



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Ingeniería Electromecánica



Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico

Implementación de un sistema de supervisión de energía eléctrica en la cámara de control de potencia CC2 para mejorar el consumo energético del laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga campus Belisario Quevedo.

Narvéez Anchapaxi, Johnn Jairo
Pumashunta Guisha, Delia María

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

Latacunga, Febrero 2022



Contenido

- Motivación
- Resumen
- Planteamiento del problema
- Justificación del problema
- Objetivos
- Hipótesis
- Fundamentación teórica
- Metodología
- Descripción del laboratorio
- Comprobación Hipótesis
- Viabilidad del proyecto
- Diseño del proyecto
- Conclusiones
- Recomendaciones



Motivación

“Si con la salud del planeta comprometido estas,
entonces la energía debes empezar ahorrar mas.

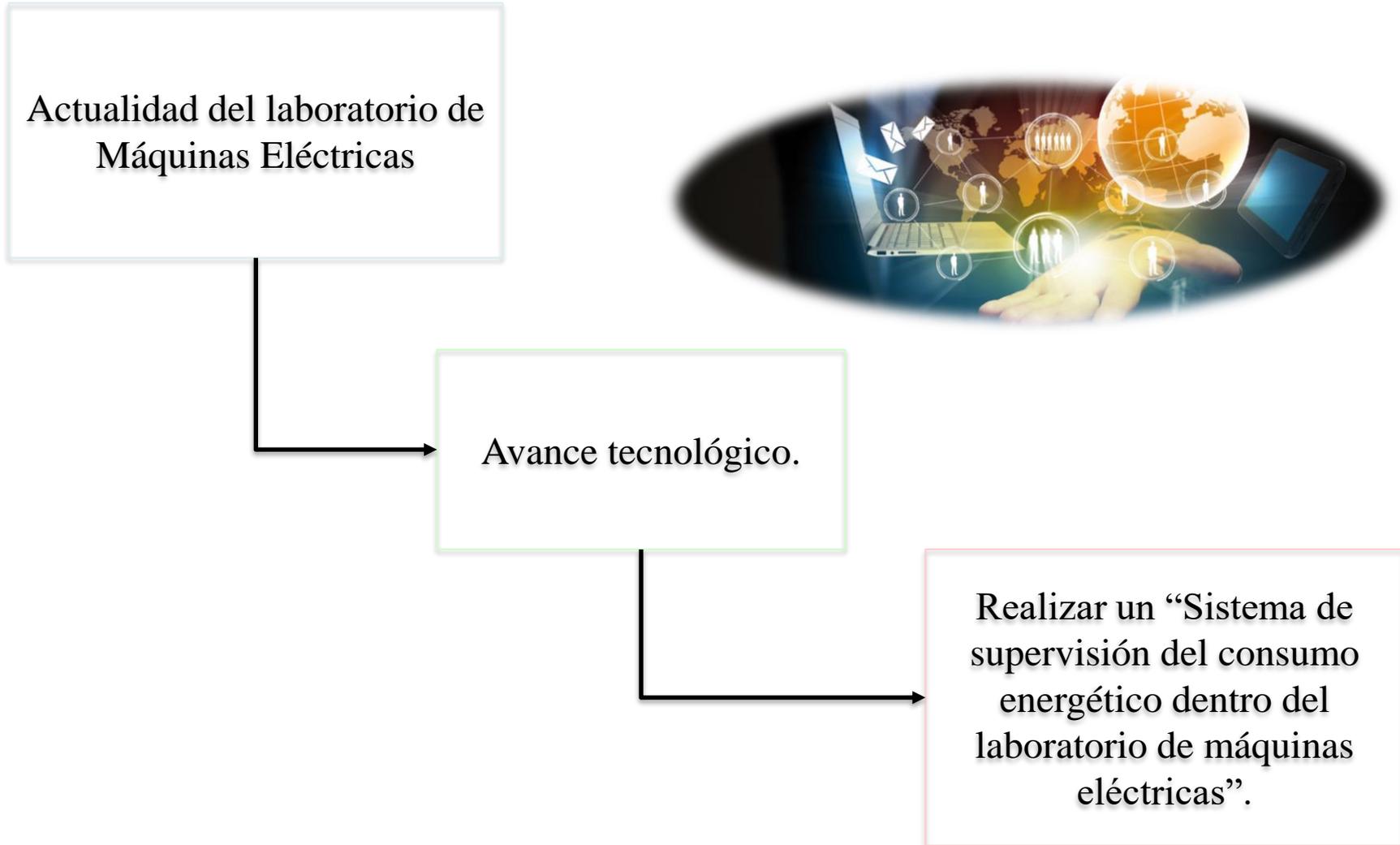


Planteamiento del problema

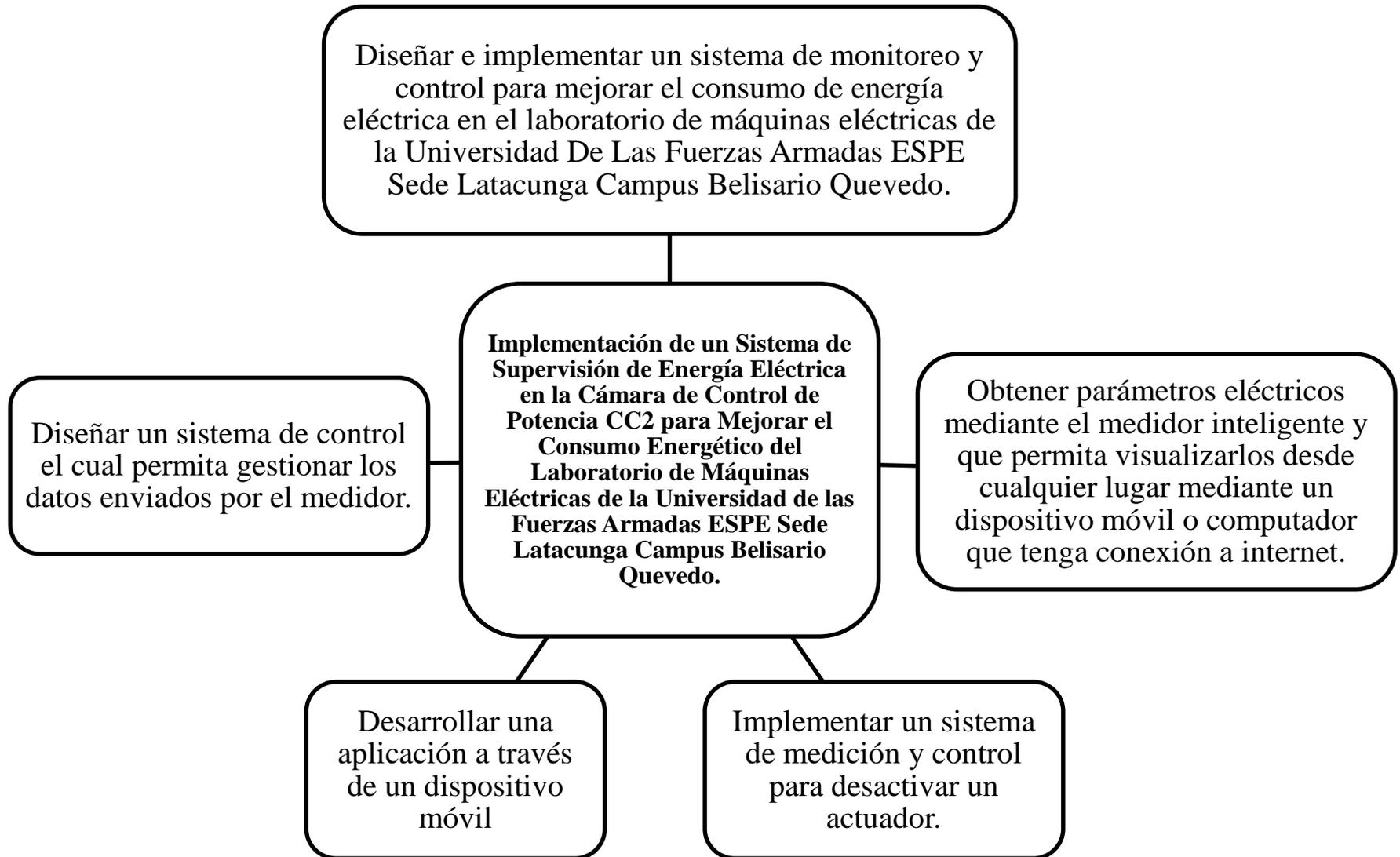
En la actualidad dentro del laboratorio de máquinas eléctricas se realizan diversas prácticas didácticas, implementando cargas trifásicas, las cuales generan variaciones en las magnitudes eléctricas al momento de estas encontrarse activadas, dicho laboratorio cuenta tan solo con un sistema de medición local y no con un sistema que permita la supervisión y control del consumo energético desde cualquier lugar que el usuario se encuentre; a su vez existen prácticas que se realizan fuera de horario de clases las cuales muchas veces se dejan accionadas con cargas innecesariamente y con el riesgo de estas generen una sobrecarga en el sistema.

Es por ello que existe la necesidad de implementar un sistema de supervisión dentro del laboratorio de Maquinas Eléctricas, permitiendo visualizar los diferentes parámetros de energía en tiempo real mediante cualquier dispositivo que se pueda conectar a la red internet

Justificación e Importancia



Objetivos



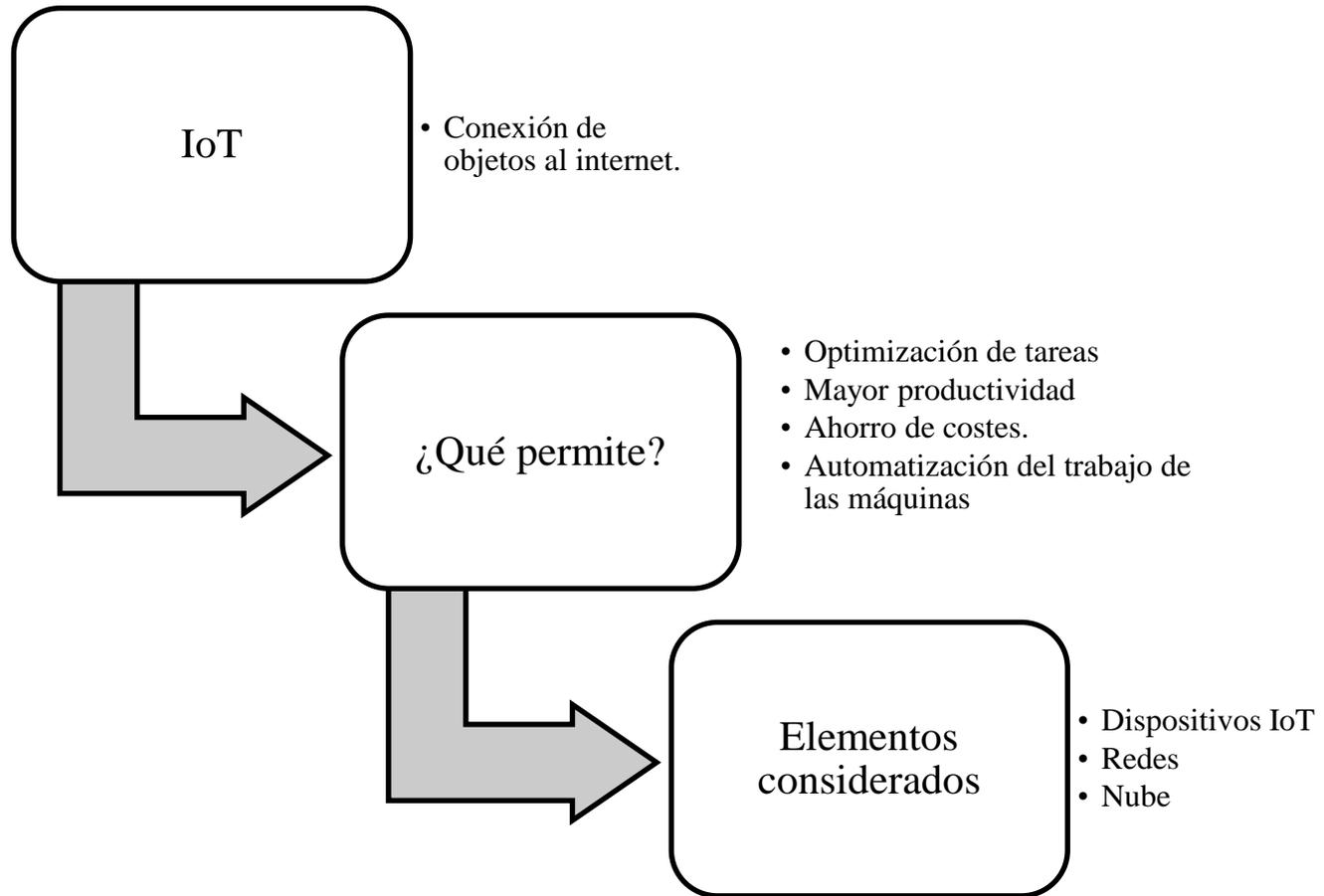
Hipótesis



Es posible mejorar la eficiencia energética del laboratorio de máquinas eléctricas mediante la implementación de equipos inteligentes.



Fundamentación Teórica



Fundamentación Teórica

Medidor convencional	Medidor inteligente
Requiere un técnico de servicio para realizar la lectura mensual.	Las lecturas son programables según como se desee, pueden ser diarias, cada hora o cada 15 minutos.
Se debe calibrar anualmente para garantizar la exactitud en la medición.	Posee una única batería que tiene una vida útil entre 10 a 20 años.
No tiene la capacidad de transmitir al centro de control deficiencias o situaciones de emergencia con el servicio.	Si se produce alteración del servicio o robo del mismo, comunica automáticamente al centro de control.
Para detectar funcionamiento con anomalías, un técnico debe analizar los datos en una serie de tiempo.	Dada su alta sensibilidad, conectividad con el medio y centro de control, envía alertas ante cualquier anomalía en el servicio.
El usuario tiene que esperar el recibo mensual del consumo generado.	El usuario puede entender a detalle sus hábitos de consumo, lo que se traduce en mayor consciencia, seguridad y confiabilidad.



Fundamentación Teórica

MODBUS

- comunicación de transmisión de información.
- Orientado a los controladores lógicos que son programables.
- Utilizados en la Industria y Monitorización.

¿Qué permite?

- Conexión de un dispositivo Maestro y varios esclavos.

Modos operativos de transmisión

- Modbus TCP
- Modbus RTU
- Modbus ASCII



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Fundamentación Teórica

MODBUS TCP

Comunicación
ETHERNET TCP/IP
basada en un modelo
cliente/servidor

Requisito es que los
nodos se encuentren en
el mismo intervalo de
direcciones IP.

El puerto estándar para
Modbus TCP es 502.

MODBUS RTU

Transmisión
asincrónica en serie a
través de RS-232 o
RS-485

Permite intercambio
de datos entre
controladores lógicos
y la PC

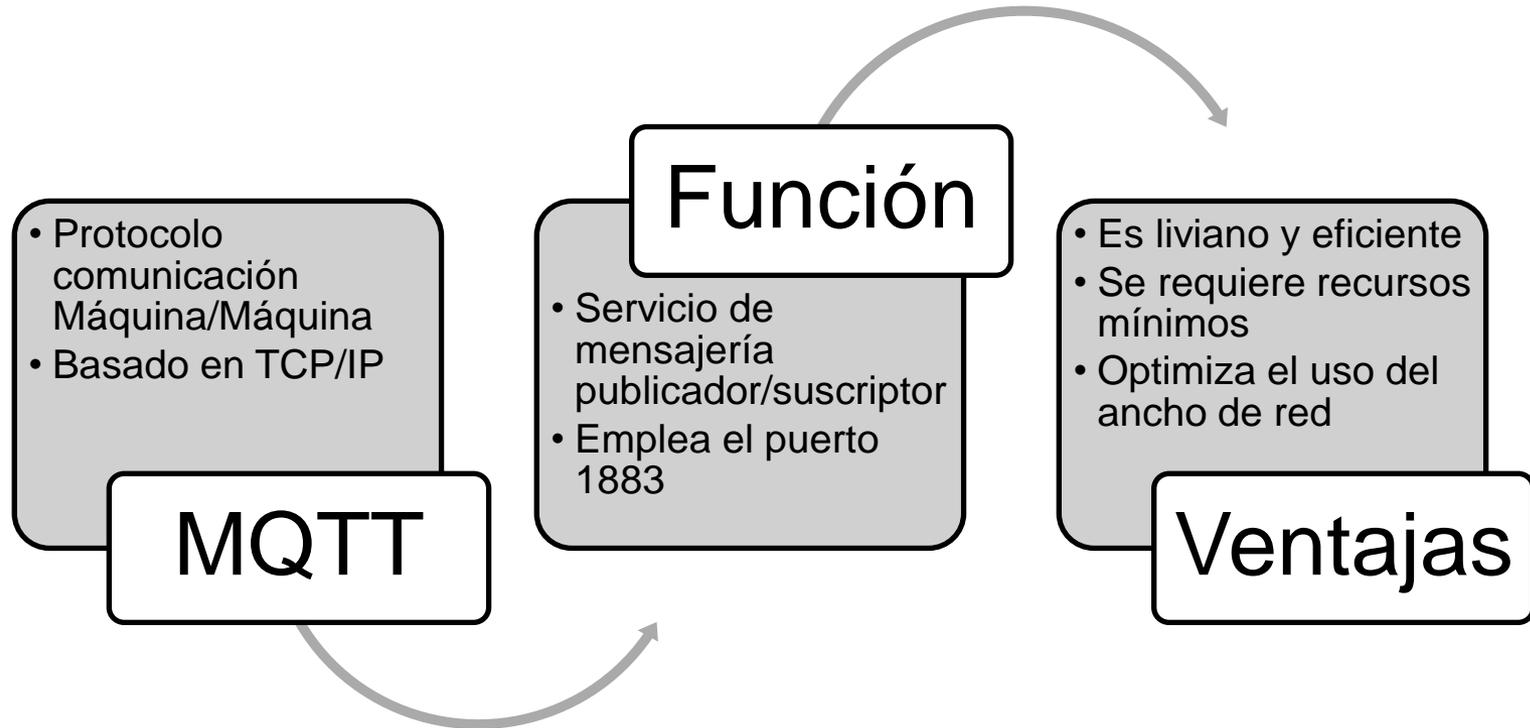
Primero se necesita
conocer y/o definir los
parámetros de
comunicación de serie

MODBUS ASCII

Similar al protocolo
RTU excepto por un
formato de datos
distinto; relativamente
poco usado

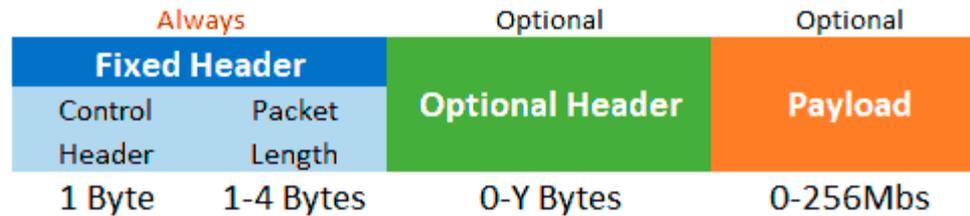


Fundamentación Teórica



Fundamentación Teórica

ESTRUCTURA DE UN MENSAJE MQTT



- **Cabecera fija.** Ocupa 2 a 5 bytes, obligatorio. Consta de un código de control, que identifica el tipo de mensaje enviado, y de la longitud del mensaje. La longitud se codifica en 1 a 4 bytes, de los cuales se emplean los 7 primeros bits, y el último es un bit de continuidad.
- **Cabecera variable.** Opcional, contiene información adicional que es necesaria en ciertos mensajes o situaciones.
- **Contenido(payload).** Es el contenido real del mensaje. Puede tener un máximo de 256 Mb aunque en implementaciones reales el máximo es de 2 a 4 kB.



Fundamentación Teórica

NODE-RED
<ul style="list-style-type: none">• Basada JavaScript• Creada por IBM

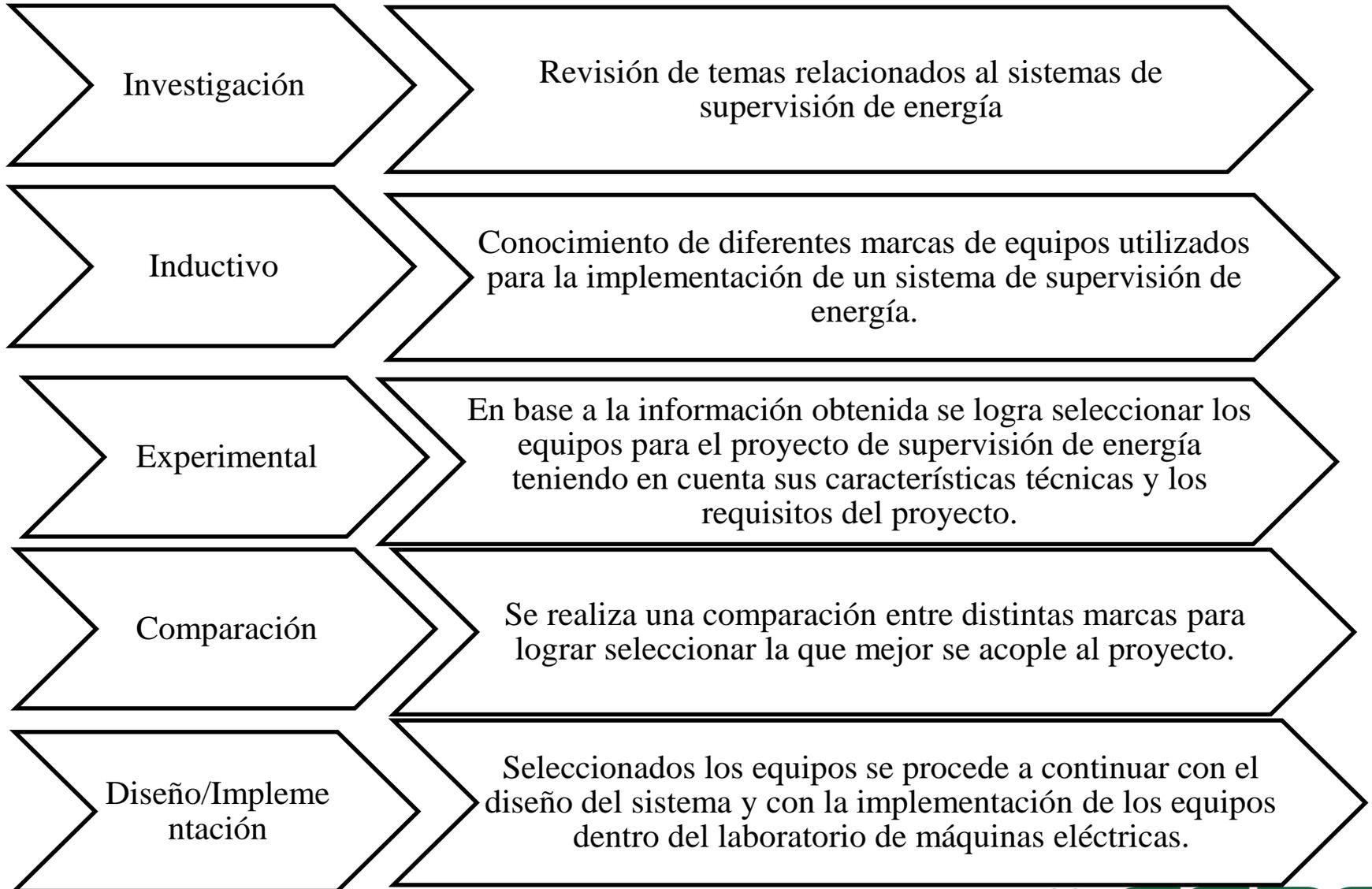
Permite
<ul style="list-style-type: none">• Conectar gráficamente bloques predefinidos (NODOS)• Permite la fácil creación de aplicaciones IoT

Protocolos disponibles
<ul style="list-style-type: none">• MQTT• MODBUS

Integración de APIS
<ul style="list-style-type: none">• Facebook• Twitter• Telegram• Etc.



Metodología



DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO

Dentro del laboratorio se encuentra cuatro puestos de trabajo en los cuales se realizan distintas prácticas didácticas utilizando fuentes trifásicas, motores trifásicos, los cuales se describen en la tabla

Equipos instalados en el laboratorio Maquinas Eléctricas

Cantidad	Descripción	Voltaje Nominal	Corriente Nominal	Potencia
4	Fuentes Alimentación	208 V	10A	3600W
4	Motor trifásico	220V	0,5A	200W
1	Motor trifásico	220V	10A	3730W
3	Motor trifásico	220V	5,7A	2200W



Comprobación Hipótesis

Es posible mejorar el consumo energético del laboratorio de máquinas eléctricas mediante la implementación de equipos inteligentes.

Para la comprobación de la hipótesis se realiza pruebas de medición de parámetros eléctricos con carga y sin carga dentro y fuera del horario de clases, teniendo así que al implementar un sistema de supervisión de energía se podrá monitorear los parámetros eléctricos en tiempo real para poder realizar un control del consumo de energía usando equipos que cumpla con la necesidad del proyecto.



Viabilidad del proyecto

Con el análisis realizado se determinó que el proyecto es viable iniciando con el diseño e implementación del sistema de supervisión de energía para poder controlar el consumo innecesario de energía cuando exista una carga accionada fuera del horario de clases, esto se logra integrando al sistema equipos como: Medidor inteligente de energía, PLC, servidor web y la aplicación móvil.



Diseño del proyecto

Descripción Laboratorio

- Se solicita información referente a los equipos disponibles en el laboratorio de máquinas eléctricas respectivamente de los consumos de cada equipo.

Selección equipos

- En base a los requerimientos dados por el laboratorio se dispone a seleccionar los equipos a implementar en este caso Medidor de energía, Tc's, PLC, Breaker

Pruebas Funcionamiento

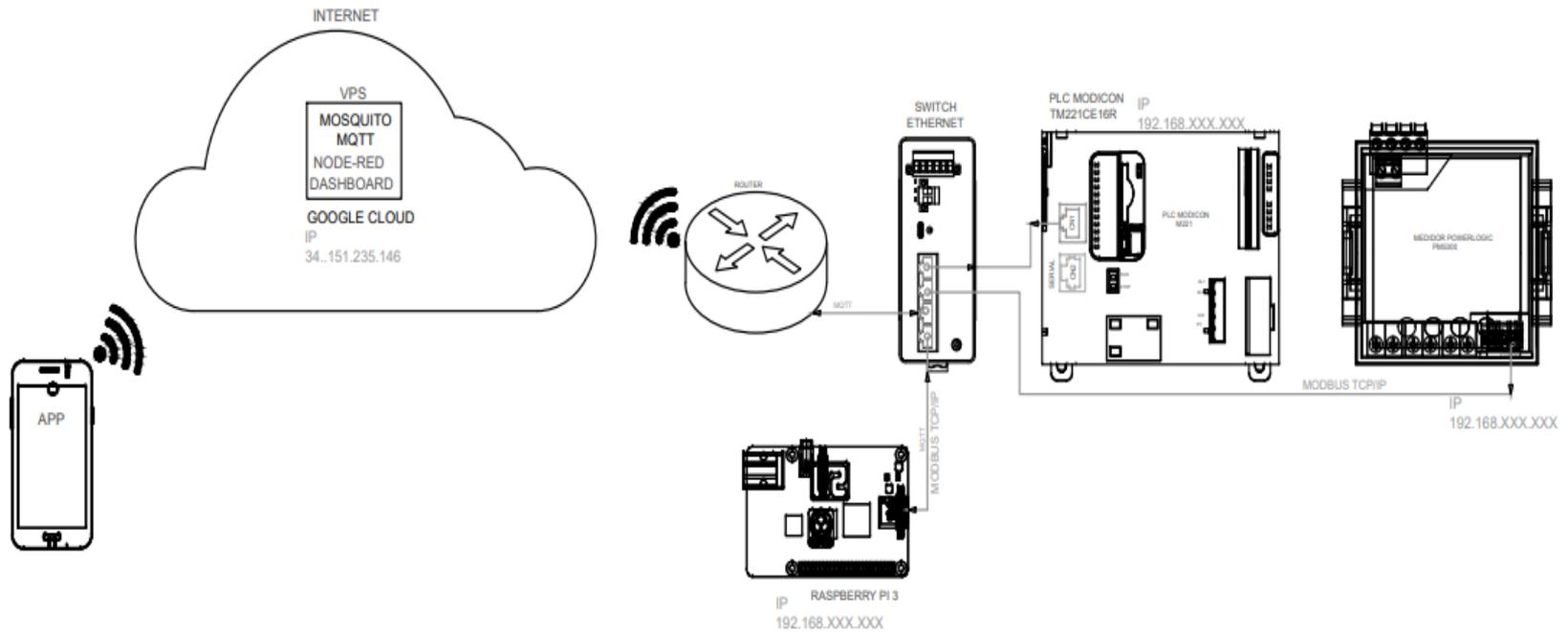
- Una vez instalados los equipos en el laboratorio de maquinas eléctricas se realizan las respectivas pruebas teniendo que el proyecto funciona correctamente y bajo los requerimientos solicitados.

Implementación

- Una vez seleccionados los equipos se realiza su adquisición y se procede con el diseño y la implementación de los mismos.



Arquitectura del proyecto



Descripción de equipos



MEDIDOR INTELIGENTE SCHNEIDER PM5340

Tensión Alimentación AC	100...415V
Circuito de Medida	35...690 V AC
Calidad de precisión V, A, Potencia	$\pm 0,5\%$
Visualización de Armónicos	31°
Comunicación Modbus TCP/IP	Sí
Comunicación Modbus RTU	Sí
Velocidad de comunicación	9600, 19200
Salidas Digitales	2
Salidas a Relé	2
Entradas Digitales NPN	2
Dimensiones	96x96x72 mm
Grado de protección IP	IP52



Descripción de equipos



Características técnicas PLC M221 TM221CE16R

Tensión de alimentación	100 ... 240 V AC
Corriente Valor nominal	2A
Consumo, máx.	40 A
Intensidad de cierre, máx.	12A; con 28,8 V
Corriente salida Para bus de fondo máx.	0,325 A; máx. 5V DC / 0,12 A; máx. 24V
Memoria trabajo integrada	256 Kbyte
Memoria ampliable	2 GB tarjeta SD
Nº entradas digitales integradas	8
Número de salidas digitales	8
Salidas a relé	4
Número de entradas analógicas	2
Rangos de entrada analógicas por tensión	0 ... 10V
Número de salidas Analógicas	0
TCP/IP	Sí
DHCP	Sí
Modbus	Sí
Grado de protección IP	IP20
Temperatura	-10 ... 55°C
Altitud	0 a 2000 msnm
Humedad	10 ... 95%



Descripción de equipos

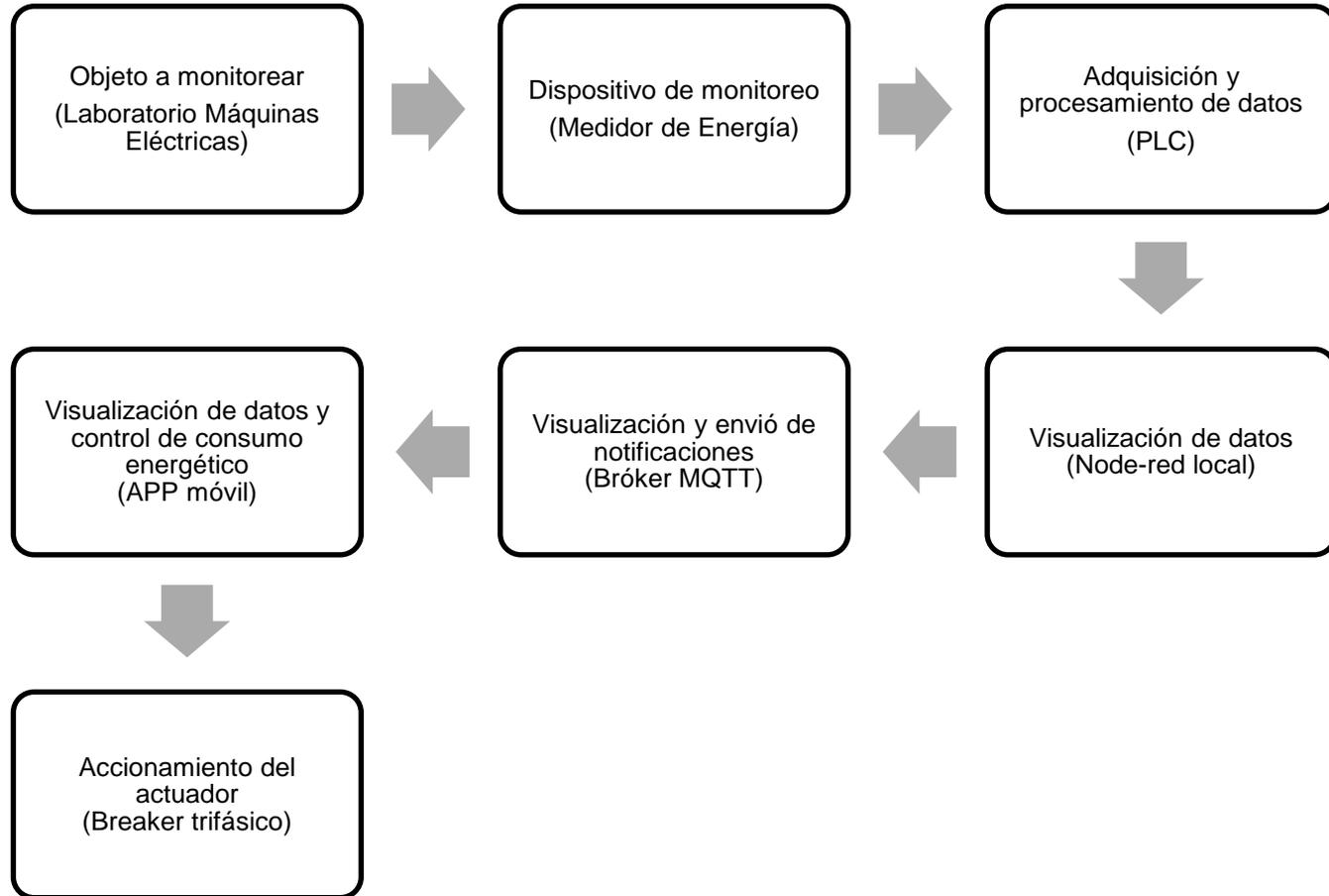
Para dimensionar del breaker se toma como escenario la activación de las cuatro fuentes simultáneamente teniendo así que cada una de las fuentes tiene un consumo de 10 amperios y al accionar las cuatro fuentes simultáneamente se tendría un consumo total de 40 amperios, por lo que se selecciona un breaker de 100 a 690V y de 50A, y el breaker disponible con dichas características en el mercado es METASOL ABN 53C.



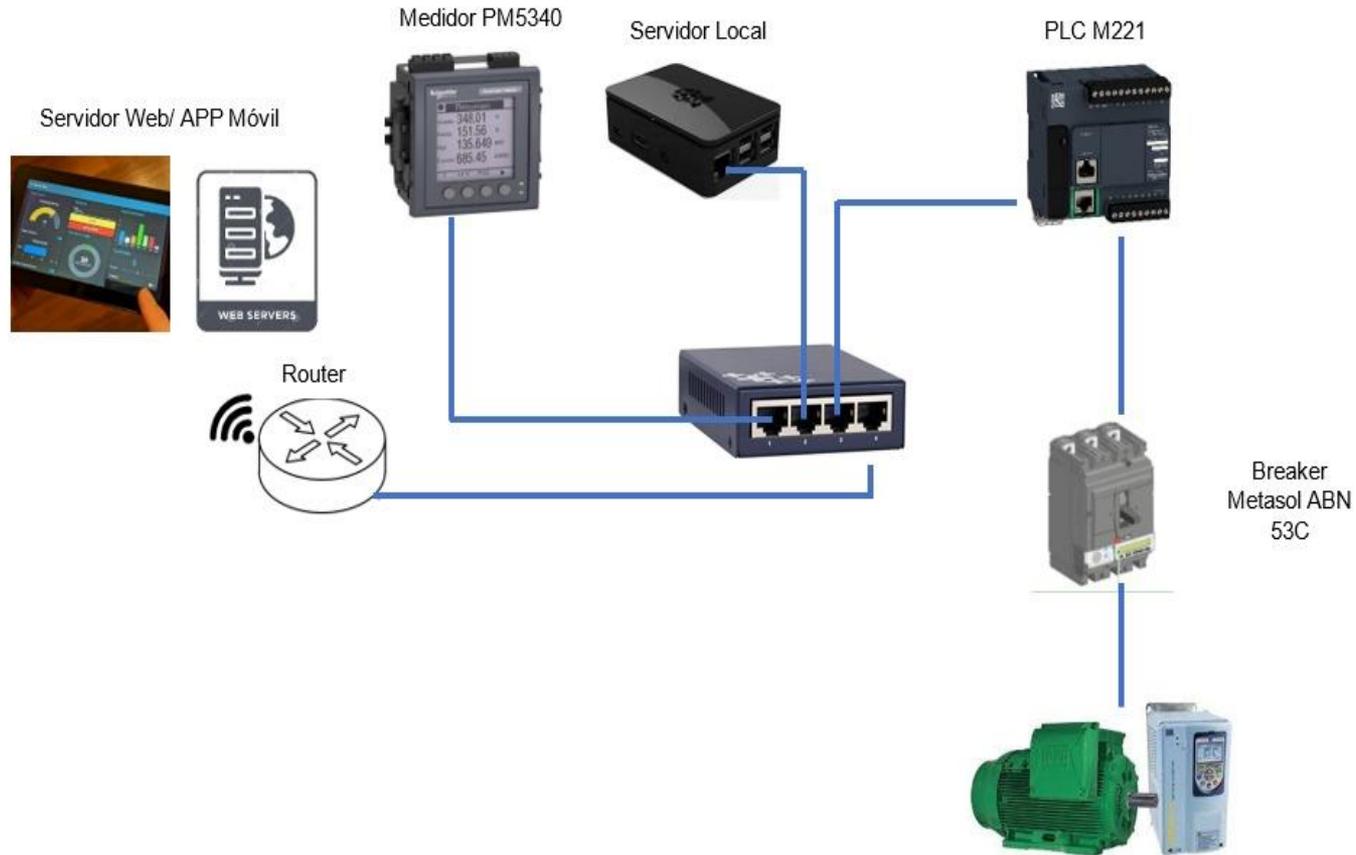
Equipos instalados en el laboratorio Maquinas Eléctricas

Cantidad	Descripción	Voltaje Nominal	Corriente Nominal	Potencia
4	Fuentes Alimentación	208 V	10A	3600W
4	Motor trifásico	220V	0,5A	200W
1	Motor trifásico	220V	10A	3730W
3	Motor trifásico	220V	5,7A	2200W

Diseño del módulo para la supervisión del consumo de energía



Esquema de conexión de elementos



Configuración Medidor PM5340

Ingresamos
en la opción
MANT

Ingresamos
a
configuración

Ingresamos
a Ethernet

Configuramos
la IP

Guardamos
las
configuraciones



Programación PLC mediante Machine Expert



Programación PLC mediante Machine Expert

Modbus TCP

Modbus

ID de unidad Registros de salida (%IWM) Registros de entrada (%QWM)

cliente: tabla de dispositivos remotos (máx. 16)

Habilitar Modbus TCP IOScanner

Genérico Unidad Predefinido

Nombre	Dirección	Tipo	Índice	Dirección IP	Time...	Restablecer var...	Explora...	Inic s...	Peticiones i...	ID de...	Canales
PM5340		Generic device	1	10.8.38.8	10		<input checked="" type="checkbox"/>	255	<input type="text" value="..."/>	255	<input type="text" value="..."/>
RASPBERRY		Generic device	2	10.8.38.7	10		<input checked="" type="checkbox"/>	255	<input type="text" value="..."/>	255	<input type="text" value="..."/>



Programación PLC mediante Machine Expert

Asistente de canales

Nombre : PM5340 Dirección : Tipo : Generic device Dirección IP : 10.8.38.8

Canales

Añadir

ID	Nombre	Config...	Tipo de me...	Desencadenador	R Off...	R Lon...	Gestión de errores	W Off...	W Lo...	Comentario
0	VOLTAJE A-B	...	Read multiple	Cíclico 200 ms	3019	2	Poner a CERO			
1	VOLTAJE B-C	...	Read multiple	Cíclico 200 ms	3021	2	Poner a CERO			
2	VOLTAJE C-A	...	Read multiple	Cíclico 200 ms	3023	2	Poner a CERO			
3	CORRIENTE A	...	Read multiple	Cíclico 200 ms	2999	2	Poner a CERO			
4	CORRIENTE B	...	Read multiple	Cíclico 200 ms	3001	2	Poner a CERO			
5	CORRIENTE C	...	Read multiple	Cíclico 200 ms	3003	2	Poner a CERO			
6	POTENCIA A	...	Read multiple	Cíclico 200 ms	3053	2	Poner a CERO			
7	POTENCIA B	...	Read multiple	Cíclico 200 ms	3055	2	Poner a CERO			
8	POTENCIA C	...	Read multiple	Cíclico 200 ms	3057	2	Poner a CERO			
9	POTENCIA TOTAL	...	Read multiple	Cíclico 200 ms	3059	2	Poner a CERO			

Aceptar

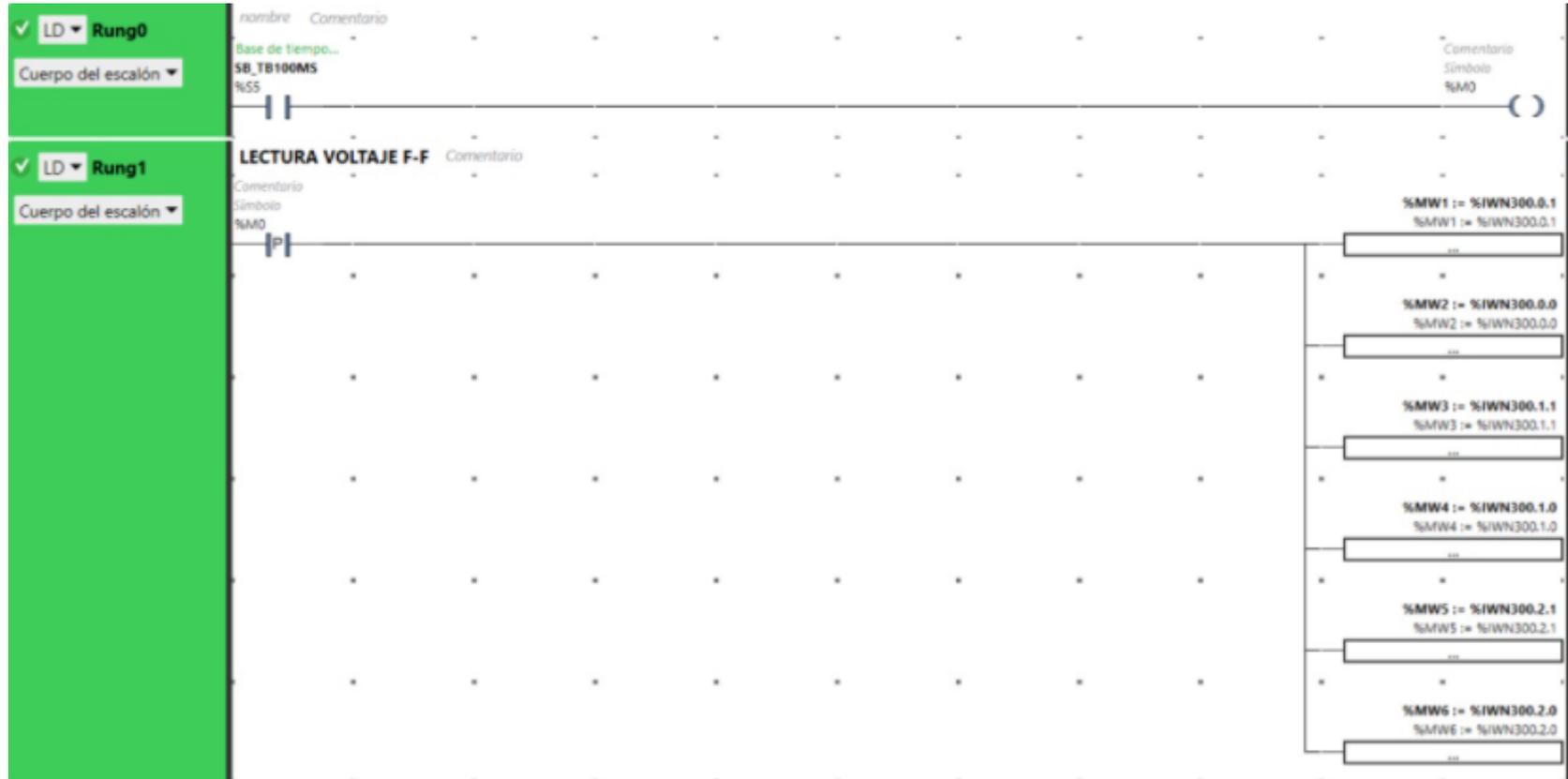
Cancelar



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Programación PLC mediante Machine Expert

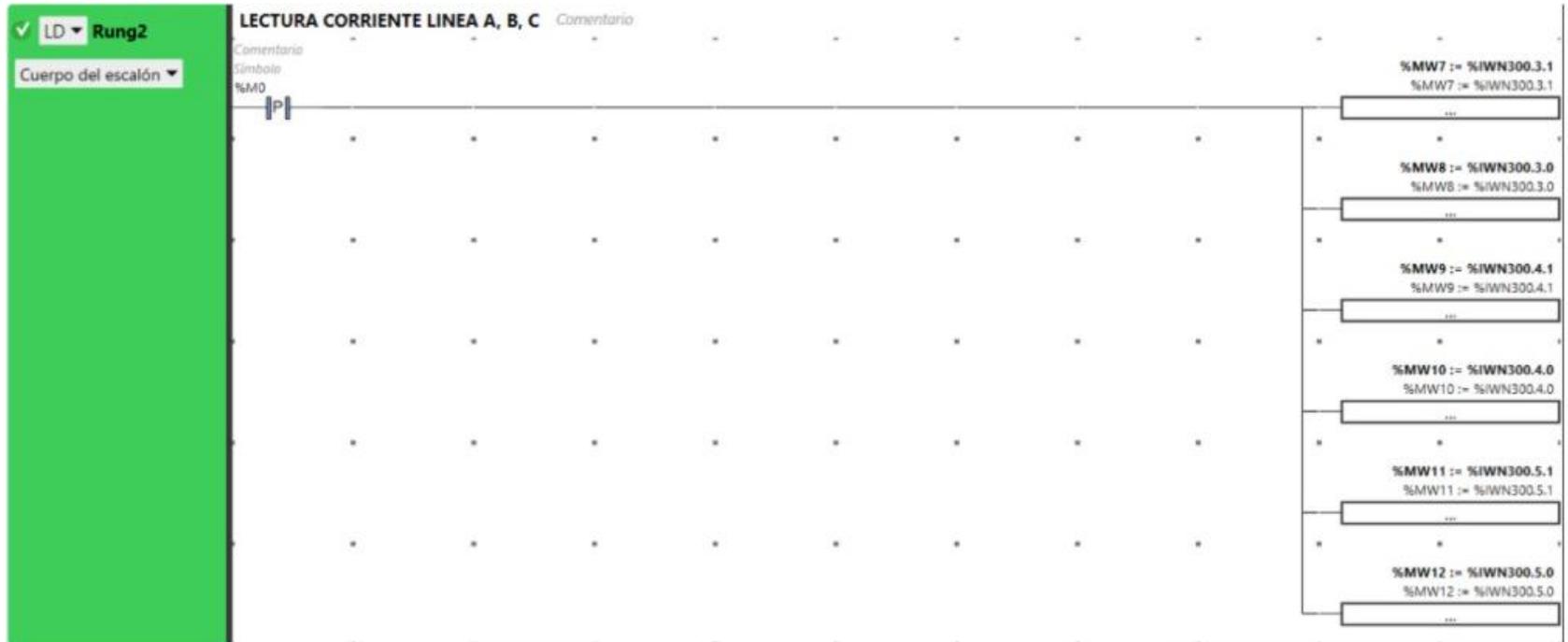


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Programación PLC mediante Machine Expert

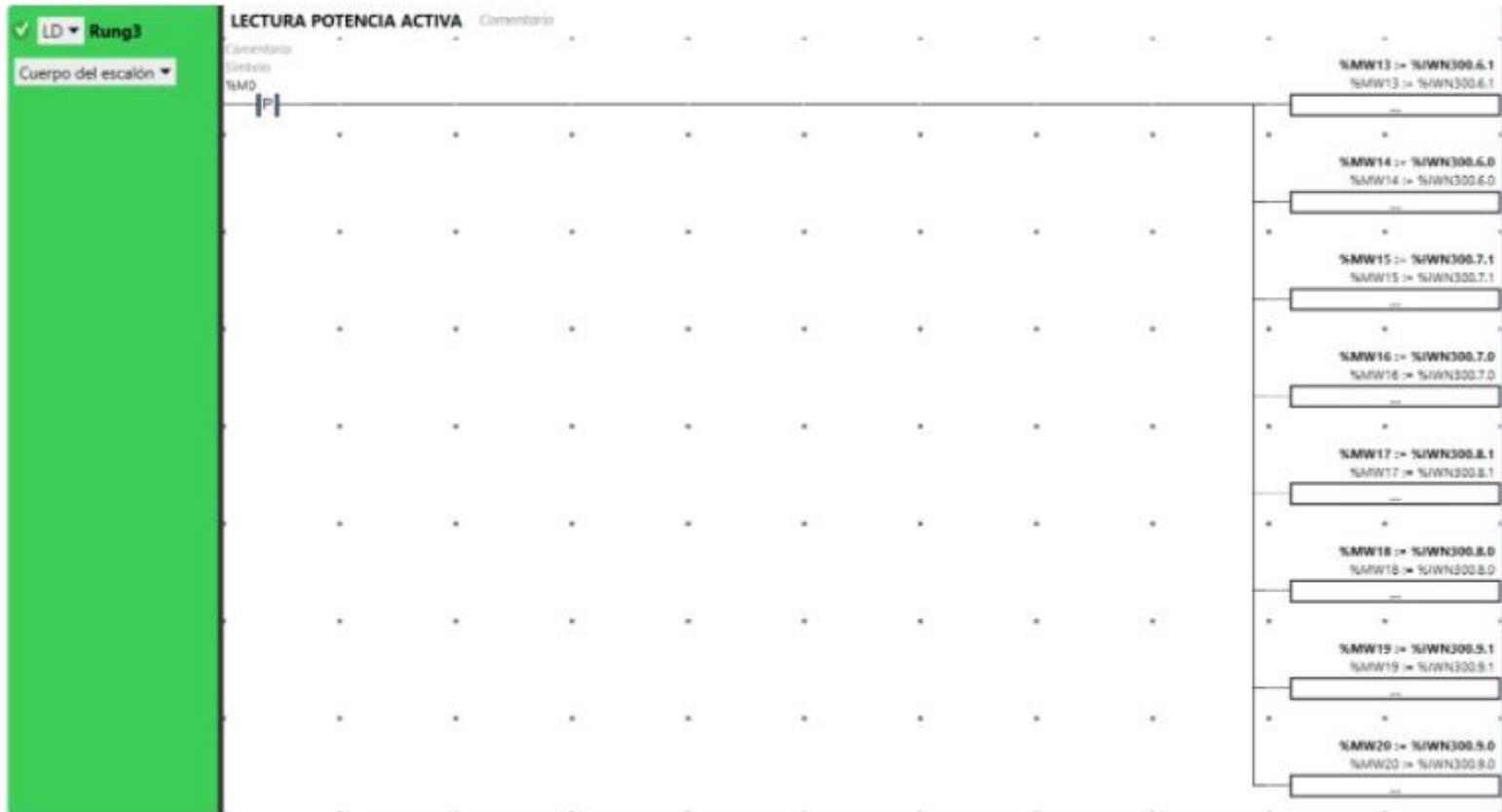


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Programación PLC mediante Machine Expert



ESPE

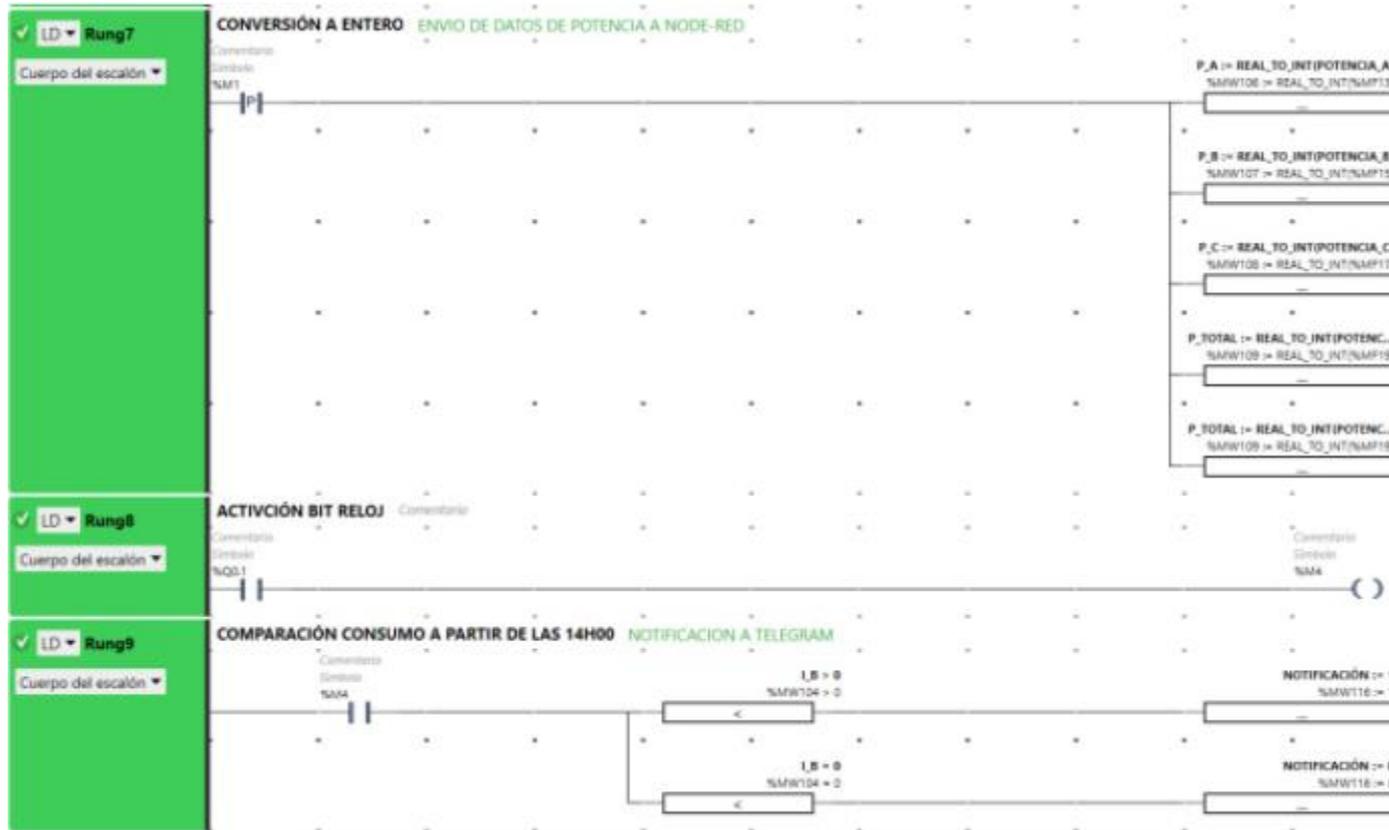
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

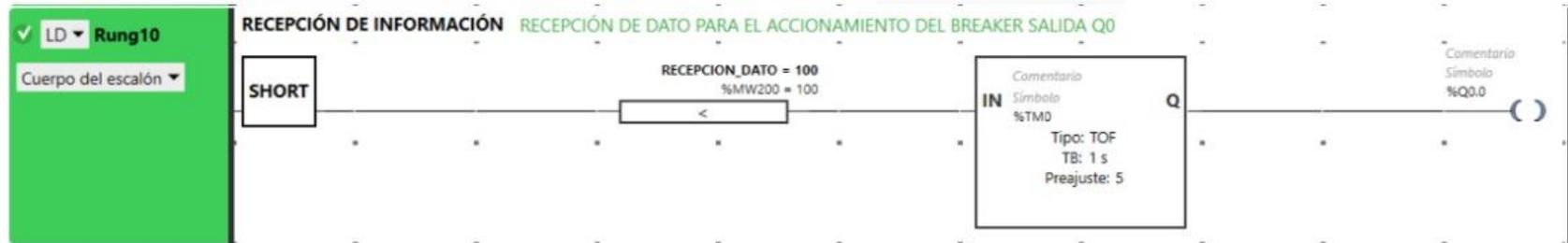
Programación PLC mediante Machine Expert



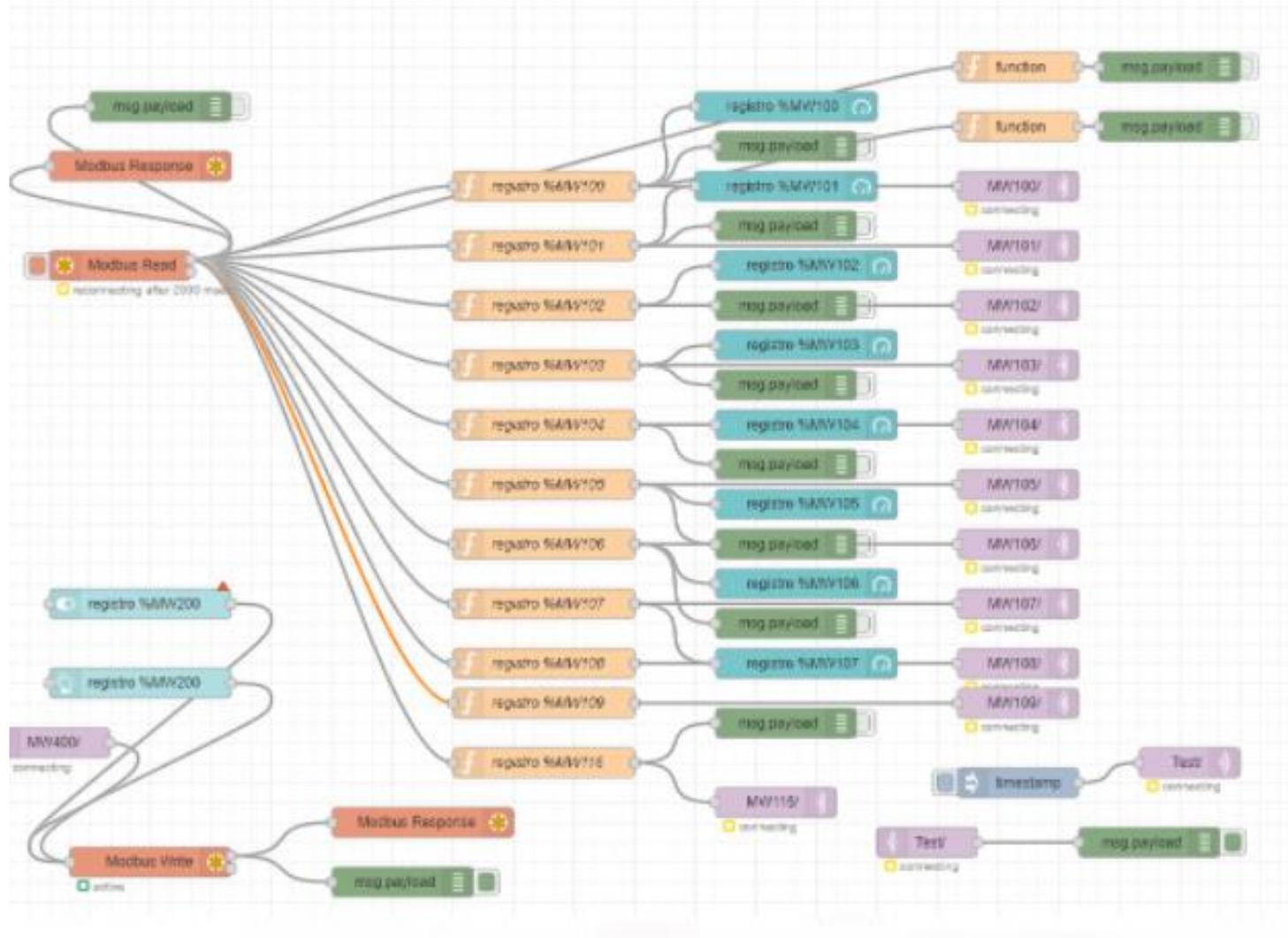
Programación PLC mediante Machine Expert



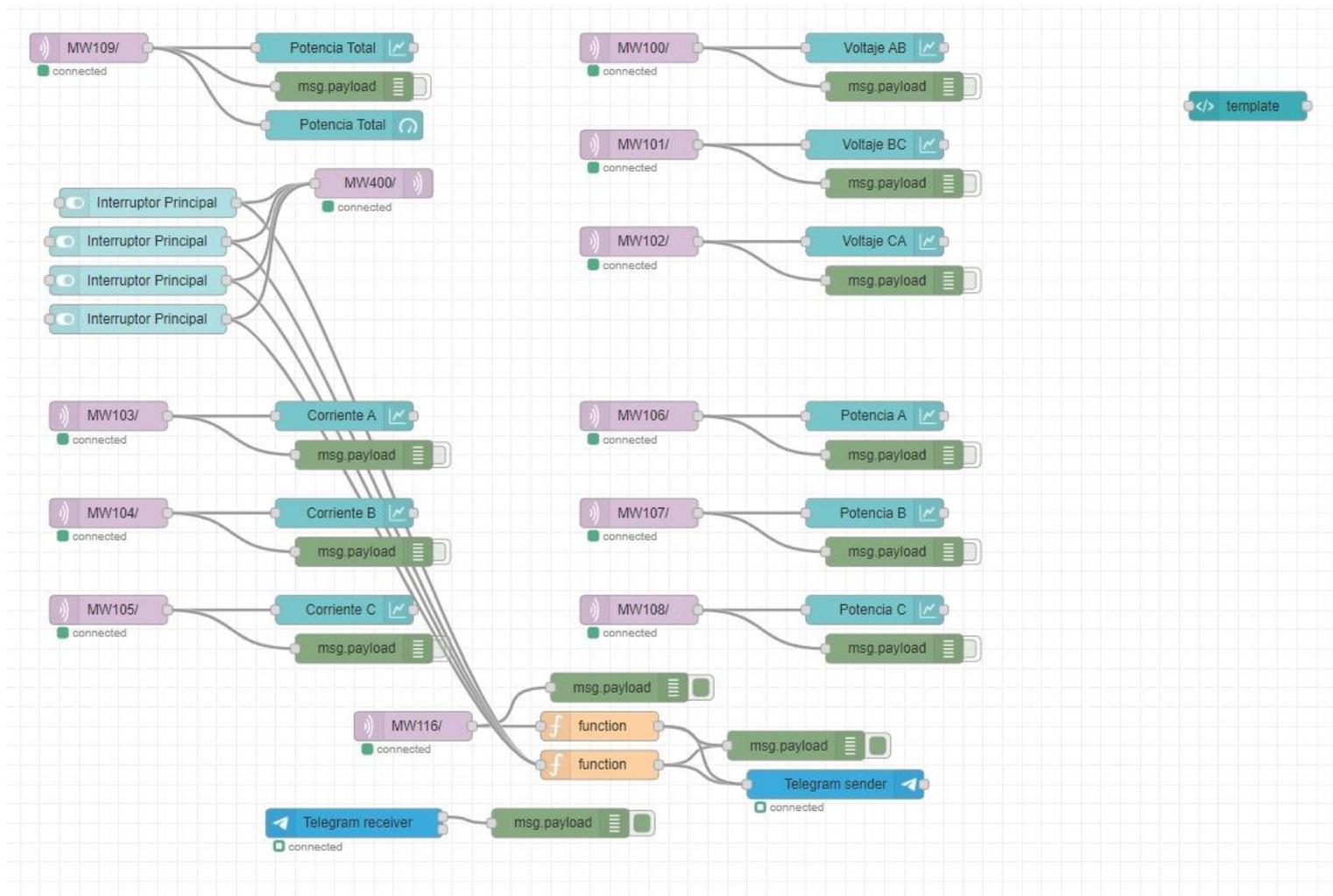
Programación PLC mediante Machine Expert



Configuración Node-Red Local



Configuración Node-Red Servidor



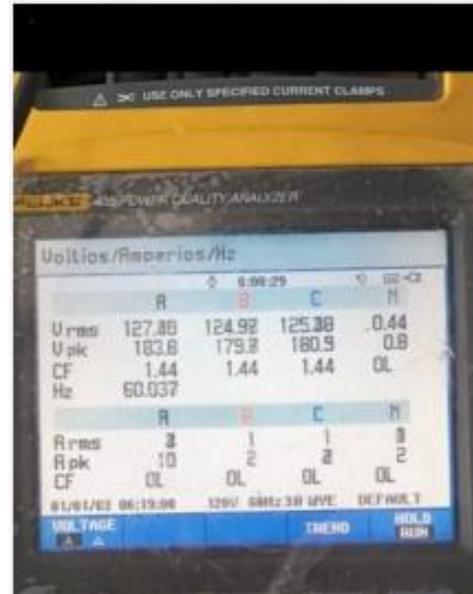
Aplicación Móvil



Pruebas realizadas



Comparación magnitudes medidas (Corriente)



Comparación magnitudes medidas (Corriente)

Equipo/magnitud	Fluke 435	Medidor PM5340	Aplicación
eléctrica			
Corriente A	3 A	3.21 A	3 A
Corriente B	1 A	0.74 A	1 A
Corriente C	1 A	0.83 A	1 A



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Conclusiones



- Mediante el diseño realizado para el sistema de supervisión de energía se logró integrar los equipos: Medidor de energía PM5340 y PLC M221 de la marca Schneider los cuales se comunican entre sí por el protocolo Modbus TCP/IP, además se logra controlar el consumo innecesario de energía adicionando al sistema un Breaker que cuenta con una bobina on/off la cual es accionada mediante la aplicación móvil en donde se tiene el registro en tiempo real de los parámetros eléctricos como voltaje, corriente y potencia.
- Al implementar el medidor de energía PM5340 se logra tener lectura de magnitudes eléctricas en tiempo real y de manera local dentro del laboratorio de Máquinas Eléctricas las cuales se las visualiza mediante la pantalla propia del Medidor.
- Para lograr asociar al medidor PM5340 con el PLC M221 se utiliza el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP funcionando el PLC como Maestro mientras que el medidor pasa a ser un esclavo junto con el servidor local, esto se logró configurando los equipos dentro del software Machine Expert propio de la marca Schneider, para así lograr visualizar las magnitudes eléctricas tomadas por el medidor dentro del software Machine Expert y a su vez enviar dichos datos hacia nuestro servidor local, para posteriormente lograr enviarlos hacia la nube en donde se cuenta con un servidor web el cual se encuentra asociado a la aplicación móvil y nos permite la visualización de las magnitudes eléctricas en tiempo real y así permite interactuar desde la aplicación móvil con el PLC para desactivar cargas eléctricas cuando sea necesario.
- El desarrollo de la aplicación móvil se lo hizo mediante la herramienta react native con un código básico en JavaScript, el cual permite asociar el servidor web con la aplicación móvil para así visualizar en tiempo real y desde cualquier lugar las magnitudes eléctricas tomadas por el medidor PM5340 y así poder interactuar desde la aplicación móvil con la cualquier carga activada en el laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Recomendaciones



- Tomar en cuenta el diseño planteado para la selección adecuada de los equipos implementados, ya que hay que tener en cuenta varios factores como en nuestro caso la disponibilidad de equipos dentro del mercado nacional.
- Al recibir la notificación en el Telegram es necesario dirigirse a la aplicación móvil para verificar el consumo de energía dentro del laboratorio y de ser el caso mandar a desactivar la carga presionando el interruptor principal disponible en la pantalla de la aplicación, una vez presionado hay que volverlo a presionar para que se ubique en su posición inicial y así poder dirigirse hacia el tablero de supervisión a resetear el Breaker.
- En caso de que el tablero de supervisión se quede sin energía por distintas razones, es necesario dirigirse al tablero de supervisión y encender la raspberry Pi e iniciar la aplicación Node-Red dentro de la misma como se describe en el proceso.
- En caso de no tener conexión hacia la aplicación móvil comunicarse con los autores del proyecto para que verifiquen el estado del servidor web en caso de que este haya llegado a fallar por pérdida de conexión a la red internet.
- De no existir valores de lectura por parte del medidor o en la aplicación móvil verificar el estado de la conexión a la red internet de los dispositivos implementados en el tablero de supervisión (PLC, Medidor, Raspberry Pi).

Bibliografía

- Achote, G., & Pumashunta, C. (2020). Diseño e Implementación de un sistema de monitoreo y adquisición de datos en la cámara de transformación n°2 para evaluar los índices de consumo de energía eléctrica en la universidad técnica de Cotopaxi campus matriz. In Universidad técnica de cotopaxi.
- Amaguaya, R. (2020). Análisis comparativo a nivel transaccional de brokers MQTT (mosquito,mosca,emw) con respecto a la disponibilidad en infraestructura IOT ante ataques DDos. Escuela Politécnica Nacional.
- AREATECNOLOGIA. (2021, December 7). Centro de Transformación Partes Aparamenta Tipos Celdas. <https://areatecnologia.com/electricidad/centro-de-transformacion.html>
- Becerra, S. (2020). Construcción de módulo didáctico de protección diferencial de transformadores para el laboratorio de protecciones eléctricas de la universidad Politécnica Salesiana Campus Sur.
- Chalán, V. (2020). Desarrollo de un controlador óptimo LQR utilizando herramientas IoT para un sistema de presión constante controlado remotamente. Universidad Politécnica Salesiana.
- CIRCUTOR. (2014). Analizador de redes para panel CVM-C10. Clase 1, 2. http://circutor.es/docs/FT_CVM-C10_ES.pdf
- Echeverri, S., & Grisales, G. (2013). Implementación de una red profibus dp en un sistema automatizado Implementación de una red profibus de en un sistema automatizado. In Gospodarka Materiałowa i Logistyka. Universidad Tecnológica de Pereira.
- ENEL. (2018). Contador digital y medición inteligente . <https://www.enel.com.co/es/medicion-inteligente.html>
- Gallegos, J., & Delgado, E. (2015). Diseño e implementación de una red industrial Modbus para el control de actuadores trifásicos en el laboratorio de fabricación flexible. 168. <http://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3633/1/UPS-GT000348.pdf>
- Giraldo, J., & Hoyos, R. (2009). No Title. Unirversidad Tecnologica de Bolivar.
- Hartman, W. T., Hansen, A., Vasquez, E., El-Tawab, S., & Altaii, K. (2018). Energy monitoring and control using Internet of Things (IoT) system. 2018 Systems and Information Engineering Design Symposium, SIEDS 2018, 13–18. <https://doi.org/10.1109/SIEDS.2018.8374723>
- IBM. (2019, July). IBM.



Llamas, L. (2019). ¿Qué es MQTT? Su importancia como protocolo IoT. <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>

Metasol. (2011). Low voltage circuit breakers.

Molina Vuistaz, N., Nieva, N., & Martínez, A. (2017). Controlador lógico programable para soluciones de automatización y control en la pequeña y mediana empresa. ISSN 2525-1333, 1–9.

Montes, H., Pacheco, A., & Ramos, H. (2017). Monitoreo del Consumo de Energía Eléctrica Domestica con Arduino. Global Partnerships for Development and Engineering Education: Proceedings of the 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, July 19-21, 2017, Boca Raton, FL, United States, 2017, ISBN 978-0-9993443-0-9, 253. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7352987&info=resumen&idioma=SPA>

Negocios, T. para los. (2018, July). Caminar con éxito hacia la Industria 4.0: Capítulo 14 – Dispositivos (I) Internet de las cosas (IoT).

Palacios, F., & Mera, F. (2012). Diseño e implementación de un Sistema SCADA para el control remoto de un proceso a través de un dispositivo móvil basado en el Software MySQL e Information Server.

Quishpe Gaibor, J., & Sisa Sandoval, H. (2018). Deontología aplicada al uso de medidores eléctricos en el Ecuador. Caribeña de Ciencias Sociales, 14(septiembre), 60. <https://doi.org/10.15665/RP.V14I1.639>

Rodriguez, O. (2014). Diseño e Implementación de un sistema de monitoreo energético en el CAMPUS RODRÍGUEZ LARA–ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA. 145.

RS Online. (2018, July). Internet de las Cosas | RS Components. <https://es.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=i/iot-internet-of-things>

Sanchez, D., & Tupiza, A. (2020). Sistema de control en red inalámbrico(WNCS) mediante vision artificial y herramientas de mensajería telegram, para sistemas de nivel. In Tesis. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18503%0Ahttp://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>

Schneider, E. (2015). Controlador M221 c / Ethernet 40 ES de tipo relé.

Schneider, E. (2020). PM5340 - Central de medida - Ethernet, hasta 31 H, 256K 2DI/2DO 35 alarma. 3.

Serrano, J. (2020, October). El IoT en la industria 4.0 actual - Sixphere.



GRACIAS

