

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN
IOT PARA UN SISTEMA DINÁMICO REAL**

Trabajo de grado presentado ante la Ilustre Universidad Técnica del Norte previo a la obtención
del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

Autor:

Esteban Andrés Yacelga Yacelga

Director:

Ing. Gerardo Isaías Collaguazo Galeano, PhD

Ibarra-Ecuador

2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004456768		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Yacelga Yacelga Esteban Andrés		
DIRECCIÓN:	Imbabura-Ibarra-Pedro Rodríguez y García Moreno 3-89		
EMAIL:	eayacelgay@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	(06) 2951-294	TELÉFONO MÓVIL:	+593 994987230

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN IOT PARA UN SISTEMA DINÁMICO REAL.
AUTOR (ES):	Yacelga Yacelga Esteban Andrés
FECHA: DD/MM/AAAA	12/10/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR/DIRECTOR	Ing. Gerardo Isaías Collaguazo Galeano, PhD



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de octubre de 2022.

EL AUTOR:

Esteban Andrés Yacelga Yacelga



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director del Trabajo de Grado titulado: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN IOT PARA UN SISTEMA DINÁMICO REAL", certifico que ha sido desarrollado en su totalidad y bajo mi supervisión, por el señor Esteban Andrés Yacelga Yacelga, con cédula de ciudadanía 100445676-8, para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

Ibarra, a los 12 días del mes de octubre de 2022.

Atentamente:

Ing. Gerardo Isaías Collaguazo Galeano, PhD

Director de Tesis

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado se lo dedico con mucho amor a mis padres Sr. Aníbal Yacelga y Sra. Aída Yacelga que con mucha entrega y sacrificio me han permitido alcanzar mis metas. A ustedes les debo todo en esta vida, gracias por estar siempre presentes.

A mis hermanos Miriam, Marco, Nidia, Jenifer y Edwin que quiero con todo mi corazón y tengo presente todos los esfuerzos realizados con el fin de ayudarme a cumplir mis sueños, incluso en ocasiones dejando de lado sus propósitos.

A mis sobrinos Daniela, Jair y Valeria quienes al llegar a casa con su inocencia contagian mis días de alegría y son el motivo para seguir adelante.

A mis tíos y toda mi familia por ofrecerme apoyo moral y siempre estar pendientes brindándome su afecto.

A la memoria de mis abuelitas María Dolores Fernández y Luz María Yacelga, quienes con mucho cariño estaban en la etapa de mi niñez. Que la calidez de su amor me acompañe el resto de mi vida.

A mi abuelito Juan Yacelga que, con sus huellas del ayer crea nuevos y maravillosos recuerdos que el corazón guarda para siempre.

A mi querida mascota Cuca a quien su tiempo terminó, estuvo conmigo desde el primer día que empecé mis estudios, supo ser mi compañía y mi amiga fiel incluso en mis momentos de desvelo. Siempre serás parte de mí y vivirás por siempre en mi corazón.

Andrés Yacelga

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme vida, salud y haberme otorgado una familia maravillosa.

Un agradecimiento especial a mi tutora MSc. Eliana Ormeño por su gran calidad humana su don de enseñanza aportando valiosos conocimientos a lo largo de mi formación como profesional.

Agradecer a mi tutor Ing. Gerardo Collaguazo, PhD por asesorarme en la culminación de este trabajo de grado. Por su paciencia y responsabilidad brindada en todo momento.

También quiero agradecer a mi asesora la MSc. Isabel Quinde por brindarme sus consejos y tiempo en las revisiones.

A la gloriosa “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE” que me ha enseñado el camino hacia la superación demostrando que el éxito es la suma de los pequeños esfuerzos del día a día. Al club de Electricidad y Automatización, por haberme brindado la oportunidad de obtener cualidades de liderazgo.

A mis amigos a quienes tengo un gran aprecio ya que hemos compartido buenos momentos en todo este período estudiantil y sé que son unos excelentes profesionales.

Andrés Yacelga

RESUMEN

Los sistemas Interfaz Hombre Máquina (HMI) para el control y monitoreo de plantas, procesos y actividades industriales requieren cada vez procesos más sofisticados. La implementación de estos sistemas conlleva a las empresas a invertir grandes sumas de dinero y conseguir operadores especializados para la adaptación de estos sistemas dinámicos mediante el Internet de las cosas, aumentando el rendimiento y la productividad. Por lo tanto, el objetivo general fue implementar un Sistema de Monitoreo y Control basado en IoT de bajo costo, para un sistema dinámico real utilizando Node-RED y Remotelt en el laboratorio de Control de la carrera de Electricidad. La metodología empleada partió de la selección del módulo didáctico para posteriormente elegir el hardware de código abierto y software en el cual se diseñó la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI). Finalmente, se realizó la configuración del software para conexión remota mediante el software Remotelt. Como resultado se obtuvo una GUI que permite hacer el control manual y automático del Módulo de Caudal de Líquidos, además de permitir la visualización del comportamiento del sistema mediante gráficas en tiempo real. Adicionalmente el control de forma remota se efectuó desde un dispositivo móvil u ordenador con conexión a internet mediante un link de acceso único. De esta manera se concluye la implementación de un dispositivo de Monitoreo y Control de Caudal basado en el internet de las cosas (IoT) de bajo costo que presenta competitividad ante dispositivos HMI comerciales.

Palabras clave: Interfaz Gráfica de Usuario, conexión remota, microcontrolador, IoT, Sistemas embebidos.

ABSTRACT

Human Machine Interface (HMI) systems for control and monitoring industrial processes require increasingly sophisticated processes. Implementation of these systems compel companies to invest money and obtain specialized operators to adapt these dynamic systems through the Internet of things, increasing performance and productivity. Therefore, the objective was to implement a low-cost IoT-based Monitoring and Control System for a real dynamic system using Node-RED and Remotelt in the Control Laboratory of the Electricity career. Methodology used was selection of didactic module and choose open source hardware and software to desing Graphical User Interface (GUI). Finally, software configuration for remote connection was carried out using Remotelt software. As a result, graphical user interface allows manual and automatic control of caudal module, in addition, allow visualization of behavior of the system on real-time. Additionally, remote connection was established using a mobile device or computer with internet access through a single link. In this way, the implementation of a low-cost device that is competitive with commercial HMI devices is concluded.

Keywords: Graphical User Interface, remote connection, microcontroller, IoT, Embedded Systems.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
TABLA DE CONTENIDO	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE CUADROS	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVIII
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	XIX
OBJETIVO GENERAL	XIX
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XIX
JUSTIFICACIÓN	XIX
ALCANCE.....	XX

CAPÍTULO 1

1.1 Automatización y Control Industrial	1
1.2 Importancia de Sistemas en tiempo real	2
1.3 Fluidos	2
1.4 Medidores de caudal	2
1.5 Bomba centrífuga	3
1.6 Elementos de un sistema de control.....	4
1.7 Tipos de Control	5
1.7.1 Control manual.....	5
1.7.2 Control automático	5
1.8 Acciones básicas de control.....	5
1.8.1 Control ON/OFF	5
1.8.2 Control Proporcional-Integral-Derivativo	6

1.9	Dispositivos de control	6
1.9.1	Controlador Lógico Programable.....	7
1.9.2	Variador de velocidad	7
1.10	Adquisición de datos de PLC	8
1.10.1	Software de comunicación.....	8
1.10.2	Software de adquisición de datos para el PLC Allen Bradley.....	9
1.11	IoT para automatización y control industrial	9
1.11.1	En Capa física.....	9
1.11.2	Capa de conectividad	9
1.11.3	Capa digital	10
1.12	Componentes de la arquitectura IoT.....	10
1.12.1	Plataforma cloud	10
1.12.2	Plataforma Internet de las cosas	10
1.12.3	Capa de dispositivos.....	10
1.12.4	Capa de comunicaciones	10
1.13	Protocolos de comunicación IoT	11
1.13.1	Hypertext Transfer Protocol.....	11
1.13.2	Message Queuing Telemetry Transport.....	11
1.13.3	Constrained Application Protocol	12
1.14	Node Red.....	13
1.14.1	Nodos	13
1.14.2	Flujos.....	14
1.14.3	Alambres	14
1.14.4	Publicación	15
1.14.5	Administración de paleta.....	15
1.14.6	Instalación de nodos	16

1.14.7	Paletas del Software Node-RED	17
1.15	Placas de desarrollo.....	18
1.15.1	Raspberry Pi	19
1.15.2	Arduino	20
1.16	Software de acceso remoto	20
1.16.1	TeamViewer	21
1.16.2	Virtual Network Computing.....	21
1.16.3	Remote It.....	22
1.17	Lenguajes de programación.....	23

CAPÍTULO 2

2.1	Metodología para el diseño del sistema de Monitoreo y Control basado en IoT.....	25
2.2	Criterios de diseño	25
2.3	Selección de equipos	26
2.3.1	Módulo didáctico	26
2.3.2	Elementos del panel frontal del módulo didáctico.....	28
2.4	Materiales seleccionados.....	29
2.4.1	Controlador Raspberry Pi	30
2.4.2	Router tp-link TL-WR840N.....	31
2.4.3	Pantalla de visualización Táctil HDMI de 7"	32
2.4.4	Node-RED Software para programación y diseño de interfaz gráfica de usuario	33
2.4.5	Accesorios para alimentacion del sistema de monitoreo y control IoT.....	36
2.5	Diagrama de flujo de elementos del Sistema de monitoreo y control IoT	37
2.6	Diseño de flujos en Node-RED	38
2.7	Diseño de interfaz gráfica	45
2.8	Instalación del Software Remotelt	49

2.9	Diseño de Hardware del sistema de monitoreo y control IoT	49
-----	---	----

CAPÍTULO 3

3.1	Comunicación entre ordenador y PLC Allen Bradley	54
3.2	Comunicación entre PLC Allen Bradley, Raspberry Pi 4B y RSLogixEnglish	55
3.3	Diagrama general de conexión	56
3.4	Diagrama de flujo de funcionamiento del sistema.....	57
3.5	Montaje de dispositivo en el módulo de control de caudal de líquidos.....	59
3.6	Pruebas de funcionamiento	60
3.7	Prueba 1: Activar/Desactivar Control Manual.....	62
3.8	Prueba 2: Activar/Desactivar Control Automático	64
3.9	Prueba 3: Visualización de Gráficas del sistema de monitoreo	65
3.10	Análisis de respuesta del control PID	66
3.11	Prueba 4: Funcionamiento del sistema de monitoreo y control IoT de forma remota	68
3.12	Análisis de costo entre el sistema de monitoreo y control IoT y HMI industrial.....	69
	CONCLUSIONES.....	71
	RECOMENDACIONES	72
	REFERENCIAS	73
	ANEXOS.....	2

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Aplicaciones directas e indirectas en automatización	1
Fig. 2: Tipos de medidores de fluidos	3
Fig. 3 Bomba centrífuga	3
Fig. 4: Elementos de un sistema de control	4
Fig. 5 Control ON/OFF.....	6
Fig. 6 PLC Allen Bradley.....	7
Fig. 7 Variador de frecuencia ATV312HU11M2 Schneider panel frontal.	8
Fig. 8 Software RSlinx Classic Gateway	8
Fig. 9 Software RSLOGIX 500 ENGLISH	9
Fig. 10 Arquitectura del protocolo HTTP	11
Fig. 11 Arquitectura del protocolo MQTT.	12
Fig. 12 Arquitectura del protocolo CoAP	12
Fig. 13 Arquitectura de Node-Red.....	13
Fig. 14 Clases de Nodos	14
Fig. 15 Propiedades y activación de un flujo.....	14
Fig. 16 Conexión de nodos mediante alambres	15
Fig. 17 Publicación de flujo.....	15
Fig. 18 Ventana de visualización de nodos existentes	16
Fig. 19 Ventana de comunicación para instalación de nuevos nodos	16
Fig. 20 Tipos de nodos del software Node-RED.....	17
Fig. 21 Características del microcontrolador Raspberry Pi	19
Fig. 22 Interfaz del software Team Viewer.....	21
Fig. 23 Interfaz del software Team Viewer.....	22
Fig. 24 Interfaz del software Remote It	23
Fig. 25 Metodología para el diseño del sistema de Monitoreo y Control basado en IoT	25

Fig. 26 . Módulo de control de caudal de líquidos., Laboratorio de Control	27
Fig. 27: Identificación visual de elementos del panel frontal	29
Fig. 28 Aspecto físico del router tp-link	32
Fig. 29 Pantalla Táctil HDMI De 7"	32
Fig. 30 Ventana del S.O Raspbian 11 bullseye en Raspberry Pi 4 con Node-RED	33
Fig. 31 Acceso al editor de Node-RED	34
Fig. 32 Entorno de trabajo de Node-RED	35
Fig. 33 Instalación de nodo de interacción PLC Allen Bradley	35
Fig. 34 Instalación de nodo de diseño de Interfaz Gráfica.	36
Fig. 35 Accesorios para alimentación del Sistema IoT	37
Fig. 36 Diagrama de flujo de elementos del Sistema de monitoreo y control IoT.....	38
Fig. 37 Flujo correspondiente a la sección del Control manual- Modo de Funcionamiento	39
Fig. 38 Flujo correspondiente a la sección del Control manual- Bomba centrífuga.....	40
Fig. 39 Flujo correspondiente a la sección del Control manual- Control de Caudal	41
Fig. 40 Flujo correspondiente a la sección del Control automático- Modo de funcionamiento	42
Fig. 41 Flujo correspondiente a la sección del Control automático- Set Point.....	43
Fig. 42 Flujo correspondiente a la sección del Control automático- Control PID.....	44
Fig. 43 Flujo correspondiente a la sección gráficas.....	45
Fig. 44 Opciones de la interfaz gráfica.....	45
Fig. 45 Primera sección: Carátula	46
Fig. 46 Segunda opción: Modo Manual.....	47
Fig. 47 Tercera opción: Modo Automático	48
Fig. 48 Cuarta sección: Gráficas	48
Fig. 49 Conexión de Remotelt.....	49

Fig. 50 Vista frontal de la caja para insertar elementos.....	50
Fig. 51 Vista lateral derecha de la caja para insertar elementos.....	50
Fig. 52 Vista lateral izquierda de la caja para insertar elementos	51
Fig. 53 Vista isométrica de la caja para insertar elementos	51
Fig. 54 Configuración entre PLC y ordenador.....	54
Fig. 55 Conexión exitosa de PLC Allen Bradley	55
Fig. 56 Análisis de la programación mediante el software RSLogix500English	55
Fig. 57 Conexión de PLC, Raspberry Pi 4 y RSLogixEnglish mediante un módulo Ethernet	56
Fig. 58 Diagrama general del sistema de monitoreo y control IoT	57
Fig. 59 Diagrama de flujo de funcionamiento del sistema.	58
Fig. 60 Montaje del sistema de monitoreo y control IoT	59
Fig. 61 Componentes del sistema de monitoreo y control IoT	60
Fig. 62 Configuración del tablero de control	61
Fig. 63 Acceso a Node-RED y Remotelt.....	61
Fig. 64 Visualización de la ventana de Interfaz Gráfica y Remotelt	62
Fig. 65 Activación del Control Manual de la Interfaz Gráfica.....	62
Fig. 66 Desactivación del Control Manual de la Interfaz Gráfica.....	63
Fig. 67 Activación del Control automático de la Interfaz Gráfica.....	64
Fig. 68 Desactivación del Control automático de la Interfaz Gráfica.....	65
Fig. 69 Monitoreo de señales de la Interfaz Gráfica	66
Fig. 70 Comportamiento de la señal de salida vs la señal de entrada	67
Fig. 71 Comportamiento de la señal de control	67
Fig. 72 Obtención de dirección de enlace remota con la interfaz gráfica.....	68
Fig. 73 Acceso a la Interfaz Gráfica a través de un dispositivo externo.....	69

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1. 1	Propiedades de los Fluidos.....	2
Tabla 1. 2	Características del Control PID	6
Tabla 1. 3	Diferencias fundamentales entre placas de desarrollo	18
Tabla 1. 4	Comparativa de Hardware Modelos Raspberry Pi.....	19
Tabla 1. 5	Comparativa <i>entre Arduino Uno y Arduino Nano</i>	20
Tabla 1. 6	Lenguajes de Programación.....	23
Tabla 2. 1	Componentes del Módulo de Control de Caudal de Líquidos	27
Tabla 2. 2	Descripción y Características del Módulo Didáctico	28
Tabla 2. 3	Elementos del panel frontal del Módulo Didáctico	28
Tabla 2. 4	Materiales seleccionados	30
Tabla 2. 5	Características de la Raspberry Pi 4 Model B	30
Tabla 2. 6	Características de la pantalla HDMI De 7 pulgadas	33
Tabla 2. 7	Descripción de nodos sección Modo de Funcionamiento	39
Tabla 2. 8	Descripción de nodos Sección Bomba Centrífuga	39
Tabla 2. 9	Descripción de nodos Sección Control De Caudal	40
Tabla 2. 10	Descripción De Nodos Sección Modo De Funcionamiento	41
Tabla 2. 11	Descripción de Nodos Sección Set Point	42
Tabla 2. 12	Descripción de Nodos Sección Control PID	43
Tabla 2. 13	Descripción de Nodos Sección Gráficas	44
Tabla 3. 1	Costo Promedio de Dispositivos HMI Comerciales	69

INTRODUCCIÓN

CONTEXTO

La automatización industrial ha cambiado durante los últimos años viéndose en la necesidad de automatizar sus procesos para ser más competitivos y capaces de satisfacer la demanda del mercado (Eurobots, 2017). Uno de los objetivos más importantes de la automatización de procesos es liberar al ser humano de las tareas tediosas peligrosas e insalubres (Garcia, 2019).

Mediante los sistemas de Supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) se puede comunicar los dispositivos de campo para controlarlos de manera automática desde la pantalla del ordenador ya que proporciona monitoreo en tiempo real (Castro & Romero, 2022).

La creación de aplicaciones tecnológicas de código abierto (FOSS) ha contribuido en el proceso de desarrollo, tecnología disruptiva, nuevos conocimientos ofreciendo oportunidades para instituciones gubernamentales, del sector privado y educativas sobresaliendo en países en vía de desarrollo (Wong & Sayo, 2017). De tal manera es considerado como un recurso invaluable en el área de la ingeniería. Con esta innovación tecnológica han aparecido placas de microordenador para creación de numerosos proyectos de informática.

Raspberry PI es una placa que ofrece variedad de funciones como si de una “minicomputadora” se tratase, lo más llamativo es que tiene código abierto permitiendo modificar el Sistema operativo estableciendo mejoras en este aparato tecnológico (Escalante & Vargas, 2019). A diferencia de otras placas Single Board Computer (SBC) Raspberry PI se caracteriza por su bajo precio y poco consumo energético, además de ser compatible con la gestión de tareas complejas.

Existe gran variedad de lenguajes de programación para la adquisición de datos de una placa SBC que facilitan la portabilidad y el acceso a librerías necesarias para la representación de sistemas dinámicos, esta combinación supone un paso importante hacia la creación de sistemas de rápida y fácil implementación (Rodríguez, Hernández, & Ramírez, 2018).

Además, es importante el diseño de un sistema HMI que permita al operador realizar tareas de control y transmisión de datos, informando al operador de todas las actividades del proceso, mediante una interfaz gráfica fácil de interpretar (Rodríguez P. , 2017).

Node-RED es una herramienta basada en Node.js escrita en JavaScript con interfaz gráfica que ayuda a entender el flujo de datos que se manejan permitiendo unir dispositivos hardware, APIs y servicios online de maneras interesantes, aporta ventajas como el consumo de pocos recursos siendo capaz de utilizarse en dispositivos como una Raspberry PI o servicios cloud (García, 2018).

Remote.it permite gestionar dispositivos mediante control remoto empleando conexiones seguras mediante una red privada tipo VPN para evitar accesos no solicitados. Además, se puede establecer una conexión inalámbrica empleando protocolos y estándares varios para enviar órdenes y comandos desde cualquier parte del mundo a la Raspberry PI empleando un ordenador, tablet o smartphone sin necesidad de conectarse por cable al dispositivo (López, 2021).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, las empresas se encuentran en constante avance en busca de mayor productividad mediante la implementación de sistemas automatizados. Es así como las empresas están obligadas a realizar grandes inversiones en dispositivos que sean capaces de interactuar directamente con las máquinas para monitorear y controlar los procesos de producción en tiempo real. Sin embargo, esta tecnología se vuelve cada vez más obsoleta ya que requiere mayor consumo de recursos y tiempo, reduciendo significativamente el rendimiento frente a la competencia en el área Industrial, un ejemplo de ello es la crisis por Covid-19 que afectó al sector industrial debido a que era necesario el uso de herramientas que permita a las personas trabajar a distancia durante la crisis. Es ahí donde radica la importancia del uso tecnologías como el Internet de las cosas (IoT) en el cual las máquinas funcionan de forma autónoma sin la intervención directa del ser humano con la planta, obteniendo beneficios como: ventaja competitiva, reducción de costos entre otros.

En el caso del laboratorio de Control de la carrera de Electricidad, en la Universidad Técnica del Norte, se encuentran módulos didácticos de plantas y procesos industriales pequeños que no pueden ser controlados, teniendo un impacto negativo en la formación y el desarrollo profesional de los estudiantes al momento de realizar prácticas de laboratorios, retrasando su proceso de aprendizaje, siendo necesaria la implementación de un sistema que facilite la interacción entre hombre y máquina de manera directa y remota, permitiendo al estudiante introducirse en el campo del Internet Industrial de las cosas logrando expandir el conocimiento a nuevos procesos.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Como implementar un sistema de monitoreo y control basado en IoT, mediante aplicaciones de código abierto para un sistema dinámico real?

OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de monitoreo y control basado en IoT de bajo costo, para un sistema dinámico real utilizando Node Red y Remote IT en el laboratorio de Control de la carrera de Electricidad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir los componentes y las diversas tecnologías relacionadas a los microcomputadores Raspberry PI, el internet de las cosas, Node Red y Remote IT.
2. Diseñar un sistema de monitoreo y control de caudal para un módulo didáctico de laboratorio de CIELE basado en IoT.
3. Evaluar el funcionamiento del sistema de monitoreo y control de caudal verificando su funcionamiento en tiempo real.

JUSTIFICACIÓN

El internet de las cosas o Internet of things, es sin duda la revolución que vive Internet hoy en día, cuya finalidad es hacer más fácil la vida de las personas, teniendo una gama de aplicaciones en el área industrial en donde es indispensable conocer nuevas formas de monitoreo y supervisión de procesos empleando IoT.

Dentro de los objetivos de la Carrera de Electricidad de la Universidad Técnica del Norte, se encuentra el formar profesionales creativos y capacitados para resolver problemas del sector ingenieril eléctrico y el campo técnico industrial, por lo que, la elaboración de este proyecto tiene un enfoque investigativo y práctico en el que se busca implementar tecnologías actuales para monitoreo de variables en tiempo real con una interfaz visual que establezca un puente entre todos los servicios online permitiendo controlar sistemas dinámicos reales de manera remota.

El motivo de este proyecto es mostrar las ventajas que presenta la tecnología IoT, donde se puede desarrollar aplicaciones de código abierto (FOSS) que ofrece ventajas como bajo costo,

sencillez, facilidad de uso, interfaz gráfica intuitiva, además de disponer una comunidad de usuarios y soporte (García, 2018).

Los beneficiarios de este proyecto son los estudiantes de ingeniería de la Carrera de Electricidad que contarán con un sistema basado en IoT para el monitoreo y control de procesos industriales desde cualquier parte del mundo, resultando de gran importancia debido a la crisis educativa que ha provocado la pandemia por Covid-19 que impide a los estudiantes ingresar a realizar prácticas de laboratorio.

ALCANCE

El presente proyecto de estudio busca implementar un sistema de monitoreo y control de caudal para un proceso dinámico real mediante tecnologías del internet de las cosas (IoT) utilizando Node Red y Remote IT. Con Node Red se desarrollará la interfaz de monitoreo y control de caudal a través de la intranet del campus universitario y con Remote IT a través de la Internet desde cualquier parte del mundo.

Para el desarrollo del proyecto se utilizará una pantalla táctil para la visualización y control del módulo didáctico y una Raspberry PI para la comunicación con el controlador lógico programable (PLC), el cual está integrado en el módulo didáctico. Una vez implementado este sistema se verificará su funcionamiento en tiempo real.

CAPÍTULO 1

Descripción de los microcomputadores, el internet de las cosas y conexión remota

Este capítulo tiene como objetivo describir los componentes y las diversas tecnologías relacionadas a los microcomputadores Raspberry PI, el internet de las cosas, Node Red y Remote IT para el control y monitoreo de procesos industriales. Por lo tanto, es importante resaltar que es una herramienta con un potencial enorme para optimizar servicios, partiendo de la premisa de que en el sector industrial se encuentra mayor parte de aplicaciones IoT para adquisición de datos de sensores y envío de órdenes a dispositivos que interactúan con el mundo real, logrando un beneficio económico a largo plazo (Barrio, 2018).

1.1 Automatización y Control Industrial

Los sistemas automatizados permiten que los trabajos manuales ejecutados por el hombre ahora sean ejecutados por máquinas mediante la implementación de sensores, actuadores, equipos de protección e implementación de hardware y software, logrando que el trabajo del operador se limite al monitoreo y mantenimiento de la instalación (Torres, 2021). Los sistemas automatizados comprenden aplicaciones directas e indirectas como se explica en la Figura 1.

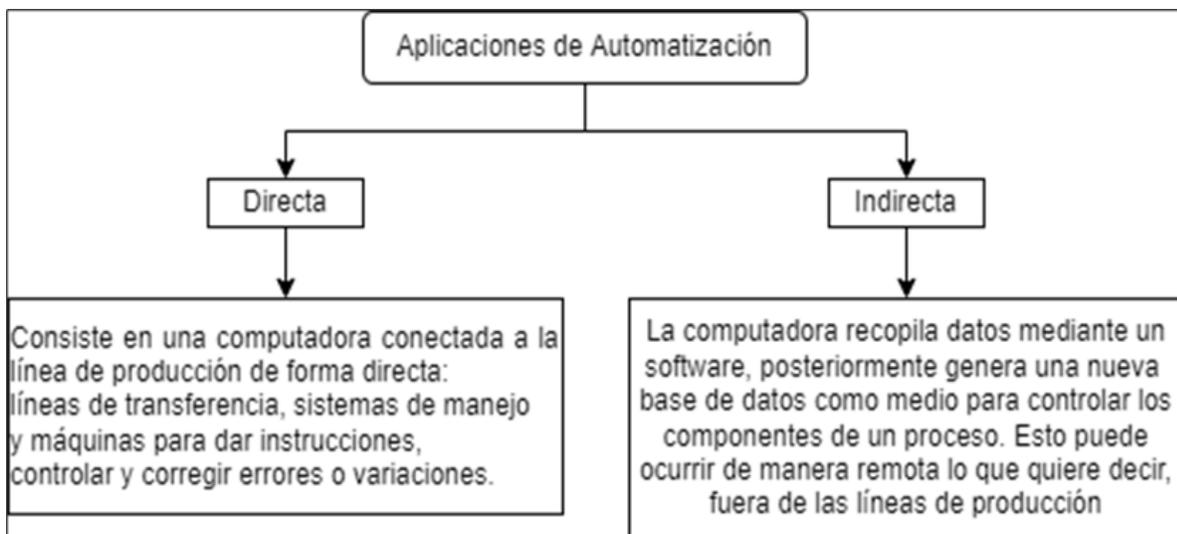


Fig. 1 Aplicaciones directas e indirectas en automatización
Fuente: Adaptada de (Benavides, 2015)

1.2 Importancia de Sistemas en tiempo real

Un sistema en tiempo real ayuda a las compañías a adoptar acciones de control convirtiéndose en una herramienta poderosa de negocios, gracias a los avances de la tecnología se puede obtener una ventaja competitiva y mayor productividad (Torres, 2021).

Es importante conocer la estructura y componentes de un sistema dinámico con la finalidad de poder identificar la acción de control y monitoreo a implementar. A continuación, se describe información necesaria de un módulo para el control de caudal de líquidos.

1.3 Fluidos

Es una sustancia que carece de una forma propia y elasticidad, fluye bajo la aplicación de una tensión tangencial sea esta pequeña o grande. Cuando se encuentra en equilibrio no puede soportar fuerzas tangenciales o cortantes (Aza & Bastidas, 2015). En la Tabla 1.1 se distinguen las distintas propiedades que poseen los fluidos.

Tabla 1. 1
Propiedades de los Fluidos

Nombre	Descripción
Viscosidad	Es la resistencia que tiene un fluido o gas al movimiento. La viscosidad de los líquidos depende de la temperatura.
Forma y volumen	Debido a las fuerzas de cohesión, el volumen del líquido permanece relativamente constante.
Densidad	Es la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia
Fluidez	Es una característica que confiere la habilidad de pasar por un orificio a los líquidos o gases.

Fuente: Adaptada de (Aza & Bastidas, 2015)

Es importante conocer las propiedades de los fluidos ya que están presentes en varios procesos industriales siendo necesario la implementación de elementos de medición capaces de medir estas magnitudes físicas.

1.4 Medidores de caudal

La medición de fluidos cumple una función importante en la industria ya que permite medir la capacidad de un flujo volumétrico o másico para obtener el balance de líquidos, control de

calidad. En la Figura 2 se observa dos tipos de medidores de fluidos, entre los cuáles se tiene: los medidores de área variable y medidores de turbina (Creus, 2011).

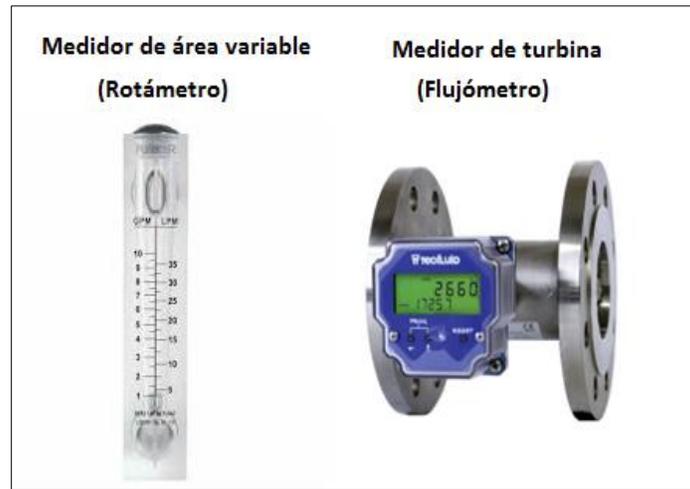


Fig. 2: Tipos de medidores de fluidos
Fuente: (Carbotecnia, 2022; Tecfluid, 2019)

1.5 Bomba centrífuga

Aza & Bastidas (2015) mencionan que la bomba centrífuga es una turbo maquinaria para circulación de fluidos en forma de presión, posición o velocidad. La eficiencia de la bomba varía dependiendo del tipo de fluido por lo que existen distintos tipos de bombas para diferentes aplicaciones. En la Figura 3 se observa la forma física de una bomba centrífuga.



Fig. 3 Bomba centrífuga
Fuente: (ComarGroup, 2019)

1.6 Elementos de un sistema de control

Un sistema de control está formado por los siguientes elementos: valor de referencia, detector de error, controlador, actuador, proceso, elemento de medida.

Valor de referencia: Es el valor que se desea alcance la señal de salida, el controlador debe mantener esta variable estable.

Detector de error: Detecta los errores entre la señal de entrada y la señal de salida de la variable de proceso, esta señal actúa sobre el sistema llevando la salida a un valor deseado.

Controlador: Detecta las señales de error de la variable de proceso, por lo general son en potencias bajas siendo necesario ser amplificadas para determinar las acciones a realizarse.

Actuador: Es un dispositivo que interviene directamente en el proceso a controlar hasta que la magnitud sea igual al valor de referencia.

Proceso: Es un lazo diseñado para mantener la variable controlada al valor de Set Point mediante un conjunto de actividades que interactúan entre sí.

Elemento de medida: Ayudan a asegurar el control de procesos mediante el uso de instrumentos siendo posible implementar seguridad en elementos como: temperaturas en dispositivos y equipos, cargas eléctricas, en procesos la velocidad y el peso, presión y fuerza. La Figura 4 indica los elementos de un sistema de control en lazo cerrado.

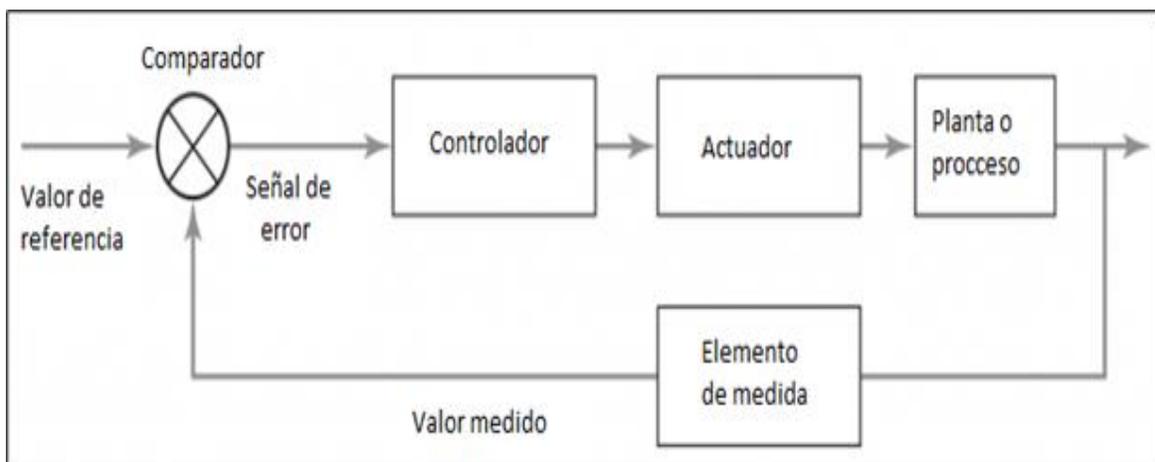


Fig. 4: Elementos de un sistema de control

1.7 Tipos de Control

Existen dos tipos de control encargados de regular el comportamiento de un sistema: control manual y control automático. A continuación, se describen los tipos de control y su función.

1.7.1 Control manual

Se la realiza mediante la intervención del hombre que abre o cierra, acciona interruptores, aprieta el freno entre otras acciones de produce cambios en el sistema hasta obtener un valor deseado (Aza & Bastidas, 2015).

1.7.2 Control automático

En un sistema de control automático los componentes regulan su actuación sin intervención de agentes exteriores corrigiendo posibles errores presentados al momento de comparar la variable de salida con el valor de Set Point (Aza & Bastidas, 2015).

1.8 Acciones básicas de control

Cegelski (2019) menciona que las primeras máquinas eran manuales por lo que era necesario hacer ajustes frecuentes para mantenerlas operativas, de esta manera el hombre empezó a industrializarse ideando una forma de controlar de manera inteligente los procesos, procurando tener una intervención mínima. Se estableció en un principio sistemas rudimentarios hasta el desarrollo de modelos matemáticos que hacían que los sistemas de control tuvieran un mínimo de intervención humana para su funcionamiento. A continuación, se mencionan dos acciones de control implementadas en la actualidad.

1.8.1 Control Encendido/Apagado

Este tipo de control posee dos posiciones para su operación la de encendido y apagado. En la Figura 5 se observa que el mando de acción está en encendido (On) cuando la variable a controlar está por debajo del valor deseado, cuando el valor de la variable es superior al valor deseado el mando de acción se posiciona en apagado (Off). Este control es de baja precisión, bajo costo y simple de usar por lo que es implementado a nivel industrial y doméstico para procesos que no son complejos (Cegelski, 2019).

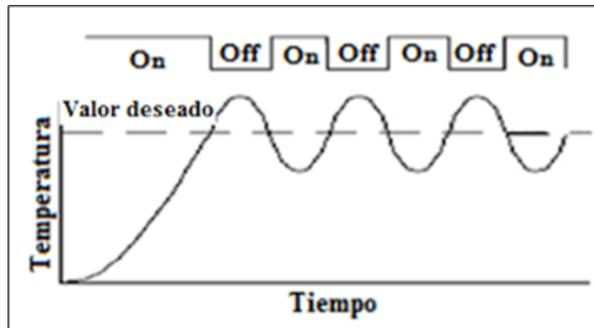


Fig. 5 Control ON/OFF
Fuente: (Bricio, 2015)

1.8.2 Control Proporcional-Integral-Derivativo

Se la realiza mediante retroalimentación para controlar con precisión el proceso, eliminando oscilaciones y aumentando su eficiencia, posee la combinación de la acción proporcional, la acción integral y la acción derivativa. En la Tabla 1.2 se observa las características del control proporcional, proporcional-integral y proporcional-derivativo (Cegelski, 2019).

Tabla 1. 2
Características del Control PID

Tipo de Control	Tiempo de subida	Sobre impulso	Tiempo de estabilización	Error en estado estable
Proporcional	Decrece	Crece	Cambio menor	Decrece
Proporcional-Integral	Decrece	Crece	Crece	Se elimina
Proporcional-Derivativo	Cambio menor	Decrece	Decrece	Cambio menor

Fuente: (Aza & Bastidas, 2015)

1.9 Dispositivos de control

Los dispositivos de control son necesarios cuando se desea enviar órdenes ya sea de manera manual o automática a circuitos u otro dispositivo sea de manera local o remotamente (ABB, 2017).

1.9.1 Controlador Lógico Programable

Operado digitalmente reemplaza circuitos secuenciales de relés utilizados en el control de procesos. Es el cerebro en el proceso de automatización y su funcionamiento se basa en una programación creada por el usuario y el almacenamiento de memoria.

En la Figura 6 se observa el PLC Allen Bradley, una marca que ofrece buen desempeño, posee un lenguaje de programación sencillo y la interfaz de su software de programación es intuitiva, posee una buena interacción con los protocolos de comunicación que posee, además abarca una gran gama de aplicaciones desde las más simples hasta las más complejas (Rockwellautomation, 2022).



Fig. 6 PLC Allen Bradley
Fuente: (Rockwellautomation, 2022)

1.9.2 Variador de velocidad

El variador de velocidad o variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que permite controlar la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. La energía de la red de alimentación pasa por el variador que se encarga de regular la energía antes que llegue al motor ajustando la frecuencia y la tensión en base a los requisitos del usuario (Aza & Bastidas, 2015). En la Figura 7 se observa el panel frontal del variador de frecuencia ATV312HU11M2 Schneider.



Fig. 7 Variador de frecuencia ATV312HU11M2 Schneider panel frontal
Fuente: (Aza & Bastidas, 2015)

1.10 Adquisición de datos de PLC

Debido a la conflictividad que presentan ciertos sistemas de comunicación se logró que Microsoft en alianza con otras empresas desarrollen una tecnología que permita incluir equipos de diferentes marcas, en un bus de comunicaciones industriales. Desarrollada con el objetivo de crear un sistema confiable y seguro para el intercambio de datos garantizando el flujo continuo de información entre dispositivos de diferentes proveedores.

1.10.1 Software de comunicación

RSlinx Classic Gateway permite conectar a los clientes en redes TCP/IP, para transferencia y adquisición de datos. Además, permite a un equipo remoto conectado a una red de la planta hacer cambios de programa en línea por medio de un modem. La Figura 8 muestra la interfaz del software RSlinx Classic Gateway (Bonilla, 2021).

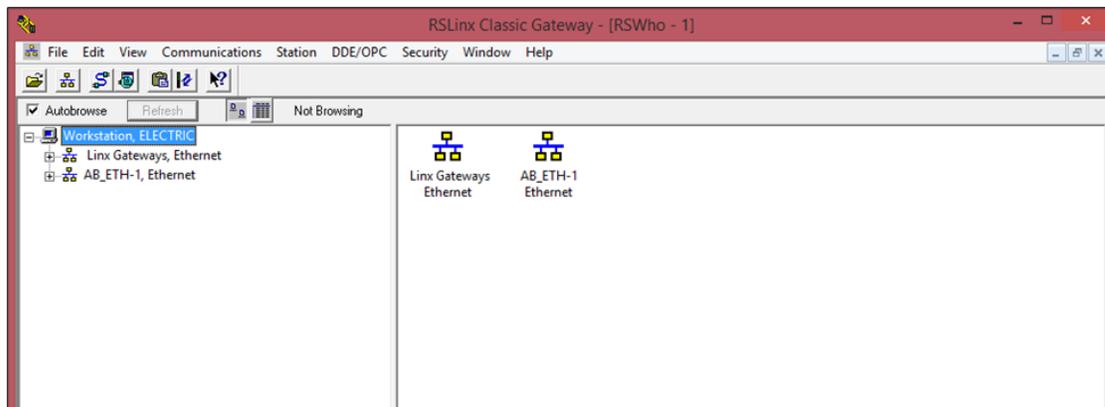


Fig. 8 Software RSlinx Classic Gateway

1.10.2 Software de adquisición de datos para el PLC Allen Bradley

RSLOGIX 500 ENGLISH es una herramienta que permite diseñar y realizar programación tipo escalera para la familia de procesadores Allen Bradley utilizando una computadora personal como se observa en Figura 9. El PLC se puede programar mediante un puerto RS-232 o un puerto Ethernet (Bonilla, 2021).

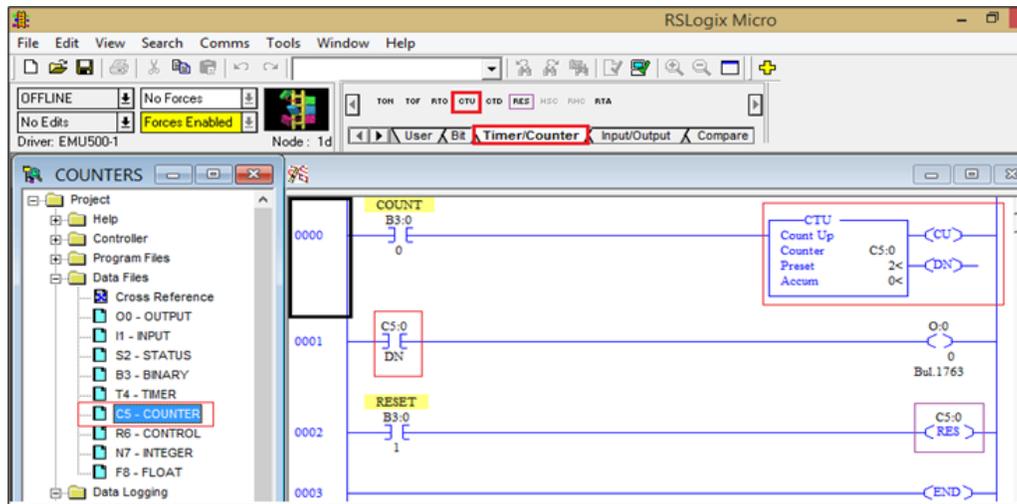


Fig. 9 Software RSLOGIX 500 ENGLISH
Fuente: (ElectricalChile, 2020)

1.11 IoT para automatización y control industrial

Internet of things o internet de las cosas en el contexto industrial permite conectar dispositivos tecnológicos como: sensores actuadores y controladores de proceso a través del internet o redes fijas para transmitir información o datos determinados (Espinosa & Orellana, 2021). Tres capas conforman la arquitectura IoT: capa física, capa de conectividad, capa digital.

1.11.1 En Capa física

En esta capa trabajan los sensores y microcontroladores permitiendo notar cambios de un objeto recolectando datos importantes en tiempo real.

1.11.2 Capa de conectividad

El objetivo de esta capa es conectarse con dispositivos de red y servidores además de transmitir y procesar datos de sensores.

1.11.3 Capa digital

Esta capa almacena y analiza una enorme cantidad de datos que llegan de la capa de conectividad usando tecnologías como bases de datos y módulos de procesamiento big data.

1.12 Componentes de la arquitectura IoT

La tecnología IoT mejora la calidad y eficiencia operativa a través de aplicaciones y plataformas en la nube, por lo que es importante conocer la estructura que la compone: plataforma cloud, plataforma internet de las cosas, capa de dispositivos y capa de comunicaciones (Espinosa & Orellana, 2021).

1.12.1 Plataforma cloud

La conforman plataformas de servicio en la que desarrolladores buscan dar soluciones incluyendo servicios de almacenamiento y seguridad. Existen diversas plataformas publicas una de ella es Microsoft Azure (Espinosa & Orellana, 2021).

1.12.2 Plataforma Internet de las cosas

Se establece el ecosistema IoT consolidando una base para que los dispositivos se conecten y comuniquen entre sí (Espinosa & Orellana, 2021).

1.12.3 Capa de dispositivos

Está conformado por varios dispositivos con comunicación directa o indirecta con internet teniendo un identificador único grabado y un token (Espinosa & Orellana, 2021).

1.12.4 Capa de comunicaciones

Permite la comunicación de dispositivos mediante los protocolos Hypertext Transfer Protocol (HTTP) y Message Queuing Telemetry Transport (MQTT). El protocolo HTTP es soportado por muchas librerías, es un protocolo simple y se basa en texto. El protocolo MQTT se basa en un modelo tipo bróker y mensajera publish (Espinosa & Orellana, 2021).

Los componentes de la arquitectura IoT que siguen una secuencia, en primer lugar, contienen actuadores para realizar cambios y sensores para recolectar datos, los datos se procesan y se mueven entre la nube y el usuario mediante puertas de enlace almacenándose en

una base de datos. Se realiza en análisis manual de datos y posteriormente aplicaciones de usuario para visualizar y controlar dispositivos conectados (Espinosa & Orellana, 2021).

1.13 Protocolos de comunicación IoT

Es un sistema de reglas que permiten la comunicación y el intercambio de información entre diferentes dispositivos con el fin de interactuar, automatizar o controlar (González, 2019). Los protocolos de comunicación más usados actualmente son los siguientes: Hypertext Transfer Protocol, Message Queuing Telemetry Transport, Constrained Application Protocol.

1.13.1 Hypertext Transfer Protocol

Es un protocolo cliente/servidor que no tiene conexión en todo momento en TIC y en la web, es muy accesible debido a la gran cantidad de herramientas de código abierto que usan HTTP. El protocolo HTTP gira entorno a REST (Representational State Transfer, 'transferencia de estado representacional') en el cual el cliente accede a los recursos en el servidor, generalmente los recursos son dispositivos que contienen información (AADECA, 2016). En la Figura 10 se observa la arquitectura del protocolo HTTP.

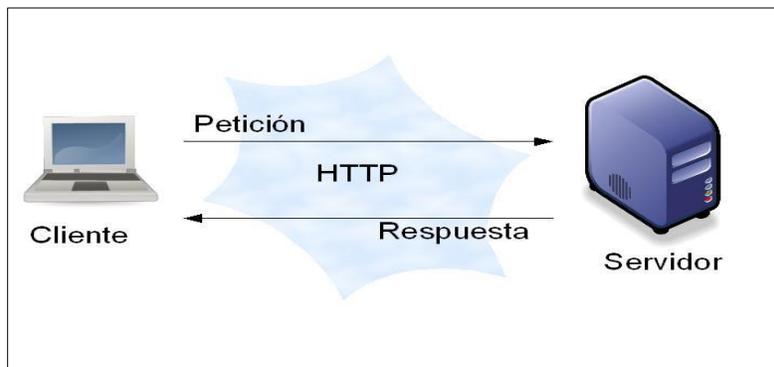


Fig. 10 Arquitectura del protocolo HTTP
Fuente: (PickData, 2019)

1.13.2 Message Queuing Telemetry Transport

Este protocolo de código abierto es un transporte de mensajería de publicación/suscripción como se observa en la Figura 11, es implementado en varias aplicaciones IoT siendo ideal para conectar dispositivos pequeños a redes con ancho de banda mínimo, usa TCP que ayuda al reconocimiento de sesión continua. Su finalidad es asegurar

confiabilidad y cierto grado de seguridad, además de minimizar los requerimientos de recursos del dispositivo (Arrow, 2015).

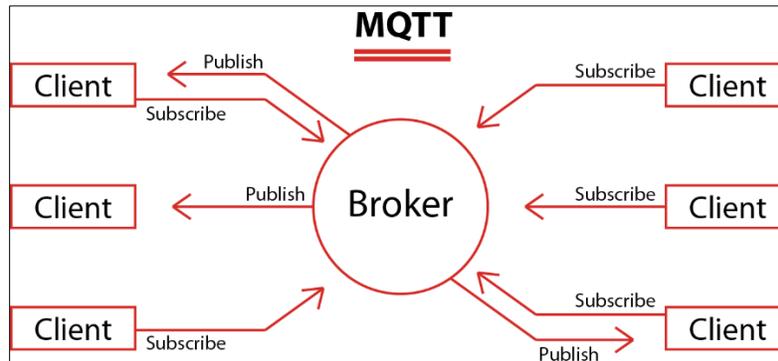


Fig. 11 Arquitectura del protocolo MQTT
Fuente: (PickData, 2019)

1.13.3 Constrained Application Protocol

El protocolo de aplicación restringida se lanzó en julio del 2013 para usarlo con nodos redes de baja potencia responsables de varios recursos como sensores o controladores de estado, trabaja sobre entornos limitados siguiendo en estándar CORE (Constrained RESful Environments) de IETF implementada a microcontroladores de 8 bits con RAM y ROM limitados. Su finalidad es mantener la carga de mensajes pequeña limitando la necesidad de fragmentación consiguiendo un protocolo web genérico. En la Figura 12 se observa el intercambio de mensajes que se realiza entre cliente y servidor sin necesidad de elementos intermedios de comunicación (Kowalewski, 2018).

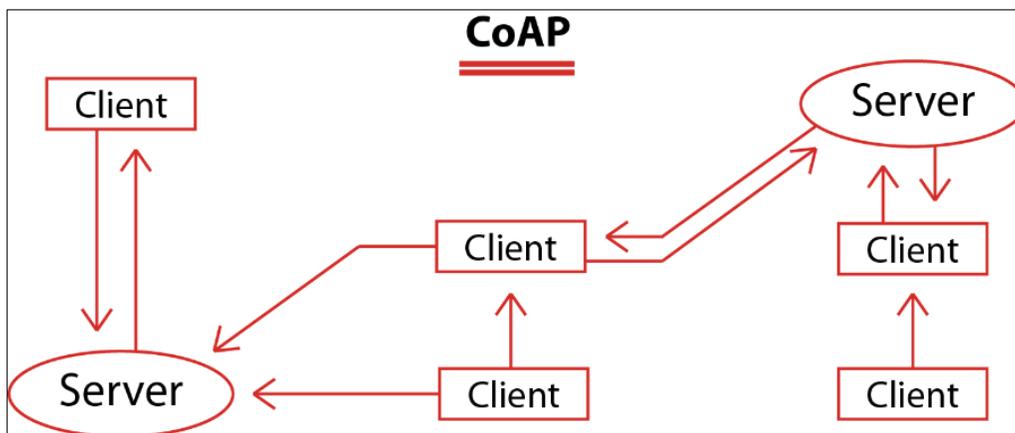


Fig. 12 Arquitectura del protocolo CoAP
Fuente: (PickData, 2019)

1.14 Node Red

Node-RED| es una herramienta de programación visual distribuida bajo una licencia open source basado en JavaScript. El acceso a Node-RED se realiza desde su interfaz web accesible remotamente para la programación y control del sistema. En la Figura 13 se observa la arquitectura de Node-RED interconectando nodos entre sí, creando flujos, logrando que los mensajes se propaguen hasta crear una tarea concreta (Pizarro, 2020).

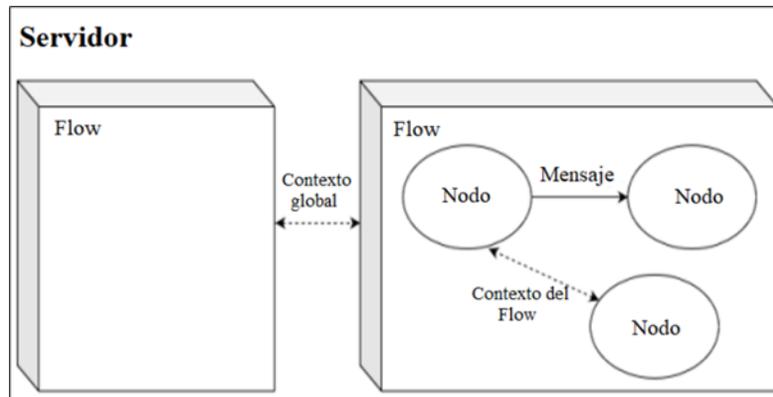


Fig. 13 Arquitectura de Node-Red
Fuente: (Node-RED, 2022)

1.14.1 Nodos

Son bloques de construcción básicos para crear flujos, envían y reciben eventos que se configuran mediante un número de entradas y puertos de salida y se clasifican en cuatro clases (Espinosa & Orellana, 2021).

Nodos de entrada: Se caracterizan por manejar solo puertos de salida, al ser activado transfieren el mensaje al respectivo puerto de salida.

Nodos de salida: Se caracterizan por manejar solo puertos de entrada, reciben los datos para realizar alguna acción externa

Nodos intermedios: Constituyen la mayor parte del diseño de un flujo, manejan un solo puerto de entrada y al menos un puerto de salida, los nodos intermedios transforman el mensaje y se conectan entre los mismos nodos de entrada y salida "E/S".

Nodos de configuración: Carecen de puertos cumpliendo la función de compartir datos de configuración.

En la Figura 14 se observa la clasificación de los nodos, al conectarse entre sí mediante la configuración adecuada mantienen el flujo de datos.

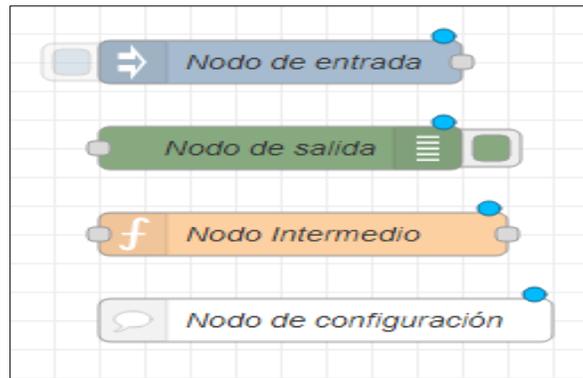


Fig. 14 Clases de Nodos

1.14.2 Flujos

El flujo es la organización de nodos conectados entre sí de forma visual. Se la representa como una pestaña dentro del espacio de trabajo a la que se puede añadir una descripción y un nombre visible en la barra superior como se observa en la Figura 15 .

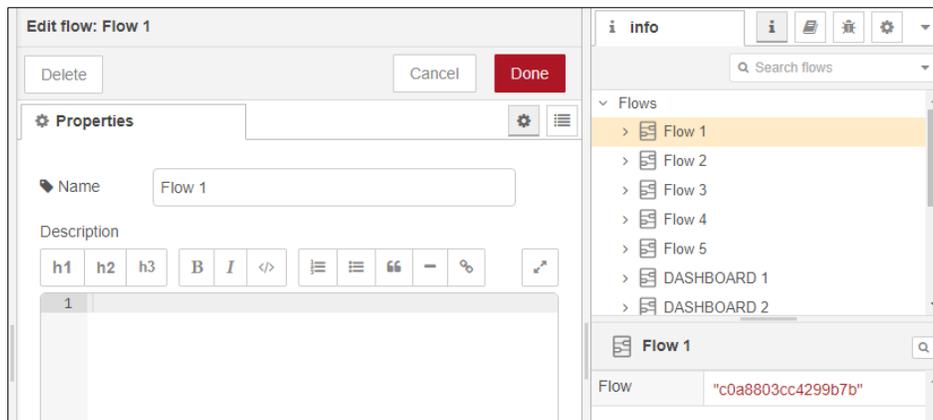


Fig. 15 Propiedades y activación de un flujo

1.14.3 Alambres

Los alambres se usan para conectar nodos entre sí, presionando en la parte izquierda y soltándolo al nodo de destino como se visualiza en la Figura 16.

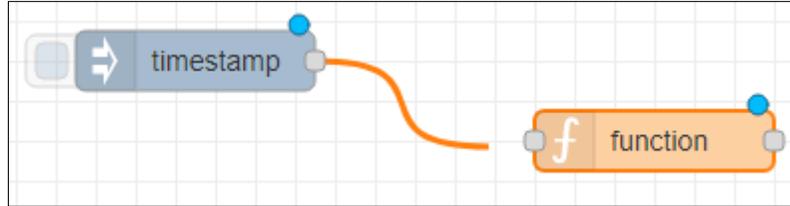


Fig. 16 Conexión de nodos mediante alambres

1.14.4 **Publicación**

El botón “Deploy” ubicado en la parte superior derecha publica el flujo en la red y se la activa cada vez que se realice un cambio en el flujo como se observa en la Figura 17.

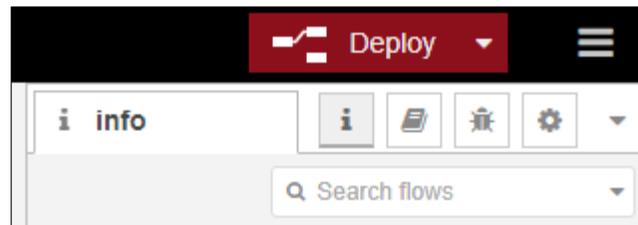


Fig. 17 Publicación de flujo

1.14.5 **Administración de paleta**

El administrador de paleta presenta dos pestañas, la primera pestaña indica los nodos instalados y la segunda pestaña indica los nodos disponibles para ser instalados como se observa en la Figura 18.

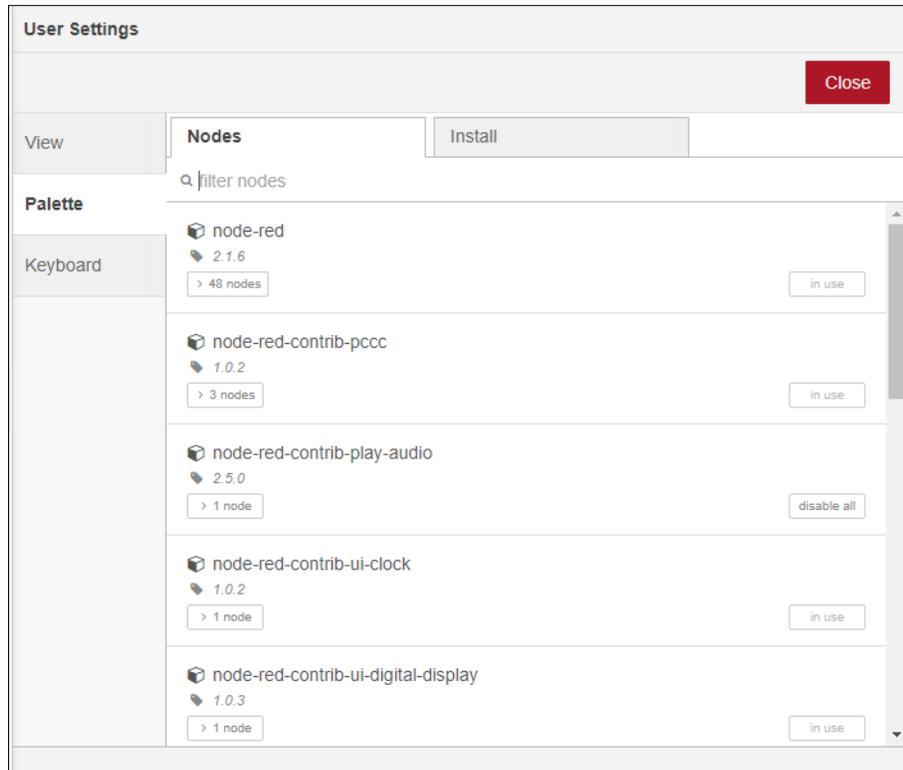


Fig. 18 Ventana de visualización de nodos existentes

1.14.6 Instalación de nodos

En la barra de búsqueda se ingresa el nombre del módulo a instalar, los resultados se muestran desplegados los nodos desarrollados por una comunidad y varios usuarios visualizando los detalles y la última vez que se actualizó. La Figura 19 indica la ventana de instalación de nuevos nodos.

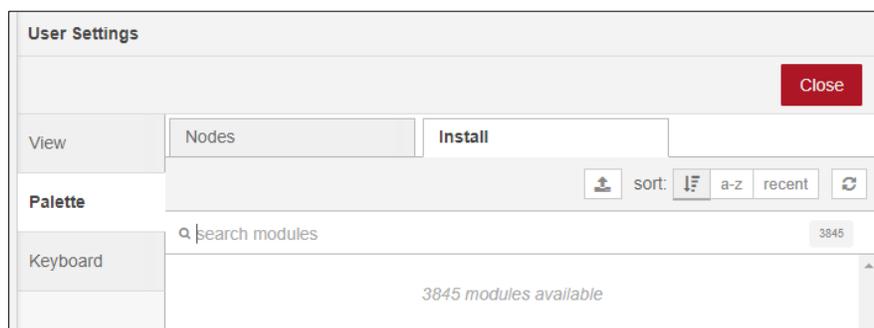


Fig. 19 Ventana de comunicación para instalación de nuevos nodos

1.14.7 Paletas del Software Node-RED

Se ubica en el lado izquierdo y se puede visualizar todos los nodos instalados organizados por categorías y disponibles para su uso. Como se observa en la Figura 20 Node-RED cuenta con una gran variedad de nodos para el desarrollo de aplicaciones. A continuación, se presenta las tres categorías de nodos de la paleta de Node-Red: nodos de entrada, nodos de transición, nodos de salida (Node-RED, 2022).

Nodos de entrada: Puede recibir o leer información de servicio local y externo posteriormente lo entrega a los nodos de transición o salida

Nodos de transición: Puede recibir información desde los nodos de entrada para su procesamiento modificación de la información en los nodos de transición enviándolos a los nodos de salida.

Nodos de salida: Puede recibir información desde los nodos de entrada o de transición permitiendo el envío a servicios externos o visualización en el dashboard.

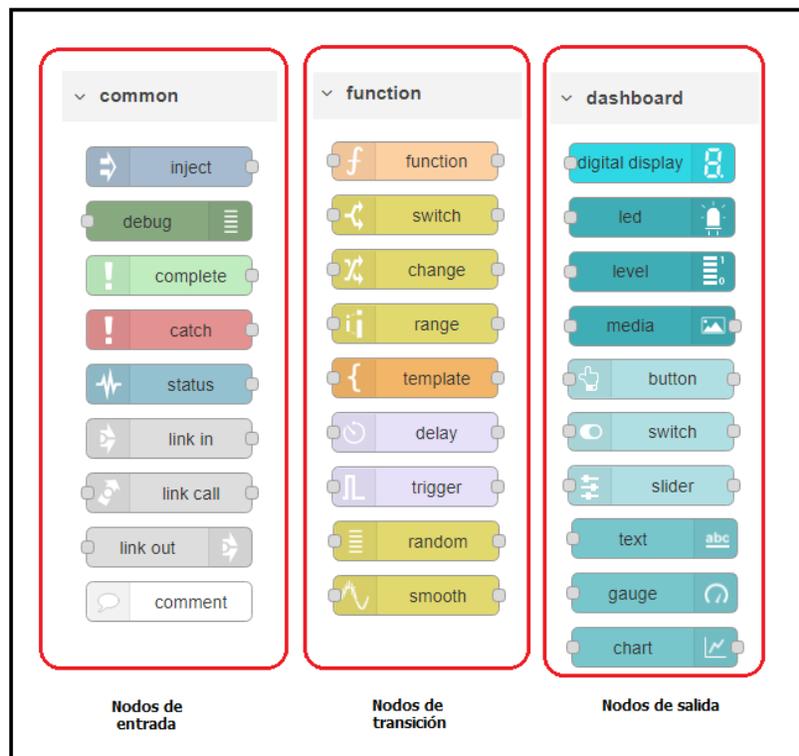


Fig. 20 Tipos de nodos del software Node-RED

Node-RED cuenta con un número limitado de nodos, pero debido a que es una plataforma Open Source permite implementar nuevos nodos a través de la descarga dentro de su repositorio gratuito de GitHub.

Puetate (2022) menciona que en la actualidad se pueden destacar tres plataformas IoT de gran uso, asignando una calificación alta a la mejor plataforma, entre ellas se encuentran: Node-RED con seis puntos, Grafana con cinco puntos y Ubibots con cuatro puntos. Node-RED tiene una valoración máxima frente a sus competidoras debido a que cuenta con mayor interoperabilidad, se adapta a cualquier sistema, permite censado continuo, lecturas rápidas, almacenamiento y utiliza software libre.

1.15 Placas de desarrollo

Son dispositivos constituidos por un microcontrolador capaz de ejecutar instrucciones mediante lenguajes de programación, en ciertos casos cuentan con un sistema operativo en el que se pueden correr varias aplicaciones (Placas de desarrollo, 2020). Las placas de desarrollo más conocidas son Arduino y Raspberry PI. En la Tabla 1.3 se describe sus diferencias fundamentales.

Tabla 1. 3
Diferencias fundamentales entre placas de desarrollo

Raspberry PI	Arduino
Mini PC para multitarea	Microcontrolador que ejecuta un único programa
Complicado funcionamiento con batería	Práctico para funcionar con batería
Requiere instalar software y librerías	Sus componentes y sensores funcionan de manera integrada
Su costo es elevado con relación a Arduino	Es de bajo costo
Se conecta a internet por Wifi o su puerto RJ-45	Requiere hardware externo para conectarse a internet
Usa ranura SD para almacenamiento	Puede tener almacenamiento integrado
4 puertos USB para conectar dispositivos	Tiene un puerto USB Tipo-B hembra
Usa lenguaje de programación Python, pero puede usar C, C++ y Ruby.	Solo utiliza Arduino y C/C++.

Fuente: (Placas de desarrollo, 2020)

1.15.1 Raspberry PI

Es un ordenador de una sola placa diseñada con el objetivo de servir de plataforma para programación o control de periféricos de bajo nivel. Se distribuye de manera comercial en cuatro versiones: Modelo A, Modelo B rev 1, Modelo B rev 2 y Modelo B+ y el Compute Module basadas en System on Chip (SoC) con características ligeramente distintas (Salcedo, 2015). En la Figura 21 se muestra el esquema general de una Raspberry PI.

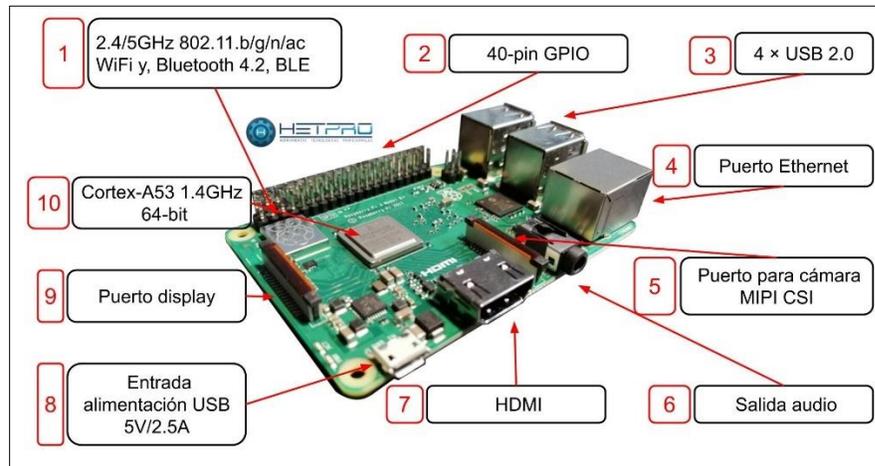


Fig. 21 Características del microcontrolador Raspberry PI
Fuente: (Salcedo, 2015)

Características de Hardware de los modelos Raspberry PI

De acuerdo con la Tabla 1.4 se establece las diferencias de hardware entre los modelos antiguos y actuales.

Tabla 1. 4
Comparativa de Hardware Modelos Raspberry Pi.

Modelo	Raspberry Pi 1B+	Raspberry Pi 2B	Raspberry Pi 3B	Raspberry Pi 4
Fecha	2012 Feb 15	2015 Feb 1	2016 Feb 29	2019 Jun 24
Precio	30	35	35	100
SOC	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2836	Broadcom BCM2837	Broadcom BCM2711B0
Core	ARM1176JZF-S	Cortex-A7	Cortex-A53 64-bit	Cortex-A72
Nº Cores	1	4	4	4
CPU Clock	700 MHz	900 MHz	1.2 GHz	1.5 GHz
RAM	512 MB	1 GB	1 GB	1/2/4/8 GB

Memoria	Micro SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD
USB	2	4	4	4
Ethernet	Si	Si	Si	Si
Wifi	No	No	Si	Si
HDMI	Si	Si	Si	2 mini

Fuente: Adaptada de (Puetate, 2022)

1.15.2 Arduino

Es un microcontrolador de una sola placa que se basa en hardware y software libre que integra elementos necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas, fueron diseñados para facilitar el acceso a la electrónica debido a su bajo costo (Puetate, 2022). Sus modelos más conocidos son: Arduino Uno y Arduino Nano por lo que sus diferencias más claras se muestran en la Tabla 1.5.

Tabla 1. 5
Comparativa entre Arduino Uno y Arduino Nano.

Sección	Arduino Nano	Arduino Uno
Microcontrolador	ATmega328	ATmega328P
Voltaje de operación	5V	5V
Voltaje de entrada recomendado	7-12V	7-12V
Pines digitales E/S	20	20
Pines de entrada analógica	8	6
Corriente continua por pin E/S	40mA	20mA
Velocidad de reloj	16MHz	16MHz
Memoria flash	Bootloader usa 2KB	Bootloader usa 0,5KB
Convertidor USB a Serie	FTDI 232	ATmega

Fuente: (Robots Didácticos, 2019)

1.16 Software de acceso remoto

Un software de control remoto permite hacer anfitrión al ordenador o dispositivo en el cual se ejecuta permitiendo controlarlo sin necesidad de desplazarse hasta la otra ubicación, es usado para solucionar problemas a distancia y cuentan con sistemas de seguridad eficientes siempre y cuando se los descargue de su sitio web oficial (Programas de control remoto, 2022). Existen

tres programas para realizar el control de manera remota: TeamViewer, Virtual Network Computing, Remote It.

1.16.1 TeamViewer

La función de TeamViewer es operar conferencias web, la transferencia de archivos entre dispositivos y compartir escritorio, en la Figura 22 se observa la interfaz de TeamViewer. Al momento de abrir TeamViewer se asigna una identificación para luego establecer la conexión con la cliente una vez ingresada la contraseña de acceso (Mira la diferencia, 2021).



Fig. 22 Interfaz del software Team Viewer
Fuente: (TeamViewer, 2022)

1.16.2 Virtual Network Computing

Virtual Network Computing comparte ciertas características con TeamViewer ya que el espectador puede ver lo que vería el usuario al estar sentado en su ordenador PC/escritorio, se necesita iniciar sesión con una cuenta RealVNC para brindar una mejor conexión seguridad y privacidad razón por la cual ha acumulado varios clientes, una desventaja de VNC es que tiene problemas cuando el ancho de banda es bajo (Mira la diferencia, 2021). En la Figura 23 se observa la interfaz de Virtual Network Computing.

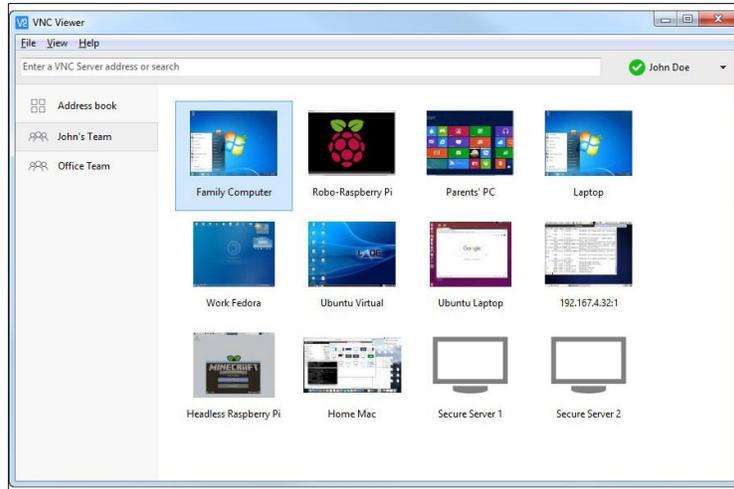


Fig. 23 Interfaz del software Team Viewer
Fuente: (Capterra, 2022)

1.16.3 Remote It

Permite gestionar dispositivos mediante conexiones seguras al crear una red privada tipo VPN con lo que se evita ingresos no solicitados. Se puede conectar a Raspberry PI mediante conexión a internet por red inalámbrica o red móvil con lo que se podrá enviar órdenes al dispositivo sin necesidad de conectar cables. En la Figura 24 se observa la interfaz de Remote It. Admite muchos protocolos y aplicaciones como SSH / SCP, VNC / RDP / Screen Share, servidores web y Node-RED, SMB, UDP y la mayoría de los otros protocolos TCP como MQTT (Remote.It, 2022).

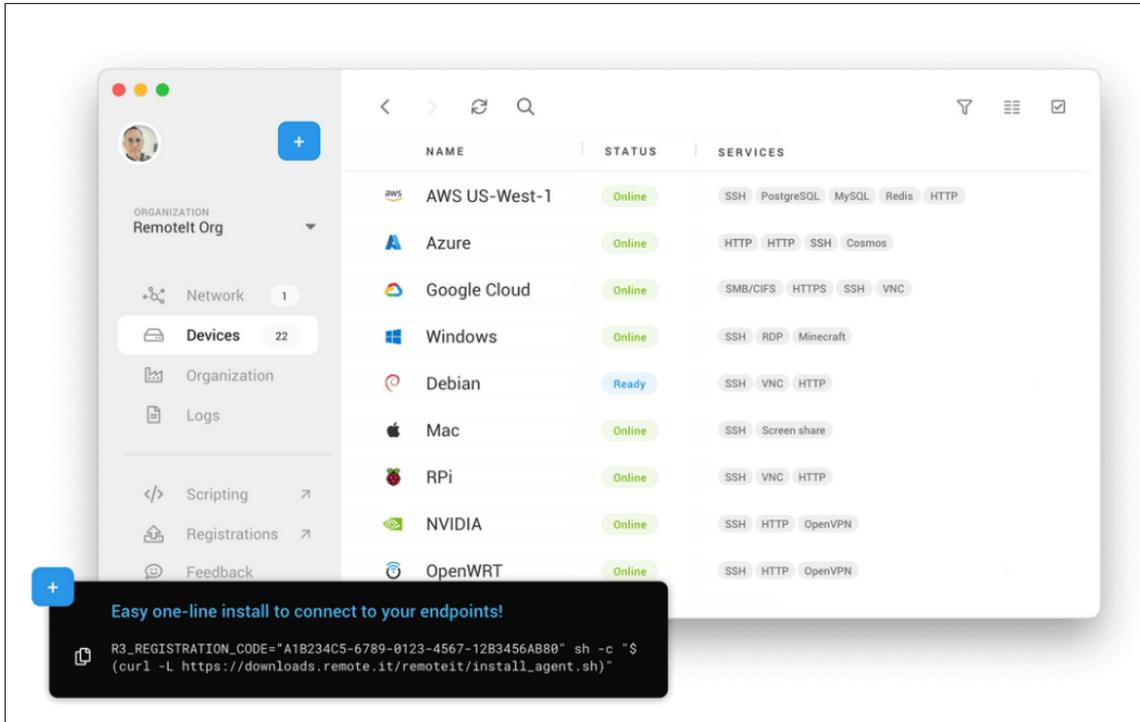


Fig. 24 Interfaz del software Remote It
Fuente: (Remote.It, 2022)

1.17 Lenguajes de programación

Los lenguajes de programación tienen la capacidad de crear instrucciones u órdenes e incluso crear software, los lenguajes de programación más utilizados se muestran en la Tabla 1.6

Tabla 1. 6
Lenguajes de Programación

Rango	Idioma	Popularidad
1	Python	29,9%
2	Java	17,2%
3	JavaScript	8,31%
4	C#	6,9%

Fuente: Adaptada de (Torres, 2021)

La popularidad de dichos lenguajes de programación se debe a que son empleados para crear programas complejos permitiendo a profesionales y estudiantes empezar a desarrollar programas de manera autónoma.

Luego de realizar el fundamento teórico sobre monitoreo y control IoT se puede tener una visión clara sobre los elementos que se emplearán en el siguiente capítulo, destacando las ventajas del software Node-RED al ser un programa gratuito y de código abierto que usa lenguaje de programación JavaScript, muy popular en la actualidad.

CAPÍTULO 2

Diseño del sistema de Monitoreo y Control basado en IoT

En el siguiente capítulo se realizó el diseño y configuración de la herramienta de monitoreo y control basado en IoT del módulo didáctico de caudal de líquidos mediante el uso de dispositivos de código abierto, protocolos de comunicación y la herramienta dashboard del software Node-RED para el diseño de la interfaz gráfica. Además, se presentó la configuración del software Remotelt que permitió controlar el sistema de manera remota desde cualquier dispositivo móvil u ordenador que disponga de conexión a internet.

2.1 Metodología para el diseño del sistema de Monitoreo y Control basado en IoT

La metodología empleada parte de la selección del módulo didáctico de control de caudal de líquidos para posteriormente elegir el hardware de código abierto y la herramienta de programación visual en el cual se diseña la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI). Finalmente, se realiza la configuración del software para conexión remota mediante el software Remotelt.

En la Figura 25 se observa la metodología empleada para desarrollar este capítulo.

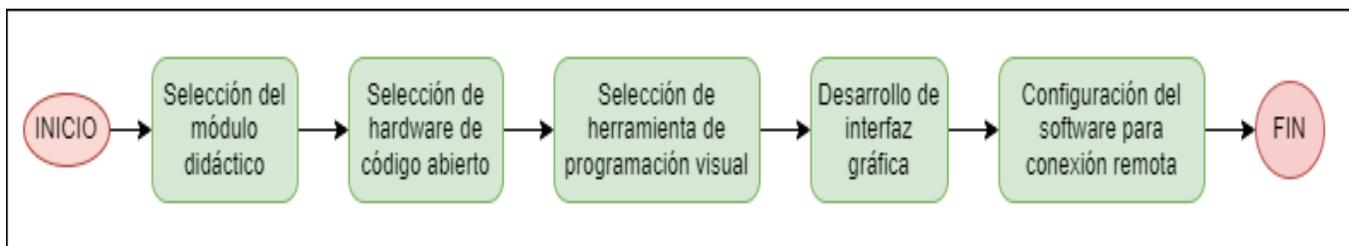


Fig. 25 Metodología para el diseño del sistema de Monitoreo y Control basado en IoT

2.2 Criterios de diseño

El diseño del sistema de monitoreo y control se realiza de acuerdo con los requerimientos de funcionalidad, así como la compatibilidad entre los dispositivos.

- Aspecto físico

Debe tener un aspecto de fácil comprensión e interpretación de uso

- Disponibilidad y accesibilidad

Los dispositivos y software de código abierto deben encontrarse disponibles en el mercado.

- Costo

El dispositivo de monitoreo y control de código abierto basado en IoT debe presentar ventajas económicas frente a las tecnologías industriales HMI presentadas por distintas marcas.

- Funcionalidad

Los protocolos de comunicación utilizados deben ser compatibles entre el dispositivo de código abierto y el PLC Allen Bradley.

- Tamaño

Debe tener un tamaño reducido y de fácil instalación junto al tablero de control principal.

2.3 Selección de equipos

Para realizar el diseño del sistema de monitoreo y control basado en IoT se debe tomar en cuenta la compatibilidad entre los dispositivos físicos con características acordes para proyectos de experimentación tomando en cuenta la propuesta del proyecto.

2.3.1 Módulo didáctico

En la carrera de Electricidad, en el laboratorio de CONTROL DE MÁQUINAS se encuentra el módulo de control de caudal de líquidos como se observa en la Figura 26, en el cual se realizó la implementación de un sistema de monitoreo y control compacto y ligero basado en IoT.



Fig. 26 . Módulo de control de caudal de líquidos., Laboratorio de Control

Los elementos principales que realizan las tareas de control, proceso y realimentación en el módulo de control de caudal de líquidos se detallan en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1
Componentes del Módulo de Control de Caudal de Líquidos

	Cantidad	Elementos	Características
Control	1	PLC	MicroLogix 1100
	1	Variador de frecuencia	ATV312HU11M2
Proceso	1	Electrobomba	Trifásico, velocidad 3450 rpm, 60 Hz.
Realimentación	1	Sensor de flujo YF-S201	Voltaje de operación 5 a 24 [V DC] Max. Consumo de corriente 15 [mA] @ 5 [V] Flujo de trabajo 1 a 30 [L/min]

Fuente: Adaptado de (Aza & Bastidas, 2015)

Los elementos secundarios que conforman el módulo de caudal de líquidos se describen en la Tabla 2.2.

Tabla 2. 2
Descripción y Características del Módulo Didáctico

Descripción	Característica
Tanque reservorio	39 L de capacidad
Válvula de control de caudal	Accionamiento manual ¾"
Sensor transmisor de paletas	1-30 L/M, salida de frecuencia
Rotámetro indicador de caudal	4-40L/M
Válvula 1 de bola	Accionamiento manual 1"
Válvula 2 de bola	Accionamiento manual ¾"
Válvula 3 de bola	Accionamiento manual ¾"
Válvula check	Flujo en una sola dirección

Fuente: Adaptado de (Aza & Bastidas, 2015)

Aza & Bastidas (2015) mencionan que la bomba a plena carga entrega un caudal máximo de 27 [L/m], además la visualización de la variable de caudal puede apreciarse mediante un caudalímetro de desplazamiento volumétrico (rotámetro) por el movimiento de su flotador. Estos parámetros son muy importantes para comparar los valores obtenidos en la interfaz gráfica con los de la planta del módulo didáctico de caudal del líquidos.

2.3.2 Elementos del panel frontal del módulo didáctico

En el panel frontal del módulo de caudal se encuentran ubicados los distintos elementos que permiten realizar la acción del control del sistema. Los elementos se encuentran descritos en la Tabla 2.3.

Tabla 2. 3
Elementos del panel frontal del Módulo Didáctico

Cantidad	Descripción
1	Botonera de paro de emergencia tipo hongo
1	Botonera de encendido y apagado
3	Luces piloto (run, variador, modo local, modo remoto)
2	Selectores: (run-stop variador) y (modo local- modo remoto)

Fuente: Adaptado de (Aza & Bastidas, 2015)

Los elementos anteriormente mencionados pueden ser identificados mediante la Figura 27 de manera visual.

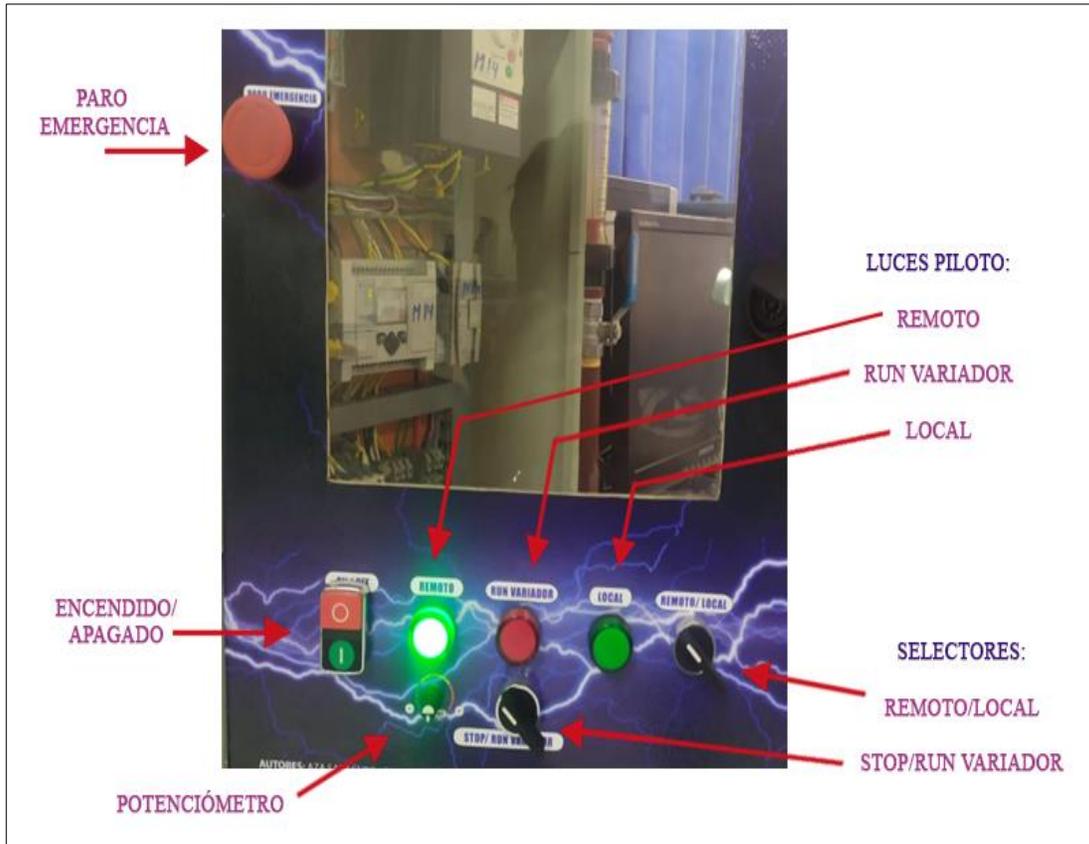


Fig. 27: Identificación visual de elementos del panel frontal

2.4 Materiales seleccionados

Luego de seleccionar el módulo didáctico, se requirió de los siguientes materiales para el desarrollo del sistema de monitoreo y control IoT. En la Tabla 2.4 se enlista los materiales usados en el apartado de hardware, software y accesorios extras de alimentación eléctrica.

Tabla 2. 4
Materiales seleccionados

HARDWARE
Raspberry PI 4B
Router tp-link TL-WR840N
Pantalla Táctil HDMI de 7"
SOFTWARE
Node-RED
Remotelt
ACCESORIOS
Tomacorriente de 110V
Conector macho de alimentación 110V
Cable eléctrico de alimentación tipo hembra
Interruptor de Encendido/Apagado
Unión de cable de Red Rj45

2.4.1 Controlador Raspberry PI

Se ha seleccionado el modelo Raspberry PI 4 model B ya que es un controlador de código abierto con un procesador de 1.5GHz de 4 núcleos y 4 GB de memoria RAM que permite una mejor ejecución de procesos y traspaso de información, los detalles de este modelo se encuentran especificados en la Tabla 2.5. La versión de Raspberry PI 3B cuenta con un procesador de 1.2 GHz, pero se limita a 1 GB de memoria RAM de acuerdo con la Tabla 1.4 del Capítulo 1, este modelo no se ha tomado en cuenta a fin de garantizar la fluidez del sistema al navegar por la web y realizar multitarea. El **ANEXO A** contiene las instrucciones para la instalación del sistema operativo Raspbian 11.

Tabla 2. 5
Características de la Raspberry PI 4 Model B

Raspberry PI 4 model B	
Procesador	Procesador Broadcom BCM2711, cuatro núcleos Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz.
Conectividad	2.4 GHz y 5.0 GHz IEEE 802.11ac wireless, Bluetooth 5.0, BLE. Gigabit Ethernet

Entradas USB	2 x puertos USB 3.0 y 2 x USB 2.0
Memoria	4 GB RAM
Video y Sonido	2 x micro puertos HDMI (soporte pantallas hasta resolución 4K y 60 fps) 2 líneas MIPI DSI puertos de pantalla 2 líneas MIPI CSI puertos de cámara Sonido estéreo y vídeo compuesto
Tarjeta SD	16GB Micro SD
GPIO	Conector estándar Raspberry Pi GPIO de 40 pines (compatible con placas previas)
Características eléctricas	
Alimentación	Conector USB C para alimentación 5V DC
Temperatura	Operación de 0 a 50 °C
Tamaño	85 mm x 49 mm

Fuente: (Raspberry Pi , 2019)

2.4.2 Router tp-link TL-WR840N

El router TL-WR840N de la marca tp-link es un dispositivo de fácil configuración compatible con IPv4-IPv6 (Protocolo de Internet versión 4-6), admite cuatro modos: enrutador, extensor de rango, punto de acceso y modos WISP. Posee una velocidad de transmisión inalámbrica de 300Mbps ideal para tareas sensibles al ancho de banda y trabajo básico (tp link, 2022). En la Figura 28 se observa el Router tp-link TL-WR840N. En el **ANEXO B** se encuentra la configuración necesaria para la creación de una red local.



Fig. 28 Aspecto físico del router tp-link
Fuente: (tp link, 2022)

2.4.3 Pantalla de visualización Táctil HDMI de 7"

Para el proyecto se ha seleccionado una pantalla de 7 pulgadas para conexión directa con la Raspberry mediante cable HDMI. La pantalla se visualiza en la Figura 29. Es compatible con la mayoría de las versiones de Raspberry. En el **ANEXO C** se encuentra descrito las características y el controlador compatible con el microcontrolador.



Fig. 29 Pantalla Táctil HDMI De 7"
Fuente: (Waveshare, 2022)

En la Tabla 2.6 se detalla las características de la pantalla HDMI de 7 pulgadas.

Tabla 2. 6
Características de la pantalla HDMI De 7 pulgadas

Características	
Tamaño	7 pulgadas
Resolución	1024x600
Control	Táctil capacitivo
Conexión	Puertos HDMI/VGA
Alimentación	5V mediante cable Micro USB

Fuente: (Waveshare, 2022)

2.4.4 Node-RED Software para programación y diseño de interfaz gráfica de usuario

El software de código abierto seleccionado es Node-RED. El punto fuerte es su sencillez gracias a su programación visual permitiendo usar tecnologías complejas sin profundizar demasiado e ir directo a la tarea concreta. En la Figura 30 se visualiza como el Sistema Operativo Raspbian trae integrado Node-RED.

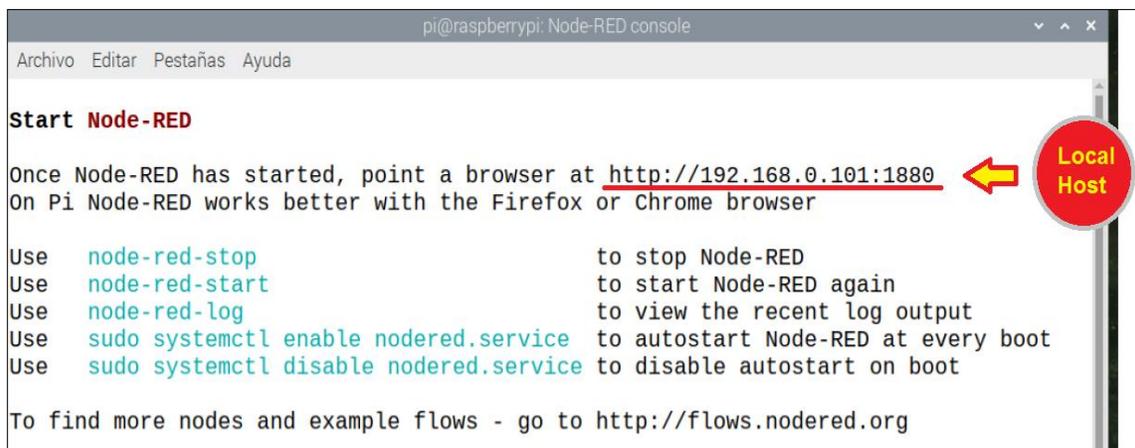


Fig. 30 Ventana del S.O Raspbian 11 bullseye en Raspberry PI 4 con Node-RED

- **Iniciar Node-RED**

Para iniciar Node-RED en el terminal de la Raspberry PI 4B se accede al editor de Node-RED apuntando su navegador a <http://localhost:1880> como se observa en la Figura 31. La salida del registro le proporciona varias piezas de información:

- Las versiones de Node-RED y Node.js
- Cualquier error que se produce cuando intenta cargar los nodos de la paleta
- La ubicación del archivo de configuración y del directorio de usuarios
- Nombre del archivo de flujos que está utilizando.



```
pi@raspberrypi: Node-RED console
Archivo  Editar  Pestañas  Ayuda

Start Node-RED

Once Node-RED has started, point a browser at http://192.168.0.101:1880
On Pi Node-RED works better with the Firefox or Chrome browser

Use  node-red-stop           to stop Node-RED
Use  node-red-start         to start Node-RED again
Use  node-red-log           to view the recent log output
Use  sudo systemctl enable nodered.service to autostart Node-RED at every boot
Use  sudo systemctl disable nodered.service to disable autostart on boot

To find more nodes and example flows - go to http://flows.nodered.org
```

Fig. 31 Acceso al editor de Node-RED

- **Entorno de trabajo de Node-RED**

Al iniciar el navegador se podrá observar las tres secciones en las que se encuentra dividida la pantalla. En la sección izquierda se encuentra la paleta de nodos que se puede utilizar para la creación de programas, en la segunda sección se encuentra el entorno de trabajo en donde se conectarán cada uno de los nodos seleccionados, la última sección muestra características y funcionalidades de cualquier nodo, también se encuentra el área de ayuda y configuración como se observa en la Figura 32.



Fig. 32 Entorno de trabajo de Node-RED

- **Instalación de nodos adicionales**

Para el diseño del sistema de monitoreo y control es necesario la instalación de dos nodos adicionales que se describen a continuación.

- **Nodo de interacción con PLC Allen Bradley**

El nodo "node-red-contrib-pccc" permite interactuar con algunos PLC de Allen-Bradley utilizando el protocolo PCCC. Este nodo directamente se puede instalar desde el menú "Administrar paleta" en la interfaz Node-RED como se observa en la Figura 33 no hay dependencias externas ni pasos de compilación.

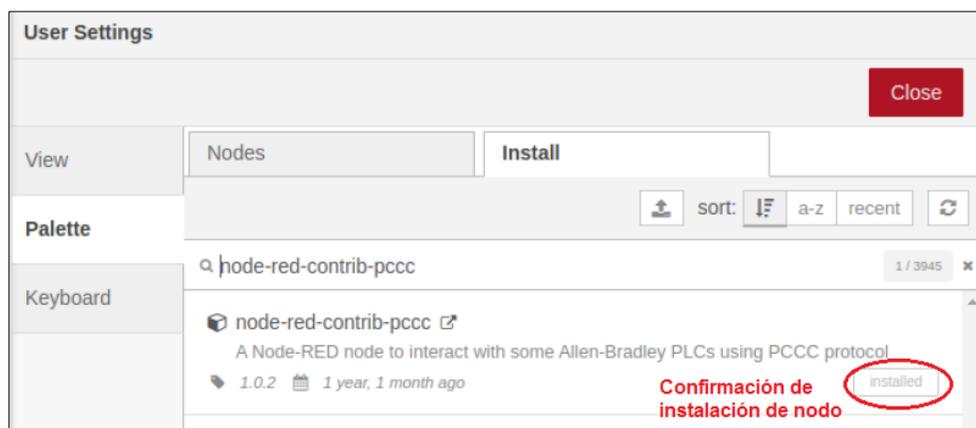


Fig. 33 Instalación de nodo de interacción PLC Allen Bradley

- **Nodo de diseño de Interfaz Gráfica**

El nodo “node-red-dashboard” proporciona un conjunto de elementos en Node-RED para crear rápidamente un panel de datos en vivo. Este nodo directamente se puede instalar desde el menú "Administrar paleta" en la interfaz Node-RED como se observa en la Figura 34. Para poder observar los nodos se debe reiniciar la instancia de Node-RED y deberá aparecer los nodos de interfaz de usuario disponibles en la paleta y una nueva pestaña en el panel lateral derecho.

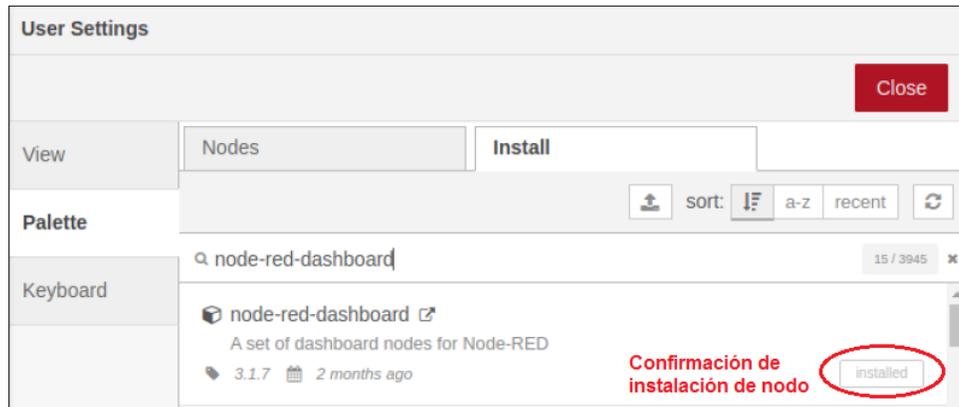


Fig. 34 Instalación de nodo de diseño de Interfaz Gráfica.

2.4.5 Accesorios para alimentación del sistema de monitoreo y control IoT

El sistema de monitoreo y control IoT cuenta con ciertos accesorios en cargados de conectar el dispositivo a la red de suministro eléctrico y su fácil desconexión, los cuales son: conector macho de alimentación de 110V, cable eléctrico de alimentación tipo hembra, interruptor de encendido/apagado, tomacorriente de 110V. Así mismo consta de un cable de red Rj45 conectado directamente entre el router tp-link y el puerto Ethernet del microprocesador Raspberry PI y una unión tipo RJ45 para conexión directa con el PLC Allen Bradley. En la Figura 35 se observa los elementos anteriormente mencionados.

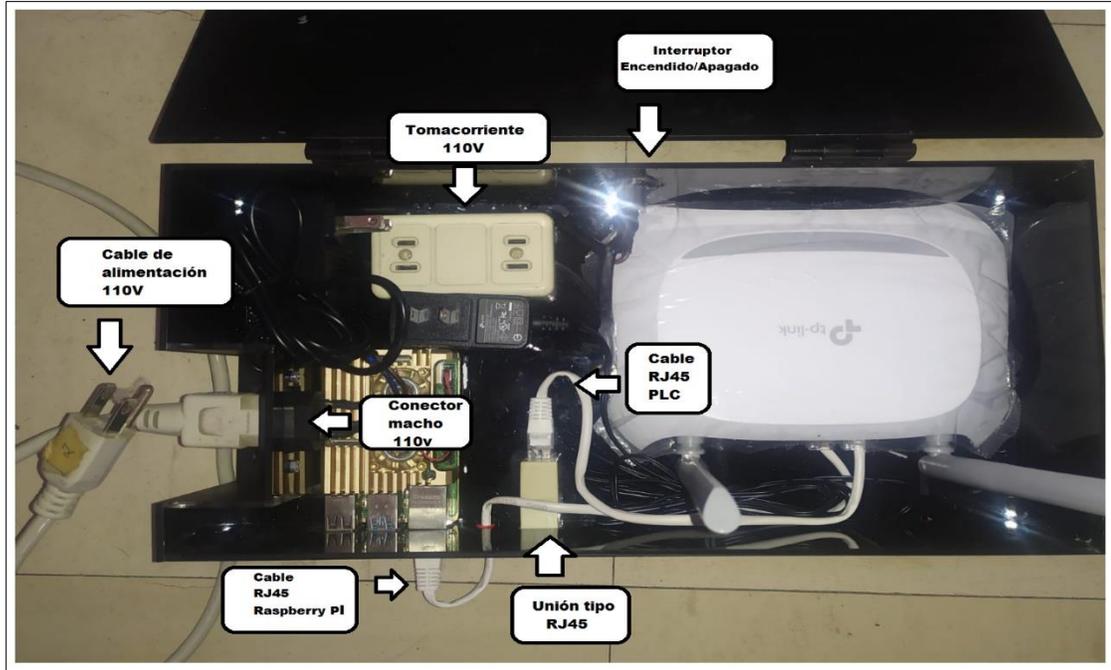


Fig. 35 Accesorios para alimentación del Sistema de Monitoreo y Control IoT

2.5 Diagrama de elementos del Sistema de monitoreo y control IoT

Se realizó el diagrama simplificado de los elementos que conforman el sistema de monitoreo y control IoT para el módulo de caudal de líquidos. El diagrama está comprendido por el hardware en el que constan los siguientes elementos: Raspberry PI 4B, Router tp-link, pantalla HDMI 7". El software del sistema está comprendido por: Node-RED para el diseño de la Interfaz Gráfica de Usuario y Remotelt para establecer la conexión remota con el dispositivo como se observa en la Figura 36.

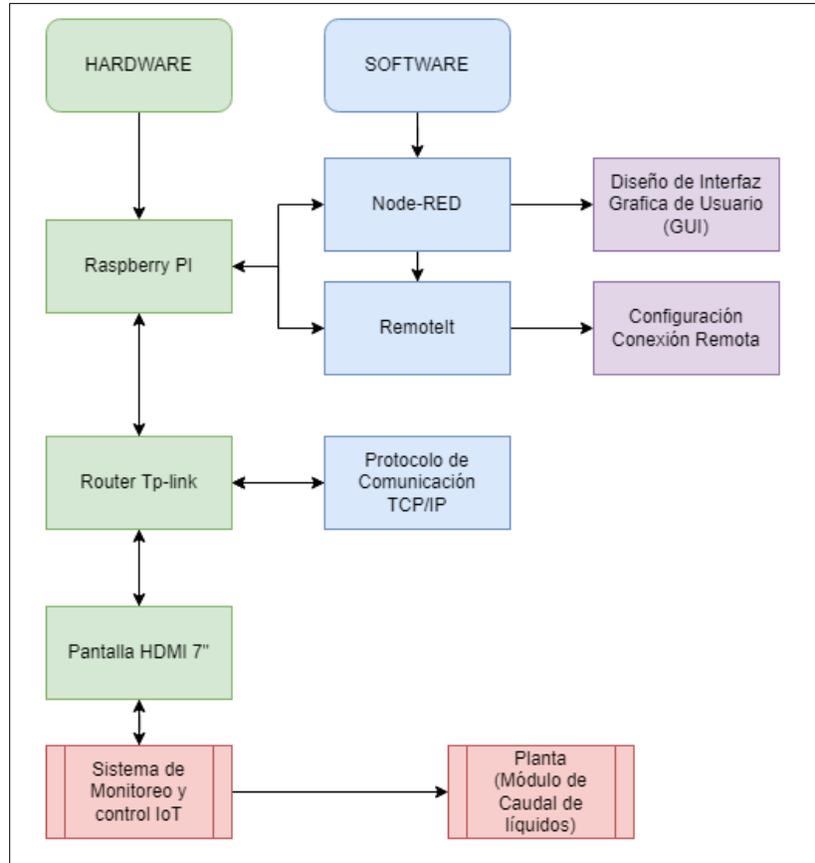


Fig. 36 Diagrama de elementos del Sistema de monitoreo y control IoT

2.6 Diseño de flujos en Node-RED

Para crear un nuevo flujo dentro del editor de flujo de Node-RED se debe seleccionar un nodo nuevo y arrastrarlo hacia el entorno de trabajo y soltarlo, con esto ya se puede empezar a crear programas por medio de los nodos y los flujos. Por lo tanto, a continuación, se describe los nodos de flujo “Modo Manual” del sistema de monitoreo y control IoT. Las variables implementadas en el software Node-RED se encuentran en el **ANEXO D**, la programación en Ladder mediante el software RSLogix500 se encuentra en el **ANEXO E**.

El flujo “Control Manual” se divide en tres secciones: Modo de funcionamiento, Bomba Centrífuga y Control de Caudal. En la sección Modo de funcionamiento se empleó los nodos que se describen en la Tabla 2.7.

Tabla 2. 7
Descripción de nodos sección Modo de Funcionamiento

Tipo de nodo	Nombre	Descripción
Nodo switch (Paleta Dashboard)	APAGADO/ENCENDIDO	Cada cambio de estado genera valores de activación y desactivación.
Nodo led (Paleta Dashboard)	MANUAL	Indica estado. verde: Encendido rojo: Apagado
Nodo pccc out (Paleta PLC)	MANUAL_HMI	Escribe datos en el PLC en la variable especificada en la configuración del nodo.

La Figura 37 muestra la conexión de los nodos del flujo Control manual sección modo de funcionamiento.

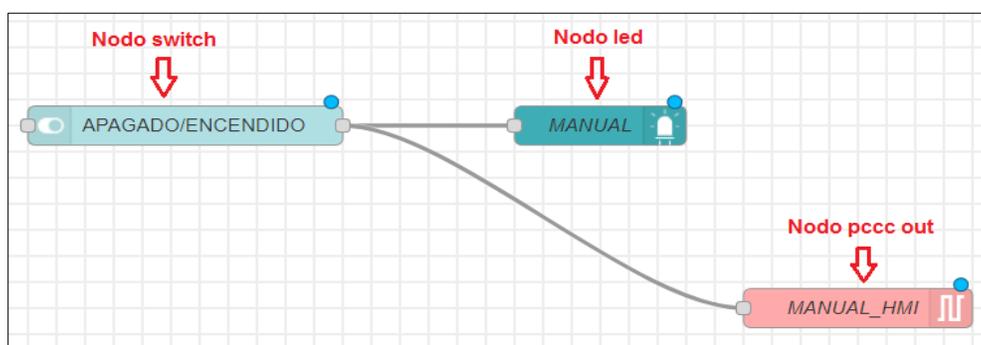


Fig. 37 Flujo correspondiente a la sección del Control manual- Modo de Funcionamiento

En la sección Bomba centrífuga se empleó los nodos que se describen en la Tabla 2.8

Tabla 2. 8
Descripción de nodos Sección Bomba Centrífuga

Tipo de nodo	Nombre	Descripción
Nodo switch (Paleta Dashboard)	APAGADO/ENCENDIDO	Cada cambio de estado genera valores de activación y desactivación
Nodo led (Paleta Dashboard)	ESTADO BOMBA	Indica estado. verde: Encendido rojo: Apagado

Nodo pccc out (Paleta PLC) BOMBA MANUAL

Escribe datos en el PLC en la variable especificada en la configuración del nodo.

La Figura 38 muestra la conexión de los nodos del flujo Control manual sección Bomba Centrífuga.

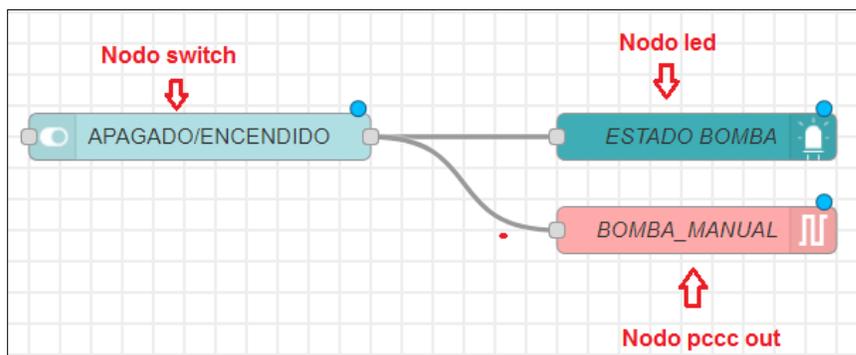


Fig. 38 Flujo correspondiente a la sección del Control manual- Bomba centrífuga

En la sección Control de caudal se empleó los nodos que se describen en la Tabla 2.9

Tabla 2.9
Descripción de nodos Sección Control De Caudal

Tipo de nodo	Nombre	Descripción
Nodo slider (Paleta Dashboard)	Frecuencia (Hz)	Permite al usuario cambiar su valor entre los límites (mínimo y máximo). FRECUENCIA MINIMA: 0 (Hz) FRECUENCIA MÁXIMA: 60 (Hz)
Nodo pccc out (Paleta PLC)	VARIAC_FREQ	Escribe datos en el PLC en la variable especificada en la configuración del nodo.
Nodo pccc in (Paleta PLC)	VAL_PROCESS	Lee los datos del PLC Allen Bradley
Nodo gauge (Paleta Dashboard)	Caudal gauge	Widget indicador de caudal
Nodo digital display (Paleta Dashboard)	Caudal display	Display Indicador de caudal

La Figura 39 muestra la conexión de los nodos del flujo Control manual sección Control de caudal.

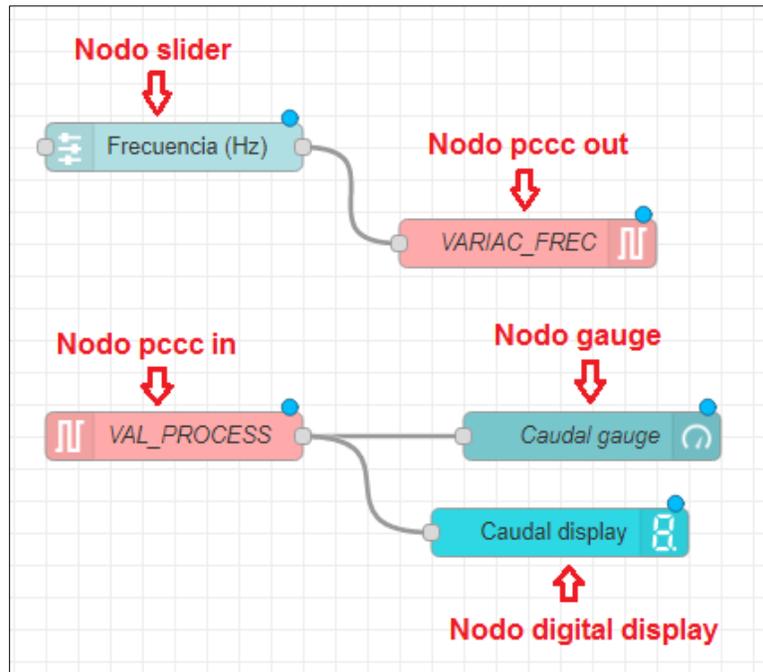


Fig. 39 Flujo correspondiente a la sección del Control manual- Control de Caudal

El flujo “Modo Automático” se divide en tres secciones: Modo de funcionamiento, Set Point y Control PID. En la sección Modo de funcionamiento se empleó los nodos que se describen en la Tabla 2.10.

Tabla 2. 10
Descripción De Nodos Sección Modo De Funcionamiento

Tipo de nodo	Nombre	Descripción
Nodo switch (Paleta Dashboard)	APAGADO/ENCENDIDO	Cada cambio de estado genera valores de activación y desactivación.
Nodo led (Paleta Dashboard)	AUTOMÁTICO	Indica estado. verde: Encendido rojo: Apagado
Nodo pccc out (Paleta PLC)	RUN_VARIADOR	Escribe datos en el PLC en la variable especificada en la configuración del nodo.

La Figura 40 muestra la conexión de los nodos del flujo Control automático sección Modo de funcionamiento.

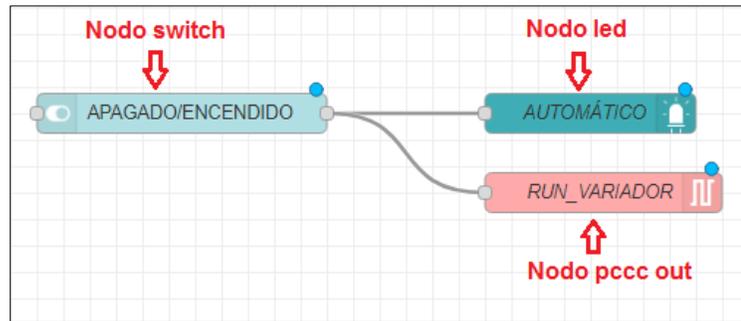


Fig. 40 Flujo correspondiente a la sección del Control automático- Modo de funcionamiento

En la sección Set Point se empleó los nodos que se describen en la Tabla 2.11.

Tabla 2. 11
Descripción de Nodos Sección Set Point

Tipo de nodo	Nombre	Descripción
Nodo form (Paleta Dashboard)	SET POINT	Mediante el nodo formulario permite introducir una variable de tipo numérico con lo que se podrá incluir el Valor de Set Point del control PID.
Nodo level (Paleta Dashboard)	LEVEL	Indica estado. verde: Encendido rojo: Apagado
Nodo pccc out (Paleta PLC)	SP_HMI	Escribe el valor de Set Point en el PLC para realizar el respectivo control PID integrado en la programación
Nodo Change (paleta function)	set global. SETPOINT	Se crea una variable de tipo global. Se puede usar en cualquier flujo creado, por lo tanto, servirá para graficar sus datos en la sección "GRÁFICAS"

La Figura 41 muestra la conexión de los nodos del flujo Control automático sección Set Point.

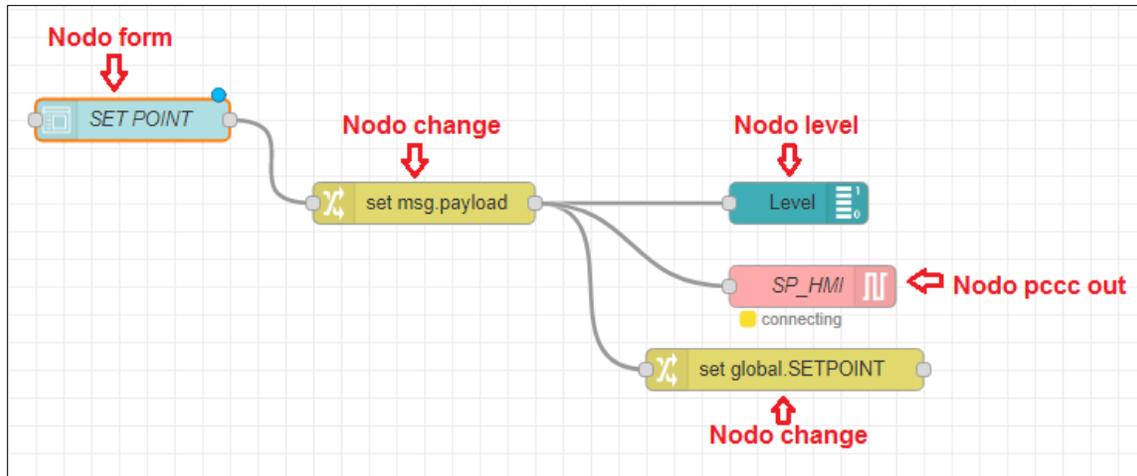


Fig.41 Flujo correspondiente a la sección del Control automático- Set Point

En la sección Control PID se empleó los nodos que se describen en la Tabla 2.12.

Tabla 2. 12
Descripción de Nodos Sección Control PID

Tipo de nodo	Nombre	Descripción
Nodo inject (Paleta common)	global.SETPOINT global. PV	Inyecta SetPoint y PV para realizar las gráficas del sistema.
Nodo chart (Paleta Dashboard)	Gráfica PID	Traza los valores de entrada SetPoint y PV en un gráfico en el tiempo.
Nodo pccc in (Paleta PLC)	VAL_PROCESS Frecuencia	Lee el valor de caudal y frecuencia del PLC Allen Bradley.
Nodo digital display (Paleta Dashboard)	Caudal Frecuencia	Display Indicador de caudal y frecuencia.
Nodo change (Paleta function)	setglobal.PV	Establece el valor de la variable del proceso a una de tipo global.

La Figura 42 muestra la conexión de los nodos del flujo Control automático sección Control PID.

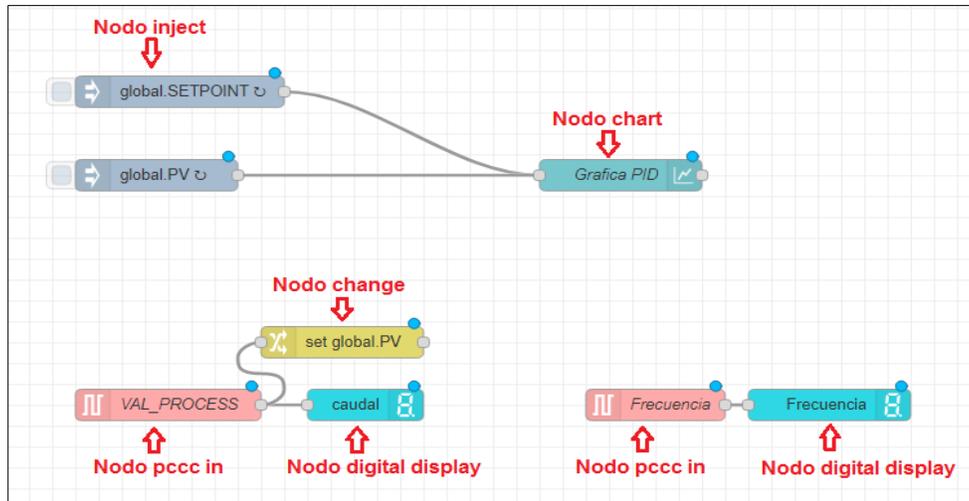


Fig. 42 Flujo correspondiente a la sección del Control automático- Control PID

El flujo “Gráficas” se divide en dos secciones: Gráfica de señal de salida vs señal de entrada y Gráfica de la señal de control, se emplearon los nodos que se describen en la Tabla 2.13.

Tabla 2. 13
Descripción de Nodos Sección Gráficas

Tipo de nodo	Nombre	Descripción
Nodo inject (Paleta common)	global. SETPOINT global. PV global. Sen_Control	Inyecta SetPoint y PV para realizar las gráficas del sistema.
Nodo chart (Paleta Dashboard)	Gráfica PID SEÑAL DE CONTROL PID	Traza los valores de entrada SetPoint y PV en un gráfico en el tiempo.
Nodo pccc in (Paleta PLC)	Frecuencia	Lee el valor de caudal y frecuencia del PLC Allen Bradley.
Nodo change (Paleta function)	setglobal. Sen_Control	Establece el valor de la variable del proceso a una de tipo global.

La Figura 43 muestra la conexión de los nodos del flujo gráficas.

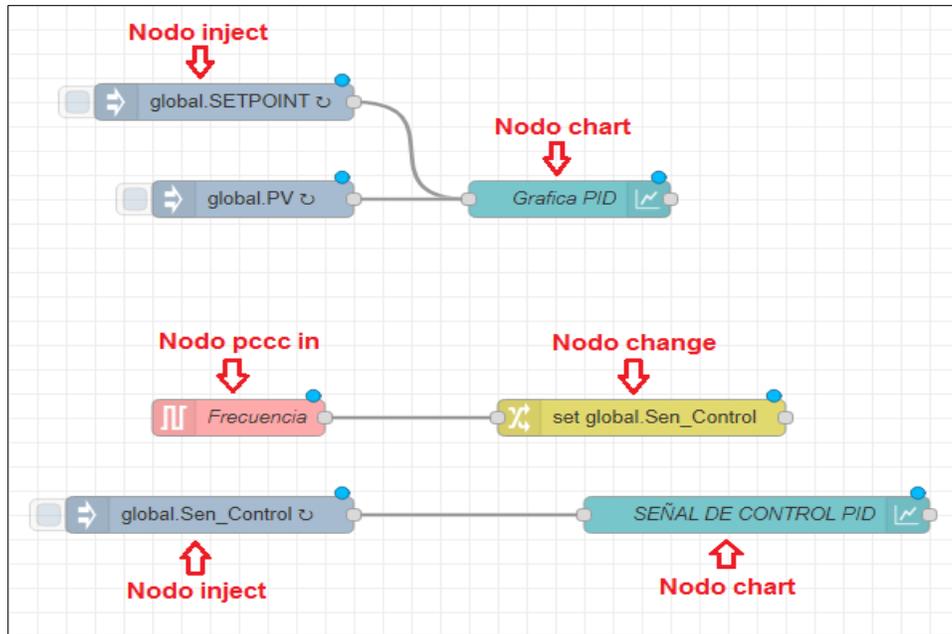


Fig. 43 Flujo correspondiente a la sección gráficas

2.7 Diseño de interfaz gráfica

El diseño de la interfaz gráfica contiene cuatro opciones en la parte superior izquierda en la que consta: carátula, control manual, control automático y gráficas como se visualiza en la Figura 44.



Fig. 44 Opciones de la interfaz gráfica

La primera opción corresponde a la Carátula del proyecto, las dimensiones están realizadas con el fin de encajar en la pantalla de 7 pulgadas. En la Figura 45 se puede encontrar datos relevantes como el nombre de la institución, título del proyecto, autor y tutor a cargo.



Fig. 45 Primera sección: Carátula

La segunda opción corresponde al Control manual; se encuentra dividido en tres secciones como se observa en la Figura 46, en la primera se encuentra el MODO DE FUNCIONAMIENTO, el cual se activa a través de un interruptor (switch) con una luz piloto de color verde que indica su estado, en la segunda se encuentra la BOMBA CENTRÍFUGA, se activa o desactiva la electrobomba mediante un switch, consta de una luz piloto que indica si se encuentra encendida (luz verde) y apagada (luz roja). En la tercera parte se encuentra el CONTROL DE CAUDAL; mediante un control deslizante (slider) permite elegir el valor de caudal deseado y este valor se muestra en el medidor de caudal (gauge) que cuenta con sectores con colores gradientes que varían de 0 a 10 (verde) de 11 a 20 (amarillo) y 21 a 27 (rojo) indicando que el caudal está llegando a su valor máximo.



Fig. 46 Segunda opción: Modo Manual

La tercera opción corresponde al Control Automático; se encuentra dividido en tres secciones como se observa en la Figura 47, en la primera se encuentra el MODO DE FUNCIONAMIENTO el cuál se activa a través de un interruptor (switch) con una luz piloto de color verde que indica su estado, en la segunda se encuentra el SET POINT, permite introducir el valor de Set Point deseado de caudal visible a través de un calibrador de tipo nivel. En la tercera parte se encuentra la sección CONTROL PID; consta de una gráfica en la que se visualiza el comportamiento de la señal de salida vs set Point y dos pantallas digitales que muestran el caudal (L/m) y frecuencia (Hz).

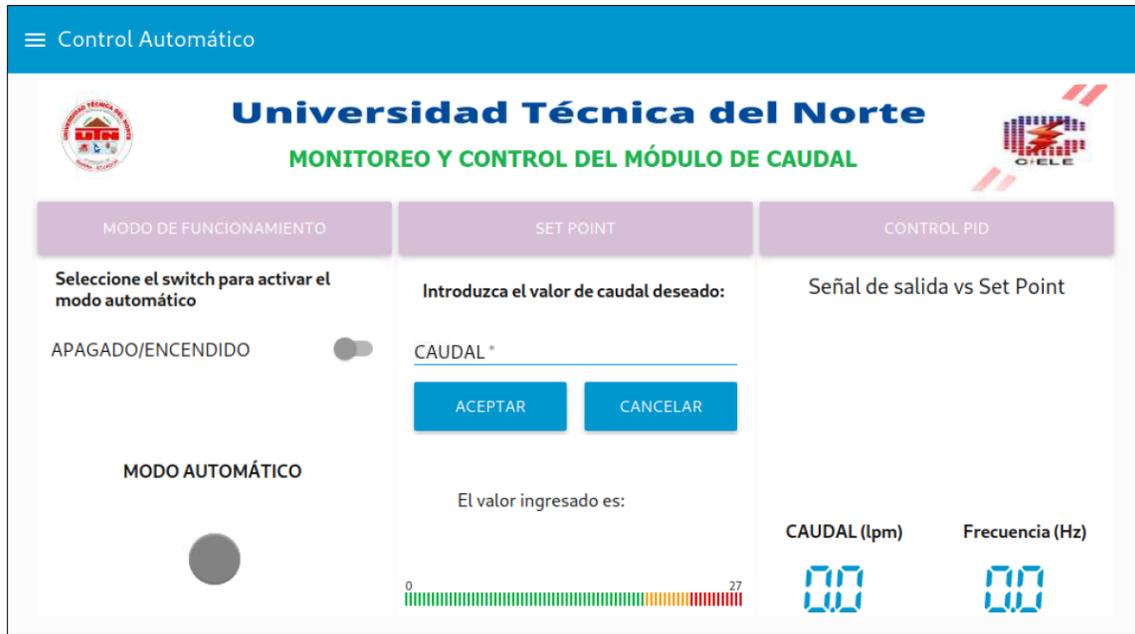


Fig. 47 Tercera opción: Modo Automático

La cuarta opción corresponde a las Gráficas, en la Figura 48 se observa la comparativa de señal de salida vs señal de entrada ubicado en la parte izquierda, y la gráfica de señal de control en la parte derecha para realizar el respectivo monitoreo del sistema.



Fig. 48 Cuarta sección: Gráficas

2.8 Instalación del Software Remotelt

Para realizar el monitoreo y control del módulo de caudal de manera remota se realiza la instalación del software Remotelt con la versión de uso personal. El **ANEXO F** explica de manera detallada la instalación de Remotelt en el sistema operativo Raspbian Os, al finalizar el procedimiento de vinculación, la plataforma queda lista para establecer la conexión con la Interfaz Gráfica desarrollada en Node-RED como se observa en la Figura 49.

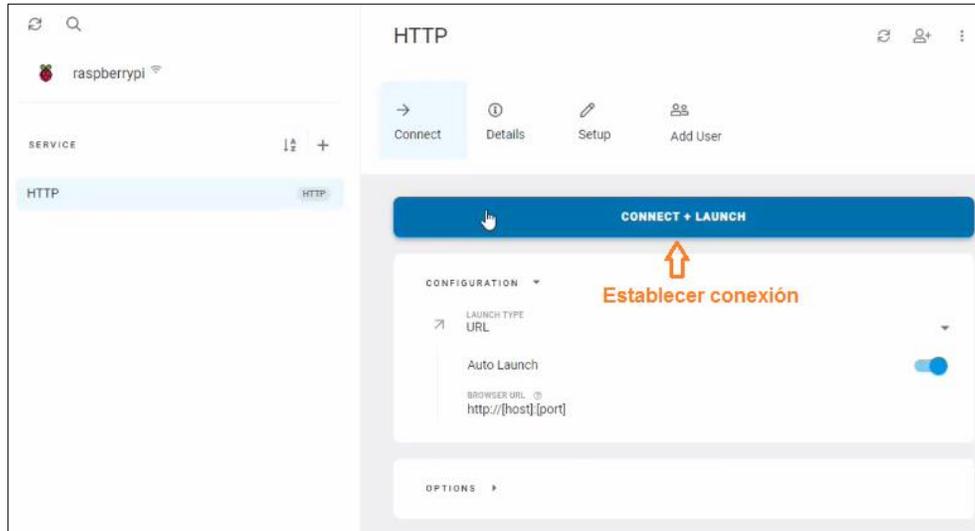


Fig. 49 Conexión de Remotelt

Una vez realizadas estas configuraciones el sistema de monitoreo y control IoT queda listo para ser manipulado de manera local o remota y permitir el intercambio de información entre el PLC Allen Bradley y la Interfaz Gráfica de Usuario.

2.9 Diseño de Hardware del sistema de monitoreo y control IoT

El diseño del dispositivo cuenta con una caja donde se empotran los siguientes elementos: Raspberry PI 4 model B, switch Ethernet con sus respectivas fuentes de alimentación. La caja tiene las siguientes dimensiones: ancho: 17cm, largo: 35cm y alto: 8cm. Estas medidas se deben a que el módem y sus respectivas conexiones, el tomacorriente de alimentación y el microprocesador Raspberry PI representan un valor aproximado en sus dimensiones. La Figura 50 muestra la vista frontal de la caja y sus dimensiones en milímetros (mm).

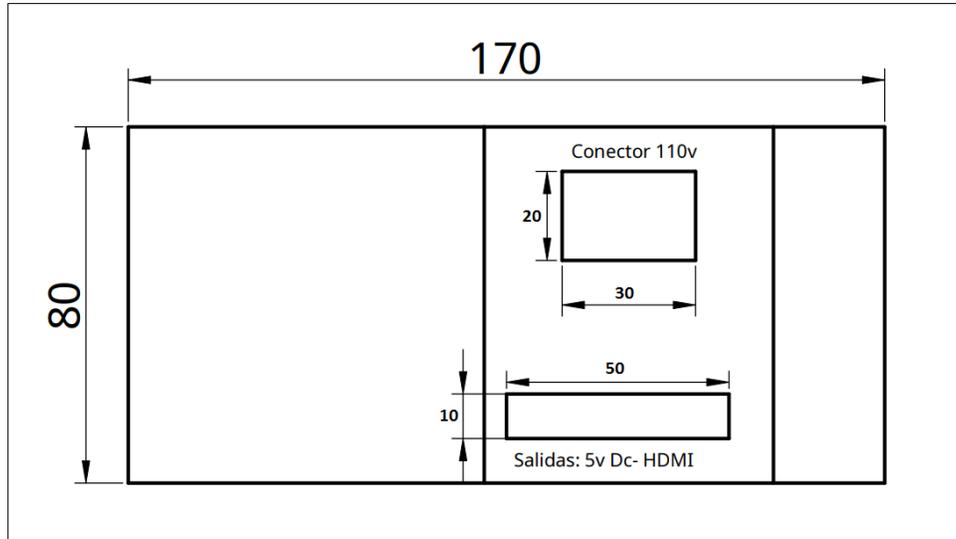


Fig. 50 Vista frontal de la caja para insertar elementos

La Figura 51 muestra la vista lateral derecha de la caja y sus dimensiones en mm.

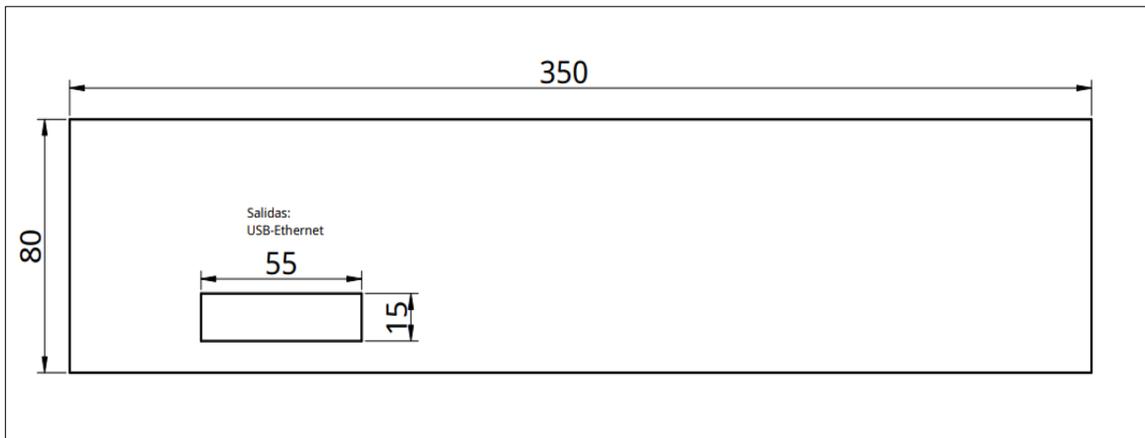


Fig. 51 Vista lateral derecha de la caja para insertar elementos

La Figura 52 muestra la vista lateral izquierda de la caja y sus dimensiones en mm.

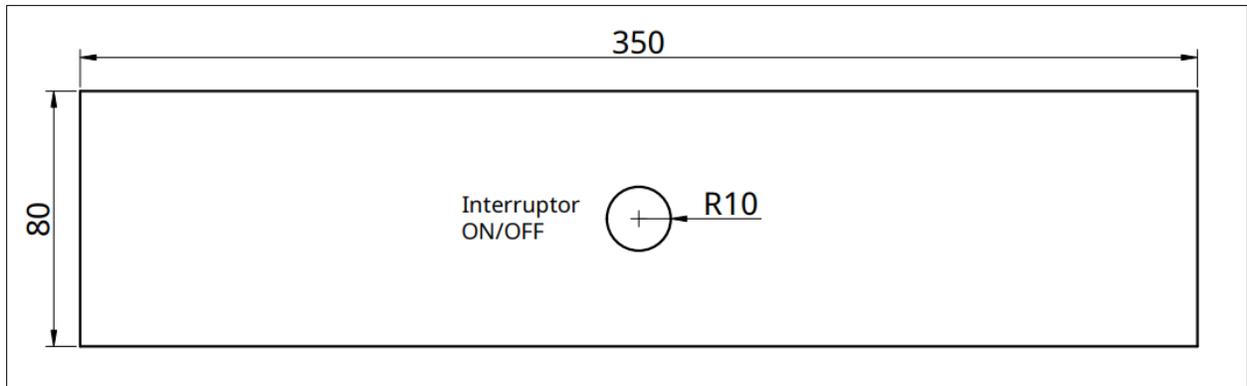


Fig. 52 Vista lateral izquierda de la caja para insertar elementos

La Figura 53 muestra la vista isométrica de la caja en donde se observa el diseño final del sistema de monitoreo y control IoT.

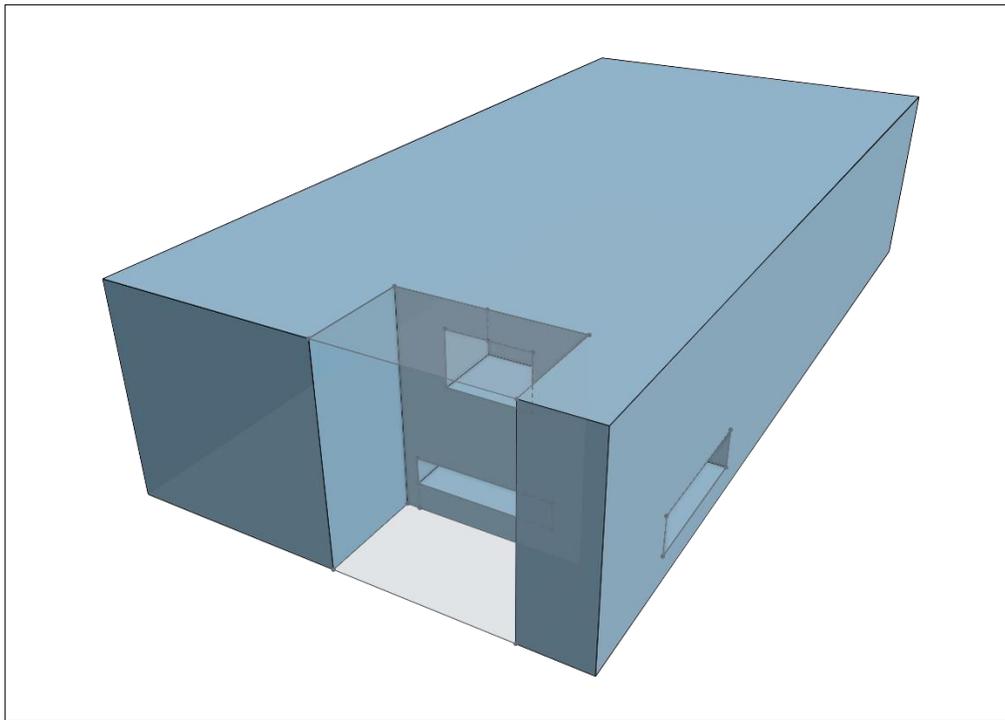


Fig. 53 Vista isométrica de la caja para insertar elementos

En el siguiente capítulo se detalla la implementación del sistema de monitoreo y control IoT para el módulo de caudal de líquidos y se realiza las pruebas de funcionamiento respectivas.

Discusión

Una vez concluido este capítulo se analizó los resultados obtenidos. A diferencia de sus versiones anteriores, la Raspberry PI 4 empleada cuenta con una RAM de 4GB para mejorar la velocidad de procesamiento de la Interfaz Gráfica por lo tanto la limitación de memoria RAM de versiones anteriores no es un problema.

El sistema operativo Raspbian trae preinstalado el software Node-RED lo que ha permitido diseñar mediante programación visual el sistema de monitoreo y control IoT para el módulo de caudal de líquidos.

Para la configuración del software Remotelt es necesario seguir los pasos de instalación de manera correcta, si no se realiza la configuración de manera adecuada se tendrá problemas de vinculación con los dispositivos de control remoto. El sistema de monitoreo y control posee un tamaño ideal para empotrar los elementos sin que queden muy apretados dentro de la caja de acrílico.

CAPÍTULO 3

Implementación de sistema de monitoreo y control IoT y pruebas de funcionamiento

En el presente capítulo se realizó la implementación del sistema de monitoreo y control IoT, detallando la configuración necesaria para establecer la comunicación entre el módulo de caudal y el microcontrolador Raspberry PI en el cual se ejecuta la interfaz gráfica diseñada en el software Node-RED. Además, se realizó las pruebas de funcionamiento y evaluación de resultados. Finalmente se especificó la configuración del software Remotelt encargado de enviar las órdenes necesarias de manera remota hacia el dispositivo

3.1 Comunicación entre ordenador y PLC Allen Bradley

Se establece la comunicación entre el PLC Allen Bradley y el ordenador mediante la configuración del software RSLinx Classic Gateway, en la Figura 54 se observa la conexión directa de los dos dispositivos mediante cable ethernet.

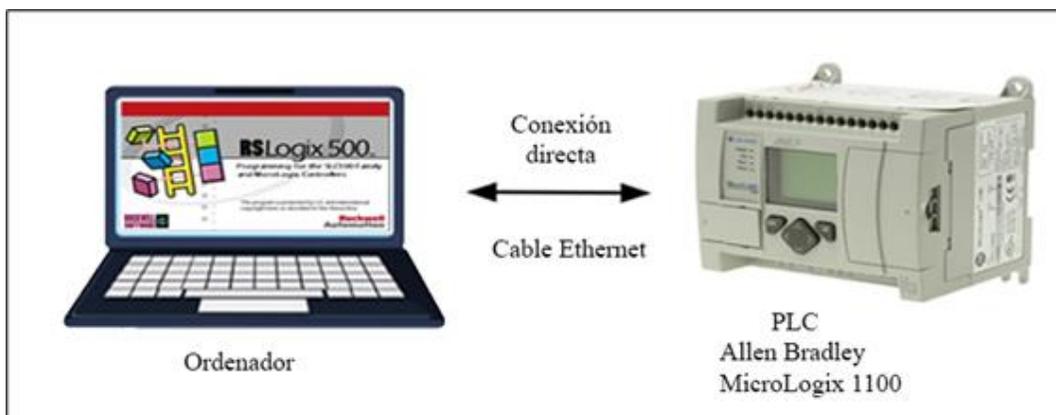


Fig. 54 Configuración entre PLC y ordenador

La dirección IP asignada al PLC Allen Bradley Micrologix 1100 perteneciente al módulo de caudal es 192.168.111.20 por lo tanto, una vez que se realiza el direccionamiento se verifica el reconocimiento del PLC por el software RSLinx Classic Gateway como se observa en la Figura 55. Se marcará con una "X" sobre el PLC en caso de que el software no lo reconozca.

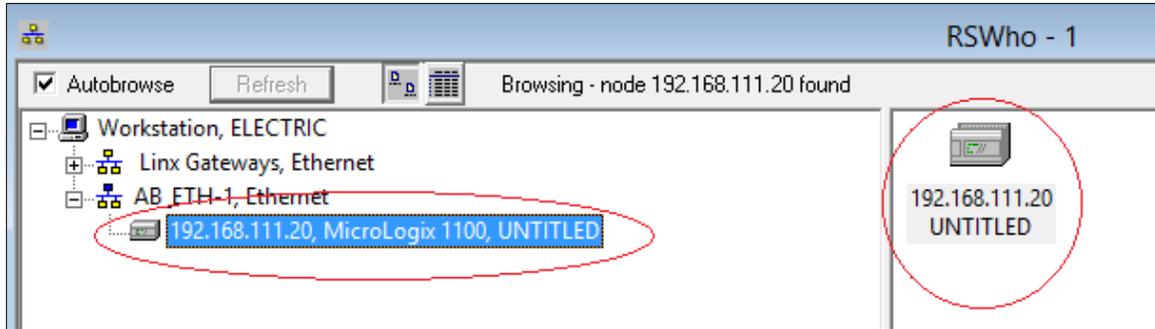


Fig. 55 Conexión exitosa de PLC Allen Bradley

La identificación de las variables más representativas de la programación del módulo de caudal se realizó mediante el software RSLogix 500 English como se muestra en la Figura 56.

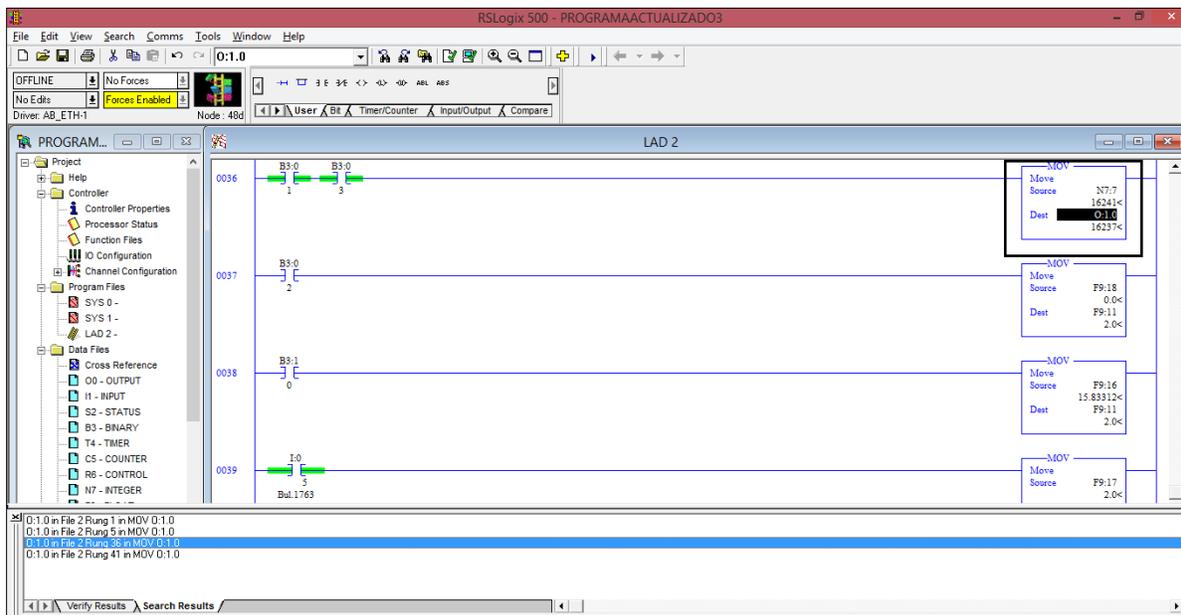


Fig. 56 Análisis de la programación mediante el software RSLogix500English

3.2 Comunicación entre PLC Allen Bradley, Raspberry PI 4B y RSLogixEnglish

Para efectuar la conexión entre PLC, Raspberry PI 4 y RSLogixEnglish es necesario un módulo Ethernet debido a que el ordenador solo cuenta con un conector. En la Figura 57 se observa el esquema de conexión.

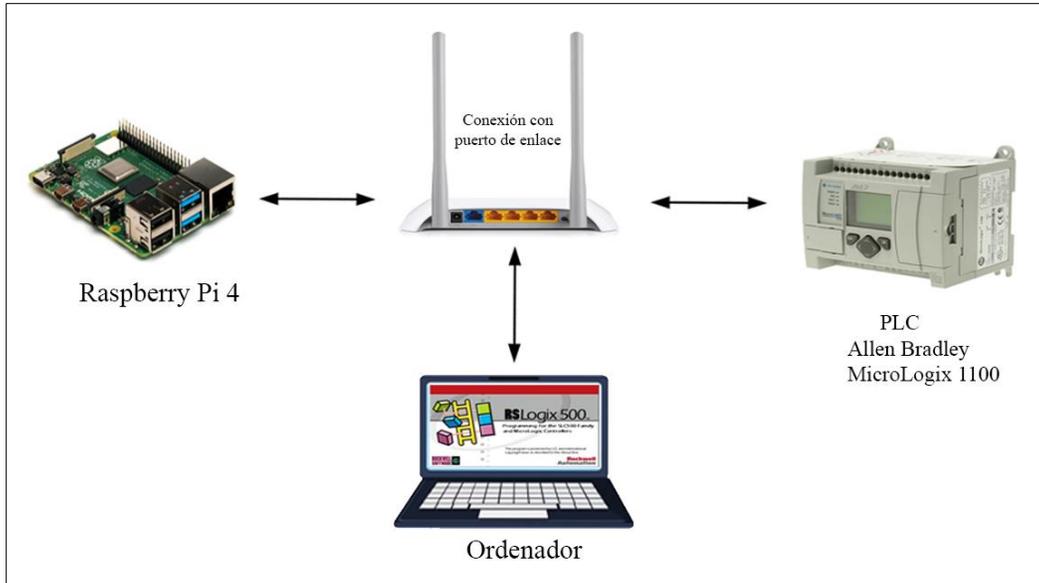


Fig. 57 Conexión de PLC, Raspberry PI 4 y RSLogixEnglish mediante un módulo Ethernet

3.3 Diagrama general de conexión

El monitoreo y control del proceso se realiza mediante la Interfaz Gráfica creada en Node-RED, el estado de las entradas y salidas del PLC Allen Bradley son enviadas a la Raspberry PI 4B y posteriormente se visualiza su comportamiento en la pantalla de 7 pulgadas instalada cerca de la planta o proceso, el control de manera remota se efectúa una vez realizada la configuración respectiva del software Remotelt. En la Figura 58 se muestra el diagrama general de conexión del proceso.

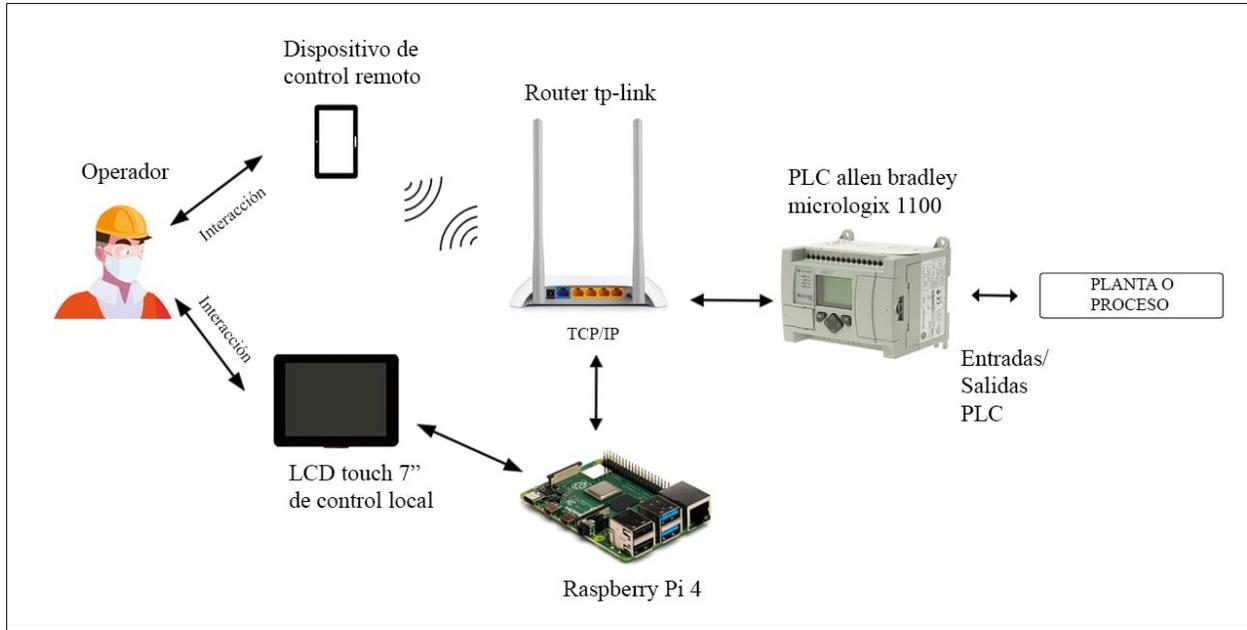


Fig. 58 Diagrama general del sistema de monitoreo y control IoT

3.4 Diagrama de flujo de funcionamiento del sistema

Con el propósito de entender el modo de operación general del sistema se presenta el siguiente diagrama de flujo de la Figura 59 teniendo en cuenta los dos modos de funcionamiento: modo manual y modo automático resaltando que el control de ambos modos se realiza desde la Interfaz Gráfica del sistema.

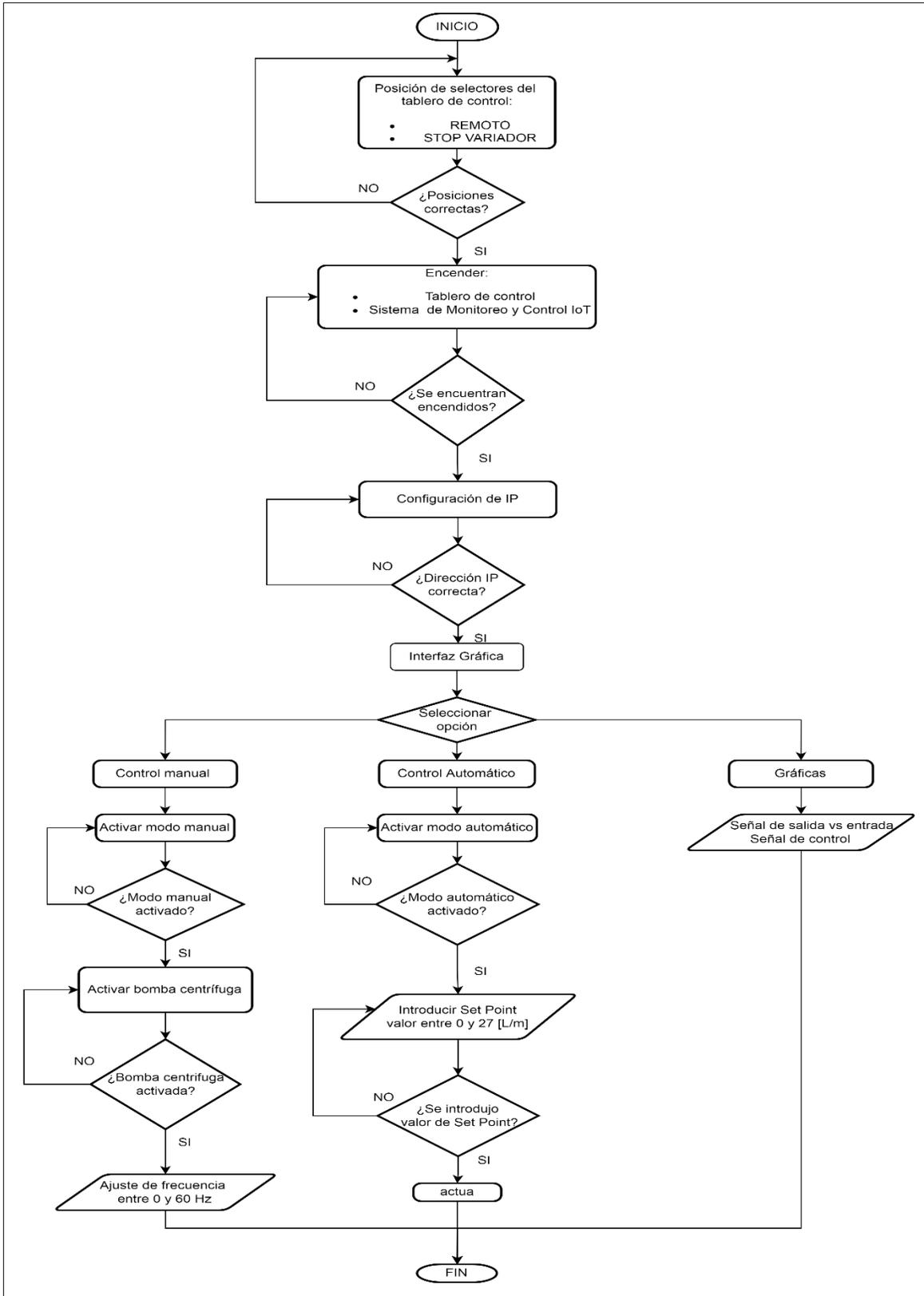


Fig. 59 Diagrama de flujo de funcionamiento del sistema

3.5 Montaje de dispositivo en el módulo de control de caudal de líquidos

El montaje del dispositivo se lo realizó en una carcasa similar a un mini pc, está elaborado con lámina de acrílico de 3mm de grosor con sus respectivas salidas HDMI y fuente de alimentación USB hacia la pantalla de visualización de acuerdo con el diseño presentado en la Figura 53 del Capítulo 2. Se usó lámina de acrílico debido a su ligereza y capacidad dieléctrica evitando que existan contactos no deseados entre la carcasa y partes sensibles del controlador. En la Figura 60 se presenta el montaje del sistema de monitoreo y control IoT.

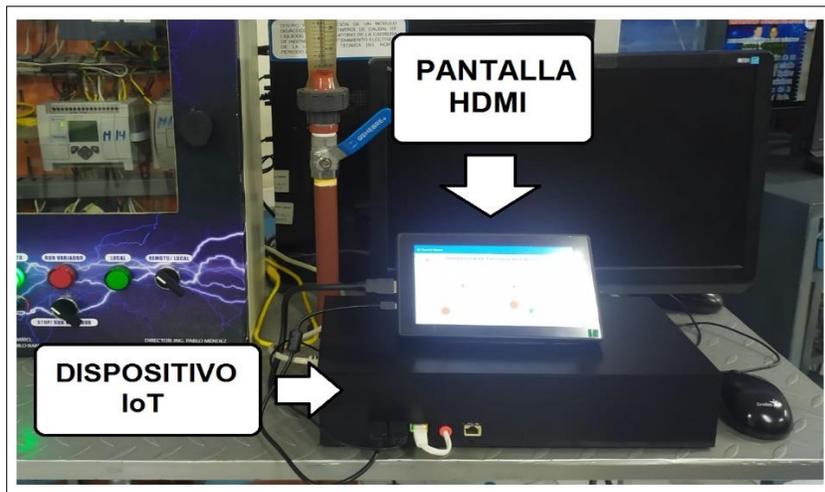


Fig. 60 Montaje del sistema de monitoreo y control IoT

La parte interna del dispositivo cuenta con los siguientes componentes: Raspberry PI con dos ventiladores de disipación de calor, Router tp-link, tomacorriente, conector de alimentación de 110V, interruptor de activación del sistema. En la Figura 61 se observa los elementos mencionados.

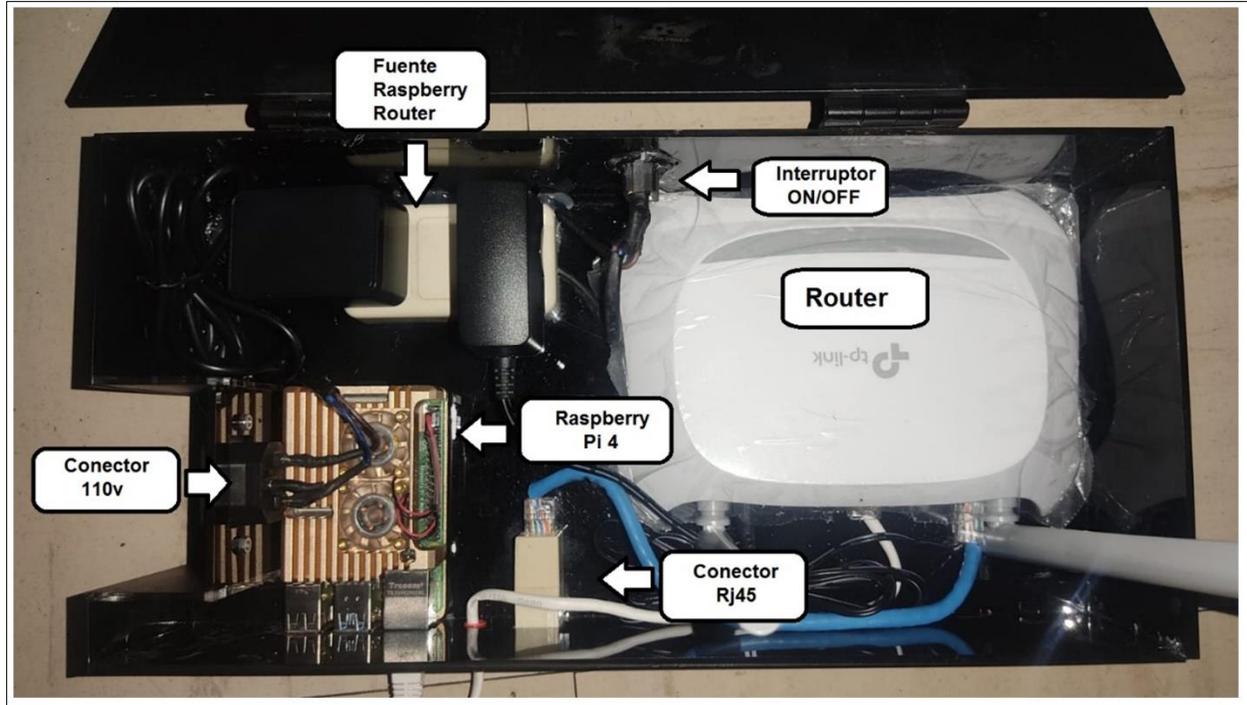


Fig. 61 Componentes del sistema de monitoreo y control IoT

La pantalla LCD de 7" se alimenta desde el puerto USB de 5V DC del microcontrolador Raspberry PI a la entrada "TOUCH". Para el sistema video y sonido se conecta un cable HDMI con adaptador a micro HDMI. Antes de poner la marcha el dispositivo, solicite el manual de funcionamiento y mantenimiento del sistema de monitoreo y control IoT.

3.6 Pruebas de funcionamiento

El funcionamiento del sistema de monitoreo y control IoT para el módulo de caudal se evalúa mediante las respectivas pruebas del modo manual, modo automático y gráficas de monitoreo de la Interfaz Gráfica. A su vez se evalúa el funcionamiento de sistema vía remota mediante el software Remotelt que permite controlar el sistema desde un dispositivo móvil u ordenador desde cualquier parte del mundo.

Configuración de tablero de control, acceso a Interfaz Gráfica y Remotelt

Encender el tablero de control y colocar el selector en modo remoto y stop variador como se observa en la Figura 62 antes de ingresar a la Interfaz Gráfica del sistema.



Fig. 62 Configuración del tablero de control

Posteriormente se selecciona el ícono de Navegador web ubicado en escritorio. En la Figura 63 se indica el icono de navegador web a seleccionar.



Fig. 63 Acceso a Node-RED y Remotelt

Se desplegará automáticamente dos ventanas en la primera se encuentra la interfaz Gráfica y la segunda, la plataforma de Remotelt listos para usarse como muestra la Figura 64.

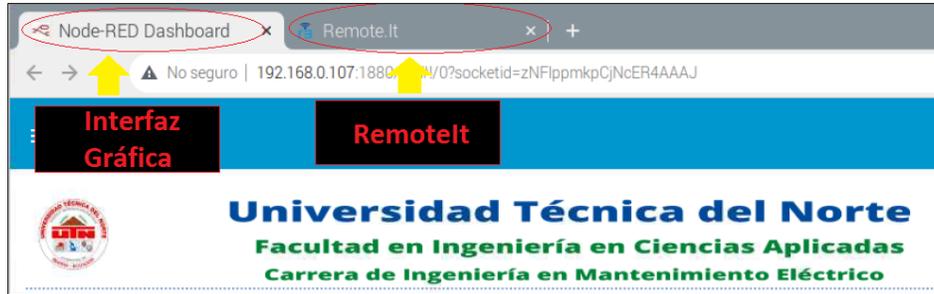


Fig. 64 Visualización de la ventana de Interfaz Gráfica y Remotelt

3.7 Prueba 1: Activar/Desactivar Control Manual

Para activar el modo manual una vez dentro de la Interfaz gráfica del sistema se debe seguir los siguientes pasos:

Pasos para activar el “MODO MANUAL”

1. En la sección “MODO DE FUNCIONAMIENTO” seleccione el switch en “Encendido”.
2. En la sección “BOMBA CENTRÍFUGA” seleccione el switch en “Encendido”.
3. En la sección “CONTROL DE CAUDAL” mueva el “Slider” al valor deseado en un rango de 0 a 60 (Hz).

En la Figura 65 se observa como el sistema se activa al seguir cada uno de los pasos mencionados anteriormente.



Fig. 65 Activación del Control Manual de la Interfaz Gráfica

El modo manual permite obtener un valor de caudal deseado mediante la variación de la frecuencia en un rango de 0 a 60 (Hz). Mediante el visualizador de Caudal se observa que para obtener 10.7 (L/m) el variador de frecuencia debe trabajar a 20(Hz).

Pasos para desactivar el “MODO MANUAL”

1. En la sección “CONTROL DE CAUDAL” mueva el “Slider” al valor igual a 0
2. En la sección “BOMBA CENTRÍFUGA” seleccione el switch en “Apagado”.
3. En la sección “MODO DE FUNCIONAMIENTO” seleccione el switch en “Apagado”.

En la Figura 66 se observa como el sistema se desactiva al seguir cada uno de los pasos mencionados anteriormente.



Fig. 66 Desactivación del Control Manual de la Interfaz Gráfica

Al poner el variador de frecuencia en 0 (Hz) el sistema deja de trabajar, pero el variador de frecuencia aún sigue encendido por lo tanto es necesario apagarlo en la sección “BOMBA CENTRÍFUGA”. Por último, se desactiva el modo manual para proceder a usar el siguiente modo de funcionamiento denominado “Control Automático”.

3.8 Prueba 2: Activar/Desactivar Control Automático

Para activar el modo automático una vez dentro de la Interfaz gráfica del sistema se debe seguir los siguientes pasos:

Pasos para activar el “MODO AUTOMÁTICO”

1. En la sección “MODO DE FUNCIONAMIENTO” seleccione el switch en “Encendido”.
2. En la sección “SET POINT” en el apartado CAUDAL * introduzca un valor numérico entre 0 a 27 (L/m) y luego de clic en aceptar.
3. En la sección “CONTROL PID” se puede previsualizar el comportamiento de la Señal de salida vs Set Point, a su vez se puede observar el caudal obtenido y la frecuencia de trabajo del variador.

En la Figura 67 se observa como el sistema se activa al seguir cada uno de los pasos mencionados anteriormente.



Fig. 67 Activación del Control automático de la Interfaz Gráfica

El modo automático permite realizar el control respectivo al ingresar un valor de SET POINT igual a 15 (L/m). En la sección CONTROL PID se observa en la previsualización como la variable del proceso PV_PID alcanza rápidamente al valor seteado SP_PID. A su vez se observa el caudal obtenido de 15.1 (L/m) y una frecuencia de trabajo de 29.3 (Hz).

Pasos para desactivar el “MODO AUTOMÁTICO”

1. En la sección “SET POINT” en el apartado CAUDAL* introduzca un valor numérico igual a 0 (L/m) y luego de clic en aceptar.
2. En la sección “MODO DE FUNCIONAMIENTO” seleccione el switch en “Apagado”.

En la Figura 68 se observa como el sistema se desactiva al seguir cada uno de los pasos mencionados anteriormente.



Fig. 68 Desactivación del Control automático de la Interfaz Gráfica

3.9 Prueba 3: Visualización de Gráficas del sistema de monitoreo

El monitoreo del módulo de caudal de líquidos permite determinar las variaciones del sistema mediante el trazo de valores en el tiempo. La Figura 69 muestra dos gráficas, en la gráfica ubicada al costado izquierdo se representa la “Señal de Salida vs Señal de entrada” y en la gráfica ubicada al costado derecho se representa la “Señal de control”.

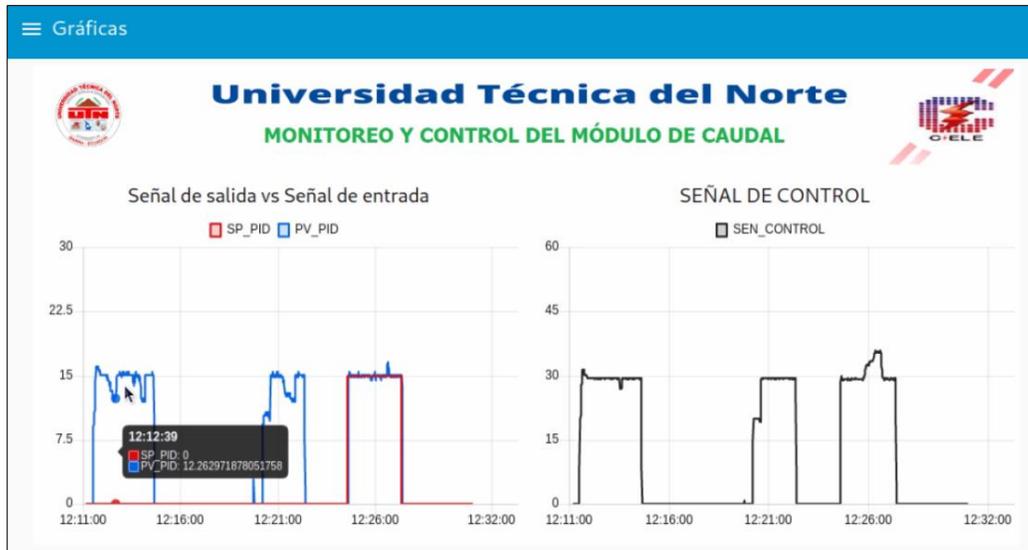


Fig. 69 Monitoreo de señales de la Interfaz Gráfica

3.10 Análisis de respuesta del control PID

En la Figura 70 se observa el comportamiento de la “Señal de salida vs señal de entrada” en un tiempo aproximado de veinte minutos. Se puede analizar que el sistema funcionó en Modo Manual en un lapso de cuatro minutos aproximadamente debido a que el valor de Set Point (SP_PID) en ese periodo es igual a cero. A partir de la hora 12:26 se observa que se ha activado el Modo Automático ya que el valor de Set Point se establece en 15 (L/m) mientras que la variable del proceso (PV_PID) trata de mantenerse en el valor seteado mediante el control PID. A pesar de haber establecido perturbaciones de manera manual mediante el cierre de la válvula de control de caudal, el control PID lograba mantener el caudal en 15 (L/m).



Fig. 70 Comportamiento de la señal de salida vs la señal de entrada

El variador de frecuencia cumple la función de actuador en este proceso, por tal motivo la frecuencia con la que trabaje da como resultado la “SEÑAL DE CONTROL” como se observa en la Figura 71.

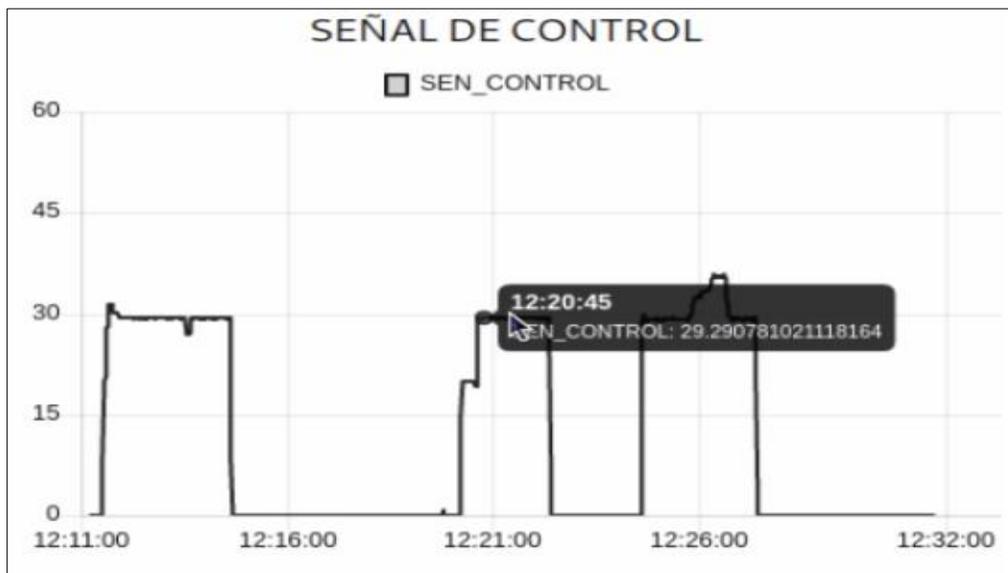


Fig. 71 Comportamiento de la señal de control

3.11 Prueba 4: Funcionamiento del sistema de monitoreo y control IoT de forma remota

El software Remotelt permite acceder al sistema de monitoreo y control IoT hasta cinco dispositivos de manera gratuita. Para acceder a la Interfaz gráfica se copia la dirección asignada por el software como se observa en la Figura 72 y se añade /ui al final, como se explica a continuación.

Ejemplo:

Dirección+/ui

bd2g9d5mew6aft.p19.rt3.io/ui

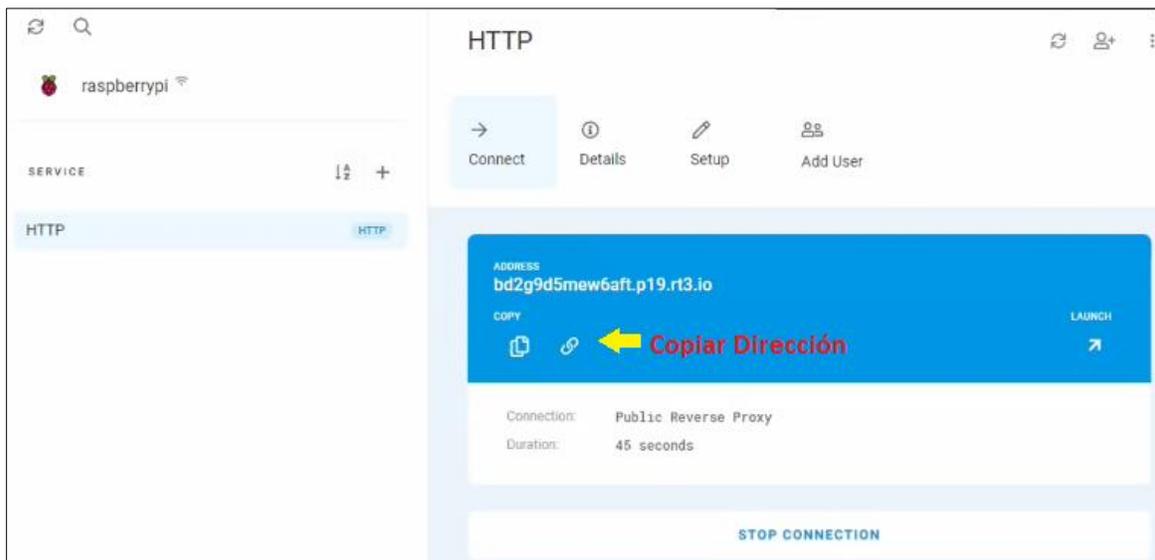


Fig. 72 Obtención de dirección de enlace remoto con la interfaz gráfica

Al copiar la dirección de enlace se logra tener acceso a la Interfaz gráfica del sistema de monitoreo y control IoT como se observa en la Figura 73. De esta manera se puede realizar las mismas actividades: Control manual, control automático y monitoreo de gráficas del módulo de caudal de líquidos.



Fig. 73 Acceso a la Interfaz Gráfica a través de un dispositivo externo

Para comprobar el funcionamiento del sistema el control se efectuó la conexión desde un lugar distinto a la Universidad Técnica del Norte y una vez realizadas las pruebas respectivas se ejecutó la desconexión del monitoreo y control de manera remota presionando en la opción “STOP CONNECTION”.

3.12 Análisis de costo entre el sistema de monitoreo y control IoT y HMI industrial

Para analizar el costo se presenta la Tabla 3.1 de dispositivos HMI comerciales en el Ecuador y el sistema de monitoreo y control IoT considerando las dimensiones de la pantalla, funcionalidad y compatibilidad de comunicación entre dispositivos.

El sistema de monitoreo y control IoT diseñado mediante software de código abierto brinda flexibilidad para desarrollar proyectos de investigación y experimentación debido a que cuenta con una comunidad de usuarios dispuestos a resolver problemas, además de añadir nuevas características y estar constante actualización compitiendo con los dispositivos HMI industriales que se caracterizan por ser seguros y confiables.

Tabla 3. 1
Costo Promedio de Dispositivos HMI Comerciales

HMI	Dimensiones de pantalla	Costo Promedio USD	Diferencia USD
SIEMENS HMI BASIC	7”	1252	1032

ALLEN BRADLEY	7"	880	660
DELTA	7"	367	117
IoT Raspberry	7"	220	0

Al realizar la implementación del sistema de monitoreo y control IoT para el módulo de caudal de líquidos basado en aplicaciones de código abierto se tiene una diferencia de 117 USD con respecto a los dispositivos de marca Delta. Frente a la marca Allen Bradley la diferencia es de 660 USD por lo que el proyecto cumple con ventajas económicas para la función que cumple.

Finalmente, la diferencia con el panel Siemens HMI Basic es de 1032 USD, si bien el dispositivo presenta mayores funcionalidades, el dispositivo IoT brinda competitividad ante todos los dispositivos mencionados.

CONCLUSIONES

- En conclusión, describir los componentes y las diversas tecnologías relacionadas a los microcomputadores Raspberry PI, Node Red y Remote IT permitió entender el comportamiento de los componentes que forman parte del sistema de monitoreo y control IoT.
- Se diseñó el sistema de monitoreo y control basado en IoT con el software de código abierto Node-RED obteniendo un una Interfaz Gráfica de Usuario que posee un control manual, control automático y gráficas de comportamiento en tiempo real. Además, se realizó las configuraciones necesarias que han permitido establecer el enlace de acceso remoto a través de la plataforma Remotelt.
- Se evaluó el funcionamiento del sistema de monitoreo y control IoT mediante la interacción con su Interfaz Gráfica de manera local y a través de la plataforma Remotelt de manera remota permitiendo acceder hasta cinco dispositivos de manera simultánea.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda buscar nuevas alternativas para realizar la conexión remota debido a que Remotelt solo permite el acceso simultáneo a cinco dispositivos como máximo, de esta manera se evita que con el paso del tiempo el Sistema de Monitoreo y Control IoT se vuelva obsoleto.
- Para mejorar el Sistema de Monitoreo y Control IoT se puede optar por colocar un sistema de alarma capaz de detectar cuando el nivel de líquido se encuentra en estado crítico a fin de alargar la vida útil del módulo de caudal.
- Se puede considerar en un futuro la creación de un sistema SCADA usando el Software Node-RED debido al gran soporte que tiene su plataforma, por el momento la información que se tiene al respecto es muy escasa y se requiere un nivel avanzado en programación para ejecutarlo.

REFERENCIAS

- AADECA. (s.f de Octubre de 2016). Protocolos IloT para considerar. *Artículo técnico*, págs. 33-34.
- ABB. (15 de Febrero de 2017). *Dispositivos de mando y control*. Obtenido de Controle su tecnología avanzada: <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/aparamentamodular/dispositivos-de-mando-y-control>
- Arrow. (01 de Julio de 2015). *Protocolos para la Internet de las cosas*. Obtenido de Protocolos dedicados de IoT: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/protocols-for-the-internet-of-things>
- Aza, L., & Bastidas, D. (2015). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE CAUDAL DE LÍQUIDOS EN EL LABORATORIO DE LACARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO DE LAUNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, PERIODO 2015. (*Tesis de pregrado*). Universidad Tecnica del Norte, Ibarra.
- Barrio, M. (2018). Internet de las cosas. En M. Barrio, *Internet de las cosas* (pág. 13). Madrid: Reus.
- Benavides, J. (2015). *DISEÑO DE UNA INTERFAZ HUMANO MÁQUINA PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO EN LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4853>
- Bonilla, D. (2021). IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADORES PID Y POR ESPACIOS DE ESTADOS, INTEGRADOS A UN SISTEMA DINÁMICO REAL. (*Tesis de pregrado*). Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Bricio, E. (2015). *IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS NUMÉRICAS ESTOCÁSTICAS DE OPTIMIZACIÓN GLOBAL SOBRE ESQUEMAS DE CONTROL DE PROCESO*.
- Capterra. (2022). *VNC Connect*. Obtenido de ¿Qué es VNC Connect?

- Carbotecnia. (05 de Mayo de 2022). *Rotámetro o flujometro cuadrado de montaje en panel*.
Obtenido de Rotámetros o Flujómetros para montar en panel.:
<https://www.carbotecnia.info/producto/rotametros-de-montaje-en-panel/>
- Castro, C., & Romero, C. (2022). Introducción a SCADA. *Universidad de Córdoba*, 4.
- Cegelski, C. (2019). *La automatización como el motor del desarrollo*. Argentina: Editorial Universtaria.
- ComarGroup. (Octubre de 2019). *Bombas de Agua*. Obtenido de Bomba de Agua:
<http://comargroup.com/bomba-agua-075-kw>
- Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. México D.F: Alfaomega Grupo editor S.A.
- ElectricalChile. (s.f de s.f de 2020). *ElectricaChile*. Obtenido de Programar Contadores en RSLogix 500 PLC Allen Bradley: <https://www.electricalchile.cl/plcallenbradley4.php>
- Escalante , D., & Vargas, D. (2019). Raspberry pi: la tecnología reducida en placa. *Tecnología en sistemas de información*, 1.
- Espinosa, B., & Orellana, M. (2021). *DESARROLLO DE APLICACIONES DE MONITOREO Y CONTROL BASADAS EN IOT A TRAVÉS DE LA PLATAFORMA UBIDOTS. APLICACIONES A SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN BAJO ENTORNOS DE SIMULACIÓN*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca.
- Eurobots. (2017). Avances de la Automatización Industrial. *Eurobots*, 1.
- Garcia, E. (2019). Automatización de Procesos Industriales. *Universidad Politécnica de Valencia*, 19.
- García, S. (2018). Desarrollo de Paneles de Control para redes IoT basados en NODERED. *Universidad Politécnica de Valencia*, 3.
- González, I. (03 de Octubre de 2019). *predictiva21*. Obtenido de La Industria y los Protocolos de Comunicación: <https://predictiva21.com/industria-protocolos-comunicacion/>
- Kowalewski, O. (2018). *Evaluación de protocolos limitados de nivel de aplicacion para Internet de las Cosas (Tesis de Pregado)*. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.

López, J. M. (05 de Marzo de 2021). *Software*. Obtenido de Hipertextual: <https://hipertextual.com/2021/03/control-remoto-raspberry-remoteit>

Mira la diferencia. (2021). *Diferencia entre Teamviewer y VNC*. Obtenido de ¿Qué es Teamviewer?: <https://miraladiferencia.com/negocios/diferencia-entre-teamviewer-y-vnc-con-tabla/#:~:text=los%20diferencia%20entre%20Teamviewer%20y%20VNCes%20que%20Teamviewer,computadora.%20Tabla%20de%20comparaci%C3%B3n%20entre%20Teamviewer%20y%20VNC>

Node-RED. (15 de Abril de 2022). *Node-RED*. Obtenido de flows: <https://flows.nodered.org/flow/33a93ac5418009993d38c00009ef453e>

PickData. (21 de Octubre de 2019). *MQTT vs CoAP, la batalla por ser el mejor protocolo IoT*. Obtenido de ¿Qué es MQTT?: <https://www.pickdata.net/es/noticias/mqtt-vs-coap-mejor-protocolo-iot>

Pizarro, J. (2020). *Internet de las cosas (IOT) con ESP. Manual práctico*. Madrid: Paraninfo.

Placas de desarrollo. (2020). *Todo sobre las placas de desarrollo para IoT*. Obtenido de ¿Qué es una placa de desarrollo?: <https://www.placasdedesarrollo.com/>

Programas de control remoto. (2022). *Programas de control remoto PCR*. Obtenido de Qué es un Programa de Control Remoto: <https://programasdecontrolremoto.com/>

Puetate, D. (2022). *IoT para la supervisión y control de circuitos de iluminación (Tesis de Pregrado)*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12049/2/04%20MEL%20144%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

Raspberry Pi . (1 de Junio de 2019). *Raspberry Pi 4 Model B*. Obtenido de Raspberry Pi 4 Model B Datasheet: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>

Remote.It. (21 de Marzo de 2022). *remote.it*. Obtenido de Developer Cloud Access in 5 minutes: <https://www.remote.it>

- Robots Didácticos. (15 de Diciembre de 2019). *Comparación Arduino Uno – Arduino Nano*. Obtenido de robótica, Automatización, control industrial, microcontroladores, electrónica digital: <https://robots-argentina.com.ar/didactica/comparacion-arduino-uno-arduino-nano/>
- Rockwellautomation. (2022). *Allen Bradley*. Obtenido de Sistemas de controlador lógico programable MicroLogix 1100: <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/micro-controllers/micrologix-family/micrologix-1100-controllers.html>
- Rodríguez, F., Hernández, A., & Ramírez, J. (2018). Adquisición de datos analógicos con alta precisión usando una Computadora de Placa Única. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 69.
- Rodríguez, P. (2017). Diseño de Interfaces Hombre-Máquina. *Universidad Austral de Chile*, 1.
- Salcedo, M. (2015). Minicomputador educacional de bajo costo Raspberry Pi: Primera parte. *Ethos Venezolana*, 28-45.
- TeamViewer. (2022). *TeamViewer para Windows*. Obtenido de <https://www.teamviewer.com/es-mx/descarga/windows/#:~:text=Descarga%20TeamViewer%20para%20Windows%20%20Establece%20conexiones%20entrantes,y%20empieza%20a%20utilizarla%20inmediatamente%20de%20manera%20gratuita>
- Tecfluid. (2019). *Tecfluid The art of measuring*. Obtenido de Caudalímetros tipo turbina para la industria de proceso: <https://tecfluid.com/caudalimetros-turbina-industria-proceso/>
- Torres, S. (2021). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HMI MEDIANTE APLICACIONES DE CÓDIGO ABIERTO PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE UN SISTEMA DINÁMICO REAL*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11651>
- tp link. (13 de Junio de 2022). *TL-WR840N*. Obtenido de Velocidad N inalámbrica de 300Mbps: <https://www.tp-link.com/mx/home-networking/wifi-router/tl-wr840n/#overview>
- Waveshare. (29 de Marzo de 2022). *Pantalla táctil capacitiva de 7 pulgadas LCD (H) con estuche, 1024x600, HDMI, IPS, soporte de varios sistemas*. Obtenido de Pantalla Táctil HDMI De 7": <https://www.waveshare.com/7inch-hdmi-lcd-h-with-case.htm>

Wong, K., & Sayo, P. (2017). Free/Open Source Software. *International Open Source Network*, 5.

ANEXOS

ANEXO A: Configuraciones de Raspberry

Los pasos para la utilización del dispositivo se detallan a continuación.

- a) Instalar Raspberry Pi Imager.
- b) Descargar el sistema operativo Raspbian Os de la página oficial.
- c) Montar la imagen ISO en una tarjeta microSD de clase 10, con capacidad mínima de 8 GB.
- d) Abrir Raspberry Pi Imager.

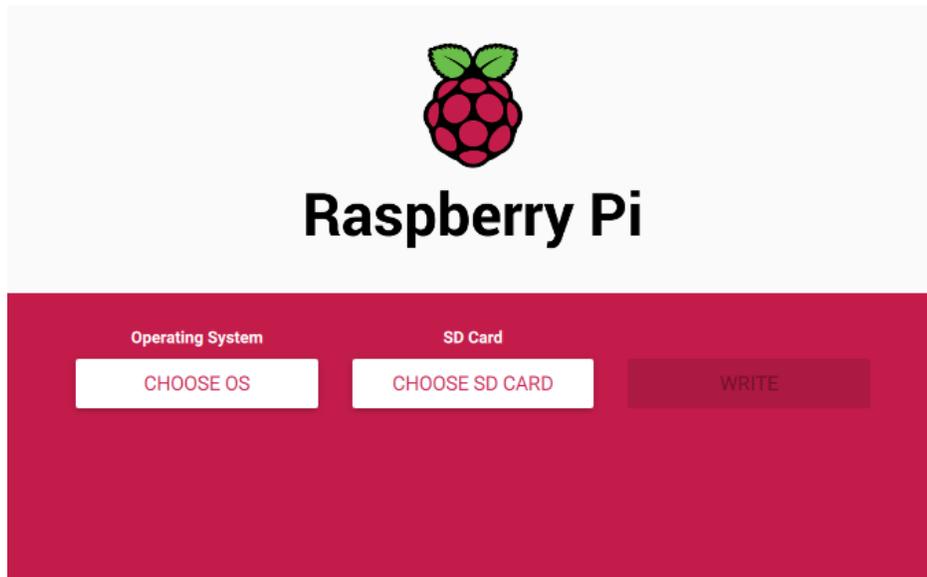


Figura 1 Instalación de Raspbian S.O

- e) Seleccionar el sistema operativo a instalar (Raspbian).
- f) De forma automática se descargará e instalará el sistema operativo seleccionado en la tarjeta Micro SD.
- g) Ejecutar los comandos en la terminal de Raspberry
Buscar actualizaciones del sistema: `sudo apt-get update`
Instalar actualizaciones: `sudo apt-get upgrade`.

ANEXO B: Configuración del router inalámbrico tp-link

Configuración rápida WISP

Permite a varios usuarios compartir conexión a internet. La red que se desea compartir tiene los siguientes datos:

- SSID (del puente) LAB CONTROL
- Contraseña Inalámbrica: Campus..1986#
- La nueva red local creada es:
- SSID de red local: ModuloCaudal_Tesis
- Contraseña inalámbrica: 12345678
- La Figura 2 sirve como guía para la creación de la Red local

Configuración Rápida - Inalámbrico

Región

Región: Ecuador

Configuración del Cliente

SSID (del Puente): LAB CONTROL

Dirección MAC (del puente): CC:DB:93:EE:C6:A1 ejemplo, 00:1D:0F:11:22:33

Escanear

Tipo de Clave: WPA2-PSK

Encriptación: AES

Contraseña Inalámbrica: Campus..1986#

Configuración de AP

SSID de red local: ModuloCaudal_Tesis

Seguridad:

WPA2-PSK (Recomendado)

Contraseña Inalámbrica 12345678

(Ingresar los caracteres ASCII entre 8 y 63 o caracteres Hexadecimales entre 8 y 64.)

Deshabilitar la Seguridad Inalámbrica

Regresar Siguiente

Figura 2 Configuración de Red local

Configuración LAN

- Dirección IP: 192.168.111.1
- Máscara de Subred: 255.255.255.0
- En la Figura 3 se observa la configuración LAN del router tp-link.

Configuraciones de la LAN

Dirección MAC: 14:EB:B8:5C:F4:26

Dirección IP:

Máscara de Subred:

Figura 3 Configuración LAN

ANEXO C: Configuración de la pantalla Waveshare de 7"



Figura 4 Características de la pantalla Waveshare de 7"

En la Tabla 1 se añade algunas características importantes de la pantalla Waveshare.

Tabla 1
Características de la Pantalla Waveshare de pulgada

Características	
Tamaño	Pantalla IPS de 7 pulgadas,
Resolución	Resolución de hardware de 1024x600, configurable por software (hasta 1920x1080)
Control	Panel táctil capacitivo de vidrio templado, dureza 6H
Compatibilidad	Cuando funciona con Raspberry Pi, es compatible con Raspbian / Ubuntu / Kali / Retropie / WIN10 IOT, sin controlador Cuando funciona como monitor de computadora, es compatible con Windows 10 / 8.1 / 8 / 7, cinco puntos táctiles y sin controlador
Angulo de inclinación	Carcasa de PC de alta calidad, ángulo de inclinación opcional: 30 ° / 50 °
Conexión	Puertos HDMI/VGA
Alimentación	5V mediante cable Micro USB

Instalación de controlador de pantalla para compatibilidad con Raspbian S.O

Para que la pantalla Waveshare brinde el mejor rendimiento se debe instalar un comando en el directorio raíz como se explica en la Tabla 2.

Tabla 2
Controlador de Pantalla Waveshare

Comando	Descripción
max_usb_current=1 hdmi_group=2 hdmi_mode=87 hdmi_cvt=1024 600 60 6 0 0 0 hdmi_drive=1	Conecte la tarjeta TF a la PC Abra el archivo config.txt en el directorio raíz de la tarjeta TF Agregue en comando en la configuración.txt, luego guarde y expulse la tarjeta TF de forma segura.

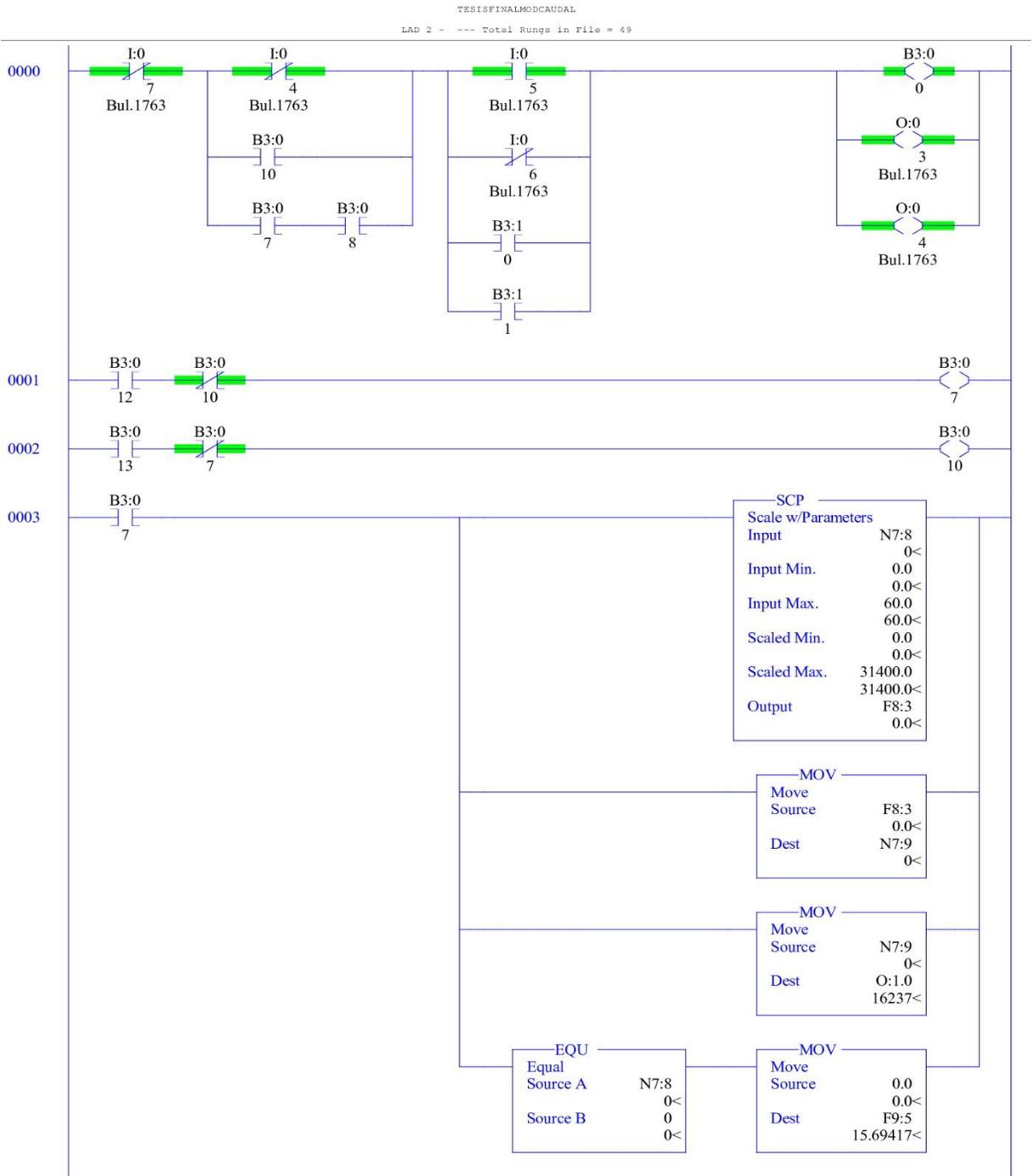
ANEXO D: Variables Node-RED

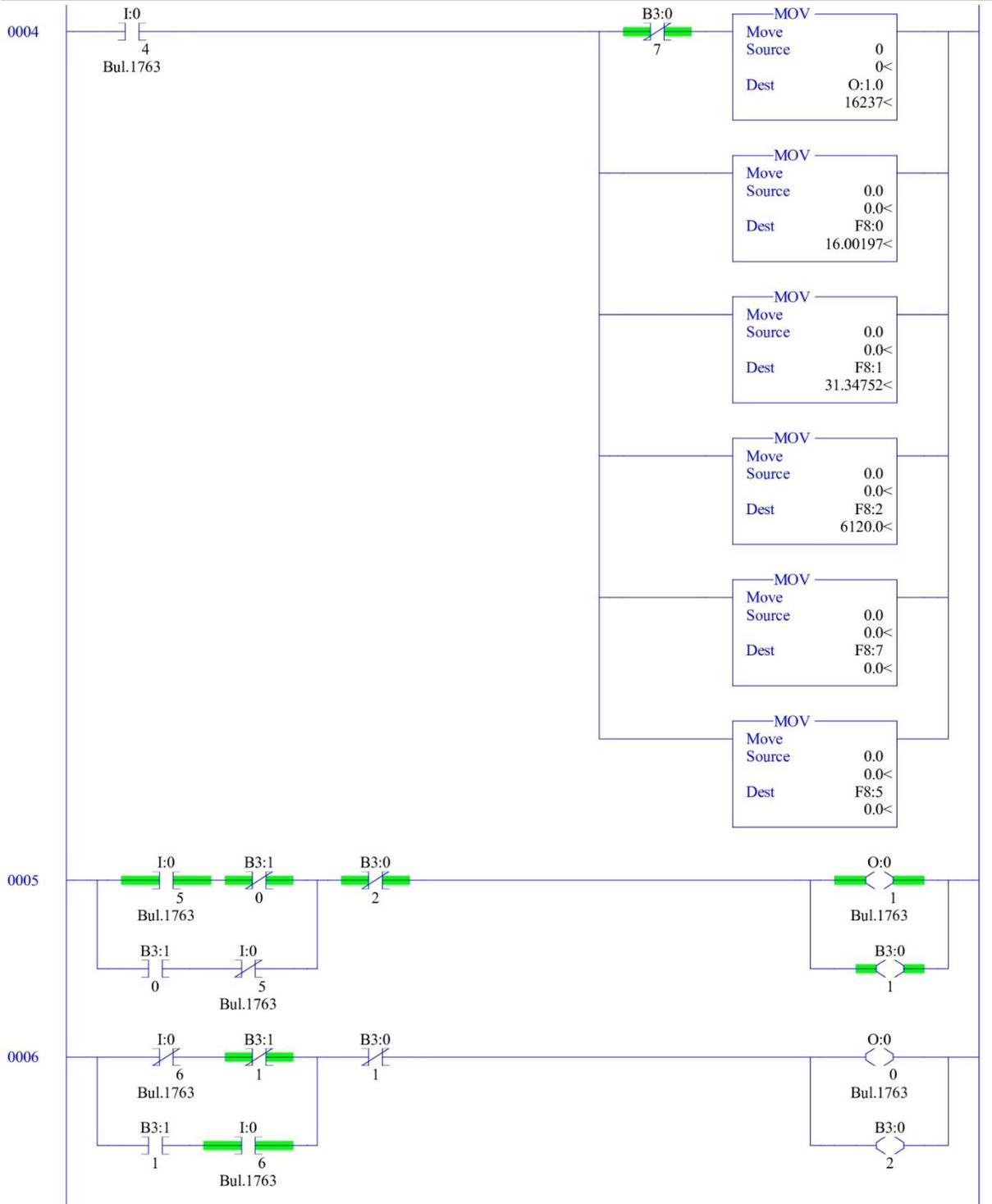
En la Tabla 3 se identifica las variables empleadas en el software Node-RED para los nodos pccc in y pccc out:

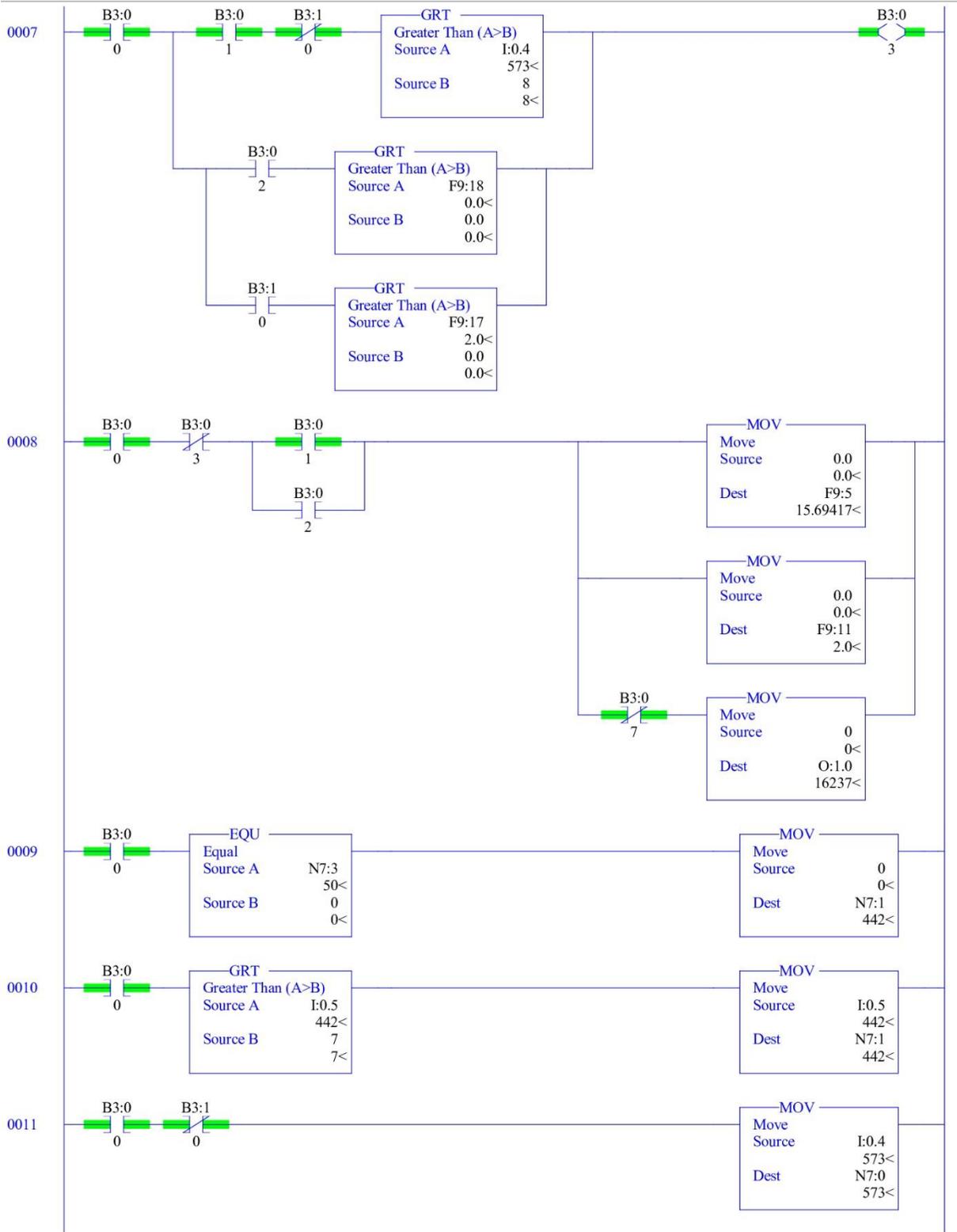
Tabla 3
Variables Empleadas para el Diseño de la Interfaz Gráfica

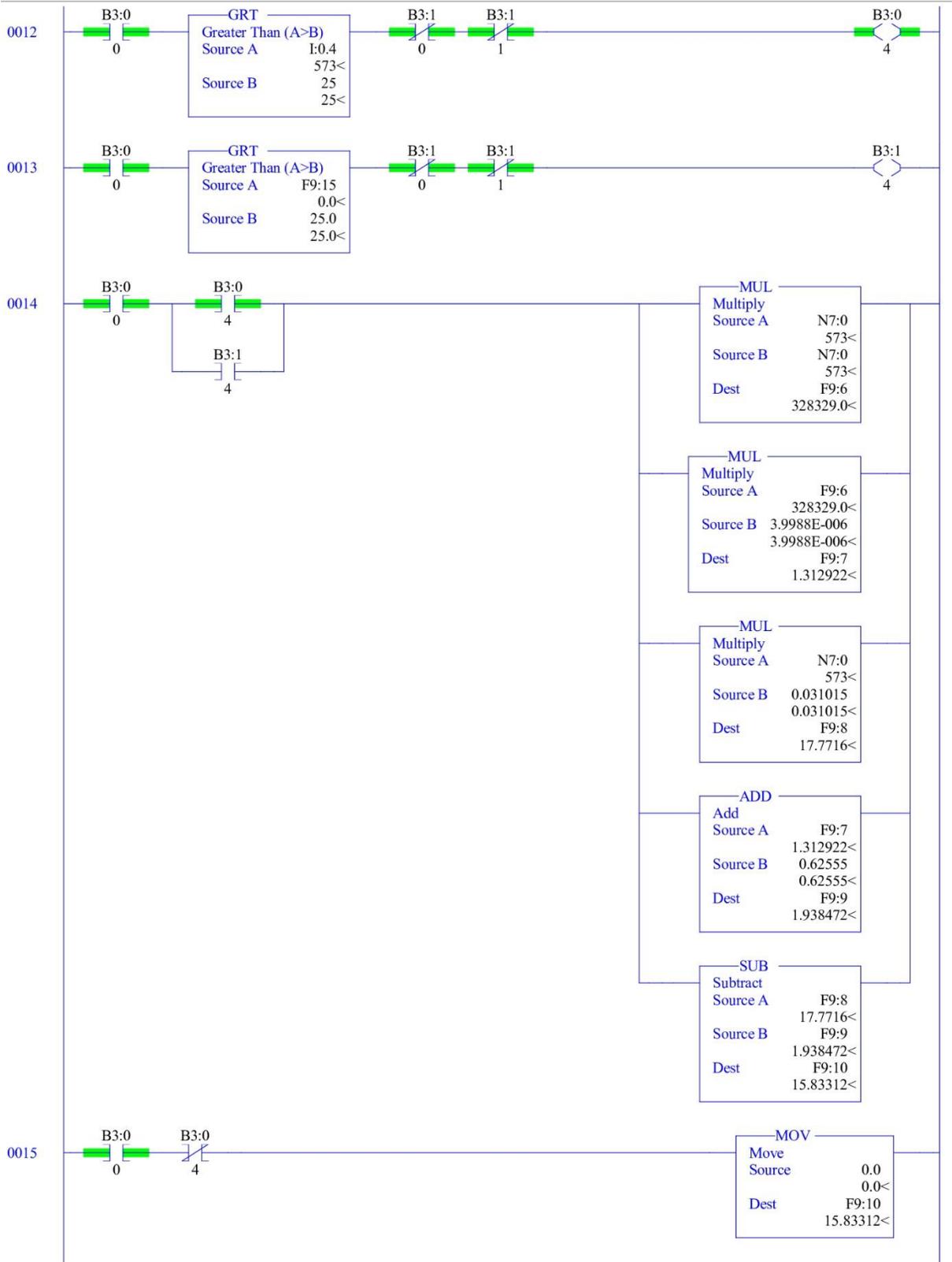
Variable	Memoria	Descripción
MANUAL_HMI	B3:0/12	Escribe datos en el PLC
BOMBA_MANUAL	B3:0/8	Escribe datos en el PLC
VARIAC_FREC	N7:8	Escribe datos en el PLC
VAL_PROCESS	F9:5	Lee datos del PLC
RUN_VARIADOR	B8:0/13	Escribe datos en el PLC
SP_HMI	F9:18	Escribe datos en el PLC
Frecuencia	F8/1	Lee daos del PLC

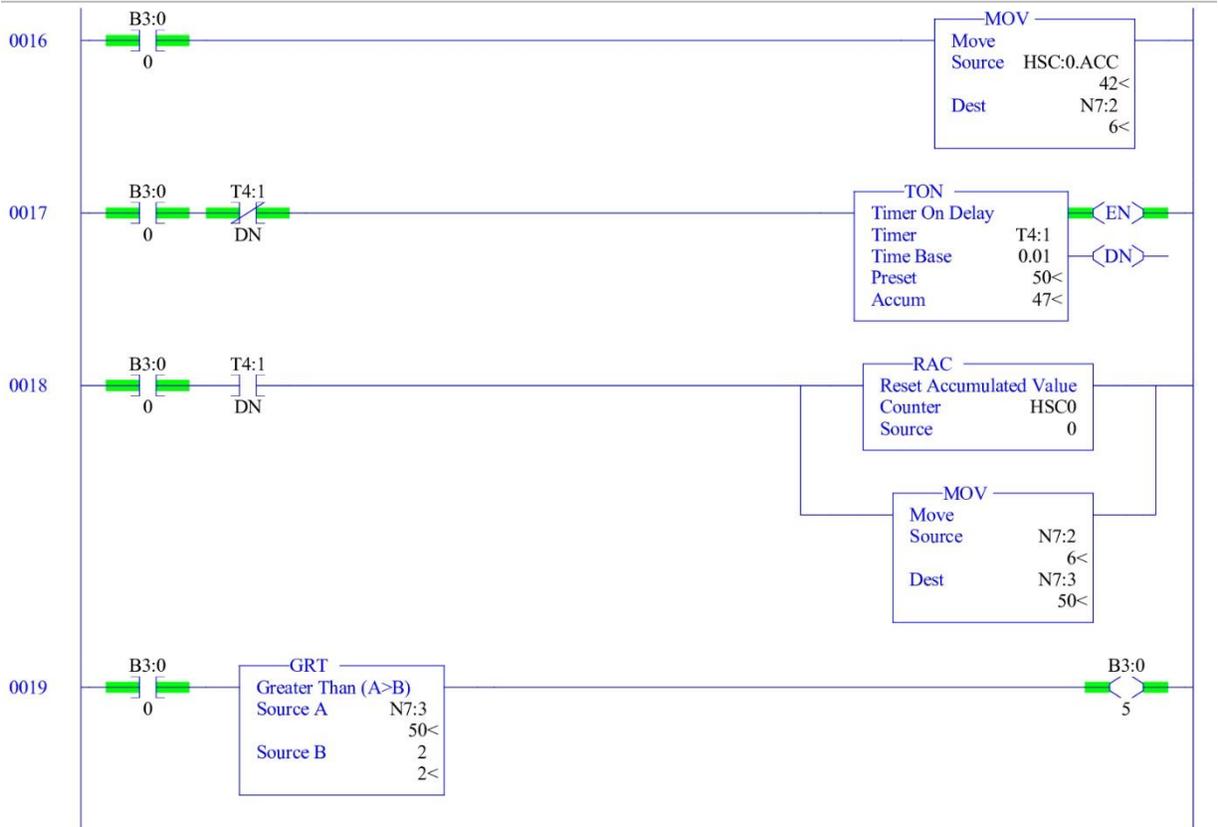
ANEXO E: Programación Ladder RSLogix500

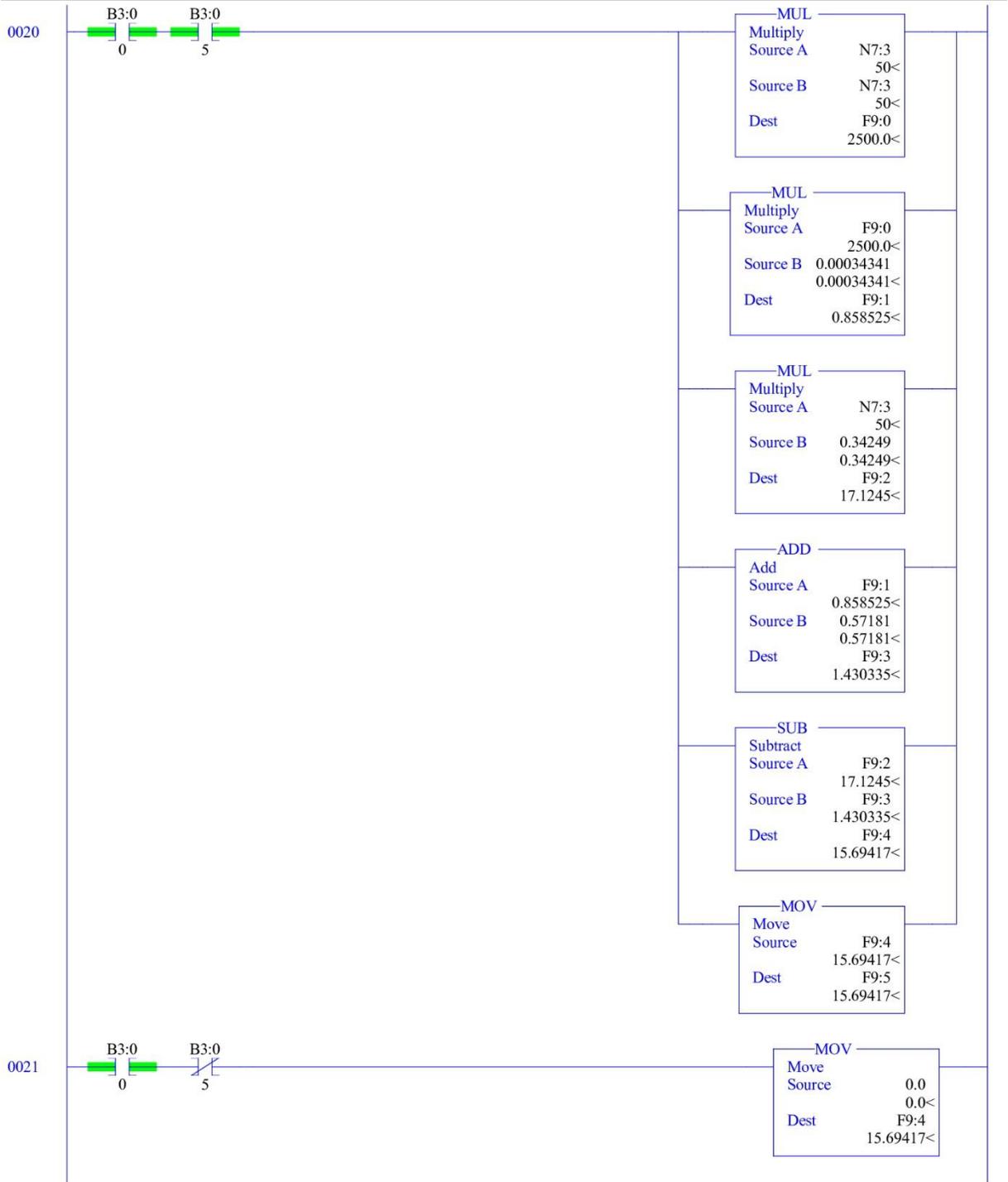


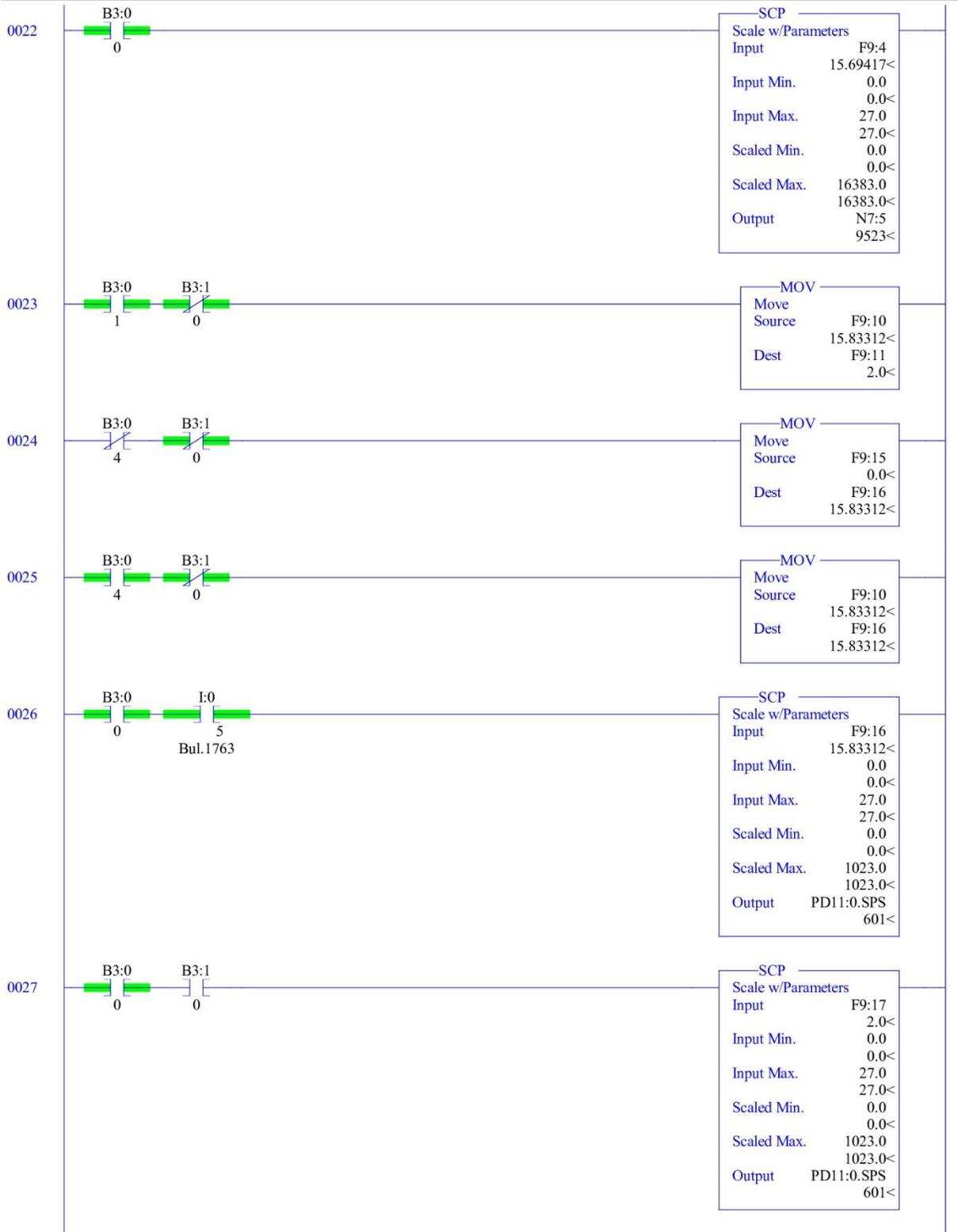




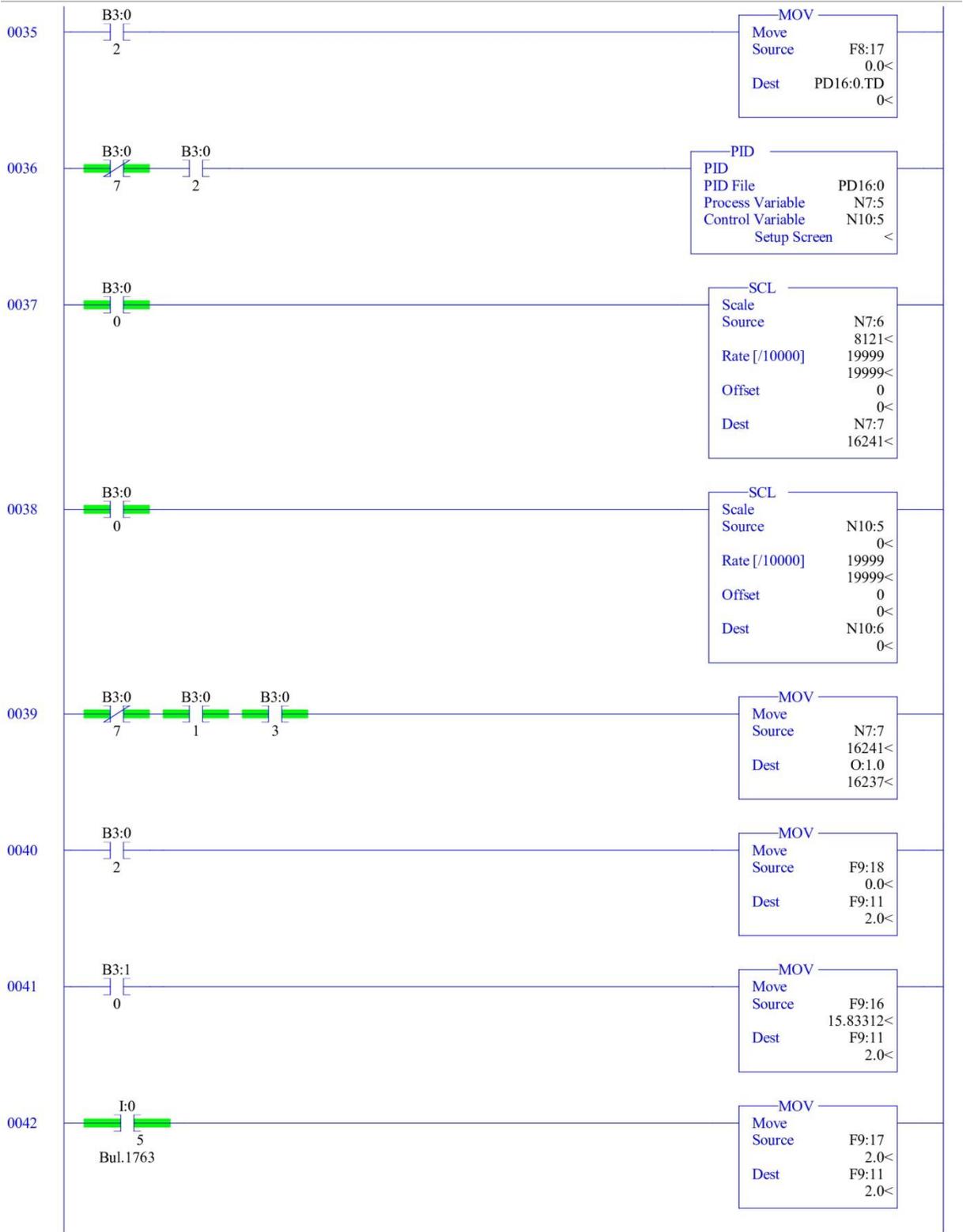


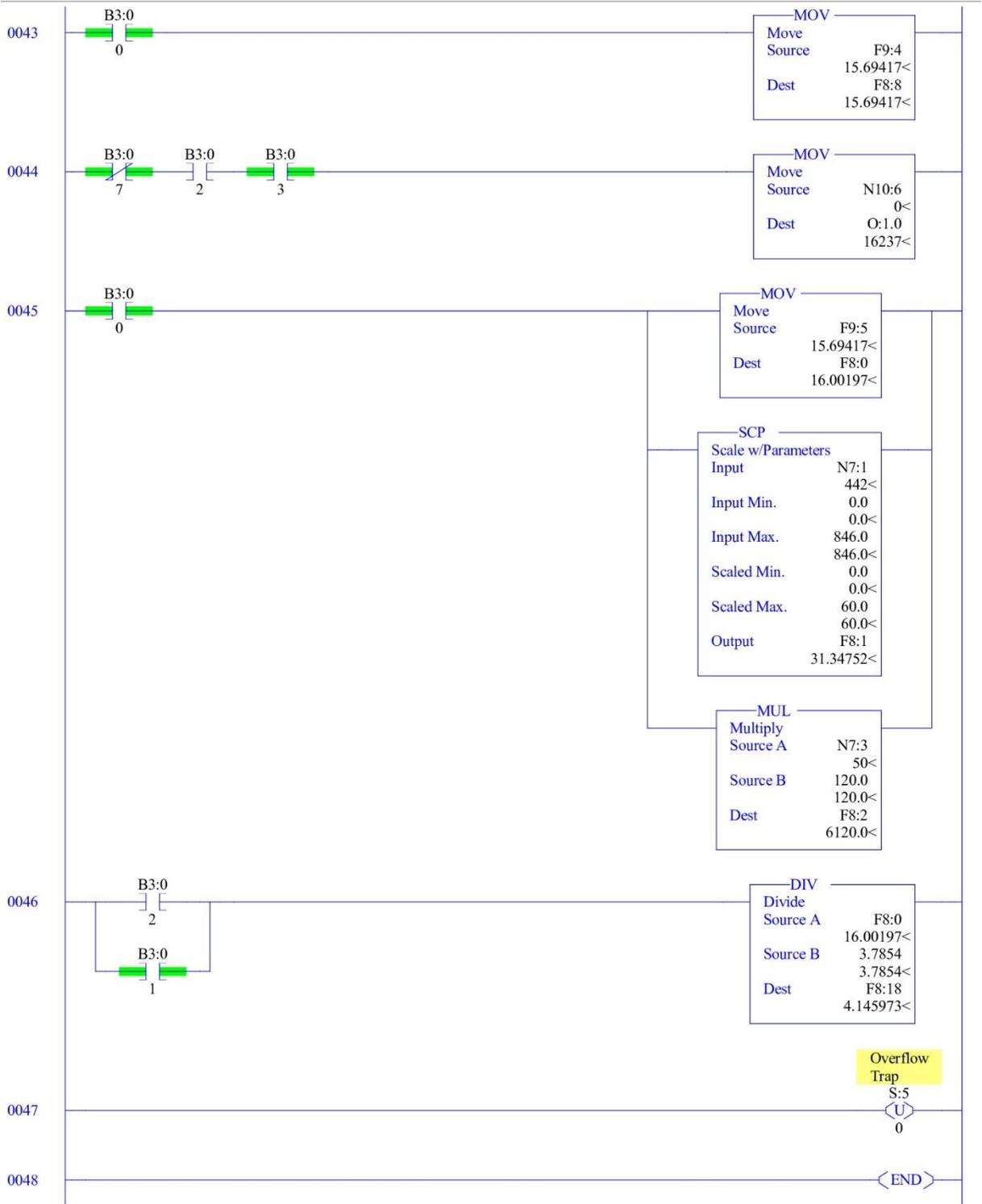












ANEXO F: Configuración de Remotelt

Creación de cuenta Gmail

Se debe crear una cuenta de correo electrónico, por lo tanto, se opta por crear una cuenta Google con las siguientes características:

Nombre: IOT **Apellidos:** UTN

Nombre de usuario: iot.utn@gmail.com

Contraseña: iot.utn123

Dirección de correo electrónico de recuperación: andres23y@live.com

En la Figura 5 se observa la creación de la cuenta Google con las características descritas anteriormente.

Google

Crea una cuenta de Google

Nombre: IOT Apellidos: UTN

Nombre de usuario: iot.utn @gmail.com

Puedes utilizar letras, números y puntos.

[Prefiero usar mi dirección de correo electrónico actual](#)

Contraseña: iot.utn123 Confirmación: iot.utn123

Utiliza ocho caracteres como mínimo con una combinación de letras, números y símbolos

Mostrar contraseña

[Prefiero iniciar sesión](#) [Siguiente](#)

Una cuenta. Todo Google a tu disposición.

Figura 5 Creación de cuenta Google

Una vez realizada la creación de la cuenta Google, es necesario registrarse en la plataforma de Remotelt como se observa en la Figura 6.



Figura 6 Registro en plataforma Remotelt

Al seleccionar la opción Log In se puede acceder al registro gratis en la plataforma de Remotelt como se observa en la Figura 7.

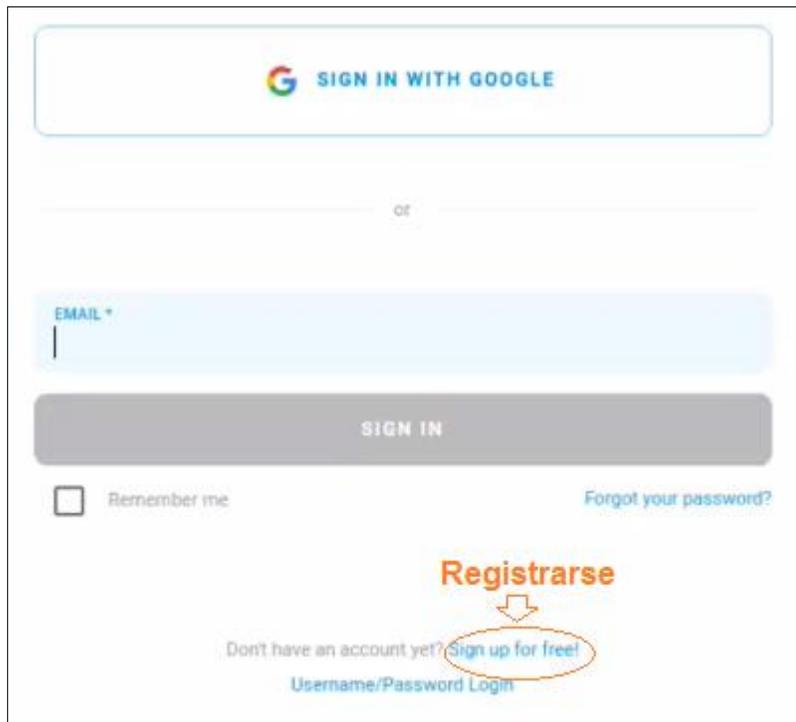


Figura 7 Creación de cuenta Remotelt

Para registrarse en la plataforma de Remotelt se usará los siguientes datos:

Email address: iot.utn@gmail.com

Password: iot.utn123

La Figura 8 muestra los datos ingresados para el registro en la plataforma para posteriormente hacer clic en "create account".

The image shows a web form for creating an account on Remotelt. It includes the following elements:

- An input field for "EMAIL ADDRESS *" containing "iot.utn@gmail.com".
- An input field for "ENTER A PASSWORD" with masked characters "*****".
- A note: "Passwords must be 7-64 characters."
- An input field for "ENTER YOUR PASSWORD AGAIN" with masked characters "*****".
- A progress bar showing "Password Strength: Good".
- A checked checkbox: "I agree to the remotelt Terms of Use, Privacy Policy and Fair Use Policy." with links to "Terms of Use", "Privacy Policy", and "Fair Use Policy".
- A blue "CREATE ACCOUNT" button.
- An orange arrow pointing to the button with the text "Creación de cuenta en Remotelt".

Figura 8 Ingreso de datos

Un email de confirmación se enviará a la cuenta Google como se observa en la Figura 9.



Figura 9 Email de confirmación Remotelt

Un email de verificación llegará a la cuenta de registro de Remotelt como se observa en la Figura 10.

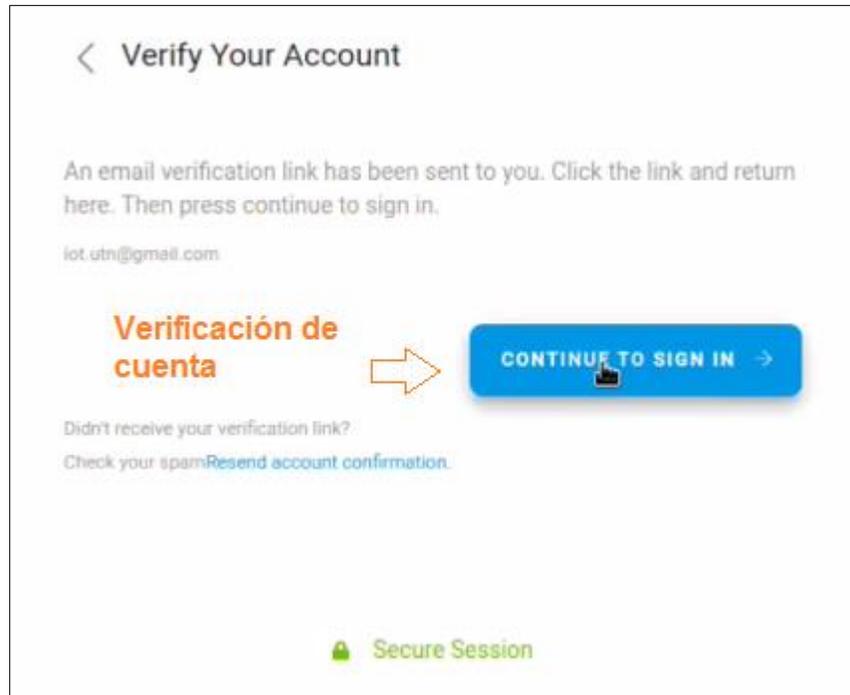


Figura 10 Cuenta verificada en plataforma Remotelt

Después de realizar la respectiva verificación de cuenta se debe instalar el agente del sistema como se muestra en la Figura 11 que sirve para mantener las conexiones en segundo plano. Se pedirá autenticación: Identidad: pi Contraseña: utn123

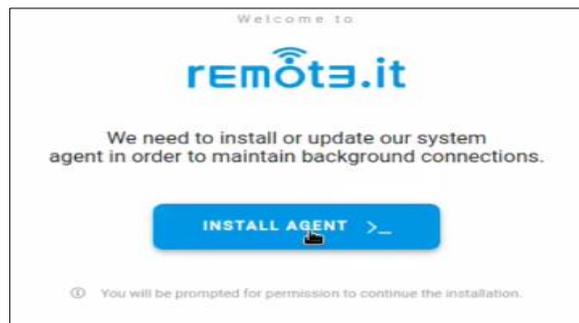


Figura 11 Instalación de agente del sistema

Luego se dirige al menú de Remotelt sección Devices, opción Linux & Raspberry Pi como se observa en la Figura 12.

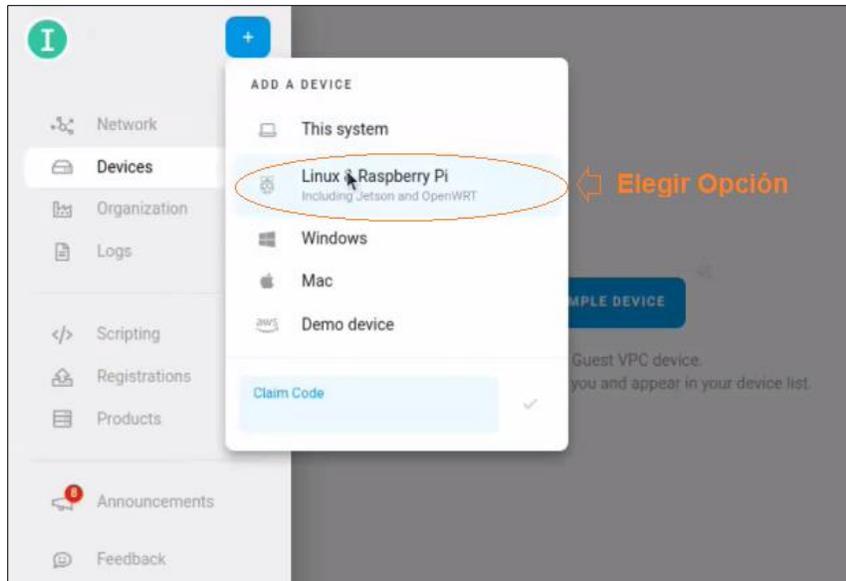


Figura 12 Acceso a la opción Linux & Raspberry Pi

El comando que aparece en la Figura 13 se copia para poder registrar el dispositivo.

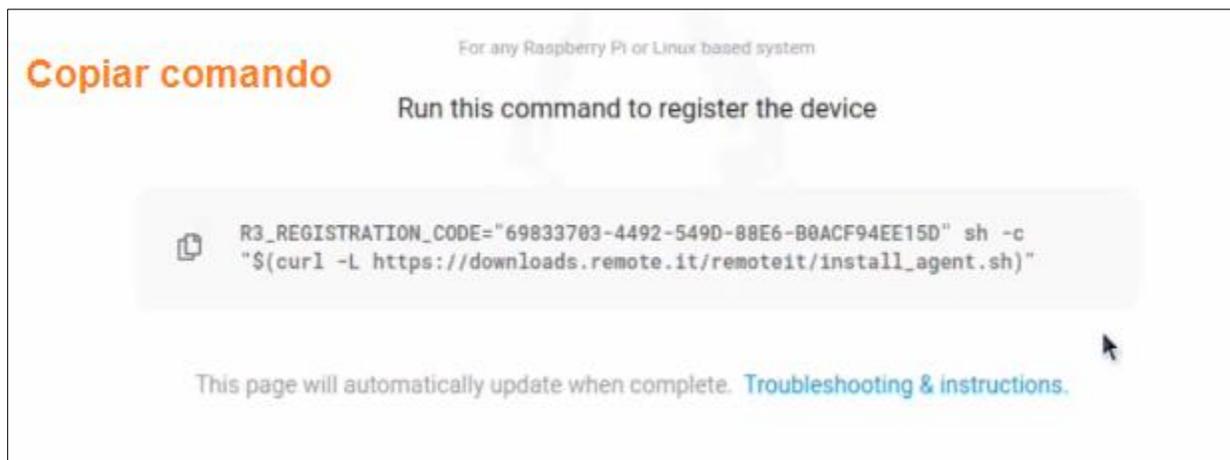


Figura 13 Comando para registro del dispositivo

Abrir el registro del sistema y colocar sudo su + enter para acceder al super usuario, una vez realizado este proceso se copia el código de registro + enter, como se observa en la Figura 14.

```
pi@raspberrypi: ~
Archivo Editar Pestañas Ayuda
pi@raspberrypi:~ $ sudo su
root@raspberrypi:/home/#R3_REGISTRATION_CODE="69833703-4492-549D-88E6-B0ACF94EE1
5D" sh -c "$(curl -L https://downloads.remote.it/remotait/install_agent.sh)"
```

Figura 14 Copia de código de registro

Una vez realizado el registro del dispositivo se asocia mediante el código HLSHAL como se visualiza en la Figura 15.

```
pi@raspberrypi: ~
Archivo Editar Pestañas Ayuda
----- Claim this device -----
Use the code HLSHALWR to register this device to your account
----- Claim this device -----
      ↑
Código de registro
```

Figura 15 Asociación de código

Pegar el código de registro en el apartado CLAIM CODE como se observa en la Figura 16.

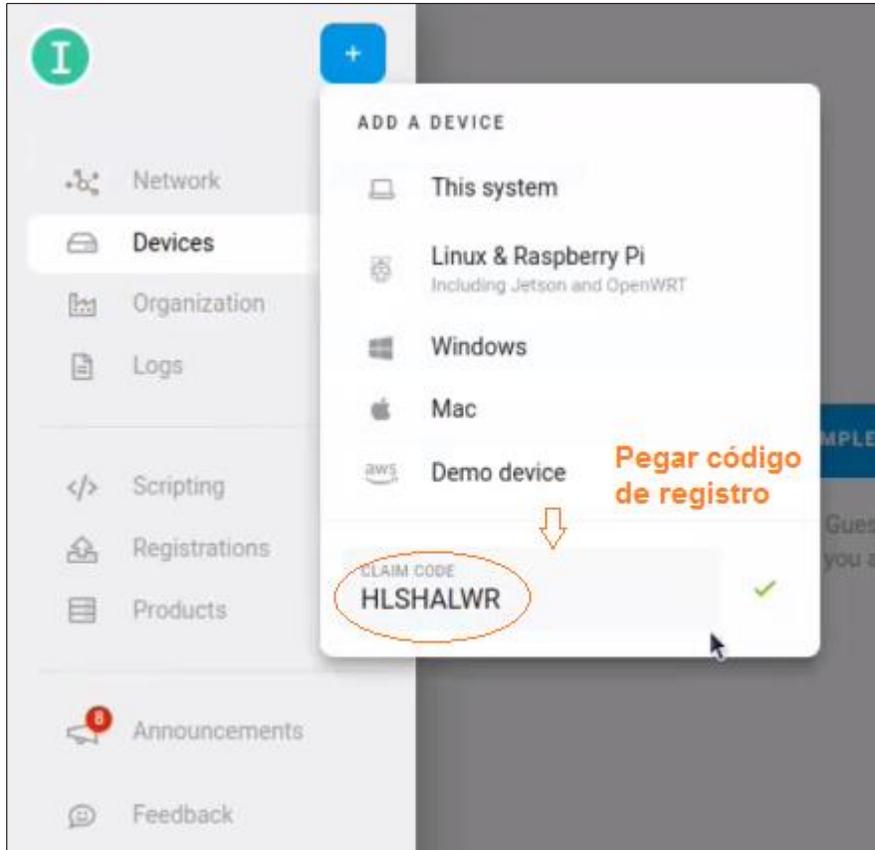


Figura 16 Código de registro en plataforma Remotelt

Observar que Raspberry Pi se ha asociado a Remotelt como se observa en la Figura 17.

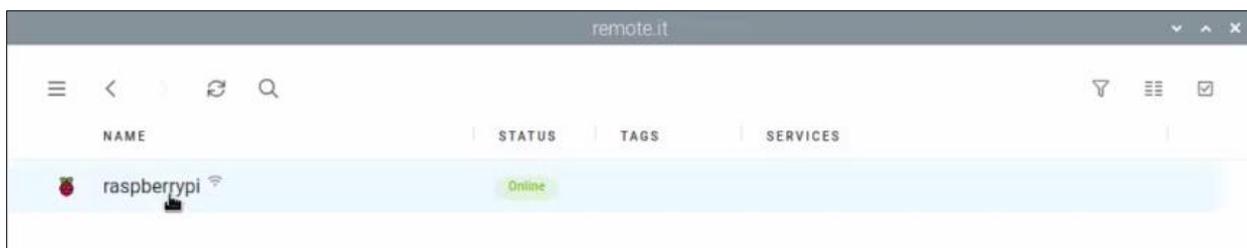


Figura 17 Estado de asociación a Remotelt

Como se observa en la Figura 18 una vez asociada Raspberry Pi, la conexión es buena y tiene una disponibilidad del 100%.

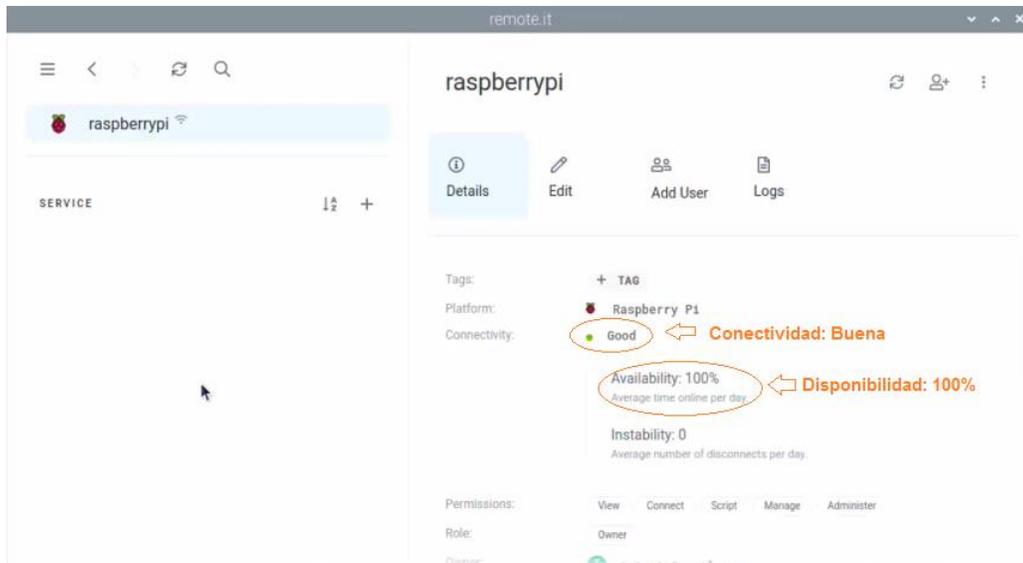


Figura 18 Estado de conexión y disponibilidad entre Raspberry y Remotelt

Ahora se elige el protocolo web a emplear, para lo cual se empleará el tipo de servicio HTTP y el puerto de servicio 1880 característico de Node-RED y se guarda los cambios como se observa en la Figura 19.

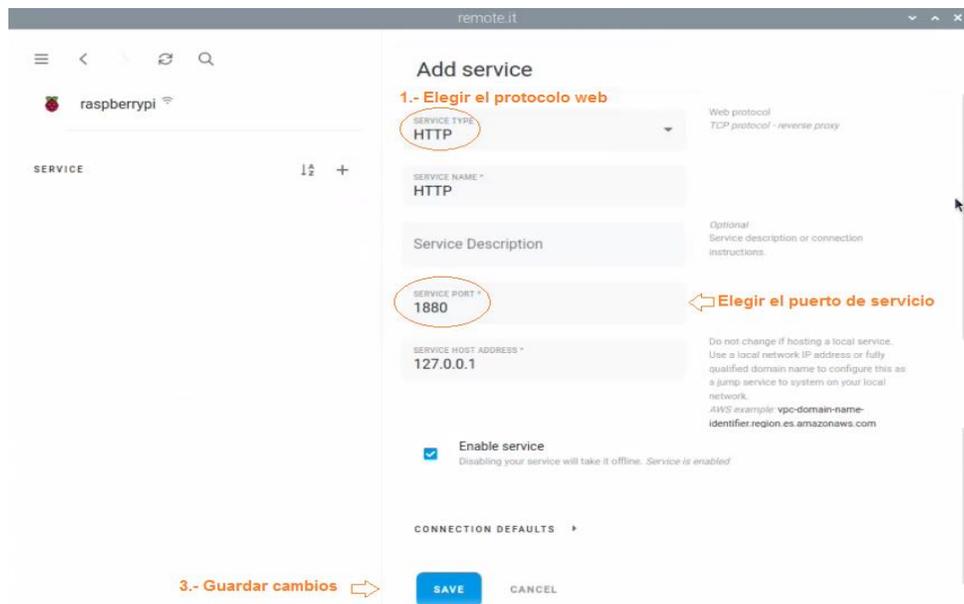


Figura 19 Configuración de protocolo web

Se ha creado una puerta de enlace para permitir la comunicación con Raspberry pi y Remotelt. La plataforma esta lista para establecer la conexión como se observa en la Figura 20.

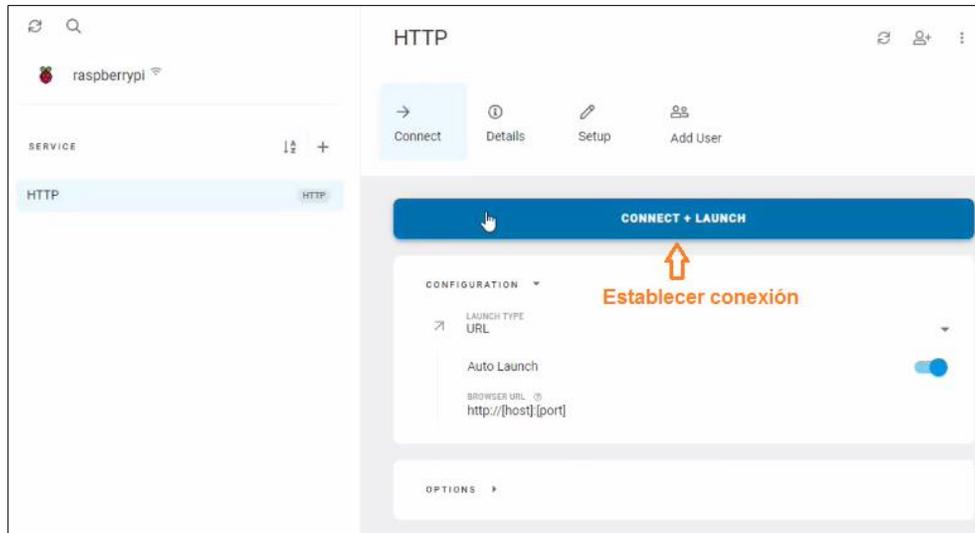


Figura 20 Conexión de Remotelt

En la Figura 21 se visualiza que se ha creado una dirección de acceso al entorno de programación de Node-RED por lo tanto se deberá añadir los caracteres **/iu** para acceder a la Interfaz gráfica.

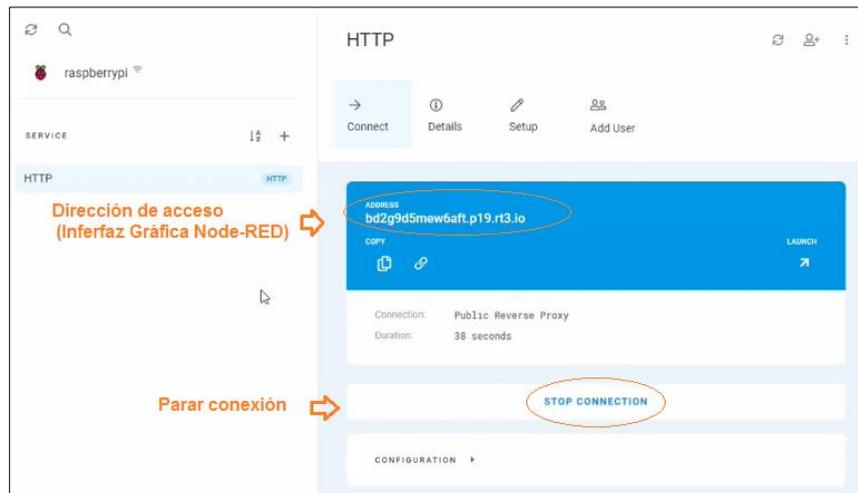


Figura 21 Obtención de dirección de acceso a la Interfaz gráfica