



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD
PROPUESTA TECNOLÓGICA

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE
PARÁMETROS DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA EN TIEMPO REAL
USANDO GATEWAY IOT**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico

Autor:

Esteban Fernando Zambrano Cajias

Tutor Académico:

Ms.C Jessica Nataly Castillo Fiallos

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto - 2023



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **ZAMBRANO CAJIAS ESTEBAN FERNANDO** declaro ser autor de la siguiente Propuesta Tecnológica: “**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE PARÁMETROS DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA EN TIEMPO REAL USANDO GATEWAY IOT**”, siendo la **Ing. CASTILLO FIALLOS JESSICA NATALY**, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Zambrano Cajias Esteban Fernando

C.C. 050293521-6



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad del Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE PARÁMETROS DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA EN TIEMPO REAL USANDO GATEWAY IOT”, de **ZAMBRANO CAJIAS ESTEBAN FERNANDO**, de la carrera de Ingeniería en Electricidad, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos–técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto,2023

Tutor

Ing. Castillo Fiallos Jessica Nataly M. Sc.
C.C. 060459021-6



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: **ZAMBRANO CAJIAS ESTEBAN FERNANDO** con el título de Proyecto de titulación: “**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE PARÁMETROS DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA EN TIEMPO REAL USANDO GATEWAY IOT**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto, 2023

Para constancia firman:

Lector 1 (presidente)

Ing. Corrales Bastidas Byron Paul M. Sc.
CC: 050234776-8

Lector 2

Ing. León Segovia Marco Anibal M.S.c
CC: 050230540-2

Lector 3

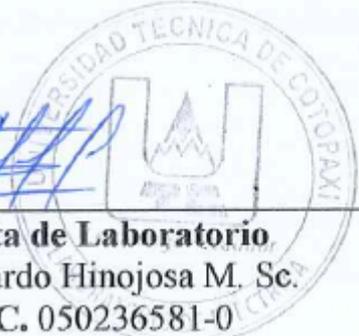
Ing. Salazar Achig Edgar Roberto M.Sc.
CC: 050284761-9



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de Analista de laboratorio de la Facultad Ciya de la Universidad Técnica de Cotopaxi certificado que mediante al proyecto tecnológico **“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE PARÁMETROS DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA EN TIEMPO REAL UTILIZANDO GATEWAY IOT”** del señor **ZAMBRANO CAJIAS ESTEBAN FERNANDO**, realiza la entrega del prototipo para el monitoreo y control de un variador de frecuencia en tiempo real utilizando Gateway IoT, para el laboratorio de Automatización y Control Industrial de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, agosto 2023



Analista de Laboratorio
Ing. Eduardo Hinojosa M. Sc.
C.C. 050236581-0



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida y la sabiduría necesaria para culminar con éxito esta etapa Universitaria, a la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas para formarme profesionalmente, a mis docentes que con su esfuerzo y dedicación me prepararon para enfrentarme sin miedo al mundo laboral.

A Sandy que día a día me impulsaba a no desmayar y seguir con mi objetivo.

De igual manera expreso mi agradecimiento a mi tutora la Ing Jessica Castillo por su paciencia y su guía que fue importante para la finalización del presente trabajo, Por último, quiero agradecer a la Ing Paulina Freire quien me apoyo incondicionalmente en toda mi etapa universitaria

Esteban Zambrano



DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mi hijo Stefano que ha sido mi motor y mi inspiración en los momentos cuando me quería dar por vencido, a mis padres Anita y Diego que con gran esfuerzo me supieron educar con sus valores y ejemplo apoyándome incondicionalmente para perseguir mi sueño a pesar de la distancia, de la misma manera a mis hermanos Edison, Diego y Douglas que siempre estuvieron acompañándome en cada momento.

A mi querida Abuelita Norma quien día tras día me brindo su aliento durante toda mi etapa estudiantil sin esperar nunca nada a cambio.

Por último, a mis tíos Joana y Xavier que me impulsaron a seguir adelante y fueron mi soporte cuando más los necesite, y a toda mi familia que con un granito de arena contribuyeron a este gran logro, agradezco profundamente su presencia en cada paso de este camino.

Esteban Zambrano



ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	v
INFORMACIÓN GENERAL	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. EL PROBLEMA	2
1.1.1. Situación Problémica.....	2
1.1.2. Formulación del problema.....	2
1.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DOCUMENTAL.....	2
1.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	4
1.4. BENEFICIARIOS	4
1.4.1. Beneficiarios directos	4
1.4.2. Beneficiarios indirectos	4
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.6. HIPÓTESIS	6
1.7. OBJETIVOS.....	6
1.7.1. Objetivo General.....	6
1.7.2. Objetivos Específicos	6
SISTEMA DE TAREAS	7
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. VARIADOR O CONTROLADOR DE FRECUENCIA.....	8



2.1.1.	Variador de frecuencia.....	8
2.1.2.	Campos de aplicación Típicos.....	9
2.2.	QUE ES EL IOT.....	9
2.2.1.	Como Funciona el IoT.....	10
2.2.2.	Que es un Gateway IoT.....	10
2.2.3.	Arquitectura de la IoT.....	11
2.2.4.	Funcionamiento de un Gateway IoT.....	13
2.2.5.	Funciones básicas y avanzadas del Gateway IOT.....	13
2.2.6.	Funciones Avanzadas de la IoT.....	14
2.2.7.	Ventajas y Desventajas de utilizar un IoT.....	15
2.3.	SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL.....	15
2.3.1.	Mejora la eficiencia Energética de los Dispositivos IoT.....	16
2.3.2.	Resistencia a los Entornos más Duros e Industriales.....	17
2.4.	EJEMPLO Y APLICACIONES DE LA PASARELA IOT.....	17
2.4.1.	Comunicación Inalámbrica Iot.....	17
2.4.2.	Redes área amplia de baja potencia LPWAN.....	19
2.4.3.	Tecnologías de comunicación para IoT.....	19
2.5.	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL.....	20
2.6.	MOTORES ELÉCTRICOS.....	21
2.6.1.	Motores de Inducción.....	21
2.6.2.	Operación del motor.....	22
2.6.3.	Motores de inducción de rotor bobinado.....	23
2.6.4.	Motor Eléctrico de Inducción Monofásico.....	23
2.6.5.	Motor Eléctrico de Inducción Trifásico.....	24



2.7.	MATERIALES Y METODOLOGÍAS	24
3.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	2
3.1.1.	Método investigativo	2
3.1.2.	Método Descriptivo	2
3.1.3.	Método Experimental	2
3.2.	METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DEL PROTOTIPO	2
3.3.	EQUIPOS UTILIZADOS	5
3.3.1.	Variador de frecuencia SV-iG5A de LS Industrial Systems	5
3.3.2.	Arquitectura de red virtual o puerta de enlace de VNet	6
3.3.3.	Características de V-BOX E Series	7
3.3.4.	Configuración del Variador de frecuencia SV-iG5A de LS Industrial Systems ..	8
3.3.5.	Configuración de V-BOX E	8
3.4.	NORMATIVAS	11
3.4.1.	Normativa de la interfaz gráfica ANSI/ISA-101.01-2015.....	11
3.4.2.	Normativa de comunicación Profibus IEC 61158/EN 50170	11
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	2
4.1.	CONEXIONES PARA EL PROTOTIPO	2
4.2.	VARIABLES PARA EL CONTROL Y MONITOREO	2
4.3.	CONTROL Y MONITOREO USANDO GATEWAY IOT	3
4.4.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	3
4.5.	LÍNEAS DE TENDENCIA PARA EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA .	4
4.5.1.	Pruebas de funcionamiento a distinta frecuencia para identificar el consumo de energía	4



4.6.	PRUEBA DEL MOTOR SIN CARGA.....	5
4.7.	LÍNEAS DE TENDENCIA SIN CARGA	5
4.8.	LÍNEAS DE TENDENCIA CON CARGA	6
4.8.1.	Línea de tendencia de la corriente	7
4.8.2.	Línea de Tendencia del voltaje.....	8
4.8.3.	Comparación del Error Calculado con Carga y sin Carga	9
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	2
5.1.	CONCLUSIONES.....	2
5.2.	RECOMENDACIONES	2
6.	REFERENCIAS	2
7.	ANEXOS	2
7.1.	INFORME ANTIPLAGIO PROYECTO DE TITULACIÓN	2



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características Básicas.	14
Tabla 2.2 Funciones Avanzadas.	14
Tabla 2.3 Ventajas y desventajas de IoT [20].	15
Tabla 2.4 Tecnologías de comunicación para IoT [28].	20
Tabla 2.5 Protocolos de comunicación en tiempo real [18].	21
Tabla 3.6 Comando de Accionamiento (en Binario) y (En Decimal)	10
Tabla 3.7 Aspectos importantes de la normativa ANSI/ISA-101.01-2015	11
Tabla 4.8 Resultados del consumo de energía.....	4
Tabla 4.9 Variación de la Energía Medida y Calculada.....	6
Tabla 4.10 Datos para el análisis con carga.....	6
Tabla 4.11 Datos de la IoT y el Amperímetro.....	7
Tabla 4.12 Error Porcentual de la corriente calculada.....	8
Tabla 4.13 Porcentaje de error del voltaje calculado.....	9
Tabla 4.14 Comparación del error.....	9



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Variador de frecuencia.	8
Fig. 2.1 Conexión del Variador de Frecuencia.	9
Fig. 2.3 Funcionamiento IoT.	10
Fig. 2.4 Gateway IoT.	11
Fig. 2.5 Arquitectura de 3 niveles.	12
Fig. 2.6 Arquitectura de 3 y 5 niveles.	12
Fig. 2.7 Funcionamiento de un Gateway IoT.	13
Fig. 2.8 Evolución de las redes de comunicación.	18
Fig. 2.9 Motor de Inducción.	22
Fig. 2.10 . Forma de onda de un sistema trifásico.	22
Fig. 2.11 Motor de inducción rotor bobinado Corporación Eléctrica Westinghouse.	23
Fig. 2.12 Partes principales de un motor de inducción monofásico.	24
Fig. 2.13 Motor de inducción trifásico.	24
Fig. 3.14 Metodología para el diseño del prototipo.	3
Fig. 3.15 La metodología para el control y supervisión de datos IOT	4
Fig. 3.16 Diagrama de flujos del desarrollo del entorno de control y supervisión de datos	5
Fig. 3.17 Variador de frecuencia SV-iG5A.	6
Fig. 3.18 Arquitectura de V-NET.	7
Fig. 3.19 V-BOX E.	8
Fig. 3.20 Configuración del Variador de frecuencia SV-iG5A.	8
Fig. 3.21 Diagrama de Fulo de la configuración de V-BOX E	9
Fig. 3.22 Crear un canal de comunicación para el VDF.	10
Fig. 3.23 Comunicación Profibus IEC 61158/EN 50170.	12
Fig. 4.24 Conexión del V-BOX al Variador de frecuencia.	2
Fig. 4.25 Variables de control y monitoreo	3
Fig. 4.26 Interfaz gráfica del control y monitoreo de datos usando Gateway IOT	3
Fig. 4.27 Interfaz gráfica del control y monitoreo de datos usando Gateway IOT	4
Fig. 4.28 Voltaje y corrientes medidos en función del tiempo IoT	5
Fig. 4.29 Línea de tendencia de la Energía.	5
Fig. 4.30 Corriente en IoT vs Corriente en el Amperímetro 7	7



Fig. 4.31 Voltaje IoT vs Voltaje Variador de Frecuencia 8



ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1 Características del variador de frecuencia SV-iG5A
- Anexo 2 Direccionamiento para el registro de VNET
- Anexo 3 Datos para crear una variable del interfaz
- Anexo 4 Interfaz principal del monitoreo y control IOT
- Anexo 5 Características eléctricas del motor utilizado
- Anexo 6 Motor de prueba sin carga
- Anexo 7 Motor de prueba con carga
- Anexo 8 Prueba de funcionamiento a 10 Hz
- Anexo 9 Pruebas de funcionamiento a 20 Hz
- Anexo 10 Pruebas de funcionamiento a 30 Hz
- Anexo 11 Pruebas de funcionamiento a 40 Hz
- Anexo 12 Pruebas de funcionamiento a 50 Hz
- Anexo 13 Pruebas de funcionamiento a 60 Hz
- Anexo 14 Datos de la corriente medida en la IoT vs la corriente medida en la pinza amperimétrica parte 1
- Anexo 15 Datos de la corriente medida en la IoT vs la corriente medida en la pinza amperimétrica parte 2
- Anexo 16 Datos medidos de voltaje en la IoT y en el Variador de frecuencia parte 1
- Anexo 17 Datos medidos de voltaje en la IoT y en el Variador de frecuencia parte 2
- Anexo 18 Porcentaje de Error de los voltajes medidos
- Anexo 19 Diagrama del prototipo
- Anexo 20 Conexión del variador de frecuencia
- Anexo 21 Manual de Usuario V-Box

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE PARÁMETROS DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA EN TIEMPO REAL USANDO GATEWAY IOT”

Autor: Zambrano Cajias Esteban Fernando

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se centró en la implementación del prototipo, basado en la tecnología Gateway IoT para el monitoreo y control en tiempo real de un variador de frecuencia en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Para el desarrollo práctico se utilizó la comunicación Modbus RS 485 la cual permite la comunicación IoT de los equipos. Además, en la plataforma V-Net se configura las variables a ser medidas, en este caso son: el voltaje, la corriente y la frecuencia, para establecer datos históricos los cuales pueden ser utilizados para determinar líneas de tendencia. Adicional el operador tiene acceso a la cuenta V-Box para el tratamiento de la información.

Para el funcionamiento el usuario ingresa la frecuencia y el sentido de giro del motor, los mismos pueden estar definidos de forma decimal o mediante los botones de control. Una vez en funcionamiento se puede visualizar en la interfaz el comportamiento de todos los equipos y elementos instalados en el sistema eléctrico, el cual permiten al usuario controlar y monitorear los diferentes dispositivos en este caso el variador de frecuencia IG5-A. El análisis de resultados se realizó a través de una comparación de datos entre el prototipo de control y monitoreo IOT en relación a valores medidos con la pinza amperimétrica en el sitio dando un resultado satisfactorio en las medidas, con un porcentaje de error del 0.25% en relación a la corriente sin carga y del 0.16% con carga aplicada.

Palabras claves: Gateway, IoT, V-Box, V-Net, monitoreo y control, variador de frecuencia.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: "DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE FOR THE MONITORING AND CONTROL OF PARAMETERS OF A VARIABLE FREQUENCY DRIVE IN REAL TIME USING IOT GATEWAY".

Author: Zambrano Cajias Esteban Fernando

ABSTRACT

This research aims to implement a prototype based on Gateway IoT technology for real-time monitoring and control of a variable frequency drive in the laboratories of the Technical University of Cotopaxi. It used Modbus RS 485 communication for practical development, which allows IoT communication of the equipment. In addition, we configured the calculated variables in the V-Net platform, in this case: voltage, current, and frequency, to establish historical data to determine trend lines. Additionally, the operator has access to the V-Box account for data processing.

For the operation, the user enters the frequency and the direction of motor rotation, in decimal format or using the control buttons. The interface, which enables the user to operate and monitor the various devices, in this case, the IG5-A frequency inverter, can be used to visualize the behavior of all the equipment and elements installed in the electrical system once it is operational. We compare the IOT control and monitoring prototype about values measured with the ammeter clamp on site as a result we get good results in the measurements, with an error percentage of 0.25% about the current without load and 0.16% with load applied.

Keywords: Gateway, IoT, V_Box, Interface, Monitoring, Control, Drive

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE PARÁMETROS DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA EN TIEMPO REAL USANDO GATEWAY IOT”** presentado por: **Zambrano Cajias Esteban Fernando**, egresado de la Carrera de: **Ingeniería en Electricidad**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, agosto del 2023

Atentamente,

TANIA
ELIZABETH
ALVEAR
JIMENEZ

Firmado
digitalmente por
TANIA ELIZABETH
ALVEAR JIMENEZ
Fecha: 2023.08.18
08:56:38 -05'00'



CENTRO
DE IDIOMAS

Mg. Tania Elizabeth Alvear
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0503231763

INFORMACIÓN GENERAL

Título: Desarrollo de un prototipo para el monitoreo y control de un variador de frecuencia en tiempo real usando Gateway IOT.

Fecha de inicio: 10/04/2023

Fecha de finalización: 14/08/2023

Lugar de ejecución: Universidad Técnica De Cotopaxi

Facultad que auspicia: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

Carrera que auspicia: Carrera de Ingeniería en Electricidad

Equipo de Trabajo:

Tutor de Titulación: Ms.C. Castillo Fiallos Jessica Nataly

Correo institucional: jessica.castillo@utc.edu.ec

Nombre y apellido: Zambrano Cajias Esteban Fernando

Correo institucional: esteban.zambrano5216@utc.edu.ec

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0714 Electricidad y Energía.

Línea de investigación: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Control y optimización en el uso de la energía del sector Industrial, comercial y residencial

1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL PROBLEMA

1.1.1. Situación Problemática

La falta de monitoreo en tiempo real puede generar problemas en la detección temprana de fallas y mantenimiento preventivo, lo que puede resultar en costos adicionales por reparaciones y tiempo de inactividad de los equipos. En este sentido, diferentes estudios han demostrado la importancia del monitoreo en tiempo real de equipos industriales para mejorar la eficiencia y la seguridad en la operación. Por ejemplo, en [1] se aborda la importancia del uso de tecnologías IoT para el monitoreo y control en tiempo real de equipos industriales, lo que permite mejorar la productividad y disminuir los costos de operación.

En el caso específico de los variadores de frecuencia, existen investigaciones que han demostrado la importancia del monitoreo y control en tiempo real para mejorar la eficiencia en la operación de motores eléctricos y reducir el consumo de energía. En [2] se muestra cómo el monitoreo en tiempo real de motores eléctricos a través de una red de sensores inalámbricos ayudó a mejorar la eficiencia energética y reducir los costos de mantenimiento. Por lo tanto, es necesario el desarrollo del prototipo para el monitoreo y control de un variador de frecuencia en tiempo real usando Gateway IOT.

1.1.2. Formulación del problema

¿Cómo desarrollar un prototipo para monitorear y controlar en tiempo real un variador de frecuencia, utilizando Gateway IOT para detección temprana de fallas aplicando líneas de tendencia?

1.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DOCUMENTAL

El monitoreo y control de variadores de frecuencia (VFD) mediante el uso de tecnologías IoT ha sido objeto de investigación en todo el mundo. Los VFD se utilizan ampliamente en diversas industrias para controlar la velocidad y el torque de los motores eléctricos. La implementación de tecnologías IoT en los sistemas de control y monitoreo de VFD permite mejorar la eficiencia, reducir costos y aumentar la productividad.

En la literatura se han reportado diversos casos de estudio en los que se han utilizado tecnologías IoT para el monitoreo y control de VFD. Por ejemplo, en un estudio llevado a cabo en China denominado “Monitoreo de acondicionamiento del motor basado en IoT con la ayuda

de un variador de frecuencia”, se desarrolló un sistema de monitoreo y control de VFD mediante la utilización de sensores IoT y algoritmos de análisis de datos en tiempo real [3]. En otro estudio llevado a cabo en Japón, se utilizó un Gateway IoT para el monitoreo y control de un VFD en un sistema de calefacción centralizado.

En Europa, también se han llevado a cabo investigaciones para el monitoreo y control de VFD mediante tecnologías IoT. En un estudio llevado a cabo en Alemania, se desarrolló un sistema de monitoreo y control de VFD mediante la utilización de un Gateway IoT y una plataforma en la nube para el análisis de datos [3]. En otro estudio llevado a cabo se basa en el uso de controladores lógicos programables para el control de procesos industriales y su comunicación inalámbricas en el sector industrial [4].

En suiza, se publicó un artículo de un sistema de monitoreo y control remoto para variadores de frecuencia basado en tecnología IoT (Internet de las cosas, por sus siglas en inglés). El sistema propuesto utiliza sensores y actuadores para adquirir datos del variador de frecuencia y enviarlos a una plataforma en la nube, desde donde se pueden monitorear y controlar en tiempo real a través de una interfaz web. Además, el sistema también incluye una función de análisis de datos que permite identificar patrones y tendencias en el comportamiento del variador de frecuencia [5].

Los autores realizan pruebas del sistema propuesto en un ambiente de laboratorio, demostrando su eficacia para monitorear y controlar variadores de frecuencia en tiempo real. También discuten la importancia de la implementación de tecnologías IoT en la industria para mejorar la eficiencia y la productividad [5].

En India se propone un sistema de control en tiempo real para variadores de frecuencia en motores de inducción utilizando la tecnología IoT. El sistema propuesto utiliza un microcontrolador y una conexión inalámbrica para el monitoreo y control remoto de los variadores de frecuencia. Los autores realizaron pruebas del sistema en un motor de inducción y demostraron su eficacia en la mejora del rendimiento y la eficiencia energética del motor [6].

En el Ecuador, se han realizado algunas investigaciones sobre la aplicación de tecnologías IoT en el monitoreo y control de variadores de frecuencia. Según [7] se desarrolló un sistema de monitoreo y control de un variador de frecuencia para un sistema de sistema de bombeo controlado y una plataforma en la nube [1]. Los resultados del estudio mostraron que el sistema desarrollado permitió mejorar la eficiencia energética del sistema de bombeo controlado.

En otro estudio llevado a cabo en la ciudad de Guayaquil, se desarrolló un sistema de monitoreo y control de un variador de frecuencia mediante la utilización de tecnologías IoT para mejorar la eficiencia operación y mantenimiento de una planta [8]. Los estudios y proyectos realizados en el Ecuador demuestran que la aplicación de tecnologías IoT en el monitoreo y control de variadores de frecuencia puede tener un impacto significativo en la eficiencia energética, reducción de costos y aumento de la vida útil de los equipos en diversas industrias.

Algunas de las referencias que se pueden incluir en los antecedentes a nivel del Ecuador son:

En [9] se implementó un sistema utilizando equipos industriales como el Sentron PAC3220, Simatic IoT2040, HMI, que se enlazaron a través del protocolo de comunicación Modbus TCP/IP y permitieron visualizar las diversas variables eléctricas bajo estudio, como voltaje, corriente, potencia y frecuencia, a través de la plataforma Node-red que aloja a Ubidots en la nube. También se utilizó la pasarela IoT para la comunicación con la red Ethernet mediante software de almacenamiento de datos.

1.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

330000 Ciencias Tecnológicas /3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 3306.05 Aplicaciones Eléctricas

1.4. BENEFICIARIOS

1.4.1. Beneficiarios directos

Universidad Técnica de Cotopaxi y postulante

1.4.2. Beneficiarios indirectos

Estudiantes y empresas o industrias interesadas en el prototipo

1.5. JUSTIFICACIÓN

La implementación del Internet de las Cosas (IoT) en los sistemas de energía eléctrica ha demostrado un impacto significativo en la mejora de la eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad de los sistemas de energía. En Estados Unidos se desarrolló la investigación la cual afirma que el IoT puede mejorar la visibilidad de los activos, la gestión óptima de la generación distribuida, eliminar el desperdicio de energía y crear ahorros. Sin embargo, hay varios desafíos que deben abordarse para el éxito continuo de IoT en EPES. Por lo tanto, este proyecto propone el

desarrollo de un prototipo para el monitoreo y control en tiempo real de un convertidor de frecuencia utilizando una puerta de enlace IoT. El prototipo permitirá el monitoreo y control remoto, mejorando la eficiencia energética al optimizar el consumo de energía y proporcionando datos en tiempo real para una mejor comprensión del rendimiento [10].

En [11] propone una solución de control de voltaje/frecuencia para el monitoreo y control en tiempo real de un motor de inducción trifásico, utilizando un regulador antiwindup PI y el software Waijung Blockset. Este enfoque reduce el costo del sistema y simplifica su implementación. El enfoque de control propuesto en el artículo puede servir como base para el desarrollo del prototipo de variador de frecuencia de la tesis, y la implementación de IoT en el prototipo permitiría la captura y análisis de datos en tiempo real. En el Ecuador ha experimentado un crecimiento significativo en el uso de la tecnología de Internet de las cosas (IoT) en los últimos años. Según un informe de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) de Ecuador, la cantidad de dispositivos IoT conectados en el país se ha incrementado en un 41% entre 2018 y 2019.

Además, Ecuador se ha comprometido a reducir su consumo de energía y aumentar la eficiencia energética, y el monitoreo y control en tiempo real de los sistemas eléctricos es una de las formas más efectivas de lograrlo. El desarrollo de un prototipo para el monitoreo y control de un variador de frecuencia en tiempo real usando gateway IoT podría ayudar a mejorar la eficiencia energética en el país, al permitir un control más preciso del consumo de energía y la optimización de la generación distribuida [12].

El desarrollo de un prototipo para el monitoreo y control en tiempo real de un variador de frecuencia utilizando una puerta de enlace IoT va a ser de gran importancia para mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de energía en el Ecuador. Además, el país ha experimentado un crecimiento significativo en el uso de tecnología IoT en los últimos años y se ha comprometido a reducir su consumo de energía y aumentar la eficiencia energética. Por lo tanto, el desarrollo de este proyecto va a ser una contribución importante a los esfuerzos del país. Además, el enfoque de control propuesto en la investigación realizada en Túnez puede servir como base para el desarrollo del prototipo, lo que reduce el costo del sistema y simplifica su implementación.

1.6. HIPÓTESIS

La implementación del prototipo para el monitoreo y control del variador de frecuencia utilizando Gateway IOT, servirá para el análisis de las líneas de tendencia del consumo de energía eléctrica.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo para el monitoreo y control de un variador de frecuencia en tiempo real utilizando Gateway IOT.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información de la metodología adecuada para el desarrollo de la investigación del monitoreo y control de datos inalámbricos en tiempo real.
- Implementar un prototipo para el monitoreo y control en tiempo real del variador de frecuencia mediante la comunicación entre el Gateway.
- Analizar los datos obtenidos del prototipo de monitoreo y control en tiempo real del variador de frecuencia para identificar líneas de tendencias en el consumo de energía eléctrica.

SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultado de la actividad	Técnicas, medios e instrumentos.
Recopilar información de la metodología adecuada para el desarrollo de la investigación del monitoreo y control de datos inalámbricos en tiempo real.	Revisión bibliográfica y documental sobre metodologías de monitoreo y control en tiempo real con enfoque en IoT.	Informe de revisión bibliográfica y documental.	Artículos científicos Tesis
Implementar un prototipo para el monitoreo y control en tiempo real del variador de frecuencia mediante la comunicación entre el Gateway.	Desarrollo del software para la comunicación entre el Gateway y el variador de frecuencia. Desarrollo del prototipo de Gateway IOT.	Prototipo de Gateway IOT funcional. Software de comunicación entre Gateway y variador de frecuencia	Herramientas de diseño, lenguajes de programación.
Analizar los datos obtenidos del prototipo de monitoreo y control en tiempo real del variador de frecuencia para identificar tendencias en el consumo de energía eléctrica.	Pruebas del prototipo y su funcionalidad. Análisis de los datos obtenidos del prototipo de monitoreo y control en tiempo real del variador de frecuencia en distintos escenarios	Informe de análisis de datos y recomendaciones de consumo energético	Software V_Net

2. MARCO TEÓRICO

El Variador de frecuencia es un dispositivo utilizado en diversos campos de la industria con un rango de operación específico para el control de distintas variables, el cual tiene distintas aplicaciones en la automatización de la industria, edificios, el tratamiento de aguas, las energías renovables entre otras. Este proyecto tiene el enfoque al "Internet de las cosas" (IoT), a través del control y monitoreo de datos a nivel global con dispositivos y aplicaciones del IoT. También se describe el funcionamiento del IoT el cual introduce el concepto de "Gateway IoT", que actúa como una pasarela entre los dispositivos IoT y la nube. De esta manera se abordan las funciones y características de un Gateway IoT, así como su importancia en el fortalecimiento de la seguridad en las redes habilitadas para IoT.

2.1. VARIADOR O CONTROLADOR DE FRECUENCIA

Es un dispositivo creado con el propósito de ajustar la frecuencia y el voltaje de salida que suministra energía a un receptor eléctrico. Su rango de operación abarca desde 0 a 120 Hz para la frecuencia de 0 a 480 V para el voltaje, todo depende de las características del variador, en la Fig. 2.1 se ilustra, además se utiliza para regular, también salvaguardar el sistema contra diversas situaciones de funcionamiento anormales, como sobre corriente, sobre voltaje, sobre velocidad y arranques excesivos [13].



Fig. 2.1 Variador de frecuencia [14].

2.1.1. Variador de frecuencia

Es un dispositivo que controla la velocidad y rendimiento de motores eléctricos al variar la frecuencia y tensión suministrada. Está compuesto por un módulo de control que procesa las señales y genera instrucciones para el motor, a su vez contiene un módulo de potencia que suministra energía y controla corriente, tensión, dispositivos de interfaz para comunicación

mediante un software de programación para un control eficiente y versátil en diferentes aplicaciones [15].

2.1.2. Campos de aplicación Típicos

En la automatización de edificios, el variador de frecuencia se utiliza en sistemas de climatización, ventilación entre otros, permitiendo ajustar la velocidad de los motores según la demanda. Esto contribuye a un consumo energético más eficiente y un mayor confort en los espacios. Por ejemplo: en el tratamiento de aguas, el control de motores utilizados en bombas o compresores y otros equipos de las plantas de tratamiento. La capacidad de ajustar la velocidad y el rendimiento de los motores según las necesidades del proceso ayuda a optimizar el consumo de energía. En la Fig. 2 se determina el conexionado del mismo.

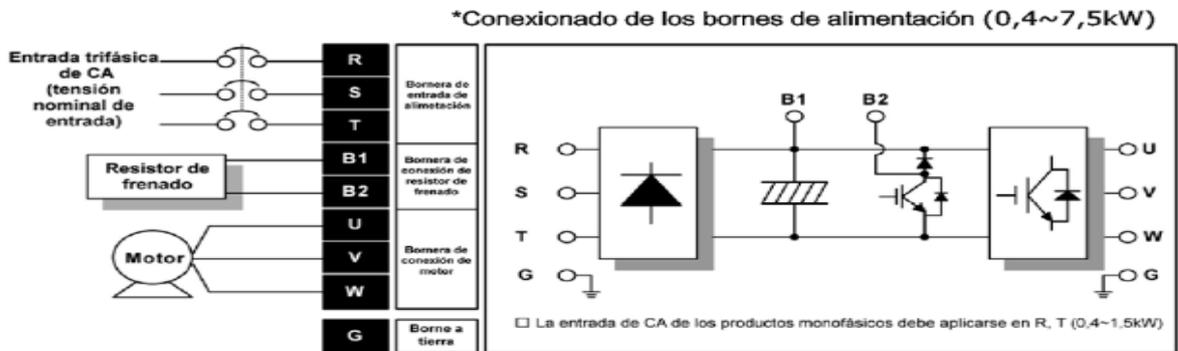


Fig. 2.1 Conexión del Variador de Frecuencia [15].

2.2. QUE ES EL IOT

El Internet de las cosas (IoT) se refiere a la interconexión de una gran cantidad de dispositivos a través de Internet para recopilar y compartir datos globalmente. Estos dispositivos, que varían en tamaño desde pequeñas pastillas hasta grandes aviones, están equipados con chips, sensores, software y tecnologías que les permiten establecer comunicación entre sí a través de Internet utilizando identificadores únicos [16].

La IoT abarca una amplia gama de dispositivos, como automóviles equipados con sensores que proporcionan alertas sobre el estado del vehículo, e incluso camiones autónomos que no requieren de un conductor humano para operar. Además, se han implementado proyectos de ciudades inteligentes en diversas ubicaciones, permitiendo el monitoreo y control del entorno urbano [16].

Es importante tener en cuenta que el concepto de IoT se aplica principalmente a dispositivos que normalmente no estarían conectados a Internet, pero que pueden establecer comunicación

de forma autónoma a través de una red IoT. Esto incluye dispositivos como balizas Bluetooth, relojes inteligentes, bandas de fitness y otros dispositivos portátiles [16].

2.2.1. Como Funciona el IoT

La red de Internet de las cosas (IoT) se compone de dispositivos inteligentes que están conectados a la web y tienen capacidades de procesamiento, software y hardware de comunicación integrados. Estos dispositivos son capaces de recibir, procesar y enviar datos que recopilan de su entorno. Posteriormente, comparten estos datos a través de una puerta de enlace de IoT u otro dispositivo de borde, que los envía a la nube o a canales específicos para su análisis posterior [16].

Aunque los dispositivos de IoT realizan estos procesos sin intervención humana, las personas aún pueden interactuar con ellos para configurarlos, dar comandos o acceder a datos específicos a lo largo del tiempo. Además, la evolución de la IoT ha incorporado la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático, lo que ayuda a facilitar y mejorar el proceso de recopilación de datos, detallados en la Fig. 2.3.

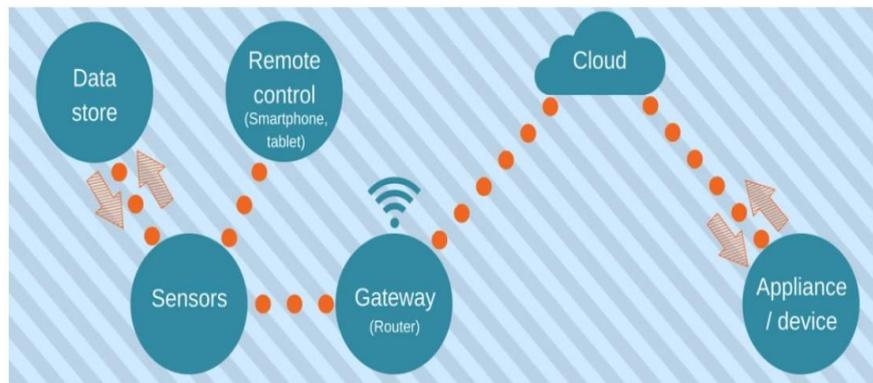


Fig. 2.3 Funcionamiento IoT [16].

2.2.2. Que es un Gateway IoT

Un Gateway IoT o también conocida como pasarela IoT, ya sea física o virtual, cumple la función de establecer la conexión entre los dispositivos IoT y la nube. Su objetivo principal es facilitar la comunicación entre diversos dispositivos IoT, como sensores y cámaras, que utilizan diferentes interfaces y protocolos, y la red de Internet. De manera similar a un enrutador en una red doméstica, la pasarela IoT administra el tráfico de datos que ingresa y sale de la red [17].

La pasarela IoT desempeña un papel fundamental en el flujo de datos dentro de la red. Todos los datos generados por los dispositivos IoT y destinados a la nube deben pasar a través de la

pasarela IoT. También se la denomina como pasarela inteligente o nivel de control, en la Fig. 2.4 se describe la comunicación de IoT Gateway.



Fig. 2.4 Gateway IoT [17].

2.2.3. Arquitectura de la IoT

Hasta la fecha, no existe un consenso definitivo en la investigación para definir una arquitectura única para la IoT debido a la complejidad de los detalles, alcance y aplicaciones de esta tecnología. Sin embargo, se han propuesto diversas arquitecturas, y a continuación se mencionan algunas de las más importantes:

- **Arquitectura de tres niveles:** Esta arquitectura se considera fundamental y sirve como base para otras arquitecturas más complejas. Se compone de tres niveles: nivel de percepción, nivel de red y nivel de aplicación.
- **Nivel de percepción:** Este nivel se centra en adaptar los sensores para que puedan recopilar información del entorno de operación. Los sensores son responsables de captar los datos y enviarlos al siguiente nivel.
- **Nivel de red:** En este nivel, se establece la comunicación entre los sensores y los servidores para transmitir y procesar los datos recolectados. Aquí se gestionan los enlaces y las conexiones necesarias para el intercambio de información.
- **Nivel de aplicación:** Este nivel se encarga de presentar los datos recopilados al usuario final. Aquí se realizan tareas como el procesamiento de datos, la generación de informes y la visualización de la información de manera comprensible para el usuario. Los niveles antes mencionados se describen en la Fig. 2.5.

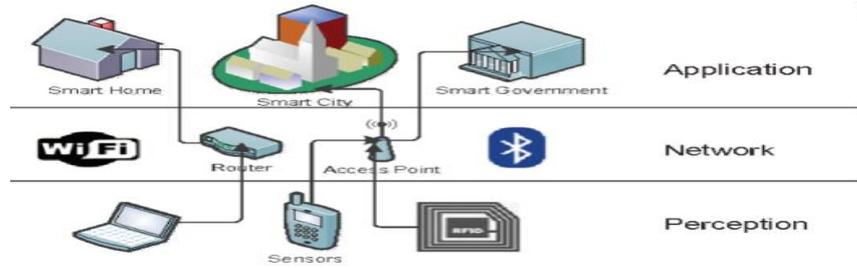


Fig. 2.5 Arquitectura de 3 niveles [18].

La arquitectura de cinco niveles para la IoT amplía la estructura básica de la arquitectura de tres niveles al incluir niveles adicionales que se ocupan de la conectividad, el procesamiento de datos y la gestión empresarial. Cada nivel desempeña un papel específico en el flujo de datos y la funcionalidad general del sistema IoT, A continuación, se describen brevemente estos niveles adicionales:

Nivel de transporte: En este nivel, se utilizan diferentes tecnologías de comunicación, como redes 3G, LAN, Bluetooth, RFID y NFC, para transferir los datos desde el nivel de percepción al nivel de proceso y viceversa. Su función principal es garantizar la conectividad y el intercambio de información entre los dispositivos y los sistemas [19].

Nivel de proceso: En este nivel, se facilitan y gestionan los servicios relacionados con la IoT. Se emplean tecnologías como bases de datos, computación en la nube y big data para almacenar, analizar y procesar grandes cantidades de datos provenientes del nivel de percepción. Aquí se lleva a cabo el procesamiento de datos y la generación de información útil para su posterior uso [19].

Nivel de negocio: Este nivel se encarga de administrar las aplicaciones de IoT, el modelo de negocio y la privacidad de los datos. Aquí se definen las estrategias comerciales, se gestionan los permisos de acceso a los datos y se garantiza el cumplimiento de las regulaciones de privacidad, todos los niveles antes mencionados se describen en la Fig. 2.6.

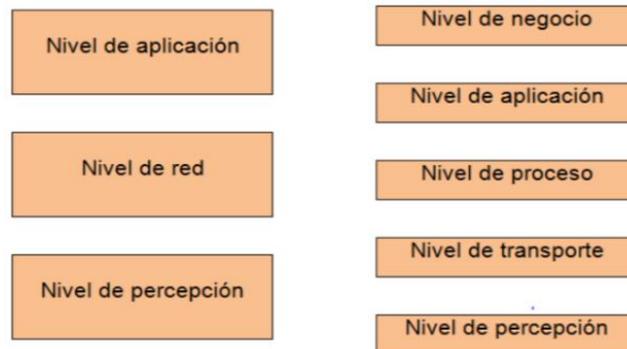


Fig. 2.6 Arquitectura de 3 y 5 niveles [19].

2.2.4. Funcionamiento de un Gateway IoT

Las pasarelas IoT desempeñan un papel fundamental al realizar la traducción de protocolos para establecer conexiones de comunicación. Los dispositivos IoT distribuidos pueden conectarse a la pasarela IoT a través de comunicaciones inalámbricas o por cable. Los dispositivos IoT utilizan diversos medios de transmisión, como Bluetooth LE, Zigbee, Z-wave, LoRa, LTE, LTE-M y WiFi, que la pasarela IoT debe ser capaz de recibir y enviar datos utilizando uno o varios de estos medios. Además, para el tráfico saliente, la pasarela IoT puede emplear WiFi, 4G, 5G o una red de área amplia de fibra óptica (HDLC/PPP) para transmitir los datos hacia la nube [17].

La pasarela IoT tiene la capacidad de realizar un preprocesamiento de los datos sin procesar recolectados por los dispositivos IoT. Al recibir grandes volúmenes de datos sin procesar provenientes de los dispositivos IoT, algunas pasarelas IoT pueden realizar tareas como agregar, correlacionar y sincronizar estos datos con el fin de reducir la cantidad de datos y, por lo tanto, mejorar la eficiencia de la red al reducir las latencias. Posteriormente, la pasarela IoT establece la comunicación con la nube o un servidor de alto rendimiento y envía estos datos "preprocesados". Este proceso se conoce como "edge computing". El cual está descrito en la Fig. 2.7.

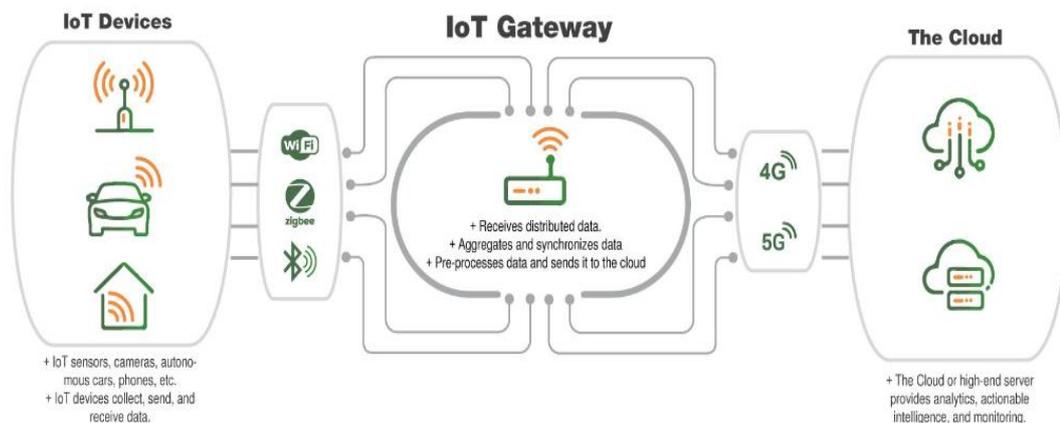


Fig. 2.7 Funcionamiento de un Gateway IoT [17].

2.2.5. Funciones básicas y avanzadas del Gateway IOT

Las características básicas de las pasarelas IoT pueden variar dependiendo de su construcción y aplicación específica. Sin embargo, se espera que todas las pasarelas IoT incluyan al menos las siguientes capacidades para aplicaciones más complejas y desafiantes habilitadas para IoT, pueden requerirse pasarelas IoT más avanzadas, como lo describe en la Tabla 2.1 las características básicas.

Tabla 2.1 Características Básicas.

Característica	Definición
Comunicación por cable e inalámbricas:	Las pasarelas IoT permiten la comunicación entre dispositivos mediante conexiones inalámbricas y por cable, como LoRA, WiFi, celular y Ethernet, entre otros.
Los Gateway IoT refuerzan la seguridad:	Las pasarelas IoT fortalecen la seguridad al proporcionar una separación de redes. Por ejemplo, en entornos industriales, pueden segregarse los dominios OT e IT, o separar las redes IoT de la Internet.
Gestionar el tráfico de salida y entrada:	Implica dirigir los datos generados por los dispositivos IoT hacia la nube, así como administrar y configurar los dispositivos IoT a través del tráfico de entrada.

2.2.6. Funciones Avanzadas de la IoT

La Tabla 2.2 describe las funciones generales de las pasarelas IoT, los cuales son dispositivos utilizados en el Internet de las cosas para conectar dispositivos físicos a la nube de esta manera facilitar la comunicación y el procesamiento de datos. Estas pasarelas se destacan por ofrecer interfaces de entrada y salida versátiles, tener firmware personalizable y gestionar el tráfico entrante de manera avanzada en una red IoT.

Tabla 2.2 Funciones Avanzadas.

Funciones	Definición
Ciertas pasarelas IoT pueden realizar la computación de borde	Consiste en el preprocesamiento de los datos en bruto, como agregar, deducir o resumir información, antes de enviarlos a la nube.
Las pasarelas IoT avanzadas ofrecen una mayor variedad de interfaces de entrada y salida	Por ejemplo, en el caso de las pasarelas industriales, pueden contar con interfaces serie, USB, HDMI, SPI, ModBus y otras más.
Robustez para entornos difíciles	Las pasarelas IoT industriales son dispositivos robustos diseñados específicamente para entornos industriales desafiantes y complejos. Estos dispositivos están diseñados para resistir condiciones extremas como altas temperaturas, vibraciones, humedad, impactos y otros desafíos que puedan surgir en estos entornos.
Firmware personalizable	Algunas pasarelas IoT ofrecen la opción de personalizar su firmware para adaptarse a aplicaciones específicas. Esto significa que el dispositivo puede ser actualizado de forma inalámbrica utilizando actualizaciones de firmware por aire (FOTA), lo que permite realizar actualizaciones masivas en dispositivos IoT.
Gestiona el tráfico entrante avanzado	La pasarela IoT tiene la capacidad de agregar inteligencia y funciones adicionales a la red IoT. Esto incluye brindar soporte a servicios de computación en el borde, gestión en tiempo real y actuar como una caché de datos, un búfer y un dispositivo de transmisión de datos.

2.2.7. Ventajas y Desventajas de utilizar un IoT

En la Tabla 2.3 se detalla el Internet de las cosas (IoT), la cual ofrece una amplia gama de ventajas, como la automatización de tareas, el control y monitoreo remoto, la optimización de recursos, la toma de decisiones basada en datos, la innovación tecnológica y una mejor calidad de vida. Sin embargo, también presenta desafíos en términos de seguridad, privacidad, costos, dependencia de la conectividad y posibles impactos ambientales. Aunque el IoT brinda grandes beneficios, es fundamental abordar estos desafíos para garantizar una implementación exitosa y aprovechar al máximo su potencial en la sociedad actual [20].

Tabla 2.3 Ventajas y desventajas de IoT [20].

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Velocidad de análisis de datos: Permiten recopilar y analizar grandes cantidades de datos en tiempo real	Compatibilidad: Diferentes protocolos y estándares
Automatización de tareas y procesos: Aumentar la eficiencia y productividad, reduciendo la carga de trabajo manual.	Problemas de seguridad y privacidad: Recopilan y transmiten gran cantidad de datos.
Control y monitoreo remoto de dispositivos: Brinda la capacidad de supervisar su funcionamiento, detectar problemas o anomalías y tomar medidas correctivas de manera ágil.	Interoperabilidad entre dispositivos y sistemas: La falta de estándares comunes y la diversidad de dispositivos y sistemas pueden dificultar la comunicación y la interoperabilidad entre ellos.
Optimización de recursos: Permite una mejor gestión y optimización de los recursos, lo que facilita la toma de decisiones.	Complejidad en la implementación y gestión de sistemas IoT: Conocimientos técnicos avanzados y una gestión adecuada para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro.
Mejora de la calidad de vida: Proporciona soluciones innovadoras en áreas como la salud, la domótica, el transporte entre otras.	Posibles impactos ambientales: El aumento de residuos electrónicos.

2.3. SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL

La industria cuenta con una variedad de sistemas de control y monitoreo que se emplean para supervisar, así también en la gestión de procesos, operaciones y equipos. Estos sistemas permiten recolectar datos en tiempo real, realizar análisis y tomar decisiones basadas en la información obtenida. A continuación, se presentan los sistemas ampliamente utilizados para el control y monitoreo en diversos sectores industriales:

- **Los Sistemas de Control Distribuido (DCS)** se utilizan en plantas industriales para centralizar el control y supervisar múltiples procesos, estos sistemas se basan en sistemas informáticos y de comunicación sólidos [21].
- **Los Sistemas de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA)** permiten interactuar con dispositivos a distancia, consisten en un software de supervisión con una red de comunicación que conecta sensores y actuadores a una estación de control [22].
- **Los Sistemas de Control Numérico (CNC)** se utilizan en la industria manufacturera, especialmente en el mecanizado y la fabricación de piezas. Estos sistemas permiten controlar máquinas herramienta y equipos automatizados mediante instrucciones numéricas [23].
- **Los Sistemas de Control de Procesos (PCS)** integran sensores, actuadores, controladores para monitorear y ajustar variables críticas del proceso, como temperatura, presión, caudal, entre otros [23].
- **Los Sistemas de Gestión de la Producción (MES)** Estos sistemas permiten recolectar y analizar datos de producción en tiempo real, así también realizar el seguimiento de órdenes de trabajo, gestionar inventarios, programar la producción y generar informes de rendimiento [24].
- **Los Sistemas de Mantenimiento Asistido por Computadora (CMMS)** se emplean para gestionar y optimizar el mantenimiento de equipos o activos industriales los cuales permiten programar tareas de mantenimiento, administrar inventarios de repuestos, registrar historiales de mantenimiento y realizar análisis de fallas y rendimiento [25].

Estos ejemplos ilustran la variedad de sistemas de control y monitoreo utilizados en la industria. La elección e implementación de estos sistemas dependen de las necesidades y requisitos específicos de cada empresa y sector industrial.

2.3.1. Mejora la eficiencia Energética de los Dispositivos IoT

En aplicaciones de ciudades, fábricas o granjas inteligentes, los dispositivos de IoT desplegados de forma remota necesitan ser autónomos en términos de energía. Esto presenta desafíos, ya que el envío de datos a través de radios potentes y eficientes consume mucha energía y limita la vida útil de la batería. Además, algunos dispositivos no son compatibles con

tecnologías de radio de alto consumo, como LTE o WiFi. Sin embargo, una solución efectiva es utilizar una pasarela IoT conectada a la red eléctrica para acortar el rango de señal y gestionar la comunicación de los sensores. Además, algunas pasarelas IoT ofrecen capacidades de PoE (Power over Ethernet) para alimentar los dispositivos a través de cables de red. Esto ayuda a resolver los desafíos de energía y conectividad en aplicaciones de IoT remoto.

2.3.2. Resistencia a los Entornos más Duros e Industriales

Las pasarelas industriales de IoT (IIoT) van más allá al resistir condiciones extremas presentes en entornos ambientales e industriales. Estas pasarelas IIoT se construyen utilizando tecnologías sin ventilador y materiales robustos, cumpliendo con estándares como IP67 o MIL-STD-810G. Con estas características, las pasarelas IIoT son capaces de soportar amplias variaciones de temperatura, humedad, vibración, golpes, radiación, agua, polvo e incluso entornos explosivos.

2.4. EJEMPLO Y APLICACIONES DE LA PASARELA IOT

A continuación, se enumeran varios escenarios de uso práctico en los que se pueden emplear las pasarelas IoT. Cada aplicación se acompaña de un ejemplo de dispositivo de pasarela IoT real. Existen diversas clases y tipos de pasarelas IoT disponibles, pero las mencionadas a continuación son las más adecuadas para cada caso.

2.4.1. Comunicación Inalámbrica Iot

En los últimos años, el Internet de las Cosas (IoT) ha captado la atención de las industrias, especialmente con el crecimiento de las redes de baja potencia y área amplia (LPWAN, por sus siglas en inglés) [26]. El IoT se relaciona estrechamente con el desarrollo sostenible y promete crear un futuro inteligente y cómodo a través de una red interconectada de objetos inteligentes, como sensores, cámaras y dispositivos electrónicos de consumo. La conectividad juega un papel fundamental en el IoT y se logra mediante diversos estándares y protocolos de comunicación inalámbrica utilizados en aplicaciones de hogares inteligentes, como IEEE 802.11 (Wi-Fi), Bluetooth LE (baja energía), redes celulares, ZigBee (dispositivos de baja potencia), Z-Wave y Thread [26].

La evolución de las redes en el contexto del Internet de las Cosas (IoT) ha seguido la siguiente secuencia:

1. **Red 1G:** Introducida en la década de 1970, esta red ofrecía cobertura intermitente y se limitaba principalmente al servicio de voz. Utilizaba la tecnología de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) y operaba en frecuencias de 800 a 900 MHz [27].
2. **Red 2G:** Esta generación de redes permitió tanto la transmisión de voz como de datos. Se introdujeron características como el roaming internacional, llamada en espera, retención de llamada y transferencia de llamada. La velocidad de datos variaba de 14 kbps a 64 kbps y se implementaban tecnologías como TDMA y CDMA. Las frecuencias utilizadas eran 850-1900 MHz para GSM y 825-849 MHz para CDMA [27].
3. **Red 3G:** Con un enfoque en el aumento de la velocidad de datos y la capacidad de voz y datos, la red 3G introdujo el estándar UMTS (WCDMA), que se basaba en tecnologías heredadas como GSM y CDMA. Esta generación permitió servicios de acceso a Internet de alta velocidad, chat, televisión móvil, mapas de navegación, entre otros [27].
4. **Red 4G:** Con un enfoque en la alta velocidad, calidad y seguridad, la tecnología 4G se basó en protocolos IP. Se habilitaron servicios como acceso web móvil, telefonía IP, videoconferencia y transmisión digital de video (DVB) [27].
5. **Red 5G:** La red 5G es la última generación en evolución y ofrece estándares basados en IP, LAN, WAN y PAN. Proporciona una velocidad extremadamente alta de 1 a 10 Gbps, un rendimiento en tiempo real y un soporte mejorado para IoT y comunicación máquina a máquina (M2M). También ofrece una mayor cobertura y eficiencia en comparación con las generaciones anteriores. En la Fig. 2.8 se detalla la evolución de las redes de comunicación.

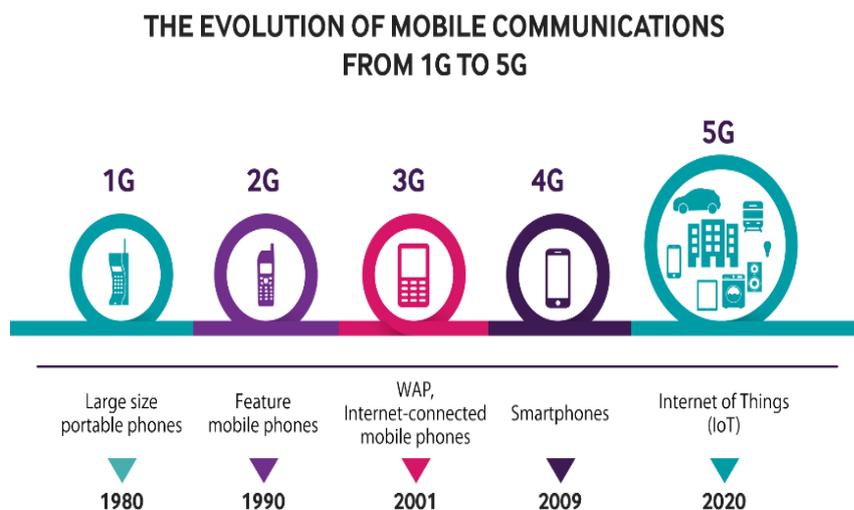


Fig. 2.8 Evolución de las redes de comunicación [27].

2.4.2. Redes área amplia de baja potencia LPWAN

LPWAN, o Red de Área Amplia de Baja Potencia, se destaca por su amplia cobertura y su bajo consumo de energía. En contraste con tecnologías de comunicación de corto alcance como Wi-Fi, Bluetooth y ZigBee, LPWAN ofrece una cobertura extensa para aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) a un costo reducido. De hecho, las tecnologías LPWAN se consideran una opción altamente recomendada para sistemas celulares.

La tecnología LPWAN se destaca por su capacidad de proporcionar una transmisión de largo alcance, cubriendo distancias de varios kilómetros, y utiliza una topología de red en estrella. Por lo general, opera en la banda industrial médica de sub-GHz. La creciente demanda de conectividad en áreas extensas y la necesidad de manejar múltiples conexiones ha impulsado la popularidad de las aplicaciones de IoT que utilizan tecnología LPWAN. Gracias a los avances en la electrónica miniaturizada, las comunicaciones y la informática, ahora es posible diseñar redes de largo alcance y bajo consumo que pueden funcionar durante muchos años con una sola batería y cubrir distancias de varios kilómetros. Estas tecnologías también son compatibles con Internet, lo que permite la gestión de datos, dispositivos y redes a través de plataformas basadas en la nube. Las aplicaciones de LPWAN abarcan una amplia gama de sectores, incluyendo monitoreo de sistemas, automatización industrial, atención médica y seguimiento de activos en la cadena logística [27].

2.4.3. Tecnologías de comunicación para IoT

Existen varias opciones de redes de comunicación para IoT que se diferencian en aspectos como consumo de energía, alcance, seguridad y tasa de datos:

GSM/GPRS: Esta red, utilizada por operadoras de telefonía, presenta desventajas como un alto costo para grandes volúmenes de datos y un consumo elevado de batería.

SigFox: Es una red de comunicación LPWA que opera con su propia tecnología y no requiere licencias para su uso en el mercado. Se destaca por ser una tecnología de bajo costo.

LoRa: También perteneciente a la red LPWAN, ofrece una mejor cobertura que SigFox. Es compatible con IPV6 y está más preparada para la comunicación bidireccional en tiempo real. Además, mejora la seguridad mediante la encriptación.

NB IoT: Esta red proporciona cobertura dentro del rango LTE o 4G y cuenta con estándares que permiten a los dispositivos conectarse sin restricciones.

BLE: Es una tecnología inalámbrica de baja energía, diseñada especialmente para aplicaciones de IoT a pequeña escala que transmiten pequeñas cantidades de datos. Se utiliza comúnmente para la localización de activos.

ZigBee: Se utiliza en aplicaciones domóticas e industriales. Destaca por su bajo consumo de energía y capacidad para soportar un gran número de nodos, aunque su cobertura está limitada a unos 100 metros. Estas redes de comunicación para IoT ofrecen diferentes características y son adecuadas para distintos escenarios. En la Tabla 2.4 se detalla las tecnologías de comunicación [28].

Tabla 2.4 Tecnologías de comunicación para IoT [28].

TECNOLOGIA	CONSUMO	ALCANCE	DISPONIBILIDAD	SEGURIDAD	TASA DE DATOS
GSM/GPRS	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Alta	Alta
SigFox	Bajo	Medio	Medio	Media	Muy Baja
LoRa	Bajo	Medio	Muy Alto	NA	Muy Baja
Wifi	Alto	Bajo	Alto	Baja	Muy Alta
BLE	Muy Bajo	Muy Bajo	Bajo	Baja	Baja
ZigBee	Medio	Bajo	Muy Bajo	Alta	Baja

2.5. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL

Cuando se requiere una comunicación en tiempo real entre un variador y un gateway, se utilizan protocolos de comunicación que priorizan la velocidad y la sincronización. Algunos de los protocolos comunes en estas situaciones pueden ser los que están detallados en la Tabla 2.4. Estos protocolos garantizan una transferencia de datos rápida y precisa entre el variador y el gateway, facilitando un control y monitoreo eficiente de los procesos industriales. Es importante considerar que la elección del protocolo dependerá de los dispositivos y sistemas utilizados en la aplicación específica [18].

Tabla 2.5 Protocolos de comunicación en tiempo real [18].

Comunicación	Definición
Profinet	Es un protocolo basado en Ethernet en tiempo real que proporciona una alta velocidad de comunicación y una sincronización precisa para el control en tiempo real.
EtherCAT	Protocolo basado en Ethernet que también ofrece una comunicación de alta velocidad y una sincronización precisa [18].
SERCOS	Es un protocolo diseñado específicamente para el control de movimiento en tiempo real.
Modbus	Protocolo de comunicación serie desarrollado por Modicon en 1979 para su uso con controladores lógicos programables (PLC). Permite la transmisión de información entre dispositivos electrónicos a través de líneas seriales [18].

2.6. MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores que se pueden utilizar con un variador de frecuencia varían según las necesidades y aplicaciones específicas. Algunos motores comunes que se emplean con variadores de frecuencia son los motores de inducción trifásicos, los motores síncronos de imán permanente y los motores de reluctancia variable [29].

Los motores de inducción trifásicos son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales y comerciales, estos son compatibles con variadores de frecuencia y permiten un control preciso de la velocidad y el par motor [29].

Los motores síncronos de imán permanente tienen imanes permanentes en su rotor, lo que les proporciona alta eficiencia y un control preciso de la velocidad, así también en el par motor cuando se utilizan con un variador de frecuencia [29].

Los motores de reluctancia variable cuentan con un rotor cuya reluctancia se puede ajustar, lo que los hace adecuados para aplicaciones que requieren un amplio rango de velocidad y un control preciso del par con un variador de frecuencia [29].

Es fundamental considerar las especificaciones y requisitos tanto del variador de frecuencia como del motor para garantizar una correcta compatibilidad y un funcionamiento adecuado del sistema.

2.6.1. Motores de Inducción

El motor de inducción funciona mediante el principio de la inducción electromagnética. Consta de un estator, que es la parte fija con bobinas conectadas a una fuente de corriente

alterna, y un rotor, que es la parte móvil con barras de cobre o aluminio. Al aplicar corriente al estator, se crea un campo magnético que induce corrientes en el rotor, generando un par motor y provocando su rotación. Esta característica de no requerir conexiones directas al rotor lo hace un motor robusto y de bajo mantenimiento, adecuado para aplicaciones continuas. en la Fig. 2.9 se muestran las partes del motor [30].

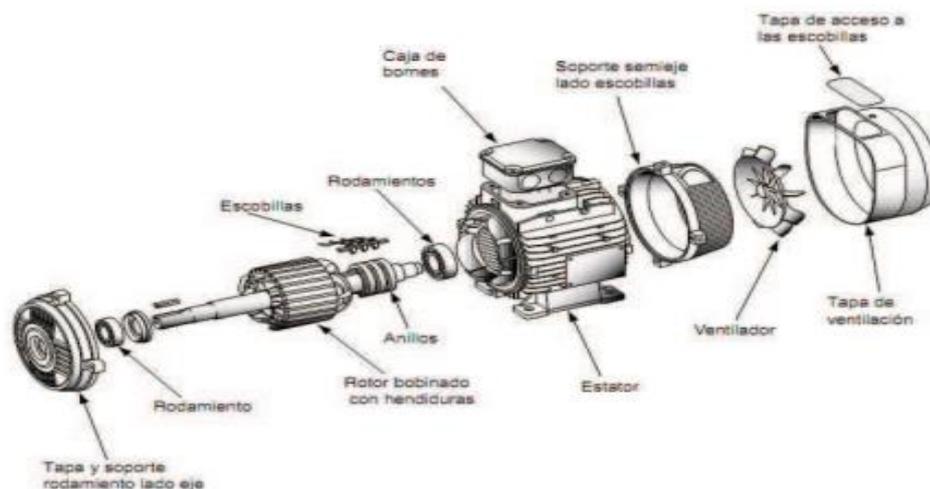


Fig. 2.9 Motor de Inducción [30].

2.6.2. Operación del motor

El motor de inducción funciona mediante el principio de la inducción electromagnética. Consta de un estator, que es la parte fija con bobinas conectadas a una fuente de corriente alterna, y un rotor, que es la parte móvil con barras de cobre o aluminio. Al aplicar corriente al estator, se crea un campo magnético que induce corrientes en el rotor, generando un par motor y provocando su rotación. Esta característica de no requerir conexiones directas al rotor lo hace un motor robusto y de bajo mantenimiento, adecuado para aplicaciones continuas, en la **Fig. 2.10** se determina la forma de onda de un sistema trifásico al operar un motor [31].

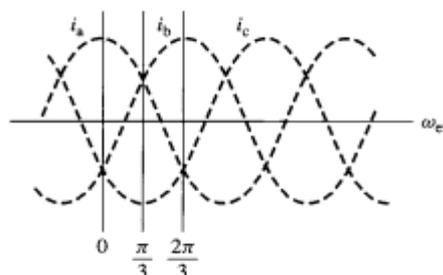


Fig. 2.10 . Forma de onda de un sistema trifásico [31].

2.6.3. Motores de inducción de rotor bobinado

En algunos casos, se construyen motores de inducción especiales con bobinas aisladas en el rotor que se asemejan a los devanados del estator. Estos devanados del rotor suelen tener una configuración trifásica y se conectan a través de anillos conductores aislados, conocidos como anillos colectores, que se montan en una parte interna del eje del rotor. Para establecer las conexiones eléctricas externas, se utilizan escobillas de carbón, en la Fig. 2.11 se presenta un corte del rotor bobinado de inducción [31].

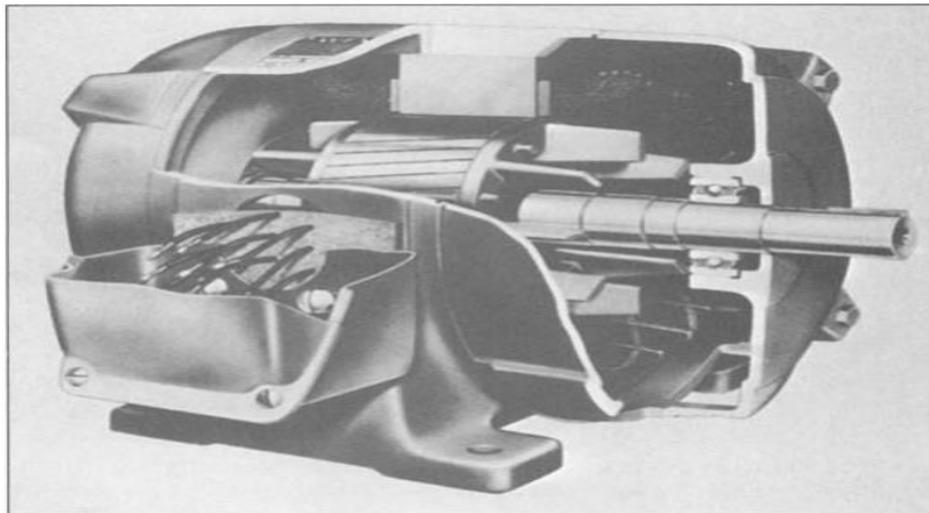


Fig. 2.11 Motor de inducción rotor bobinado Corporación Eléctrica Westinghouse [31].

2.6.4. Motor Eléctrico de Inducción Monofásico

El motor de inducción monofásico consta de un estator y un rotor. El estator contiene bobinas de alambre que están conectadas a una fuente de alimentación monofásica. Estas bobinas generan un campo magnético rotativo cuando se aplica corriente alterna a través de ellas.

El rotor, por otro lado, puede ser de diferentes tipos, como el rotor en jaula de ardilla o el rotor bobinado. El rotor en jaula de ardilla es el más común y está compuesto por barras de cobre o aluminio cortocircuitadas entre sí. Cuando el campo magnético del estator interactúa con el rotor, se generan corrientes en las barras del rotor, lo que a su vez crea un campo magnético que interactúa con el campo del estator, generando el movimiento del motor [31].

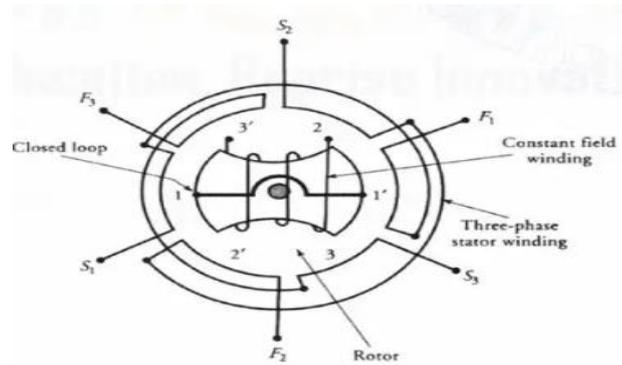


Fig. 2.12 Partes principales de un motor de inducción monofásico [32].

2.6.5. Motor Eléctrico de Inducción Trifásico

El motor de inducción trifásico ilustrado en la Fig. 2.13 es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales y comerciales. Consta de un estator y un rotor, donde el estator contiene bobinas que generan un campo magnético rotativo con corriente alterna trifásica. El rotor, generalmente en forma de jaula de ardilla, interactúa con el campo magnético del estator, generando el movimiento del motor. Este tipo de motor es eficiente y confiable, y se utiliza en diversas industrias debido a su alto par motor y funcionamiento suave [31].

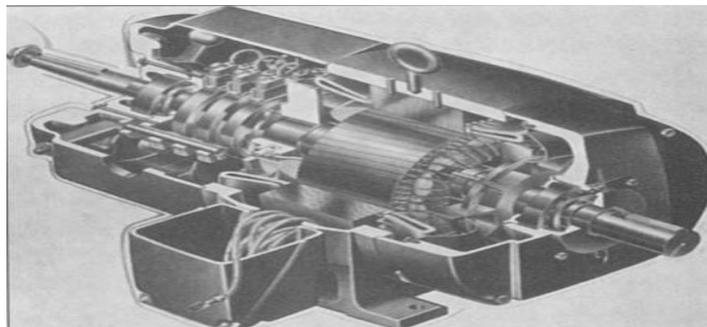


Fig. 2.13 Motor de inducción trifásico [31].

2.7. MATERIALES Y METODOLOGÍAS

Para realizar el monitoreo y control variador de frecuencia en tiempo real usando Gateway IoT, es necesario entender la metodología para desarrollar el prototipo, así también el desarrollo del entorno de comunicación. Para ello se debe comprender el funcionamiento de los equipos a utilizar como el variador de frecuencia SV-iG5A, el motor de corriente alterna, además de las normativas utilizadas para desarrollar el interfaz de control y monitor. Se utiliza la comunicación Modbus RS 485 para enlazar el equipo con la plataforma Vnet.

3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Método investigativo

El método investigativo implica una serie de pasos. Estos incluyen identificar el problema, revisar la literatura existente, establecer objetivos específicos, diseñar la investigación, recopilar y analizar datos. De esta manera, se puede abordar el problema identificado, y dar las soluciones existentes al desarrollar y probar el prototipo. Al final del proceso se determina las conclusiones y recomendaciones. Además, del límite del proyecto.

3.1.2. Método Descriptivo

El método descriptivo permitirá explorar y analizar en detalle el funcionamiento del variador de frecuencia y su interacción con el gateway IoT en el monitoreo y control en tiempo real. Al utilizar este enfoque, se puede recopilar datos detallados sobre los parámetros, del variador de frecuencia y el gateway IoT. Mediante el análisis y clasificación de los datos obtenidos, se identifica patrones, tendencias y relaciones relevantes, lo que te proporcionará una comprensión más completa del fenómeno estudiado. Además, describe de manera precisa y objetiva el funcionamiento del sistema, brindando una base sólida para el desarrollo del prototipo.

3.1.3. Método Experimental

El método experimental permitirá evaluar y controlar el desempeño del prototipo de un variador de frecuencia en tiempo real utilizando un gateway IoT. A través de este enfoque, se va a obtener los resultados con una mayor validez y fiabilidad, contribuyendo así al conocimiento existente en el campo de la implementación de sistemas IoT en aplicaciones industriales. El diseño experimental de esta investigación consistirá en el desarrollo de un prototipo que permitirá evaluar y controlar los parámetros del variador de frecuencia y las condiciones de monitoreo y control a través del gateway IoT. Una vez diseñado el prototipo. Se llevarán a cabo pruebas planificadas con el objetivo de recopilar datos relevantes, en los cuales se registrarán de forma precisa las mediciones y observaciones durante todo el proceso de monitoreo y control. Posteriormente, se realizará el análisis de los datos recopilados.

3.2. METOLOGÍA PARA EL DISEÑO DEL PROTOTIPO

El proceso de desarrollo del prototipo para el monitoreo y control del variador de frecuencia en tiempo real comienza con la conexión del gateway IoT al variador. Se configura el gateway IoT para establecer la comunicación utilizando protocolos Modbus RS-485.

Una vez establecida la conexión, el gateway IoT recopila datos del variador de frecuencia en tiempo real, como la velocidad, la corriente y el estado operativo. Estos datos se envían al servidor o la nube a través del gateway utilizando un protocolo seguro y eficiente. En el servidor, los datos recibidos del variador de frecuencia se procesan, lo que puede incluir análisis en tiempo real, generación de informes y almacenamiento para futuros análisis.

Se desarrolla una interfaz de usuario (UI) para que los usuarios puedan monitorear y controlar el variador de frecuencia. Esta UI puede ser una aplicación web, una aplicación móvil u otra forma de visualización de datos. La interfaz de usuario se actualiza en tiempo real con los datos recibidos del variador de frecuencia, lo que permite a los usuarios monitorear los valores actuales y ver gráficos de tendencias. Además, se implementa la funcionalidad de control remoto a través de la interfaz de usuario, lo que permite a los usuarios ajustar la frecuencia de salida, cambiar los modos de operación y activar o desactivar el variador de frecuencia. Finalmente, se concluye el desarrollo del prototipo para el monitoreo y control del variador de frecuencia en tiempo real utilizando el gateway IoT. En la Fig. 3.14 se establece la metodología descrita anteriormente.

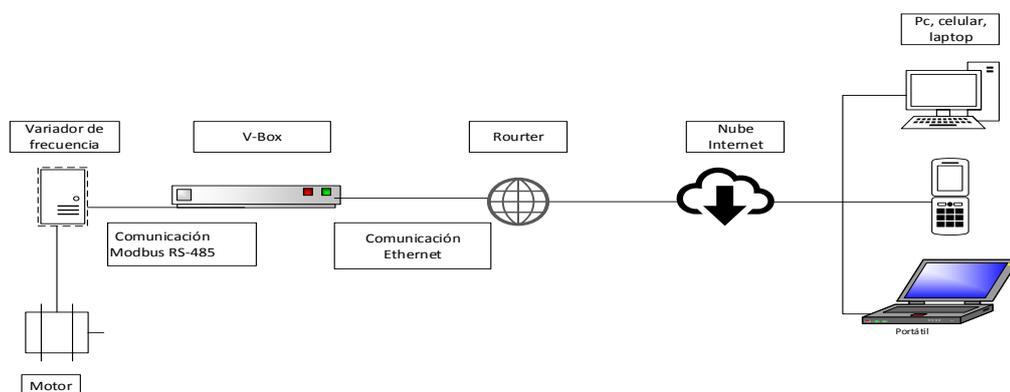


Fig. 3.14 Metodología para el diseño del prototipo

La metodología para el control y supervisión de datos IOT, para ello se debe definir la topología y tecnología del prototipo, si cumple las especificaciones de conexión de V-Box y los equipos a controlar en la plataforma VNET, caso contrario se debe reconsiderar los equipos si se establece con otros equipos y se define correctamente avanza al siguiente paso, de lo contrario termina el proceso, prosiguiendo con la metodología se desarrolla el entorno de control y supervisión del prototipo, en este apartado se debe vincular los datos necesario si no se vinculó se debe considerar la definición de la topología y la tecnología, caso contrario se avanza con la recolección de datos para la identificación de tendencias se debe recolectar datos si esto

no pasa regresar al paso anterior, pero si se identifica las tendencias con los datos recolectados termina el proceso, como lo indica en el diagrama de flujos de la Fig. 3.15.

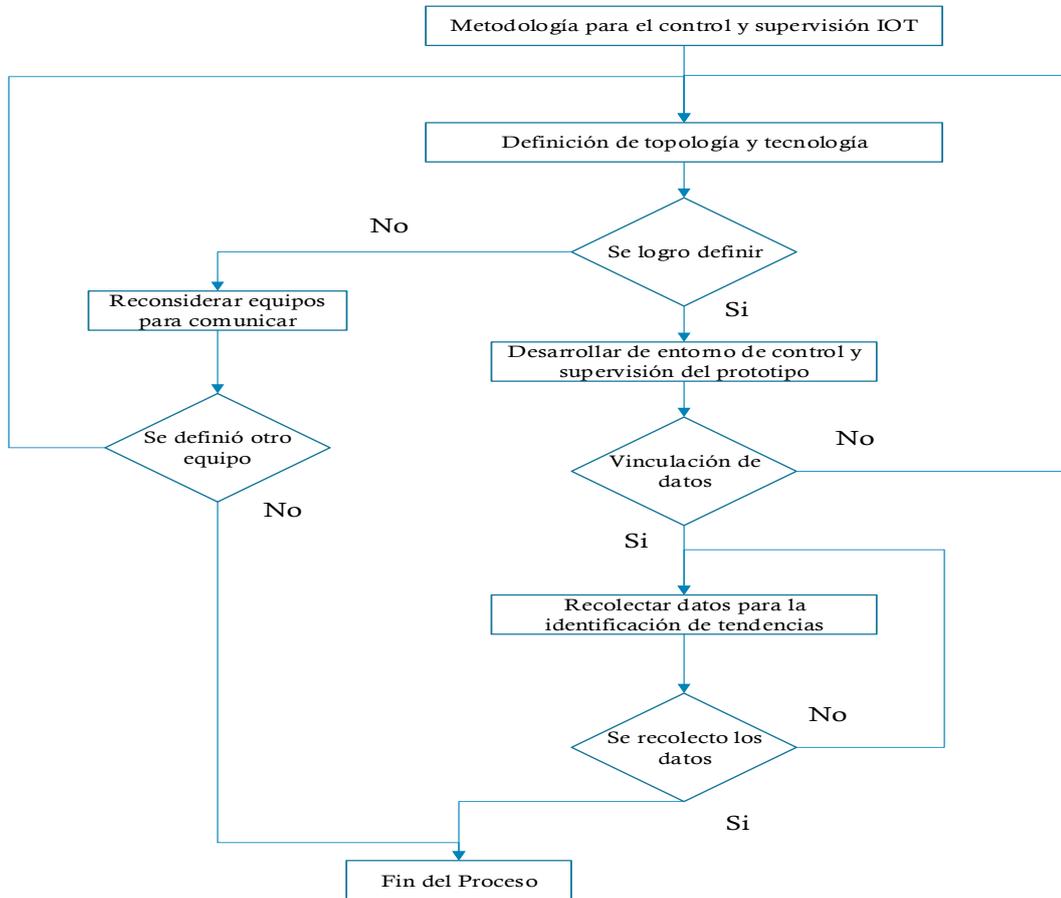


Fig. 3.15 La metodología para el control y supervisión de datos IOT

Para el desarrollo del entorno de control y supervisión de datos se sigue los pasos del diagrama de flujos de la Fig. 3.16 en el cual el primer paso es establecer un enlace de comunicación entre Vnet y el equipo si cuenta con la comunicación avanza al segundo paso caso contrario se debe buscar un equipo que cumpla con los requerimientos de Vnet para la comunicación, continuando con el tercer paso se configura Real Time Data, se vincula variables o Tags para el equipo, si se realizó correctamente la configuración avanza al cuarto paso de lo contrario se debe revisar direccionamiento de equipos si establece continua el proceso, pero si no pasa este paso termina el proceso, finalmente se diseña el SCADA con Cloud Scada el cual debe cumplir con la normativa ANSI/ISA-101.01-2015 para terminar con el proceso.

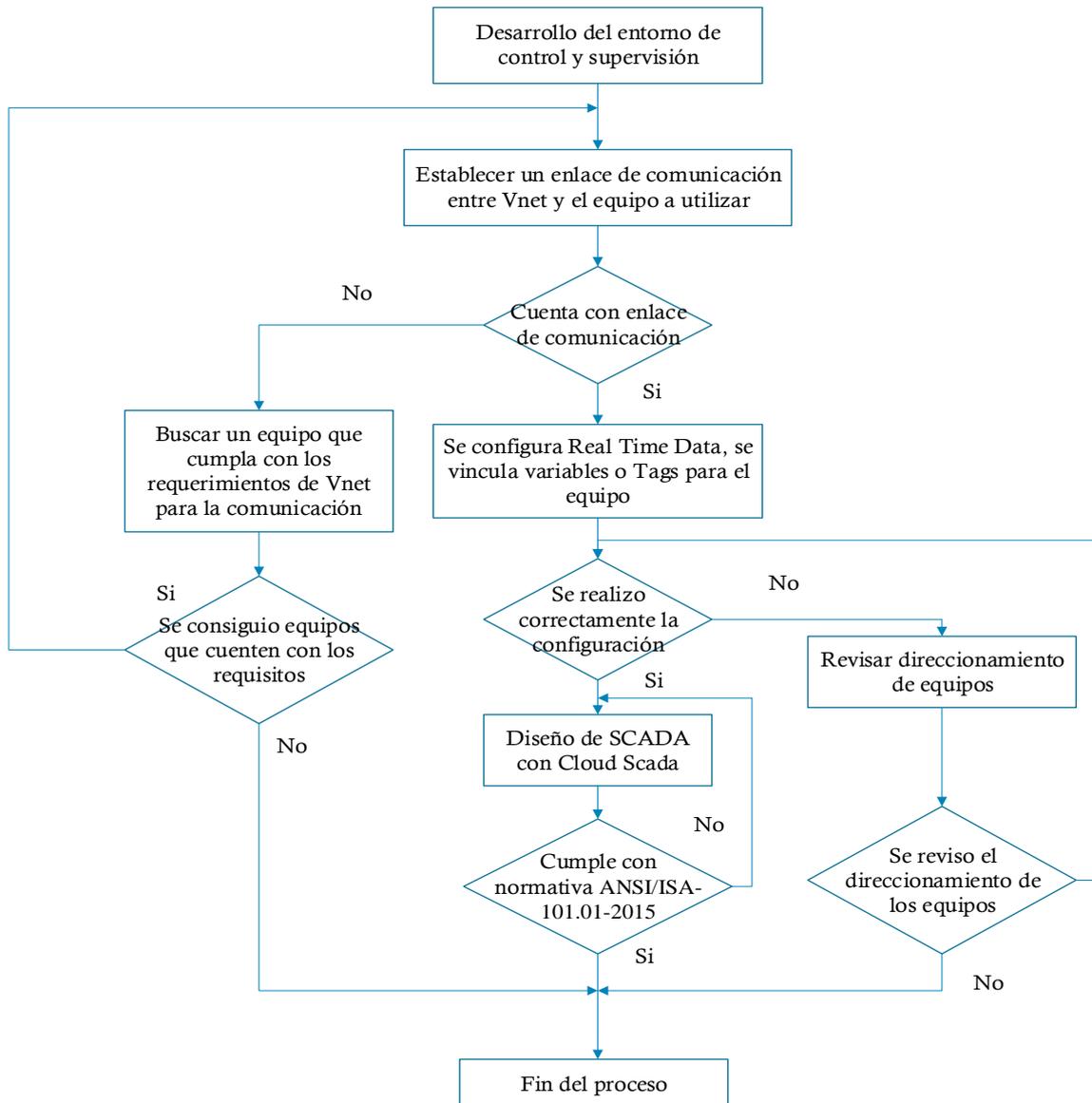


Fig. 3.16 Diagrama de flujos del desarrollo del entorno de control y supervisión de datos

3.3. EQUIPOS UTILIZADOS

3.3.1. Variador de frecuencia SV-iG5A de LS Industrial Systems

El variador de frecuencia SV-iG5A es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad y el torque de motores eléctricos. Es fabricado por LS Industrial Systems, una empresa coreana especializada en soluciones de automatización industrial, es de tipo compacto, económico, diseñado para aplicaciones de baja potencia, además ofrece una amplia gama de funciones y características que lo hacen adecuado para diversas aplicaciones industriales en la Fig. 3.17 ilustra el modelo del variador de frecuencia, además el Anexo 21 se detalla más a profundidad sus características.



Fig. 3.17 Variador de frecuencia SV-iG5A [15]

3.3.2. Arquitectura de red virtual o puerta de enlace de VNet

El gateway de datos de VNet generalmente se encuentra en una red virtual dentro de la infraestructura del proveedor de la nube descrito en la Fig. 3.18. Actúa como un dispositivo de red que maneja el tráfico de red entre la red local y la red virtual. Proporciona varias capacidades, incluyendo:

Conectividad: El gateway de datos de VNet permite una conectividad segura y encriptada entre la red local y la red virtual. Establece un túnel seguro, a menudo utilizando tecnologías de VPN (Red Privada Virtual) o ExpressRoute, para facilitar la transferencia de datos y la comunicación [33].

Transferencia de datos: El gateway permite la transferencia de datos entre la red local y la red virtual. Asegura que los datos enviados entre los dos entornos estén encriptados y se transmitan de manera segura, protegiéndolos contra el acceso no autorizado [33].

Enrutamiento de red: El gateway de datos de VNet maneja el enrutamiento del tráfico de red entre la red local y la red virtual. Determina la ruta apropiada para que los paquetes de datos viajen, dirigiéndolos hacia el destino previsto dentro de la red [33].

Seguridad de red: El gateway mejora la seguridad de la conexión de red al proporcionar funciones como encriptación, autenticación y control de acceso. Ayuda a proteger los datos sensibles durante la transmisión y evita el acceso no autorizado a la red [33].

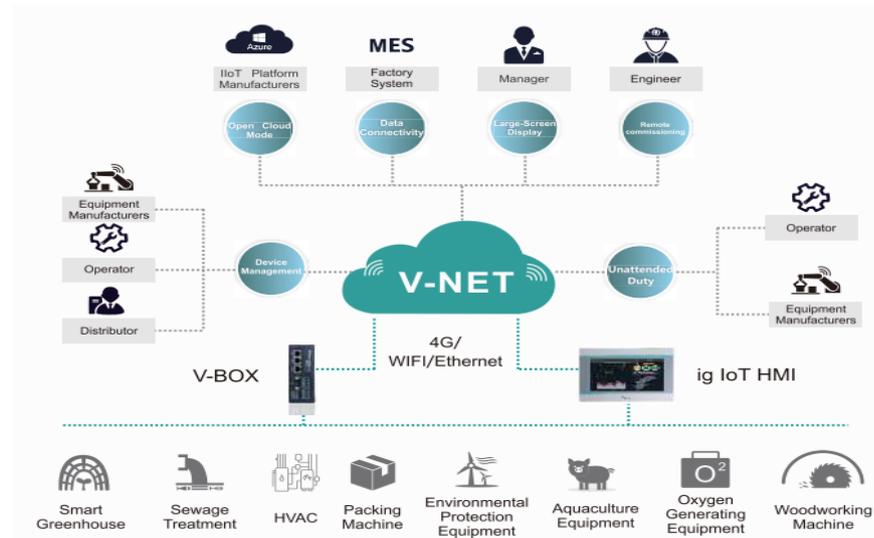


Fig. 3.18 Arquitectura de V-NET [33].

3.3.3. Características de V-BOX E Series

V-BOX es una solución de conectividad que ofrece una serie de características principales. En primer lugar, permite la adquisición de datos a través de la comunicación Serial Ethernet desde controladores de dispositivos, lo que facilita la recopilación de información de manera eficiente. Además, se destaca por su amplia compatibilidad con los protocolos de comunicación de todos los controladores y PLC de las principales marcas, lo que garantiza una integración fluida con diversos sistemas. Para asegurar una conexión segura y confiable, V-BOX se conecta a la plataforma en la nube a través de Ethernet, brindando acceso a servicios como OPC y una interfaz de desarrollador HTTP. Una de las ventajas clave de esta solución es la capacidad de supervisar de forma remota el PLC y realizar descargas remotas del programa, lo que simplifica la gestión y el control de los dispositivos. Además, V-BOX E ofrece acceso a través de aplicaciones para dispositivos Android e iOS, así como navegación en el escritorio, permitiendo una experiencia de usuario versátil y accesible en múltiples plataformas [34]. En la Fig. 3.19 se describe las partes del V-BOX E.

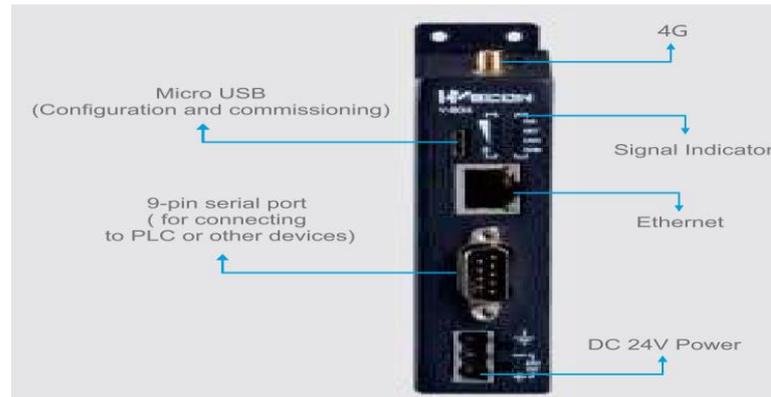


Fig. 3.19 V-BOX E [34].

3.3.4. Configuración del Variador de frecuencia SV-iG5A de LS Industrial Systems

La configuración del variador de frecuencia Siemens SV-iG5A involucra varios pasos importantes. En primer lugar, se debe realizar una correcta conexión física, asegurándose de seguir las recomendaciones de cableado. Luego, se procede a la parametrización básica, en la cual se configuran aspectos como la tensión de alimentación y la corriente nominal. Posteriormente, se ajustan las protecciones necesarias para el motor, garantizando su seguridad. El siguiente paso es la configuración del control, donde se establecen los parámetros de control deseados. Si se requiere, se configuran los parámetros de comunicación para control remoto o integración en una red de comunicación industrial. Por último, se realizan pruebas y ajustes finales para verificar el correcto funcionamiento del variador y se realizan los ajustes necesarios según sea necesario en la Fig. 3.20 se establece la configuración del variador.

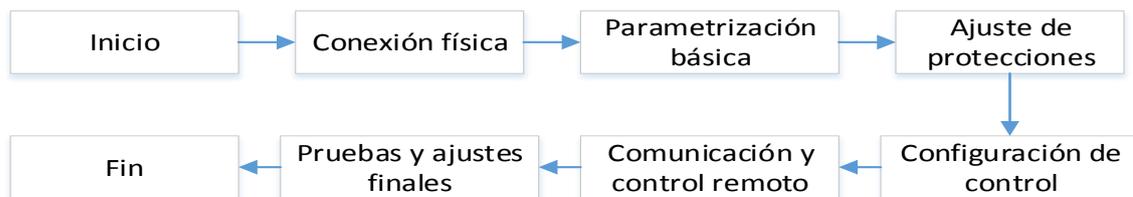


Fig. 3.20 Configuración del Variador de frecuencia SV-iG5A

3.3.5. Configuración de V-BOX E

La metodología para la configuración de V-BOX E consta de varios pasos. En primer lugar, se debe , lo que permitirá gestionar la conexión y la comunicación con el V-BOX E. Una vez creada la cuenta, se procede a la configuración del equipo mediante el software V-Net suministrado. Este software permitirá establecer los parámetros necesarios para la comunicación y la conexión con la plataforma. A continuación, se añade el equipo específico con el que se desea establecer la comunicación, en este caso, el variador de frecuencia,

identificando su modelo y estableciendo los parámetros de comunicación correspondientes [34].

Se prosigue creando los tags o variables requeridos según el manual del variador de frecuencia, los cuales permitirán la transmisión de datos y la interacción con la plataforma V-Net. Una vez configurados los equipos y establecida la comunicación, se procede a diseñar y desarrollar una interfaz adecuada para visualizar y controlar el variador de frecuencia en la plataforma V-Net, definiendo los elementos gráficos y funciones necesarias. Por último, se realizan pruebas de funcionamiento para verificar el éxito de la configuración y la comunicación entre el V-BOX E, el variador de frecuencia y la plataforma V-Net, evaluando la transmisión de datos, el control y la visualización en la interfaz diseñada [34].

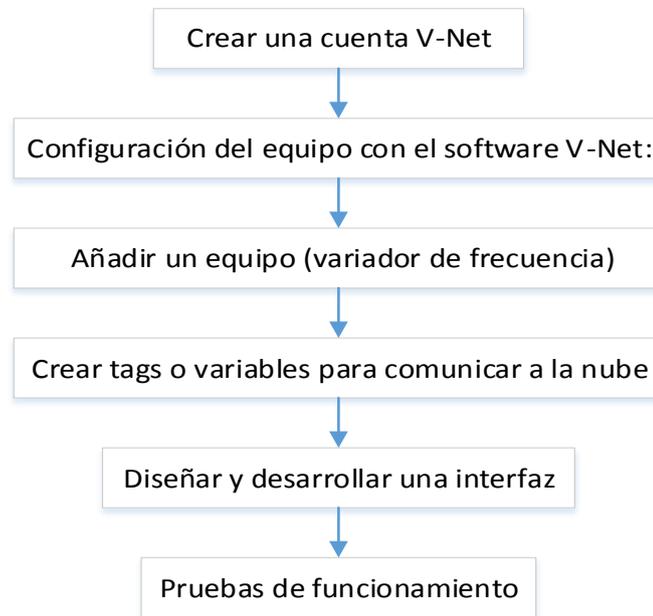


Fig. 3.21 Diagrama de Fulo de la configuración de V-BOX E

En la Fig. 3.22 se detalla el procedimiento para crear un canal para el VFD, se debe ingresar a configuración, luego al botón *Add* el cual despliega una ventana de configuración en esta se detalla en que puerto de comunicación se va a trabajar junto con el tipo de dispositivo tomando en cuenta el protocolo de comunicación del mismo así también la velocidad de transmisión de datos en una comunicación serial.

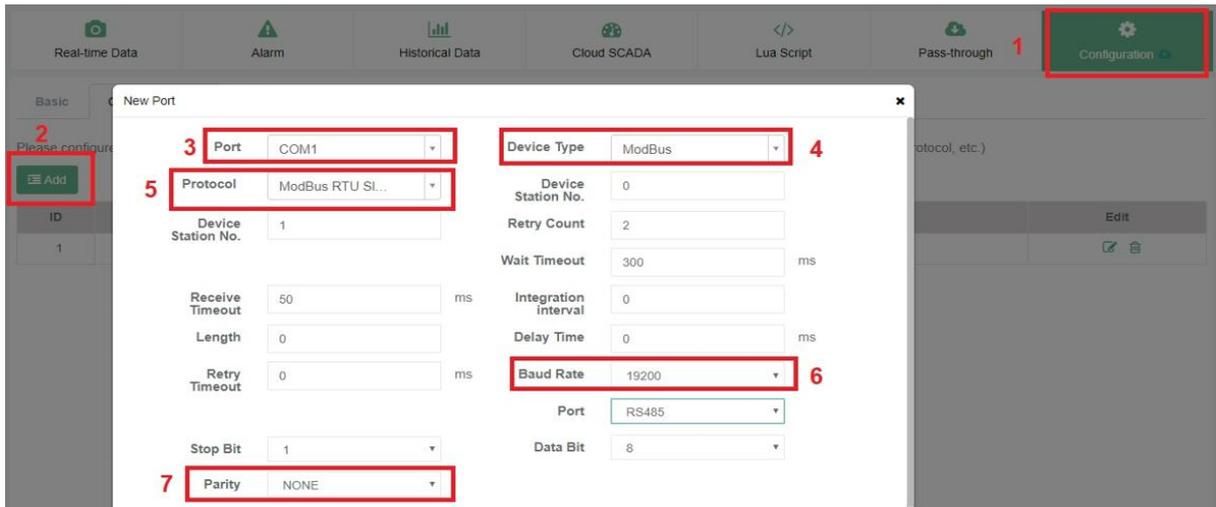


Fig. 3.22 Crear un canal de comunicación para el VDF

Mediante la Tabla 3.6 se detalla la tabla de comandos para definir el ordenamiento de los Bits del control IOT, para este trabajo se ocupará el orden de Bits para: (parada, avance, retroceso, paro de emergencia) el comando de accionamiento decimal sirve para supervisar, teniendo en cuenta el direccionamiento Hexadecimal, Decimal de VFD para el registro en V-NET, el cual está detallado en el Anexo 2.

Tabla 3.6 Comando de Accionamiento (en Binario) y (En Decimal)

Orden de Bits	Descripción	Comando de Accionamiento (En Binario)		
		Paro	Giro Horario	Giro Antihorario
0	Parada	1	0	0
1	Avance	0	1	0
2	Retroceso	0	0	1
3	Reset de Fallo	0	0	0
4	Paro de Emergencia	0	0	0
5	Sin Utilizar	0	0	0
6	Arribo de Frecuencia	1	1	1
7	Arribo de Frecuencia	1	1	1
8	Comando de Frecuencia	1	1	1
9	Comando de Frecuencia	1	1	1
10	Comando de Frecuencia	0	0	0
11	Comando de Frecuencia	0	0	0
12	Comando de Frecuencia	1	1	1
13	Sin Utilizar	0	0	0
14	Sin Utilizar	0	0	0
15	Sin Utilizar	0	0	0
Comando de Accionamiento (En Decimal)		5057	5058	5060

3.4. NORMATIVAS

3.4.1. Normativa de la interfaz gráfica ANSI/ISA-101.01-2015

La normativa ANSI/ISA-101.01-2015, titulada "Human Machine Interfaces for Process Automation Systems", establece una serie de directrices fundamentales para el diseño, implementación y evaluación de interfaces hombre-máquina (HMI) en sistemas de automatización y control de procesos. Su objetivo principal es mejorar la seguridad, eficiencia, así como la productividad de estos sistemas a través de interfaces intuitivas eficaces [35].

En su contenido, la normativa aborda varios aspectos clave del diseño de la interfaz de usuario. Estos incluyen principios generales de diseño, como la simplicidad y la consistencia, así como pautas específicas para el diseño de pantallas, como el uso adecuado de colores o símbolos, la legibilidad de la información, la comunicación clara de estados como las alertas. También se destacan la importancia de la interacción usuario-máquina, la consideración de requisitos de seguridad y la evaluación continua de las interfaces existentes para realizar mejoras. Al seguir estas directrices, se busca lograr interfaces más efectivas y amigables [35].

Tabla 3.7 Aspectos importantes de la normativa ANSI/ISA-101.01-2015

Aspecto	Descripción
Diseño de pantallas	Organizar la información en pantallas de diferentes dimensiones (por ejemplo, tamaño de pantalla, resolución (1024*768))
Uso de colores y símbolos	Emplear colores y símbolos consistentes y significativos para representar estados y condiciones en la interfaz, por ejemplo (verde, verde rojo, cian magenta)
Disposición de elementos	Colocar y agrupar botones, controles y elementos interactivos de manera eficiente y considerando su tamaño y posición
Comunicación de alertas	Presentar alertas visuales, auditivas o táctiles para notificar al usuario sobre eventos, errores o condiciones especiales
Navegación intuitiva	Permitir una navegación sencilla y coherente entre las pantallas de la interfaz mediante un esquema de navegación claro
Feedback del sistema	Proporcionar retroalimentación visual, auditiva o táctil para indicar acciones realizadas por el usuario o estados del sistema
Tamaño y legibilidad	Utilizar tamaños de fuente adecuados y asegurar una legibilidad óptima de la información en función del tamaño de la pantalla
Usabilidad	Diseñar la interfaz de manera intuitiva y ergonómica, considerando las necesidades, habilidades y preferencias del usuario

3.4.2. Normativa de comunicación Profibus IEC 61158/EN 50170

La relación entre la normativa PROFIBUS, específicamente IEC 61158/EN 50170, y V-Net se encuentra en el ámbito de las comunicaciones en sistemas de automatización y control. Tanto

PROFIBUS como V-Net son tecnologías utilizadas en la industria para establecer redes de comunicación entre dispositivos y sistemas [36].

PROFIBUS es un estándar de comunicación industrial ampliamente utilizado que define las especificaciones técnicas para la transmisión de datos en tiempo real entre dispositivos de automatización, como controladores y sensores. Se basa en el protocolo de comunicación serie y proporciona una plataforma robusta y confiable para la transferencia de datos en entornos industriales [36].

Por otro lado, V-Net es una plataforma en la nube que permite establecer conexiones seguras y gestionar la comunicación entre dispositivos y sistemas de automatización. Proporciona una infraestructura virtual que permite la transferencia de datos y la integración de dispositivos en la nube, lo que facilita el monitoreo remoto, el control y la gestión de procesos industriales [36].

La relación entre PROFIBUS y V-Net radica en la posibilidad de utilizar PROFIBUS como una de las tecnologías de comunicación compatibles con V-Net. Esto significa que los dispositivos que utilizan PROFIBUS como protocolo de comunicación pueden ser integrados en la plataforma V-Net, permitiendo la supervisión y el control remoto a través de la nube [36].

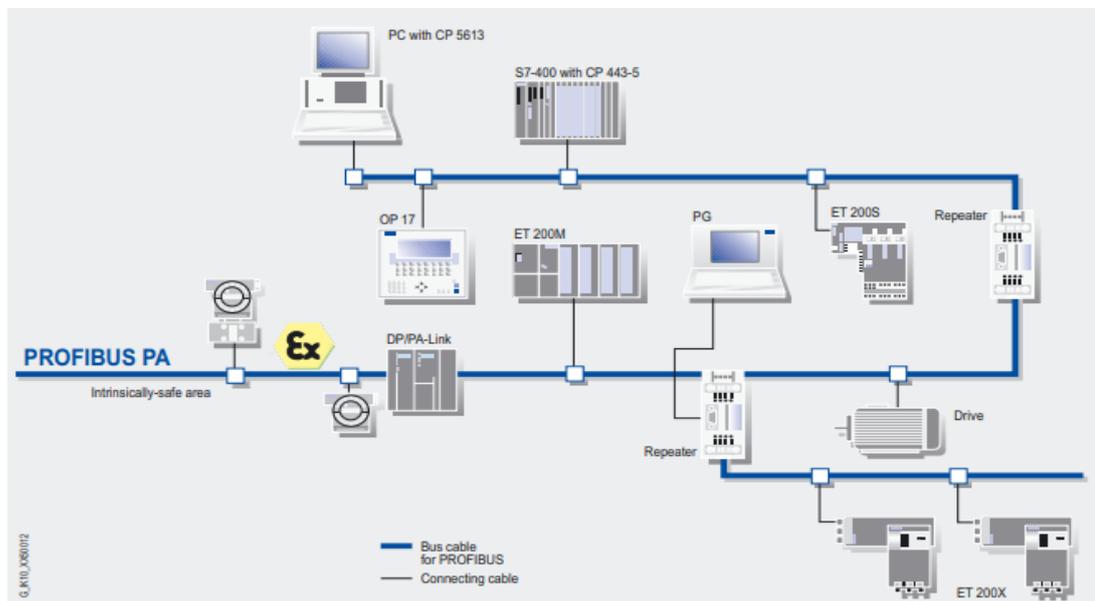


Fig. 3.23 Comunicación Profibus IEC 61158/EN 50170 [36].

4. ANALISIS DE RESULTADOS

El control y monitoreo de un variador de frecuencia en tiempo real usando Gateway IoT, se debe establecer las conexiones del prototipo, en el especial del V-BOX al variador de frecuencia utilizado para luego establecer los puertos de comunicación. En este caso de estudio se analiza un motor para ellos se debe crear las variables de corriente, frecuencia y tensión, para poder visualizarlo en la interfaz gráfica su comportamiento, en análisis de líneas de tendencia se analiza en los estados a distinta frecuencia, cuando el motor gira a la izquierda o a la derecha estos datos se los puede descargar de la misma plataforma de Vnet.

4.1. CONEXIONES PARA EL PROTOTIPO

En la Fig. 4.24 se detalla la conexión del V-BOX y el variador de frecuencia para la plataforma de V-NET, al tener energizados los equipos se procede a la configuración de los mismos, teniendo en cuenta que tengan comunicación Modbus RS 485, se selecciona el puerto y el tipo de equipo a comunicar en este caso el variador de frecuencia SV-iG5A. Para realizar la comunicación a V-BOX al variador de frecuencia por medio de Modbus RS 485 es necesario conectar el pin 1 y el pin 6.

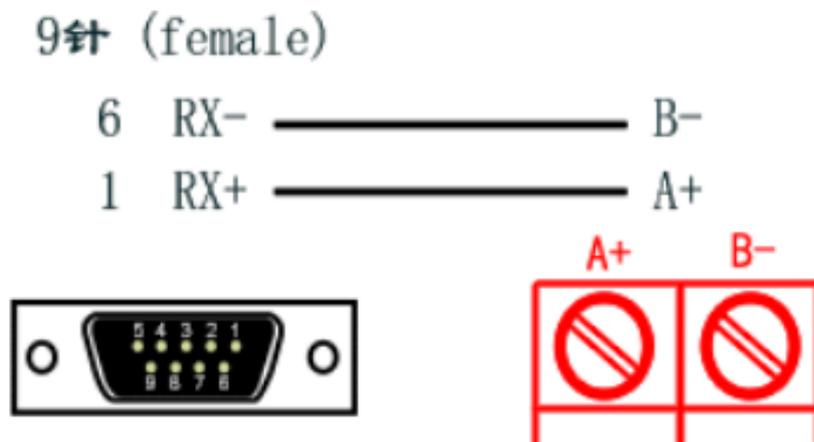


Fig. 4.24 Conexión del V-BOX al Variador de frecuencia [37].

4.2. VARIABLES PARA EL CONTROL Y MONITOREO

Para el control y monitoreo es necesario crear las variables que se van a ocupar dentro de la interfaz en el Anexo 4 se detalla los datos necesarios para su edición, en la Fig. 4.25 están las variables necesarias como lo son: tensión de salida, tiempo de frenado, tiempo de aceleración, corriente de salida, frecuencia de salida, estado del equipo, palabra de control y consigna de frecuencia.

TENSION DE SALIDA	0.0	COM1	1-4-10
TIEMPO DE FRENADO	5.0	COM1	1-4-7
TIEMPO DE ACELERACION	5.0	COM1	1-4-6
CORRIENTE DE SALIDA	0.0	COM1	1-4-8
FRECUENCIA DE SALIDA	0.00	COM1	1-4-9
PALABRA DE CONTROL	5057	COM1	1-4-5
CONSIGNA DE FRECUENCIA	60.00	COM1	1-4-4

Fig. 4.25 Variables de control y monitoreo

4.3. CONTROL Y MONITOREO USANDO GATEWAY IOT

En el Anexo 4 está la interfaz de entrada para la ventana de monitoreo y control de datos en este ilustrado en la Fig. 4.26, la misma tiene los siguientes valores analizados: frecuencia de salida, corriente de salida, estado del equipo y la tensión de salida, para determinar la acción requerida por el usuario se puede ingresar lo valores decimales dados en la Tabla 3.6 y los datos hexadecimales dados en el Anexo 2 los cuales sirven para el direccionamiento de V-NET. Además, en el Anexo 6 está en motor utilizado sin carga y en el Anexo 7 está el motor utilizado con carga inductiva.

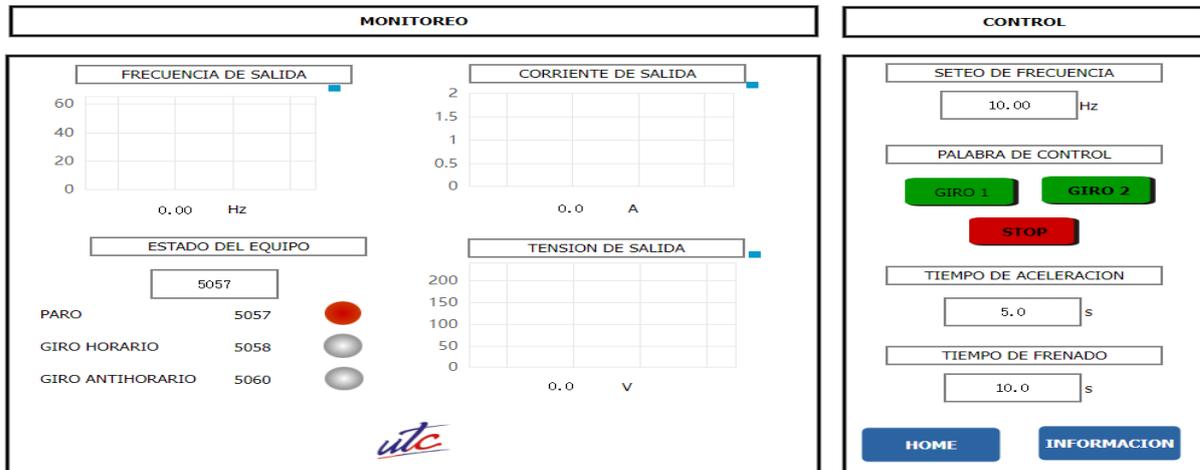


Fig. 4.26 Interfaz gráfica del control y monitoreo de datos usando Gateway IOT

4.4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En la Fig. 4.27 se analiza el comportamiento de las variables de corriente, voltaje y frecuencia de arranque de un motor de medio “HP”, además de los estados del motor si esta encendido, apagado, gira a la izquierda o a la derecha, la gráfica muestra que la corriente de arranque muestra un pico inicial el cual se puede analizar de forma general para realizar tendencias o históricos eléctricos de la misma manera a para las demás variables analizadas.

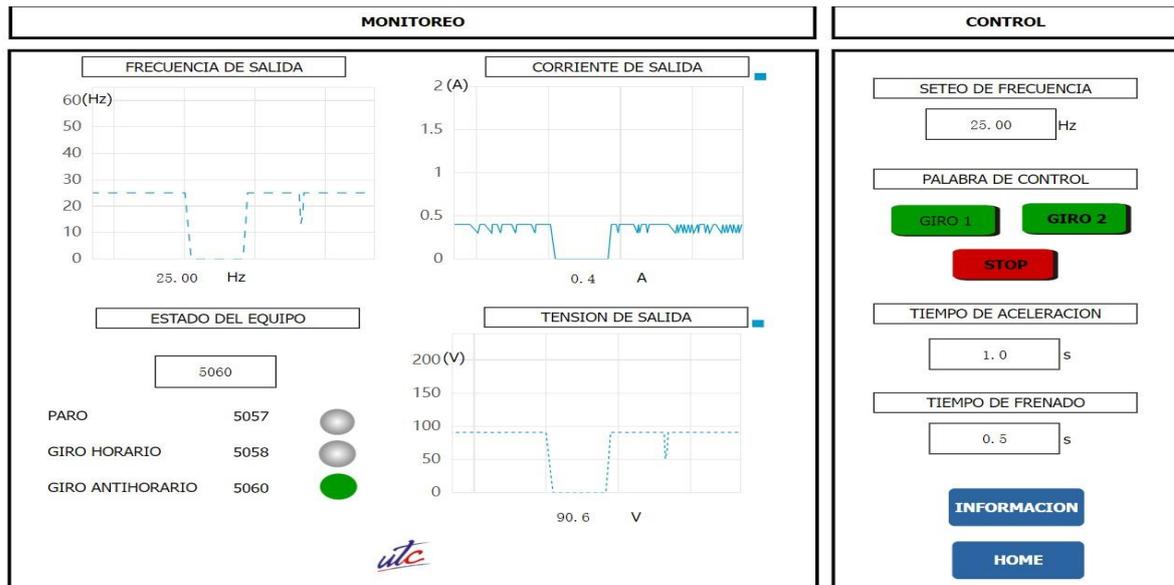


Fig. 4.27 Interfaz gráfica del control y monitoreo de datos usando Gateway IOT

4.5. LÍNEAS DE TENDENCIA PARA EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para determinar las líneas de tendencia se debe realizar un histórico determinado en las variables de voltaje y corriente a distinta frecuencia, las cuales se pueden extraer de la misma plataforma de Vnet a un archivo Excel en el cual se puede determinar la potencia y su consumo de energía.

4.5.1. Pruebas de funcionamiento a distinta frecuencia para identificar el consumo de energía

En el Anexo 5 se encuentran las características del motor utilizado, el cual tiene una potencia de 0.75 HP. En la Tabla 4.8, se presentan en detalle los resultados de corriente y voltaje aplicados a diferentes frecuencias durante un período de análisis de 10 segundos. Además, se proporcionan datos sobre la potencia y energía consumida en cada caso. Complementando este análisis, el Anexo 6 presenta los resultados del motor en condiciones sin carga, mientras que el motor con carga se examina en el Anexo 7.

Tabla 4.8 Resultados del consumo de energía

Tiempo de Análisis (s)	Frecuencia (Hz)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Energía (Julios)
10	10	0.4	39	15.6	156
20	20	0.4	73.8	29.52	590.4
30	30	0.4	108.9	43.56	1306.8
40	40	0.4	143.6	57.44	2297.6
50	50	0.4	178.2	71.28	3564
60	60	0.4	213.2	83.96	5037.6

4.6. PRUEBA DEL MOTOR SIN CARGA

De los datos de la Tabla 4.8 los cuales son los valores medidos por el prototipo de IoT, se establece que el valor de la corriente se mantiene constante, por otra parte, los valores de la tensión se incrementan a medida que sea aplicada la frecuencia con el tiempo de análisis, lo expuesto anteriormente se ilustra en la Fig. 4.28. Al ser constante la tensión no necesita ser analizada en un tiempo de análisis.

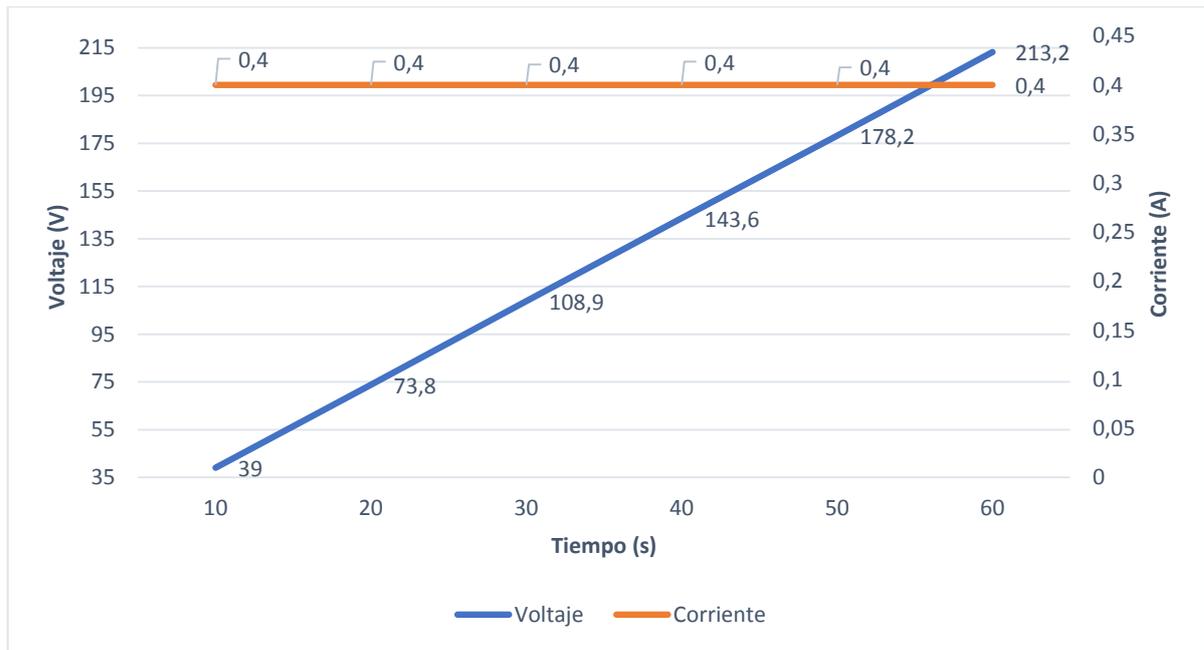


Fig. 4.28 Voltaje y corrientes medidos en función del tiempo IoT

4.7. LÍNEAS DE TENDENCIA SIN CARGA

Con los datos de la Tabla 4.8, el tiempo de análisis y la energía consumida se realiza un gráfico en Excel al se agrega una línea de tendencia polinomial de cuarto grado, además del error medio cuadrático, lo mencionado antes está representado en la Fig. 4.29.

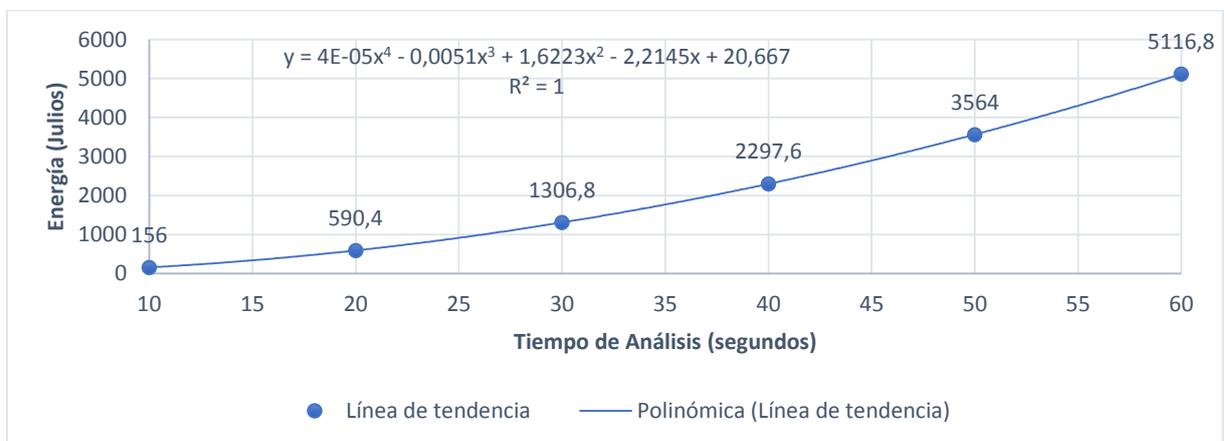


Fig. 4.29 Línea de tendencia de la Energía

Para determinar la línea de tendencia del consumo de energía se utilizó la Ecuación (1) la cual es polinomial de cuarto grado dado por Excel. La misma se utiliza para calcular la energía consumida en un intervalo de tiempo y a distinta frecuencia.

$$y = 4 - 10^{-05} * x^4 - 0.0051 * x^3 + 1.6223 * x^2 - 2.2145 * x + 20.667 \quad (1)$$

En la Tabla 4.9 está el resultado al aplicar la Ecuación (1) la cual es la energía calculada de la línea de tendencia, en la misma conta la variación en cada uno de los tiempos de análisis y la variación total es de 0.25%.

Tabla 4.9 Variación de la Energía Medida y Calculada

Tiempo de Análisis (s)	x^4	x^3	x^2	x	a	Energía Calculada (Julios)	Energía Medida (Julios)	Error (%)
	4.00E-05	-0.0051	1.6223	-2.2145	20.667			
10	0.4	-5.1	162.23	-22.145	20.667	156.052	156	0.03%
20	6.4	-40.8	648.92	-44.29	20.667	590.897	590.4	0.08%
30	32.4	-137.7	1460.07	-66.435	20.667	1309.002	1306.8	0.17%
40	102.4	-326.4	2595.68	-88.58	20.667	2303.767	2297.6	0.27%
50	250	-637.5	4055.75	-110.725	20.667	3578.192	3564	0.40%
60	518.4	-1101.6	5840.28	-132.87	20.667	5144.877	5116.8	0.55%
						13082.787	13031.6	0.25%

4.8. LÍNEAS DE TENDENCIA CON CARGA

Para el análisis de las líneas de tendencia de las variables medidas por el prototipo IoT se deben verificar el margen de error tienda a cero, se tiene que la corriente se mantiene constante, pero en la pinza amperimétrica si varia, para ello se va a establecer una ecuación polinómica de sexto grado para calcular una corriente en distinto tiempo. Para finalizar en la Tabla 4.10 están los datos tabulados de los Anexo 14, Anexo 15, Anexo 16 y el Anexo 17, estos anexos muestran las variables medidas en la IoT, en el variador de frecuencia y con la pinza amperimétrica.

Tabla 4.10 Datos para el análisis con carga

Tiempo de Análisis (s)	Frecuencia (Hz)	Corriente IoT (A)	Corriente Amperímetro (A)	Voltaje IoT (V)	Voltaje Variador de frecuencia (A)
10	10	0.5	0.52	37.3	37.3
20	20	0.5	0.52	70.6	70.6
30	30	0.5	0.52	103.7	103.5
40	40	0.5	0.55	138	137.8
50	50	0.5	0.52	171.4	171.3
60	60	0.5	0.46	205.3	205

4.8.1. Línea de tendencia de la corriente

En la tabla Tabla 4.11 Datos de la IoT y el Amperímetro se toma los valores proporcionados para realizar un análisis posterior de la corriente en función del tiempo de análisis, la corriente medida en la IOT no muestra variaciones ya que esta es limitada medida de datos hasta un decimal, por lo contrario en el amperímetro si varia, entonces la línea de tendencia se enfocara en los parámetros que varíen.

Tabla 4.11 Datos de la IoT y el Amperímetro

Tiempo de Análisis (s)	Frecuencia (Hz)	Corriente IoT (A)	Corriente Amperímetro (A)	Voltaje IoT (V)	Voltaje Variador de frecuencia (A)
10	10	0.5	0.52	37.3	37.3
20	20	0.5	0.52	70.6	70.6
30	30	0.5	0.52	103.7	103.5
40	40	0.5	0.55	138	137.8
50	50	0.5	0.52	171.4	171.3
60	60	0.5	0.46	205.3	205

El prototipo del IoT tiene una limitado dada por el variador de frecuencia que solo permite un decimal el cual hace que los resultados varíen, pero un porcentaje muy pequeño. En la Fig. 4.30 se puede evidenciar el comportamiento de la corriente.

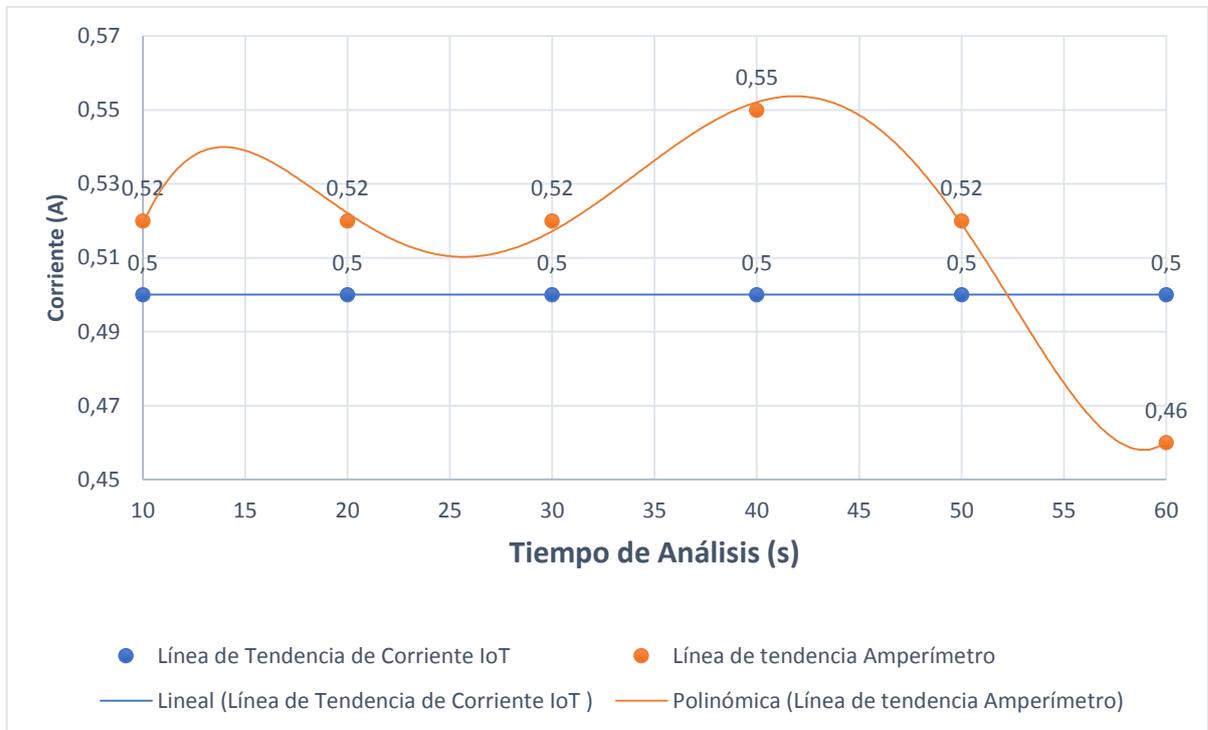


Fig. 4.30 Corriente en IoT vs Corriente en el Amperímetro

En la Ecuación (2) se establece la forma polinómica de sexto grado la cual se utiliza para calcular la corriente para distintos tiempos de análisis.

$$y = 2.096e - 10 x^6 - 2.402e - 08 x^5 + 1.683e - 07 x^4 + 7.093e - 05 x^3 - 0.003146 x^2 + 0.04832 x + 0.2809 \quad (2)$$

Al aplicar la Ecuación (2) se obtiene la Tabla 4.12, la cual indica que el error tiende a cero en todos los escenarios, al igual que su error promedio.

Tabla 4.12 Error Porcentual de la corriente calculada

Tiempo de Análisis (s)	Frecuencia (Hz)	Corriente IoT (A)	Corriente Amperímetro (A)	Error %
10	10	0.5	0.52	0.02%
20	20	0.5	0.52	0.03%
30	30	0.5	0.52	0.07%
40	40	0.5	0.55	0.12%
50	50	0.5	0.52	0.24%
60	60	0.5	0.46	0.50%
Error promedio de la corriente				0.16%

4.8.2. Línea de Tendencia del voltaje

De los datos de la Tabla 4.11 en este caso son necesarios para el análisis los valores de los voltajes medidos en el variador de frecuencia y la IoT, en la Fig. 4.31 se evidencia que los datos obtenidos son muy similares y su error porcentual está en el Anexo 18.

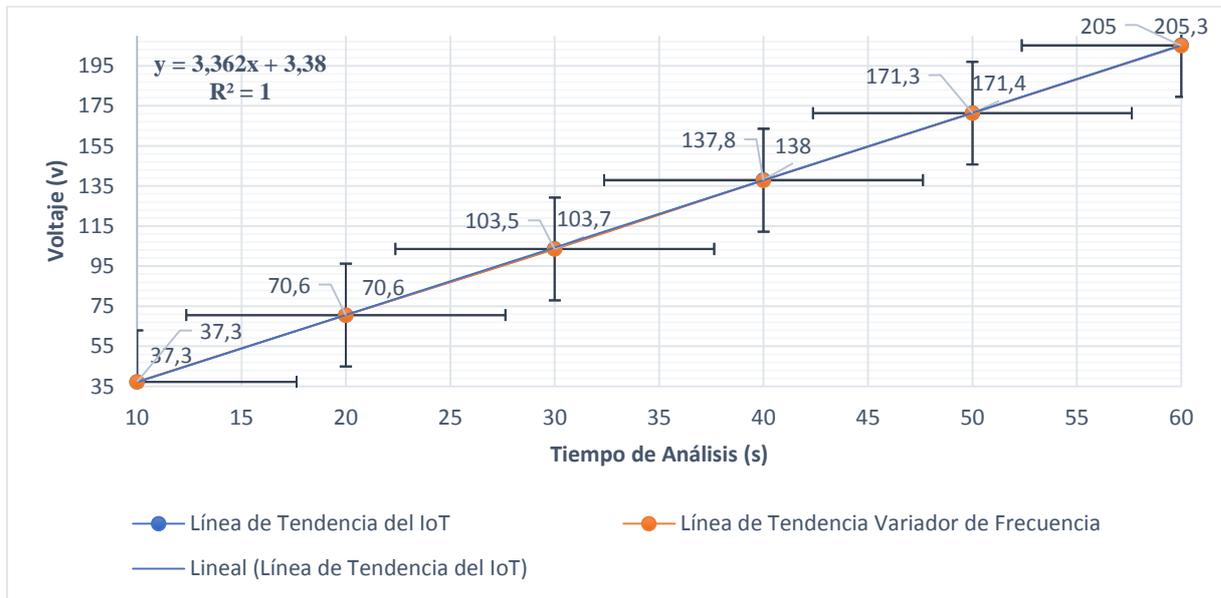


Fig. 4.31 Voltaje IoT vs Voltaje Variador de Frecuencia

Con los datos de la Tabla 4.11 se establece una línea de tendencia lineal, la Ecuación (3) sirve para el análisis de en un tiempo específico o en los mismos tiempos de análisis ya establecidos.

$$y = 3.362x + 3.38 \quad (3)$$

Es necesario determinar el margen de error de la línea de tendencia juntamente con su ecuación determinada, en la Tabla 4.13 se muestra el porcentaje de error del voltaje calculado el cual tiende a cero.

Tabla 4.13 Porcentaje de error del voltaje calculado

Tiempo de Análisis (s)	Voltaje IoT (V)	Voltaje Calculado	Error
10	37.3	37	0.80%
20	70.6	70.62	0.03%
30	103.7	104.24	0.52%
40	138	137.86	0.10%
50	171.4	171.48	0.05%
60	205.3	205.1	0.10%
Error promedio del voltaje			0.27%

4.8.3. Comparación del Error Calculado con Carga y sin Carga

La Tabla 4.14 indica el porcentaje de error de las variables calculadas mediante las líneas de tendencia, la corriente se mantiene constante en función del tiempo.

Tabla 4.14 Comparación del error

Tiempo de Análisis (s)	Error % de la tensión sin carga	Error % de la tensión con carga	Error % de la corriente con carga
10	0.03%	0.02%	0.80%
20	0.08%	0.03%	0.03%
30	0.17%	0.07%	0.52%
40	0.27%	0.12%	0.10%
50	0.40%	0.24%	0.05%
60	0.55%	0.50%	0.10%
Promedio Total	0.25%	0.16%	0.27%

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La comunicación en tiempo real mediante el protocolo de ethernet, nos garantiza la transmisión de datos segura y confiable.
- La metodología para el diseño del prototipo se establece en un proceso de mando el cual se trabaja a través de la interfaz IoT, de forma paralela el proceso de trabajo práctico es mediante las conexiones eléctricas para cualquier receptor.
- La comparación de datos entre el prototipo de control y monitoreo IOT en relación a valores medidos con la pinza amperimétrica en el sitio dando un resultado satisfactorio en las medidas, con un porcentaje de error del 0.25% en relación a la corriente sin carga y del 0.16% con carga aplicada.

5.2. RECOMENDACIONES

- Revisar la ficha técnica tanto del variador como del V_Box, para lograr una comunicación satisfactoria entre ambos dispositivos.
- Descargar la aplicación V-Box.net, ya que a través del aplicativo se puede acceder a la interfaz del programa con cualquier red de internet inalámbrica o fija.
- Para la instalación en campo, se recomienda que el prototipo se encuentre debajo de un techo o cubierta, sin humedad para evitar daños a su funcionamiento.
- Para trabajos futuro se debe tener en cuenta el procesamiento de datos históricos de las variables ocupadas mediante base de datos ocupando Python o SQL.

6. REFERENCIAS

- [1] L. Islas Ortega and V. Miguel Hernández Maldonado, “Red de sensores inalámbricos para mantenimiento predictivo Pdm E-2019,” 2019.
- [2] G. Vinobala, M. Piramu, D. K. Rubasoundar, and P. G. Scholar, “Monitoring of industrial electrical equipment using IOT,” vol. 9, no. 7, pp. 2320–2882, 2021, Accessed: May 02, 2023. [Online]. Available: www.ijert.org
- [3] D. Chaudhary and R. Mehta, “IoT based Conditioning Monitoring of Motor with the help of Variable Frequency Drive,” *SSRN Electronic Journal*, Feb. 2021, doi: 10.2139/SSRN.3808532.
- [4] J. S. J. Kumar, V. S. Mani, Viswas S, and S. M. Ghazi, “IoT based VFD control using PLC,” *AIP Conf Proc*, vol. 2427, no. 1, Feb. 2023, doi: 10.1063/5.0101140/2866437.
- [5] F. Yu, Q. Wen, H. Lei, L. Huang, and Z. Wen, “A Compound Control System for FR4-Based Electromagnetic Scanning Micrograting,” *Electronics 2019, Vol. 8, Page 770*, vol. 8, no. 7, p. 770, Jul. 2019, doi: 10.3390/ELECTRONICS8070770.
- [6] G. Pavithra and V. V. Rao, “Remote monitoring and control of VFD fed three phase induction motor with PLC and LabVIEW software,” *Proceedings of the International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud), I-SMAC 2018*, pp. 329–335, Feb. 2019, doi: 10.1109/I-SMAC.2018.8653657.
- [7] C. M. Arcos Muñoz, “Control y Monitoreo de un Variador de Frecuencia por Medio de un PLC y Software LABVIEW.,” Aug. 2011, Accessed: May 02, 2023. [Online]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1747>
- [8] Vengas G. and Baldeón B., “Desarrollo de un sistema de supervisión de energía basado en IOT para la gestión de operación y mantenimiento de una planta industrial,” Guayaquil, 2019.
- [9] Muñoz N. and Tapia C., “Sistema de control y monitoreo en tiempo real para el análisis del consumo energético en el tablero de distribución principal del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi Campus Matriz, periodo 2020.,” 2020, Accessed: May 02, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7935>
- [10] G. Bedi, G. K. Venayagamoorthy, R. Singh, R. R. Brooks, and K. C. Wang, “Review of Internet of Things (IoT) in Electric Power and Energy Systems,” *IEEE Internet of Things*

- Journal*, vol. 5, no. 2. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 847–870, Apr. 01, 2018. doi: 10.1109/JIOT.2018.2802704.
- [11] A. Hmidet and O. Boubaker, “Real-Time Low-Cost Speed Monitoring and Control of Three-Phase Induction Motor via a Voltage/Frequency Control Approach,” *Math Probl Eng*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/6913813.
- [12] ARCOTEL, “Resolución-ARCOTEL-2019-0535,” 2019, Accessed: May 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/07/Resoluci%C3%B3n-ARCOTEL-2019-0535.pdf>
- [13] Mora Raymundo and Quishpe Manuel, “Análisis de la calidad de la energía eléctrica en el levantamiento artificial de petróleo. bloque 15 Oriente Ecuatoriano.,” 2003.
- [14] SIMAMICS, “Variadores de velocidad SINAMICS,” 2020, Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:1fa4bb7d-3af6-41c8-be87-d439caac67a5/cap-3-2022-05-24-compressed-1-.pdf>
- [15] LS Industrial Systems, “Manual del variador de frecuencia SV-iG5A,” pp. 20–25, 2013, Accessed: Jul. 10, 2023. [Online]. Available: https://www.siberzone.es/Media/Uploads/dlm_uploads/2017/04/manual_-variador-ig5a_largo_esp.pdf
- [16] MOKO BLUE, “La tecnología Bluetooth se ha integrado en IoT,” May 03, 2020. <https://www.mokoblue.com/es/why-bluetooth-iot/> (accessed May 18, 2023).
- [17] Lanner, “Gateway IoT,” 2022. <https://www.lanner-america.com/es/blog-es/que-es-un-gateway-iot/> (accessed May 18, 2023).
- [18] J. A. Gázquez, F. L. Guillen #, N. Novas, and M. Berenguel, “Diseño e implementación de un sistema de comunicación en tiempo real y tolerante a fallos para monitorización médica en vehículo en movimiento,” Sep. 2004.
- [19] L. A. Gordillo and Overdrive Inc., “La Gestión Profesional de Ventas,” 2014, Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: https://books.google.com/books/about/La_Gesti%C3%B3n_Profesional_de_Ventas.html?hl=es&id=uwHPCgAAQBAJ
- [20] González F., López V., and Stein P., “Introducción a IoT usando protocolo MQTT - ppt descargar,” 2017. <https://slideplayer.es/slide/13630933/> (accessed May 29, 2023).

- [21] B. Raton, L. New, and Y. Washington, “Electric Power Distribution Handbook,” pp. 447–473, 2004, Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: www.crcpress.com
- [22] G. Yadav and K. Paul, “Architecture and security of SCADA system: a review,” vol. 1, pp. 17–25, Jun. 2020, Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2001.02925.pdf>
- [23] A. Y. C. Nee, “Handbook of manufacturing engineering and technology,” *HandBook of Manufacturing Engineering and Technology*, pp. 1–12, Jan. 2015, doi: 10.1007/978-1-4471-4670-4.
- [24] Thomas F. Edgar, “Process Dynamics and Control - Dale E. Seborg, Thomas F. Edgar, Duncan A. Mellichamp, Francis J. Doyle, III - Google Libros.” [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ZZVFEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Seborg,+D.+E.,+Edgar,+T.+F.,+%26+Mellichamp,+D.+A.+\(2019\).+Process+Dynamics+and+Control.+John+Wiley+%26+Sons.&ots=qN8rcdFLNL&sig=yeOAoNV_kTXlQJmN9z3cjP9MVc4#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ZZVFEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Seborg,+D.+E.,+Edgar,+T.+F.,+%26+Mellichamp,+D.+A.+(2019).+Process+Dynamics+and+Control.+John+Wiley+%26+Sons.&ots=qN8rcdFLNL&sig=yeOAoNV_kTXlQJmN9z3cjP9MVc4#v=onepage&q&f=false) (accessed May 18, 2023).
- [25] A. E. P. Tinoco and L. M. García, “Una revisión sistemática en Sistemas de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora,” *Teknos revista científica*, pp. 31–38, Jul. 2018, doi: 10.25044/25392190.923.
- [26] T. D. P. Mendes, R. Godina, E. M. G. Rodrigues, J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalão, “Smart Home Communication Technologies and Applications: Wireless Protocol Assessment for Home Area Network Resources,” *Energies 2015, Vol. 8, Pages 7279-7311*, vol. 8, no. 7, pp. 7279–7311, Jul. 2015, doi: 10.3390/EN8077279.
- [27] M. Cooper, “Breve historia de la telefonía celular,” 2001, Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32975756/La_evolucion_de_la_telefonia_movil-libre.pdf?1393927021=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLECTURAS_La_evolucion_de_la_telefonia_mo.pdf&Expires=1684533174&Signature=GJ2IQ-JrfhUAJoZ4NXAvSxZUAqab~FMSJH1FnGT5C32hzDoaXTSxDTLy9x~nnvNtEjpw9hYckz7ZJEw9p4QJYVrKenKfIbihZgzjgaJqm~LT~HCFEltZzMCmgBCDPSyEmrt7JHpslZqN411FId-P7xV9eIdzPoxTYiep6biqGwBGeq89N57mQH3Hbe6fcVHLLfjrMADDPJS6I-

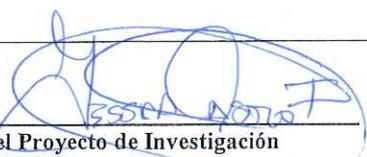
6ZkVXQ4io5YYbx1t41vQtbWKcl-
mzpCklAsv91rDjmouvweNE4RmQRnc1VNaIzKtB9968hFCbPKyjR5c9gr99e0C1H~
gLggM1w60Gy0e313zn9E3FHD2t8jU24jWXRzbXj9mJg__&Key-Pair-
Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

- [28] EFOR, “Tecnologías de comunicación para IOT,” 2020, Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: www.efor.es
- [29] C. Mario, G. Rodríguez, and F. De Ingeniería, “Repotenciación de un motor mediante un variador,” 2015. Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.pascualbravo.edu.co/handle/pascualbravo/321>
- [30] J. E. Valenzuela Cerón, “Manual de tipos de motores eléctricos, reconocimiento y sus aplicaciones en la industria,” Apr. 2013, Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6069>
- [31] A. E. Fitzgerald *et al.*, “Electric Machinery Sixth Edition ~l~C 3raw lill,” 1980, Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: www.mhhe.com
- [32] M. Mahbub, “Electric Machinery and Transformers by Bhag S. Guru.” Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: https://www.academia.edu/42149692/Electric_Machinery_and_Transformers_by_Bhag_S_Guru
- [33] V-NEV, “Introduction of V-NET——Better Team, Better Products, Contribute to Intelligent Manufacturing,” 2021. https://www.we-con.com.cn/en/terminal_s/42.html (accessed Jun. 24, 2023).
- [34] V-BOX, “Catalogo de WECON V-BOX,” pp. 5–10, 2022, Accessed: Jul. 27, 2023. [Online]. Available: <https://ftp.we-con.com.cn/Download/Catalog/WECON%20V-BOX%20Catalog%202022.pdf>
- [35] International Society of Automation., “American National Standard, ANSI/ISA-101.01-2015: Human machine interfaces for process automation systems.,” pp. 20–42, 2015.
- [36] IEC 61158/EN 50170, “PROFIBUS according to IEC 61158/EN 50170,” 2015, Accessed: Jun. 25, 2023. [Online]. Available: http://www.gisa.se/uploaded_files/PROFIBUSkatalog_en.pdf?v20180222182857

- [37] Wecon, “Communication Wecon,” *Wecon Technology*, 2022. <https://docs.wecon.com.cn/bin/view/V-BOX/V-Net/Training/1%20Communication/#HMODBUSRTUSlave28Allfunction29> (accessed Jul. 18, 2023).

7. ANEXOS

7.1. INFORME ANTIPLAGIO PROYECTO DE TITULACIÓN

Facultad:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
Carrera:	Ingeniería en Electricidad
Nombre del docente evaluador que emite el informe:	Ing. Castillo Fiallos Jessica Nataly M. Sc.
Documento evaluado:	Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico
Autores del documento:	Sr. Zambrano Cajias Esteban Fernando
Programa de similitud utilizado:	Sistema Compilation
Porcentaje de similitud según el programa utilizado:	1%
Observaciones: Calificación de originalidad atendiendo a los siguientes criterios: <ul style="list-style-type: none"> El documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones. El documento cumple criterios de originalidad, con observaciones. El documento no cumple criterios de originalidad. 	-X-
Fecha de realización del informe:	8/8/2023 11:35 AM
<p>Captura de pantalla del documento analizado:</p>  <p>CERTIFICADO DE ANÁLISIS magister</p> <p>Tesis_Zambrano_E</p> <p><1% Similitudes</p> <p><1% Texto entre comillas 0% similitudes entre comillas 0% Idioma no reconocido</p> <p>Nombre del documento: Tesis_Zambrano_E.pdf ID del documento: 7375225e44c60d3f46acc25f26f18338d8c30055 Tamaño del documento original: 1,31 MB</p> <p>Depositante: JESSICA NATALY CASTILLO FIALLOS Fecha de depósito: 3/8/2023 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 8/8/2023</p> <p>Número de palabras: 12.104 Número de caracteres: 76.939</p> <p>Ubicación de las similitudes en el documento:</p> <p style="text-align: center;">  Tutor del Proyecto de Investigación Ing. Castillo Fiallos Jessica Nataly M. Sc. C.C. 060459021-6 </p>	



Tesis_Zambrano_E

< 1%  < 1% Texto entre comillas
 0% similitudes entre comillas
 0% Idioma no reconocido

Nombre del documento: Tesis_Zambrano_E.pdf
 ID del documento: 7375225e44c60d3f46acc25f26f18338d8c30055
 Tamaño del documento original: 1,31 MB

Depositante: JESSICA NATALY CASTILLO FIALLOS
 Fecha de depósito: 3/8/2023
 Tipo de carga: interface
 fecha de fin de análisis: 8/8/2023

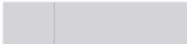
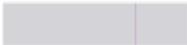
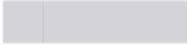
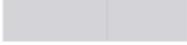
Número de palabras: 12.104
 Número de caracteres: 76.939

Ubicación de las similitudes en el documento:



≡ Fuentes

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 www.lanner-america.com ¿Qué es un Gateway IIoT 2022 Update Lanner https://www.lanner-america.com/es/blog-es/que-es-un-gateway-iiot/	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (19 palabras)
2	 dspace.ups.edu.ec Diseño e implementación de un sistema fundamentado en un a... http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22400/2/UPS-GT003684.pdf	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (17 palabras)
3	 dspace.udla.edu.ec Diseño y desarrollo de un prototipo para transmitir parámetros... http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10914/1/UDLA-EC-TIRT-2019-01.pdf	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (11 palabras)
4	 ayudaleyprotecciondatos.es Protección de datos en IIoT (Internet de las Cosas) Ay... https://ayudaleyprotecciondatos.es/2021/06/09/proteccion-datos-internet-de-las-cosas/	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (10 palabras)
5	 electropreguntas.com La distinción entre motores de inducción y reluctancia en vo... https://electropreguntas.com/cual-es-la-diferencia-entre-un-motor-de-induccion-y-un-motor-de-relect...	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (11 palabras)

Fuentes ignoradas Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 Tesis_Zambrano_E.pdf Tesis_Zambrano_E #1e923d  El documento proviene de mi biblioteca de referencias	100%		Palabras idénticas : 100% (12.104 palabras)
2	 Tesis_Zambrano_E.pdf Tesis_Zambrano_E #688308  El documento proviene de mi biblioteca de referencias	100%		Palabras idénticas : 100% (12.104 palabras)
3	 Tesis_Zambrano_E.pdf Tesis_Zambrano_E #e53124  El documento proviene de mi biblioteca de referencias	100%		Palabras idénticas : 100% (12.104 palabras)

Anexo 1 Características del variador de frecuencia SV-iG5A

Característica	Descripción
Rango de potencia	Desde 0.4 kW hasta 7.5 kW
Voltaje de entrada	Monofásico 220VAC o Trifásico 220/380/440VAC
Frecuencia de entrada	50/60 Hz
Voltaje de salida	Trifásico 0-100% de la tensión de entrada
Frecuencia de salida	0-400 Hz (ajustable)
Control de velocidad	Control vectorial de lazo cerrado o control V/F
Protecciones	Sobre corriente, sobretensión, sub tensión, sobrecarga, etc.
Comunicación	Puerto RS-485, protocolo de comunicación Modbus
Pantalla	Pantalla LCD integrada para visualización y programación
Modos de operación	Control de velocidad, control de torque, control de posición
Funciones de seguridad	Protección contra falla de encendido, frenado de emergencia
Montaje	Montaje en riel DIN o montaje en panel
Programación	Programación de parámetros a través del panel o software
Aplicaciones típicas	Bombas, ventiladores, transportadores, maquinaria general

Anexo 2 Direccionamiento para el registro de VNET

Dirección Hexadecimal en VFD	Dirección decimal en VFD	Registro en V-NET
0X005	5	4
0X006	6	5
0X007	7	6
0X008	8	7
0X00A	10	9
0X00B	11	10

Anexo 3 Datos para crear una variable del interfaz

Name	CONSIGNA DE FRECUENCIA	
Connection	2-COM1	
Port	Word	Date Type 4
Register Main No.	4	Main range 0 999999 (Decimal)
Permissions	<input type="radio"/> Read-only <input type="radio"/> Write-only <input checked="" type="radio"/> Read-write	
Low Data Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Enable custom data refresh intervals. Please set in global setting. [2 seconds by default]	
Unit	Max. character length 20 allowed	
Data format	16-bit unsigned	
Total digits	5	

Edit tag		✕	
Unit	Max. character length 20 allowed		
Data format	16-bit unsigned		
Total digits	5		
Intege	3	Decimal digits	2
Data range	0~65535		
Minimum	0	Max.	65535
Byte order	12		
Station No.	1	Range: 0~255	
Data Filter	When value changes within ± 0 , data not upload		
Map Display	<input type="radio"/> ON <input checked="" type="radio"/> OFF		

Cancel OK

Anexo 4 Interfaz principal del monitoreo y control IOT

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA EN TIEMPO REAL USANDO GATEWAY IOT



PROCESO

Anexo 5 Características eléctricas del motor utilizado

Potencia (HP)	Referencia Motor	Factor de Servicio	Tamaño constructivo	Datos nominales		Corriente Nominal			Factor de Potencia	Eficiencia		Datos de arranque			Rodamientos AS / BS B3 (kg)	Peso Neto B3 (kg)
				Velocidad (rpm)	Torque (Nm)	220 VDD A	380 VYY A	440 VD A		100%	Corriente x Inom	Torque x Tnom	Torque rotor bloqueado x Tn			
Datos Eléctricos motores serie 1LE0142 IE1 4 polos (1800 rpm)																
0,75	1LE0142-0DB26-4AA4-Z D80	1,15	80 M	1.735	3,0	2,60	1,49	1,29	0,77	74,0	6,0	2,0	2,7	6204 2RZ C3	14,5	
1	1LE0142-0DB36-4AA4-Z D80	1,15	80 M	1.720	4,2	3,30	1,91	1,65	0,77	77,0	6,0	2,0	2,7	6204 2RZ C3	15,0	
1,5	1LE0142-0DB86-4AA4-Z D80	1,15	80 M	1.720	6,1	4,85	2,80	2,40	0,77	79,0	6,0	2,0	2,7	6204 2RZ C3	15,5	
2	1LE0142-0EB46-4AA4-Z D80	1,15	90 L	1.725	8,3	6,20	3,55	3,10	0,78	81,5	6,5	2,1	2,7	6205 2RZ C3	21,0	
3	1LE0142-0EB86-4AA4-Z D80	1,15	90 L	1.735	12,1	8,70	5,10	4,35	0,81	83,0	6,5	2,1	3,0	6205 2RZ C3	27,0	
4	1LE0142-1AB56-4AA4-Z D80	1,15	100 L	1.730	16,6	11,10	6,40	5,50	0,83	85,0	7,3	2,5	3,1	6206 2RZ C3	33,0	
5	1LE0142-1AB86-4AA4-Z D80	1,15	100 L	1.715	20,6	13,90	8,00	6,90	0,83	85,0	6,8	2,3	3,0	6206 2RZ C3	41,0	
8	1LE0142-1BB86-4AA4-Z D80	1,15	112 M	1.740	30,2	21,50	12,40	10,70	0,79	87,0	7,0	2,5	3,8	6206 2RZ C3	47,0	
10	1LE0142-1CB26-4AA4-Z D80	1,15	132 M	1.750	40,9	27,50	15,80	13,60	0,82	87,5	7,4	2,3	2,9	6208 2RZ C3	66,0	
15	1LE0142-1CB86-4AA4-Z D80	1,15	132 M	1.750	60,1	40,50	23,50	20,00	0,82	88,5	7,4	2,3	3,5	6208 2RZ C3	78,0	
20	1LE0142-1DB46-4AA4-Z D80	1,15	160 L	1.760	81,4	52,00	30,00	26,00	0,84	89,5	8,0	2,2	2,7	6209 2RZ C3	123,0	
25	1LE0142-1DB86-4AA4-Z D80	1,15	160 M	1.760	100,0	64,00	37,50	32,00	0,84	90,5	8,0	2,2	3,8	6209 2RZ C3	108,0	
30	1LE0142-1EB46-4AA4-Z D80	1,15	180 L	1.765	119,0	77,00	44,50	38,50	0,84	91,0	8,0	2,2	2,7	6210 RZ C3	169,0	
40	1LE0142-1EB86-4AA4-Z D80	1,15	180 L	1.765	162,0	100,00	58,00	50,00	0,85	91,7	8,0	2,2	3,4	6210 RZ C3	190,0	
50	1LE0142-2AB86-4AA4-Z D80	1,15	200 L	1.770	200,0	128,00	74,00	64,00	0,83	92,4	7,5	2,7	3,4	6212 RZ C3	250,0	
60	1LE0142-2BB26-4AA4-Z D80	1,15	225 M	1.770	243,0	145,00	84,00	73,00	0,87	93,0	7,5	2,4	3,0	6213 RZ C3	310,0	
75	1LE0142-2BB86-4AA4-Z D80	1,15	225 M	1.770	297,0	190,00	110,00	95,00	0,83	93,0	7,5	2,4	3,0	6213 RZ C3	350,0	
100	1LE0142-2CB86-4AA4-Z D80	1,15	250 M	1.778	403,0	245,00	141,00	122,00	0,86	93,2	7,5	3,0	3,0	6215 C3	450,0	
125	1LE0142-2DB23-3AA4-Z D80	1,15	280 M	1.790	480,0	-	-	153,00	0,86	93,2	8,0	2,5	2,8	6317 C3	550,0	
150	1LE0142-2DB83-3AA4-Z D80	1,15	280 M	1.785	589,0	-	-	180,00	0,87	93,5	8,0	2,8	2,8	6317 C3	670,0	
200	1LE0142-3AB23-3AA4-Z D80	1,10	315 M	1.785	803,0	-	-	240,00	0,87	94,5	7,4	2,4	2,7	6319 C3	870,0	
250	1LE0142-3AB63-3AA4-Z D80	1,15	315 L	1.788	989,0	-	-	295,00	0,88	94,5	7,6	2,6	2,8	6319 C3	1060,0	
300	1LE0142-3AB73-3AA4-Z D80	1,10	315 L	1.786	1.204,0	-	-	355,00	0,88	94,5	8,0	2,8	2,8	6319 C3	1.070,0	

Anexo 6 Motor de prueba sin carga



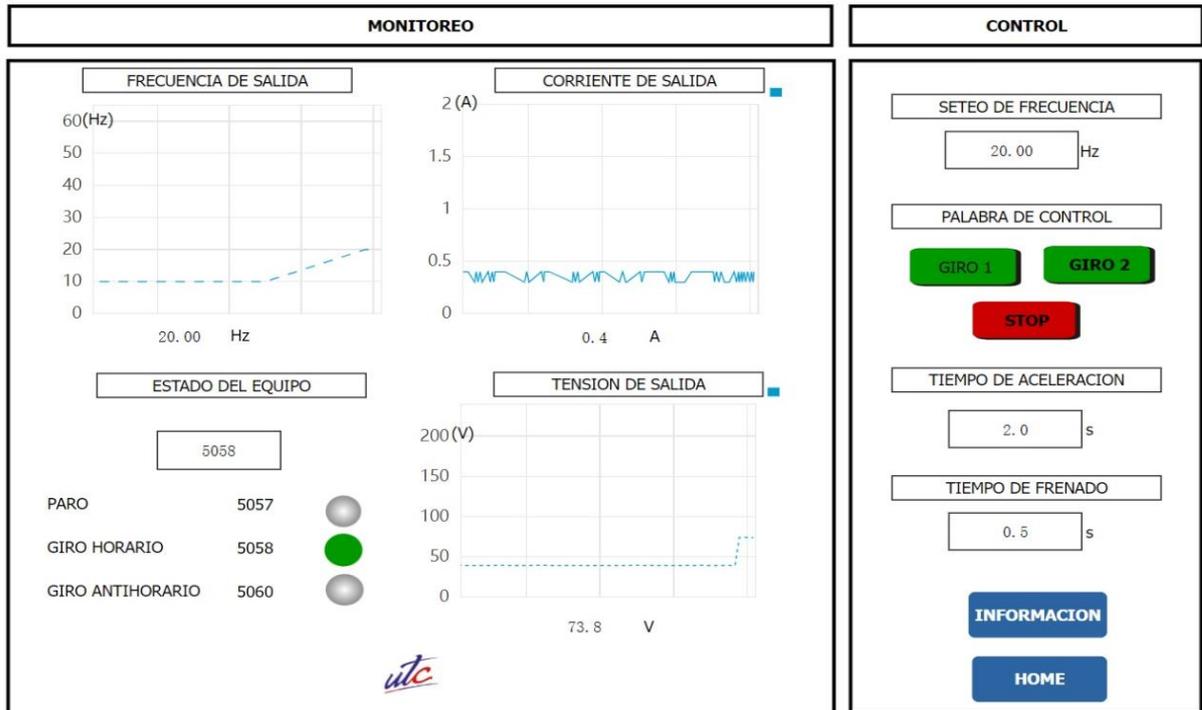
Anexo 7 Motor de prueba con carga



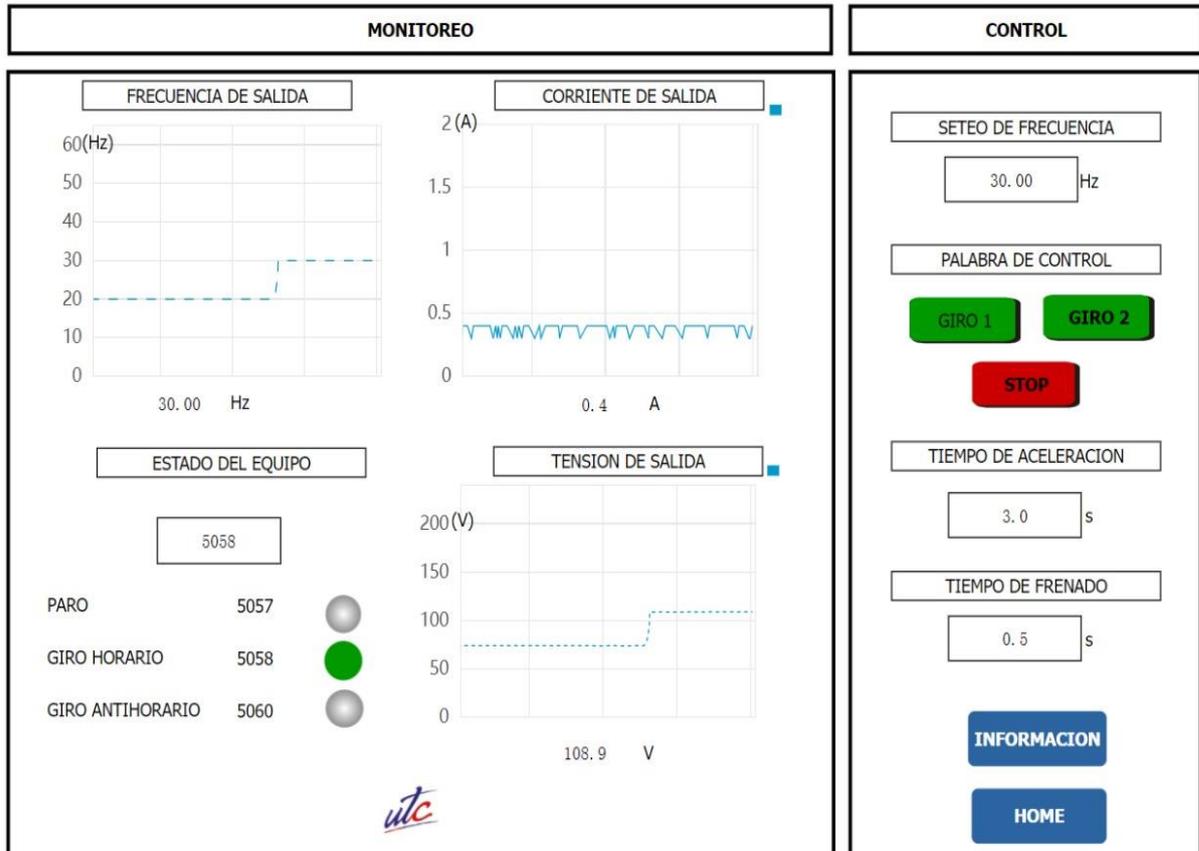
Anexo 8 Prueba de funcionamiento a 10 Hz

MONITOREO		CONTROL	
<p>FRECUENCIA DE SALIDA</p> <p>60(Hz) 50 40 30 20 10 0</p> <p>10.00 Hz</p>	<p>CORRIENTE DE SALIDA</p> <p>2 (A) 1.5 1 0.5 0</p> <p>0.4 A</p>	<p>SETEO DE FRECUENCIA</p> <p>10.00 Hz</p>	<p>PALABRA DE CONTROL</p> <p>GIRO 1 GIRO 2</p> <p>STOP</p>
<p>ESTADO DEL EQUIPO</p> <p>5058</p> <p>PARO 5057 <input type="radio"/></p> <p>GIRO HORARIO 5058 <input checked="" type="radio"/></p> <p>GIRO ANTIHORARIO 5060 <input type="radio"/></p>	<p>TENSION DE SALIDA</p> <p>200(V) 150 100 50 0</p> <p>39.0 V</p>	<p>TIEMPO DE ACELERACION</p> <p>2.0 s</p>	<p>TIEMPO DE FRENADO</p> <p>0.5 s</p> <p>INFORMACION</p> <p>HOME</p>

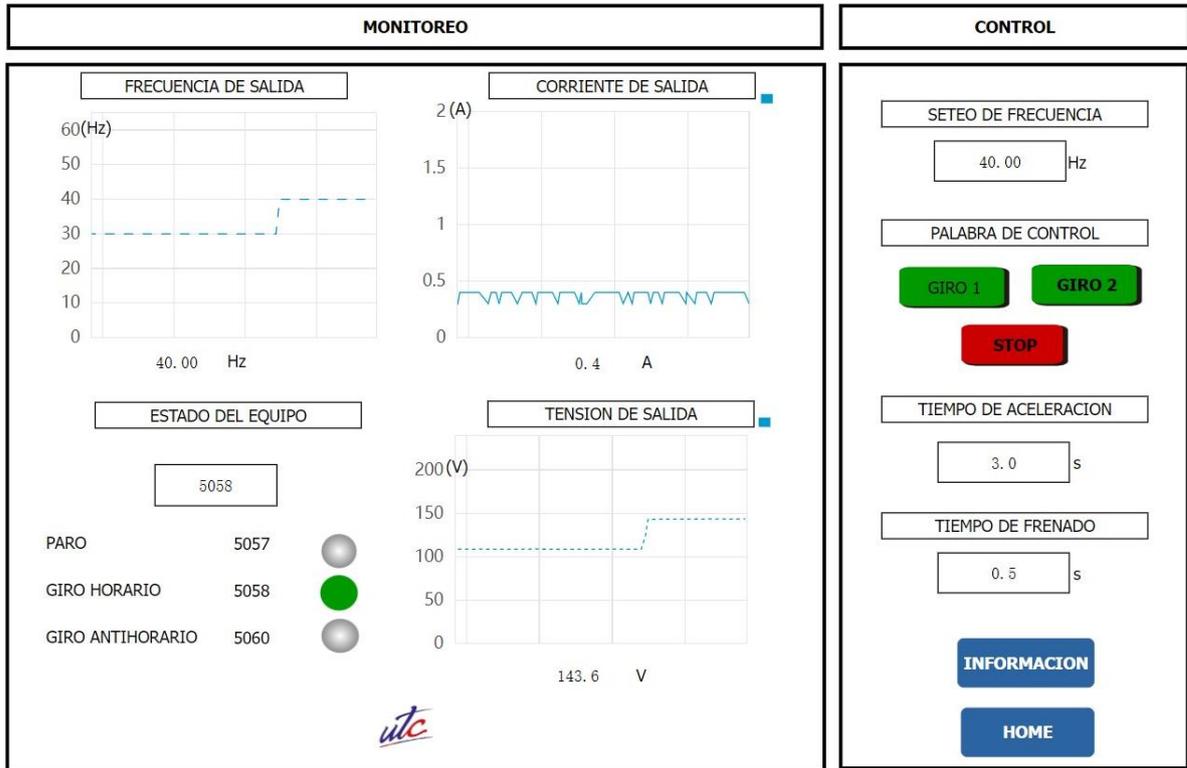
Anexo 9 Pruebas de funcionamiento a 20 Hz



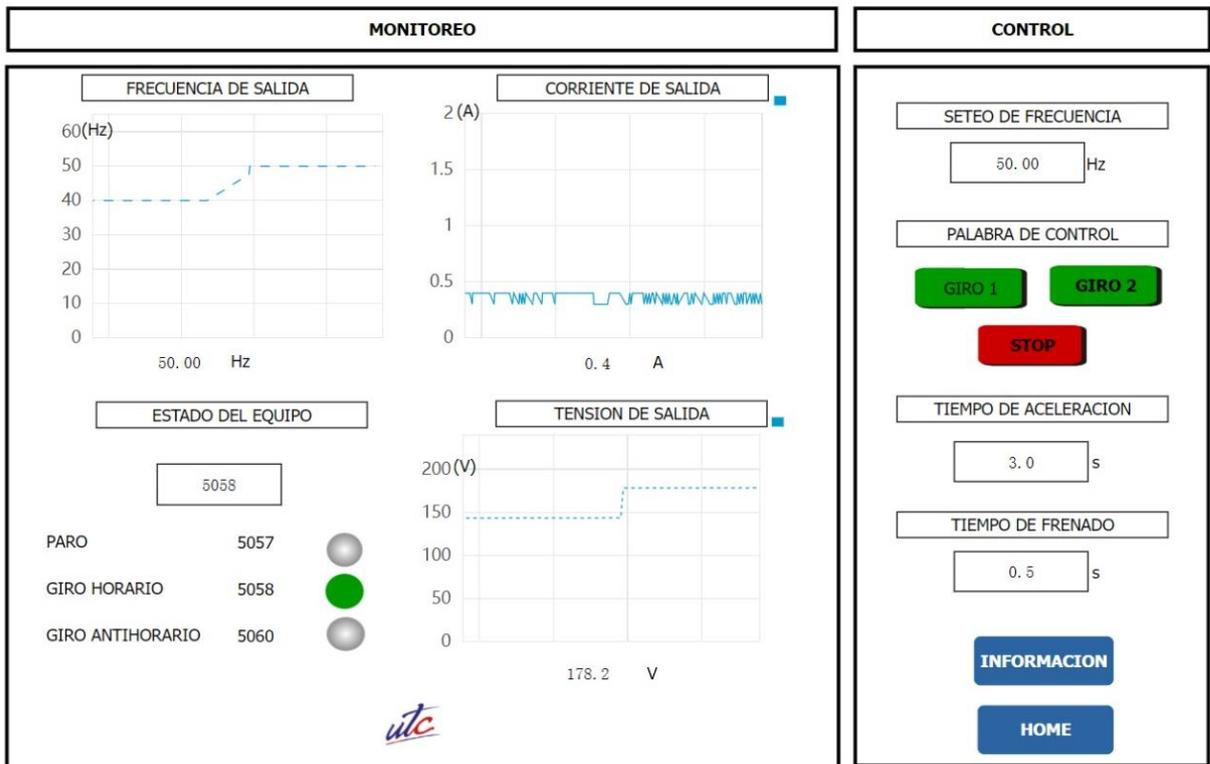
Anexo 10 Pruebas de funcionamiento a 30 Hz



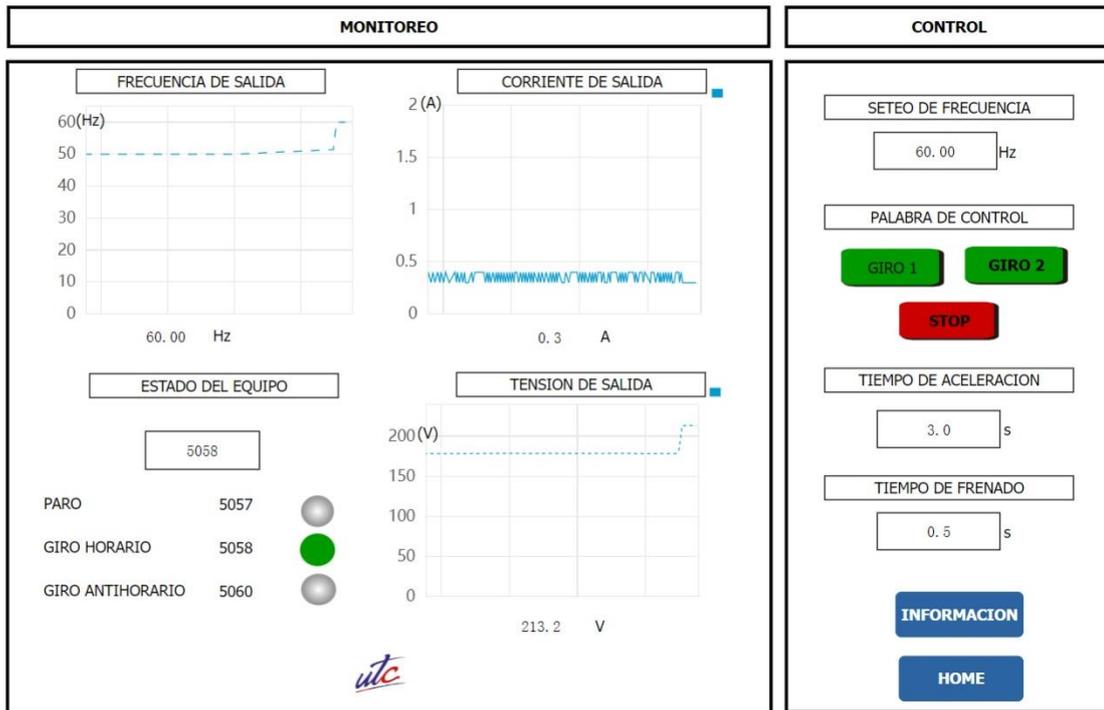
Anexo 11 Pruebas de funcionamiento a 40 Hz



Anexo 12 Pruebas de funcionamiento a 50 Hz



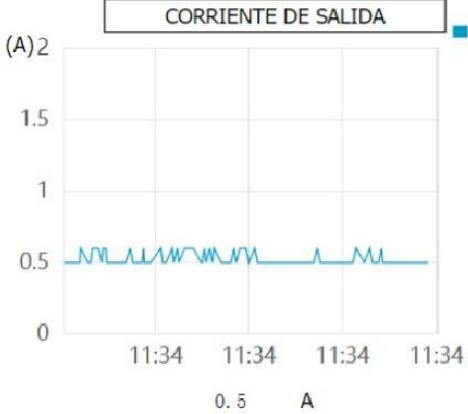
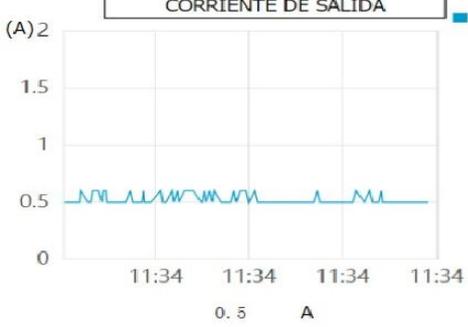
Anexo 13 Pruebas de funcionamiento a 60 Hz



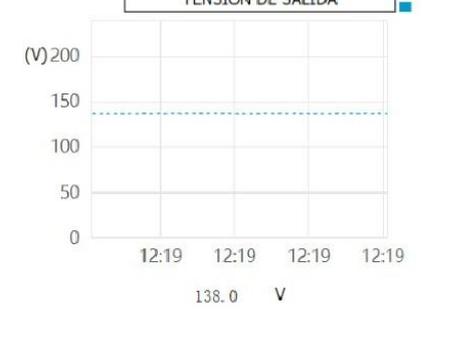
Anexo 14 Datos de la corriente medida en la IoT vs la corriente medida en la pinza amperimétrica parte 1

Frecuencia	Datos de Corriente medidos por la IoT	Datos de Corriente medidos por el amperímetro
10 Hz		
20 Hz		

Anexo 15 Datos de la corriente medida en la IoT vs la corriente medida en la pinza amperimétrica parte 2

Frecuencia	Datos de Corriente medidos por la IoT	Datos de Corriente medidos por el amperímetro
30Hz	 <p>CORRIENTE DE SALIDA</p> <p>(A)2</p> <p>11:34 11:34 11:34 11:34</p> <p>0.5 A</p>	 <p>60A~</p> <p>CAT III 600V V= CAT II 1000V</p> <p>mV= Hz/Duty TEMP</p> <p>Range OFF Select</p> <p>00.52</p> <p>V COM -{ °C °F Ω MAX 1000V= Hz ↔ ···)}</p>
40 Hz	 <p>CORRIENTE DE SALIDA</p> <p>(A)2</p> <p>12:19 12:19 12:19 12:19</p> <p>0.5 A</p>	 <p>60A~</p> <p>CAT III 600V V= CAT II 1000V</p> <p>mV= Hz/Duty TEMP</p> <p>Range OFF Select</p> <p>00.55</p> <p>V COM -{ °C °F Ω MAX 1000V= Hz ↔ ···)}</p>
50 Hz	 <p>CORRIENTE DE SALIDA</p> <p>(A)2</p> <p>11:34 11:34 11:34 11:34</p> <p>0.5 A</p>	 <p>60A~</p> <p>CAT III 600V V= CAT II 1000V</p> <p>mV= Hz/Duty TEMP</p> <p>Range OFF Select</p> <p>00.52</p> <p>V COM -{ °C °F Ω MAX 1000V= Hz ↔ ···)}</p>
60Hz	 <p>CORRIENTE DE SALIDA</p> <p>(A)2</p> <p>12:38 12:38 12:38 12:39</p> <p>0.5 A</p>	 <p>60A~</p> <p>CAT III 600V V= CAT II 1000V</p> <p>mV= Hz/Duty TEMP</p> <p>Range OFF Select</p> <p>00.46</p> <p>V COM -{ °C °F Ω MAX 1000V= Hz ↔ ···)}</p>

Anexo 16 Datos medidos de voltaje en la IoT y en el Variador de frecuencia parte 1

Frecuencia	Datos medidos IoT	Datos medidos Variador de Frecuencia
10 Hz	 <p style="text-align: center;">37.3 V</p>	
20 Hz	 <p style="text-align: center;">70.6 V</p>	
30Hz	 <p style="text-align: center;">103.5 V</p>	
40 Hz	 <p style="text-align: center;">138.0 V</p>	

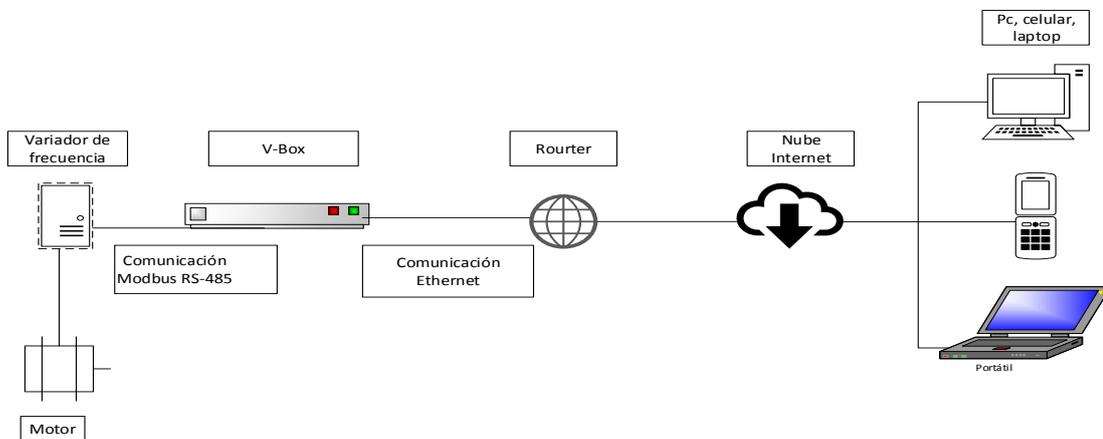
Anexo 17 Datos medidos de voltaje en la IoT y en el Variador de frecuencia parte 2

Frecuencia	Datos medidos IoT	Datos medidos Variador de Frecuencia
50 Hz	<p>TENSION DE SALIDA</p> <p>171.4 V</p>	
60Hz	<p>TENSION DE SALIDA</p> <p>205.3 V</p>	

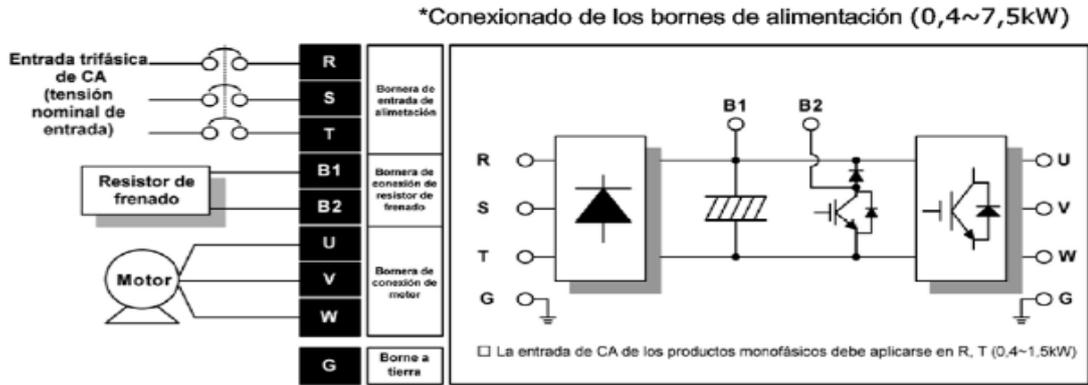
Anexo 18 Porcentaje de Error de los voltajes medidos

Tiempo de Análisis (s)	Voltaje IoT (V)	Voltaje Var_f (A)	Error
10	37.3	37.3	0.00%
20	70.6	70.6	0.00%
30	103.7	103.5	0.19%
40	138	137.8	0.14%
50	171.4	171.3	0.06%
60	205.3	205	0.15%

Anexo 19 Diagrama del prototipo



Anexo 20 Conexión del variador de frecuencia



Anexo 21 Manual de Usuario v_Box

Manual del usuario de V-BOX



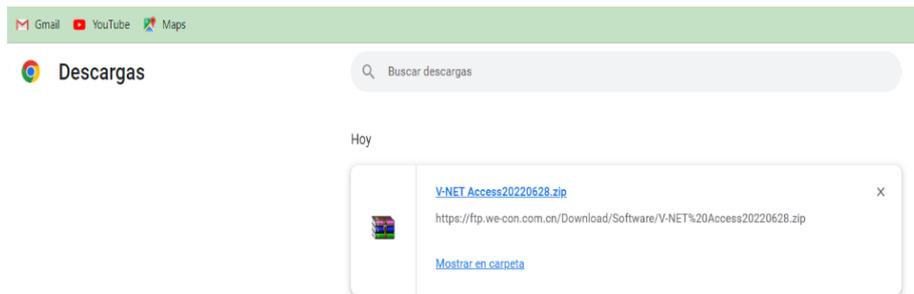
1. Descargar el Software para la PC

En el siguiente link podemos obtener el software para la PC: <https://docs.weicon.com.cn/bin/view/V-BOX/V-Net/Download/6.Software/>

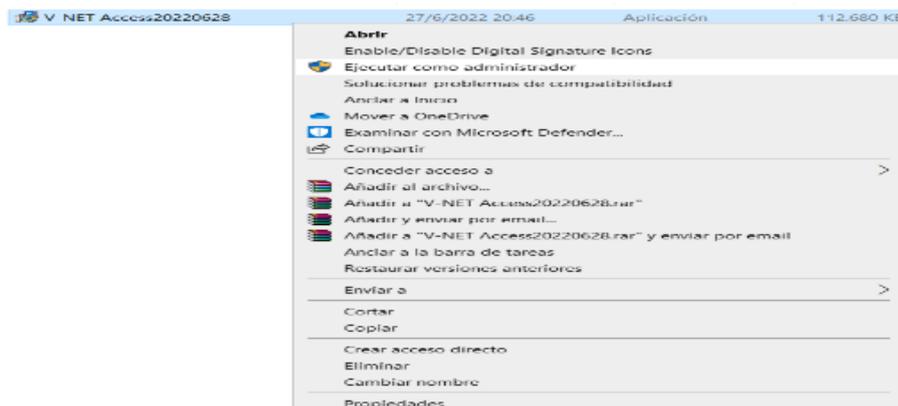
Una vez dentro del link debemos poder visualizar los siguiente:

Software de PC de acceso V-NET	20220628	Enlace	<p>Configure VBOX connect con VNET y pase a través y configuración de red</p> <p>Actualizar Log of Release versión 20220628</p> <p>Firmware de la caja V</p> <ul style="list-style-type: none"> Error solucionado: algunos H-SG no pueden usar 4G normalmente después de las actualizaciones; Optimize el método de actualización del firmware; <p>Cliente de PC</p> <ul style="list-style-type: none"> Error solucionado: no se puede usar el paso de Ethernet; Error solucionado: para la recopilación de direcciones de comunicación del dispositivo de tipo disparador, los datos recopilados por primera vez pueden estar fuera de línea; Error solucionado: error de informe 4G ICCID; Error solucionado: cuando la fuente de alimentación de respaldo de RTC es insuficiente, la marca de tiempo de la carga de datos históricos es inexacta; Error solucionado: en el modo OpenCloud, el valor recopilado de la dirección de tipo de cadena está vacío; Error solucionado: el posicionamiento de longitud y latitud puede ser inexacto; Al descargar la configuración de red, el software ya no solicitará actualizaciones de firmware (se sugiere actualizar el firmware a través de Ethernet); Función de reinicio de etiqueta de monitoreo; <p>Recordatorio importante</p> <p>Si la versión de firmware en V-Box es antigua (anterior a 1.21061701) y usa directamente la última versión de lanzamiento (Versión Build 2022-06-28 V2.3.38) de V-NET Access para actualizar, habrá una excepción de "actualización fallida" o "dispositivo no reconocido después de la actualización". Utilice la versión de lanzamiento 20210617 (Compilación de lanzamiento 2021-06-17 V2.2.94) para actualizar primero y luego use la última para actualizar.</p>
--------------------------------	----------	------------------------	---

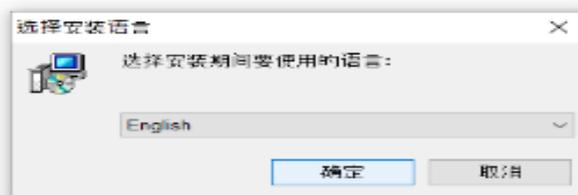
2. Dar click en enlace para obtener el software de PC de acces V-NET y se descargara un archico .rar



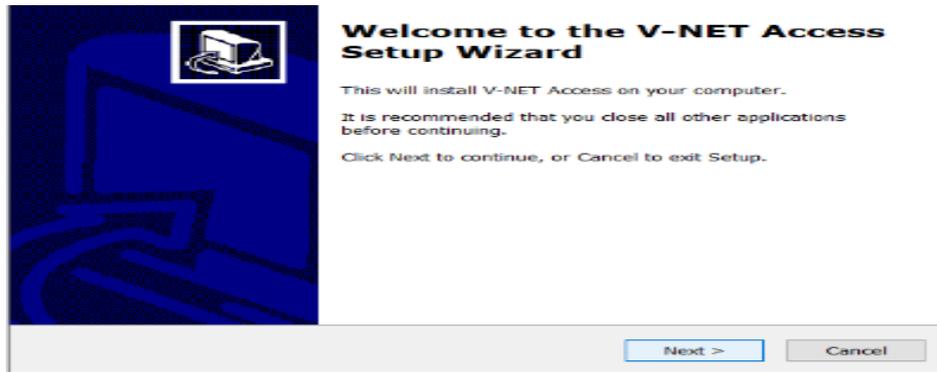
3. Extraer el archivo en el disco local (c) y ejecutarlo como administrador.



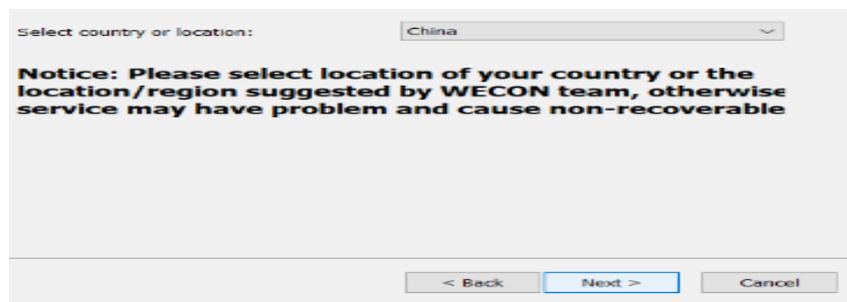
4. Fijar el idioma de preferencia Ingles.



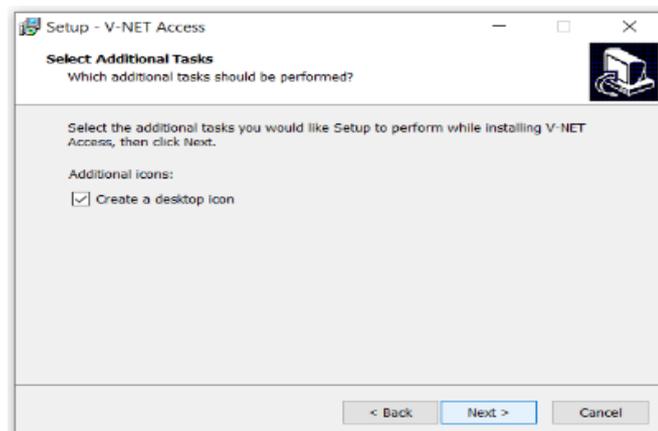
5. Click en next.



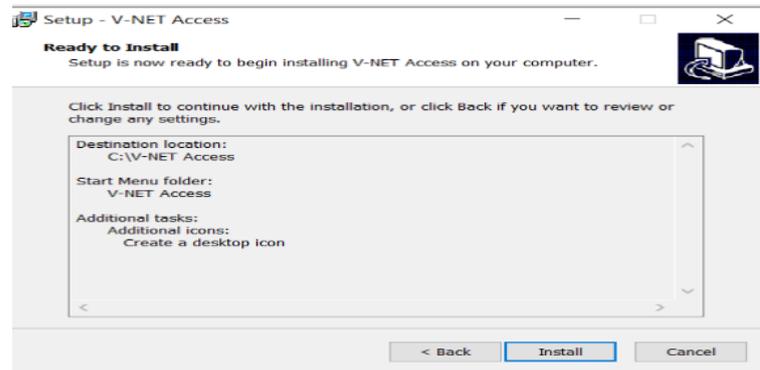
6. En Select Country or Location colocamos China, como recomendacion del fabricante de V-Box, y luego next.



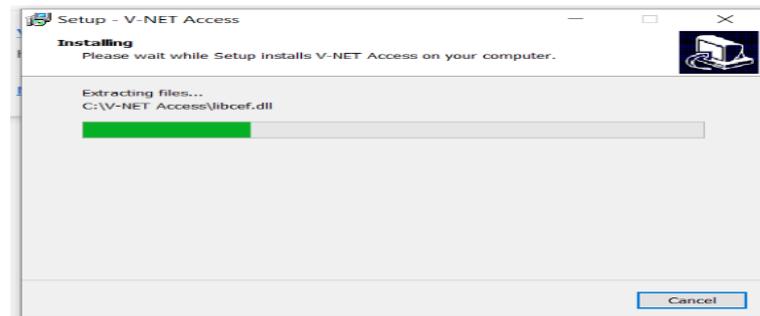
7. Seleccionamos Create a desktop icon, y luego en next



8. Click en Install



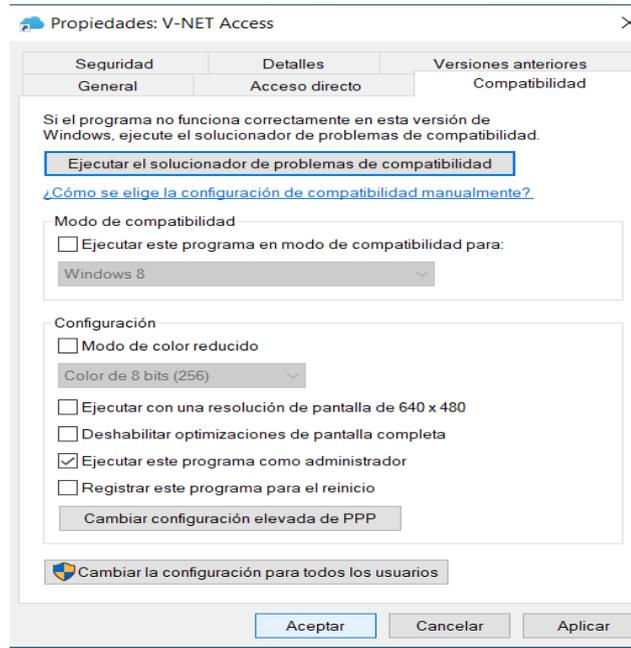
9. Esperamos a que se instale el programa del V - NET



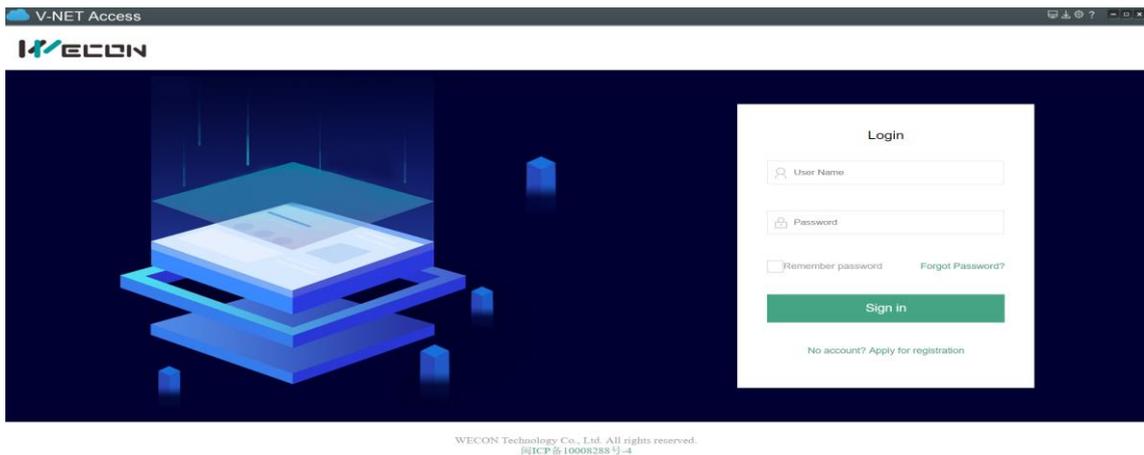
10. Click en Yes, restart the compiter now, luego en finish.



11. Una vez el programa instalado en el pc, se ejecuta como administrador, y aceptar.



12. Click en NO ACCOUNT APLY FOR REGISTRATION



13. Crear usuario, contraseña y correo electrónico de preferencia debe ser Gmail, y en el primer recuadro poner China Node ya que el fabricante lo recomienda

Sign up via email

China Node (China)

ⓘ In order to get a better speed experience, V-NET has deployed three service nodes around the world. The data of the three nodes are currently isolated from each other. Please choose the correct node to log in according to your current registration information.

TESIS_GATEWAY

estebanzambrano3@gmail.com

.....

UTC

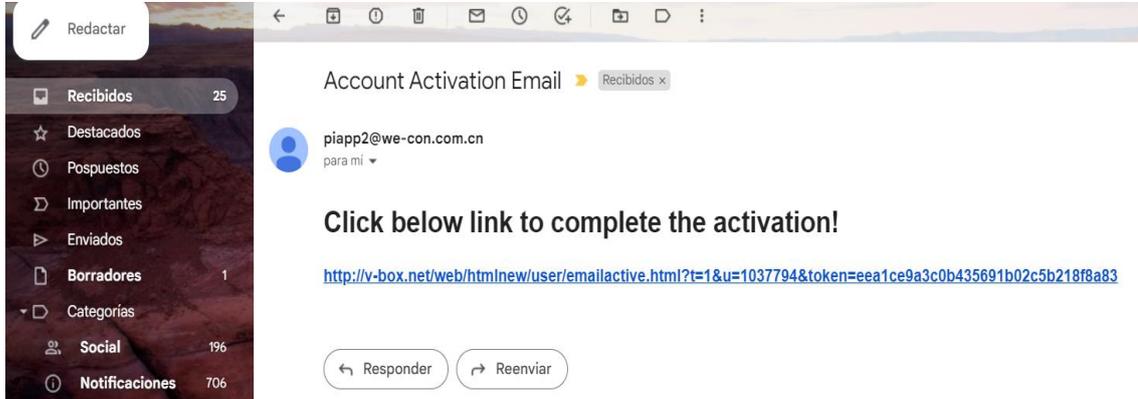
estebanzambrano3@gmail.com

I have read and accept [service term](#)

Sign Up

- Usuario: TESIS_GATEWAY
- Contraseña: Gateway2023.

14. Activar el correo proporcionado en el paso anterior

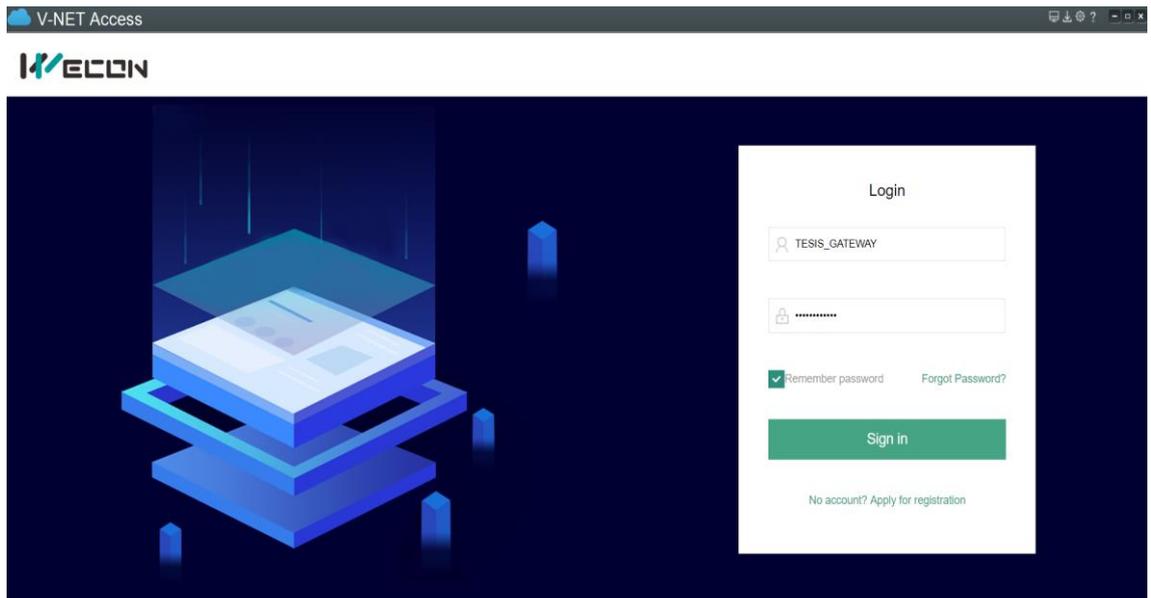


15. Esperamos que se active la cuenta, y se cargue la página del V - BOX

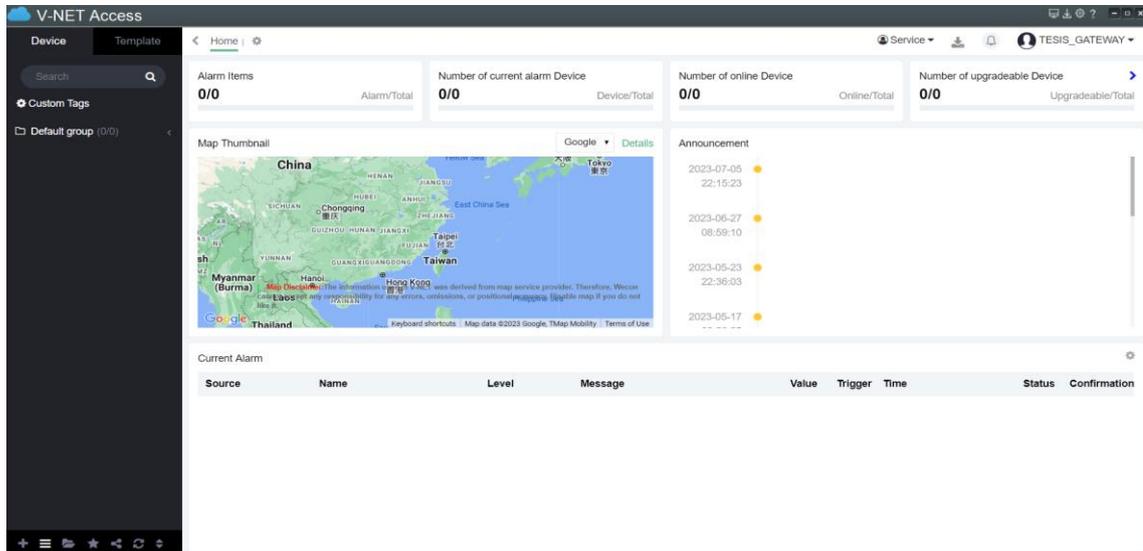


Activating...

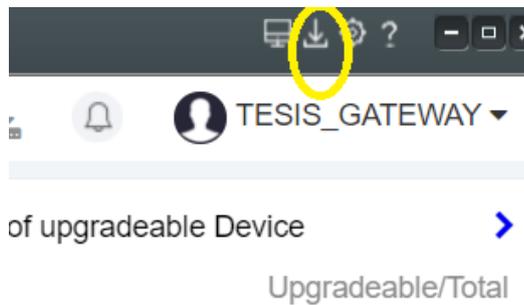
16. Cuando se cargue la pagina, debemos ingresar usuario y contraseña que se creo para poder acceder a la configuración del V – BOX



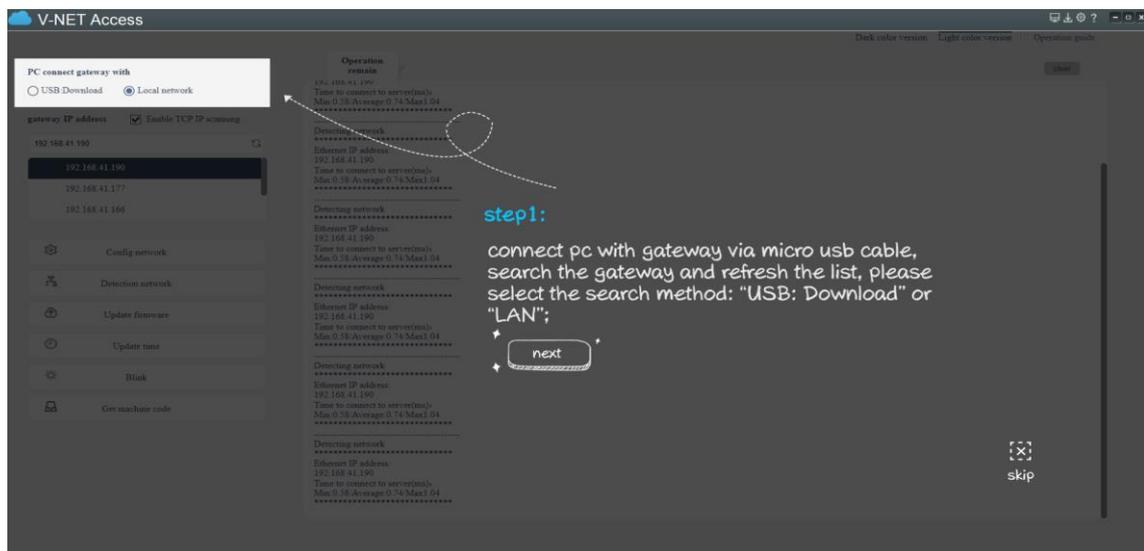
17. Dentro de la pagina del V-BOX, se debe configurar los equipos que se va a conectar al V-BOX



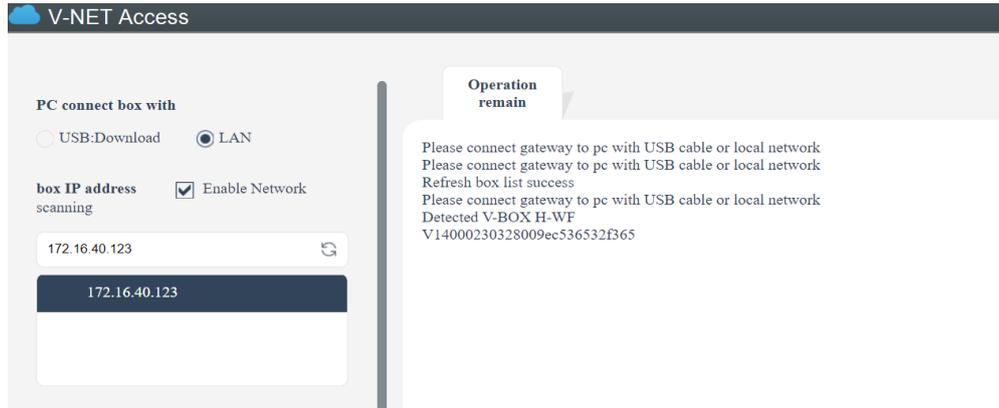
18. Click en el simbolo de la flecha en la parte superior derecha para configurar los equipos a utilizar



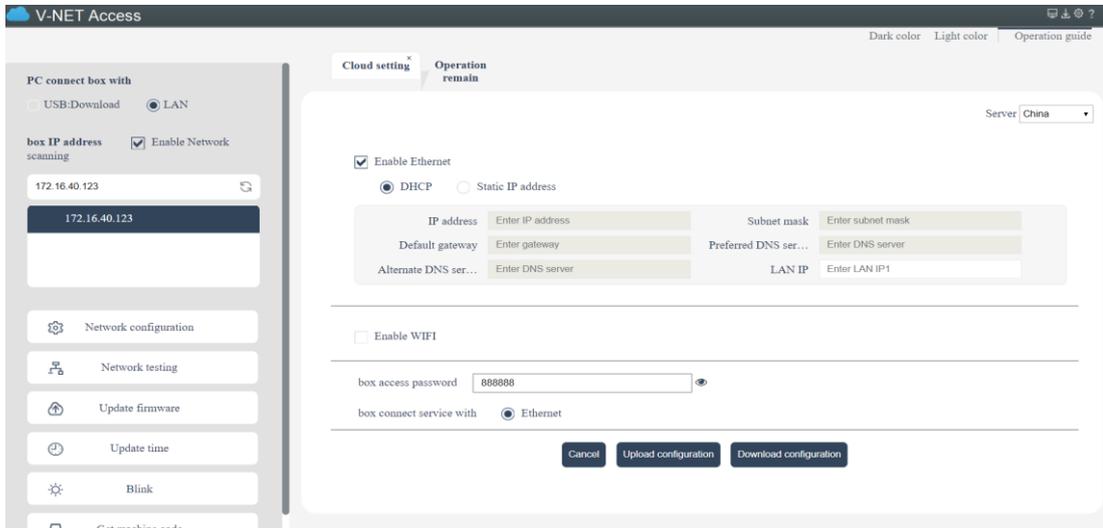
19. Conectamos la pc con el gateway (V-BOX) mediante un cable usb



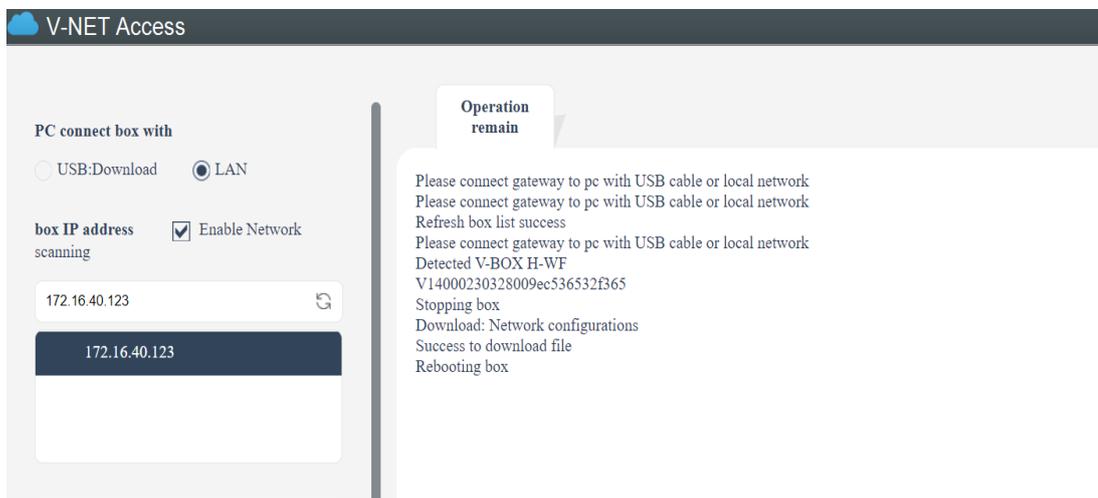
20. Click en Lan y despues en el simbolo refresh para que detecte el V-BOX



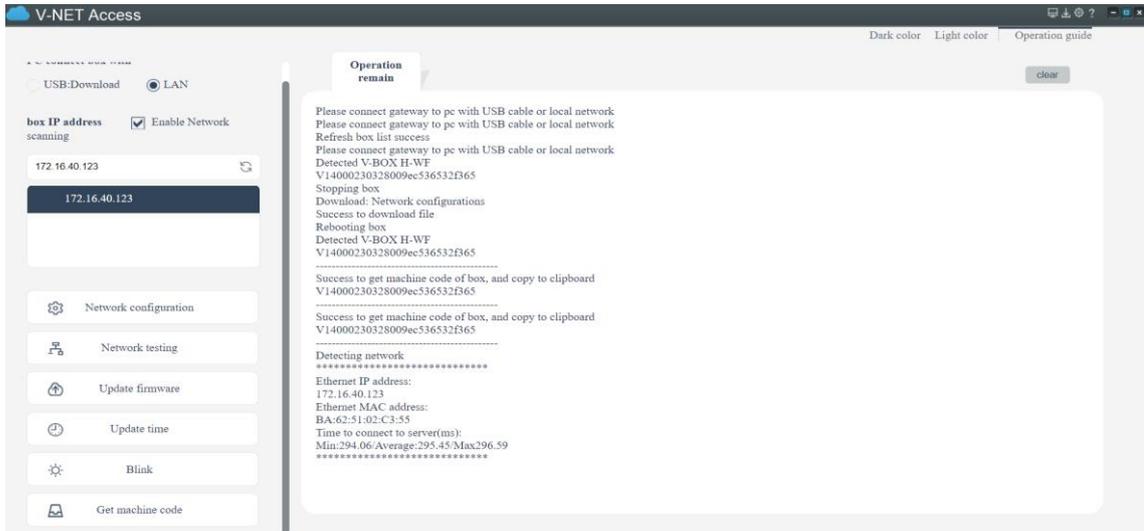
21. Se aparecera la pestaña de cloud setting, donde ingresaremos el codigo del V-BOX 888888 que es el que recomienda el fabricante, pero si se puede cambiarlo



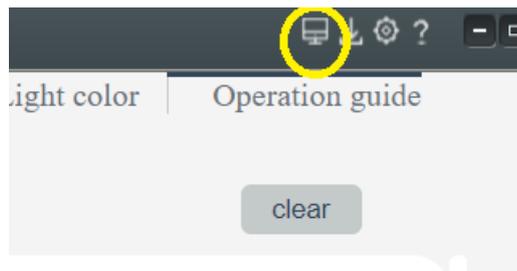
22. Click en download configuration que se encuentra ubicado en la parte superior derecha en el simbolo de descarga



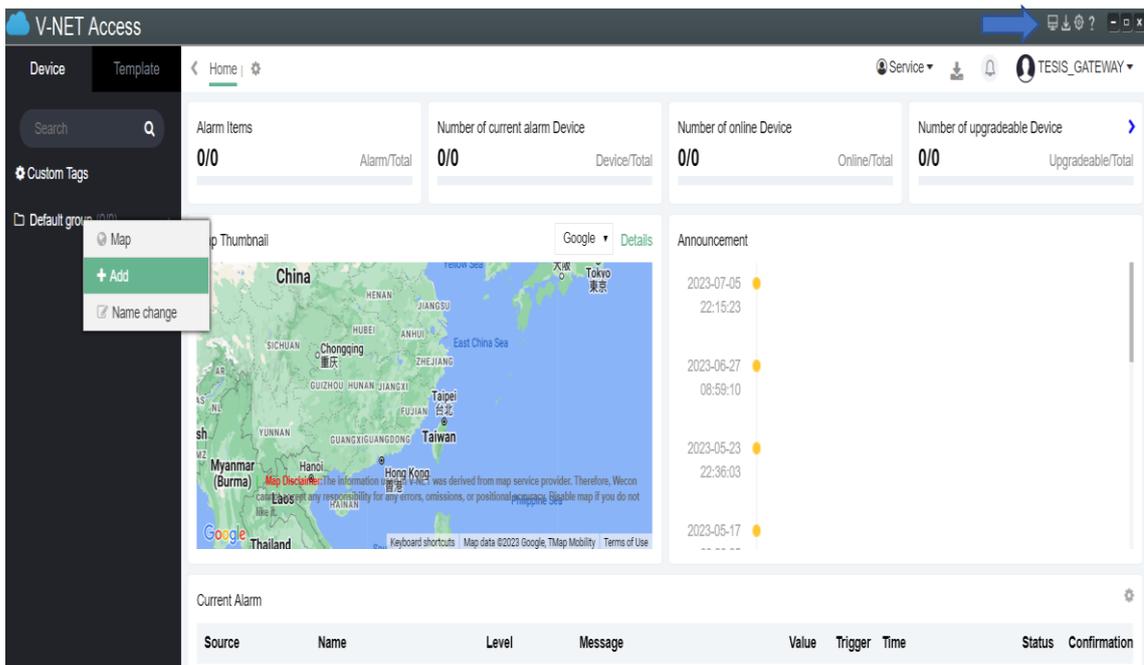
23. IP del V-BOX que se va a utilizar más adelante: **V14000230328009ec536532f365** que se obtiene haciendo los pasos anteriores



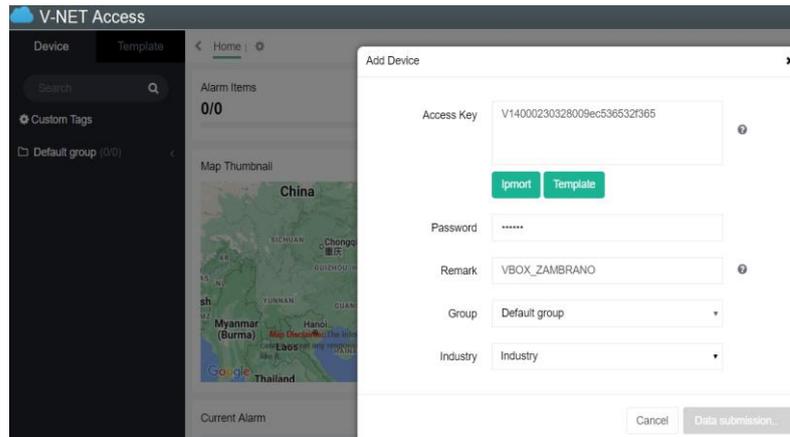
24. Conexión con el servidor y vbox



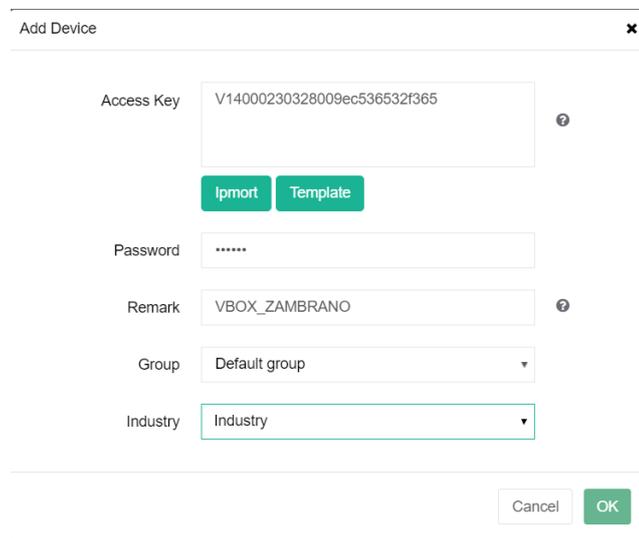
25. Click en el icono de computadora para regresar al entorno de configuración de equipo



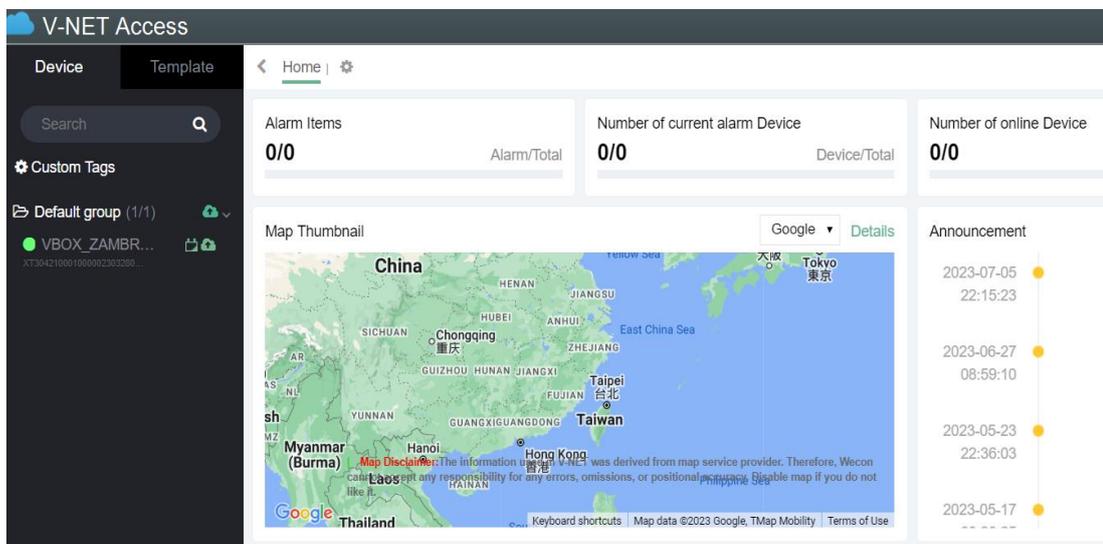
26. Click derecho en default group y seleccionamos en ADD



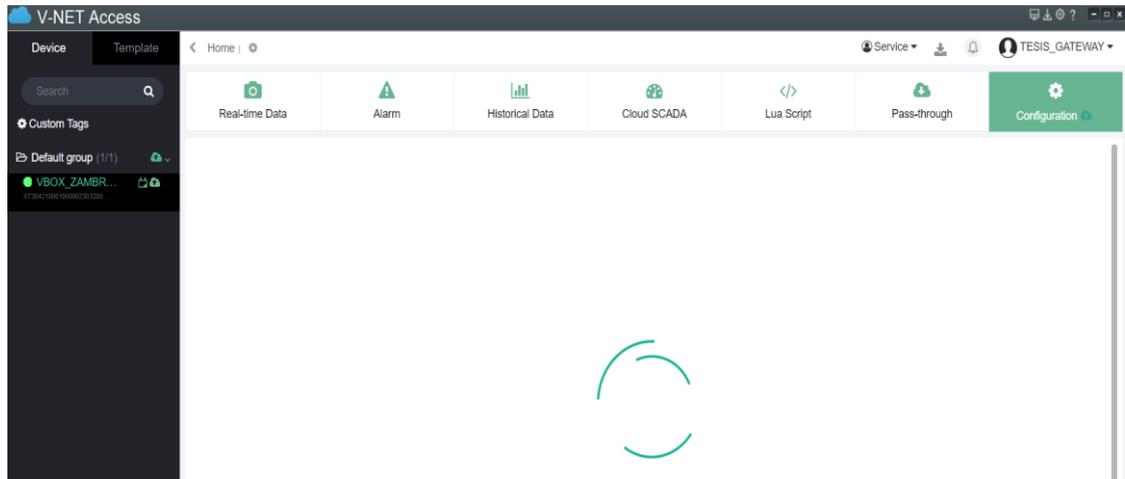
27. Password por default de fabrica es: 888888



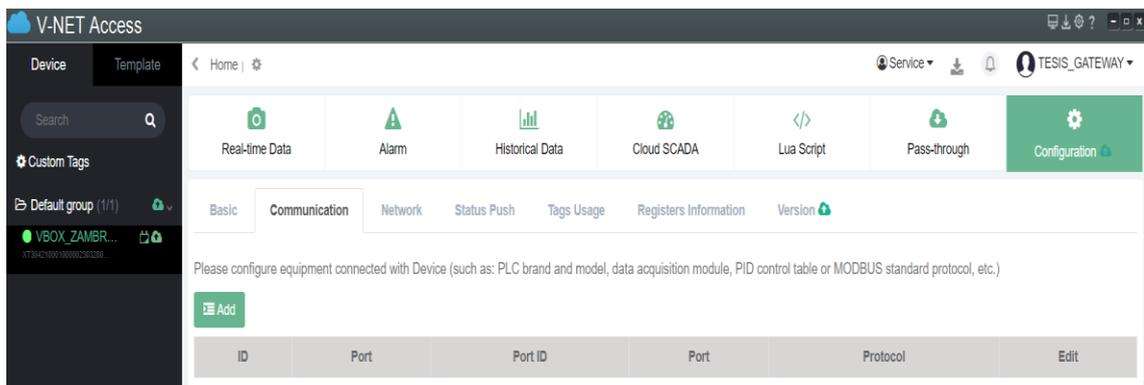
28. Se puede observar que el dispositivo ya se encuentra conectado o en la red



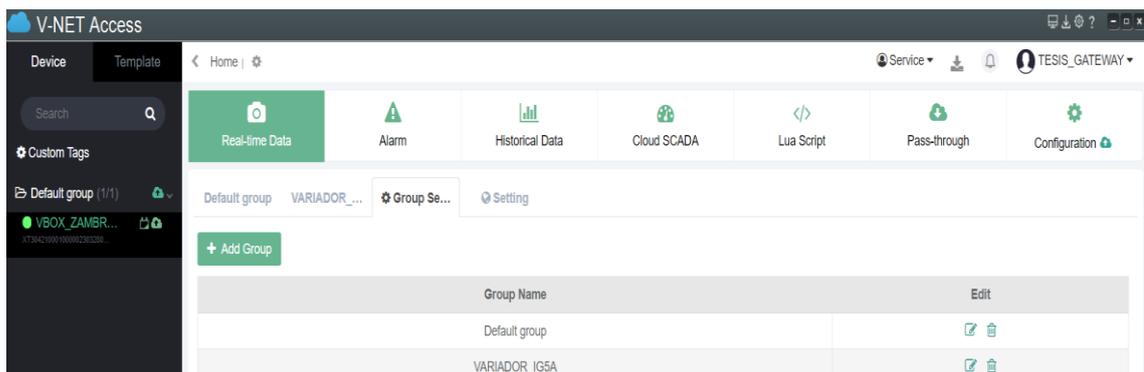
29. Click en configuraciones



30. Click en communication para añadir el variador de frecuencia que se va a utilizar (IG5-A)



31. Crear un grupo para almacenar las variables en este caso Variador_IG5A



32. Luego de crear el puerto de comunicación con el VDF, se deben crear las variables para lectura y escritura

The screenshot shows a 'New Port' configuration window with the following fields and values:

- 3** Port: COM1
- Device Type: **4** ModBus
- 5** Protocol: ModBus RTU SL...
- Device Station No.: 1
- Receive Timeout: 50 ms
- Length: 0
- Retry Timeout: 0 ms
- Stop Bit: 1
- 7** Parity: NONE
- Device Station No.: 0
- Retry Count: 2
- Wait Timeout: 300 ms
- Integration Interval: 0
- Delay Time: 0 ms
- 6** Baud Rate: 19200
- Port: RS485
- Data Bit: 8

- 1) Configuración
- 2) Add
- 3) Port, se debe establecer la comunicación a utilizar
- 4) Tipo de dispositivo o comunicación que se requiere establecer
- 5) Protocolo de comunicación
- 6) Velocidad de datos, 19200 es la más utilizada
- 7) Por default se pone NONE
- 8) Los demás campos se llenan automáticamente
33. Luego de generar el puerto de comunicación con el VDF se debe crear las variables o Tags para lectura o escritura
 - Se ingresa Tag o variable para lectura y escritura

The screenshot shows the 'New tag' configuration window with the following settings:

- 1** Name: PALABRA DE CONTROL
- 2** Connection: 3-COM2
- 3** Port: Word
- 4** Data Type: 4
- 5** Register Main No.: 4
- 6** Permissions: Read-write (checked)
- 7** Total digits: 5, Integer: 3, Decimal digits: 2
- 8** Station No.: 1
- 9** OK button

- 1) Se establece la variable que se va a crear
- 2) Conexión establecida por el V_BOX
- 3) Puerto de comunicación que debe ser Word ya que tiene 16 bits para almacenar la información
- 4) Data type se establece 4 por el tipo de dato del V_NET tanto para escritura como para lectura para comunicación MODBUS

CODIGOS DE FUNCION, ESCRITURA Y LECTURA

CÓDIGOS DE FUNCION MODBUS		
	03 HEX	06 HEX
	LECTURA	ESCRITURA
	40001-49999	40001-49999
TIPO DE DATO EN V-NET	4	4

- 5) Se establece la direccion por default
- 6) Depende de la acción que se quiera realizar puede ser Read-Only , Write-Only, Read-Write(Escritura, Lectura, Escritura y Lectura), según la accion que se quiera hacer en ese tag creado
- 7) Se ubica los decimales que nos dice el manual de usuario en este caso son 2 decimales para frecuencia y los demas son enteros (Intege)



- 8) Es la ubicación del equipo en este caso le ubicamos en el número 1, pero se puede ubicar hasta 255 equipos cada uno de ellos no debe coincidir en el mismo número.
- 9) Click en OK
 - De la misma manera se realizan los mismos pasos para los tags de lectura, pero con la diferencia es que en el paso 6 se selecciona:

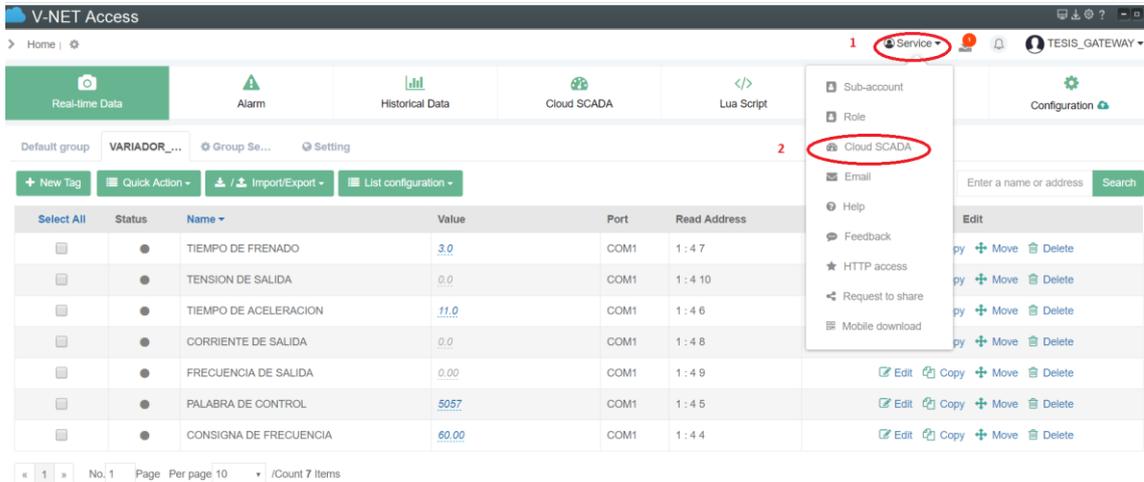
Name: CORRIENTE DE SALIDA
 Connection: 2-COM1
 Port: Word Date Type: 4
 Register Main No.: 8 Main range 0 999999 (Decimal)
 Permissions: Read-only Write-only Read-write
 Low Data Mode: Enable custom data refresh intervals. Please set in global setting. [2 seconds by default]
 Unit: Max. character length 20 allowed
 Data format: 16-bit unsigned
 Total digits: 5

34. Click en real time data, Click en Variador y se puede observar las variables o los Tags que agregamos.

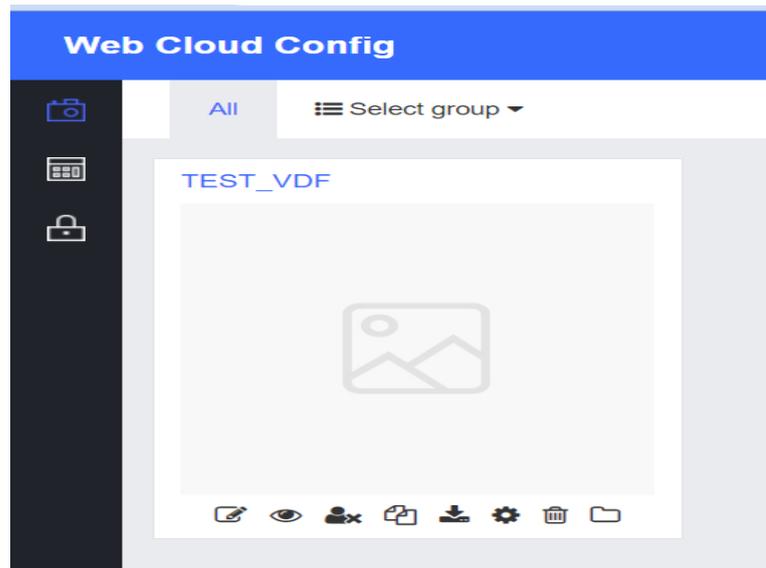
Select All	Status	Name	Value	Port	Read Address	Edit
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>	TIEMPO DE FRENADO	3.0	COM1	1:4 7	Edit Copy Move Delete
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>	TENSION DE SALIDA	0.0	COM1	1:4 10	Edit Copy Move Delete
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>	TIEMPO DE ACELERACION	11.0	COM1	1:4 6	Edit Copy Move Delete
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>	CORRIENTE DE SALIDA	0.0	COM1	1:4 8	Edit Copy Move Delete
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>	FRECUENCIA DE SALIDA	0.00	COM1	1:4 9	Edit Copy Move Delete
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>	PALABRA DE CONTROL	5057	COM1	1:4 5	Edit Copy Move Delete
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>	CONSIGNA DE FRECUENCIA	60.00	COM1	1:4 4	Edit Copy Move Delete

35. Crear un grupo donde se queden guardado las variables que vamos a utilizar

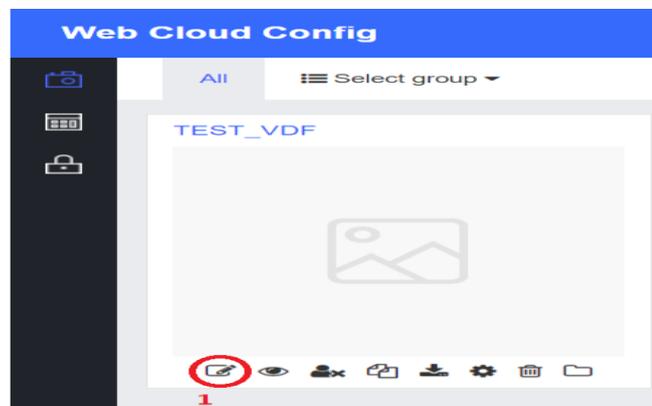
36. Click en service y luego en Cloud Scada para poder ingresar al diseño de la interfaz



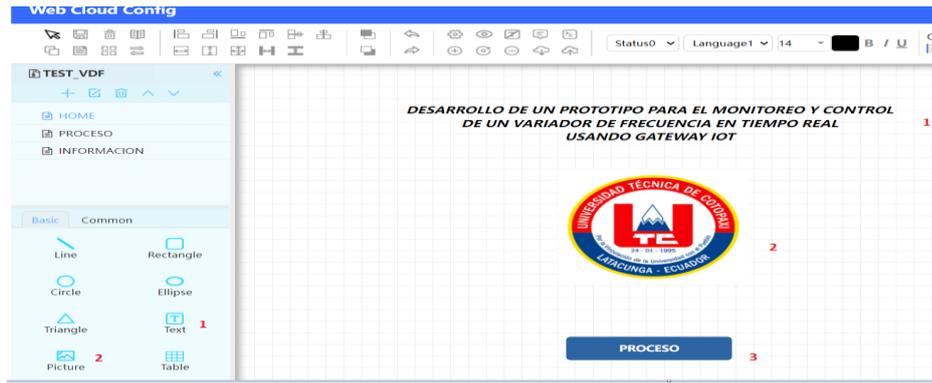
37. Ingresamos a la interfaz de nuestro programa



38. Click en edit para configurar la interfaz

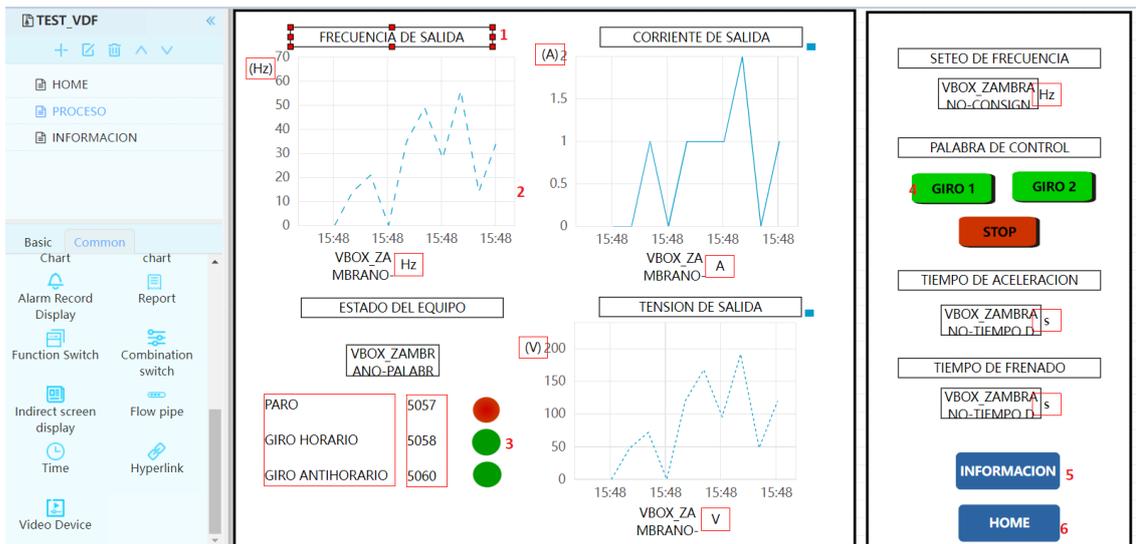


39. Click en Home para crear la portada del proyecto

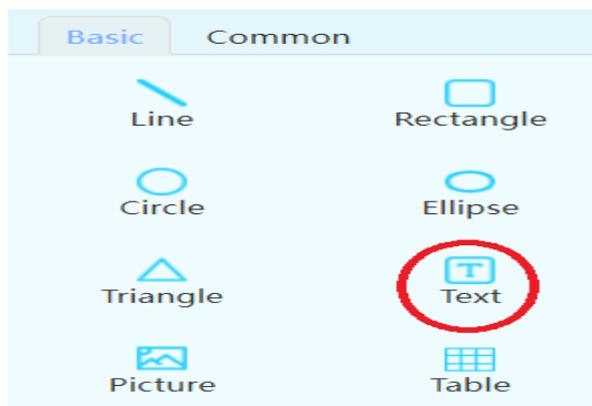


- 1) Seleccionar Text y escribimos el titulo del proyecto
- 2) Seleccionar Picture para elegir una imagen del ordenador o descargada
- 3) Seleccionar Combination switch para agregar un boton o switch que nos lleve al otro proceso

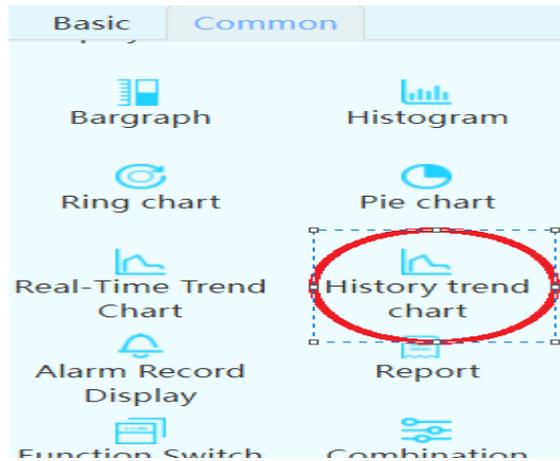
40. Click en Proceso para configurar la interfaz



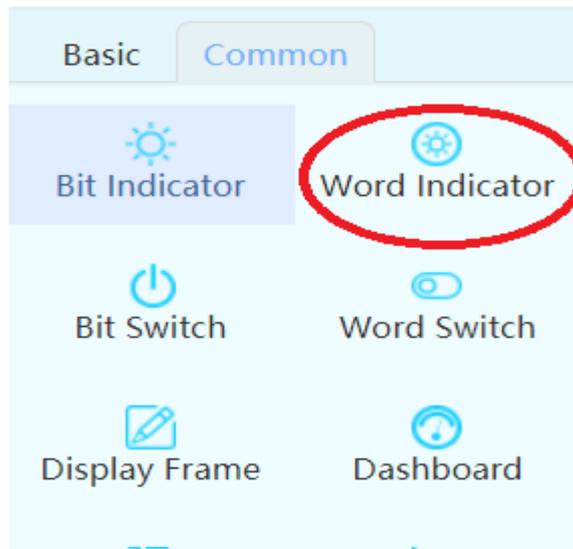
- 1) Seleccionar Text



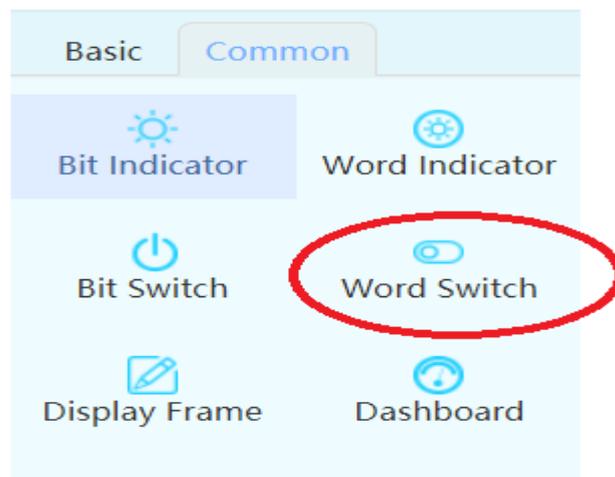
2) Seleccionar History trend Chart



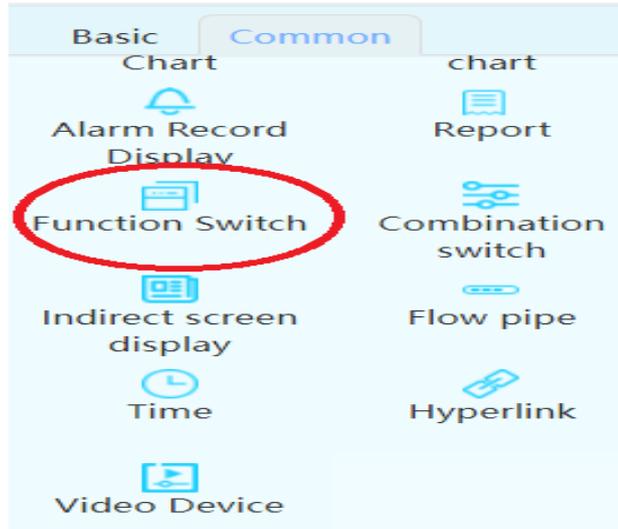
3) Seleccionar Word Indicator



4) Seleccionar Word Switch



5) Seleccionar Function Switch



41. Click en Información

- De la misma manera para ingresar la tabla se le puede agregar como imagen.

The screenshot shows a software interface with a sidebar on the left containing navigation options like HOME, PROCESO, and INFORMACION. The main area displays a table titled 'DESCRIPCION DE LA PALABRA DE CONTROL'. The table has columns for bit order, description, and control commands. Below the table is a 'PROCESO' button.

DESCRIPCION DE LA PALABRA DE CONTROL				
COMANDO DE ACCIONAMIENTO (EN BINARIO)				
ORDEN DE BITS	DESCRIPCION	PARO	GIRO HORARIO	GIRO ANTIHORARIO
0	PARADA	1	0	0
1	AVANCE	0	1	0
2	RETROCESO	0	0	1
3	RESET DE FALLO	0	0	0
4	PARO EMERGENCIA	0	0	0
5	SIN UTILIZAR	0	0	0
6	ARRIBO DE FRECUENCIA	1	1	1
7	ARRIBO DE FRECUENCIA	1	1	1
8	COMANDO DE FRECUENCIA	1	1	1
9	COMANDO DE FRECUENCIA	1	1	1
10	COMANDO DE FRECUENCIA	0	0	0
11	COMANDO DE FRECUENCIA	0	0	0
12	COMANDO DE FRECUENCIA	1	1	1
13	SIN UTILIZAR	0	0	0
14	SIN UTILIZAR	0	0	0
15	SIN UTILIZAR	0	0	0
COMANDO DE ACCIONAMIENTO (EN DECIMAL)		5057	5058	5060

PROCESO