



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DECODIFICADOR DE MAPAS
DE MEMORIA A NIVEL DE APLICACIÓN EN UN ENLACE DE COMUNICACIÓN
MAESTRO-ESCLAVO MODBUS USANDO TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL

AUTOR

Ing. Arias Borja, Alex Santiago

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del grado académico en
MAGISTER EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TUTOR

Ing. Chuquimarca Jiménez, Luis, Mgtr.

Santa Elena, Ecuador

Año 2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Alicia Andrade Vera, Mgtr.
COORDINADORA DEL
PROGRAMA**

**Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, Mgtr.
TUTOR**

**Ing. Samuel Bustos Gaibor, Mgtr.
DOCENTE
ESPECIALISTA**

**Ing. José Sánchez Aquino, Mgtr.
DOCENTE
ESPECIALISTA**

**Abg. María Rivera, MSc.
SECRETARIA GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por ARIAS BORJA ALEX SANTIAGO, como requerimiento para la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización.

TUTOR



Firmado electrónicamente por:
**LUIS ENRIQUE
CHUQUIMARCA JIMENEZ**

Ing. Luis Chuquimarca Jiménez Msc.

Santa Elena, 15 de junio de 2024



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **ARIAS BORJA ALEX SANTIAGO**

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, Diseño e Implementación de un sistema decodificador de mapas de memoria a nivel de aplicación en un enlace de comunicación maestro-esclavo Modbus usando técnicas de visión artificial; previo a la obtención del título en Magister en Electrónica y Automatización, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, 15 de junio de 2024

EL AUTOR



Ing. Alex Santiago Arias Borja



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado (Diseño e Implementación de un sistema decodificador de mapas de memoria a nivel de aplicación en un enlace de comunicación maestro-esclavo Modbus usando técnicas de visión artificial), presentado por el estudiante, ARIAS BORJA ALEX SANTIAGO fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 2%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

 CERTIFICADO DE ANÁLISIS magister		
ARIAS_ALEX_VG_TESIS	2% Textos sospechosos	2% Similitudes 0% similitudes entre comillas 0% entre las fuentes mencionadas < 1% Idiomas no reconocidos
Nombre del documento: ARIAS_ALEX_VG_TESIS.docx ID del documento: 44046e7d9786a4f8fb53c4115424dcd7bbd55632 Tamaño del documento original: 13,77 MB	Depositante: LUIS ENRIQUE CHUQUIMARCA JIMENEZ Fecha de depósito: 31/5/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 31/5/2024	Número de palabras: 12.550 Número de caracteres: 83.771

TUTOR



Firmado electrónicamente por:
**LUIS ENRIQUE
CHUQUIMARCA JIMENEZ**

Ing. Luis Chuquimarca Jiménez Msc.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, **ALEX SANTIAGO ARIAS BORJA**

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de artículo profesional de alto nivel con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este artículo académico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Santa Elena, 15 de junio de 2024

EL AUTOR



Firmado electrónicamente por:
**ALEX SANTIAGO ARIAS
BORJA**

Ing. Alex Santiago Arias Borja

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar y bendecir mi camino día a día. A mis padres por su presencia y apoyo inquebrantable en los proyectos de mi vida. Mi más sincero reconocimiento a la empresa ACSIMB Cia. Ltda. y al tutor académico por otorgarme la valiosa oportunidad de colaboración y compartir sus conocimientos. A las personas cuyos saberes, orientaciones y enseñanzas han dejado una huella imborrable.

Alex Santiago, Arias Borja

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres Gladys y Carlos; quienes son los pilares fundamentales y principales artífices en mi formación académica y personal; por su inquebrantable amor, consejos y el apoyo incondicional en la travesía de mi existencia.

“Por y para ustedes”

Alex Santiago, Arias Borja

ÍNDICE GENERAL

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO.....	V
AUTORIZACIÓN.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
DEDICATORIA	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XVI
ABSTRACT.....	XVII
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1. Revisión de literatura.....	5
1.2. Desarrollo teórico y conceptual.....	6
1.2.1. Visión Artificial.....	6
1.2.1.2. Técnicas preprocesamiento de imágenes	7
1.2.1.3. Reconocimiento óptico de caracteres.....	9
1.2.3. Automatización	9
1.2.3.1. Dispositivos de Automatización y Monitoreo.....	10
1.2.4. Redes industriales.....	12
1.2.4.1. Pirámide de CIM	13

1.2.5. Protocolos de Comunicación de Redes.....	15
1.2.6. Modbus	16
1.2.6.1. Maestro-Esclavo Modbus.....	17
1.2.6.2. Modalidades de Comunicación maestro-esclavo.....	17
1.2.6.3. Tramas de Datos Modbus.....	17
1.2.6.4. Modbus RTU.....	19
1.2.6.5. Modbus ASCII	19
1.2.6.6. Modbus TCP/IP.....	20
1.2.6.7. Arquitectura Modbus/Modelo OSI.....	21
1.2.7. Decodificadores.....	22
1.2.8. Interacción Hombre-Máquina	23
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	25
2.1. Contexto de la investigación.....	25
2.2. Diseño y alcance de la investigación.....	25
2.2.1. Estructura del sistema.....	26
2.2.2. Tipo de sistemas	27
2.2.2. Esquema General.....	29
2.2.3. Hardware.....	30
2.2.3.1. EPORT PRO EP 20	31
2.2.3.2. Convertidor TTL a RS485	32
2.2.3.3. Reguladores de voltaje.....	33
2.2.3.4. PCB.....	33
2.2.3.5. HMI	35
2.2.3.6. PLC.....	36
2.2.4. Software.....	37
2.2.4.1. Procesamiento de Imágenes y extracción de caracteres.....	39
2.2.4.2. Proceso de monitoreo.....	40
2.2.4.3. Diseño de la interfaz	42
2.2.4.4. Pantalla del sistema.....	43
2.2.4.5 Variables de control del Sistema	44
2.2.4.6. Algoritmo.....	45

2.3. Tipo y métodos de investigación.....	50
2.3.1. Obtención de caracteres	50
2.3.2. Captura de la pantalla	50
2.3.3. Agrupación de caracteres	51
2.3.4. Recolección y Análisis de datos.....	51
2.3.5. Diseño del decodificador	51
2.3.6. Diseño de PCB	52
2.3.7. Ensamble y pruebas de PCB	52
2.3.8. Comunicación maestro-esclavo.....	52
2.3.9. Lectura de la trama	52
2.3.10. Obtención de variables del sistema.....	53
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
3.1. Resultados y Análisis.....	54
3.1.1. Diseño del decodificador	54
3.1.2. Procesamiento de imágenes	55
3.1.3. Recolección y Análisis de datos.....	59
3.1.4. Enlace Modbus.....	60
3.1.5. Tramas de comunicación	61
3.1.6. Datos válidos durante una transmisión	64
3.1.7. Pruebas de Rendimiento	67
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS.....	70
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	18
Tabla 2	19
Tabla 3	20
Tabla 4	21
Tabla 5	31
Tabla 6	33
Tabla 7	44
Tabla 8	64
Tabla 9	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	7
Figura 2	9
Figura 3	10
Figura 4	11
Figura 5	12
Figura 6	14
Figura 7	15
Figura 8	22
Figura 9	23
Figura 10	24
Figura 11	26
Figura 12	27
Figura 13	28
Figura 14	28
Figura 15	29
Figura 16	30
Figura 17	31
Figura 18	32
Figura 19	33
Figura 20	34
Figura 21	35

Figura 22	35
Figura 23	36
Figura 24	37
Figura 25	38
Figura 26	39
Figura 27	41
Figura 28	42
Figura 29	43
Figura 30	45
Figura 31	46
Figura 32	47
Figura 33	48
Figura 34	49
Figura 35	54
Figura 36	55
Figura 37	56
Figura 38	56
Figura 39	57
Figura 40	58
Figura 41	58
Figura 42	59
Figura 43	60
Figura 44	60

Figura 45	61
Figura 46	62
Figura 47	62
Figura 48	63
Figura 49	63
Figura 50	65
Figura 51	65
Figura 52	66
Figura 53	67
Figura 54	67

RESUMEN

La visión artificial como un campo de la ciencia computacional ha evolucionado de manera constante y a pasos agigantados en los últimos años; su implementación ha permitido obtener y seleccionar información para ser tratada sin la intervención humana. Su desarrollo ha estado presente en varios campos a nivel global siendo el área de la automatización y control de procesos una de las más representativas.

Es por esta razón que en el presente proyecto se implementará técnicas de visión artificial dentro de los sistemas industriales e inmóticos donde involucran dispositivos de control y monitoreo; con la finalidad de obtener parámetros de una interfaz de usuario y mediante este estudio se conozca variables de la trama de datos almacenados dentro de un controlador.

Beneficiando de esta manera al usuario e ingenieros con la metodología para obtener información de los datos del sistema, las cuales podrán ser usadas en futuros trabajos de ampliación o remplazo de interfaz de Usuario.

Palabras claves: TRAMAS, DECODIFICADOR, VISIÓN ARTIFICIAL

ABSTRACT

Computer vision, as a field of computational science, has evolved steadily and by leaps and bounds in recent years; its implementation has allowed for the acquisition and selection of information to be processed without human intervention. Its development has been present in various fields globally, with the area of automation and process control being one of the most representative.

For this reason, in the present project, computer vision techniques will be implemented within industrial and building automation systems involving control and monitoring devices. The aim is to obtain parameters from a user interface and, through this study, to understand variables from the data frame stored within a controller.

This will benefit users and engineers by providing a methodology for obtaining system data, which can be used in future work for expanding or replacing the user interface.

Keywords: FRAMES, DECODER, MACHINE VISION

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos en el campo de la ingeniería de automatización y control han experimentado una notable evolución en las últimas décadas, exigiendo a las industrias a adoptar sistemas y maquinarias cada vez más sofisticados en sus líneas de producción, con el propósito de poseer procesos eficientes que permita arrojar productos de calidad a menor costo y sin riesgo de accidentes. Sin embargo, uno de los principales desafíos en los sistemas automatizados son las averías en los dispositivos de control (HMI o SCADA). La sustitución de estos dispositivos implica costos significativos para los propietarios de las empresas, ya que a menudo deben recurrir al fabricante de la maquinaria para solventar el inconveniente. La posibilidad de implementar una solución alternativa por parte de la compañía se restringe por la necesidad de conocer la trama de datos utilizada por los módulos de control. Es en este contexto surge la necesidad de desarrollar un sistema que permita identificar las variables de control de una interfaz de usuario, mediante técnicas de visión artificial, proporcionando de esta manera la consecución de los parámetros del proceso.

El presente proyecto asume como objetivo principal proporcionar una herramienta preventiva que permita identificar al menos 10 variables de control por pantalla de una HMI o SCADA utilizando técnicas de visión artificial, así como desarrollar un módulo decodificador de información para obtener las tramas de datos e identificar las variables numéricas del proceso en un sistema de control en el cual se utilice el protocolo de comunicación MODBUS, el mismo ha demostrado ser uno de los estándares con mayor uso en la comunicación de Redes Industriales; sin embargo, la interpretación y decodificación de los datos transmitidos a través de este protocolo pueden representar un reto, cuando se trata de comprender el contenido de los mapas de memoria.

Para llevar a cabo este proyecto, se ha desarrollado un algoritmo para el procesamiento de imágenes utilizando el lenguaje de programación Python, junto con librerías especializadas en tratamientos de imágenes y detección de caracteres. Además, el diseño del decodificador implica el uso de dispositivos para direccionamiento y conversión de datos. Otorgando un sistema que permita dar solución cuando una al remplazar o expandir sus líneas de producción acoplando HMI's.

Para análisis del proyecto se ha considerado realizar pruebas en un proceso de sistemas de presión contante destinado a tres bombas alternantes.

Planteamiento de la investigación (Fundamentación de la investigación)

Sustituir o incorporar dispositivos de control y supervisión (HMI-SCADA) en sistemas de automatización pueden representar un desafío para las industrias. Cambiar un elemento ya sea por sus años de uso, averías, discontinuidad en el mercado o el afán de expandir a una sala de control puede resultar gastos elevados para las empresas.

Tradicionalmente, las empresas deben recurrir al fabricante de la maquinaria o a la organización responsable del montaje de la línea de producción para realizar cambios en el hardware debido a la falta de conocimiento de la trama de datos. Esta investigación plantea una alternativa innovadora en la cual cada empresa pueda implementar cualquier HMI sin importar la marca.

Mediante la captura de pantalla de la interfaz de usuario y su posterior procesamiento utilizando técnicas de visión artificial, se pueden identificar y analizar las variables de control. Estas variables luego pueden ser comparadas y analizadas en un decodificador que permita conocer los datos de la trama a manipular. Esta metodología ofrece a las industrias la posibilidad de implementar HMI o SCADA en sus procesos de manera más flexible y eficiente.

Formulación del problema de investigación

¿Permitirán las técnicas de visión artificial con ayuda de un sistema de decodificación en un enlace de comunicación maestro esclavo Modbus obtener las tramas de datos de un proceso de control?

¿Qué técnicas de procesamiento de imágenes permiten mejorar la extracción de caracteres?

¿Qué dispositivos pueden ayudar al direccionamiento de variables para comunicación de datos e intercambio de información?

Objetivo General:

Diseñar e implementar un sistema decodificador de mapas de memoria a nivel de aplicación en un enlace de comunicación maestro-esclavo Modbus utilizando técnicas de visión artificial para conocer las tramas de datos

Objetivos Específicos:

1. Desarrollar el módulo decodificador por medio de convertidores de datos para la obtención de las variables del sistema.
2. Determinar el tamaño de las tramas mediante el decodificador de datos para diseñar la tabla de direcciones.
3. Identificar las variables de control de un HMI mediante técnicas de visión artificial para obtener los parámetros del proceso

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Revisión de literatura

(Ramkishor & Rajesh, 2017) desarrollaron un dispositivo que permite identificar texto en los idiomas: kannada, tamil e inglés y convertirlo en voz y audio, en este trabajo utilizaron técnicas de visión artificial y crearon un algoritmo para extracción de palabras de manera autónoma en una imagen mediante técnicas de visión artificial como Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR); con resultados muy favorables para su aplicación. El principal objetivo del algoritmo era obtener un mejor preprocesamiento para que los datos recabados disminuyan o supriman distorsiones no deseadas y de esta forma mejoren la extracción de información de las imágenes tratadas y beneficie al análisis posterior a su implementación; Dando lugar a un algoritmo con sentencias e intrusiones definidas que describen un proceso sistemático, el cual vincula cuatro fases: Preprocesamiento, Segmentación(líneas – palabras - caracteres), extracción de características y reconocimiento.

En el estudio (Salodkar et al., 2023) mencionan que el uso generalizado de herramientas, máquinas y automatismos en sistemas de procesos como resultado de la nueva era de industrialización; ha llevado a un aumento constante de su cantidad, calidad y complejidad. Los PLC's se utilizan en la automatización industrial para mejorar el rendimiento y la confiabilidad de sistemas, al tiempo que minimizan la necesidad de intervención de mano de obra de operadores y reducen el riesgo de error humano. Existen varios estándares y protocolos cada uno con sus características determinadas aptos para permitir enlaces entre dispositivos en un proceso que permiten establecer comunicación entre el PLC, HMI, SCADAS, sensores y múltiples dispositivos que intervienen en un sistema autónomo.

En el trabajo de (Sridevi et al., 2019) Resaltan que la comunicación industrial es una parte esencial del sistema de automatización responsable de la transferencia de datos e intercambio de información entre módulos, dentro de un proceso. Radica en un conjunto de reglas para la comunicación denominados protocolos. Los principales mecanismos de control utilizados en el área de la automatización industrial incluyen dispositivos y sistemas como: el controlador lógico programable (PLC), sistemas de supervisión, control

y adquisición de datos (SCADA), sensores, actuadores e interfaz hombre -máquina (HMI). MODBUS es un protocolo de comunicaciones serie inventado por Modicon en 1979, se ubica en los niveles 1, 2 y 7 del Modelo OSI, basa su arquitectura en cliente/servidor (TCP/IP) con varias solicitudes a la vez o maestro/esclavo (RTU) esperando las respuestas antes de que se emita la siguiente solicitud. Se ha convertido en un protocolo estándar en la industria y es muy sencillo de implementar.

En el análisis de (Rodríguez et al., 2023); destaca que Modbus ha sido empleado como protocolo de red a nivel de aplicación, abarcando la capa superior del modelo OSI. Este protocolo tiene la capacidad de funcionar en diferentes tipos de enlaces, incluyendo buses serie, redes enrutables basadas en TCP/IP y en buses interconectados por medio de comunicación RS-485. Modbus se caracteriza como un protocolo de solicitud y respuesta; es decir, maestro y esclavo, asignando una dirección única a cada dispositivo con el propósito de comunicar. La especificación de Modbus/TCP describe una integración de paquetes dentro de tramas TCP, designando el puerto 502 para la recepción y envío de datos. Una trama Modbus/TCP consta de los encabezados IP y TCP estándar, seguidos por una Unidad de Datos de Protocolo de Aplicación específica de Modbus/TCP, que se divide en dos partes: el encabezado particular de Modbus y la carga útil. El tamaño de la carga útil puede variar, se restringe a 253 bytes para garantizar la compatibilidad con el protocolo Modbus serie.

1.2. Desarrollo teórico y conceptual

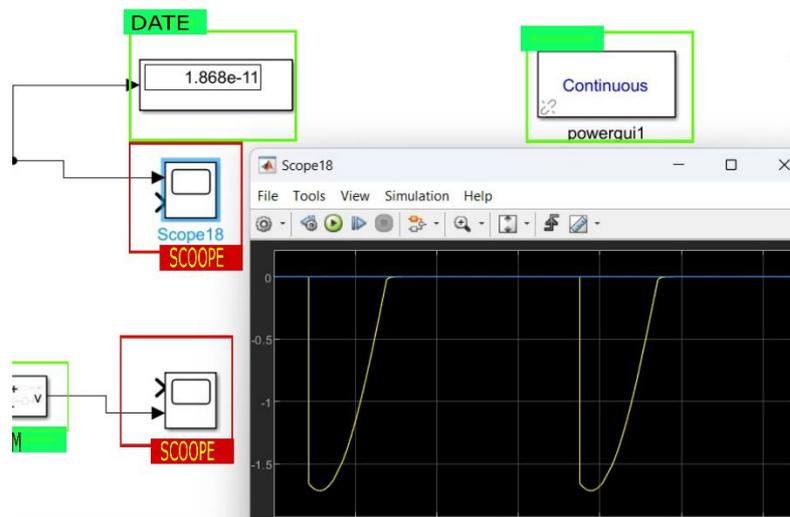
1.2.1. Visión Artificial

La visión artificial es una disciplina tecnológica y científica parte del campo de la inteligencia artificial enfocada a mejorar y crear sistemas informáticos capaces de interpretar, comprender y procesar el contenido visual del mundo real. Su información es captada por medio de dispositivos electrónicos o sistemas informáticos que reciben datos visuales a través de cámaras y sensores; y por medio de sentencias lógicas programables denominados algoritmos, discrimina y analiza datos de imágenes o vídeos. Su capacidad para interpretar datos visuales la convierte en una herramienta muy robusta en numerosos contextos. En la era moderna posee una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la medicina, diagnóstico médico, análisis de imágenes médicas, robótica, navegación

autónoma, manipulación de objetos, control de calidad, inspección automatizada, seguridad, confort, reconocimiento facial, entre otros (Domínguez, 2021).

Figura 1

Visión Artificial análisis de objetos



1.2.1.2. Técnicas preprocesamiento de imágenes

Existen diversas técnicas utilizadas en el ámbito de la visión artificial para procesar imágenes y extraer su información. El preprocesamiento de imágenes es una etapa crucial que se efectúa antes de emplear algoritmos determinados para análisis o reconocimiento de patrones. Entre los mecanismos y técnicas más utilizadas encontramos (Pinedo et al., 2021):

- Conversión a escala de grises
Ayuda a simplificar el análisis de la imagen y reduce la complejidad, permite convertir la imagen a una sola banda de intensidad de grises.
- Corrección de iluminación
Aumenta de manera uniforme la iluminación y contraste de la imagen para mejorar la visibilidad de los detalles.

- Normalización
Mejora la estabilidad y consistencia de una imagen mediante un escalamiento de píxeles.

- Filtrado de imágenes
Su desarrollo consiste en aplicar filtros para resaltar características delimitadas en una imagen, como bordes, texturas o colores. Los filtros más utilizados son detectores de bordes de Cannyo y filtro Gaussiano)

- Transformaciones geométricas
Permite alinear, rotar, escalar o deformar una imagen respecto a una referencia en específico.

- Eliminación de fondos
Mejora la detección y clasificación de objetos, por medio de la eliminación del fondo de la imagen.

- Extracción de características
Se implementa para detectar y extraer esquinas, bordes, texturas o puntos de interés.

- Segmentación
Este proceso divide una imagen en regiones o segmentos. Implica técnicas como la umbralización, donde se convierte una imagen común en una binaria basada en un umbral predefinido, o técnicas más avanzadas como es la segmentación mediante incremento de regiones.

- Seguimiento de objetos
Involucra seguir el movimiento de cada uno de los objetos en una secuencia determinada de imágenes a lo largo de un intervalo de tiempo.

1.2.1.3. Reconocimiento óptico de caracteres

El reconocimiento óptico de caracteres (OCR) es una tecnología que permite la conversión de diferentes tipos de documentos, como textos impresos o manuscritos a un formato digital editable. Este proceso se lleva a cabo por medio de la ejecución de algoritmos sofisticados los cuales con la asistencia de la tecnología perfeccionan técnicas para mejorar el desempeño y procesar los documentos; Con este trabajo admite identificar los caracteres que componen un texto. OCR se ha convertido en una herramienta esencial, es utilizado en varias aplicaciones de automatización de procesos de extracción de información, digitalización de documentos, accesibilidad, seguridad y asistencia a personas con discapacidades, clasificación de objetos, control de calidad (Ramkishor & Rajesh, 2017).

Figura 2

Reconocimiento de caracteres



1.2.3. Automatización

Las industrias modernas y futuras tienen como uno de los desafíos principales integrar las necesidades de los clientes con las distintas tecnologías existentes (Acharya et al., 2017); este conjunto de técnicas y módulos permite que un sistema, proceso o tarea funcione de forma autónoma, es decir; sin intervención humana. Esto es posible mediante dispositivos y sistemas acoplados que ayudan a controlar y monitorear, máquinas y

procesos industriales para así incrementar la producción, calidad, reducir los costos, minimizar errores y garantizar la seguridad de los trabajadores. Entre las áreas con mayor implementación de sistemas autónomas encontramos: Control de procesos, Robótica industrial (Figura 3), Sistemas de control numérico (CNC), Automatización de almacenes, Sistemas de control de calidad, Automatización de procesos logísticos, Sistemas de visión artificial y más (Fletcher et al., 2019).

Figura 3

Automatización central AC

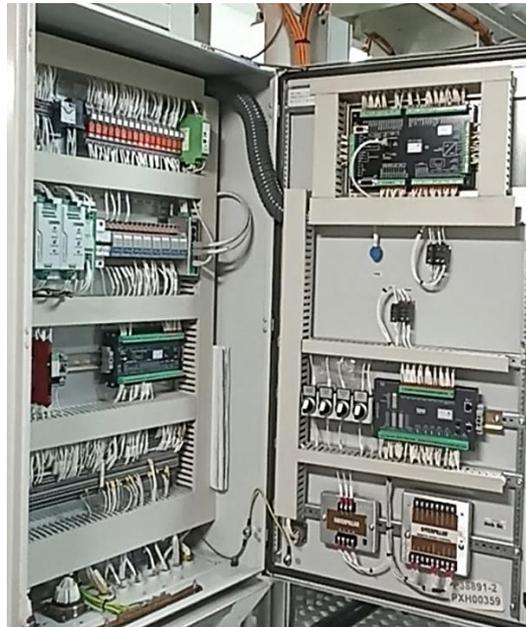


1.2.3.1. Dispositivos de Automatización y Monitoreo

Los dispositivos de automatización y monitoreo desempeñan un papel fundamental para proporcionar la capacidad de controlar y supervisar las señales en líneas de producción. Son una serie de componentes tecnológicos que varían en base a su área de aplicación y a las necesidades específicas (Zapata et al., 2021).

Figura 4

PLC's y HMI'



Dispositivos:

- Controladores lógicos programables

Los PLC son dispositivos electrónicos programables utilizados para el control de procesos industriales y maquinaria. permiten recibir señales de entrada, procesar la información según las sentencias especificadas por el programador y generar varias señales de salida emitidas a los actuadores como motores, válvulas y relés.

- HMI

La interfaz hombre-máquina (HMI), conocida en inglés como human-machine interfaz, es un panel que facilita la interacción entre un usuario y una máquina, software o sistema. Puede hacer referencia a cualquier pantalla utilizada dentro de varios campos; pero su referencia principal se da en entornos industriales.

- Sistemas de control de supervisión y adquisición de datos

Los sistemas SCADA se implementan para monitorear y controlar procesos. Permiten a los operadores gestionar y supervisar de manera remota módulos y procesos, así como recolectar datos en tiempo real para su posterior análisis.

- Actuadores
Ejecutan un movimiento físico mediante señales de control, para activar motores, abrir y cerrar válvulas, o posicionarse en un estado.

- Sensores
Son dispositivos que detectan cambios en variables físicas como presión, temperatura, caudal, flujo, movimiento, entre otros, y convierten estos cambios en señales eléctricas las cuales son interpretadas y procesadas en los controladores.

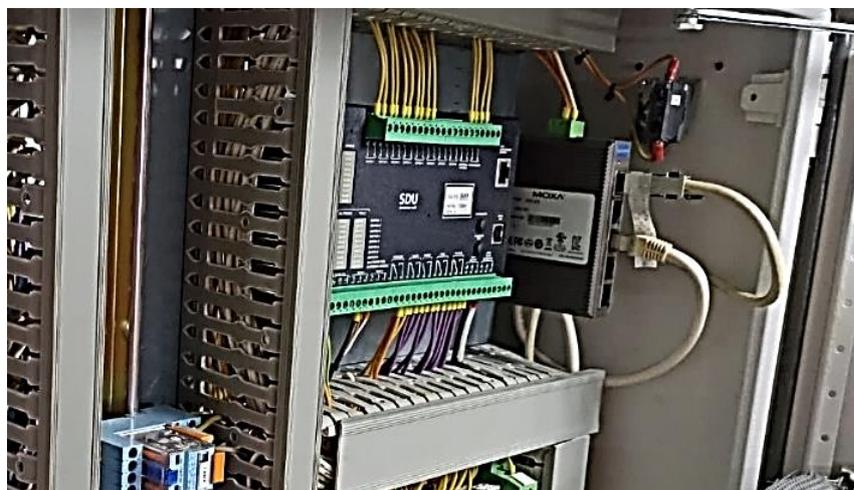
- Dispositivos de localización y seguimiento
Se manipulan para rastrear la ubicación de activos, vehículos o personas en tiempo real.

- Sistemas de control para acceso y seguridad
Estos sistemas se utilizan para controlar el acceso a áreas restringidas mediante el uso de tarjetas de identificación, huellas dactilares, domótica y técnicas de visión artificial

1.2.4. Redes industriales

Figura 5

Tablero de control



El avance y desarrollo en la ingeniería electrónica con el propósito de reducir cableado y espacios en los procesos, han dado fruto a las redes industriales; las cuales facilitan la comunicación, transmisión e intercambio de información entre dispositivos dentro de sistemas y maquinarias. Cada campo de aplicación posee sus necesidades y, por lo tanto, requiere técnicas adecuadas para sus aplicaciones. Por eso, la industria requiere de comunicaciones, pero con características diferentes a las que puede necesitar una red de ordenadores en una oficina (Belomonte, 2020).

1.2.4.1. Pirámide de CIM

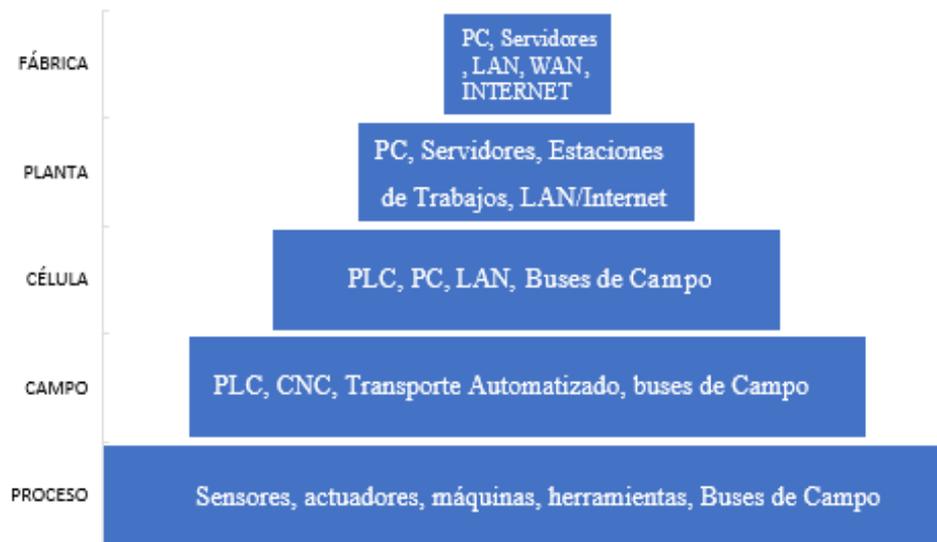
Los niveles de aplicación pueden ser apreciados dentro de la pirámide de CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), clave para la automatización industrial; Con sus cinco niveles o capas, es una de las apuestas más actuales y base como implementación en fábricas y empresas que cuenten con procesos productivos. Emplear la pirámide CIM para la automatización industrial en un sistema tecnológico permite optimizar el rendimiento en las empresas, logrando reducir costos, acelerar los tiempos de producción y aumentar la productividad y competitividad (Valero, 2020).

Ventajas al implementar la Pirámide CIM:

- Control automático
- Descentralizar la producción en varias plantas
- Comunicación autónoma de pedidos
- Reducción de costos de mantenimiento
- Aumento de eficiencia
- Aumento de producción
- Mantenimientos
- Integración de datos

Figura 6

Pirámide CIM



- Nivel de Campo

Se trata de la base de la pirámide donde se encuentran todos los equipos y maquinaria necesaria para los procesos de fabricación. Es la base de la cadena productiva

- Nivel de Control

Se encuentran las herramientas y dispositivos utilizados para el funcionamiento de la cadena productiva, el control y la monitorización de estos. PLC, Driver, Tarjetas, PID (*Proportional Integral Derivative Controller*).

- Nivel de Supervisión

Se utilizan para integrar los niveles previos, lo que permite acceder a los datos, variables de supervisión y sistemas de control vinculados a las máquinas y dispositivos SCADA.

- Nivel de Detección

Se introducen sistemas y modelamientos para detectar errores de producción. Donde se garantiza la calidad y la demanda de los productos

- Nivel de Gestión

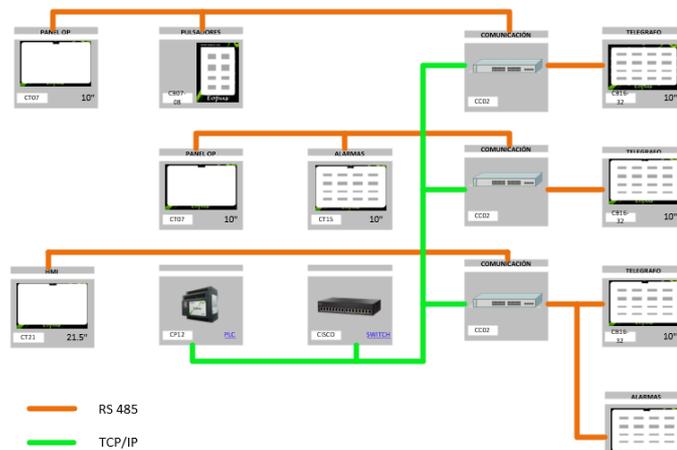
Permite controlar y administrar los trabajos ocurre en la fábrica. Es común que las compañías adquieran un Software ERP (*Enterprise Resource Planning*) es una solución integral de gestión empresarial diseñada para modelar y automatizar todos los procesos de negocio de una compañía como: marketing, finanzas, ventas, recursos humanos, logística y transporte

1.2.5. Protocolos de Comunicación de Redes

Los protocolos de comunicación Industrial son normativas y estándares utilizados para comunicar de manera eficiente y confiable módulos, dispositivos y sistemas de control. Los estándares fueron creados por distintas organizaciones siguiendo ciertos cánones; es por esta razón, que existen varias normativas; el uso depende mucho de las características del sistema. Los fabricantes de productos se acogen a estos principios para desarrollar equipos y lanzarlos al mercado (Morales et al.,2019)

Figura 7

Red de enlace



A continuación, se menciona y detalla los protocolos de comunicación industrial más utilizados:

- **PROFIBUS:** Se utiliza para conectar y controlar dispositivos y sensores en una red industrial.
- **MODBUS:** Es ampliamente utilizado debido a su simplicidad y facilidad de implementación.

- **ETHERNET/IP:** Permite la comunicación en tiempo real entre dispositivos y sistemas de control mediante el protocolo TCP/IP.
- **PROFINET:** Proporciona comunicación en tiempo real y es eficiente en aplicaciones críticas.
- **CANopen:** Es un protocolo de comunicación basado en CAN (*Controller Area Network*), es común la implementación en sistemas de control distribuido.
- **DeviceNet:** Es utilizado en aplicaciones de baja velocidad y complejidad, utiliza una topología de red en bus lineal.

1.2.6. Modbus

El protocolo Modbus fue desarrollado por Modicon en 1979 y desde entonces se ha convertido en uno de los protocolos con mayor demanda en la implementación en campos de la automatización industrial; en gran parte es gracias a su eficiencia y simplicidad (Sridevi et al., 2019).

Características:

- Compatibilidad: Compatible con una diversidad de dispositivos, sin importar el fabricante, por ende, facilita la integración en sistemas ya instalados.
- Simplicidad: Fácil de implementar y entender, adecuado para una extensa gama de aplicaciones.
- Flexibilidad: Permite la comunicación entre dispositivos a través de diferentes medios de transmisión, como cables serie o Ethernet.
- Eficiencia: Utiliza un formato de trama de datos compacto y eficiente, con el propósito de minimizar el ancho de banda y optimizar el rendimiento en la red.

Modbus es compatible con variantes con distintas características y requisitos, pero con el mismo fundamento de comunicación. Modbus ASCII, Modbus RTU, Modbus TCP/IP (utilizado en redes Ethernet).

1.2.6.1. Maestro-Esclavo Modbus

El protocolo Modbus transmite sus datos mediante un mecanismo de solicitud-respuesta entre un maestro cliente y un esclavo o servidor (Schneider, 2024). Un dispositivo maestro como un controlador de supervisión o PLC, ejecuta varios tipos de solicitudes de escritura o lectura a los dispositivos esclavos: sensores, actuadores o drivers. Las solicitudes se emiten mediante una red de comunicación Ethernet Modbus TCP/IP o serial RS-232, RS-485 (Herrero & Lopez, 2017).

1.2.6.2. Modalidades de Comunicación maestro-esclavo

Estas modalidades permiten establecer comunicación y enlaces entre cliente-servidor de los distintos dispositivos de control y monitoreo. Llevar a la práctica en entornos reales de automatización radica en considerar ciertas características como: velocidad, distancia., tiempos de procesamiento y ejecución de las sentencias de comunicación, topología de red, procesador, compatibilidad (Valdivia, 2019).

- Unicast: El dispositivo maestro envía solicitudes individuales a cada dispositivo esclavo para leer o escribir datos.
- Broadcast: Todos los dispositivos esclavos reciben la solicitud y pueden responder si son capaces de manejarla.
- Multicast: Los dispositivos esclavos que pertenecen al grupo seleccionado reciben la solicitud y pueden responder según corresponda.
- Polling (Encuestado): En este modo, el dispositivo maestro envía solicitudes periódicas a cada dispositivo esclavo en secuencia para leer o escribir datos.
- Request-Response (Solicitud-Respuesta): En este modo, el dispositivo maestro envía una solicitud específica a un dispositivo esclavo y espera una respuesta antes de continuar con la siguiente operación.

1.2.6.3. Tramas de Datos Modbus

Una trama de Datos es una serie sucesiva de bits basada en una lógica organizada de forma cíclica, mediante la cual se transporta información. Todas las tramas con protocolo Modbus poseen un tamaño máximo de 256 bytes y están compuestas por una Unidad de Datos de Aplicación (ADU) y una Unidad de Datos de Protocolo (PDU) (Jimenez, 2020).

PDU = Código de función + Datos.

donde:

ADU = Dirección + PDU + Comprobación de errores

Es por esta razón que una trama Modbus posee 4 campos; dependiendo el tipo de Modbus a implementar varían ciertos factores.

Tabla 1

Descripción Trama Modbus

CAMPO	DEFINICIÓN	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
1	Dirección del dispositivo	1 byte	1–247: destino único
2	Códigos de función	1 o 2 bytes	Descripción de los códigos de función
3	Datos	Registros n	Datos de solicitud o respuesta
4	Comprobación	2 bytes	CRC16 (para comprobar errores de transmisión)

- Dirección del dispositivo: Representa la dirección a la cual irá dirigida la comunicación.
Modbus RTU y Modbus ASCII, es 1 y 247, Modbus TCP/IP, se encuentra en el encabezado de la trama Ethernet, no es visible en el paquete Modbus.
- Función: El segundo byte de la trama detalla la función del esclavo en respuesta al maestro. (leer o escribir registros, leer entradas discretas).
- Datos: Dependiendo de la función, pueden contener datos adicionales; saber que registros se están leyendo o escribiendo y el valor.
- Checksum (CRC): Es el código de detección de errores.

1.2.6.4. Modbus RTU

Remote Terminal Unit (RTU) está diseñado para ser implementado en sistemas de comunicación en serie o utilizado en líneas asíncronas de 8 bits , como RS-232 o RS-485. El Checksum es mediante un CRC (Cyclic Redundancy Check). Las velocidades de transmisión comunes incluyen 9600, 19200 y 38400 baudios, es compatible con varias topologías de red. Optimiza el uso del ancho de banda y facilita el uso en sistemas con recursos limitados (Herath et al.,2020).

Tabla 2

Trama Modbus RTU

CAMPO	LONGITUD (BITS)	DESCRIPCIÓN
Dirección	8	Dirección del dispositivo
Función	8	Indica el código de función
Datos	$n \times 8$	Datos más la longitud del tipo de mensaje
CRC	16	Comprobación - Código de errores - CRC

1.2.6.5. Modbus ASCII

También es implementado en comunicación de sistemas en serie utilizado en líneas serie asíncronas de 7 u 8 bits. En Modbus ASCII, cada byte de datos se convierte en dos caracteres ASCII, lo que puede resultar en una mayor sobrecarga en comparación con Modbus RTU, sin embargo; es más robusto a errores de transmisión, ya que cada carácter es transmitido individualmente, lo que permite una detección de errores más eficaz y sencilla su depuración. La velocidad de intercambio de datos es configurable y está limitada a 19,2 kbps. Utiliza como Checksum un valor basado en LCR (Longitudinal Redundancy Check) (Aboelhassan, 2022)

Tabla 3*Trama Modbus ASCII*

CAMPO	LONGITUD (BYTES)	DESCRIPCIÓN
Dirección	2	Dirección del dispositivo
Función	2	Indica el código de función
Datos	$n \times 2$	Datos más la longitud del tipo de mensaje
LRC	2	Comprobación - Código de errores - LRC

1.2.6.6. Modbus TCP/IP

Es una evolución de los protocolos de comunicación serial Modbus RTU y Modbus ASCII. Se utiliza para el intercambio seguro de datos a través de redes Ethernet. Utiliza direcciones específicas para enrutar cada dispositivo e identificar si se encuentran en red. Su comunicación se establece mediante el puerto estándar 502. En Modbus desarrollado sobre TCP/IP la estructura de la trama es similar; sin embargo, existen cambios en base a las nuevas capas del modelo OSI. Es compatible con varios dispositivos existentes en el mercado mundial y en sistemas de automatización que admiten el protocolo Modbus. Esto facilita la integración de herramientas y módulos (Armadeu, 2019).

Tabla 4*Trama Modbus TCP/IP*

CAMPO	LONGITUD (<u>BYTES</u>)	DESCRIPCIÓN
MBAP Header	7 byte	Para la sincronización entre mensajes de servidor y cliente
MODBUS Encabezado del protocolo de aplicaciones	2 - Identificador de transacción 2- Identificador de Protocolo 2 - Longitud 1- Identificador de Unidad	
Función	2	
Datos	2	0 para Modbus/TCP Número de bytes en esta trama

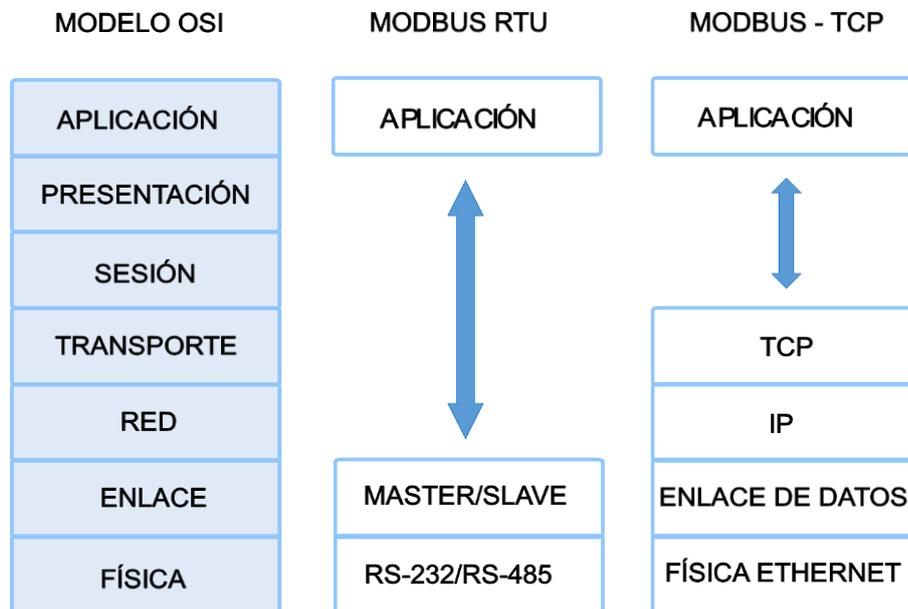
Dado que Modbus TCP/IP se implementa sobre TCP/IP, se utiliza los mecanismos de detección de errores; es decir, no es necesario incluir el CRC al final de la trama.

1.2.6.7. Arquitectura Modbus/Modelo OSI

Modbus y el Modelo OSI (Open Systems Interconnection), están relacionados en el ámbito de las comunicaciones industriales. El Modelo es una estructura conceptual que especifica las funciones de comunicación de un sistema de telecomunicaciones o de computadoras, divididas en siete capas. Cada capa de OSI tiene una función específica en el proceso de comunicación, desde la transmisión física de datos hasta la presentación y aplicación de la información al usuario final. La relación entre Modbus y el Modelo OSI radica en que Modbus puede funcionar en diferentes capas, dependiendo de la implementación y la configuración del sistema. Por ejemplo, Modbus RTU y Modbus ASCII operan en las capas física y de enlace de datos, mientras que Modbus TCP se basa en TCP/IP, que opera en las capas de red y transporte del Modelo (Perez, 2024).

Figura 8

Representación Modbus y modelo OSI



1.2.7. Decodificadores

Los decodificadores de datos son dispositivos o programas informáticos fundamentales en la tecnología. Son utilizados para descifrar, convertir e interactuar datos de entrada transmitidos de un dispositivo. Su principio se basa en la utilización de algoritmos y sentencias lógicas programables las cuales poseen un conjunto de reglas para transformar los datos que ingresan al sistema. Estas sentencias generar un valor único para cada dato de entrada permitiendo identificar al ínstate de efectuar el análisis. El propósito fundamental en las aplicaciones es que el lenguaje analizado sea fácil de comprender para los humanos o sistemas. En Protocolos de Comunicación son utilizados en aplicaciones de red, telecomunicación, seguridad o análisis de datos (Alcalde San Miguel, 2022).

Figura 9

Microcontroladores



Factores que influyen:

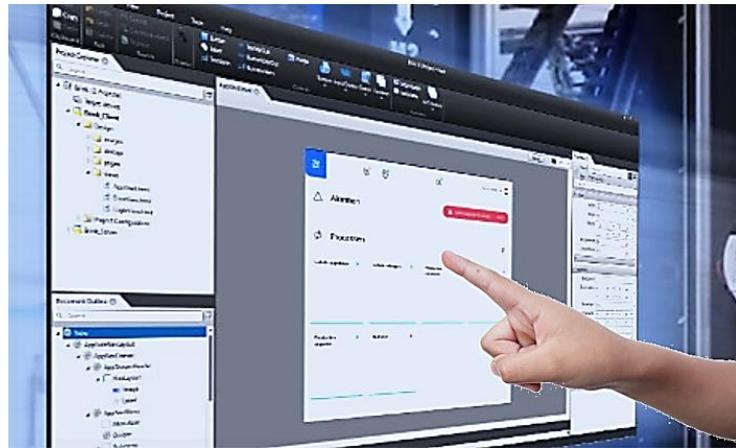
Los factores que influyen en la decodificación de datos incluyen la velocidad de transmisión, la extensión del mensaje, el tiempo, el medio de transmisión, las características de los dispositivos implementados en los puntos, y el lenguaje de transmisión. Uno de los desafíos que puede afectar el sistema es la presencia de ruido en la transmisión ocasionado por factores del mismo sistema o externos.

1.2.8. Interacción Hombre-Máquina

La interacción hombre-máquina (HMI) es un área de estudio que se centra en el diseño, desarrollo y evaluación de interfaces entre humanos y máquinas. Está estrechamente relacionado con la interacción usuario-computadora, pero permite interactuar con una gama más extensa de procesos, como vehículos autónomos, robots, dispositivos domésticos inteligentes y líneas de producción. HMI busca crear interfaces que sean intuitivas, eficientes y agradables para que los usuarios interactúen. El objetivo una interfaz es crear una interacción natural y fluida entre humanos y máquinas, mejorando la eficiencia y eficacia de la interacción. (Mourtzis et al.,2023).

Figura 10

Interacción Hombre- Máquina



CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Contexto de la investigación

El contexto de la investigación se centra en el laboratorio de la empresa ACSIMB Automatización y Control Cía. Ltda., es una empresa ubicada en la ciudad de Ambato, en la provincia de Tungurahua, Ecuador, con proyectos realizados tanto a nivel nacional como internacional.

Entre sus principales actividades se incluyen la automatización y el control de sistemas industriales y parte de sus recursos son predestinados al campo de desarrollo de dispositivos y módulos de alta calidad, con la finalidad de ofrecer soluciones tecnológicas a sus clientes, contribuyendo de esta forma al progreso del país.

Fruto de su arduo trabajo y su experiencia por 39 años en el ámbito técnico ha permitido brindar servicios y productos de grandes estándares a sus distinguidos clientes quienes avalan su profesionalismo. ACSIMB ofrece diversos procesos de control, entre los cuales se incluyen: presión constante, contra incendio, dosificadoras, troqueladoras, inyectoras, hornos industriales; y controladores como PLC's, HMI's, drivers, destinados a procesos dedicados.

Al ser una institución dedicada al ámbito industrial y desarrollo tecnológico posee en su infraestructura un laboratorio que proporciona un ambiente favorable para el trabajo del proyecto de investigación, experimentación y recolección de datos; con acceso a dispositivos de control, monitoreo, software especializado y personal técnico calificado para apoyar el estudio.

2.2. Diseño y alcance de la investigación

Este capítulo describe el proceso de diseño y la posterior implementación del software y hardware para obtener un sistema de decodificación de datos que permitan conocer el mapa de memoria de dispositivos de control y monitoreo involucrados en procesos autónomos industriales y residenciales.

Para llevar este procedimiento como primera instancia se utilizó una cámara para obtener una imagen de una de las pantallas del proceso en una interfaz de usuario visualizado en

este caso en un HMI. La captura es insertada a la PC o de manera directa desde el simulador de la HMI para posterior mediante por sentencias de programación realizadas en Python y la integración de técnicas de visión artificial y procesamiento de imágenes se extrajo los caracteres numéricos que representan a las variables de los sistemas, un total de 10 de datos de control como máximo por pantalla.

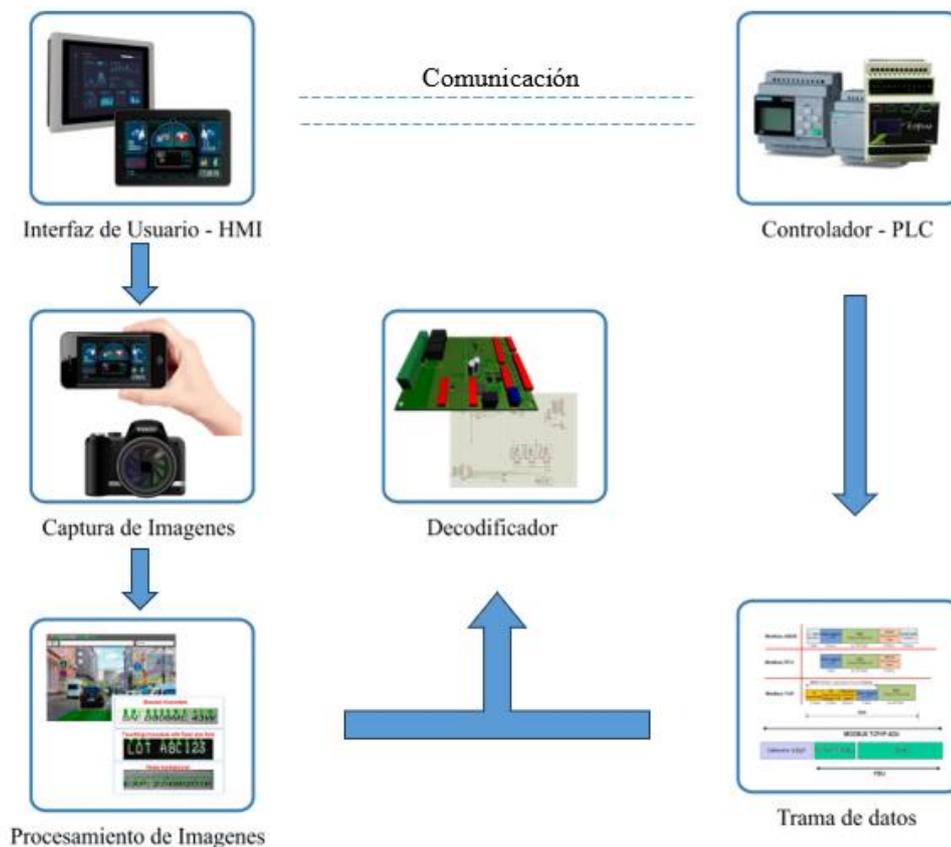
Como segunda instancia se realiza la lectura de la trama de comunicación del protocolo Modbus del proceso establecido entre PLC - HMI. Ambas etapas son efectuadas de manera paralela; luego los datos extraídos de las fases son evaluados y tratados en el módulo decodificador desarrollado para así conocer el dato al que corresponde dicho carácter el sistema.

Para alcanzar estos métodos es necesario conocer el funcionamiento, estructura, conceptos, dispositivos, parámetros técnicos y algoritmos implementados, los mismos que son detallados.

2.2.1. Estructura del sistema

Figura 11

Estructura del Sistema



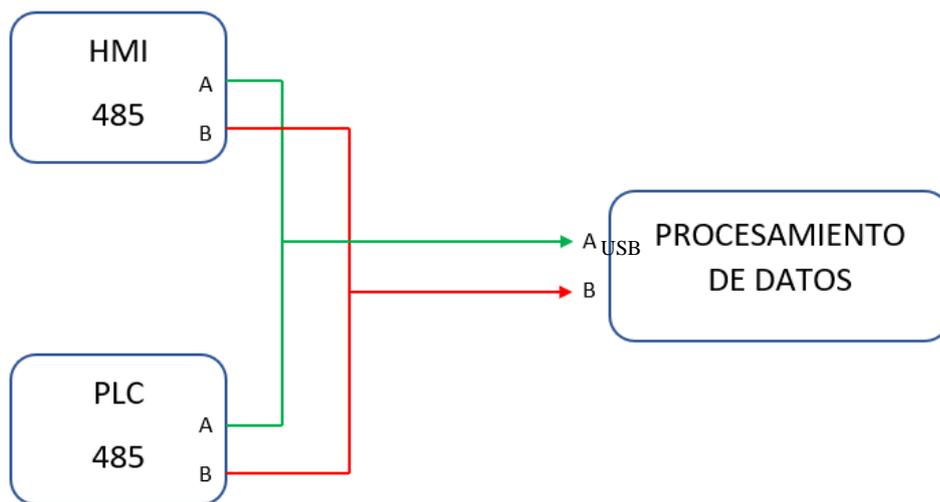
2.2.2. Tipo de sistemas

La elección del tipo de sistema y protocolo de comunicación depende de las necesidades específicas de la aplicación, considerando factores como la distancia de comunicación, la cantidad de dispositivos, la velocidad de transmisión y la infraestructura existente. Las ilustraciones proporcionadas ofrecen una guía visual para comprender mejor cómo se estructuran estos sistemas y cómo se interconectan los dispositivos.

Estructura Sistema Ideal

Figura 12

Aplicación en un Sistema ideal

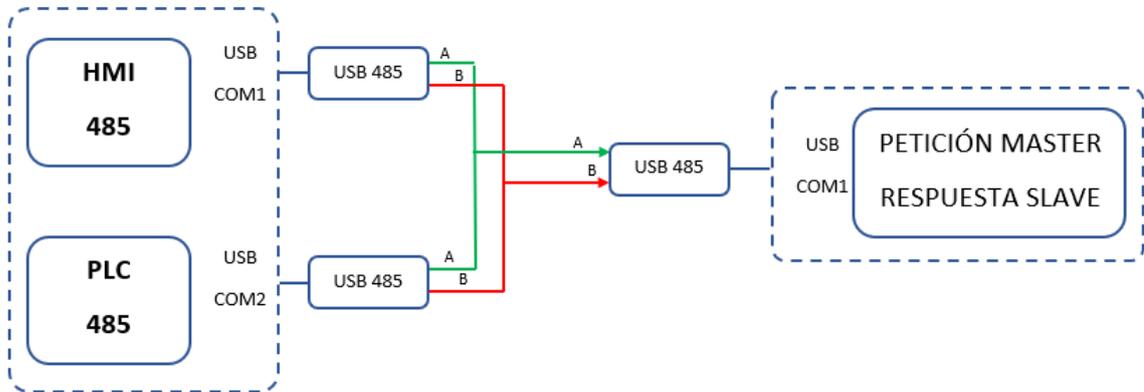


Estructura General en la industria

Los componentes típicos de los sistemas industriales incluyen controladores lógicos programables, drivers, actuadores, sensores, interfaces hombre-máquina y redes industriales. Los protocolos de comunicación comúnmente utilizados en estos sistemas son Modbus, Ethernet/IP, entre otros.

Figura 13

Aplicación en un Sistema Industrial

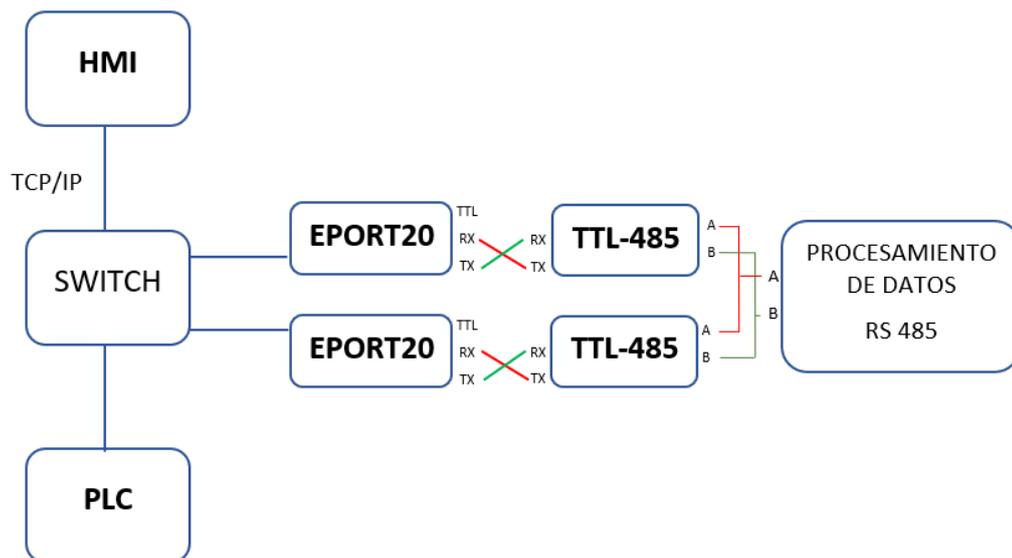


Estructura Modbus TCP/IP

Este protocolo es ideal para aplicaciones que requieren comunicación rápida y confiable sobre largas distancias, aprovechando la infraestructura de redes Ethernet existente, facilita la integración con redes de área local (LAN) y sistemas informáticos más grandes

Figura 14

Aplicación en un Sistema con Modbus TCP/IP

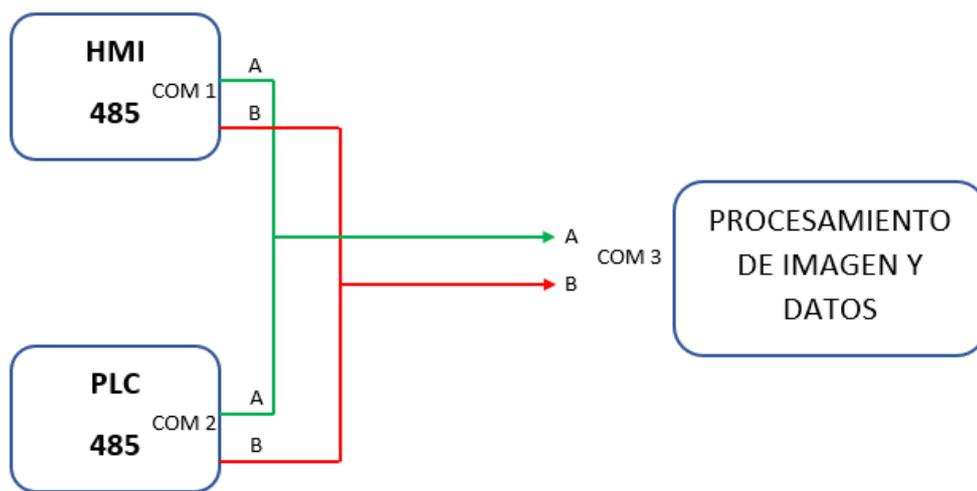


Estructura Modbus RS 485

Modbus RS 485, los dispositivos se comunican a través de un bus serial, lo que permite una comunicación fiable en entornos con alta interferencia electromagnética. Este protocolo es ideal para aplicaciones que requieren robustez y simplicidad en la conexión de múltiples dispositivos.

Figura 15

Aplicación en un Sistema con Modbus RS 485



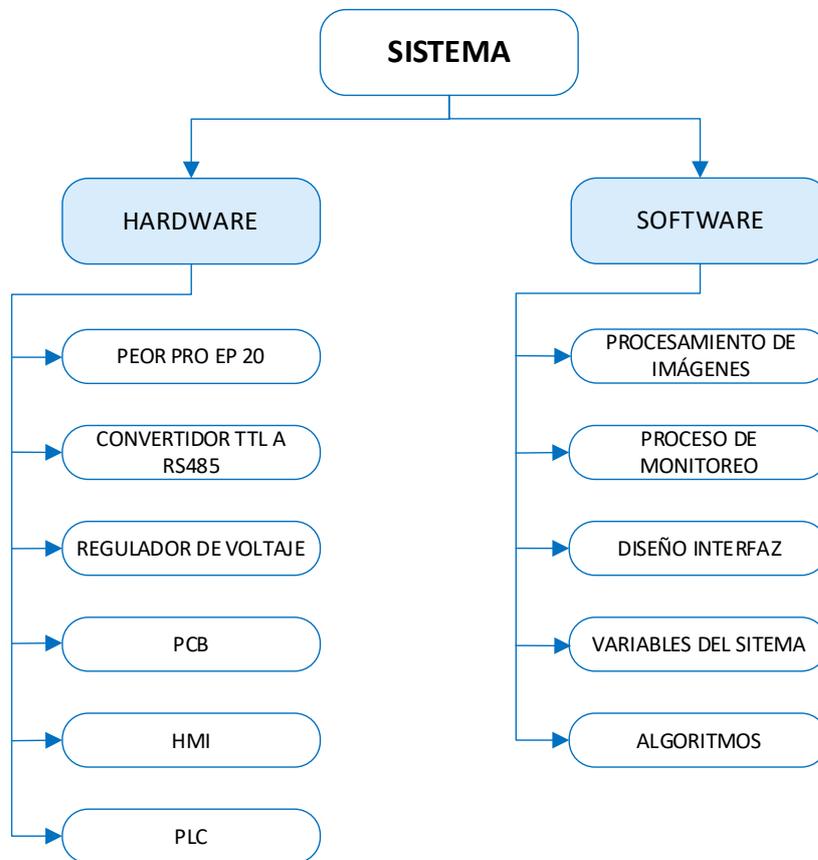
2.2.2. Esquema General

La estructura del sistema hace referencia a la organización, disposición y etapas que componen el trabajo realizado

Una estructura bien definida otorga un funcionamiento óptimo al sistema, ya que da claridad y coherencia al proceso es fundamental identificar y comprender los componentes que lo integran, tanto en hardware como en software.

Figura 16

Esquema General



2.2.3. Hardware

Como parte de los componentes de hardware, se integró una placa electrónica de circuito impreso que dará lugar al módulo decodificador. En esta placa se ensamblarán los elementos de lectura y direccionamiento de datos con el propósito de recopilar y analizar la información obtenida del proceso a tratar. A continuación, se describen los componentes del Hardware.

2.2.3.1. EPORT PRO EP 20

Figura 17

Módulo EPORT PRO



Se decido utilizar el módulo Eport Pro-EP20 ya que es un dispositivo autónomo, compacto destinado a proporcionar una interfaz serial que permite conectividad Ethernet y habilitación a la web. Posee un controlador TCP/IP, memoria, un emisor y receptor Ethernet y un puerto serie de alta velocidad, ideal para montajes en PCB debido a su tamaño

En la actualidad está presente en una diversidad de aplicaciones, entre ellas: el control industrial, en el área de la medicina, las redes inteligentes, monitoreos remotos, etc.

Tabla 5

Características del módulo EPORT PRO EP 20

PIN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	SEÑAL
1	GPIO	GPIO1	I/O
2	GPIO	GPIO2	I/O
3	UART0 CTS	-	O
4	Reset Externo	nRST	I, PU
5	UART0 RTS	-	I
6	Función Múltiple	nReload	I, PU
7	Indicador LED	LED2_Data	O
8	UART0 RXD	-	I

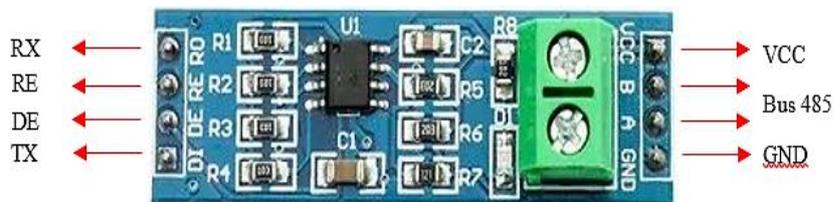
9	UART0 TXD	-	O
10	Tierra	GND	GND
11	+3.3V	DVDD	Power
12	Indicador LED	LED1_Link	O
GND	Tierra de EMC	GND	GND

2.2.3.2. Convertidor TTL a RS485

El Convertidor TTL a RS485 es un módulo electrónico que contiene un controlador y receptor de baja potencia que permite la comunicación RS-485 con una tasa de transferencia de datos sin errores de hasta 2.5 Mbps. Es Manipulado para convertir señales de Transistor-Transistor Logic a señales de RS485. Adicional, es de tipo Multi-Drop, pero este depende mucho de la serie del circuito integrado que posea

Figura 18

Convertidor TTL a RS485



El módulo conversor en su composición contiene un C.I. MAX485 utilizado para transmisiones semidúplex y posee las siguientes características:

Tabla 6

Características del módulo Convertidor TTL-RS485

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Voltaje de Operación	5 V
Consumo Corriente	500 uA (máx)
Chip principal	MAX485
Tipo de Comunicación	Half-Duplex
Velocidad máxima	10 Mbit/s (a 12 m)
Longitud máxima alcance	1200 metros (a

2.2.3.3. Reguladores de voltaje

El módulo decodificador basa su funcionamiento a un voltaje de 24 VDC, para alimentar a los módulos de transmisión y recepción es necesario reducir el valor de entrada a 5VDC y 3.3 VDC; es por estos motivos que es necesario acoplar reguladores de voltajes estos dos últimos con tecnología de tipo smd.

Figura 19

Reguladores de voltaje



2.2.3.4. PCB

El diseño del PCB fue elaborado en el programa Proteus. Utilizar este software para el desarrollo ofrece una serie de ventajas, desde una interfaz intuitiva que permite crear

Figura 21

Diseño PCB frontal

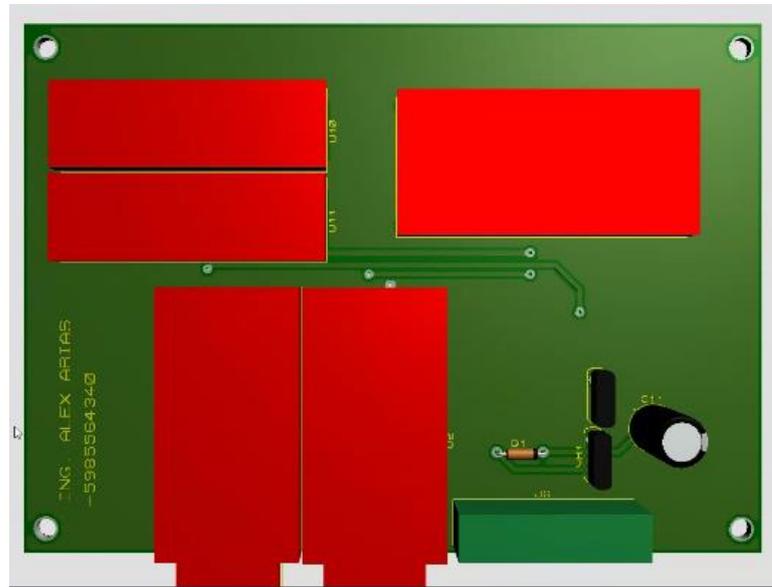
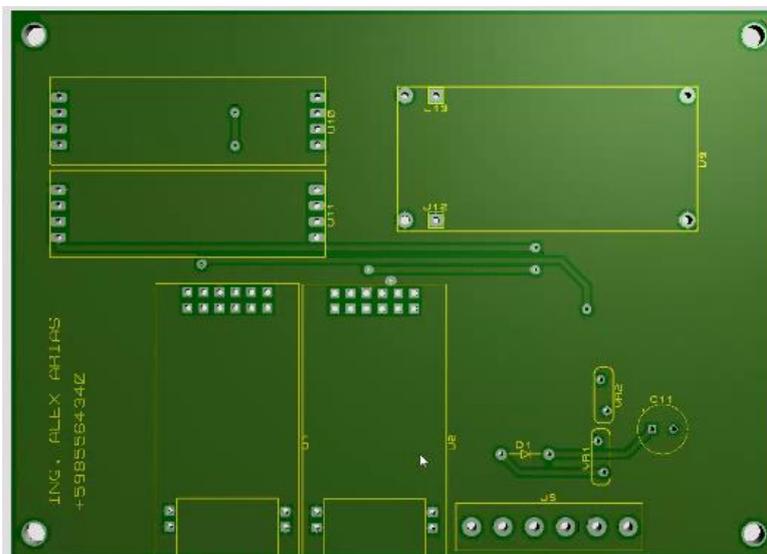


Figura 22

Diseño PCB posterior



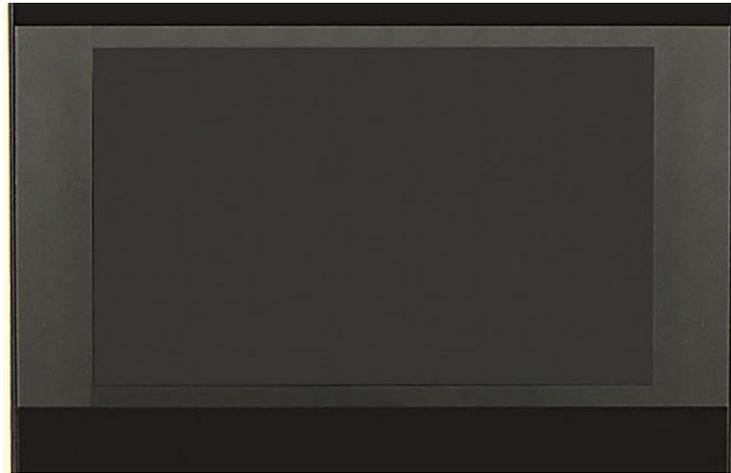
2.2.3.5. HMI

En la Figura 20 se visualiza la HMI utilizada para fines prácticos del proyecto es una pantalla de la marca Wientek pantalla de 7 pulgadas de tecnología resistiva, son conocidas

por facilidad de uso en aplicaciones industriales. ofrece una interfaz intuitiva que facilita la interacción del usuario con el sistema.

Figura 23

HMÍ implementada



2.2.3.6. PLC

El módulo CP11 es un Controlador Lógico Programable de la marca Eopus (Figura 21), forma parte de la amplia gama de dispositivos diseñados por la empresa ACSIMB.

CP11 es un módulo el cual, gracias a las sentencias de programación previamente establecidas, permite controlar máquinas, plantas y procesos industriales complejos de esta forma ejecuta acciones que pueden ser peligrosas o muy lentas efectuarlas manualmente. Además, este controlador puede desempeñar funciones como Módulo de Expansión Digital dotando de mayor capacidad de entradas y salidas al PLC implementado y conexión a redes de datos industriales Todas estas características otorgan al mundo de la automatización un módulo robusto destinado a cumplir con las necesidades del usuario independiente del área de implementación.

Figura 24

PLC Eopus CP11



Nota: Acsimb, (2024) PLC Eopus CP11. [Captura de pantalla]. Fuente: Acsimb Automatización y Control. <http://www.acsimb.com/>

2.2.4. Software

Para el procesamiento de las imágenes y la extracción de los caracteres de la HMI, se desarrollaron algoritmos y sentencias lógicas en lenguaje Python.

Python como un lenguaje de programación de gran nivel y considerado multipropósito, con aplicaciones en el área de visión artificial y procesamiento de imágenes. Destaca en el mundo de la ciencia computacional por su sintaxis clara y legible, lo que facilita su aprendizaje y comprensión. Por tanto, este proyecto se desarrolló utilizando este lenguaje debido a sus ventajas y capacidades versátiles donde se instalaron librerías que se visualizan en la Figura 22 y Figura 23, las cuales facilitaron de manera eficiente el obtener los caracteres numéricos de una imagen capturada mediante una cámara y tratada en una PC.

- **OpenCV (Open-Source Computer Vision Library).**

OpenCV es una biblioteca de código abierto que se utiliza principalmente para el procesamiento de imágenes y la visión por computadora. Proporciona una amplia variedad de funciones y algoritmos para trabajar con imágenes y videos.

- **Easyocr**

Es una herramienta de reconocimiento óptico de caracteres OCR. Permite extraer texto de imágenes y es especialmente útil para tareas como la lectura de documentos escaneados o la captura de texto de imágenes. Soporta más de 80 idiomas.

- **NumPy**

Es una biblioteca fundamental para la computación numérica en Python. Proporciona soporte para trabajar con arrays multidimensionales y ofrece una amplia gama de funciones matemáticas para realizar operaciones eficientes en estos arrays.

- **matplotlib.pyplot as plt:**

Es una biblioteca para la visualización de datos y pyplot es un módulo que proporciona una interfaz similar a la de MATLAB para crear gráficos y visualizaciones de manera sencilla y flexible.

Figura 25

Instalación de Python

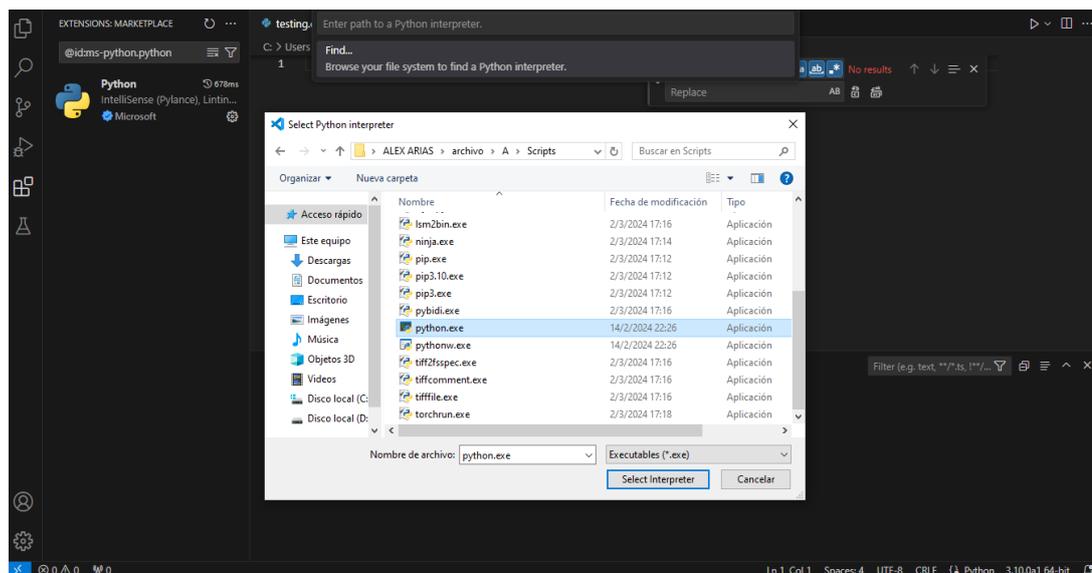


Figura 26

Instalación de Librerías en Python

```
(project-env) C:\Users\gato\project-env>scripts\python.exe -m pip install --upgrade pip
Collecting pip
  Downloading pip-24.0-py3-none-any.whl (2.1 MB)
    |#####| 2.1 MB 656 kB/s
Installing collected packages: pip
  Attempting uninstall: pip
    Found existing installation: pip 20.2.3
    Uninstalling pip-20.2.3:
      Successfully uninstalled pip-20.2.3
  Successfully installed pip-24.0
(project-env) C:\Users\gato\project-env>

(project-env) C:\Users\gato\project-env>pip install opencv-contrib-python
Collecting opencv-contrib-python
  Downloading opencv_contrib_python-4.9.0.80-cp37-abi3-win_amd64.whl.metadata (20 kB)
Collecting numpy>=1.21.2 (from opencv-contrib-python)
  Downloading numpy-1.26.4-cp310-cp310-win_amd64.whl.metadata (61 kB)
----- 61.0/61.0 kB 191.0 kB/s eta 0:00:00
Download opencv_contrib_python-4.9.0.80-cp37-abi3-win_amd64.whl (45.3 MB)
----- 45.3/45.3 MB 802.3 kB/s eta 0:00:00
Download numpy-1.26.4-cp310-cp310-win_amd64.whl (15.8 MB)
----- 15.8/15.8 MB 856.0 kB/s eta 0:00:00
Installing collected packages: numpy, opencv-contrib-python
Successfully installed numpy-1.26.4 opencv-contrib-python-4.9.0.80
(project-env) C:\Users\gato\project-env>
```

2.2.4.1. Procesamiento de Imágenes y extracción de caracteres

Con la implementación del procesamiento de imágenes, respaldado por la visión artificial, se buscó mejorar la calidad de las imágenes, reconocer patrones, extraer información para facilitar su interpretación de caracteres por parte de los sistemas computacionales. Para lograr estos objetivos, se recurrió a técnicas establecidas y conocidas.

- **Filtro de aumento de nitidez Kernel**

Es una técnica de convolución manejada en el procesamiento de imágenes para resaltar los detalles y aumentar la definición de una imagen. Se basa en la aplicación de un Kernel o máscara que resalta las transiciones abruptas de intensidad en la imagen, esto causa un aumento de contraste en los bordes y detalles.

- **Ajustar el contraste de la imagen**

El ajuste del contraste tiene permite extender o reducir la gama de tonos, para mejorar la apariencia visual y hacer que los detalles resalten y sean más visibles. Esto se logra distribuyendo de nuevo las intensidades de los píxeles de manera que los valores oscuros se vuelvan más oscuros y los valores claros se vuelvan aún más claros,

- **Convertir la imagen a escala de grises**

La transformación a escala de grises es un paso que envuelve la eliminación del color de la imagen, dejando los valores de intensidad y de luminancia.

Arrojando una representación en blanco y negro de la imagen original, donde los tonos de gris varían desde el negro hasta el blanco, con diferentes niveles de intensidad entre ambos extremos. Técnica ideal para determinar texturas, localización de bordes, y reconocimiento de patrones.

- **Aplicar umbralización adaptativa**

Este método es especialmente útil cuando la iluminación de la imagen no es uniforme o varía significativamente en diferentes partes de la imagen. divide la imagen en pequeñas regiones y se calcula un umbral óptimo para cada una de ellas. El resultado es una imagen binaria donde los píxeles se clasifican como blanco o negro si superan o no el umbral.

- **Invertir los colores de la imagen**

Consiste en el intercambio los valores de color de cada píxel es decir que los colores cambian del original a su complementarios. Ayuda a compensar inconvenientes de iluminación.

- **Reglas de agrupamiento**

Verificar la diferencia existente entre una serie de número para que sean estos agrupados entre números para agruparlos. Los números se agrupan tomando como referencia su valor relativo para identificar números cercanos o similares. Si el último número del último grupo es mayor al 10% de ese último número, entonces; Si es así, se creará un nuevo grupo; de lo contrario, se agrega el número al último grupo existente.

2.2.4.2. Proceso de monitoreo

Se realizó el análisis en un proceso de control de Sistemas de Presión contante para 3 bombas alternantes (Figura 23). Este tipo de procesos son implementados con el propósito

de entregar líquido de manera permanente e invariable a cada uno de los puntos de salida sin importar las fluctuaciones existentes en la red.

Las tres bombas implementadas operan de manera secuencial a velocidades variables durante un período determinado por el usuario. Si la demanda es mayor a la presión seteada, se activa la segunda y la tercera bomba de ser necesario, la velocidad es tratada por medio de variadores de frecuencia. El sistema en su totalidad es controlado por un PLC CP12 de la marca Eopus (Figura 21), permitiendo

El sistema puede funcionar en modo automático o manual, dependiendo de los requisitos. La administración de datos y parámetros se realiza mediante una unidad HMI de 7 pulgadas de la marca Weintek. El proceso consta de un tablero de control y distribución donde se encuentra acoplados los dispositivos que ayudan al automatismo (Figura 25). Este tipo de sistemas son ideales para hospitales, hoteles, residenciales, complejos turísticos y más.

Figura 27

Sistema de presión implementado



Figura 28

Tablero de control y distribución



2.2.4.3. Diseño de la interfaz

Para el desarrollo de la interfaz gráfica se manejó el software EasyBuilder Pro destinado para pantallas HMI de la marca WIENTEK. Este programa facilita al programador crear funciones supervisión y control, con puerto de comunicación Modbus TCP IP.

Características de Easybuilder

- Interacción de ventanas
- Objetos multi-función
- Animaciones con formatos BMP, JPG, GIF, y PNG.
- Depuración sencilla
- Protección de objetos por contraseñas.
- Macros que permiten programación
- Datos de recetas y registros
- RTC interno
- Entorno de simulación Online/Offline.
- Administración y operación remota.

2.2.4.4. Pantalla del sistema

La pantalla principal del sistema de presión constante (Figura 26), muestra un entorno gráfico que simula el proceso de extracción de líquido desde un tanque de agua. Tres bombas están conectadas y dispuestas para succionar y distribuir a través de tuberías hacia la red principal de la edificación donde se ha implementado este proceso

Se puede observar variables como:

- Corriente eléctrica: Indica la cantidad de corriente que están consumiendo las bombas en tiempo real.
- Velocidad de las bombas: Determina las revoluciones por minuto al cual trabaja cada bomba.
- Temperatura: Permite conocer un estado de la bomba. Si la temperatura se encuentra con valores elevados significa un sobreesfuerzo.
- Horas de uso de las bombas: Registra el tiempo total de funcionamiento de cada bomba., útil para programar mantenimientos preventivos y garantizar la vida útil óptima de las bombas.
- Presión principal de trabajo: Indica la presión en la red principal de distribución. Controlar esta variable es fundamental para asegurar un suministro constante y adecuado de líquido a los puntos de consumo.

Figura 29

Captura de pantalla del HMI



2.2.4.5 Variables de control del Sistema

Las variables del sistema de presión contante con 3 bombas alternantes son los parámetros que ayudan en el proceso a medir, controlar y ajustar los datos para de esta manera garantizar un rendimiento óptimo. Estas variables incluyen factores como la temperatura, presión, nivel, corrientes, horas de consumo y más.

Tabla 7

Lista de Variables

VARIABLES	
VP	DESCRIPCIÓN
1	temperatura m1
2	temperatura m2
3	temperatura m3
4	velocidad m1
5	velocidad m2
6	velocidad m3
7	corriente m1
8	corriente m2
9	corriente m3
10	horas m1
11	minutos m1
12	horas m2
13	minutos m 2
14	horas m3
15	minutos m3
16	mantenimiento 1
17	mantenimiento 2
18	mantenimiento 3
19	temperatura de tablero
20	potenciómetro
21	porcentaje de salida
22	binario veloc m1
23	binario veloc m2
24	binario veloc m3
25	binario presión
26	binario potenciómetro
27	binario aux 1
28	binarios aux2
29	res aux 1
30	res aux 2

2.2.4.6. Algoritmo

En la siguiente sección, se presenta una descripción detallada del diseño del software del sistema por medio de diagramas de flujo. Estos diagramas buscan explicar de manera clara y precisa la lógica y los procedimientos implicados en el desarrollo para la obtención de resultados, desde el procesamiento de imagen, obtención de caracteres, el enlace Modbus y la obtención de las tramas de datos del sistema.

Figura 30

Algoritmo Procesamiento de imagen

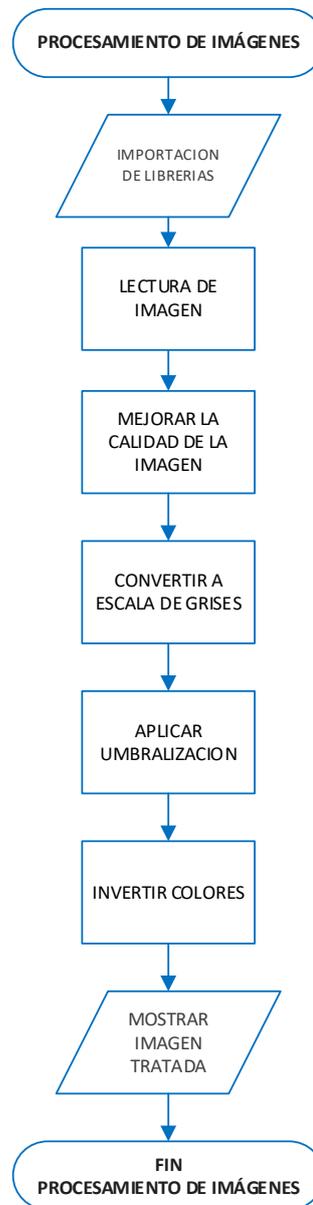


Figura 31

Algoritmo Extracción de caracteres

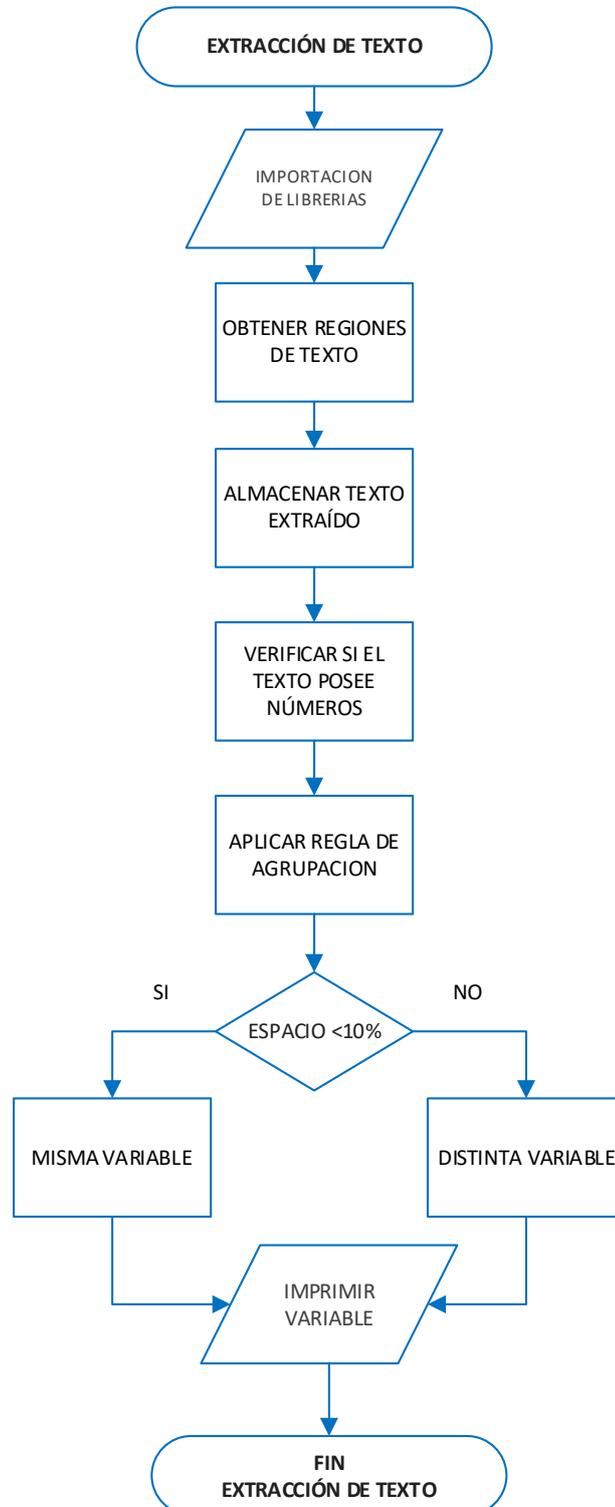


Figura 32

Enlace Modbus

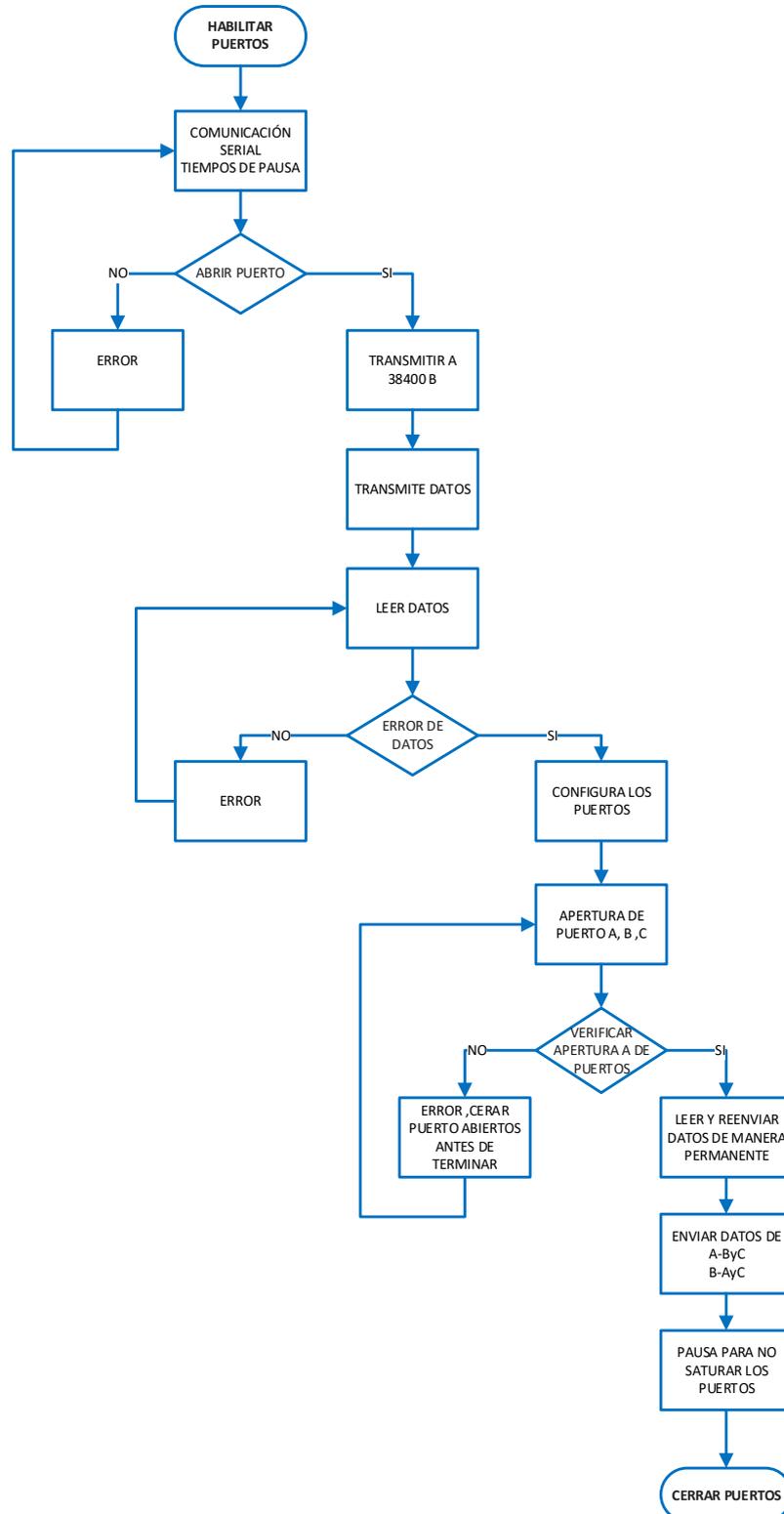


Figura 33

Trama Modbus A

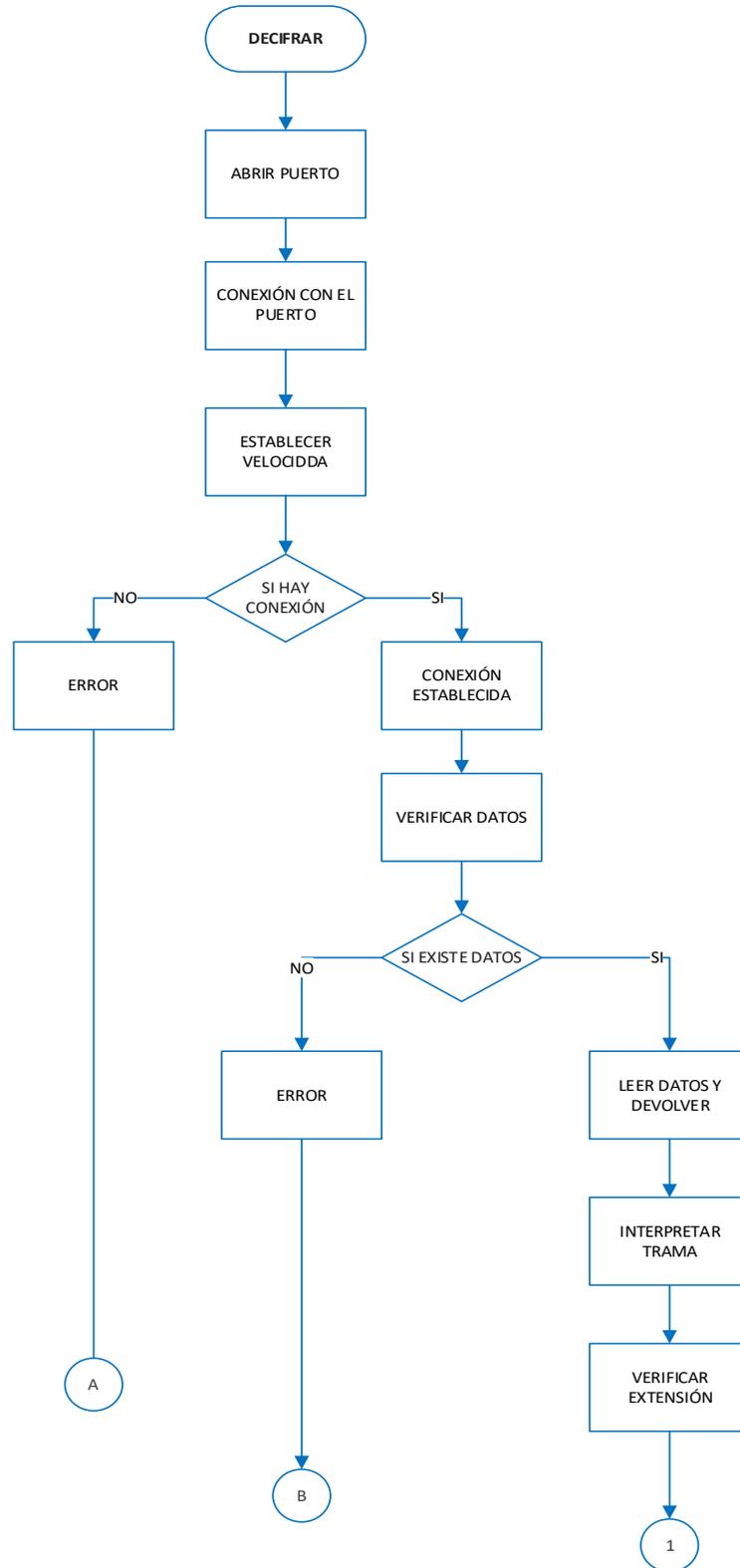
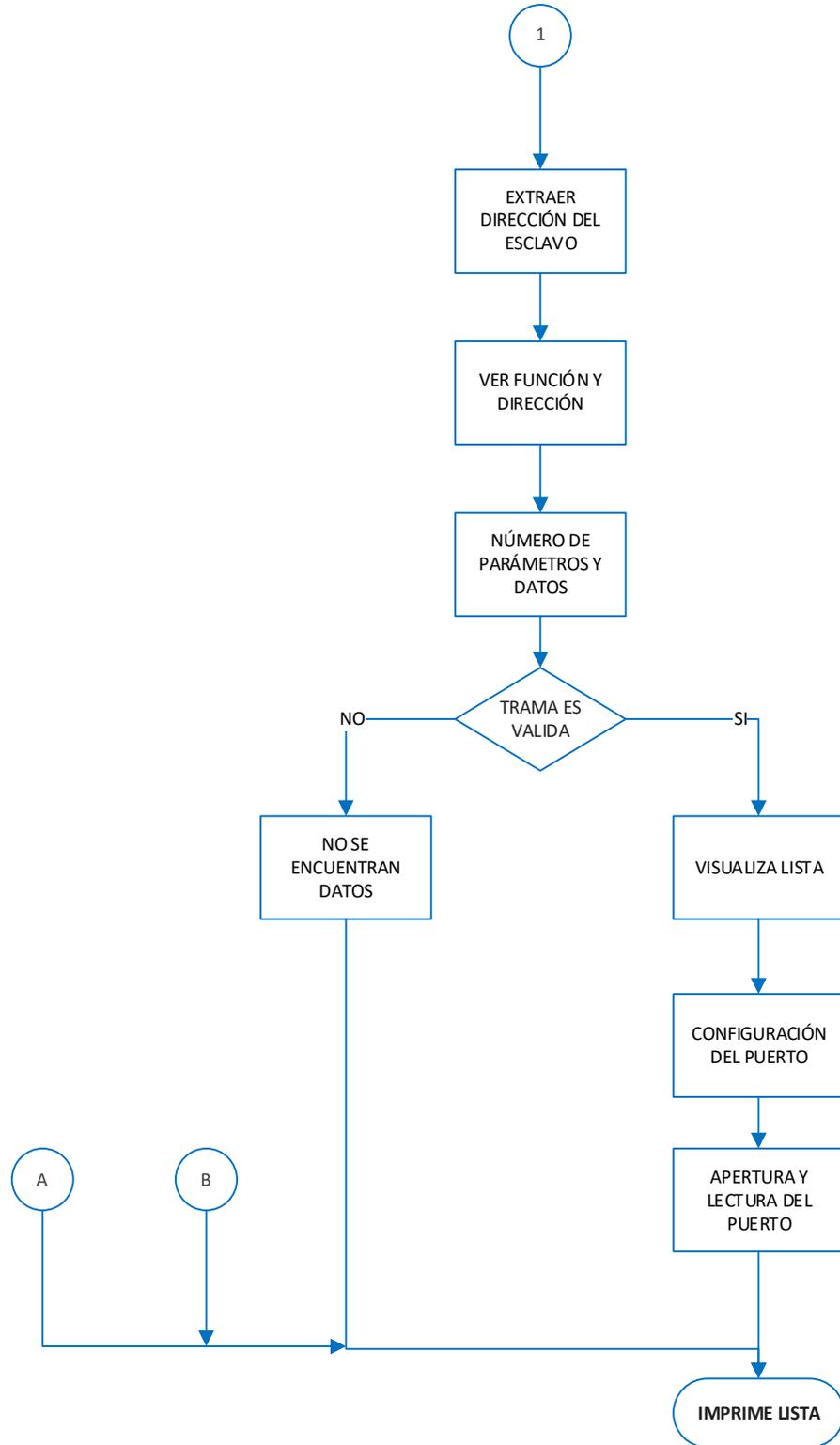


Figura 34

Trama Modbus B



2.3. Tipo y métodos de investigación

El trabajo presenta un tipo de investigación cuantitativo. Esto implica la recopilación y el análisis de datos numéricos y cuantificables relacionados con el rendimiento y la eficiencia del sistema de decodificación de tramas de memoria.

Dependiendo del propósito del estudio, se desarrolla un tipo de investigación con un enfoque aplicativo. Este enfoque se centra en hallar soluciones prácticas y efectivas para problemas que se presentan de manera cotidiana en el ámbito industrial; se busca las formas de generar un conocimiento para mejorar procesos, aumentar la eficiencia y reducir costos en la industria

En relación con los métodos de investigación, involucra un enfoque inductivo, donde se recopila datos de interfaces de usuarios implementadas en procesos de automatización. Utilizando las imágenes recolectadas, y mediante el desarrollo de sentencias lógicas programadas se busca analizar las técnicas de visión artificial que permita una extracción caracteres de forma eficiente. Posterior, mediante pruebas y experimentos controlados, se busca confirmar o refutar estas hipótesis, utilizando la observación y el análisis de datos para llegar a conclusiones sobre la eficacia del sistema.

2.3.1. Obtención de caracteres

La obtención de caracteres de una imagen mediante técnicas de visión artificial como el reconocimiento óptico de caracteres (OCR). Estas metodologías permitieron identificar y procesar los caracteres presentes en una imagen digitalizada, facilitando su interpretación y análisis. Se detalla continuación una serie de pasos y mecanismos utilizados.

2.3.2. Captura de la pantalla

La captura de una de las pantallas de la HMI se llevó a cabo utilizando la cámara de un teléfono inteligente, luego la imagen fue transferida y almacenada en la PC. Se adjuntó al programa desarrollado para su análisis y procesamiento.

2.3.3. Preprocesamiento de la imagen

La imagen obtenida es procesada por medio de sentencia lógicas programadas considerando técnicas de visión artificial; en primer lugar, se mejoró la calidad para posterior aplicar métodos como: escala de grises, umbralización, inversión de colores; de esta forma se mejoró la calidad y se logró discriminar ciertas áreas y características que facilitaron la lectura del texto y variables. Se implementó un proceso especializado con OCR, para adquirir de las imágenes ya tratadas, un máximo 10 variables de tipo entero por pantalla

2.3.3. Agrupación de caracteres

Se generó una cadena de caracteres en base a métodos de agrupación, verificando un porcentaje de 10% entre la separación de datos y así identificar si pertenece a la misma variable.

2.3.4. Recolección y Análisis de datos

Es importante validar y corregir los números extraídos para garantizar su precisión. Se puede verificar reglas específicas de la estructura de Modbus para corregir posibles errores del OCR.

La recolección de datos se podrá palpar en la cantidad de valores que las técnicas de visión artificial arrojan para posterior ser alineadas dentro del decodificador de información en una matriz con respecto a los datos recabados en el protocolo de comunicación del sistema. Se consideraron los valores a desechar para el tratamiento como: fechas, logos, eventos, números de página, recetas.

2.3.5. Diseño del decodificador

Para desarrollar el decodificador de datos, se desarrolló un PCB en base a los dispositivos a implementarse y a una elección, tomando en consideración aspectos de rendimiento, dimensiones, puerto que manejan, etc.

2.3.6. Diseño de PCB

Para diseñar el PCB se utilizó el programa Proteus, en base a la información recabada de los dispositivos, su datasheet y dimensiones se procedió al desarrollo de la placa considerando la superficie de la caja donde ira sujeta. Posterior se realizó el ensamble de los elementos en base al diagrama esquemático.

2.3.7. Ensamble y pruebas de PCB

Se realizó el ensamble de los elementos en el PCB en base a la ubicación del diagrama esquemático. Se verificó que no exista cortos circuitos para energizar el módulo y posterior se conectó al proceso.

2.3.8. Comunicación maestro-esclavo

Se establece el enlace de comunicación entre el PLC y la HMI. El controlador realiza las funciones como el maestro y es el encargado de controlar y coordinar las operaciones, mientras que la Interfaz Hombre-Máquina trabaja como el esclavo del proceso; encargado de presentar la información y permitir la interacción del operador con el sistema. El intercambio de información se realiza a través del protocolo Modbus. Además de transmitir datos, este enlace también permite la sincronización de acciones y la retroalimentación de información en tiempo real para garantizar un funcionamiento adecuado del sistema.

2.3.9. Lectura de la trama

Para la obtención de la trama es necesario establecer la comunicación entre PLC, HMI, y el decodificador.

En el proceso de estudio en estudio se encuentra implementado un sistema de comunicación en base al protocolo Modbus RTU ya que proporciona una estructura robusta y confiable.

2.3.10. Obtención de variables del sistema

Una vez que se estableció la comunicación entre los dispositivos, se puede procesar los datos de la trama y las variables obtenidas luego del procesamiento de imágenes.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados y Análisis

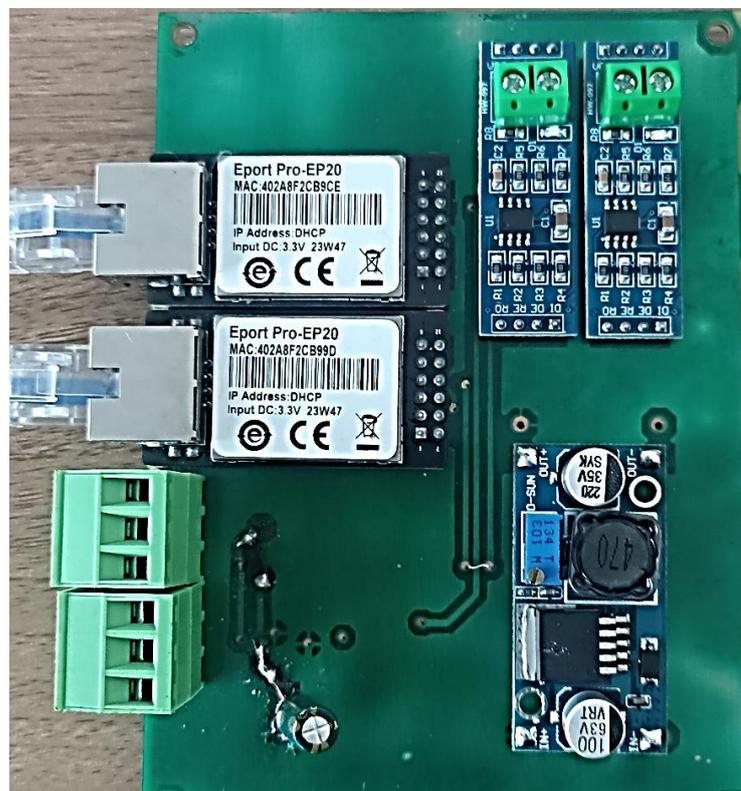
En este capítulo se presentarán los resultados y datos obtenidos después de la implementación. del sistema de decodificación, procesamiento de imágenes y la extracción de las tramas de datos, la información recabada fue obtenida mediante pruebas de campo.

3.1.1. Diseño del decodificador

Para desarrollar el módulo decodificador de datos, se diseñó un PCB, tomando en consideración los dispositivos que se ensamblaron, aspectos de rendimiento, dimensiones, puerto que manejan, etc.

Figura 35

Módulo decodificador



3.1.2. Procesamiento de imágenes

Para la extracción de datos, es necesario obtener la imagen que se va a procesar. Esto puede lograrse de dos maneras:

- Obteniendo de manera directa desde el ordenador mediante el simulador de la interfaz de usuario, Figura 38.
- Capturando la pantalla utilizando un teléfono celular y luego insertándola en el script de Python apreciable en la Figura 37.

Ambos métodos tienen sus propias ventajas y consideraciones. La captura de pantalla con un teléfono celular proporciona flexibilidad y conveniencia, especialmente si se requiere movilidad para capturar imágenes en diferentes ubicaciones o entornos. Por otro lado, la obtención directa desde el ordenador a través del simulador de la interfaz de usuario puede ofrecer una mayor precisión y control sobre la calidad de la imagen, ya que se puede ajustar y configurar la interfaz según sea necesario antes de realizar la captura. La elección entre estos métodos dependerá de las necesidades específicas del proyecto, así como de las preferencias y recursos disponibles.

En esta oportunidad para demostrar el sistema se va a realizar el tratamiento de la Figura 36.

Figura 36

Imagen del PC

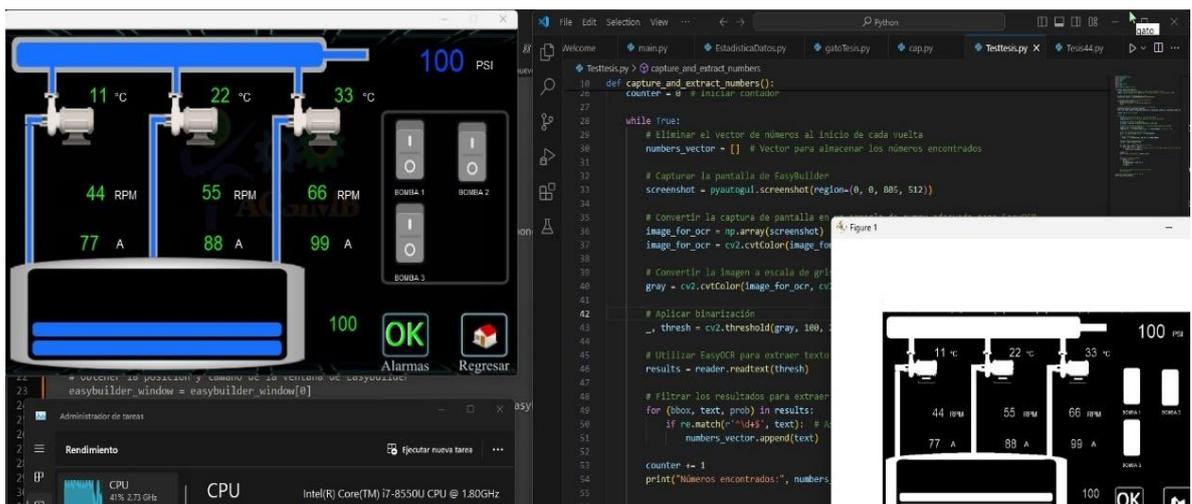


Figura 37

Captura con teléfono

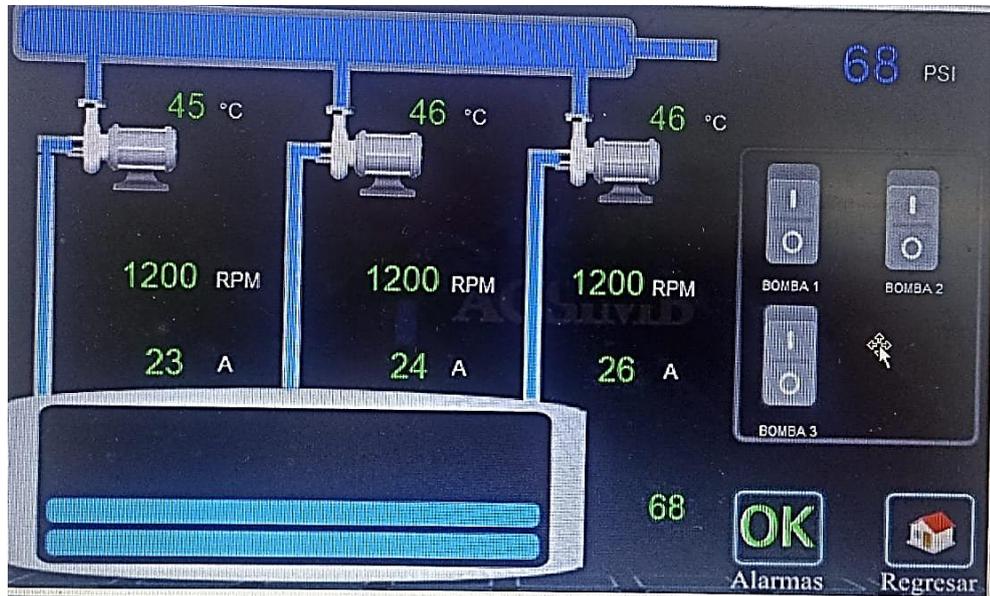


Figura 38

Imagen para Procesar

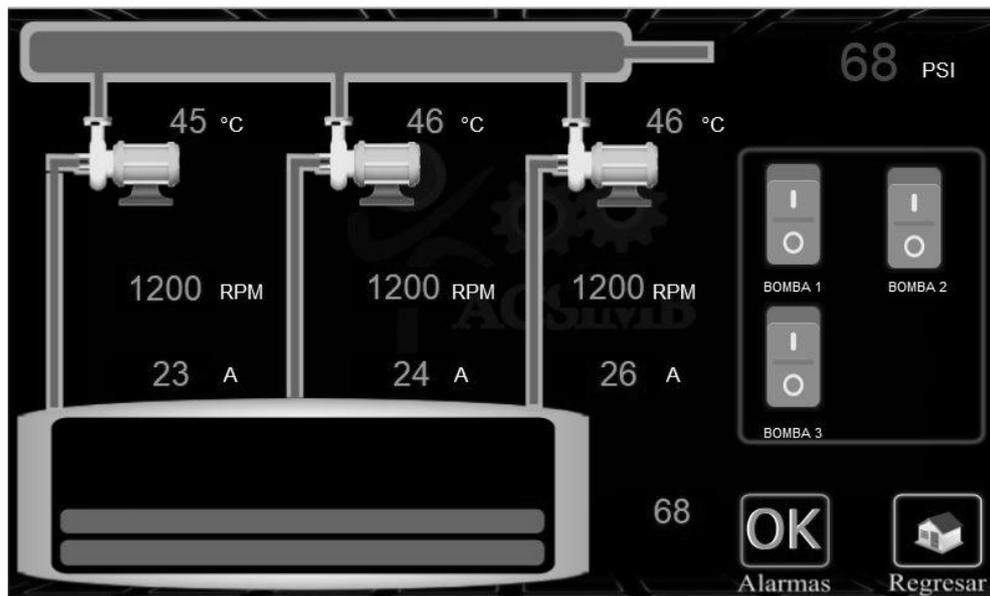


Mejora de la imagen

Para iniciar el proceso, se emplearon sentencias de programación destinadas a mejorar la calidad de la imagen capturada, Figura 39. Este primer paso es esencial, ya que una imagen de alta calidad garantiza un procedimiento adecuado y una extracción íntegra de los caracteres.

Figura 39

Imagen mejorada

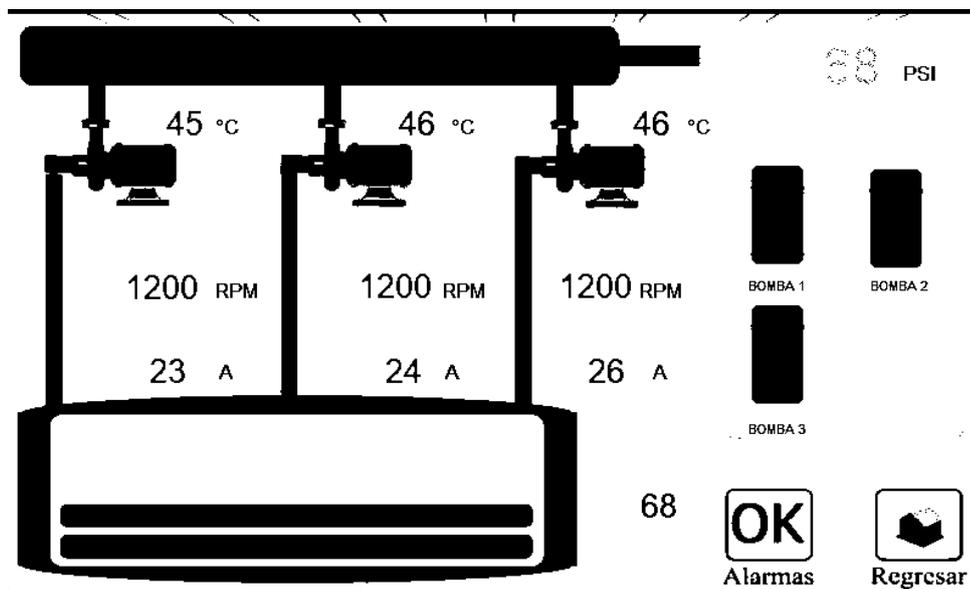


Técnica de umbralizado

En la Figura 40 se aprecia la imagen capturada después de ser procesada mediante el método de umbralización. En esta etapa, se logró uniformidad en la, esto permitió clasificar los píxeles en blanco y negro dependiendo si superan o no el umbral. Otorgó mejor definición en los detalles y el eliminó el ruido.

Figura 40

Imagen umbralizada

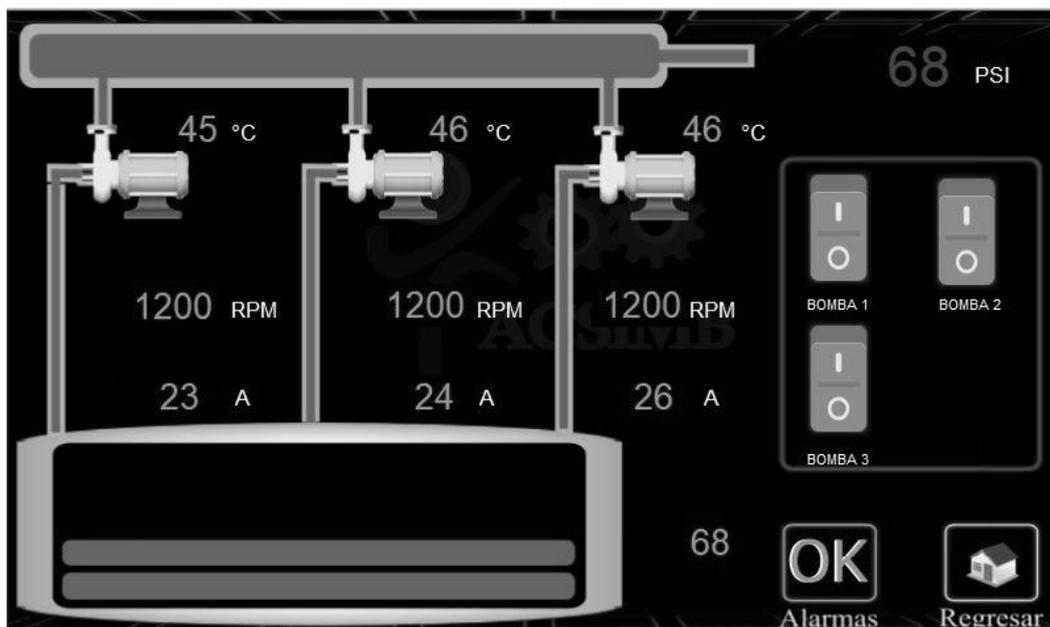


Técnica escala de grises

Mediante este procedimiento la imagen se convierte en una escala de colores gris con distintos niveles de intensidad, Figura 41. Este tratamiento facilitó el reconocimiento de patrones y la localización precisa de los Bornes en la imagen

Figura 41

Imagen Escala de grises

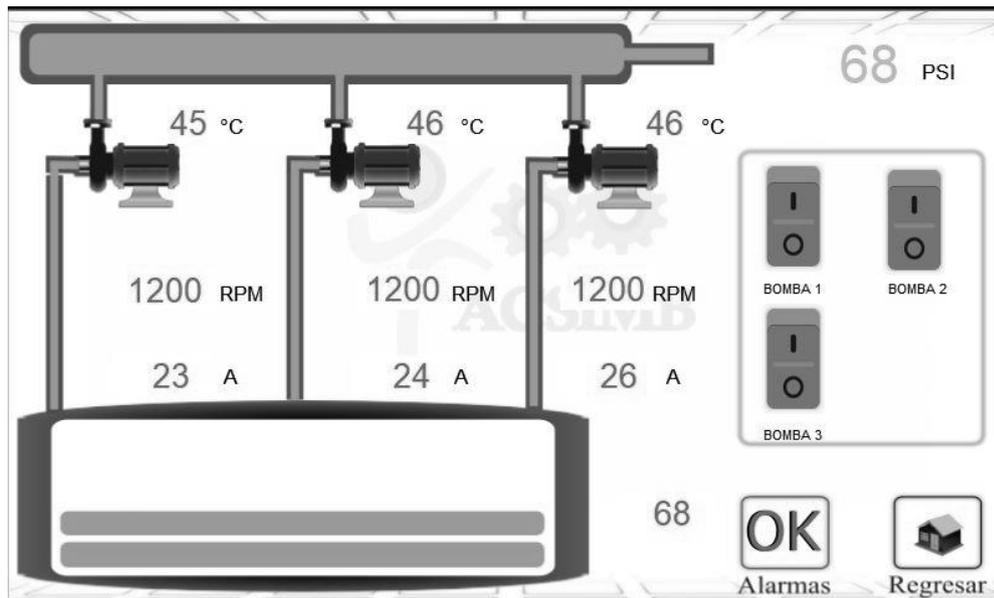


Técnica invertir los colores

A través de este proceso, se logró efectuar modificaciones en los colores de la imagen para resaltar así las características que, debido a la calidad o al contraste, no es sencillo discernir y pasan desapercibidos, Figura 42. Al cambiar el tono de los colores, se logró que ciertos objetos sean más notables sobre un fondo de color opuesto al original.

Figura 42

Inversión de colores



3.1.3. Recolección y Análisis de datos

Posterior a la aplicación de las técnicas de visión artificial destinadas al procesamiento de imágenes y la aplicación de métodos de agrupación de caracteres, se obtienen los valores apreciados en la Figura 43, donde se observa todos los caracteres de las variables numéricas que se encuentran en la imagen inicial del proceso, Figura 38.

El proceso de extracción se encuentra en un bucle infinito donde cada 10 segundos se inicia una nueva captura de la imagen y se inicia el tratamiento de la imagen por cambio que puede presentar el sistema de control en curso, esto nos facilita obtener la transmisión de datos en tiempo real.

Figura 43

Resultado de la extracción

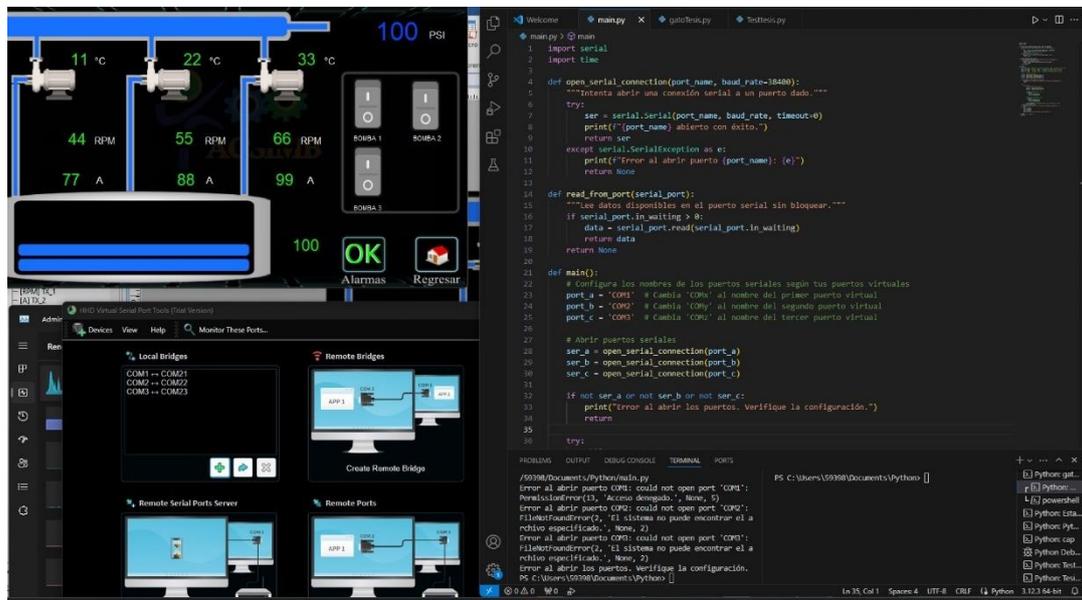
```
WARNING:easyocr.easyocr:Caracteres numéricos encontrados:  
['68', '45', '46', '46', '1200','1200','1200', '23', '24',  
'26', '68']
```

3.1.4. Enlace Modbus

Para facilitar la comunicación, se implementaron tres puertos COM principales en el HHD Virtual Serial Port. En este sistema, COM1 actúa como el puerto maestro, mientras que COM2 desempeña el papel de esclavo. Por otro lado, el puerto COM3 se configura en modo recepción, lo que significa que está preparado para recibir información. Esta configuración permite establecer una comunicación bidireccional entre los dispositivos conectados, asegurando así un intercambio eficiente de datos entre el maestro y el esclavo.

Figura 44

Script de enlace Modbus

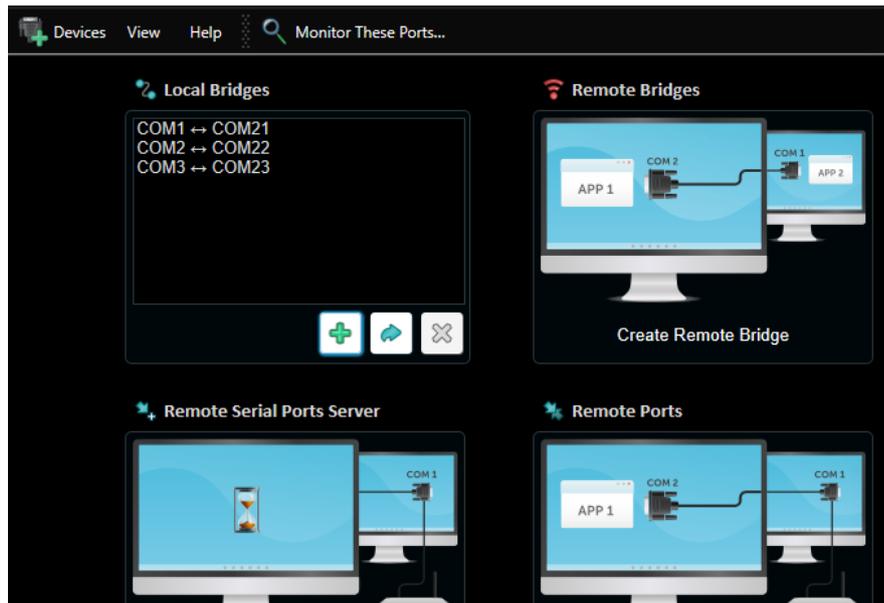


Adicional se crearon tres puertos COM auxiliares, como se muestra en la Figura 44, designados como COM21, COM22 y COM23. Estos puertos están asociados

respectivamente a los puertos de enlace principales. La configuración proporciona una mayor flexibilidad en el sistema, permitiendo la conexión de dispositivos adicionales o la expansión de la capacidad de comunicación entre los puertos maestros y esclavos existentes.

Figura 45

Puertos seriales



3.1.5. Tramas de comunicación

La trama de comunicación Modbus RTU del sistema se puede visualizar en la Figura 46-47. Con el apoyo de la herramienta Modbus Slave, se puede observar las variables de la pantalla principal del proceso.

Se observa la petición del maestro RX y la respuesta que emite el esclavo.

En la Figura 48, se aprecia la cantidad de datos que se realiza como petición para obtener y ser tratada, siendo un total de 20 para ser tratados los cuales se observa en la trama con el valor Hexadecimal de 14.

Figura 46

Trama de datos

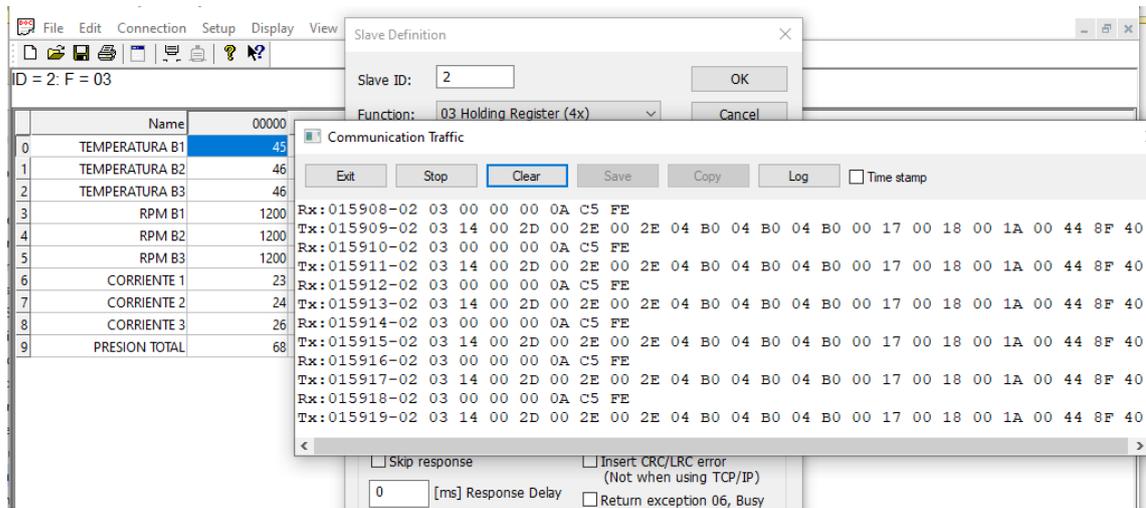


Figura 47

Petición y Transmisión de datos

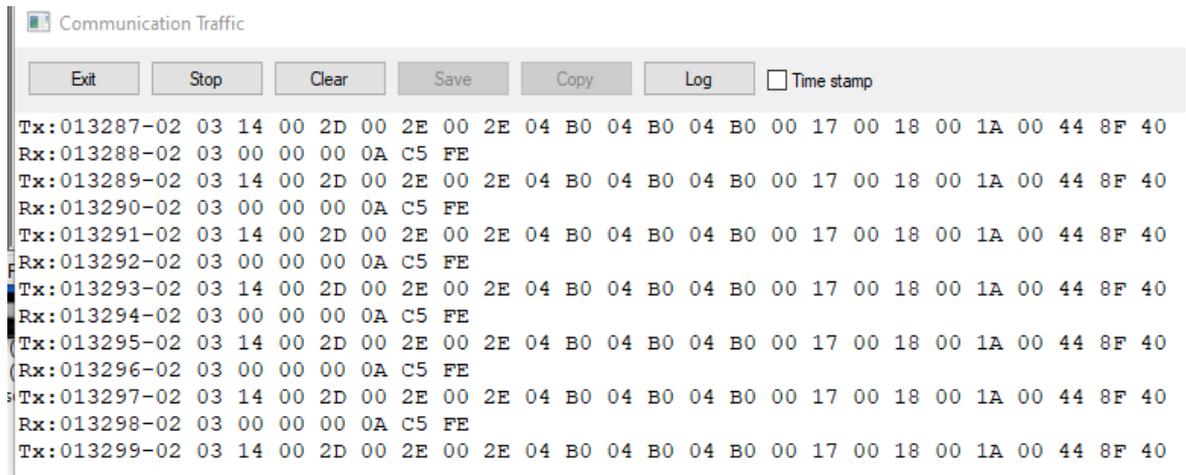


Figura 48

Petición número de datos

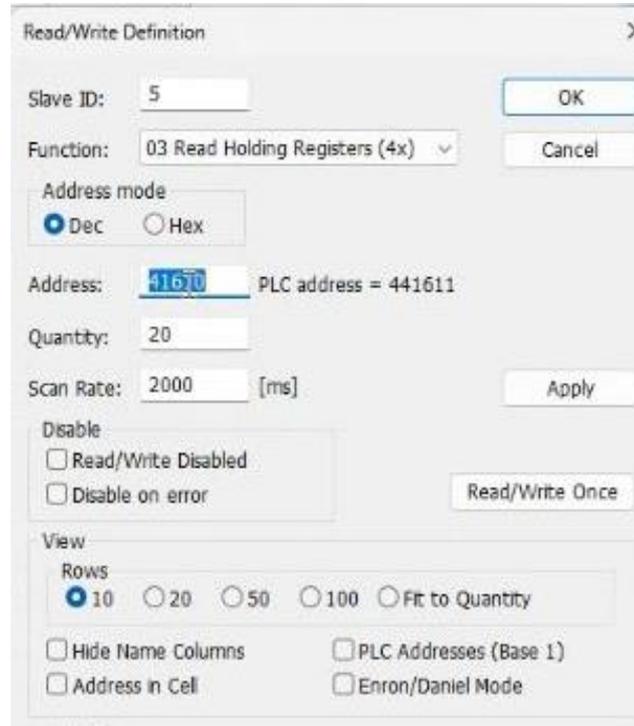


Figura 49

Identificación de la trama

```
Rx:015908-02 03 00 00 00 0A C5 FE  
Tx:015909-02 03 14 00 2D 00 2E 00 2E 04 B0 04 B0 04 B0 00 17 00 18 00 1A 00 44 8F 40
```

En la Figura 49, se observa la cadena de datos de petición y respuesta de la trama Modbus en código hexadecimal, se aprecia los datos de la cabecera de transmisión y los parámetros descritos en la Tabla 8.

Tabla 8*Descripción trama Modbus*

HEXADECIMAL	DECIMAL	DESCRIPCIÓN
02	02	Id
03	03	Id
14	20	Número de parámetros
2D	45	Temperatura bomba 1
2E	46	Temperatura bomba 2
2E	46	Temperatura bomba 3
04B0	1200	RPM bomba 1
04B0	1200	RPM bomba 2
04B0	1200	RPM bomba 3
17	23	Corriente bomba 1
18	24	Corriente bomba 2
1A	26	Corriente bomba 3
44	68	Presión del sistema

3.1.6. Datos válidos durante una transmisión

Para verificar la cantidad de datos válidos en la comunicación del sistema entre el maestro, el esclavo y el decodificador, se analizó la relación existente entre el tiempo de escaneo del proceso y la cantidad de valores que se obtuvieron. Los resultados indican que, a medida que aumenta el tiempo de escaneo, la proporción de datos recibidos no coincide con la totalidad de los procesados. Estos hallazgos se presentan en la Tabla 8 y se ilustran en la Figura 50. El análisis y pruebas de esta índole es necesario para

comprender las limitaciones y optimizar el rendimiento del sistema de comunicación, garantizando una mayor precisión y eficiencia en la transmisión de datos.

Figura 50

Pantalla principal



Figura 51

Velocidad de transmisión

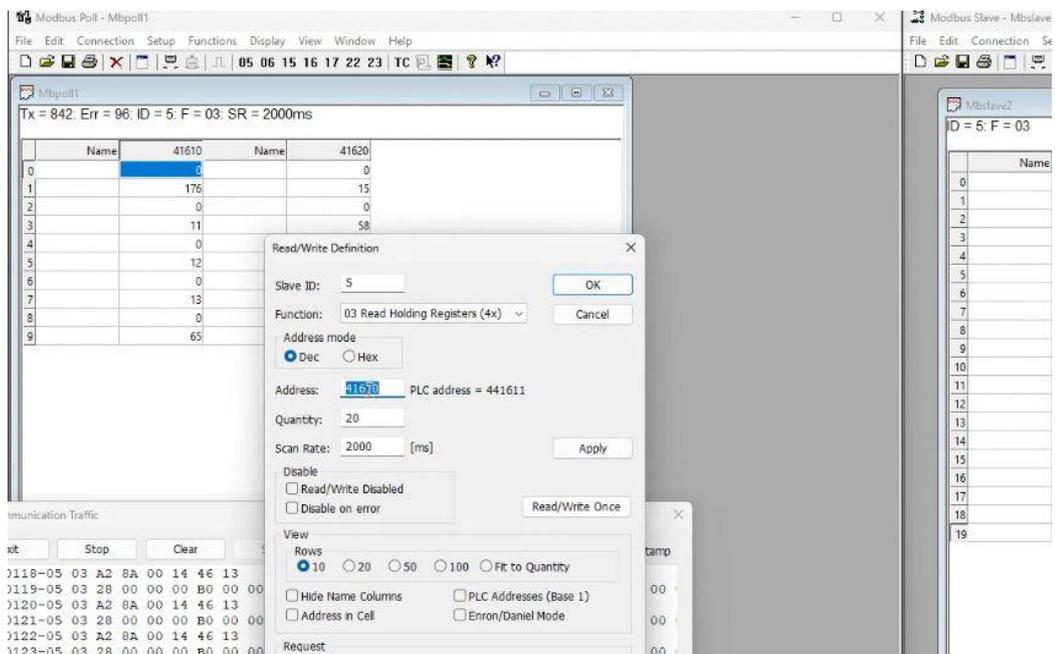


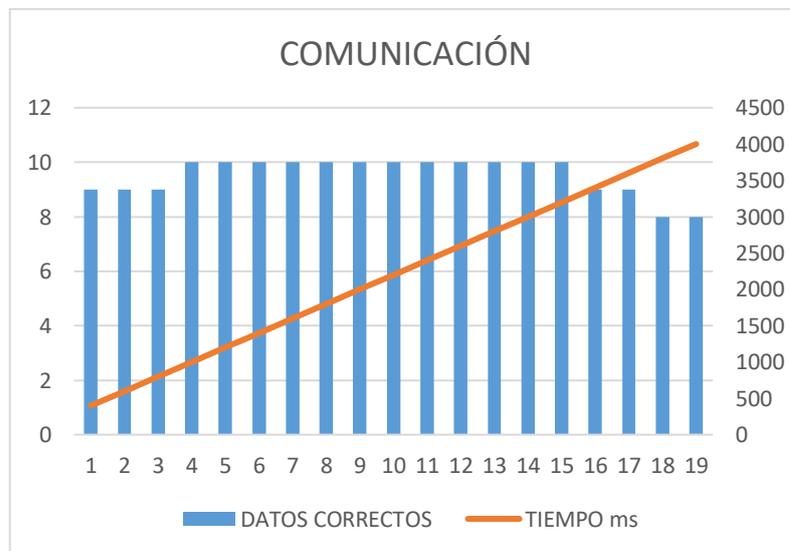
Tabla 9

Relación tiempo cantidad de datos recibidos

DATOS CORRECTOS	TIEMPO ms
9	400
9	600
9	800
10	1000
10	1200
10	1400
10	1600
10	1800
10	2000
10	2200
10	2400
10	2600
10	2800
10	3000
10	3200
9	3400
9	3600
8	3800
8	4000

Figura 52

Gráfico Relación tiempo cantidad de datos recibidos



3.1.7. Pruebas de Rendimiento

En la Figura 54 se observa el rendimiento del sistema, evidenciando que cada 10 segundos se produce un incremento significativo en la carga de trabajo del CPU. Este aumento en la actividad del CPU coincide con el intervalo en el que se solicita el procesamiento de la imagen. Durante este período, el sistema dedica una mayor cantidad de recursos a la obtención y tratamiento de la trama, lo cual es el paso más intensivo del proceso.

Figura 53

Pantalla de ejecución

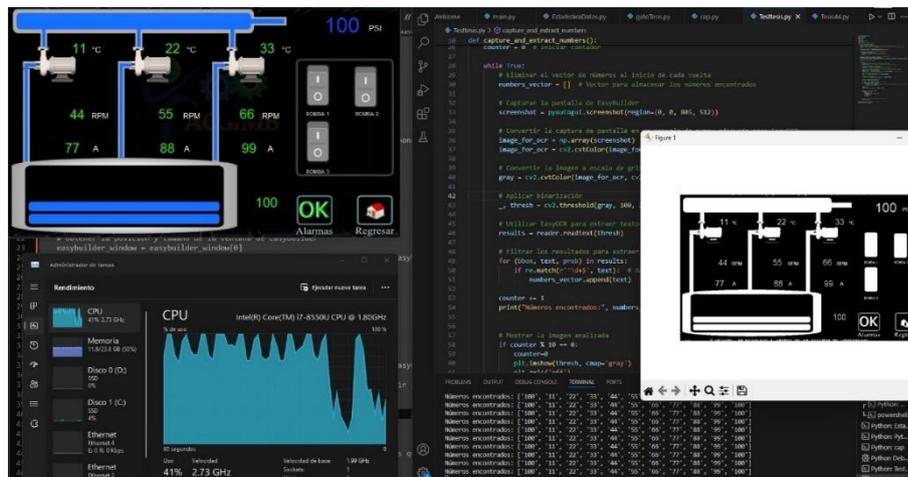
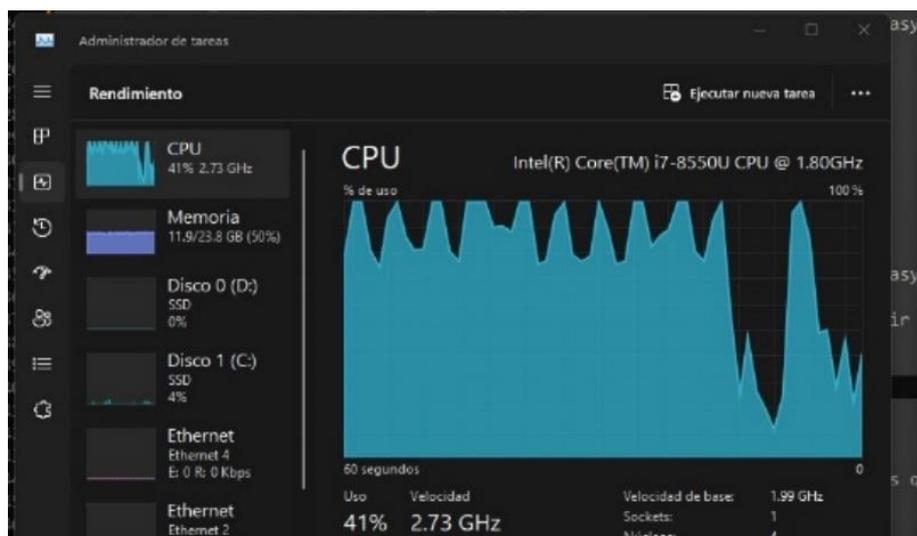


Figura 54

Rendimiento del CPU



CONCLUSIONES

- La implementación y el desarrollo de un sistema decodificador de mapas de memoria basado en convertidores de datos es una alternativa para el análisis de las variables que controlan y manipulan un proceso donde se encuentre implementada una interfaz de usuario.
- La identificación de las variables de control de una interfaz de usuario mediante técnicas de visión artificial permite obtener de manera los parámetros del proceso. La eficiencia de la extracción de datos depende mucho del desarrollo de las sentencias programadas y la lógica implementada dentro del algoritmo.
- La determinación del tamaño de las tramas a través del decodificador de datos facilita el diseño de la tabla de direcciones del proceso analizado.
- Para una lectura eficiente de los parámetros del sistema se debe considerar la velocidad de transmisión de los datos, de este factor dependerá la cantidad de información correcta para su posterior análisis.

RECOMENDACIONES

- Para Implementar un sistema de decodificación de datos, es necesario conocer la estructura y el funcionamiento de los distintos protocolos de comunicación implementados en los sistemas de automatización y control.
- Conocer bien el trabajo de las librerías dentro del lenguaje Python para aplicar de acuerdo con la necesidad
- Realizar una buena captura de la imagen a ser procesada para mejor obtención de las variables del sistema.
- Realizar un buen levantamiento de información en base a las necesidades del proyecto, para seleccionar de manera adecuada los dispositivos a implementar.
- Realizar pruebas modificando la velocidad de transmisión de datos, para identificar a cuantos milisegundos de envío y recepción se obtienen menos errores.
- Conocer la estructura de los protocolos de comunicación implementados en la automatización industrial, de esta forma se logrará interpretar de manera correcta los datos que se presentan en un proceso.

REFERENCIAS

- Morales, F., Haro, G., Escalona, M., & Toasa, R. (2019). Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos. *Revista Iberica de Sistemas y Tecnologia de Información*.
- Zapata, M., Topón-Visarrea, L., & Tipán, M.-V. (2021). *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*. Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica.
- Arias Borja, A. S. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de comunicación hardware/software para el PLC mmi-cpc02a y una pantalla TFT en la empresa ACSIMB Cia. Ltda* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Aboelhasan, M. O. (2022). *South Florida Journal of Development*. Miami: Edilson Antonio Catapan.
- Acharya Vikas, S. K. (2017). *Analyzing the factors in industrial automation using analytic*. *Computers and Electrical Engineering*.
- ALCALDE SAN MIGUEL, P. (2022). *Electrónica*. España: Parainfo.
- Armadeu, V. (2019). *Comunicação Master-slave Com Poe Modbus Tcp/ip Com Base No Módulo Em100, Pic18f2520, Xc8 E Visual C#*. Club de autores.
- Arnwine, U. (2021). *Programming PLC And HMI for Sensors Automation*. Independently Published.
- Bartolomé, J. (2011). *El protocolo MODBUS*. El protocolo MODBUS.
- Belomonte, L. P. (2020). *Comunicaciones industriales y WinCC*. Marcombo.
- CASADOMO. (10 de 09 de 2021). *Casadomo.com*. Obtenido de *Casadomo.com*: <https://www.casadomo.com/>
- Crespo, L., & Candelas, F. (1998). *INTRODUCCIÓN A TCP/IP*. Alicante: Espagrafic.
- Dominguez, T. (2021). *Sinopsis de VISION ARTIFICIAL. APLICACIONES PRACTICAS CON OPENCV - PYTHON*. Marcombo.
- Es, Escaño, J., García, J., & Nuevo, A. (2019). *Integración de Sistemas de Automatización Industrial*. Madrid.

- Garcia Moreno, E. (2001). AUTOMATIZACIÓN DE. En G. M. Emilio, ROBÓTICA Y AUTOMÁTICA. Valencia: Byprint Percom.
- Hajda, J., Jakuszcwski, R., & Ogonowski, S. (2021). Security Challenges in Industry 4.0 PLC Systems. Department of Measurements and Control Systems, Silesian University of Technology.
- Herath, Ariyathunge, & Priyankara. (2020). Development of a Data Acquisition and Monitoring. International Journal of Innovative Science and Research Technology.
- HERRERO, M., & LOPEZ, A. (2017). PROTOCOLOS Y SEGURIDAD DE RED EN INFRAESTRUCTURAS SCI. INCIBE.
- Hurtado, A. (2024). Verdades que duelen pero que Transforman en la Industria 4.0. Automatización Industrial EYUMUC.
- Jimenez, M. (2020). Protocolo Modbus. En U. P. Electrónica, Comunicaciones Industriales (págs. 2-10). Cartagena.
- Johnson, J., Fox, B., Kaur, K., & Anandan, J. (2021). Evaluation of Interoperable Distributed Energy Resources to IEEE 1547.1 Using SunSpec Modbus, IEEE 1815, and IEEE 2030.5. IEEE Xplore, 9, 142129-142146. doi:doi:10.1109/ACCESS.2021.3120304
- Mellado, J., & Núñez, F. (2022). Design of an IoT-PLC: A containerized programmable logical controller for the industry 4.0. Journal of Industrial Information Integration.
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2023). El futuro de la interfaz hombre-máquina (HMI) en la sociedad 5.0. Internet de las Cosas y Sistemas Ciberfísicos II.
- Nebojsa, M. (2001). Introduction to PLC controllers, for beginners too!
- Perez, S. (2024). Comunicaciones Industriales. Marcombo.
- Phillips, B., Gamess, E., & Krishnaprasad, S. (2020). An Evaluation of Machine Learning-based Anomaly Detection in a SCADA System Using the Modbus Protocol. In Proceedings of the 2020 ACM Southeast Conference, 188-196. doi:https://doi.org/10.1145/3374135.3385282

Rodriguez, R., Marrone, S., Ibai, M., & Giuseppe, P. (2023). MOSTO: A toolkit to facilitate security auditing of ICS devices using Modbus/TCP. *Computers & Security*.

Rodríguez, R., Marrone, S., Marcos, I., & Porzio, G. (2023). MOSTO: A toolkit to facilitate security auditing of ICS devices using Modbus/TCP. *Computers & Security*.

Salodkar, P., Nandanwar, S., & Sawarkar, S. (2023). Communication between Energy Meters and PLC Based on Modbus Protocol. *IEEE XPLORE*.

Santa Maria Pinedo, J. C. (2021). Reconocimiento de patrones de imágenes a través de un sistema de visión artificial en MATLAB. *Revista Científica de Sistemas e Informática*, <https://doi.org/10.51252/rcsi.v1i2.131>.

Schneider, E. (2024). Schneider Electric corporate Website. Obtenido de Compact NSX Modbus Comm Guide: <https://www.se.com/ww/en/>

SENSOCAR. (2020). MANUAL MODBUS. En Sensocar.

Sistemas industriales distribuidos. (s.f.).

Valdivia Miranda, C. (2019). *Comunicaciones Industriales*. Madrid.

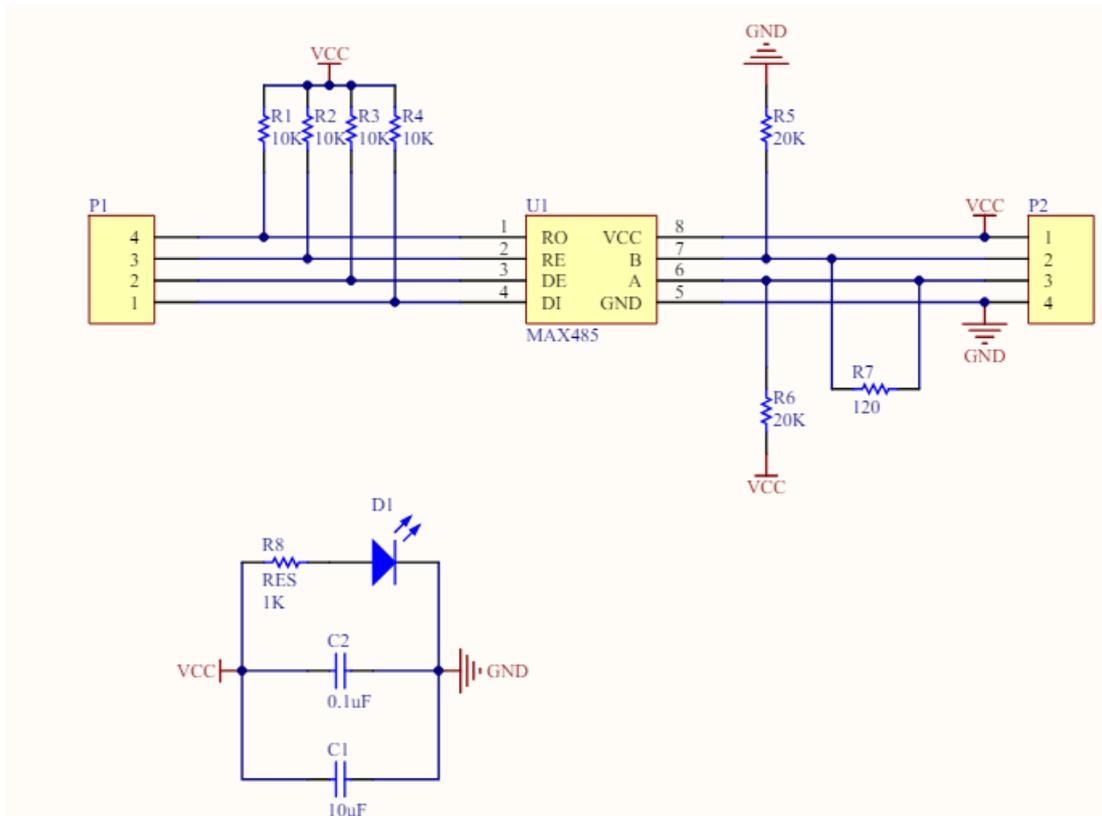
Valdivia, C. (2019). *Comunicaciones Industriales*. MADRID: Paraninfo.

Valero, G. S. (29 de agosto de 2020). SEAS, Estudios Superiores Abiertos. Obtenido de <https://www.seas.es/blog/>

ANEXOS

Anexo 1

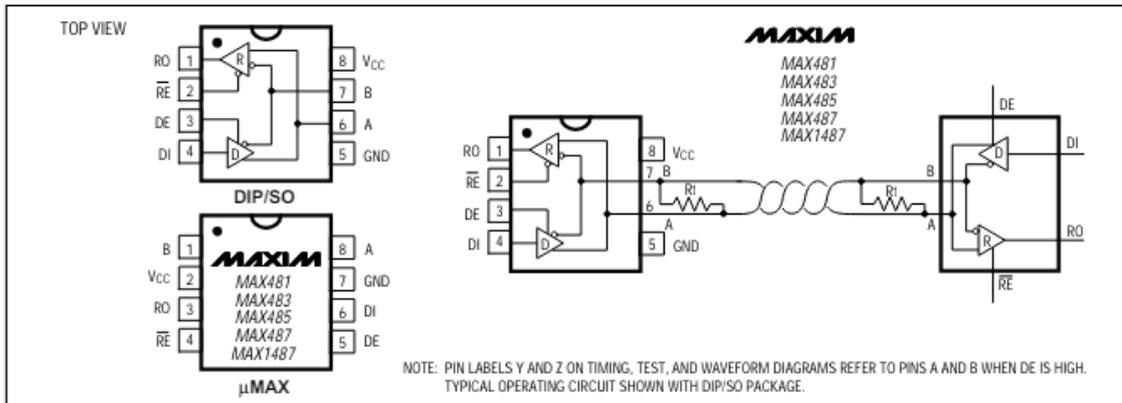
Esquema eléctrico C.I. MAX485



Nota: AV Electronics (2011), Esquema eléctrico C.I. MAX485, Adaptado de: LC Studio.

Anexo 2

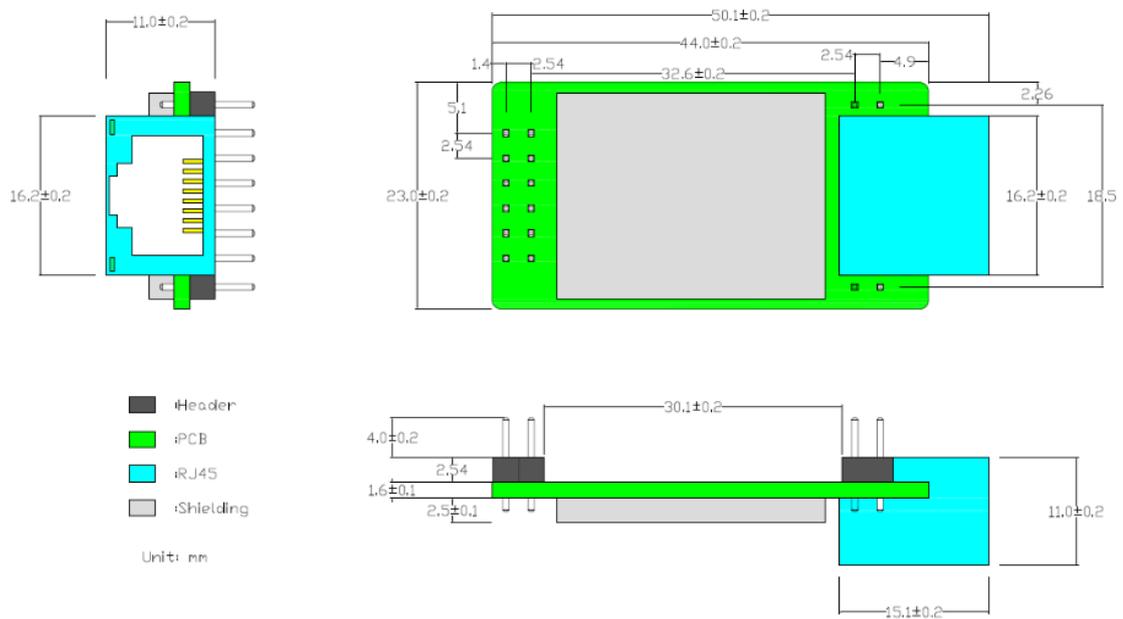
Configuración C.I. MAX485



Nota: MAXIM, Configuración C.I. MAX485, Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers, Adaptado de Maxim Integrated Products

Anexo 3

Eport Pro-EP20 Dimensiones



Nota: Workshop (2024), Dimensiones del módulo, Adaptado de: Eport Pro-EP20 Super Port Manual

Anexo 4

Características HMI



MT8070iE

Panel PC with 7" TFT Display



◆ Features

- **Hazardous UL Class I Div 2**
- 7" 800 x 480 TFT LCD, LED Backlight
- Fan-less Cooling System
- COM1 and COM3 RS-485 dual isolation design ensures reliable operation in complex grounding application
- COM1 and COM3 RS-485 2W support MPI 187.5K, please use one at one time
- PCB coating process ensures high reliability to resist from corrosion in harsh environment
- NEMA4 / IP65 Compliant Front Panel

Display	Display	7" TFT
	Resolution	800 x 480
	Brightness (cd/m ²)	400
	Contrast Ratio	500:1
	Backlight Type	LED
	Backlight Life Time	>30,000 hrs.
	Colors	16.7M
LCD Viewing Angle (T/B/L/R)		70/60/70/70
Touch Panel	Type	4-wire Resistive Type
	Accuracy	Active Area Length(X)±2%, Width(Y)±2%
Memory	Flash	128 MB
	RAM	128 MB
Processor		32 bits RISC Cortex-A8 600MHz
	SD Card Slot	N/A
	USB Host	USB 2.0 x 1
I/O Port	USB Host	USB 2.0 x 1
	USB Client	N/A
	Ethernet	10/100 Base-T x 1
	COM Port	COM1: RS-232/RS-485 2W/4W COM3: RS-485 2W
	RS-485 Dual Isolation	Yes
	CAN Bus	N/A
	HDMI	N/A
	Audio Output	N/A
RTC	Video Input	N/A
		Built-in
Power	Input Power	24±20% VDC
	Power Isolation	N/A
	Power Consumption	350mA@24VDC
	Voltage Resistance	500VAC (1 min.)
	Isolation Resistance	Exceed 50MΩ at 500VDC
	Vibration Endurance	10 to 25Hz (X, Y, Z direction 2G 30 minutes)
Specification	PCB Coating	Yes
	Enclosure	Plastic
	Dimensions WxHxD	200.3 x 146.3 x 34 mm
	Panel Cutout	192 x 138 mm
	Weight	Approx. 0.6 kg
	Mount	Panel mount
Environment	Protection Structure	UL Type 4X (indoor use only) / NEMA4 / IP65 Compliant Front Panel
	Storage Temperature	-20° ~ 60°C (-4° ~ 140°F)
	Operating Temperature	0° ~ 50°C (32° ~ 122°F)
	Relative Humidity	10% ~ 90% (non-condensing)
Certificate	CE	CE marked
	UL	cULus Listed – Class I Div 2
Software		EasyBuilder Pro V3.00.01 or later versions

Nota: Slicetex Electronics (2024), Características de HMI Modelo 8070iE, Adaptada de: Weintek MT8070iE1 DataSheet ENG