran para conectar.

Tomando en cuenta que se configura el modulo a salida de corriente ya que utilizaremos los 4-20 mA, utilizaremos las terminales de salida de corriente. En la imagen siguiente (figura 4.1) se muestra el resultado.

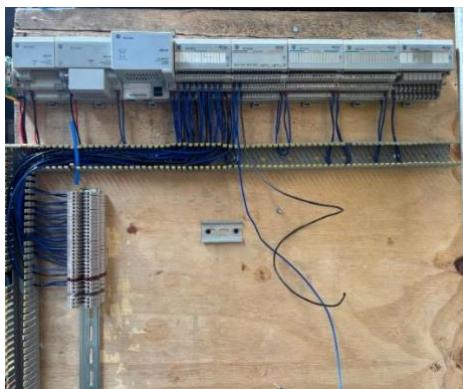


Figura 4.1 Cableado de conexiones.

Entradas analógicas – Módulo IE4XOE2

1. Se conectarán transmisores analógicos de 4–20 mA (dos y tres hilos).
2. La alimentación del lazo se proporcionó mediante fuente externa de 24 VDC.
3. La señal se llevó al terminal IN+ del canal correspondiente, cerrando el lazo a través del COM del módulo.

Las entradas analógicas del módulo IE4XOE2 están configuradas para operar en modo corriente 4–20 mA, utilizando un retorno común (COM).

Cada señal proveniente de un dispositivo de campo (transmisor de presión, nivel, caudal, etc.) ingresa al módulo a través del terminal AI+, mientras que el retorno de corriente se conecta al COM común del módulo.

Las señales se cablean desde el instrumento de campo hacia clemas de paso, y de estas hacia el módulo, facilitando la identificación, diagnóstico y mantenimiento del sistema.

Se sigue el mismo procedimiento buscando las fichas técnicas de cada modulo y se obtiene la siguiente información (Figura 5) y las conexiones físicas.

Wiring connections for 1794-TB2, and -TB3 Terminal Base Units when using the 1794-IE4XOE2 Analog Module

Channel	Signal Type	Label Markings	1794-TB2, 1794-TB3	
			Signal Terminal	24V dc Common Terminal
Input				
0	Current	I	0	17
	Voltage	V	1	18
1	Current	I	2	19
	Voltage	V	3	20
2	Current	I	4	21
	Voltage	V	5	22
3	Current	I	6	23
	Voltage	V	7	24

Figura 5. Las entradas analógicas del módulo IE4XOE2 se conectan en configuración 4–20 mA con

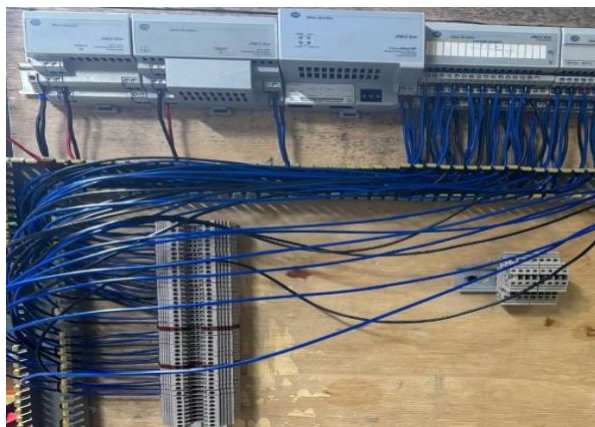


Figura 5.1. En esta imagen se muestra las conexiones físicas en le modulo.

Entradas digitales – Módulo IB16

Se conectarán sensores de tres hilos tipo PNP y de dos hilos

Tiene su alimentación desde clemas (+24 V y 0 V) y un fusible para protección del módulo.

Se llevó cada canal a clemas para distribuir su señal.

Por lo que se tiene 16 clemas que tienen las 15 señales del módulo de salidas digitales. A continuación, se muestra en la imagen las salidas que marca su ficha técnica del módulo y sus conexiones (Figura 6 y 6.1).

Table 1 - Wiring Connections for the 1794-IB8 and 1794-IB16 Modules
(Use with a 1794-TB3 or 1794-TB3S Terminal Base)

Input ⁽¹⁾	Input Terminal	Voltage Terminal	Common Terminal ⁽²⁾
Input 0	A-0	C-35	B-17
Input 1	A-1	C-36	B-18
Input 2	A-2	C-37	B-19
Input 3	A-3	C-38	B-20
Input 4	A-4	C-39	B-21
Input 5	A-5	C-40	B-22
Input 6	A-6	C-41	B-23
Input 7	A-7	C-42	B-24
Input 8	A-8	C-43	B-25
Input 9	A-9	C-44	B-26
Input 10	A-10	C-45	B-27
Input 11	A-11	C-46	B-28
Input 12	A-12	C-47	B-29
Input 13	A-13	C-48	B-30
Input 14	A-14	C-49	B-31
Input 15	A-15	C-50	B-32
+V DC	C-34, C-51		
Common	B-16, B-33		

(1) 1794-IB8 - Inputs 0..7; 1794-IB16 - Inputs 0..15

Figura 6. Ficha técnica del módulo para conexión de señales



Figura 6.1. En esta imagen se muestra las conexiones físicas en le modulo.

Salidas digitales – Módulos OB16 y OW8

Las salidas del módulo OB16 se utilizaron para el accionamiento directo de cargas a 24 VDC de baja corriente.

Se hizo lo mismo que las entradas digitales, se le agregaron clemas de 24V y 0V y después siguen las salidos de los canales. Se muestra la imagen de la ficha técnica para identificar las señales y posteriormente la imagen de las conexiones físicas (Figura 7 y 7.1).

Table 1 - Wiring Connections for the 1794-OB8, 1794-OB16, and 1794-OB16P Modules
Use with a 1794-TB2, 1794-TB3, or 1794-TB3S Terminal Base

Output ⁽¹⁾	Output Terminal	Common Terminal
Output 0	A-0	B-17
Output 1	A-1	B-18
Output 2	A-2	B-19
Output 3	A-3	B-20
Output 4	A-4	B-21
Output 5	A-5	B-22
Output 6	A-6	B-23
Output 7	A-7	B-24
Output 8	A-8	B-25
Output 9	A-9	B-26
Output 10	A-10	B-27
Output 11	A-11	B-28
Output 12	A-12	B-29
Output 13	A-13	B-30
Output 14	A-14	B-31
Output 15	A-15	B-32
+V DC	C-34, C-51 (C-34 and C-51 for 1794-TB2)	
Common	B-16, B-33	

Figura 7. Las entradas analógicas del módulo IE4XOE2 se conectan en configuración 4–20 mA con



Figura 7.1. Se muestra la conexión física de las salidas digitales del módulo.

El módulo OW8 se empleó para el accionamiento de cargas que requieren aislamiento eléctrico mediante relevador.

Cada salida fue cableada pasando previamente por clemas para facilitar pruebas y reemplazo.

El funcionamiento del módulo de relevadores es por el cierre y apertura de contactos por lo que se utilizaran 2 cables por canal del módulo, utilizando la ficha técnica para la correcta conexión de las señales.

Para esta conexión la ficha dice que se debe tener en cuenta la base del módulo, en este caso utilizamos una TBNF, así que sus conexiones quedan de la siguiente manera, utilizando la fila con respecto a ese módulo como se muestra en la figura 8 y 8.1 en la figura 8.2 se muestra las conexiones físicas.



Figura 8. Se puede observar las terminales a utilizar.

6 Módulo de relé de 8 salidas FLEX I/O (Cat. No. 1794-OW8)

Canal de salida	1794-TB2, -TB3	1794-TBN, -TBNF
	Terminal de salida	Terminal de salida
0	A-0	B-0
	A-1	C-1
1	A-2	B-2
	A-3	C-3
2	A-4	B-4
	A-5	C-5
3	A-6	B-6
	A-7	C-7
4	A-8	B-8
	A-9	C-9
5	A-10	B-10
	A-11	C-11
6	A-12	B-12
	A-13	C-13
7	A-14	B-14
	A-15	C-15

A = terminales de salida
B = terminales de CC de retorno
C = terminales de alimentación eléctrica (C-34 y 51 para 1794-TB2; C-34 a 51 para 1794-TB3)

B = terminales de salida con numeración par 0-14, terminales de CC de retorno B-16 y B-33
C = terminales de salida con numeración impar 1-15; terminales de alimentación eléctrica C-34 y C-51

Figura 8.1. Terminales de salida del módulo.

Se utilizo la TBNF por lo que sería las terminales B-0 y C-1, B-2 y C-3...



Figura 8.2. Se muestra la conexión física de las salidas del módulo.

Procedimiento para la Configuración y Programación de la Lógica en RSLogix 5000 (FBD)

Alcance de la programación

Esta etapa del procedimiento describe las actividades realizadas para la configuración de módulos de entrada y salida Flex I/O, así como la implementación de la lógica de control mediante diagramas de bloques de función (Function Block Diagram, FBD) en el software RSLogix 5000 / Studio 5000, con el objetivo de validar señales digitales y analógicas del banco de pruebas.

Este proceso permitió validar el correcto funcionamiento del banco de pruebas, reforzando los conceptos de metodología de pruebas y diagnóstico, adquiridos durante la formación académica.

Creación del proyecto en RSLogix 5000

1. Se abrió el software RSLogix 5000.
2. Se creó un nuevo proyecto seleccionando el tipo de controlador Allen-Bradley correspondiente.
3. Se definió el nombre del proyecto "TABLERO DE PRUEBAS" y la revisión de firmware.
4. Se configuró la comunicación EtherNet/IP con el adaptador Flex I/O 1794-AENTR.

Alta del rack Flex I/O

1. En el árbol del proyecto, dentro de I/O Configuration, se agregó un nuevo módulo:

Tipo: *EtherNet/IP Module*

Modelo: 1794-AENTR

2. Se asignó la dirección IP correspondiente (172.16.2.211)
3. Bajo el adaptador, se dieron de alta los módulos Flex I/O instalados físicamente:
 - Módulo de salidas analógicas 1794-OE12
 - Módulo de entradas analógicas 1794-IE4XOE2
 - Módulo de entradas digitales 1794-IB16
 - Módulo de salidas digitales 1794-OB16
 - Módulo de relevadores 1794-OW8

Cada módulo fue configurado respetando el orden físico del rack

Configuración de módulos.

Entradas analógicas (IE4XOE2)

1. Se ingresó a las propiedades del módulo.
2. Para cada canal de entrada se configuró:
 - Tipo de señal: Current
 - Rango: 4–20 mA
 - Modo: Single-ended
3. Se verificó la creación automática de los tags de entrada (Raw Data).

Salidas analógicas (OE12 / IE4XOE2)

Previo al desarrollo de la lógica, se realizó la configuración de las señales de entrada correspondientes a los módulos de entradas digitales (IB16) y entradas analógicas (IE4XOE2) dentro del árbol de hardware del controlador.

Las entradas analógicas fueron configuradas para trabajar con señales de 4–20 mA, correspondientes a transmisores de presión y nivel, los cuales operan en un rango físico de 0 a 6 bar, aplicando criterios de instrumentación vistos durante la formación académica en el **ANEXO 1 (Figura 9, 9.1,9.2,9.3,9.4)**, se mostrarán las imágenes del procedimiento para un modulo, ya que para los demás se utilizo el mismo método.

El procedimiento fue el siguiente:

1. Se configuraron los canales de salida en modo, 4–20 mA.
2. Se validó la dirección de salida y el tipo de dato asociado.

3. Se dejaron los canales deshabilitados durante la primera etapa de pruebas.

Entradas digitales (IB16)

Las entradas digitales fueron configuradas para operar con señales de **24 VCD**, correspondientes a sensores de tres hilos, selectores, botones pulsadores y microinterruptores.

Cada canal del módulo IB16 fue identificado y documentado de acuerdo con el dispositivo conectado, aplicando criterios de etiquetado y codificación segura conforme a buenas prácticas de automatización industrial.

Procedimiento de configuración:

1. Se accedió a la configuración del módulo 1794-IB16 dentro del árbol de hardware.
2. Se verificó que el tipo de señal correspondiera a entrada digital de 24 VCD.
3. Se asignaron etiquetas (tags) descriptivas a cada entrada, facilitando su identificación dentro del programa.
4. Se comprobó la correcta lectura de estados lógicos (0 y 1) mediante el monitoreo en línea.

Configuración de salidas digitales

Las salidas digitales fueron configuradas en los módulos OB16 y OW8, destinados al accionamiento de válvulas solenoides, relevadores y dispositivos auxiliares del banco de pruebas.

Las salidas operan a 24 VCD, y en el caso del módulo de relevadores, se emplearon contactos secos para aislar eléctricamente los dispositivos de potencia, cumpliendo con criterios de seguridad industrial.

Procedimiento de configuración:

1. Se dio de alta el módulo de salidas digitales dentro del árbol de hardware.
2. Se verificó el tipo de salida (transistor o relevador) según el módulo utilizado.
3. Se asignaron etiquetas claras y descriptivas a cada canal de salida.

Creación de rutinas en Function Block Diagram (FBD)

1. Dentro del Main Program, se creó una nueva rutina tipo:
 - Function Block Diagram
2. Se asignó un nombre descriptivo a la rutina "TAB"

Programación en FBD.

Una vez completada la configuración del hardware, el alta de los módulos de entradas y salidas, así como la documentación de las señales analógicas y digitales (Anexo 2), se estableció una base sólida para el desarrollo de la lógica de control.

En esta etapa, el sistema cuenta con la infraestructura necesaria para iniciar la programación, garantizando que las variables de proceso y los dispositivos de campo se encuentren correctamente definidos y accesibles desde el controlador.

El inicio de la programación se fundamenta en la necesidad de transformar las señales adquiridas del proceso en acciones de control, permitiendo la operación coordinada de los dispositivos del banco de pruebas. Al contar con las señales correctamente dadas de alta y escaladas, se asegura que la lógica de control se desarrolle sobre valores confiables y representativos del proceso real, reduciendo errores de implementación y facilitando la puesta en marcha.

La programación del sistema se realizó utilizando el lenguaje Function Block Diagram (FBD), debido a su claridad para representar procesos industriales continuos y discretos, así como su estrecha relación con los diagramas funcionales estudiados durante la formación universitaria. En esta fase se implementaron bloques funcionales para el procesamiento de señales, condiciones de habilitación, enclavamientos y control de salidas, asegurando una operación segura y ordenada del sistema.

La programación del sistema se realizó utilizando el lenguaje Function Block Diagram (FBD), debido a su claridad para representar procesos industriales continuos y discretos, así como su estrecha relación con los diagramas funcionales estudiados durante la formación universitaria. En esta fase se implementaron bloques funcionales para el procesamiento de señales, condiciones de habilitación, enclavamientos y control de salidas, asegurando una operación segura y ordenada del sistema.

Alta de señales analógicas en FBD.

Las señales analógicas provenientes de los transmisores de presión y nivel fueron procesadas dentro de una rutina dedicada, permitiendo su tratamiento independiente del resto de la lógica.

Cada señal fue escalada de 4–20 mA a unidades de ingeniería, facilitando su interpretación y uso dentro del sistema.

Acciones realizadas: Lectura de señal cruda, escalamiento mediante bloque SCL, validación de rango de operación, asignación de variables de proceso.

Se dieron de alta señales de entrada y salidas analógicas para ver pruebas, teniendo en cuenta los equipos a utilizar y probar en el banco, a continuación, se muestra las señales y tags utilizados de **prueba** para corroborar el alta de las señales y módulos cabe recalcar que no son los tags ni la programación utilizada, solo fueron de prueba y ejemplo para comprender como se hará más adelante; en el anexo 2 del documento se agregan los tags utilizados y la ubicación de estos. Más adelante se muestra la lógica utilizada.

Alta de señales analógicas.

Como prueba y parte del aprendizaje de este proyecto, se dieron de alta señales analógicas de entrada, como solo se cuenta con cuatro canales de entrada con el módulo IE4XOE2 se ocuparon como ejemplos los tipos de transmisores que se encuentran en la empresa (Flujo, presión, temperatura, consistencia, nivel y una entrada analógica simple) Se cargo el programa al PLC y se hicieron las pruebas necesarias con el Amperímetro de procesos, comprobando su correcta conexión, programación y funcionamiento. La programación se muestra en la imagen siguiente (Figura 10).

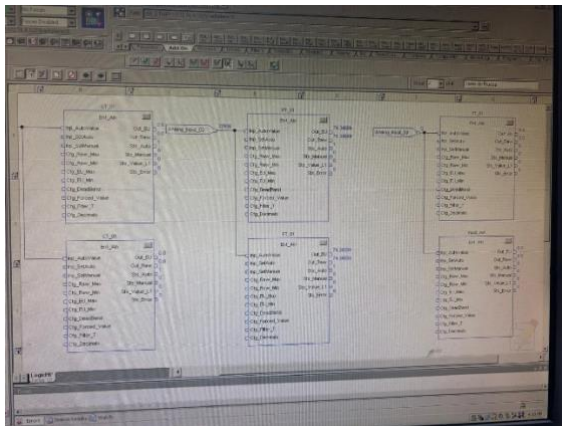


Figura 10. Bloques del programa cargado de ejemplo y práctica al módulo IE4XOE2.

También se dieron de alta salidas analógicas, también se pusieron los principales elementos que son utilizados principalmente en el área. A continuación, se muestra la imagen (Figura 10.1) del programa realizado, fueron tres bloques dados de alta (Válvula proporcional, salida análoga y un regulador de presión).

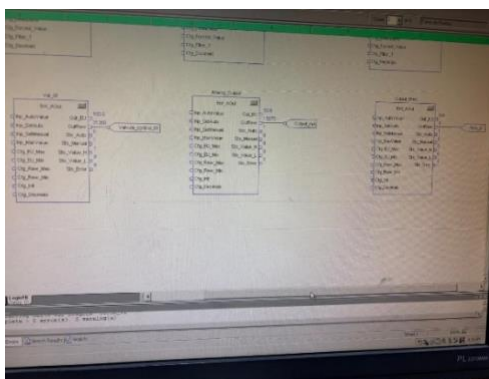


Figura 10.1 Bloques del programa cargado de ejemplo y práctica al módulo OE12.

Alta de señales digitales en FBD

Entradas digitales

Las señales analógicas adquiridas por el módulo fueron tratadas dentro de la lógica mediante bloques funcionales, realizando el escalamiento de la señal cruda a unidades de ingeniería.

Este proceso permitió transformar la señal de corriente (4–20 mA) en valores representativos de presión y nivel, aplicando conceptos de acondicionamiento de señales e instrumentación industrial, garantizando una correcta interpretación de las variables del proceso.

1. Se insertaron bloques de tipo Input Reference.
2. Se vincularon los bloques a los tags de entrada provenientes del módulo 1794-IB16.

Salidas digitales

1. Se insertaron bloques Output Reference.
2. Se asociaron a los tags del módulo 1794-OB16 y 1794-OW8.

En la figura 11 se muestran las señales digitales dadas de alta.

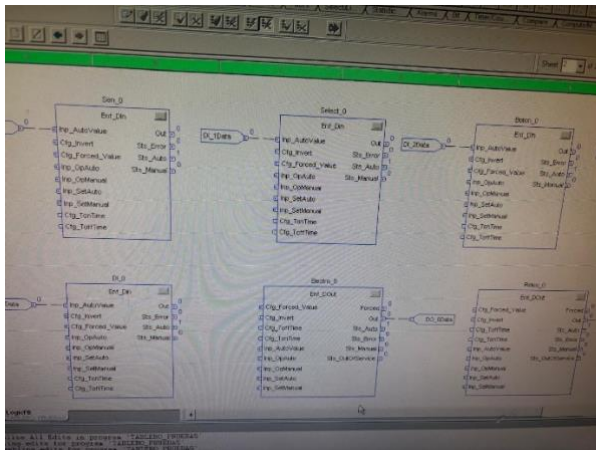


Figura 11 Bloques del programa cargado de ejemplo y práctica de los módulos IB16 y OB16.

Lógica básica implementada en FBD en el tablero

1. Se desarrollaron interlocks simples para pruebas:
 - Activación manual de salidas.
 - Ejemplo de un PID para pruebas de nivel y para poder conectar un drive cuando sea necesario.
 - Prueba de entradas y salidas digitales.

A continuación, se explica la lógica final utilizada y la cual fue cargada a la pantalla HMI.

Bloque de sensor digital

En la figura 12 se muestra la implementación del bloque funcional Ent_Din correspondiente al sensor digital SENSOR_PRUEBA01.

Este bloque se utiliza para estandarizar el tratamiento de señales digitales, permitiendo su operación tanto en modo automático y modo manual.

La entrada Inp_AutoValue recibe directamente la señal proveniente del sensor físico (Sensor_Prueba01).

El bloque cuenta con señales de control Inp_SetAuto e Inp_SetManual, las cuales permiten definir el modo operación del sistema. En modo automático, la salida Out replica el estado del sensor; mientras que en modo manual es posible forzar el valor mediante la entrada correspondiente.

Adicionalmente, se dispone de salidas de estado (Sts_Auto y Sts_Manual) que facilitan la supervisión del modo de operación desde la HMI o para fines de diagnóstico. Este enfoque mejora la seguridad, flexibilidad y mantenibilidad del sistema de control.

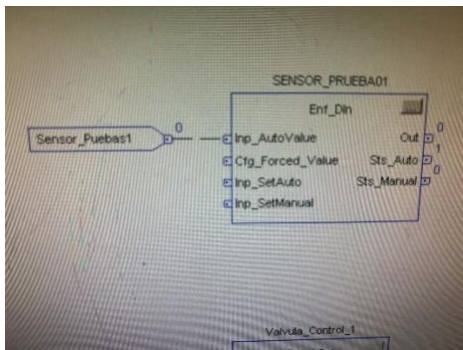


Figura 12. Bloques del programa cargado al PLC y gráficos de HMI.

Lógica booleana para activación de salidas de relevador.

En la figura 13 se presenta la lógica implementada mediante bloques booleanos BAND (AND) y BNOT (NOT), utilizada para el control de salidas de relevador.

La señal proveniente del Boton_Start es evaluada mediante un bloque AND, cuya salida activa la señal SALIDA_RELEVADOR_24V cuando la condición lógica se cumple.

Esta misma señal se deriva hacia un bloque NOT, permitiendo obtener la lógica inversa para la activación de SALIDA_RELEVADOR_110.

De esta forma se garantiza, que ambas salidas trabajan de manera complementaria, evitando activaciones simultaneas y asegurando una operación segura del sistema eléctrico. Este tipo de lógica es comúnmente utilizada en sistemas de enclavamiento y selección de tensiones.

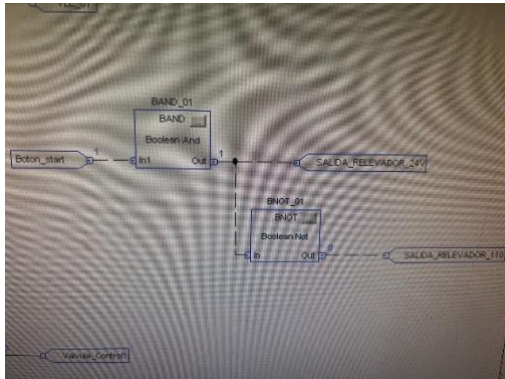


Figura 13. Bloques del programa cargado al PLC y gráficos de HMI, lógica booleana.

Control de nivel, velocidad, motor y válvula (Arquitectura general)

En la figura 14.1 se muestra la arquitectura general del control de procesos, integrando señales analógicas, control PID, actuadores y elementos de potencia.

Para el control y medición de nivel el bloque LT_01 se encarga de la adquisición de la señal de nivel, gestionando su operación en modo automático o manual.

La señal procesada es enviada al bloque LIC_NIVEL, el cual representa el controlador PID encargado de regular la variable del proceso.

La salida del controlador PID se conecta al bloque Vel_01, que convierte la señal de control en una salida analógica adecuada para el variador de velocidad (VEL_01), ajustando así la velocidad del sistema.

Para el control del motor el bloque MOTOR_1 (Figura 14) gestiona el arranque y supervisión del motor. Recibe señales de retroalimentación como Running_Motor1 y Ready_Motor1, permitiendo verificar condiciones de operación segura antes de habilitar la salida Out_Run la cual comanda el arranque del motor mediante la señal Start_Motor1.

Este esquema permite un control estructurado y con retroalimentación, facilitando el diagnostico de fallas.

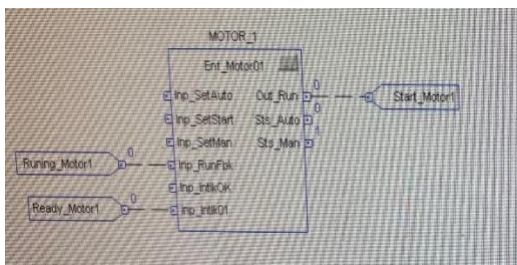


Figura 14. Bloques del programa cargado al PLC y gráficos de HMI del motor.

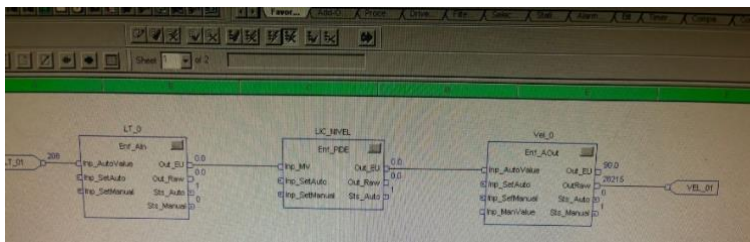


Figura 14.1. Bloques del programa cargado al PLC y gráficos de HMI del PID para el motor.

Control de válvulas

El bloque Válvula_1 administra la apertura y cierre de la válvula, considerando tanto ordenes de control como señales de confirmación (Sensor_Open_Valvula y Sensor_Close_Valvula1).

La salida Start_Valvula1 permite el accionamiento de la válvula de forma segura y controlada.

Adicionalmente, el bloque Valvula_Control_1 genera una señal analógica proporcional que define el grado de apertura de la válvula, permitiendo un control más preciso del proceso.

El uso de Function Block Diagram permitió una programación clara y visual, facilitando la comprensión del flujo lógico del sistema. Esta metodología resulta adecuada para actividades de mantenimiento, diagnóstico y capacitación, alineándose con los objetivos del banco de pruebas desarrollado. Mostrado en la figura 15.

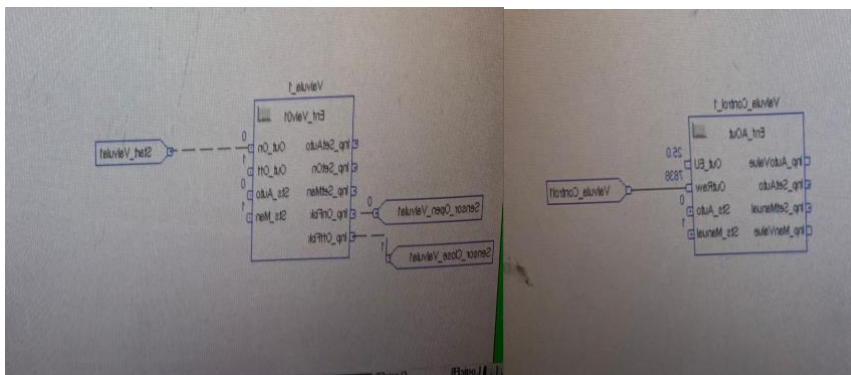


Figura 15. Bloques del programa cargado al PLC y gráficos de HMI, de las válvulas.

Ahora teniendo en cuenta esto añadí los tags a la tabla y procedí a la instalación de los componentes a utilizar:

- Válvula ON/OFF
- Sensores inductivos
- Electroválvula
- Sensor de presión con pantalla analógica
- Regulador electroneumático

El objetivo de esto es garantizar una instalación segura, ordenada y compatible con el sistema PLC, asegurando una correcta adquisición de señales y accionamiento de los actuadores.

Montaje físico

La electroválvula (Figura 16) se instala sobre la línea de proceso correspondiente, asegurándose de que este en el sentido correcto de flujo, fijación mecánica adecuada para evitar vibraciones y acceso a la bobina para mantenimiento.

La bobina de la electroválvula es alimentada a 24V VDC provenientes del tablero de control, el positivo se conecta a una salida digital del PLC (+24VDC) y el negativo al común del sistema.

La salida digital es protegida mediante un fusible, esta configuración permite que el PLC controle directamente la apertura y cierre de la válvula.

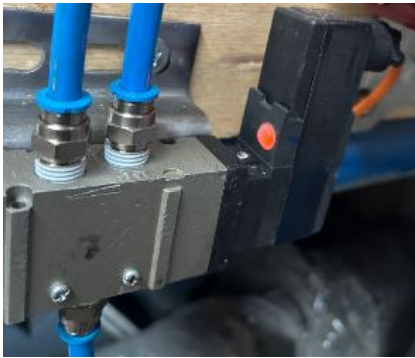


Figura 16. Instalación física de electroválvula.

Para la instalación del regulador electroneumático (Figura 16.1) se instaló en el sistema neumático que se tenía a un lado de donde se instaló el tablero, había un tanque pulmón y de ahí se tomo la salida de aire para alimentar todo lo neumático. Se fijo firmemente y la conexión se hizo conectándolo a una salida analógica para que reciba una señal de 4-20 mA, se conecta a AO+ a la entrada del controlador del regulador y el AO-/ COM al retorno del regulador. Esta configuración permite un ajuste proporcional de la presión del sistema.



Figura 16.1 Instalación física del regulador electroneumático y el sensor de presión con pantalla analógica.

Para la instalación de los sensores de confirmación de posición de las válvulas (Figura 16.2) se instalaron dos para Open y Close ambos sensores se colocan de manera que detectan de manera inequívoca la posición final del actuador, evitando las falsas lecturas. Siendo sensores de 3 hilos se conecta el café a los +24VDC, el azul a los 0VDC y blanco a la señal de entrada del PLC. Estas señales permiten confirmar el estado real de la válvula y generar alarmas o enclavamiento en caso de falla.



Figura 16.2 Instalación física de los sensores y la válvula ON/OFF.

Verificaciones previas a la puesta en marcha

Antes de energizar el sistema se realizaron las siguientes verificaciones:

- Continuidad eléctrica de todos los conductores.
- Correcta polaridad en dispositivos de 24 VDC
- Correspondencia entre los dispositivos de campo y direcciones del PLC
- Etiquetado correcto de cables, bornes y señales.
- Correcta sujeción mecánica de todos los componentes.

La instalación descrita permite el control seguro de actuadores, medición precisa de variables de proceso, confirmación del estado real de los dispositivos y la integración directa con el sistema PLC y HMI.

Este procedimiento cumple con buenas prácticas de automatización industrial y facilita el mantenimiento, diagnóstico y operación del sistema.

En la figura 16.3. se muestra la instalación física de todos estos equipos.

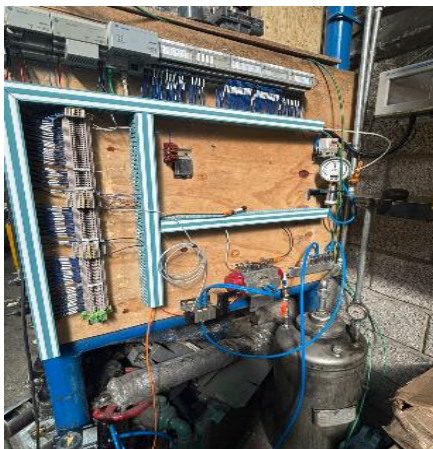


Figura 16.3 Instalación física de todos los componentes.

Interfaz Hombre–Máquina (HMI)

El sistema cuenta con una pantalla HMI Allen-Bradley PanelView Plus 600, la cual permite la supervisión, operación y prueba del lazo de control de nivel y de las señales digitales del sistema.

La interfaz fue diseñada en FactoryTalk View, considerando criterios de:

- Claridad visual
- Operación intuitiva
- Separación entre funciones de proceso y funciones de prueba
- Seguridad en la manipulación del sistema

Pantalla de prueba del lazo de control de nivel



Figura 17. Pantalla Nivel, donde se hace la prueba del lazo de control.

En la Figura 17 se muestra la pantalla titulada “PRUEBA DE LAZO DE CONTROL DE NIVEL”, utilizada para monitorear y validar el funcionamiento del lazo cerrado de control.

Variables visualizadas

En esta pantalla se presentan las siguientes variables del proceso:

- **LT** **(%)**:
Muestra el nivel medido por el transmisor de nivel, escalado y expresado en porcentaje.
- **LIC_NIVEL**:
Indica la salida del controlador de nivel (PID), utilizada como variable de control.
- **Velocidad** **(RPM)**:
Representa la velocidad del motor controlado por el variador, la cual depende de la salida del controlador PID.

Estas variables permiten verificar la correcta interacción entre el sensor de nivel, el controlador PID y el actuador.

La pantalla incluye un tanque gráfico, cuyo nivel se actualiza dinámicamente de acuerdo con la señal del transmisor de nivel (LT), facilitando la interpretación visual del estado del proceso.

Asimismo, se muestra el estado del motor mediante un ícono que indica si se encuentra en operación o detenido.

Indicadores de modo de operación

Se incorporan indicadores para identificar el modo de operación del sistema:

- **M:** Modo Manual
- **A:** Modo Automático

Esto permite al operador confirmar en qué modo se encuentra el lazo de control antes de realizar cualquier ajuste. A continuación, en la figura 7.1 se muestra los gráficos del PID que el sistema genera.

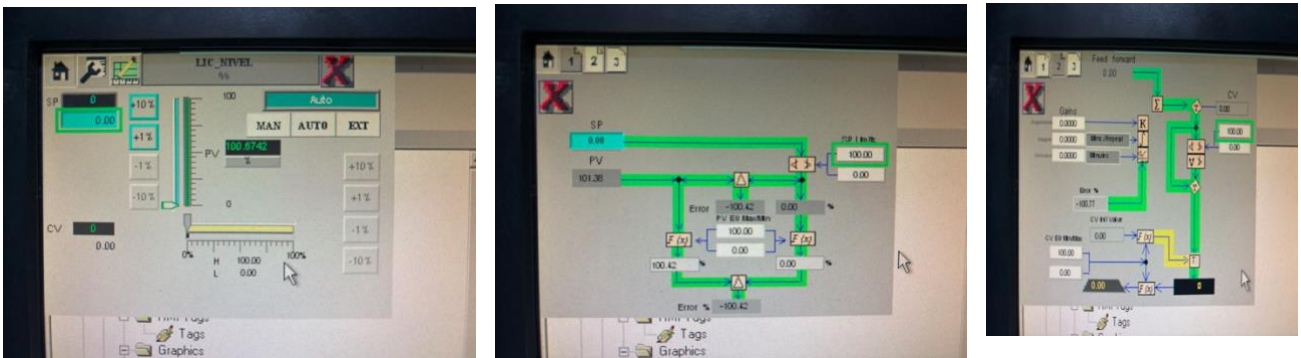


Figura 17.1 Lazo de control generado

Pantalla de señales digitales

En la Figura 18 se presenta la pantalla denominada “PANTALLA SEÑALES DIGITALES”, la cual está destinada a la verificación y prueba de entradas y salidas digitales del sistema.



Figura 18. Pantalla para las pruebas de sensores y salida de 24V y 110V

Prueba de sensores digitales

La sección “PRUEBA DE SENSOR” permite visualizar el estado lógico de una entrada digital asociada a un sensor, mostrando de forma clara si:

El sensor detecta y si el sensor no detecta.

Se incluye un apartado de “PRUEBA DE SENSOR”, el cual permite validar el correcto funcionamiento del sensor y del cableado, independientemente de la lógica principal del proceso.

Control de salidas digitales

La pantalla permite el accionamiento manual de salidas digitales, como:

- Salida a 24 VDC
- Salida a 110 VAC (según canal configurado)

El botón ON 24V permite energizar la salida correspondiente, facilitando la comprobación del correcto funcionamiento de relevadores, bobinas y dispositivos conectados al tablero.

Navegación y seguridad

Ambas pantallas cuentan con un botón MENU, el cual permite regresar al menú principal del sistema, evitando cambios accidentales y manteniendo una navegación ordenada.

El diseño del HMI separa claramente:

- Funciones de operación normal
- Funciones de prueba y diagnóstico

Esto contribuye a una operación más segura del sistema.

En la pantalla se observa el título “PRUEBA DE VÁLVULAS ON/OFF Y CONTROL” (Figura 19).



Figura 19. Pantalla Válvulas, donde se harán las pruebas.

Válvula On/Off

En la figura 15 en esta sección se muestra:

- El estado de la válvula (abierta / cerrada)
- Comandos de apertura y cierre
- Confirmación de posición mediante sensores de apertura y cierre

La lógica de control asegura que la válvula solo muestre el estado confirmado por los sensores, garantizando información confiable para el operador.

Válvula proporcional

La válvula proporcional permite un control continuo del flujo. En la pantalla se visualiza:

- El porcentaje de apertura de la válvula
- La señal analógica enviada desde el PLC
- Indicadores de modo automático y manual

Esto permite al operador ajustar la válvula de manera precisa o supervisar su comportamiento en modo automático.

La interfaz fue desarrollada para:

- Facilitar la supervisión del proceso en tiempo real
- Permitir pruebas controladas de sensores y actuadores
- Reducir errores durante la operación
- Mejorar el diagnóstico y mantenimiento del sistema

El HMI se integra completamente con la lógica programada en el PLC, reflejando en tiempo real el estado del proceso y los dispositivos de campo. A continuación, en la figura 20 se muestra la pantalla principal, donde se eligen la pantalla a utilizar sea el caso ya antes mencionadas.



Figura 20. Pantalla principal

Pruebas de la lógica en línea

1. Se descargó el programa al controlador.
2. Se colocó el controlador en modo RUN.
3. Se monitoreó la lógica en línea:
 - Activación de entradas digitales.
 - Cambios de estado en salidas.
 - Respuesta de señales analógicas.
4. Se realizaron ajustes menores de lógica según resultados obtenidos.

Esta metodología de trabajo refleja un enfoque sistemático de ingeniería, donde el análisis, diseño, implementación y validación se desarrollan de forma ordenada y documentada.

Resultados del proyecto

Resultados de la implementación física

El banco de pruebas fue implementado físicamente conforme al diseño propuesto, integrando módulos de entradas y salidas analógicas y digitales, transmisores, válvulas, dispositivos de mando y elementos de protección.

El montaje permitió comprobar la correcta distribución de los componentes dentro del tablero, asegurando accesibilidad, orden y cumplimiento de buenas prácticas de cableado industrial.

Durante las pruebas físicas se verificó la correcta alimentación eléctrica, la continuidad de los circuitos y la adecuada conexión de los dispositivos de campo, logrando un sistema funcional y seguro.

Resultados de la programación del PLC

La programación desarrollada en RSLogix 5000 permitió establecer una lógica de control confiable, capaz de procesar señales analógicas y digitales provenientes de los diferentes dispositivos del banco de pruebas.

Se validó el correcto funcionamiento de las entradas digitales mediante la activación de sensores, pulsadores y selectores, así como la adecuada respuesta de las salidas digitales al accionar válvulas solenoides y relevadores.

En cuanto a las señales analógicas, se comprobó que los transmisores de presión y nivel entregan valores estables y coherentes dentro del rango de operación

definido, los cuales fueron correctamente escalados a unidades de ingeniería y utilizados dentro de la lógica de control.

Resultados del control de actuadores

El sistema permitió el accionamiento controlado de válvulas proporcionales y solenoides, respondiendo de manera adecuada a las condiciones establecidas en la lógica del PLC.

Se observó una respuesta progresiva y estable en el control de las válvulas proporcionales, demostrando la correcta relación entre la señal analógica de salida y la variable de proceso simulada.

Resultados del sistema HMI

La interfaz hombre-máquina desarrollada permitió visualizar en tiempo real el estado de las variables del sistema, incluyendo valores analógicos, estados de entradas y salidas digitales y condiciones de operación.

El HMI facilitó la interacción del usuario con el banco de pruebas, permitiendo la supervisión y el control manual de los dispositivos de forma clara e intuitiva, contribuyendo a una operación segura durante las pruebas.

Resultados de las pruebas y validación

Se realizaron pruebas funcionales bajo diferentes condiciones de operación, verificando la estabilidad del sistema, la correcta comunicación entre el PLC y el HMI, y la respuesta adecuada de los dispositivos de campo.

Durante estas pruebas no se presentaron fallas críticas, confirmando que la configuración de hardware, la programación y el diseño del HMI cumplen con los objetivos planteados para el proyecto.

Resultados en el área de mantenimiento e instrumentación

El banco de pruebas desarrollado permite simular condiciones reales de operación, facilitando la verificación, ajuste y análisis de instrumentos utilizados en el área de mantenimiento e instrumentación.

Su implementación contribuye a la reducción de tiempos de diagnóstico, mejora la capacitación del personal y disminuye el riesgo de intervenir directamente sobre equipos en producción.

Evaluación de los objetivos alcanzados

Los resultados obtenidos demuestran que los objetivos del proyecto fueron alcanzados satisfactoriamente, logrando el desarrollo de un banco de pruebas funcional, didáctico y adaptable a las necesidades del área.

Asimismo, el proyecto permitió aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos durante la formación universitaria, integrando teoría y práctica en un entorno industrial real.

El desarrollo de este proyecto permitió fortalecer competencias técnicas en automatización, instrumentación y mantenimiento industrial, aportando una solución funcional que genera valor tanto académico como operativo para la empresa.

El presente proyecto ayudo a fortalecer los conocimientos de las normativas para tableros y bancos de pruebas, su montaje y la selección de los materiales permitió garantizar un funcionamiento seguro y confiable. Los dispositivos instalados cumplen con los requerimientos operativos y de compatibilidad facilitando tanto la operación como las tareas de mantenimiento. Así mismo, la disposición de adecuada de los componentes sea accesible y seguro de la funcionalidad del sistema, lo que demuestra que el diseño y la implementación fueron adecuados para los fines del banco de pruebas.

La capacitación del personal de mantenimiento e instrumentación resulto fundamental para el uso correcto y eficiente del banco de pruebas. Gracias a esta formación, el personal adquirió los conocimientos necesarios para operar el sistema, realizar calibraciones y llevar a cabo diagnostico de manera segura y precisa. Esto incrementa la confiabilidad de los resultados obtenidos, reduce la probabilidad de errores operativos y fortalece la autonomía del área técnica en el uso del banco de pruebas como herramienta de apoyo para la calibración y análisis de fallas.

Conclusiones.

El desarrollo del banco de pruebas para el área de mantenimiento e instrumentación permitió integrar de manera exitosa conocimientos teóricos y prácticos en un entorno industrial real.

A lo largo del proyecto se logró diseñar, construir y poner en operación un sistema funcional que cumple con los objetivos planteados, permitiendo la prueba y validación de instrumentos, sensores y actuadores sin afectar los equipos de producción.

La implementación del sistema evidenció la importancia de una correcta planeación, configuración de hardware y estructuración de la lógica de control, ya que estos elementos son fundamentales para garantizar la confiabilidad y seguridad del sistema.

Finalmente, el proyecto representó una aportación significativa para la empresa, al proporcionar una herramienta útil para el diagnóstico, mantenimiento y capacitación del personal técnico, al mismo tiempo que fortaleció la formación profesional del estudiante.

Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Ampliar el banco de pruebas incorporando nuevos tipos de sensores o transmisores utilizados en planta, con el fin de incrementar su alcance y funcionalidad.
- Implementar rutinas adicionales de diagnóstico y alarmas para mejorar la detección temprana de fallas.
- Documentar de manera continua las modificaciones realizadas al sistema, asegurando su correcta actualización y trazabilidad.
- Utilizar el banco de pruebas como herramienta de capacitación para personal nuevo del área de mantenimiento e instrumentación.
- Evaluar la integración de estrategias de control más avanzadas, como lazos PID, para enriquecer el análisis de variables de proceso.

Aprendizajes adquiridos

Durante el desarrollo del proyecto se consolidaron conocimientos técnicos y prácticos relacionados con:

- Configuración y cableado de módulos de entradas y salidas analógicas y digitales.
- Programación de controladores lógicos programables mediante RSLogix 5000.
- Implementación de lógica de control utilizando el lenguaje Function Block Diagram (FBD).
- Escalamiento y tratamiento de señales analógicas de 4–20 mA.
- Diseño y desarrollo de interfaces HMI para supervisión y control.
- Aplicación de normas básicas de seguridad eléctrica y buenas prácticas de automatización industrial.

Estos aprendizajes permitieron comprender el funcionamiento integral de un sistema de automatización industrial desde su diseño hasta su puesta en marcha.

Como resultado del proyecto, se desarrollaron y fortalecieron las siguientes competencias profesionales:

- Capacidad de análisis y solución de problemas en sistemas de automatización e instrumentación.
- Habilidad para integrar sistemas eléctricos, electrónicos y de control.
- Competencia en la interpretación de diagramas eléctricos, neumáticos y de control.
- Uso adecuado de software industrial para programación y configuración de PLC y HMI.
- Aplicación de criterios de seguridad y normativas industriales.
- Desarrollo de documentación técnica clara y estructurada.
- Trabajo autónomo y responsabilidad en entornos industriales reales.

Estas competencias contribuyen al perfil profesional del estudiante, preparándolo para enfrentar retos técnicos dentro del sector industrial.

La experiencia adquirida durante el desarrollo del proyecto fortaleció de manera integral la formación académica y profesional, permitiendo aplicar conocimientos de ingeniería en un contexto industrial real y generando valor tanto para la empresa como para el estudiante.

El presente proyecto se desarrolló con un alcance definido, enfocado en la implementación de un banco de pruebas para el área de mantenimiento e instrumentación, considerando únicamente los dispositivos y condiciones necesarias para la validación de sensores, transmisores y actuadores.

Debido a restricciones de tiempo, disponibilidad de equipo y políticas internas de la empresa, el banco de pruebas no fue conectado directamente a procesos productivos reales, limitándose a un entorno controlado de pruebas.

No obstante, estas limitaciones permitieron enfocar el proyecto en el aprendizaje técnico, la correcta aplicación de normas de seguridad y la documentación del sistema, asegurando una implementación funcional y segura.

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo siguiendo una metodología de ingeniería estructurada, iniciando con el análisis del área y la identificación de necesidades, seguido del diseño del sistema, la selección de componentes, la implementación física, la programación del controlador y la validación del funcionamiento.

Esta metodología permitió un desarrollo ordenado del proyecto, reduciendo errores y facilitando la documentación técnica de cada etapa.

ANEXO 1

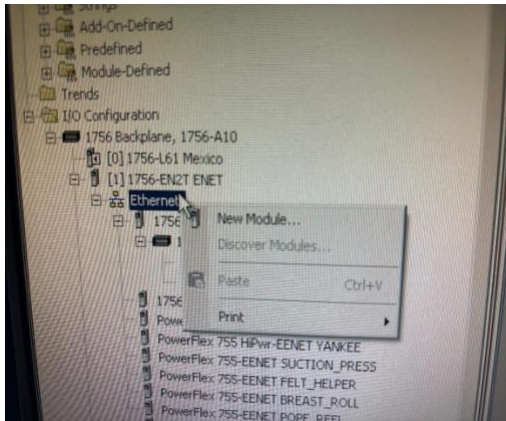


Figura 9. Alta del módulo 1974-AENTR

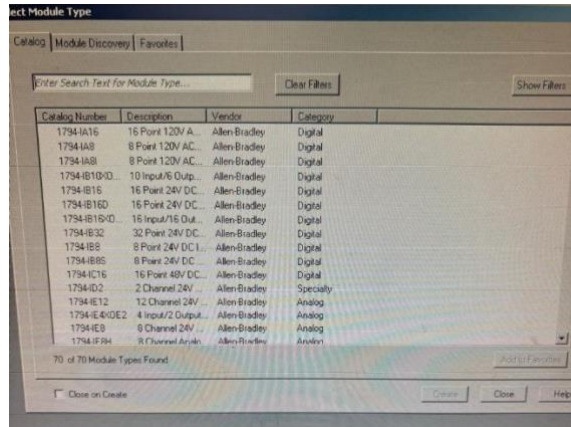


Figura 9.1. Selección del modulo

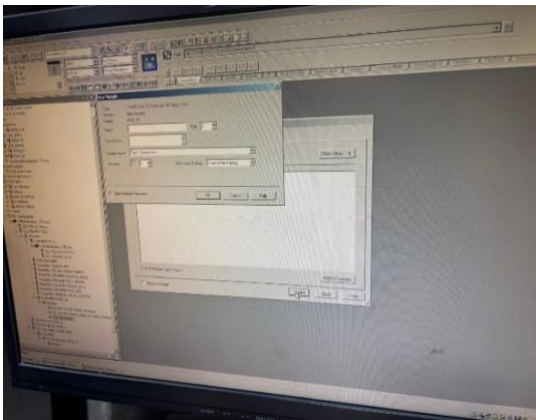


Figura 9.2 Configuración de modulo digital.

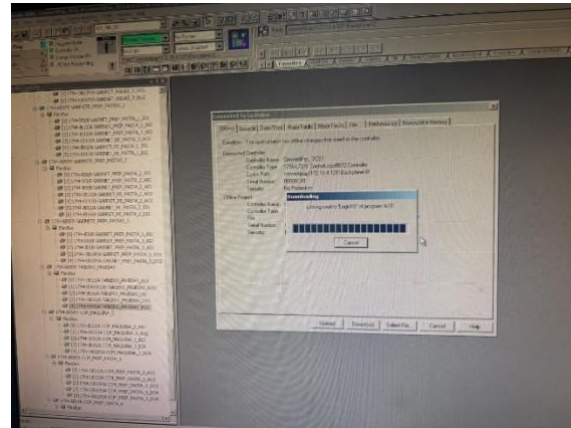


Figura 9.3 Carga del módulo.

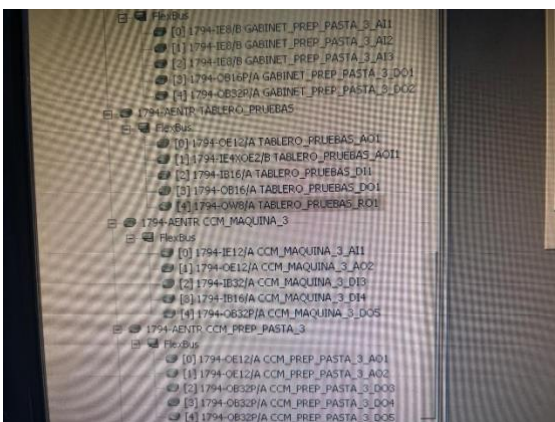


Figura 9.4 Todos los módulos dados de alta.

ANEXO 2

TABLA DE TAGS, UBICACIÓN Y USO.

Tag	Tipo	Módulo	Descripción	Ubicación / Uso
AO:0Data	Analog Output	OE12	4-20 mA	VEL_01
AO:0Com	Analog Output COM	OE12	Común	En espera
AO:1Data	Analog Output	OE12	4-20 mA	Valvula_Control1
AO:1Com	Analog Output COM	OE12	Común	Válvula_Control1 com
AO:2Data	Analog Output	OE12	4-20 mA	En espera
AO:2Com	Analog Output COM	OE12	Común	En espera
AO:3Data	Analog Output	OE12	4-20 mA	En espera
AO:3Com	Analog Output COM	OE12	Común	En espera
AO:4Data	Analog Output	OE12	4-20 mA	En espera
AO:4Com	Analog Output COM	OE12	Común	En espera
AO:5Data	Analog Output	OE12	4-20 mA	En espera
AO:5Com	Analog Output COM	OE12	Común	En espera
AO:6Data	Analog Output	OE12	4-20 mA	En espera
AO:6Com	Analog Output COM	OE12	Común	En espera
AO:7Data	Analog Output	OE12	4-20 mA	En espera
AO:7Com	Analog Output COM	OE12	Común	En espera
AO:8Data	Analog Output	OE12	4-20 mA	En espera
AO:8Com	Analog Output COM	OE12	Común	En espera
AO:9Data	Analog Output	OE12	4-20 mA	En espera
AO:9Com	Analog Output COM	OE12	Común	En espera
AO:10Data	Analog Output	OE12	4-20 mA	En espera
AO:10Com	Analog Output COM	OE12	Común	En espera
AO:11Data	Analog Output	OE12	4-20 mA	En espera
AO:11Com	Analog Output COM	OE12	Común	En espera
AI:0Data	Analog Input	IE4XOE2	4-20 mA	LT_01
AI:0Com	Analog Input COM	IE4XOE2	Común	LT_01 Com
AI:1Data	Analog Input	IE4XOE2	4-20 mA	En espera
AI:1Com	Analog Input COM	IE4XOE2	Común	En espera
AI:2Data	Analog Input	IE4XOE2	4-20 mA	En espera
AI:2Com	Analog Input COM	IE4XOE2	Común	En espera
AI:3Data	Analog Input	IE4XOE2	4-20 mA	En espera
AI:3Com	Analog Input COM	IE4XOE2	Común	En espera
DI:0Data	Digital Input	IB16	Canal 0	Runing_Motor1
DI:1Data	Digital Input	IB16	Canal 1	Ready_Motor1
DI:2Data	Digital Input	IB16	Canal 2	Sensor_Open_Valvula1
DI:3Data	Digital Input	IB16	Canal 3	Sensor_Close_Valvula1
DI:4Data	Digital Input	IB16	Canal 4	Sensor_Pruebas1_Conector
DI:5Data	Digital Input	IB16	Canal 5	Sensor_Pruebas
DI:6Data	Digital Input	IB16	Canal 6	En espera
DI:7Data	Digital Input	IB16	Canal 7	En espera
DI:8Data	Digital Input	IB16	Canal 8	En espera
DI:9Data	Digital Input	IB16	Canal 9	En espera
DI:10Data	Digital Input	IB16	Canal 10	En espera
DI:11Data	Digital Input	IB16	Canal 11	En espera
DI:12Data	Digital Input	IB16	Canal 12	En espera
DI:13Data	Digital Input	IB16	Canal 13	En espera
DI:14Data	Digital Input	IB16	Canal 14	En espera
DI:15Data	Digital Input	IB16	Canal 15	En espera
DO:0Data	Digital Output	OB16	Canal 0	Start_Motor1
DO:1Data	Digital Output	OB16	Canal 1	Start_Valvula1
DO:2Data	Digital Output	OB16	Canal 2	En espera
DO:3Data	Digital Output	OB16	Canal 3	En espera
DO:4Data	Digital Output	OB16	Canal 4	En espera
DO:5Data	Digital Output	OB16	Canal 5	En espera
DO:6Data	Digital Output	OB16	Canal 6	En espera
DO:7Data	Digital Output	OB16	Canal 7	En espera
DO:8Data	Digital Output	OB16	Canal 8	En espera
DO:9Data	Digital Output	OB16	Canal 9	En espera
DO:10Data	Digital Output	OB16	Canal 10	En espera
DO:11Data	Digital Output	OB16	Canal 11	En espera
DO:12Data	Digital Output	OB16	Canal 12	En espera
DO:13Data	Digital Output	OB16	Canal 13	En espera
DO:14Data	Digital Output	OB16	Canal 14	En espera

DO:15Data	Digital Output	OB16	Canal 15	En espera
DO:0Data_B0	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	SALIDA_RELEVADOR_110
DO:0Data_C1	Relay Output	OW8	Retorno C	Salida_Relevador_110 com
DO:1Data_B2	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	SALIDA_RELEVADOR_24V
DO:1Data_C3	Relay Output	OW8	Retorno C	Salida_Relevador_24V com
DO:2Data_B4	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:2Data_C5	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:3Data_B6	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:3Data_C7	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:4Data_B8	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:4Data_C9	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:5Data_B10	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:5Data_C11	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:6Data_B12	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:6Data_C13	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:7Data_B14	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:7Data_C15	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:8Data_B16	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:8Data_C17	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:9Data_B18	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:9Data_C19	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:10Data_B20	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:10Data_C21	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:11Data_B22	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:11Data_C23	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:12Data_B24	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:12Data_C25	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:13Data_B26	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:13Data_C27	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:14Data_B28	Relay Output	OW8	Contacto B (NO)	En espera
DO:14Data_C29	Relay Output	OW8	Retorno C	En espera
DO:15Data_B30	Relay Output	OW8	Contacto B (NO) C_31 Retronó	En espera

ANEXO 3

RESULTADOS

En la imagen 21 y 21.1 se muestran un ejemplo de la funcionalidad del sensor y la pantalla HMI comprobando esto, seguido de las imágenes se adjuntan los enlaces de dos videos en Google Drive que demuestran la funcionalidad del proyecto.

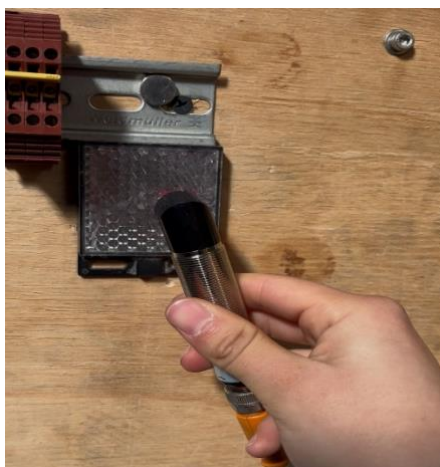


Figura 21. Sensor fotoeléctrico NA de prueba.



Figura 21.1 Visualización de la prueba del sensor en HMI.

https://drive.google.com/file/d/15i8Ethd5FVKSJhhaUitXYT_qP1iB0GaO/view?usp=drivesdk

https://drive.google.com/file/d/1umh7h_Jf0LRkmDGSnpSCittFlqEH9obT/view?usp=drivesdk

BIBLIOGRAFIA

- [1] Energúias, “¿Qué es un banco de pruebas?”, Energúias, s. f. [En línea]. Disponible en: <https://www.energuias.com/que-es-un-banco-de-pruebas/>
- [2] Universidad Politécnica Salesiana, “Banco de pruebas” [PDF], Repositorio Institucional UPS, s. f. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26013/1/UPS-GT004589.pdf>
- [3] Emerson, “Proportional applications”, Emerson Automation Solutions, s. f. [En línea]. Disponible en: <https://www.emerson.com/es-mx/automation/fluid-control-pneumatics/proportional-applications>
- [4] A. Brunete, “Actuadores neumáticos”, en Introducción a la automática, s. f. [En línea]. Disponible en: https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/actuadoresneumaticos.html
- [5] Indusco, “Válvulas neumáticas: tipos, usos y mantenimiento”, Indusco, s. f. [En línea]. Disponible en: <https://www.indusco.cl/valvulas-neumaticas-tipos-usos-y-mantenimiento/>
- [6] International Society of Automation (ISA). (2010). Instrumentation and Control Systems Documentation (ISA-5.1). Research Triangle Park, NC: ISA.
- [7] International Electrotechnical Commission (IEC). (2014). IEC 61511: Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector. Geneva, Switzerland: IEC.
- [8] Emerson Process Management. (2018). Pressure, Flow, and Level Measurement Handbook. Austin, TX: Emerson Electric Co.
- [9] Endress+Hauser. (2019). Instrument Calibration and Verification Guide. Reinach, Switzerland: Endress+Hauser Instruments International.
- [10] Siemens AG. (2020). Automation and Process Control Fundamentals. Nuremberg, Germany: Siemens Industry Inc.