

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA,
ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES



Diseño de un sistema de automatización de agua cruda para el municipio de Tecate B.C.

TESIS

que presenta para obtener el grado de
MAESTRÍA EN INGENIERÍA

RAFAEL MIRANDA HERNÁNDEZ

DIRECTOR:

Dr. Jesús David Avilés Velázquez

CO-DIRECTOR:

Dr. Juan Francisco Flores Resendiz

TECATE, B.C.

Noviembre de 2023.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA,
ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES
UNIDAD TECATE

VOTOS APROBATORIOS DE TESIS DE MAESTRÍA

Fecha: 10 de Octubre del 2023

Nombre del autor: Ing. Rafael Miranda Hernández

Título de la tesis: Diseño de un sistema de automatización de agua cruda para el municipio de Tecate B.C.

CERTIFICAMOS QUE ESTA TESIS HA SIDO APROBADA POR LOS MIEMBROS DEL COMITÉ DE TESIS PARA SU DEFENSA EN EXAMEN ORAL.

Favor de regresar esta forma debidamente firmada y acompañada de la tesis del estudiante, para su revisión a la Coordinación del programa y Coordinación de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería.

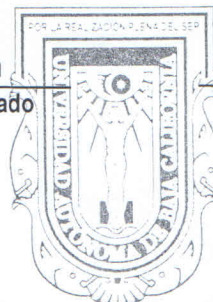
Grado Académico	Nombre	Firma	Función
Doctor	Jesús David Avilés Velázquez		Presidente
Doctor	Carlos Alberto Chávez Guzmán		Secretario
Maestra	Claudia Lizeth Márquez Martínez		Sinodal
Doctor	Rigoberto Martínez Clark		Sinodal
Doctor	Juan Francisco Flores Reséndiz		Sinodal

Este formato deberá entregarse a la coordinación del programa por lo menos dos semanas antes de la fecha de examen elegida, con las firmas correspondientes y acompañado de un ejemplar de la tesis.

Dr. Carlos Alberto Chávez Guzmán
Coordinación de Investigación y Posgrado

Dr. Jesús David Avilés Velázquez
Nombre y firma del Presidente del SACC (programa).|

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
INGENIERIA ADMINISTRATIVAS
Y SOCIALES TECATE. B.C.

Resumen de la tesis de **Rafael Miranda Hernández**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MYDCI) de la UABC. Tecate Baja California, México, noviembre del 2023.

Diseño de un sistema de automatización de agua cruda para el municipio de Tecate B.C.

Resumen aprobado por:



Dr. Jesús David Avilés Velázquez
Director de Tesis.



Dr. Juan Francisco Flores Reséndiz
Co-director de Tesis.

Resumen

El presente trabajo de tesis aborda el problema de control de nivel en tanques de regulación entre dos plantas de potabilización en el municipio de Tecate B.C. que se encuentran a 6.5 kilómetros de distancia y requieren de maniobras ejecutadas por los operadores de las mismas para conservar los niveles de los tanque principales de cada una de ellas. Es importante detallar que una de las plantas se encuentra dentro de la mancha urbana, provocando con ello que cualquier falla en el llenado del tanque principal detone problemas a la sociedad causando inundaciones así como daños en inmuebles por la cantidad del vital líquido que se derrama. Para poder dar una solución factible a este planteamiento se optó por realizar un prototipo a escala que emule el comportamiento del sistema. Este mismo permitió estudiar el comportamiento normal del sistema sin la necesidad de interrumpir o realizar cortes innecesarios en el sistema real. Las pruebas realizadas permitieron realizar un control PI que permitiera tener estabilidad en el flujo de llenado y por ende en el nivel del tanque en cuestión. Apoyado de esto se desarrolló un enlace capaz de transmitir, monitorear y visualizar las variables principales del sistema haciendo un trabajo conjunto entre SCADA y IoT el cual permitió incorporar el controlador PI calculado por medio de la plataforma NodeRED

realizando la ejecución de las decisiones en el llenado apoyado de sensores y actuadores así como la incorporación de controladores lógicos programables que en conjunto dieron resolución a los problemas de llenado a distancia de estas potabilizadoras.

Palabras Clave: *SCADA-IoT, Automatización de procesos, Node-RED, Controladores LOGO!, Red hidrónica del municipio de Tecate*

Abstrac

The present thesis addresses the problem of level control in regulation tanks between two purification plants in the municipality of Tecate B.C. which are located 6.5 kilometers away and require maneuvers carried out by their operators to preserve the levels of the main tanks of each of them, it is important to detail that one of the plants is located within the urban area, causing Therefore, any failure to fill the main tank causes problems for society, causing flooding as well as damage to properties due to the amount of vital liquid that is spilled. In order to provide a feasible solution to this approach, it was decided to make a scale prototype that emulates the behavior of the system. This made it possible to study the normal behavior of the system without the need to interrupt or make unnecessary cuts in the real system. The tests carried out made it possible to carry out a PI control that would allow stability in the filling flow and therefore in the level of the tank in question. Supported by this, a link was developed capable of transmitting, monitoring and visualizing the main variables of the system, doing joint work between SCADA and IoT which allowed the incorporation of the PI controller calculated through the NodeRED platform, executing the decisions in the filling. supported by sensors and actuators as well as the incorporation of programmable logic controllers that together resolved the problems of remote filling of these water treatment plants.

Índice general

Índice de figuras	XI
Índice de tablas	XV
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Objetivo general	4
1.3. Justificación	5
1.4. Preguntas de investigación	7
1.5. Hipótesis de investigación	7
1.6. Metodología	7
2. Marco teórico	9
2.1. Internet de las cosas	10
2.1.1. IoT Green	12
2.1.2. Plataformas IoT	24
2.2. Sistemas SCADA	26
2.2.1. Características de un sistema SCADA	29
2.2.2. Arquitectura de un sistema SCADA	30
2.2.3. Ventajas de un sistema SCADA	30
2.2.4. Primera Generación	31
2.2.5. Segunda Generación	31
2.2.6. Tercera Generación	31
2.2.7. Cuarta Generación	32
2.2.8. LOGO! Web Editor como plataforma SCADA	32
2.3. Redes Industriales	33
2.3.1. Profibus	34

2.3.2. Ethernet Industrial	34
2.3.3. Profinet	35
2.3.4. DeviceNet	37
2.4. Sensores	40
3. Análisis y control de sistema hidráulico	43
3.1. Modelo matemático del tanque Cuchumá	44
3.1.1. Linelización del modelo no-lineal del tanque T_C	45
3.1.2. Función de transferencia del modelo de Tanque T_C	46
3.2. Control para modelo de Tanque T_C	47
4. Emulación del sistema hídrico Las Auras-Cuchumá-Nopalera	51
4.1. Prototipo hidráulico	51
4.1.1. Diseño mecánico del prototipo hidráulico	51
4.1.2. Construcción del prototipo	53
4.2. Descripción de dispositivos y conexiones eléctricas	59
4.2.1. Sensores	59
4.2.2. Actuadores	64
4.2.3. Controladores	69
4.2.4. Conexiones eléctricas	71
4.3. Plataforma propuesta de IoT-SCADA	74
4.3.1. Montaje de la plataforma IoT con Node-RED	74
4.3.2. Sistema SCADA basado en LWE	80
5. Resultados del monitoreo y control del sistema hidráulico	81
5.1. Programación de controladores LOGO!	82
5.1.1. Controladores LOGO! para Tanque Nopalera	82
5.1.2. Controladores para tanque Cuchumá	85
5.2. Plataforma SCADA - LWE	87
5.3. Plataforma IoT con Node-RED	90
5.4. Control remoto usando mensajería de tecnología GSM/GPRS	100
5.5. Discusión de implementación de sistema automatizado en el proceso real .	103
5.6. Contribuciones	105
6. Conclusiones	107

Índice general

IX

Bibliografía

109

Índice de figuras

1.1. Sistema de red hídrica Las Auras-Nopalera-Cuchuma	3
2.1. Estructura básica de IoT.	12
2.2. Ejemplo de programación basada en nodos Node-RED	25
2.3. Monitoreo de variables en el entorno Node-RED	26
2.4. Plantilla de Logo! Web Editor	33
2.5. Protocolo profibus.	35
2.6. Protocolo ethernet.	36
2.7. Arquitectura del protocolo profinet.	37
2.8. Protocolo devicenet.	38
2.9. Sensor de contacto.	40
2.10. Sensor magnético.	41
2.11. Sensor de nivel.	41
3.1. Sistema hidráulico de dos tanques aislados, T_N y T_C , con el flujo de entrada q_a . Creación propia.	43
3.2. Tanque Cuchumá alimentado por el flujo q_a . Creación propia.	44
3.3. Sistema en lazo de cerrado.	48
4.1. Diseño mecánico del prototipo del sistema hidráulico	52
4.2. Diseño mecánico de contenedores.	53
4.3. Tanques construidos con placa de acero y soldadura de arco.	54
4.4. Prototipo culminado en la primera fase.	55
4.5. Prototipo en proceso de pintado de la estructura en la segunda fase.	56
4.6. Contenedores pintados con pintura epóxica color blanco.	56
4.7. Prototipo finalizado en su segunda fase.	57
4.8. Prototipo finalizado.	59
4.9. Sensor de nivel ultrasónico LU150 Siemens instalado en tanque Cuchumá.	61

4.10. Sensor de nivel hidrostático.	62
4.11. Sensor de presión con display digital.	63
4.12. Sensor de flujo modelo YF-B6 de 0-30 lts/min.	64
4.13. Sensor de pH modelo PH-4502C.	65
4.14. Válvula motorizada de apertura y cierre modelo BOCBMLPL5K.	65
4.15. Válvula proporcional motorizada de posición modelo A20-M15-S2-C.	66
4.16. Electroválvula de apertura y cierre instalada en el tanque Cuchumá.	67
4.17. Motor bomba de 1/2 HP. Marca Bonasa modelo AA1916.	68
4.18. Controlador Lógico Programable LOGO! Siemens.	69
4.19. Módulo de expansión de entradas analógicas AM2 LOGO! Siemens	70
4.20. Módulo de expansión de salidas analógicas AM2 LOGO! Siemens	71
4.21. Diagrama del circuito de potencia y control para moto-bomba.	72
4.22. Diagrama del circuito de control de Nopalera.	73
4.23. Diagrama del circuito de control de Cuchumá.	75
4.24. Pantalla de monitorización de Google Cloud.	77
4.25. Plataforma IoT basada en el servidor Node-RED.	77
4.26. Pantalla de la dirección del dominio en Google Cloud.	78
4.27. Pantalla de monitorización de Google Cloud.	79
4.28. Acceso virtual de Logo Web Editor por navegador.	80
5.1. Prototipo hidráulico que brinda solución a la problemática de la red hídrica Las Auras-Nopalera-Cuchumá.	81
5.2. Programación del primer controlador LOGO! del tanque Nopalera.	83
5.3. Programación del segundo controlador LOGO! del tanque Nopalera.	84
5.4. Controladores LOGO! configurados para tanque Nopalera. (a) Instalación de tablero con enrutador. (b) PLC's operando en red local y con conectividad de internet.	84
5.5. Programación del primer controlador LOGO! del tanque Cuchumá.	86
5.6. Programación del segundo controlador LOGO! del tanque Cuchumá.	86
5.7. Controladores LOGO! configurados para tanque Cuchumá. (a) Instalación de tablero con enrutador. (b)-(c) PLC's operando en red local y con conectividad de internet.	87
5.8. Plantilla del tanque Nopalera en LWE.	88
5.9. Plantilla del tanque Cuchumá en LWE.	89
5.10. Funcionamiento del prototipo con LWE.	89

5.11. Programación basada en nodos para tanque Cuchumá.	91
5.12. Programación basada en nodos para tanque Nopalera.	92
5.13. Tablero digitales para monitorear variables de sensores de potabilizadora Nopalera.	93
5.14. Pantalla de visualización potabilizadora Cuchumá.	94
5.15. Sistema de control en lazo cerrado usando un controlador PID con IoT - Node RED.	95
5.16. Configuración de un controlador PID - IoT implementado en el Servidor Node-RED.	96
5.17. Programación en Java dentro del nodo ‘PID logic’ en el Broker Node-RED.	97
5.18. Tablero para monitorear el nivel h_C y el control PID-IoT en el Broker Node- RED.	97
5.19. Gráficas de sensores de planta Cuchumá. Caso I.	98
5.20. Gráficas de sensores de planta Cuchumá. Caso II.	98
5.21. Esquema de funcionamiento del modulo de comunicación con tecnología GPRS/GSM de Siemens	100
5.22. Módulo de radio comunicación CMR2020 de Siemens	101
5.23. Conexión física del módulo de comunicación CMR2020 Siemens.	102
5.24. Pantalla de configuración del módulo CMR2020 de Siemens.	102
5.25. Evidencia del envío de mensajes SMS usando teléfonos celular y el módulo CMR2020.	103
5.26. Evidencia de presentación de un trabajo en el Congreso Nacional de Control Automático.	105

Índice de tablas

3.1. Valores de parámetros de Tanque <i>Cuchumá</i>	47
4.1. Elementos del prototipo.	53
4.2. Equipamiento para el contenedor Nopalera	74
4.3. Equipamiento para el contenedor Cuchumá	75

Capítulo 1

Introducción

El agua, como elemento principal de la naturaleza y vital líquido para los seres vivos, forma parte del derecho humano a nivel internacional. Esta a su vez, cubre más del 70 % de la superficie del planeta, donde el 97.5 % se encuentra en el océano como agua salada y solo el 2.5 % es agua dulce. De este porcentaje de agua dulce, en la medida en que es utilizada, se generan ciclos antrópicos en los sistemas convencionales de cada región en condiciones especiales según la topografía y su zona geográfica [11]. De forma similar, los cambios que sufren las precipitaciones y la temperatura afectan las reservas de agua terrestre y como consecuencia, la disposición de agua dulce será menor en los próximos años. Algunos estudios predicen que esta escasez aumentará, por lo que en 2050 el 52 % de la población se verá afectada en el suministro del vital líquido alrededor del planeta, con un déficit hídrico global del 40 %. Esto sumado a que, en el último siglo, el consumo humano se ha duplicado, comparado con la tasa de crecimiento demográfico y su uso global ha sido multiplicado por seis de igual manera [20].

En el caso específico de México, el mayor suministro de agua renovable se obtiene por medio de precipitaciones, donde se estima que el 72.1 % de ellas regresa a la atmósfera, un 21.4 % se conserva en ríos o arroyos y solo el 6.4 % se infiltra al subsuelo de forma natural para formar parte de las regiones hidrológicas del país. En el estado de Baja California (B.C.) se cuenta con tres principales regiones hidrológicas: Baja California Noroeste, Baja California Noreste y Río Colorado, de donde se obtiene un aproximado de 843 metros cúbicos por habitante al año [13]. En esta entidad se tienen pocas precipitaciones, cuyo promedio anual es de 176 mm y equivale a un 22 % del promedio anual nacional. Solo en 2001 se podía disponer de 42 pozos acuíferos. Sin embargo, hasta 2008 debido a la sequía extrema este número descendió a 19 en total solo en la zona urbana de Tecate B.C. donde se consumen en promedio 315 litros por segundo, según estadísticas del año 2018.

La adquisición del vital líquido en la península de Baja California es de suma importancia, se abastece por medio de los afluentes del Río Colorado de acuerdo al Tratado Internacional de Aguas, celebrado entre México y los Estados Unidos en 1944, y ésta a su vez, es distribuida a todos los municipios pertenecientes al estado de Baja California, algunos de ellos por medio del Acueducto Río Colorado-Tijuana, venciendo por medio de bombeo convencional de 5 equipos una altura de 1061 metros sobre el nivel del mar (Rumorosa), a través de 140 km de tubería que descarga en las Presas Las Auras y Carrizo, para las ciudades de Tecate y Tijuana, respectivamente. La capacidad de la presa Las Auras es de 5,000,000 de metros cúbicos suficientes para abastecer la demanda promedio de la ciudad de Tecate en un periodo de hasta 6 meses en caso de no ser abastecida. En referencia al municipio de Tecate, el manto acuífero es explotado por medio de 11 pozos en la zona urbana y 8 en la zona rural que representan actualmente un 5 % del consumo diario.

1.1. Planteamiento del problema

Para abastecer la demanda del vital líquido en el municipio de Tecate, se cuenta con dos plantas potabilizadoras: la planta potabilizadora Cuchumá y la planta potabilizadora Nopalera, las cuales potabilizan 90 y 280 litros por segundo, respectivamente, con tanques de regulación de 1,000 y 5,000 metros cúbicos. Estas plantas se encuentran separadas por una distancia lineal de 4.5 kilómetros y son alimentadas directamente de la presa Las Auras, siendo el primer punto de conexión la planta Potabilizadora Nopalera y posteriormente Cuchumá de acuerdo a una derivación de la misma tubería (acero) cuyo diámetro es de 12 pulgadas. El flujo de la presa a las potabilizadoras es controlado por válvulas de compuerta que son manipuladas de acuerdo a los niveles existentes en cada tanque de regulación como se aprecia en la figura 1.1.

La planta potabilizadora Cuchumá es de gran relevancia en la gestión hídrica del municipio de Tecate debido a las zonas de influencia que abastece, en especial la zona oeste de la localidad, en donde además del tanque de regulación de 1,000 metros cúbicos, se cuenta con cuatro tanques de apoyo, tres de ellos en zonas residenciales (Col. Escorial, Col. Capiri, Col. Monte Tabor) y uno más en el parque industrial el Bajío, donde hay una gran cantidad de empresas, siendo uno de los motores económicos principales de la ciudad.

El proceso de alimentación de agua cruda directamente de la presa Las Auras no ha tenido una modernización en los últimos 20 años y se realiza de forma manual, este proceso involucra a los operadores de cada planta y a la persona encargada de la distribución del sistema de la ciudad, quien toma la decisión sobre el control del flujo hacia la planta. Un

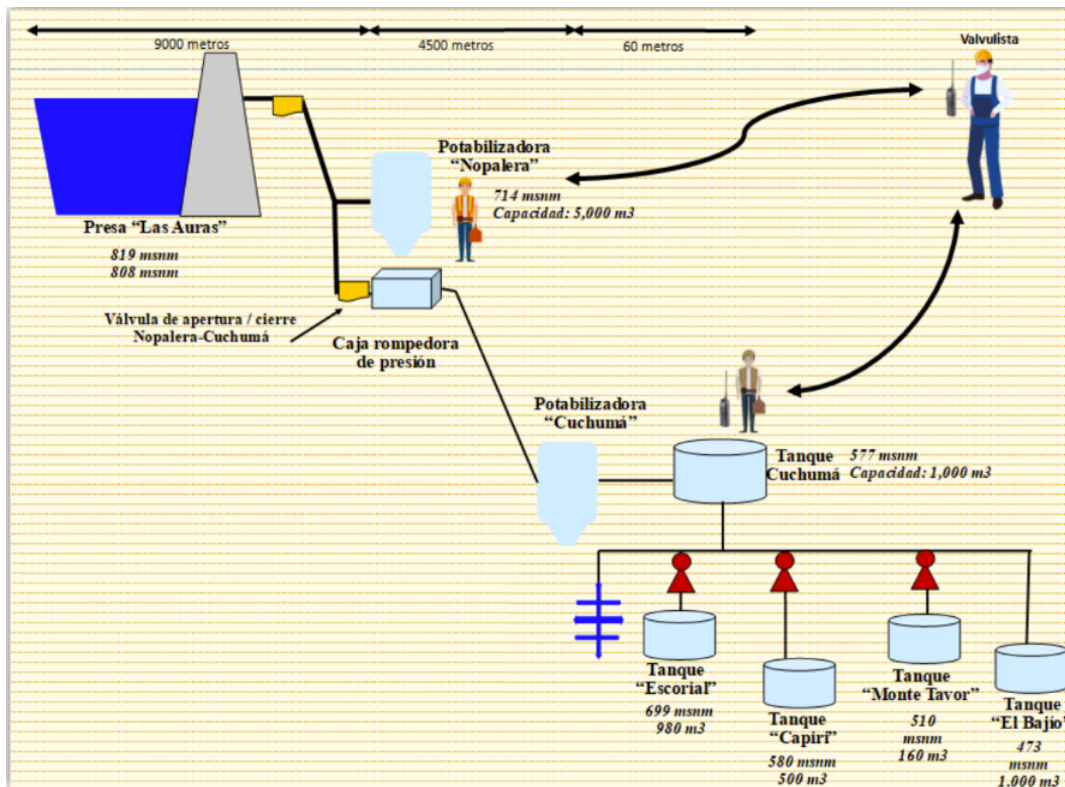


Figura 1.1 Sistema de red hídrica Las Auras-Nopalera-Cuchuma. Fuente: elaboración propia.

operador con múltiples tareas supervisa ocasionalmente el llenado del tanque, verificando el nivel de forma manual mediante una regleta. Esta persona no cuenta con una visualización adecuada del flujo de agua, además de tener asignadas operaciones propias de la planta potabilizadora, muchas de ellas de relevancia y de cuidado especial tales como: cambio de gas cloro, mezcla de sustancias químicas, entre otras. Después de realizar la medición, el operador involucra al encargado de la distribución del municipio y de manera conjunta toman la decisión para apertura o cierre del suministro, considerando los niveles propios de los 4 tanques complementarios, dando aviso al operador de la planta Nopalera para la apertura/cierre de la válvula de compuerta por medio de radiofrecuencia. Por ello, la decisión del llenado del tanque principal para el abastecimiento de agua de la zona oeste no tiene un procedimiento confiable y estable.

El sistema actual suele tener muchos problemas que afectan la calidad en el servicio de suministro de agua a la zona oeste, ya que aproximadamente cuatro veces por mes existen derrames, que en promedio duran al rededor 21 minutos y que equivalen a 302,400 litros de agua desperdiciados. Este volumen de agua derramada representa un tercio de la capacidad del tanque principal. Durante el año 2020, se estima que hubo derrames equivalentes a 14

millones de litros al año, es decir, alrededor de 14 veces la capacidad del tanque y al consumo de más de 3 días de la zona oeste de Tecate [10].

De continuar estos derrames, podrían ocasionar deslaves y erosión del suelo que afectarían a los hogares que se encuentran en los alrededores de la planta. Por otro lado, se tiene la interrupción en el servicio cuando el tanque se encuentra en niveles mínimos. Durante el año 2022 se registraron 5 cortes en el suministro con periodos de duración promedio de una hora con cuarenta minutos, causando desabasto de agua a más de 10,000 habitantes de la zona oeste del municipio. En esta región se consumen aproximadamente 21 litros por segundo [10]. De igual forma, las empresas ubicadas en el Parque Industrial El Bajío se han visto afectadas por estos cortes. En esta zona se demandan aproximadamente 11 litros de agua por segundo por 37 cuentas industriales pertenecientes a empresas de renombre como Lala, Broan Nutone, Taylor, Scantibodies, entre otras. Finalmente, deben tomarse en cuenta los problemas administrativos y legales ocasionados por las demandas que los derrames o falta de servicio provocan, ya que desde el año 2019 el parque industrial el Bajío ha tratado de realizar acciones legales sin éxito en contra del organismo, sin embargo, éste ha restringido los permisos para ampliaciones de red de agua potable y alcantarillado sanitario cercanos a sus perímetros territoriales.

Debido a lo anterior, el presente trabajo de tesis busca diseñar un sistema automatizado que gestione de manera eficiente la distribución del agua para su potabilización y almacenamiento, a través de algoritmos de control remoto, los cuales se podrán implementar en un sistema de PLCs (Controladores Lógicos Programables por sus siglas en inglés) que a su vez, se apoye de un sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos por sus siglas en inglés) que pueda ser controlado y supervisado a través de interfaces gráficas instaladas en plataformas IoT (Internet de las Cosas por sus siglas en inglés) adaptadas a una interfaz HMI (Interfaz Hombre-Máquina por sus siglas en inglés) que facilite la comprensión del mismo por parte de los operadores del sistema. Es importante destacar la importancia de localizar el actuador más eficiente para la tarea programada, así como los sensores y demás elementos propios de la automatización involucrados en el desarrollo del diseño.

1.2. Objetivo general

Diseñar y emular el funcionamiento de un sistema automatizado de control de tanques de abastecimiento de agua para eliminar los derrames y mejorar la logística operativa.

Objetivos específicos

1. Selección de los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos principales del sistema de automatización.
2. Diseño del sistema de control en lazo cerrado validando los componentes, variables y actores propios del sistema hídrico que se busca automatizar.
3. Selección de los transmisores específicos y adecuados para las variables que se controlan en el sistema hídrico y requieran retroalimentación.
4. Incorporación del PLC, así como su programación y módulos pertinentes para el sistema de lazo cerrado.
5. Selección del sistema SCADA correspondiente mediante la intervención de los actuadores, sensores y el PLC que se proponga de acuerdo a las condiciones propias de las instalaciones.
6. Selección y diseño de la plataforma IoT-Node-RED necesario para la visualización del proceso que se pretende automatizar.
7. Simulación del sistema de automatización para solución de errores o métodos de retroalimentación.
8. Análisis del desempeño sobre el diseño automatizado implementando un controlador PI para el sistema hídrico de regulación de tanque.
9. Definir propuesta de automatización para el sistema hídrico de apertura y cierre.

1.3. Justificación

Este diseño de automatización para apertura y cierre de tanques será de gran relevancia para el organismo operador de agua debido a que se evitarían derrames y se mejoraría de forma significativa la logística operativa.

El proceso para la apertura y cierre de la válvula que se encuentra físicamente en la potabilizadora Nopalera y que controla el flujo de agua cruda hacia la planta Cuchumá es complicado y costoso en tiempo y recursos. A continuación, se describe el proceso tal como se realiza actualmente:

- **Paso 1:** El operador de la planta Cuchumá cada hora, independiente de la actividad que esté realizando, debe interrumpirla (si la actividad lo permite) para acudir a revisar el tanque Cuchumá y enviar esta información al valvulista vía radiofrecuencia. Se puede presentar el caso de alguna actividad que el operador se encuentre realizando y por su importancia esta no pueda ser interrumpida. Por lo tanto la revisión del nivel tenga que esperar un promedio de 5 a 10 minutos.

- **Paso 2:** El valvulista recibe el nivel por medio de radiofrecuencia, y de acuerdo a su criterio así como a la información de niveles de los tanques dependientes a Cuchumá, decide cerrar o abrir la válvula de alimentación ubicada en potabilizadora Nopalera con apoyo del operador de la misma. Puede ocurrir el caso de no tener la información en tiempo real de niveles que repercuta en la toma de una decisión certera y efectiva.

- **Paso 3:** Si el valvulista decide el cierre o apertura, se lo comunica al operador de la planta Nopalera para que acuda a realizar el cierre físico de la válvula. De forma similar al caso del operador de la planta Cuchumá, es posible que este se encuentre realizando una actividad que no pueda ser interrumpida y el cierre se puede posponer por unos minutos.

Como consecuencia del proceso actual (Ver Anexo 1) y de lo complicado de la logística operativa, los errores por descuido humano son muy comunes, provocando derrames o falta de suministro. De acuerdo a los libros de reportes, la cantidad acumulada en cuanto a derrames a lo largo de este periodo es de 98,000,000 de litros, los cuales equivalen a 98 tanques de regulación de mil metros cúbicos. A su vez, esto equivale a una pérdida económica de \$911,400.00, contemplando el costo por potabilización así como el costo por agua en bloque que se paga a la Comisión Estatal de Agua (CEA).

De acuerdo al proceso explicado, es posible apreciar el amplia área de oportunidad del proceso de apertura y cierre de tanques. Sin duda implementar un diseño de automatización que tome la decisión de apertura o cierre de acuerdo a las variables involucradas, y que a su vez, pueda ser visualizado desde una plataforma virtual donde el valvulista podrá obtener información en tiempo real, tendrá un impacto positivo en el organismo operador de agua en el municipio de Tecate, ya que la mejora en su logística operativa y la eliminación de los derrames será notoria de manera inmediata.

1.4. Preguntas de investigación

- ¿Qué procesos y elementos deben ser incluidos en el sistema de automatización?
- ¿Qué variables del sistema pueden mejorarse al implementar el sistema de automatización?
- ¿Qué tiempo de respuesta de acción se tiene ante un derrame por falla de cierre manual?
- ¿Qué controlador lógico programable es el más eficiente ante el proceso que se busca automatizar?
- ¿Qué sensor de nivel es el más adecuado para la medición de los tanques involucrados en el sistema?
- ¿Qué sistema de comunicación a distancia es el más adecuado según la orografía correspondiente al municipio de Tecate?

1.5. Hipótesis de investigación

Para fines de este trabajo de tesis se plantean las siguientes hipótesis con base en la emulación del sistema:

- El sistema automatizado eliminará los derrames del tanque Cuchumá.
- El sistema automatizado realizará en un tiempo menor el cierre de la válvula de llenado del tanque que el procedimiento actual.

1.6. Metodología

A continuación se presenta la metodología definida para la realización de esta investigación (Figura 2):

- **Primera Etapa - Diagnóstico Actual:** Definir todas las variables que corresponden al sistema de estudio, por ejemplo: distancias, flujos, orografía de ambos sitios a estudiar, temperaturas, presión. De igual forma, se realizarán visitas de campo con la finalidad de establecer el diseño más adecuado por definir de acuerdo a las variables que se involucran en el sistema para retroalimentar en búsqueda de la mejora continua.

- **Segunda Etapa – Definición de especificaciones:** Definir los elementos funcionales del sistema, tales como: motores, válvulas, tipo de comunicación, PLCs, HMI. De tal forma que estos sean los más óptimos y eficaces de acuerdo a la comparativa adecuada entre los distintos proveedores, así como características propias de los mismos.
- **Tercera Etapa – Diseño conceptual:** Proponer el diseño adecuado respecto a los elementos definidos en la etapa anterior con la finalidad de establecer el orden correcto de su funcionamiento.
- **Cuarta Etapa – Emulación y diseño:** Realizar la emulación del sistema de distribución para la potabilización del agua cruda de la ciudad.
- **Quinta Etapa – Análisis de Resultados:** De acuerdo a los resultados arrojados en la cuarta etapa, llevar a cabo un análisis exhaustivo de éstos, a fin de buscar áreas de oportunidad y realizar la retroalimentación necesaria según sea el caso.
- **Sexta Etapa – Propuesta de diseño de automatización:** Realizar un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos en la simulación a fin de buscar áreas de oportunidad y realizar la retroalimentación necesaria según sea el caso.

Capítulo 2

Marco teórico

Actualmente el mundo se encuentra en un proceso de desarrollo dentro de lo que se ha denominado como la industria 4.0 y que avanza de manera conjunta con las redes industriales. Esto debido a que se busca la relación directa entre componentes tales como actuadores, sensores e instrumentos de medición que pueden proporcionar datos de relevancia para los procesos con la tecnología de comunicación, por lo cual se podría tener un balance perfecto entre la obtención de datos, su almacenamiento y procesamiento (prioritariamente en la nube) así como su visualización desde cualquier parte del mundo.

Para este trabajo de investigación se toman como referencia algunos trabajos relacionados con temas tales como IoT, SCADA y la industria 4.0 que por su relevancia son de utilidad para sustentar la viabilidad del trabajo que se propondrá. El primer grupo se refiere a aplicaciones relacionadas con el manejo del agua que son viables, por ejemplo, la realización de un arranque y paro de bombeo visualizado a distancia por medio de controladores lógicos programables LOGO! Siemens, en beneficio de un organismo operador de agua de una localidad de Ecuador, en el cual se proponen bases para la selección de actuadores y sensores, así como para la transmisión de la información [33]. De igual manera, se ha implementado un sistema de abastecimiento, tandeo, regulación y detección de fugas en una red a larga distancia mediante tecnología Zigbee, en donde se propone un sistema a escala haciendo uso de actuadores para una válvula de regulación de cuatro pulgadas controlados mediante la plataforma de Arduino.

Es importante tener en cuenta que los sistemas SCADA forman parte importante de este proceso de desarrollo debido a que existen desde que se implementa el control en los sistemas industriales, estos en su cuarta generación, buscan la recopilación de información y en su conjunto transferirla a un lugar central, donde se pueda realizar el análisis para la toma de decisiones y a su vez, visualizarse de forma local o remota para la ejecución de acciones

apropiadas por parte del operador o en su caso, del controlador lógico programable que este encargado del o los procesos. [1, p. 75]

El uso del entorno LabVIEW ha demostrado ventajas en sistemas de bombeo de agua potable y comunicación remota entre dos tanques de almacenamiento, estableciendo un sistema SCADA [12]. Dentro de investigaciones referentes a la comunicación de datos a distancia, se obtiene que el *GSM* (sistema global para comunicaciones móviles) por medio de fibra óptica es de gran relevancia además que puede ser de gran ayuda en combinación con SCADA para tener el control de variables tales como presión, flujo, problemas en equipos de bombeo y señalamientos de mantenimientos preventivos inclusive correctivos de gran impacto [22].

Asimismo, el concepto de internet de las cosas, o también conocido como IoT, toma un papel importante debido a la eficiencia con la que converge directamente con conceptos de informática tales como la nube, big data e incluso telefonía móvil, dando pie a que las tecnologías físicas se desarrollen de manera conjunta con las digitales [5].

Algunos trabajos se relacionan de forma directa al concepto de IoT para la comunicación a distancia en tiempo real, las cuales permiten la comunicación de datos tales como presión, niveles, flujos, etc. por medio de sensores que, después son transmitidos por medio de GSM o internet para después ser monitoreados, y por último visualizados para su control en procesos necesarios del área hídrica [22]. Otra investigación relevante es la que se realiza por medio del IoT apoyado de sensores específicos para monitorear pH, temperatura, turbidez, así como presión en contenedores de agua potable que son registrados por medio de una base de datos, que puede ser monitoreada a distancia y ayuda a futuro para la corrección de factores en el sistema propio de potabilización como es el caso del trabajo desarrollado por Krishna *et al.* [24].

2.1. Internet de las cosas

El concepto del internet de las cosas (IoT) junto a otras nuevas tecnologías impactan nuestra vida cotidiana de forma cada vez más importante. Actualmente, existen diversas aplicaciones que incorporan este concepto en áreas como la producción de energía, manufactura, agricultura, salud, comercio, transporte, logística, solo por mencionar algunas. Sin embargo, gran parte de las aplicaciones en esta área emergente se basa en protocolos de comunicación que se han diseñado sin tomar en consideración los riesgos de ataques cibernéticos que pueden vulnerar su funcionamiento. Es por esto que el aprendizaje máquina (o machine learning en inglés) es una gran herramienta para detección de amenazas [36], [26].

Para que un sistema de IoT industrial sea robusto, es necesario utilizar una taxonomía que consiste en once capas: acceso inicial, ejecución, persistencia, evasión, descubrimiento, movimiento lateral, recopilación, comando y control, inhibición, control de procesos e impacto.

La era industrial está evolucionando cada vez más rápido hacia una tecnología emergente que presupone la integración de redes de Tecnología Operativa (TO) con redes de Tecnología de la Información (TI) que hasta ahora, estaban aisladas y actualmente buscan ser combinadas para una mejor interacción con la eficiencia y productividad [19].

El creciente uso de tecnologías IoT en la industria crean nuevos retos para la seguridad de la información de tales sistemas. Muchos de ellos se basa en la nube para recopilar y transmitir datos. El uso de unidades masivas de IoT conduce a una disminución en el costo de soluciones pero causa nuevos problemas, como el caso de los canales de transmisión de datos los cuales son uno de los objetivos populares para ataques en la integridad de los datos significativos. Como expresan Alhebshi *et al.* [3] la arquitectura de IoT consiste en tres capas: de percepción, de red, y de aplicación. Se puede apreciar la estructura básica de IoT en la figura 2.1.

La capa de percepción contiene dos dimensiones, y generalmente se divide en dos subcapas: extensión de comunicación y subcapas de control. Las funciones de la capa de percepción dependen de las subcapas. La capa de red consiste de todo tipo de comunicación y la red central. Cuando en la transmisión, el enrutamiento y el control de la información son a menudo implementados en la red fundamental y la comunicación.

La capa de aplicación contiene infraestructura de aplicaciones *middleware* y unidades terminales. Un ejemplo sencillo aplicado al monitoreo de la transmisión de altas tensiones, es el utilizado en el desarrollo de Arduino UNO que cubre todo lo necesario para soportar el microcontrolador, además que el uso es fácil y la instalación toma poco tiempo [3]. Por lo tanto, las tecnologías IoT se pueden combinar con todas las formas de la industria. El IIoT se refiere a la aplicación del internet de las cosas en la industria para monitorear, retroalimentar, analizar, en el ámbito industrial, la cual requiere una mejora que se realice de manera autónoma, dando espacio a que los sistemas sean productivos y de eficiencia. Para aplicaciones industriales no todos los protocolos son libres de regalías y parte de ellos son cerrados y orientados a usar solo red de proveedores de protocolo para datos [1].

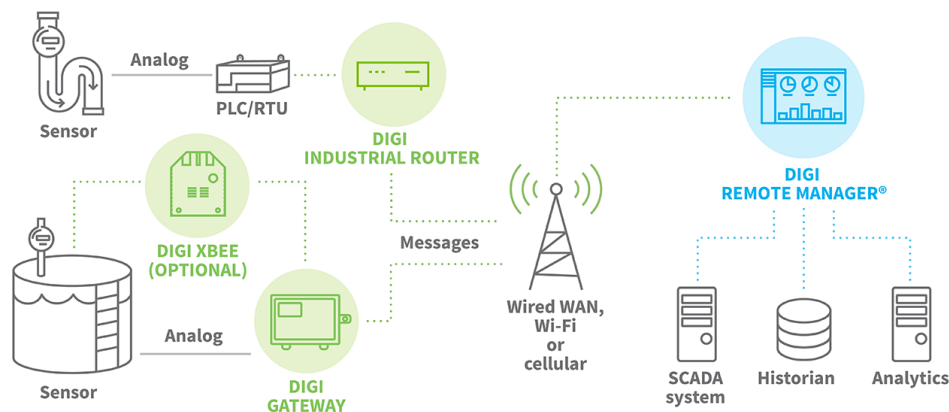


Figura 2.1 Estructura básica de IoT. Fuente: <https://es.digi.com/blog/post/selecting-an-iot-device-management-platform>

2.1.1. IoT Green

El Internet de las Cosas es un paradigma emergente que ha ganado popularidad en los últimos años. La gran cantidad de dispositivos sofisticados y de alto rendimiento conectados al sistema IoT consume una gran cantidad de energía. Por lo tanto, el tema del consumo de energía en los sistemas basados en IoT es un foco de investigación importante. Green IoT representa el problema de reducir el consumo de energía de los dispositivos IoT que logran un entorno sostenible para los sistemas IoT.

Debido al rápido avance de la tecnología digital, hay una gran transformación en casi todos los sectores de trabajo. Ha habido una tendencia creciente hacia el uso de dispositivos inteligentes y conectados que ha hecho que el Internet de las cosas (IoT) sea muy popular entre la gente común. IoT es la infraestructura de red global que consta de varios dispositivos, por ejemplo, sensores, actuadores y dispositivos que están integrados en los objetos físicos y son capaces de detectar, procesar y comunicar información a través de la red.

Para hacer que el IoT sea ecológico, es necesario estudiar más técnicas y estrategias de vanguardia que puedan satisfacer el hambre de energía de miles de millones de dispositivos [31]. Green Internet of Things (IoT Green) se centra básicamente en la eficiencia energética en los principios de IoT. Green IoT se define como las formas eficientes de energía en IoT, ya sea para reducir el efecto invernadero causado por las aplicaciones existentes o para erradicarlo en IoT mismo. Cada paso en IoT debe ser ecológico, desde el diseño hasta la implementación [6].

IoT está revolucionando nuestras actividades de la vida diaria mediante el seguimiento de diferentes escenarios y la toma de decisiones inteligentes para mejorar nuestro estilo de vida y proteger nuestro medio ambiente algunos ejemplos son [6]:

1. Hogares inteligentes: como se describe en Smart Homes, al equipar nuestro hogar u oficina con tecnologías IoT como RFID, podemos rastrear las actividades de los habitantes en el edificio y puede tomar decisiones que pueden ahorrar energía, dinero y todo el medio ambiente en el proceso.
2. Cadenas de suministro de alimentos: IoT puede tener un gran impacto en la industria empresarial. Usando tecnologías IoT, los proveedores pueden rastrear la producción de sus productos desde la granja hasta los usuarios finales.
3. IoT en la industria minera: la tecnología IoT se puede utilizar para garantizar la seguridad de los mineros y puede proporcionar a las empresas mineras información importante sobre el proceso de minería que puede ayudar a mejorar las prácticas actuales.
4. IoT en Transporte: IoT es revolucionario en la industria de Transporte y Logística. Podemos rastrear vehículos y productos utilizando RFID y sensores desde el origen hasta el destino en tiempo real. Se desarrolla una arquitectura DNS para IoT donde las operaciones a gran escala mejoran las capacidades de IoT en la gestión de la cadena de suministro.
5. Smart Cities: una de las aplicaciones más brillantes y emergentes para IoT es Smart Cities, que ha ganado popularidad en los últimos años. Una ciudad inteligente es una combinación de diferentes dominios inteligentes como el transporte inteligente, el mecanismo de ahorro de energía inteligente, la seguridad inteligente y muchos más que brindan a los usuarios las últimas instalaciones tecnológicas, todo bajo un mismo paraguas.

Estudio de investigación futurista de IoT / Green IoT como fuerza impulsora para la sostenibilidad y desarrollo

Las últimas tecnologías y la revolución del Internet de las cosas (IoT) han impulsado la investigación en casi todas las áreas relacionadas con el ser humano, difundiendo en cualquier momento, en cualquier lugar, cualquier dispositivo de acceso a la información a los seres humanos de diferentes maneras este fenomenal.

La investigación en las últimas décadas tiene como objetivo crear sinergias entre humanos, datos, procesos y cosas, organizaciones, lugares, servicios e instalaciones juntos de manera excepcional. Aunque IoT ofrece una gran cantidad de beneficios para la sociedad humana, aún el proceso de fabricación, la utilización, implementación y distribución de

servicios y dispositivos de IoT requiere, en última instancia, una gran cantidad de energía y recursos produciendo cada vez más desechos electrónicos tóxicos. Para alcanzar la meta del desarrollo sostenible, se están desarrollando planes a nivel nacionales e internacionales teniendo en cuenta los aspectos ambientales, sociales y económicos [2]. La próxima era de la revolución es G-IoT (*Green Internet of Things* por sus siglas en inglés). Aún así, hay muy pocos indicios de avances de IoT en muchos países en desarrollo. Verde por lo general significa: planificar e invertir en una red de tecnología que satisfaga las necesidades de hoy y necesidades mientras se conserva energía y se ahorra dinero”. El IoT Green se centra principalmente en la eficiencia energética y la fiabilidad de los conceptos de IoT. Green IoT se define como la forma eficiente de energía en IoT para reducir o erradicar el efecto invernadero causado por las aplicaciones existentes. Green IoT es el proceso de producir, desarrollar y desechar eficientemente computadoras, servidores, uso y asociación de subsistemas (es decir, impresoras, pantallas, equipos de comunicación y dispositivos de almacenamiento), con un impacto negativo reducido en la sociedad y el medio ambiente.

IoT también ha traído algunos de los obstáculos al Medio Ambiente. Para el entorno natural, lo más temas importantes son el aumento del volumen de desechos electrónicos, el consumo de energía y las emisiones de CO₂ [2]. Para mitigar los posibles impactos negativos de los últimos avances científicos en el área de IoT en la sociedad humana y el medio ambiente, se ha vuelto obligatorio para enfrentar de manera efectiva las amenazas y los desafíos que plantea IoT. Estos desafíos incluyen principalmente mayor consumo de energía, generación de desechos electrónicos, emisión de gases de efecto invernadero, principalmente CO₂, utilización de materiales no biodegradables para dispositivos IoT, uso de materias primas naturales y no renovables.

Esta situación ha creado una necesidad de avanzar hacia G-IoT, una futura mejora tecnológica de IoT asociada con tecnología verde y economía verde. Green IoT tiene como objetivo lograr mejoras notables en el bienestar ambiental y humano para hacer que el mundo sea más inteligente utilizando desarrollos tecnológicos sostenibles. G-IoT es la necesidad del momento y tiene el potencial de transformar completamente la sociedad humana junto con mejorar la salud ambiental. G-IoT es lo último tecnología que hace hincapié en el desarrollo de soluciones para eliminar o mitigar las influencias negativas en la vida de las personas salud y medio ambiente. G-IoT se centra básicamente en dos aspectos [4].

El primer aspecto está orientado a “diseñar dispositivos informáticos IoT, protocolos de comunicaciones y arquitecturas de redes” que son energéticamente eficientes. El segundo aspecto está orientado a aprovechar las tecnologías IoT para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, las radiaciones y la contaminación. Usando los avances tecnológicos

en las tecnologías habilitadoras de IoT, Green IoT tiene una gran capacidad para fortalecer el medio ambiente y sostenibilidad económica. Existe una gran necesidad e importancia de las tecnologías verdes y los procesos verdes en la sostenibilidad, desarrollo y construcción de un mundo inteligente.

Los principales objetivos de Green IoT son:

1. Procedimientos de eficiencia energética adoptados por IoT.
2. Reducir el efecto invernadero de las aplicaciones IoT existentes.
3. Reducir el consumo de energía y las emisiones de CO₂.
4. Gestión de residuos electrónicos.
5. Uso del entorno circundante para ayudar a generar suministro de energía.

Green IoT gira en torno a las tecnologías transversales: "Tecnologías de diseño, apalancamiento tecnologías y tecnologías habilitadoras" para apoyar y lograr el desarrollo sostenible.

1. Tecnologías de diseño: se enfoca en generar sistemas eficientes que preservan la energía, protocolos de transmisión eficientes, bajo necesidades de energía para arquitecturas de red y otras conexiones cruzadas.
2. Tecnologías de apalancamiento se aplica para reducir las emisiones de carbono y aumentar la conservación de energía.
3. Las tecnologías habilitadoras incluyen varias tecnologías, como redes de máquina a máquina, sensores y celulares, redes, RFID verde, herramientas de recolección y comunicación de energía, computación en la nube, transmisiones de radio inteligentes y técnicas de análisis para big data. Con estas tecnologías habilitadoras, IoT verde ofrece oportunidades ilimitadas para impulsar desempeño ambiental y financiero [14].

Escenario actual y Perspectivas de futuro del Green IoT

El green IoT se puede caracterizar como la metodología eficiente en energía heredada por IoT ya sea para alentar disminuir el efecto invernadero de las aplicaciones y administraciones actuales o para disminuir el efecto invernadero efecto del propio IoT. En el caso anterior, la utilización de IoT ayudará a disminuir el efecto invernadero, mientras que en el último caso, se debe considerar una mejora adicional de la impresión de efecto invernadero de IoT.

Los modelos IoT no son optimizados para la eficiencia energética; por lo tanto, desperdician energía porque siempre están encendidos, incluso cuando no son necesarios. Debido a esto, se consume mucha energía mientras está encendido y envía datos que se transmiten las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

En Green IoT, se garantiza que el dispositivo esté encendido solo cuando sea necesario y esté inactivo o apagado cuando no sea necesario. IoT verde se enfoca en la operación inteligente de dispositivos con una disminución en el desperdicio de energía. Ventilación adecuada del calor generado de servidores y centros de datos, ahorre energía usando la tecnología Smart IoT . El patrón de toda la vida de verde IoT se centra en el plan verde, la creación verde, el uso verde y, por último, la eliminación/reutilización verde que afecta la ambiente con poco o ningún impacto. Green IoT consiste principalmente en tecnologías de comunicación como Green RFID, Green WSN, Green cloud computing, Green M2M (máquina a máquina) y centros de datos ecológicos. Requieren principalmente hardware y software especial que están especialmente diseñados para consumir menos energía sin reducir el rendimiento y minimizar la utilización recursos [4].

Aplicaciones del IoT Green

Se han producido alteraciones notables en este entorno actual, y pronto se producirán más alteraciones en nombre de los avances de IoT. Sea como fuere, los costos de mejora son críticos debido a la expansión de riesgos emisiones, desechos electrónicos y consumo de energía. Como se evaluó que Green IoT tendrá un efecto importante en nuestras próximas vidas y podría generar un espacio más verde. Por supuesto, en el futuro próximo, encontraremos en nuestra vida cotidiana numerosos dispositivos, máquinas industriales, sensores, drones y objetos funcionales se comunican para lograr, con su conocimiento, sus asignaciones para el clima verde. Posteriormente, las aplicaciones de IoT verde se centran en la conservación de energía, disminuyendo las emanaciones de CO₂ y la contaminación nociva.

Sin embargo, IoT exclusivamente verde está ayudando a otras empresas con la reducción del impacto de un cambio de temperatura global, pero también disminuye el efecto del propio IoT en el clima. Esto ayuda a IoT a investigar fuentes de combustible diversas y respetuosas con el medio ambiente, reduciendo el IoT generó riesgo en el clima. Por lo tanto, el uso generalizado de IoT verde tiene una razón, fondos de reserva, clima y sustentabilidad social, y para conservar los recursos naturales y mejorar el bienestar de los seres humanos [4].

1. Smarter Home:

El IoT Green hace que el calentamiento del hogar, la iluminación y los electrodo-

mésticos estén controlados por una computadora/teléfono inteligente. Los teléfonos celulares / computadoras de casa recibe comandos de voz. La iluminación crea llamadas solares antinaturales o naturales, habitaciones y ventanas equipadas con equipos eléctricos insonorizados aislados [7]. Reconoce a los ocupantes con actividades y reacciones personalizadas, televisión, PC y teléfono unidos en un solo dispositivo, etc. Se debe considerar que el ciclo de IoT verde consiste en formaciones verdes, materiales verdes, producción verde y eliminación/reutilización de residuos verdes; reduciendo el impacto sobre el medio ambiente.

2. Automatización industrial:

Las industrias están formadas por máquinas que serán capaces de hacer bien el trabajo sin la menor intervención manual.

- a) Comunicación máquina a máquina: mediante el uso de etiquetas de automatización RFID también es posible que una RFID lector hablar directamente con un asistente que no requiere esfuerzo humano.
- b) Planta de monitoreo: los avances emergentes pueden filtrar adecuadamente diferentes límites, por ejemplo, problemas mecánicos, temperatura, contaminación del aire, etc., de la planta moderna para mejorar eficacia de la energía.

3. Smart Health Care:

En el cuerpo humano, el uso de sensores y actuadores biométricos en pacientes con agarre, seguimiento y seguimiento. La prestación de servicios de atención de la salud eficaces mejoran la calidad de la atención, mejoran la admisión a la mente, y disminuir el gasto de atención.

- a) Seguimiento en tiempo real: esto implica el seguimiento y seguimiento de pacientes y equipos de atención médica. En nombre de los términos de los bienes, el seguimiento y el seguimiento ayudan a las reparaciones, la detección, el uso del seguimiento y los objetos para evitar que varios metales se dejen sin saberlo en el cuerpo del paciente durante la cirugía.
- b) Identificación: competencia de potencia lograda mediante la implementación de técnicas viables de seguimiento RFID, estrategias predictivas, etc. Estos son importantes para obtener los detalles del paciente rápidamente y para monitorear áreas en la clínica de emergencia de los pacientes. Avances como estos deben mantener comprensión de pruebas reconocibles para disminuir los factores de

riesgo silenciosos (por ejemplo, uso indebido de drogas, dosis, etc.), registros de salud electrónicos (dentro y fuera del paciente) e identificación pediátrica (para evitar diagnósticos erróneos).

- c) Avance en la recolección de datos: disminuye el tiempo de preparación, mide la hospitalización mecanizada y cuidado computarizado y evaluación del ciclo, y reduce los costos.
- d) Detección de manera inteligente: los dispositivos neurológicos brindan condiciones demostrativas persistentes y continuas indicadores de bienestar.

4. **Red más inteligente:**

Conciencia del público en la cosmovisión de intercambio de suministro de intensidad, uso y base en creciente. En lugar de depender de los derivados del petróleo, la energía atómica, las necesidades de energía del futuro deberían basarse fundamentalmente en una variedad de activos sostenibles. El poder de la futura red debería ser útil responder a los cambios de control en la energía, las fuentes de combustible y la utilización del consumidor. Este tipo de red obtendría fundamento como la colección de dispositivos inteligentes de red asociados (hardware, ensamblaje, infraestructura y artículos de clientes) en vista de las ideas de IoT.

5. **Ciudades inteligentes:**

La caracterización de IoT debe hacerse mediante la utilización de energía activa para potenciar un mundo sostenible. Por lo tanto, con el fin de cambiar el mundo por más inteligencia, se están utilizando diversas máquinas para personalizar con sensores adicionales e intercambios para hacer el mundo más astuto. La comunicación puede hacerse por esto de una manera más inteligente al detectar y detectar objetos circundantes e intercambiar datos entre sí en el ciudad. Este concepto de una ciudad más inteligente incorpora estacionamiento inteligente, luces brillantes, aire de primera con mejor AQI, vehículo inteligente, ejecución inteligente del tráfico, edificios inteligentes, recolección de basura, agua sensores, medición inteligente y más.

6. **Entorno más inteligente:**

La cantidad creciente de vehículos, la reubicación metropolitana y numerosos ejercicios modernos han contaminación AQ ampliada en los últimos dos años. La observación de la contaminación del aire es vista como la tarea más compleja y significativa. El uso de la innovación de IoT puede pasar por aire control de contaminación menos alucinante y ayuda a comprender más fácilmente el clima, por reducción en el efecto natural

de la eliminación de desechos, numerosas organizaciones y estructuras municipales son asociadas con la mejora de los marcos efectivos de administración de basura. Colocación de sensores RFID el basurero los hace más inteligentes. En el momento en que la basura (con la etiqueta RFID) se deposita en un receptáculo, el contenedor puede distinguir el tipo de residuo para simplificar el ciclo de reutilización, ayudando a la agroindustria: esto es va a empoderar a los agricultores para que puedan abordar las importantes dificultades que enfrentan [7].

Diseño de arquitectura IoT verde basada en la nube para ciudades inteligentes

En la próxima generación, Internet creará un mundo donde las cosas físicas podrán consolidarse de manera confiable en marcos de información que darían conocimiento administraciones a clientes. Estas cosas interconectadas, por ejemplo, sensores o artilugios convenientes producirían y acumularían volúmenes de datos que pueden ser manejado más a fondo para encontrar información de apoyo para reforzar inteligente y universal administraciones. El ascenso de Internet, la universalidad siempre en expansión de información, y su baja proporción de bandera a clamor se han sumado a la cuestión de los datos sobrecarga, por lo que las personas tienen acceso a un mayor número de información de lo que pueden absorber en datos importantes y significativos.

IoT alude a una red mundial distribuida de elementos físicos que son equipados para detectar o comunicarse con otras cosas, diferentes máquinas o PC. IoT es un componente principal del próximo mundo inteligente y puede caracterizarse como un dispositivo de red con capacidades de autoconfiguración derivadas de tecnologías avanzadas. protocolos donde los objetos virtuales y físicos pueden comunicarse fácilmente.

Ciudades inteligentes basadas en IoT Green

Uno de los mayores objetivos de la era digital es diseñar estas ciudades verdes e inteligentes. Green IoT es una tecnología importante para construir ciudades inteligentes verdes. Durante los próximos diez años, los edificios serán el principal consumidor de energía que emitirá gases de efecto invernadero gases en la tierra. La mejor forma de que un edificio se vuelva más inteligente potenciando propietarios y gerentes para recopilar métricas operativas y de energía en un solo ubicación centralizada y aplicar capacidades analíticas y de optimización en toda la empresa para obtener conocimientos a partir de esa información. Existen algunos sistemas de hardware y software que pueden proporcionar información importante relacionada con la demanda eléctrica. y uso de energía. Esto podría incluir redes inteligentes

basadas en TIC para reducir la vitalidad. Costos de transmisión y mejorar la versatilidad de estos sistemas de servicios públicos. En internet de las cosas Las ciudades inteligentes basadas, los objetos o las cosas se hacen direccionales de forma única mediante el uso de una forma única de identificación donde estos objetos inteligentes transmiten la información como ubicación, estado, tipo, contexto u otras medidas sensoriales a los otros dispositivos.

Características de las Ciudades Inteligentes Green IoT

En las ciudades inteligentes verdes de IoT, las características principales incluyen hogar inteligente verde, oficina inteligente, sistema de salud inteligente verde, redes inteligentes verdes, transporte inteligente verde sistema, agricultura verde inteligente, sistema de gestión de residuos verdes inteligentes.

Hogar inteligente verde

Debido al calentamiento global, cada vez más personas se están volviendo conscientes de la energía y esperan con ansias las soluciones de gestión de energía para su hogar. La casa inteligente permitirá nuevas oportunidades para arquitectos, constructores, proveedores de tecnología y propietarios al mismo tiempo. Estos nuevos productos para el hogar basados en sensores son controlable desde los dispositivos sensoriales inteligentes de un propietario, como un teléfono inteligente o tabletas para controlar el sistema de Aire Acondicionado (AC), luces, manejo de puertas y para operar otras funciones domésticas de su dispositivo personal. Por ejemplo, basado en la información del pronóstico del tiempo, una casa inteligente puede abrir y cerrar automáticamente las ventanas. Hoy muchos proveedores de servicios ya han lanzado servicios residenciales aplicaciones que se pueden controlar a través del decodificador o de la web al permitir sus usuarios para monitorear sus casas desde cualquier lugar a través de teléfonos móviles inteligentes.

Enfoques para software y algoritmos utilizados en Green IoT Smart City

Los enfoques principales como Green Data Center Design, Virtualization for going green, Green Power Management y Green Computing para algoritmos y el software utilizado en las ciudades inteligentes Green IoT se enumeran a continuación:

1. Diseño de centro de datos ecológico.
2. Virtualización para volverse ecológico.
3. Gestión de energía verde.

4. Computación verde.

Arquitectura de IoT Green integrada en la nube para ciudades inteligentes

En esta sección se propone la Arquitectura Green IoT para ciudades inteligentes que tomará cuidado de los aspectos de comunicación, estandarización, interoperabilidad. La característica principal de esta arquitectura propuesta es que se basa en la plataforma en la nube que reduce automáticamente el consumo de energía para muchos sistemas y hace que el medio ambiente sea más limpio. La arquitectura propuesta de Green IoT consta de cinco capas, es decir, capa de presentación, capa de aplicación, capa analítica de big data, capa de red y capa de sensor e infraestructura. La arquitectura define los principales paradigmas de comunicación para las entidades conectoras. Proporciona una referencia pila de comunicación junto con información sobre las principales interacciones en el dominio modelo [23].

Diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos basada en DASH7 para infraestructura verde

La adquisición de datos para el desarrollo de infraestructura verde y el monitoreo ambiental requiere un implementación de una WSN (red de sensores inalámbricos por sus siglas en inglés). Una arquitectura WSN general incluye: nodo(s) o punto(s) final(es), puertas de enlace y un servidor en la nube, En la WSN propuesta, nodos o puntos finales serían desplegados en los sitios de monitoreo. Se desplegaría una puerta de enlace o subcontrolador cerca el sitio de control. Los puntos finales transmiten lecturas a través de una red definida a la puerta de enlace, y Gateway los publica en un servidor en la nube. Los usuarios analizan y controlan los datos accediendo al servidor en la nube. Cada nodo contiene un poderoso módem de red para comunicarse con la puerta de enlace, y contiene múltiples sensores funcionales como sensor de humedad, sensor de luz, sensor de temperatura, sensor de humedad, etc. Los nodos se pueden implementar bajo un estacionario o un Estado movilizador. Las puertas de enlace se implementan en zonas de control en lugar de sitios de monitoreo.

Tecnologías WSN actuales y limitaciones

Se han utilizado muchas tecnologías inalámbricas para el desarrollo de WSN. El más ampliamente Las tecnologías inalámbricas utilizadas son RFID, Bluetooth, Bluetooth ULP (Ultra Low Power, también conocido como Wibree) y Zigbee. Además, existen varias tecnologías de comunicación de alta velocidad. Basado en radio de banda ultraancho (UWB).

Estas tecnologías permiten aplicaciones versátiles. Muchas aplicaciones que no son de consumo requieren un rango de comunicación de radio más largo en comparación con tecnologías mencionadas anteriormente. Por ejemplo, RFID, Bluetooth y UWB suelen ser adecuados para comunicación de corto alcance, donde el alcance es inferior a 10 m. en la industria y aplicaciones de infraestructura, el rango de radio requerido puede ser de hasta cientos de metros. Además, Se requiere un consumo de energía muy bajo para los sistemas donde se aplican baterías.

Arquitectura WSN utilizando el protocolo DASH7

Debido a las limitaciones de las tecnologías enumeradas anteriormente, se propone la red de sensores inalámbricos DASH7 para la infraestructura verde y el monitoreo del medio ambiente. Comprometer una amplia gama de datos adquisición y eludir una configuración compleja para la red de malla, se propone el protocolo DASH7 (D7AP) en este proyecto para servir con propósitos de diseño, evaluación e implementación.

D7AP

D7AP está diseñado para evitar el uso del rango de frecuencia ocupado de 2,4 GHz utilizado por muchos protocolos como como ZigBee y Wi-Fi. En su lugar, el protocolo DASH7 utiliza la banda ISM Sub-1GHz, operando en el 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz. D7A se desarrolló originalmente a partir del estándar ISO18000-7 para fines logísticos militares. D7AP está concebido como un protocolo de red asíncrono de rango medio permitir la comunicación con paquetes de datos pequeños y en ráfagas entre dispositivos en una solicitud-respuesta. Se considera que los terminales tienen limitaciones de energía y son móviles dentro del entorno. Además, se supone que toda la red de dispositivos es transitoria y no hay necesidad de mantener información de enrutamiento u otra información de gestión.

Wizzikit D7AP-915MHz

El WizziKit es un marco completo de creación de prototipos de red inalámbrica de sensores y actuadores basado en Hardware de WizziLab y plataformas colaborativas de código abierto. El kit Wizzikit 915-MHz es un conjunto diseño de kit para aplicación WSN, que tiende a reemplazar otras WSN (por ejemplo, Zigbee) por verde monitoreo de infraestructura y medio ambiente.

Gateway (915-MHz)

Gateway juega un papel central de monitoreo y configuración de la WSN. Puerta de enlace v1.0 (WizziGate) es una placa Linux implementada usando un filtro de módem DASH7. El hardware de GW se basa en GL-iNet Enrutador inteligente AR150 con firmware MQTT mejorado y extensión RF de 915 MHz. Muchos Los protocolos de comunicación están disponibles a través de GW. Como se muestra en la Fig. 4, estos incluyen Message Transporte de telemetría de cola (MQTT), DASH7, WIFI y GSMA. Los puntos finales transmiten y publican datos a GW por D7AP, mientras que GW mantiene la adquisición de datos a través del protocolo MQTT. Datos La adquisición de la red D7A se almacena en la nube y se puede acceder a ella a través del panel Dash7 en red WiFi.

Puntos finales D7AP-915MHz

El nodo de punto final (WizziMote en la red de Wizzilab) de 915 MHz se presenta como un punto final WSN que incluye dos placas implementadas juntas: SH2050 shield y Host Nucleo-L432KC. SH2050 es un escudo de circuito integrado que está diseñado para tener un módem de protocolo DASH7 y un número de sensores funcionales disponibles, que son útiles para la infraestructura verde y el medio ambiente vigilancia. Basado en el procesador de aplicaciones Cortex M0+ (STM32L081KZ6), SH2050 está diseñado para dar una conexión entre los dispositivos sensores/actuadores (HOST) a la red DASH7. Está controlado por la aplicación host usando un enlace serial y algunos GPIO [23].

Sistema de monitoreo de la calidad del agua en tiempo real basado en Green IOT

Habilitando el mundo inteligente, IoT es incorporado por el Consejo de Inteligencia de los EE. UU. entre las seis "Tecnologías civiles pioneras", que afectarán los entramados de control de los Estados Unidos. La NIC predice que "Para 2025, los nodos web pueden vivir en cosas regulares, es decir, paquetes comestibles, muebles, informes de documentos, etc.". Especialmente, dado que se supone que todos los dispositivos en el mundo inteligente están equipados con sensores adicionales y complementos de comunicación para que puedan sentir el mundo y comunicarse entre sí, requerirán más energía.

Además, determinada por los intereses en desarrollo y la apropiación de diferentes asociaciones, la demanda de energía será increíblemente mayor. Todo esto hace que IoT verde, que hace hincapié en disminuir la utilización de energía de IoT, sea una necesidad, en términos de cumplir con el mundo inteligente con viabilidad. Teniendo en cuenta la eficiencia energética como la clave en medio del plan y el avance del internet de las cosas, IoT

verde se puede caracterizar de la siguiente manera. “Las estrategias de eficiencia energética (hardware o software) recibidas por IoT, ya sea para fomentar la disminución del impacto de invernadero de las aplicaciones y beneficios existentes o para disminuir el efecto del impacto de invernadero en IoT mismo. En el caso anterior, la utilización de IoT ayudará a disminuir el impacto de la casa verde, mientras que en el último caso se cuidará de una mayor optimización de la huella de la casa verde de IoT. Todo el ciclo de vida del IoT verde debe concentrarse en la arquitectura verde, la producción verde, las aplicaciones verdes y, por último, la transferencia/reutilización verde para tener poco o ningún efecto en la naturaleza”.

2.1.2. Plataformas IoT

Éstas permiten conectar a una red local referente a IoT directamente a la nube, a su vez son capaces de ofrecer una integración de otras tecnologías de apoyo, tales como, inteligencia artificial, gestión de dispositivos, Data Analytics, Machine Learning y más. Las plataformas para IoT son una pieza fundamental en la arquitectura del mismo ya que son aquellas que permiten la interacción entre el mundo real así como el de la digitalización de manera virtual.

Tipos de plataformas IoT

1. Plataformas de conectividad: Este tipo de plataforma es capaz de tener la cobertura así como las soluciones para conectar los dispositivos IoT con la finalidad de administrar y conectar los servicios de comunicación.
2. Plataformas de administración de dispositivos: Se encargan principalmente de gestionar que los dispositivos conectados se implementen, configuren y mantengan actualizados constantemente.
3. Plataforma de respaldo en la nube: Permiten tener un respaldo empresarial de acuerdo a la gestión de IoT en sus aplicaciones y servicios.
4. Plataforma analíticas avanzadas: Esta plataforma ofrece soluciones de software para análisis mas complejos tales como el aprendizaje automático y la capacidad de análisis de transmisión y procesamiento de datos.
5. Plataforma de habilitación de aplicaciones: Permite desarrollar, crear, probar e implementar rápidamente aplicaciones o servicios propios de IoT.

Algunas plataformas reconocidas son: IOT AWS de Amazon, IOT de Google, NodeRED así como IOT Azure de Microsoft.

Node-RED

Node Red nace como una herramienta basada en la programación visual permitiendo hacer mas fácil la interacción entre el software y el programador derivado de que las funciones, conjuntos y comandos se muestran de forma explícita, sencilla y visual en un entorno cómodo de conexión con nodos que al unirse entre si transfieren información, realizan funciones complejas o avanzadas así como la interacción con diversos dispositivos entrelazados.

Gracias al trabajo desarrollado en conjunto de Nick O'Learly y Dave Conway-Jones IBM donde se buscaba la manipulación y visualización de tópicos de MQTT.

En la actualidad es un aliado en los trabajos relacionados con IoT debido a la facilidad al momento de programación debido a que no utiliza un lenguaje complejo de programación, por el contrario, es intuitivo y bastante ágil a la hora de realizar trabajos cíclicos, además tiene como ventaja el ser un código abierto, gratuito y libre.

El entorno de desarrollo de Node-RED es la programación basa en flujos o FBP (por sus siglas en ingles Flow Based Programming). Su fundamento se torna directamente al código NodeJS apoyado de la librería JavaScript creado a partir de los motores de Google Chrome por lo cual permite poder ejecutarse a través de navegadores de internet haciendo mas fácil la tarea de programación.

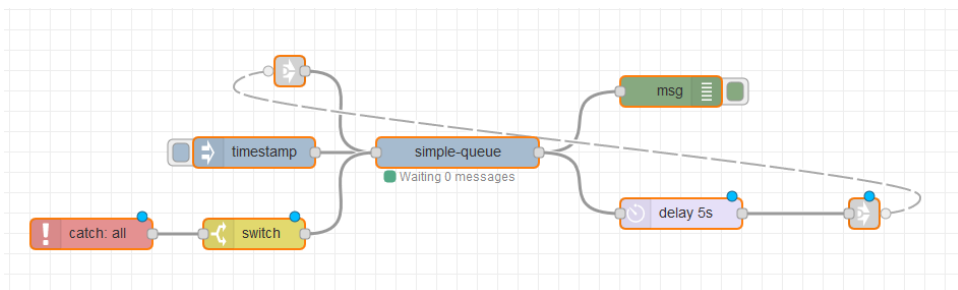


Figura 2.2 Ejemplo de programación basada en nodos Node-RED
Fuente: <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-simple-queue>

El código NodeJS se encuentra escrito en cajas que pueden ser conectadas entre si gracias a los nodos que permiten el flujo de datos, de acuerdo a esto los nodos se clasifican como iniciadores, intermedios y terminales.

Los iniciadores permiten iniciar el flujo de datos debido a que solo comparten una salida en especifico. Los intermedios son capaces de recibir datos específicos, realizar funciones determinadas y entregar un resultado como dato a la salida. Así mismo los que se denominan terminales son aquellos que culminan la ejecución de los datos y los muestran o entregan para los fines específicos del programador.

Es importante resaltar que a esta comunidad se contribuye por medio de librerías las cuales permiten la entrada de nodos especiales que contienen funciones específicas que permiten desde controlar programadores lógicos programables hasta tener una pantalla de monitoreo de datos para la obtención de variables del sistema en cuestión.

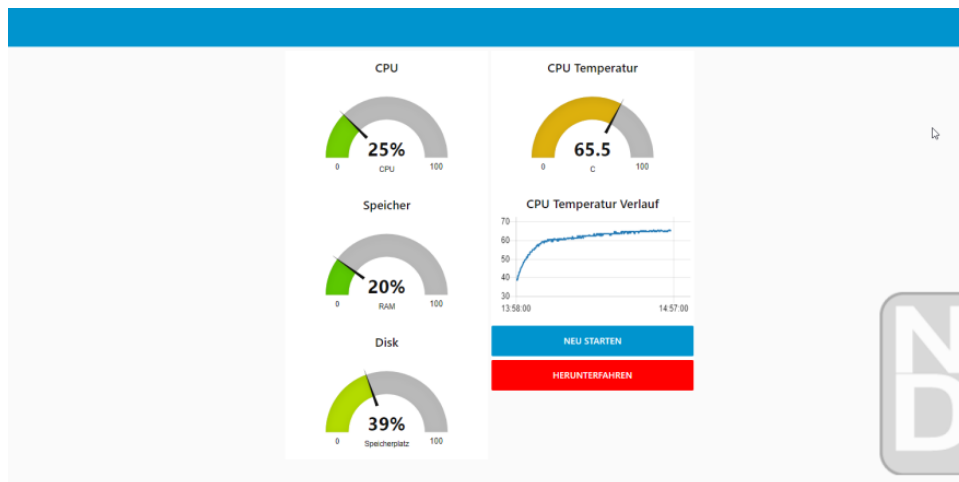


Figura 2.3 Monitoreo de variables en el entorno Node-RED Fuente: <https://nerdiy.de/es/mostrar-los-datos-del-sistema-noderados-de-la-raspberrypi-en-el-tablero>

2.2. Sistemas SCADA

Un SCADA (Control de supervisión y adquisición de datos por sus siglas en inglés) es un sistema de control de automatización, el cual suele localizarse en un lugar estratégico para la obtención de información y su correcta concentración para la toma de decisiones de los componentes, herramientas y objetos que lo componen. Los sistemas SCADA bien pudieran ser consecuencia de la ley universal del mínimo esfuerzo, ya que todos los logros tecnológicos nacen con la finalidad de realizar el mínimo esfuerzo y dar prioridad a otros procesos. Algunas características básicas propias de este control es la obtención de información en tiempo real a una gran diversidad de distancias donde se recopilan, procesan y mantienen los datos. Es importante señalar la importancia que estos sistemas de supervisión aportan cuando se tienen estaciones, procesos o protocolos a grandes distancias con lo cual se puede evaluar los errores y así tener la posibilidad de analizar los datos y asegurarse de que el error no sea crítico y reparable [35, p. 285].

El sistema utiliza una arquitectura de servidor cliente y tiene varios elementos, en particular, servidor de entrada-salida, servidor SCADA, interfaces hombre-máquina y un

servidor de control. La primera generación de sistemas SCADA se diseñó sin infraestructura de red, ya que no estaba completamente desarrollada en ese momento. Luego vino la próxima generación del sistema SCADA donde se introdujo el concepto de red.

La infraestructura ya existente de las redes celulares es un gran aliado debido a que los componentes básicos para los sistemas SCADA a distancia, ya que, es posible tener varios procesos conectados a la red principal y enviando datos a través del sistema SCADA apoyado de la red celular local. Los sistemas SCADA consisten principalmente en una unidad terminal maestra (MTU), controladores lógicos, interfaces de comunicación, una interfaz hombre-máquina (HMI) y controladores PLC que a su vez constan de: procesador, módulos de entrada, módulos de salida, módulo de comunicación, módulo de memoria y fuente de alimentación [29]. Las MTU se caracterizan por ser servidores que se comunica con los controladores lógicos que monitorean las operaciones del entorno industrial detectando y previniendo posibles fallas y estados anómalos. Algunos ejemplos de controladores lógicos de gran impacto en estos sistemas son los controladores lógicos programables (PLC) y las unidades terminales remotas (RTU). Las interfaces de comunicación por su parte se refieren a los protocolos industriales utilizados para la comunicación entre la MTU y los controladores lógicos y finalmente, las HMI son aplicaciones de interfaz gráfica de usuario (GUI) que se instala en la MTU y la utiliza un operador del sistema para transmitir comandos a los controladores lógicos y recibir datos de ellos [35, p. 3-4].

Este tipo de interacción industrial se busca realizar por medio de sistemas de control de supervisión y adquisición de datos que se basan en la utilización de tecnologías IoT para un proceso de ensamblaje automatizado. Para esto, se busca obtener autonomía e independencia en la que el sistema tome decisiones y accione por sí mismo sin la necesidad de intervención externa de algún operador o bien, por el programador [17]. Sin embargo, el uso de sistemas SCADA en los procesos industriales modernos resulta costoso debido al pago de licencias, dificultad para conectarse a RTUs de diferentes fabricantes, soporte solo para protocolos de comunicación industrial y escalabilidad limitada al usar una base de datos estructurada. Se puede lograr un sistema SCADA de bajo costo con posibilidad de conexión a una RTU basado en tecnología IoT que a su vez permita comunicación universal con dispositivos de campo a través del protocolo de comunicación TCP/IP y soportado en una base de datos NoSQL [25]. Según Tanjim *et al.* [32], los sistemas SCADA de bajo costo han validado su capacidad para los criterios de consumo de energía monofásico de nivel medio y su configuración de control ha sido probada tanto para el estado manual como para el automático.

No solo los sistemas industrializados pueden ser llevados a la complejidad de los sistemas SCADA sino, también aquellos que son de necesidad primordial como la operación de los

sistemas de agua potable, debido a que llevar este elemento a los consumidores es una tarea compleja, la cual conlleva el análisis cuantitativo de parámetros tales como la presión, el caudal y la calidad del agua. El análisis inteligente de estos datos permite a los organismos operadores de agua clasificar diferentes tipos de consumidores, usuarios finales, negocios o fuentes públicas, también ayuda a identificar anomalías en el consumo de agua, lo que podría significar una fuga o un problema en el sistema de distribución del vital líquido [18].

En el caso de Hindy *et al.* [21] se propone un sistema que se controla automáticamente a través de controladores lógicos programables (PLC por sus siglas en inglés) por medio del protocolo Modbus interconectado con sistemas abiertos que permite comunicación muy efectiva esto en la búsqueda de prevenir el derrame del vital líquido almacenado en tanques, que de igual manera puede ser muy funcional para cualquier sustitución de otra fuente de líquidos tales como aceites, combustibles entre otros. El obtener este tipo de datos permite su clasificación y detección para realizar algunos programas de interfaz en plataformas de aplicación o de transmisión de datos propiamente necesarios [27]. Otro sistema no es tan frecuentemente observado es el de distribución de aguas residuales, por el cual las aguas negras se transfieren por la combinación de tuberías principales ascendentes así como de gravedad, muchas veces manipulados por bombeos de gran necesidad. Para ello es importante resaltar la relevancia del trabajo realizado por Drenoyanis *et al.* [15] basado en un circuito integrado inalámbrico de 80 GHz con conectividad 3G capaz de reportar, en tiempo real, los niveles de aguas residuales. El uso del protocolo LoRaWAN fue implementado adecuadamente dentro de un área geográfica, puede alcanzar máximas distancias de transmisión de 20 km dentro de una zona urbana y hasta 35 km de línea de visión. La nueva era de la comunicación a formado parte de la creación de dispositivos de detección que se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones y en la recopilación de datos en redes agrupadas tal es el caso de varios dispositivos con sensores a distancias similares que forman un grupo o varios combinados para formar una WSN basada en un clúster. Cada clúster tiene un nodo especial llamado nodo Cluster Head (CH) y otros nodos se denominan nodos miembros. La red de agrupamiento está principalmente dirigida a las redes de fusión de datos. Por lo tanto, después de que se encuentran varios paquetes, se puede realizar la fusión de datos para eliminar los datos redundantes, fusionándose en paquetes más pequeños. En una red de funciones de fusión de datos, cualquier paquete múltiple puede fusionarse en un paquete de datos, llamado itálicas [34].

Algunos otros ejemplos de aplicación de sistemas SCADA en la infraestructura crítica urbana incluye redes inteligentes, redes de agua obras y sistemas de transporte. En 2015, múltiples subestaciones en Ucrania se vieron comprometidas resultando en apagones que

afectaron a 225.000 personas [16]. Debido a estas distancias más largas, tiende a haber menos control a través de las redes que los utilizan. El 80 % de los servicios públicos de EE. UU., funcionan con sistemas SCADA. Estos sistemas operan mediante telefonía comunicaciones u otras redes de terceros, lo que reduce la velocidad, frecuencia y calidad de las comunicaciones. Por esta razón, SCADA tiende a ser impulsado por eventos, lo que significa que los datos solo se comunican desde los dispositivos al software cuando hay un cambio en el valor. A su vez, requieren una consola de operador o interfaz de máquina desde la cual un ingeniero puede ver, comandar y controlar los dispositivos conectados al sistema. Esta HMI también es vulnerable a ataques cuando un atacante podría interceptar los datos de los PLC y alterarlos en la HMI.

2.2.1. Características de un sistema SCADA

Un sistema SCADA toma datos de información que son transferidos a una central, con el cierto objetivo de realizar un análisis y control necesario, para que de esta manera sea mostrada al operador por una serie de pantallas permitiendo la interacción, cuando las acciones de control sean requeridas se transportara a un nuevo proceso. Las características principales de un sistema SCADA son:

1. Adquisición y almacenamiento de datos, para recoger, procesar, y almacenar información recibida en forma continua y confiable.
2. Representación gráfica y animada de variables de procesos y monitorización de estas por medio de alarmas.
3. Ejecuta acciones de control, para modificar la evolución del proceso, actuando mediante las salidas conectadas.
4. Arquitectura abierta y flexible con capacidad de ampliación y adaptación.
5. Conectividad con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de comunicación.
6. Supervisión, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
7. Transmisión de información de dispositivos de campo a otro PC.
8. Base de datos, gestión de datos con bajos tiempos de acceso.

2.2.2. Arquitectura de un sistema SCADA

En un principio en el campo de la automatización todo es controlado por el computador principal para después ser distribuido al control de la planta. El sistema puede estar dividido en los siguientes bloques.

1. Sistema de adquisición de datos y control (SCADA).
2. Sistema de adquisición y mando (sensores y actuadores).
3. Sistema de interconexión (comunicaciones).

Por medio de herramientas relacionadas con la visualización y control se tiene acceso al sistema de control de procesos, principalmente desde un ordenador el cual se encuentra conectado donde la aplicación de control y supervisión reside. El sistema de procesos llega a captar el estado del sistema por algunos elementos como sensores o por medio de las herramientas HMI. Basados en comandos ejecutados por el usuario para conservar el control del sistema a través de sus actuadores.

2.2.3. Ventajas de un sistema SCADA

El sistema SCADA es más que una pantalla que solo informa los estados de nuestros procesos controlados. Se pueden encontrar diversos elementos de regulación y control, sistemas de comunicación y múltiples softwares que pretenden que el sistema funcione de una manera segura y eficiente. Las ventajas más evidentes de los sistemas de control automatizado y supervisado (SCADA) son los siguientes:

1. El nivel actual de desarrollo de los paquetes de visualización permite la creación de aplicaciones funcionales sin necesidad de ser un experto en la materia
2. La modularidad de los autómatas permite adaptarlos a necesidades actuales y ampliarlos posteriormente si es necesario.
3. Una gran cantidad de sensores y actuadores pueden integrarse en un programa de PLC mediante las múltiples tarjetas de adquisición de datos disponibles en el mercado.
4. Los programas de control pueden documentarse convenientemente de manera que puedan ser fácilmente interpretados por los técnicos de mantenimiento.
5. Los sistemas de diagnóstico implementados en los elementos de control informan continuamente de cualquier incidencia del equipo.

2.2.4. Primera Generación

Las tarjetas perforadas de Herman Hollerith las cuales se basaban en una idea la cual era aplicada por ciertas líneas ferroviarias en donde ciertos expendedores marcaban las tarjetas con agujeros en los lugares dependiendo la descripción de los rasgos de la persona (cabello, color de ojos, etc.), a modo de tarjeta de identificación. Ya que la mayoría de preguntas podían contestarse con un SI o un NO, diseñó unas tarjetas que contestaran esas preguntas con perforaciones. Dichas perforaciones se alineaban en ochenta columnas. Gracias a esta idea Hollerith fundó la Tabulating Machine Company y llegó a vender sus productos alrededor de todo el mundo.

En el año de 1919 la compañía anuncia la aparición de la primera máquina impresora, un hecho que revolucionó completamente la forma en la que las compañías hacían sus operaciones.

En 1924, La compañía cambia su nombre y adopta la denominación de una de las compañías absorbidas: International Business Machines Corporation (IBM) [28, p. 4].

2.2.5. Segunda Generación

En el año de 1947 aparece el transistor, gracias al largo trabajo y esfuerzo de los físicos William Shockley, Walter Brattain y John Bardeen, de los laboratorios Bell.

El funcionamiento era similar al de la válvula de vacío, pero se necesita menos tensión de alimentación y la corriente que utiliza es mínima. Las computadoras aún son de uso específico. Sirven para el proceso de datos o para varios cálculos matemáticos, pero no las dos cosas.

El lenguaje COBOL desarrollado en la primera generación, ya está disponible comercialmente, ahora los programadores no necesitan ningún conocimiento en hardware y pueden centrar sus esfuerzos en los programas propiamente descritos. En 1957 IBM fabrica el primer disco magnético: RAMAC 650 [28, p. 7-8].

2.2.6. Tercera Generación

Se construyó el primer circuito integrado por Jack Kilby en el año 1958, de Texas Instruments, con solo seis transistores hechos sobre la misma placa. Actualmente, un circuito integrado está formado por más de cinco millones de transistores. Se reduce el tamaño de los equipos gracias al circuito integrado, disminuyendo los requerimientos energéticos y se aumenta todavía más la velocidad del procesamiento. También aparece el concepto de multi-

tarea gracias a la gran capacidad de procesamiento de los nuevos equipos y un nuevo método permite que mejore la comunicación con la máquina, una utilidad que su realización son tareas de intérprete: Sistema Operativo. En 1964, IBM produce la serie 360 de computadores que sustituía por completo los transistores de la serie 700 por circuitos integrados. Esta serie anteriormente mencionada empleaba agrupaciones de ocho bits, dándose el nombre de Byte a este tipo de memoria. La DEC (Digital Equipment Corporation), dirige su interés a la fabricación de equipos más pequeños, conocidos como mini computadoras, para diversificar el mercado [28, p. 8-9].

2.2.7. Cuarta Generación

El campo electrónico, gracias a la miniaturización, hace posible la aparición del microprocesador y los chips de memoria. Los núcleos de ferrita desaparecen, siendo sustituidos por chips de silicio y el desarrollo de técnicas para aumentar la escala de integración en los componentes permite integrar más componentes en la misma superficie.

La empresa japonesa BUSICOM, junto con Intel Corporation, en el año de 1969 comienza el desarrollo de un circuito integrado que reúna todas las funciones básicas del proceso para aplicar en una calculadora de mesa de un bajo coste.

En 1976 Steven Jobs y Stephen Wozniak inventan la primera microcomputadora para uso general y fundan Apple Computers en 1977.

En 1988, IBM presenta el ordenador personal IBM PS/2. El mercado de los ordenadores personales empieza a tomar auge al bajar los precios. Para el año de 1991 la alianza entre Apple, Motorola e IBM da origen al PowerPC [28, p. 9].

2.2.8. LOGO! Web Editor como plataforma SCADA

LOGO! Web Editor (LWE) es una herramienta de programación visual basada en la programación del controlador lógico programable de Siemens que permite la creación básica y sencilla de plantillas para la visualización, control y monitoreo de forma local apoyado de animaciones y sonidos. Es a su vez un sistema SCADA propio del controlador Logo! que permite compartir la información de los compartimientos de los PLC que se encuentren conectados a la red local.

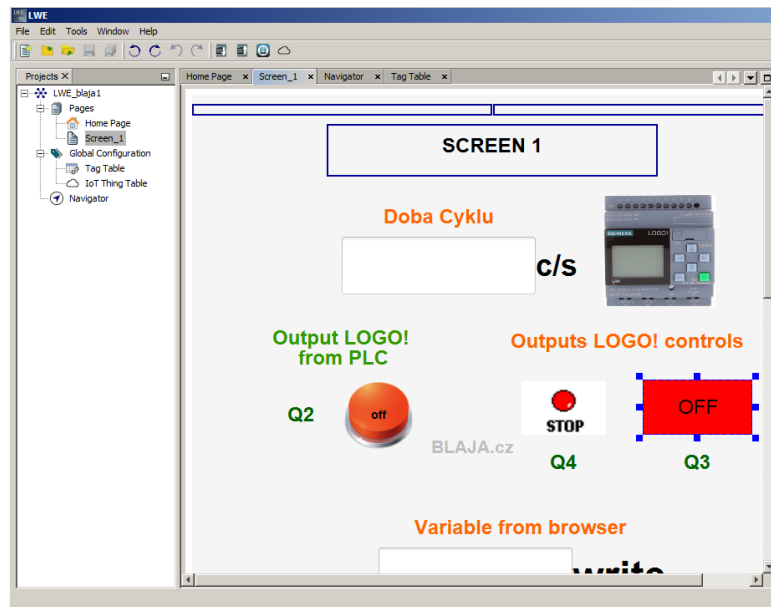


Figura 2.4 Plantilla de Logo Web Editor Fuente: Creación propia

2.3. Redes Industriales

Debido a la complejidad que representaban los sistemas industriales en cuanto a la cantidad de cableado que manejaban, nace el desarrollo de las redes industriales como se conocen actualmente. Estas buscaban como objetivo común la reducción del cable y así obtener mejores resultados y un alto rendimiento que se entiende como una mejora económica notable en el ámbito industrial.

Debido al campo en que se aplique y las necesidades del mismo se requieren distintas técnicas diferentes lo que permite la posibilidad de distintas redes, lenguajes y formas físicas distintas. Para que todas las redes industriales tengan un propósito similar es importante que estas se basen en normativas como en cualquier otro ámbito, simplemente que en este tema se tienen diferentes estándares que son plenamente abiertos y avalados por diferentes organismos internacionales tales como ISO (Organización Internacional para la Normalización por sus siglas en inglés), IEC (International Electrotechnical Commission), IEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) o ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) por sus siglas en inglés. Cabe mencionar que algunas de las normas relacionadas con la comunicación mas utilizadas son EIA RS232, EIA RS422 y EIA RS485.

2.3.1. Profibus

Profibus fue creado en la época de los años 1987 y 1990 siendo este el primer bus de campo abierto en lo que a comunicaciones industriales se refiere; obsérvese la estructura del protocolo en la figura 2.5. Este es utilizado mayormente en aplicaciones pequeñas de automatización. Su alcance es significativo debido a que puede usarse en aplicaciones importantes donde se necesite una velocidad alta incluso si es que las tareas que se buscan comunicar son de grado avanzado. Es uno de los menos utilizados en la actualidad de acuerdo a los avances en distintas comunicaciones industriales actuales. Las normas que le rigen son UNE IEC 61158 así mismo IEC 61784 del grado internacional.

Así mismo se compone de tres tipos principales: FMS (Especificación de Mensajes de Campo) su aplicación mas habitual es la de conectar distintos controladores lógicos programables (PLC's) que tienen como funcionamiento el control de otros; Profibus DP (Periferia Descentralizada) se basa principalmente en la comunicación a alta velocidad de dispositivos de entrada y salida, lo que se le conoce como sistema maestro y esclavo, donde el maestro es capaz de tener el control de la comunicación mientras que los esclavos solo procesan la información correspondiente y la ejecutan sin la toma de decisiones en el sistema o proceso en que se encuentren; por ultimo se encuentra Profibus PA (Automatización de procesos) el cual es un complemento para Profibus DP teniendo la capacidad de transmitir, lo cual permite ser utilizado en entornos de alto riesgo o peligrosos.

Algunas características propias a considerar de Profibus referente a su medio de transporte de la información, es que utiliza un cable a dos hilos trenzado y apantallado, fibra de vidrio y permite la transmisión inalámbrica, su velocidad de red es de 9.6 kbit/s a 12Mbit/s. Es posible tener conectados a la red una cantidad máxima de 127 equipos sin embargo, solo 32 pueden estar funcionando de forma simultánea a la vez. Las distancias máximas que se logran son de hasta 9 kilómetros utilizando un medio eléctrico pero al utilizar fibra óptica se pueden alcanzar longitudes de 90 kilómetros [8, p. 20-23].

2.3.2. Ethernet Industrial

Actualmente tanto en la industria como en la vida doméstica el uso del Ethernet para la conectividad es indispensable debido a que tiene una alta velocidad, un bajo costo y tanto su instalación como mantenimiento es sencillo.

Es importante contemplar que este tipo de red debe ser muy confiable y poder permanecer en función incluso durante condiciones no favorables que provoquen interrupciones accidentales de red que repercuten en fallas que pueden ser costosas y poner en peligro la

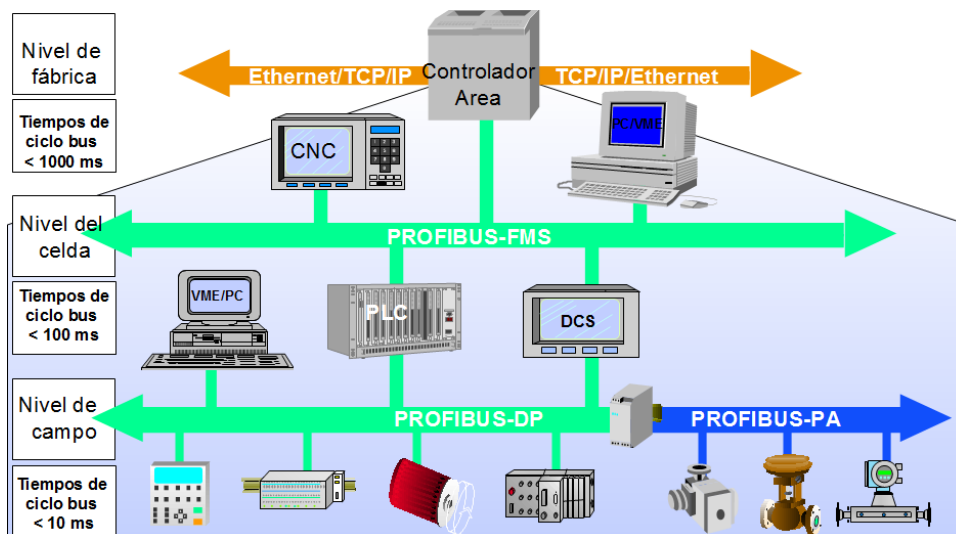


Figura 2.5 Protocolo profibus. Fuente: <http://comunicacionesindustrialesperez.blogspot.com/2014/01/comunicaciones-en-profibus.html>

información del sistema. Es por ello que para conseguir una mayor confiabilidad se hace uso de cuatro diferentes redundancias que funcionan para Ethernet las cuales son: Link Aggregation, Spanning Tree Protocol (STP) así como topología de anillos.

En algunas aplicaciones se hace uso de la tecnología IP multicast para lograr el envío de paquetes de información a distintos grupos de receptores haciendo uso de direcciones propias de IP esto con la finalidad de transmitir información y a su vez lograr consumirla con facilidad.

Para lograr una buena seguridad de acuerdo a las amenazas e intrusiones que pueden darse a lo largo de la exposición que se tiene debido a equipos dañados incluso por errores que se den en el funcionamiento de estos, la solución mas sencilla puede darse por medio de routers o incluso switches. Sin embargo se puede hacer uso de otras herramientas de seguridad tales como el control de acceso por medio de llaves de autenticación que permitan tener mayor seguridad a la hora de conectarse y administrarse.

La arquitectura propia de Ethernet se basa principalmente en cable coaxial que permite la transmisión en banda base de 10 MBPS. Obsérvese el protocolo ethernet en la figura 2.6.

2.3.3. Profinet

Profinet surge de una evolución de la continuidad de Profibus pero al mismo tiempo toma bastantes ventajas de la red Ethernet industrial debido a que esta basado en este como estándar de automatización, véase la arquitectura del protocolo profinet en la figura 2.7. Es

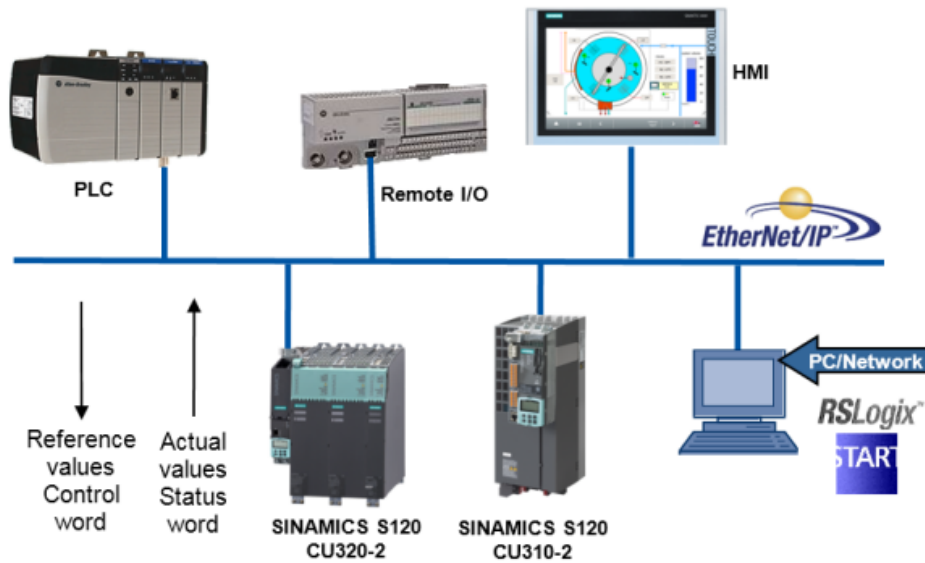


Figura 2.6 Protocolo ethernet. Fuente: <https://www.infopl.net/descargas/160-siemens/motion-control/2838-control-velocidad-siemens-s120-compact-controllogix-ethernet-ip-en>

importante señalar la relevancia de la solución a dos problemas que no podía solucionar en grandes rasgos Ethernet, los cuales eran: la disposición de unidades de entrada y salida descentralizadas y tener la posibilidad de conocer con exactitud el intervalo de tiempo que se produce al enviar información.

Algunas ventajas sobresalientes son las siguientes: Es un estándar completamente abierto utilizado en la automatización, debido a que se basa completamente en Ethernet Industrial. Los componentes propios de Ethernet Industrial y Ethernet Estándar son compatibles entre sí a pesar de la robustez que los equipos industriales ofrecen para mantenerse en ese tipo de entorno. Hace uso de tecnologías de la información así mismo de estándares tales como TCP/IP. Se puede conseguir la automatización en tiempo real en aplicaciones que así lo necesiten. Es posible la integración de sistemas que manejen bus de campo.

Existen tres servicios de comunicación propios para Profinet los cuales se describen a continuación:

1. Estándar TCP/IP: Este tipo de comunicación es capaz mas no es determinístico, por lo cual, puede ser utilizado en parametrización, transmisión de video o audio entre otros.
2. Tiempo real: Se distingue por implementar el protocolo sobre la capa MAC, se dice que este sistema es determinístico mas no isócrono. Maneja tiempos de retardo en un rango de 1-10 ms. Profinet I/O se enmarca dentro de la clase tiempo real.

3. Tiempo real isócrono: Tener una sincronización de alta precisión que se logra gracias a priorizar la señal y conmutar la programación, esto puede permitir ejercer varias aplicaciones tales como el control de movimiento.

En cuestión del cableado, profinet es capaz de utilizar cualquier cableado que utilice la red de Ethernet, uno de los más utilizados es el UTP. El conector más común es el RJ45 [8, p. 23-28].

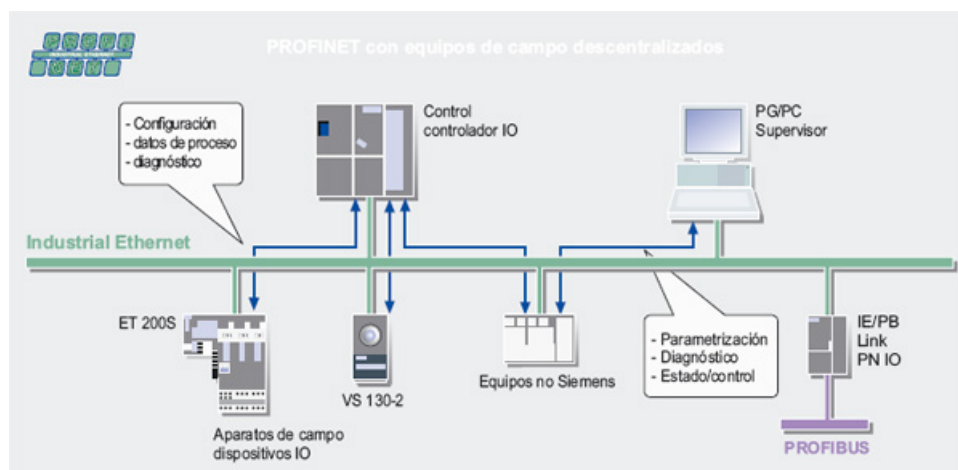


Figura 2.7 Arquitectura del protocolo profinet. Fuente: <https://www.infopl.net/documentacion/7-comunicaciones-industriales/74->

2.3.4. DeviceNet

Esta red de comunicación nació en el año de 1994, quien fuera desarrollada por el fabricante de controladores de su tiempo Allen-Bradley. Está precisamente orientado a niveles medios o bajos de automatización en cuanto a la pirámide se refiere. Es bastante versátil al momento de utilizarse en el área de buses de campo. DeviceNet es capaz de trabajar con diversos formatos o tipos de mensajes entre los que destacan los siguientes: *sondeo*, este actúa de tal manera en donde el maestro pregunta uno por uno a cada nodo con la finalidad de obtener respuesta, de este se envía y recibe un mensaje por cada nodo participante lo cual puede darle la ventaja de ser preciso pero tener deficiencia al momento de pedir información oportuna a dispositivos conectados; *strobing*, en este caso un nodo es el encargado de pedir información por medio de un mensaje y los nodos subsiguientes contestan la información requerida de acuerdo a un orden de prioridad anteriormente establecido; *envío cíclico*, es sencillo debido a que los dispositivos conectados envían su estado de forma continua en un tiempo estipulado y subsiguiente; cambio de estado, se produce un envío del mensaje que

se requiera cuando el dispositivo tenga un cambio en su estado, su desventaja radica en los tiempos de recepción; *mensaje explícito*, se establece en este el método de interpretación de los mensajes para las funciones más complejas que puedan existir y mensaje fragmentado, es utilizado cuando se requiere el envío de más de 8 bytes en un envío, se fragmenta el mensaje en 8 bytes y posteriormente se reconstruyen para su interpretación.

Esta red industrial puede lograr la comunicación de la forma en que no necesariamente requiera un nodo maestro para establecerse con otros similares, sino, que lo hace de forma directa. Su arquitectura permite que tanto la alimentación como la señal se encuentren compartidos en el mismo cable, observe la figura 2.8 para conocer el protocolo devicenet.

Algunas características propias de ésta es que puede alcanzar de 100 a 500 metros de distancia máxima a una velocidad de transferencia de datos que van desde 125 hasta 500 kilobits por segundo, respectivamente.

Algunas aplicaciones comunes donde se emplea DeviceNet son: lectores de códigos de barra, sensores con inteligencia, válvulas neumáticas, máquinas de soldadura entre muchos otros. El internet de las cosas o IoT se puede describir como el conjunto de objetos o cosas,

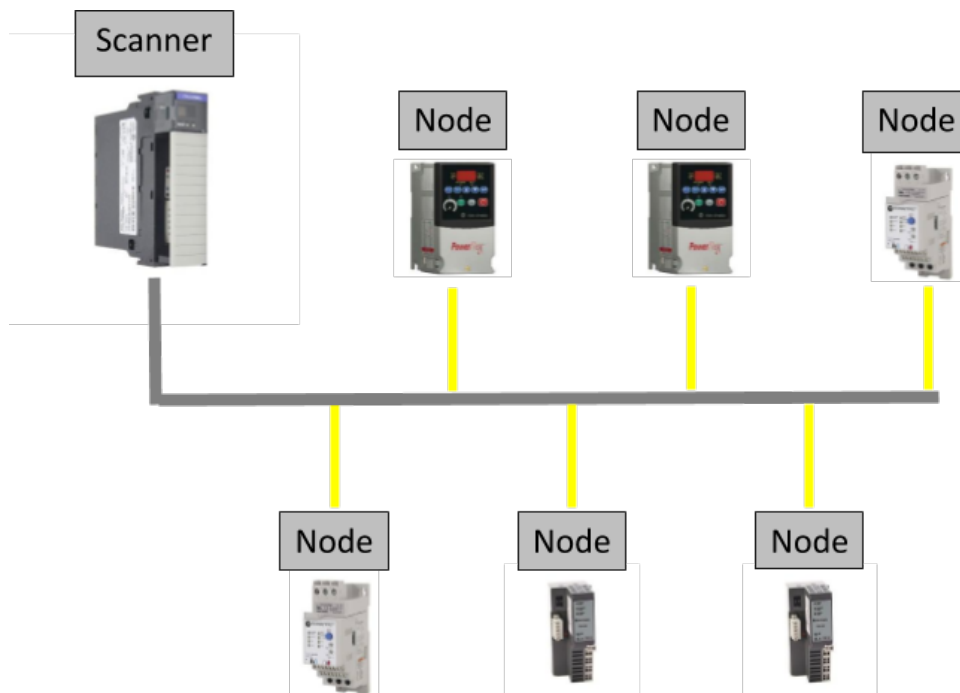


Figura 2.8 Protocolo DeviceNet. Fuente: <https://www.solisplc.com/tutorials/devicenet>

específicamente sensores, actuadores, instrumentos y otras tecnologías aplicadas en distintos sistemas que buscan intercambiar y conectarse con otros similares esto por medio de internet

para el beneficio de aplicaciones humanas cotidianas sencillas así como complejas como lo son las aplicaciones industriales.

Actualmente el concepto ha tomado gran relevancia debido a su facilidad de comunicación conectado directamente a conceptos de nueva creación en informática tales como la nube, big data e incluso con redes de telefonía móvil dando pie a que las tecnologías físicas se desarrollen de manera conjunta con las digitales en plena armonía. El concepto no es plenamente nuevo debido a que su creación se desarrolló en el año de 1999 de la mano de Kevin Ashton en el Auto-ID Center dentro del MIT, donde en su investigación se basaba prácticamente en la identificación por radiofrecuencia complementada por internet para beneficio de Procter & Gamble como mejora en sus proyectos. La idea base era poder lograr que los objetos cotidianos lograran identificarse y conectarse de manera inalámbrica con posibilidad de comunicarse entre ellos y lograr gestionarlos por medio del computador. La idea era novedosa para su tiempo sin embargo las limitantes de la época tales como la inexistencia de comunicaciones inalámbricas, infraestructura de internet así como la conexión a nivel global solo se traducían a más preguntas que respuestas en la década de los 2000. El crecimiento exponencial de la interconexión del internet en nuestros tiempos permite que los objetos o cosas cotidianas nos puedan mantener en tiempo real informados, así como mejorar nuestra calidad de vida y procesos, en palabras mas simples el objetivo de las IOT es la de disponer de la información en tiempo preciso y real que ayuda a la toma de decisiones importantes en diversos ámbitos sociales.

Los elementos que componen al IoT son tres principalmente: el hardware (actuadores, sensores, dispositivos de comunicación, etc), el software (capaz de permitir la interacción del hardware con la obtención de datos) y una plataforma capaz de transmitir de manera visual las interpretaciones de los datos que se obtienen, así como de interactuar de manera directa con ellos.

Se puede definir como una red de objetos físicos que se conectan a través de internet, los cuales interactúan por medio de sistemas embebidos, redes de comunicación, mecanismos de comunicación de respaldo y aplicaciones típicamente en la nube.

IoT se ha vuelto un pilar fundamental en el desarrollo de la ya conocida industria 4.0, la cual se denomina como aquella manera de ordenar los procesos de producción, digitalizando todos los campos del quehacer humano.

Algunos conceptos de importancia que sustentan a este son: inteligencia artificial, realidad aumentada, robótica, conmutación de la nube, big data, nanotecnología, biotecnología y ciberseguridad.

Todo esto se basa precisamente en que actualmente nuestros modelos económicos y sociales

están teniendo un crecimiento exponencial en cuanto a digitalización de la información se entiende. Según el estudio de varios especialistas en este crecimiento tecnológico se espera que para el año 2030 se tengan conectados mas de 500,000 millones de sensores por lo que esto significa que a cada ser humano en la tierra le corresponderían por lo menos 70 dispositivos conectados a la red.

2.4. Sensores

El término sensor se refiere a un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo. Por ejemplo, en el caso de un elemento para medir temperatura mediante resistencia eléctrica, la cantidad que se mide es la temperatura y el sensor transforma una entrada de temperatura en un cambio en la resistencia. Con frecuencia se utiliza el término transductor en vez de sensor. Un transductor se define como el elemento que al someterlo a un cambio físico experimenta un cambio relacionado. Entonces, los sensores son transductores. Sin embargo, un sistema de medición puede utilizar transductores, además de sensores, en otras partes del sistema para convertir señales de una forma dada en otra distinta. Un sensor/transductor es análogo si ofrece una salida que sea análoga y de esta manera cambia de forma continua, y por lo general tiene una salida cuyo tamaño es proporcional al tamaño de la variable que se está midiendo. El término digital se emplea cuando los sistemas ofrecen salidas que son digitales por naturaleza, por ejemplo una secuencia de señales encendido/apagado principalmente, que arroja un número cuyo valor se relaciona con el tamaño de la variable que se está midiendo [9].

- Los sensores de contacto se utilizan primordialmente para detectar el final de un recorrido o los límites de algunos componentes en mecánica. Un ejemplo se puede apreciar en la figura 2.9.



Figura 2.9 Sensor de contacto. Fuente: https://altechmexico.com/index.php?id_product=3080&rewrite=roldana-plastica-giratoria18mm&controller=product.

- Los sensores ópticos tienen como funcionalidad detectar la presencia de personas u objetos de acuerdo a la interrupción de un haz de luz.
- Los sensores de temperatura se componen de resistencias, cuyo valor es aumentado o disminuido de acuerdo a la variable de temperatura existente.
- Los sensores magnéticos son capaces de detectar la alteración de campos magnéticos que provocan las corrientes eléctricas o en su defecto los imanes. Véase un ejemplo del sensor en la figura 2.10.



Figura 2.10 Sensor magnético. Fuente: <https://www.weg.net/>.

- Los sensores infrarrojos son capaces de emitir un haz de luz no visible para el ser humano permitiendo así ser de gran utilidad para delimitación de espacios, etc.
- Los sensores de nivel son aquellos que permiten la medición constante de un reservorio de cualquier sustancia líquida, teniendo como relevancia los más utilizados tales como ultrasónicos, hidrostáticos, mecánicos, por mencionar algunos. Se puede apreciar un ejemplo de sensor ultrasónico en la figura 2.11.



Figura 2.11 Sensor de nivel. Fuente: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/es/Catalog/Product/7ML5110-1DD07-4AF1>.

- Los sensores de caudal son dispositivos diseñados para medir y cuantificar la velocidad o el volumen de un fluido en movimiento, ya sea líquido o gas, a través de un conducto o tubería. Estos sensores operan mediante la detección de cambios en las propiedades del flujo y convierten estos cambios en señales eléctricas o mecánicas que pueden

interpretarse para diversas aplicaciones. Estos sensores son esenciales en una variedad de campos, desde sistemas de distribución de agua y petróleo hasta control de procesos industriales y monitoreo ambiental.

- Los sensores de presión son dispositivos diseñados para medir y cuantificar la fuerza ejercida por un fluido, ya sea líquido o gas, sobre una superficie determinada. Estos sensores funcionan mediante la conversión de la presión aplicada en una señal eléctrica o mecánica que puede ser interpretada y utilizada para diversos fines. Aquí hay algunos puntos clave sobre los sensores de presión:
 1. **Principio de funcionamiento:** Los sensores de presión se basan en diferentes principios, como la deformación mecánica, la resonancia acústica o la variación de propiedades eléctricas. Por ejemplo, en los sensores de membrana, la presión ejerce una fuerza que deforma una membrana sensible, cambiando la resistencia eléctrica.
 2. **Aplicaciones:** Estos sensores tienen un amplio espectro de aplicaciones. Se utilizan en la industria automotriz para el control de sistemas de frenado y control de emisiones. También son esenciales en sistemas HVAC para el monitoreo de presión en sistemas de climatización. Además, se utilizan en la industria manufacturera y en la industria aeroespacial para el monitoreo y control de procesos.
 3. **Factores ambientales:** Algunos sensores de presión pueden verse afectados por condiciones ambientales como la temperatura, la humedad y la vibración. Es importante considerar estas variables al seleccionar un sensor para una aplicación específica.

Capítulo 3

Análisis y control de sistema hidráulico

El sistema hídrico de Las Auras-Nopalera-Cuchumá puede ser emulado por un sistema hidráulico de dos tanques aislados, T_N y T_C , ambos alimentados por el flujo volumétrico q_a que proviene del deposito de la presa Las Auras T_A . En particular, este sistema hidráulico, ilustrado en la figura 3.1, considera una bomba de agua con motor de inducción trifásico para bombear el líquido del contenedor de Las Auras a los tanques Nopalera y Cuchumá, T_N y T_C , a través de la tubería del flujo volumétrico de entrada q_a . El llenado del tanque T_N depende de la activación de una válvula biestable (ON/OFF) V_1 , mientras que el tanque T_C requiere del control de un válvula proporcional (analógica) V_2 y su ubicación se encuentra físicamente a un costado del tanque Nopalera T_N , es decir, a una distancia de 6.5 km. del tanque T_C .

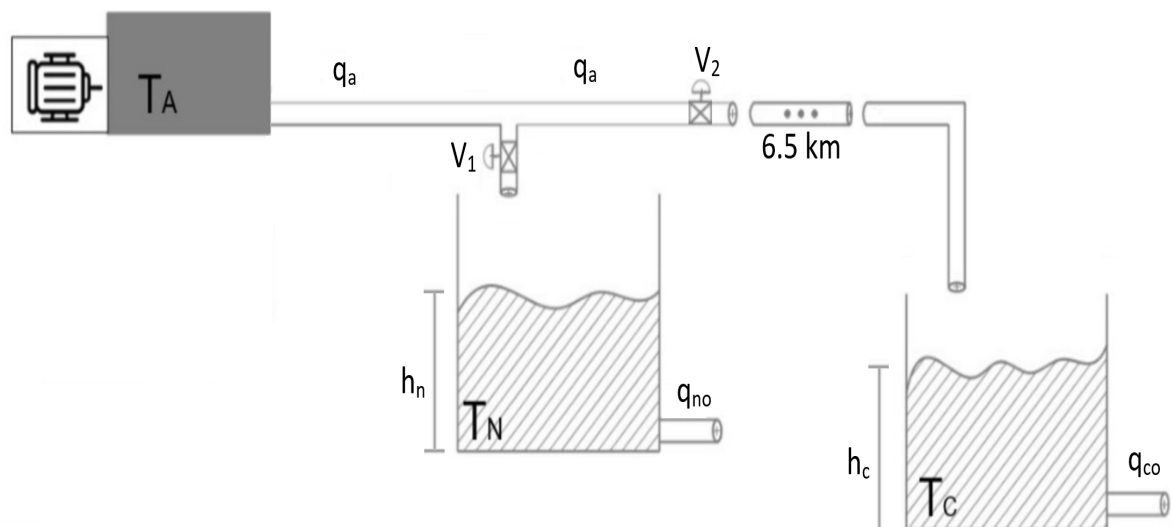


Figura 3.1 Sistema hidráulico de dos tanques aislados, T_N y T_C , con el flujo de entrada q_a . Creación propia.

Los principales problemas de la automatización del sistema hidráulico pueden sintetizarse en:

1. Controlar el nivel h_c del tanque de Cuchumá T_C mediante la aplicación de un controlador continuo (P-PI-PID) en una válvula proporcional V_2 , instalada a la distancia 6.5 km del tanque T_C , con la finalidad de permitir el paso del flujo de entrada q_a .
2. Controlar el nivel h_n del tanque Nopalera T_N usando una válvula biestable V_1 , ubicada en el tanque Nopalera.
3. Monitorear, adicionalmente, las variables de presión, flujo, pH, así como el nivel de los tanques Nopalera y Cuchumá, proporcionadas por sensores de tipo industrial, a través de interfaces gráficas que puedan ser visualizadas en entornos locales y remotos.

En este capítulo, se considerará el estudio del primer problema de automatización mencionado arriba, para observar el comportamiento dinámico del tanque Cuchumá.

3.1. Modelo matemático del tanque Cuchumá

En esta sección analizamos el comportamiento dinámico del tanque Cuchumá, alimentado por el flujo de entrada q_a , y posteriormente se le aplica una acción de control. Esto puede ser ilustrado en la figura 3.2.

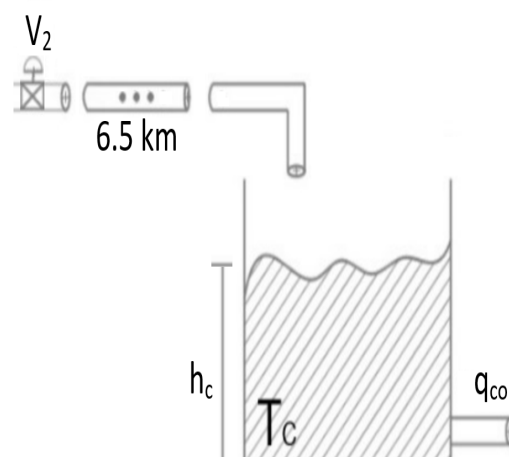


Figura 3.2 Tanque Cuchumá alimentado por el flujo q_a . Creación propia.

Aplicando el balance de los flujos que entran y salen en el tanque T_C , dado por la Ley de Bernoulli de la conservación de la masa en los fluidos, el comportamiento dinámico para T_C puede ser representado por la siguiente ecuación diferencial:

$$A_T \frac{dh_c(t)}{dt} = q_a(t) - q_{co}(t), \quad (3.1)$$

donde A_T es el área de la base de contenedor del Cuchumá. Además, q_a es el flujo volumétrico de entrada, el cual depende del control de posición de una válvula proporcional V_2 , y q_{co} es el flujo de salida del mismo tanque, el cual puede ser expresado por la ecuación no-lineal:

$$q_{co}(t) = a_c k_c \sqrt{2gh_c(t)}, \quad (3.2)$$

donde k_c es la constante de apertura/cierre de la válvula proporcional y a_c es el área transversal del flujo de salida. Sustituyendo la ecuación (3.2) en (3.1), se obtiene

$$\frac{dh_c(t)}{dt} = \frac{1}{A_T} q_a(t) - \frac{a_c k_c \sqrt{2g}}{A_T} \sqrt{h_c(t)}. \quad (3.3)$$

Note que el modelo del tanque en (3.3), idealmente, está dado por una ecuación diferencial no-lineal causado por el término $\sqrt{h_c(t)}$ que aparece en el flujo de salida del tanque, q_{co} . Debido a esto, aplicamos el método de linealización por series de Taylor.

3.1.1. Linelización del modelo no-lineal del tanque T_C

Primeramente, se obtiene el punto de equilibrio del sistema no lineal descrito en (3.3), tomando en cuenta un flujo de entrada constante. Para ello, consideramos el modelo (3.3) en equilibrio igualando a cero a la dinámica del tanque,

$$0 = q_{a,eq} - a_c k_c^* \sqrt{2g} \sqrt{h_{c,eq}}. \quad (3.4)$$

Entonces, se tiene

$$q_{a,eq} = a_c k_c^* \sqrt{2g} \sqrt{h_{c,eq}}. \quad (3.5)$$

En otras palabras, los flujos que entran son iguales a los flujos salientes en estado de equilibrio. A partir de esto, se puede calcular el parámetro de apertura del flujo de salida como

$$k_c^* = \frac{q_{a,eq}}{a_c \sqrt{2g} \sqrt{h_{c,eq}}}. \quad (3.6)$$

Ahora bien, el objetivo es linealizar el modelo no-lineal en (3.3) mediante aplicación de la serie de Taylor. Para ello, se consideran los primeros términos de la serie de Taylor, asociados a la función evaluada en el punto de equilibrio y a las primeras derivadas parciales de primer orden también evaluadas en este punto. La linealización de (3.3) está dada por,

$$f(h_c, q_a) \approx f(h_{c,eq}, q_{a,eq}) + \frac{\partial f(q_{a,eq}, h_{c,eq})}{\partial h_c} (h_c(t) - h_{c,eq}) + \frac{\partial f(q_{a,eq}, h_{c,eq})}{\partial q_a} (q_a(t) - q_{a,eq}). \quad (3.7)$$

La expresión anterior puede ser reescrita como,

$$f(h_c, q_a) - f(h_{c,eq}, q_{a,eq}) \approx \frac{\partial f(q_{a,eq}, h_{c,eq})}{\partial h_c} (h_c(t) - h_{c,eq}) + \frac{\partial f(q_{a,eq}, h_{c,eq})}{\partial q_a} (q_a(t) - q_{a,eq}). \quad (3.8)$$

Definiendo las variables de desviaciones como: $\delta h_c(t) \triangleq h_c(t) - h_{c,eq}$, $\delta q_a(t) \triangleq q_a(t) - q_{a,eq}$, $\delta \dot{h}_c(t) \triangleq f(h_c, q_a) - f(h_{c,eq}, q_{a,eq})$, el modelo linealizado del sistema no-lineal en (3.3) está dado por la forma,

$$\delta \dot{h}_c(t) = -p_1 \delta h_c(t) + p_2 \delta q_a(t), \quad (3.9)$$

donde $p_1 = \frac{\partial}{\partial h_c} f(q_{a,eq}, h_{c,eq})$ y $p_2 \triangleq \frac{\partial}{\partial q_a} f(q_{a,eq}, h_{c,eq})$ son las derivadas parciales de primer orden con respecto a h_c y q_a , respectivamente, y ambas evaluadas en el punto de equilibrio $(h_{c,eq}; q_{a,eq})$. Entonces, tales expresiones están dadas por,

$$p_1 = \frac{a_c k_c^* \sqrt{2g}}{A_T \sqrt{h_{c,eq}}}, \quad p_2 = \frac{1}{A_T}.$$

Los valores numéricos de los parámetros del modelo linealizado, en (3.9), están dados en la siguiente tabla.

3.1.2. Función de transferencia del modelo de Tanque T_C

Considerando el modelo linealizado en (3.9), reescrito como,

$$\delta \dot{h}_c(t) + p_1 \delta h_c(t) = p_2 \delta q_a(t), \quad (3.10)$$

aplicamos la transformación de Laplace en cada término, como se muestra enseguida,

$$\mathcal{L}\{\delta \dot{h}_c(t)\} + p_1 \mathcal{L}\{\delta h_c(t)\} = p_2 \mathcal{L}\{\delta q_a(t)\}. \quad (3.11)$$

Parámetros	Valores numéricos
Dimensiones T_C	$0.40\text{ m} \times 0.40\text{ m} \times 0.55\text{ m}$
a_c	2.8502×10^{-4}
k_c^*	0.652783232
A_T	0.16 m^2
g	9.81 m/s^2
$h_{c,eq}$	0.13 m
$q_{a,eq}$	$0.000297143\text{ m}^3/\text{s}$

Tabla 3.1 Valores de parámetros de Tanque *Cuchumá*.

Tomando condiciones nulas $\delta h_c(0) = 0$, se tiene la siguiente expresión transformada

$$(s + p_1) \delta H_c(s) = p_2 \delta Q_a(s). \quad (3.12)$$

Entonces, la respuesta del nivel $\delta H_c(s)$, en el dominio s , está dada por la siguiente ecuación,

$$\delta H_c(s) = G(s) Q_a(s). \quad (3.13)$$

donde

$$G(s) \triangleq \frac{p_2}{s + p_1} \quad (3.14)$$

es la función de transferencia del modelo linealizado. Los valores de p_1 y p_2 están definidos en el apartado previo.

3.2. Control para modelo de Tanque T_C

El propósito de este apartado consiste en presentar las principales estrategias de control en lazo cerrado para controlar el nivel h_c del tanque Cuchumá T_C , usando el enfoque de regulación.

Los sistemas en lazo cerrado permiten controlar la variable de salida del proceso $y(t)$, alcanzando el valor de referencia $r(t)$ (comúnmente conocido como *set point*), a través de una ley de control o controlador $u(t)$, como se muestra en la Figura 3.3. Esto implica que la señal de error

$$e(t) \triangleq r(t) - y(t) \quad (3.15)$$

sea igual cero, o cercana al valor cero, en el estado estacionario, lo cual es dependiente del controlador elegido.

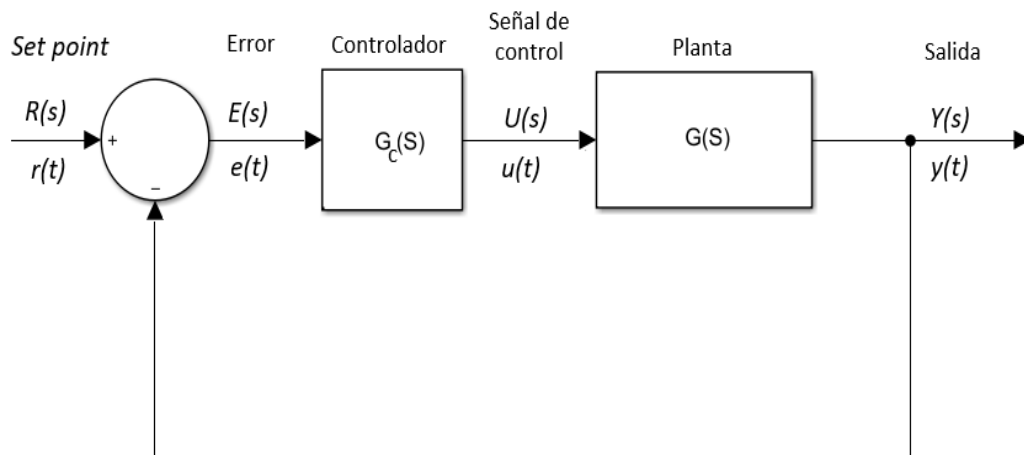


Figura 3.3 Sistema en lazo de cerrado.

A continuación, se describen los controladores típicos que pueden ser utilizados en el sistema en lazo cerrado.

1. **Control Proporcional (P):** Esta acción de control es proporcional al error, según la expresión

$$u(t) = K_p e(t), \quad (3.16)$$

donde K_p es la ganancia proporcional. La señal de este controlador se incrementa a medida que el error es demasiado grande. Generalmente, si la ganancia k_p es alta, el controlador P produce que la salida alcance rápidamente valores cercanos a los del punto de referencia.

La función de transferencia del control P está dada por,

$$G_{C,p}(s) \triangleq k_p. \quad (3.17)$$

2. **Control Proporcional - Integral (PI):** En esta acción de control se agrega un término de integración del error,

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{\tau_i} \int_0^t e(\tau) d\tau, \quad (3.18)$$

donde τ_i es la constante del tiempo de integración. Este control también se puede reescribir como,

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau, \quad (3.19)$$

donde K_i es la ganancia de la acción integral. Este control tiene la ventaja de asegurar que el error es cero cuando el tiempo es grande. Esto es debido a la memoria que utiliza ya que depende de los valores pasados y actuales para generar la señal de control. La función de transferencia del controlador PI está dada por,

$$G_{c,PI}(s) \triangleq k_p + \frac{K_i}{s}. \quad (3.20)$$

3. **Control Proporcional - Integral - Derivativo (PID):** Este controlador utiliza un termino adicional vinculado con la derivada del error,

$$K_p \tau_d \frac{de(t)}{dt},$$

donde τ_d es el tiempo de derivación. Éste término es agregado con el propósito de predecir los valores futuros de la señal del error, implicando que errores con grandes oscilaciones sean reducidas, es decir mejora la respuesta transitoria del sistema en lazo cerrado anticipando una tendencia incorrecta del error de control [30].

Entonces, la señal de control de un PID está dada por la siguiente expresión,

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{\tau_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p \tau_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.21)$$

ó reescrita por la forma

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (3.22)$$

La función de transferencia del controlador PID está dada por,

$$G_{c,PID}(s) \triangleq k_p + \frac{K_i}{s} + K_d s. \quad (3.23)$$

El controlador PID es ampliamente utilizado en aplicaciones académica e industriales, ya que produce una rápida llegada de la señal de salida al set-point, esto debido a que la diferencia entre el valor de referencia y la señal de medición sea cero (error cero, o cercano a cero) cuando el tiempo incrementa. Además, el PID ejecuta acciones

correctivas de la señal de error cuando la respuesta transitoria presenta oscilaciones, es decir, posee comportamiento subamortiguado.

Para el sistema del tanque de Cuchumá visto en la figura 3.2, se considera que la válvula V_2 está cerca de T_C . Entonces, puede ser modelado como una ecuación diferencial de primer orden. Por consiguiente, solo se requiere usar un controlador PI porque no posee comportamiento subamortiguado, lo cual es una característica de los sistemas de segundo orden. Con esto, el control PI permite la señal del error pueda ser cero.

Capítulo 4

Emulación del sistema hídrico Las Auras-Cuchumá-Nopalera

En este capítulo, se presenta de manera concreta el diseño y construcción del prototipo que emula el funcionamiento de la red hídrica entre la presa Las Auras y los tanques de regulación de las plantas potabilizadoras Nopalera y Cuchumá, en la ciudad de Tecate B.C. Además de diseñar un prototipo que represente de la manera más fiel el comportamiento del sistema hídrico descrito, se busca que éste sea de utilidad en el área académica.

4.1. Prototipo hidráulico

4.1.1. Diseño mecánico del prototipo hidráulico

A través de la motivación por automatizar el sistema hidráulico Las Auras- Nopalera-Cuchumá de la red de distribución de agua cruda de la ciudad de Tecate B.C., se propone el desarrollo de un prototipo que emule el comportamiento de las variables involucradas en tal sistema haciendo una integración de plataformas SCADA-IoT apoyado de componentes propios de la tecnología aplicada en la Industria 4.0 así como la monitorización de las medidas e interacción de los actuadores involucrados .

El diseño mecánico del prototipo contempla la integración de tres contenedores construidos con placa de acero calibre 14, los cuales se asocian directamente a la Presa Las Auras y a los dos tanques de regulación Nopalera y Cuchumá, respectivamente.

Con la finalidad de representar el acueducto proveniente de la presa Las Auras que transporta el flujo de agua cruda a las dos potabilizadoras principales de la ciudad de Tecate B.C., se consideró el uso de una bomba hidráulica de alimentación trifásica 230 volts con

una potencia de 1/2 HP acoplada a tubería de 3/4 de pulgada conectada a los dos tanques de regulación (Nopalera y Cuchumá), así mismo el recipiente de donde dispone del líquido en cuestión proviene de presa Las Auras.

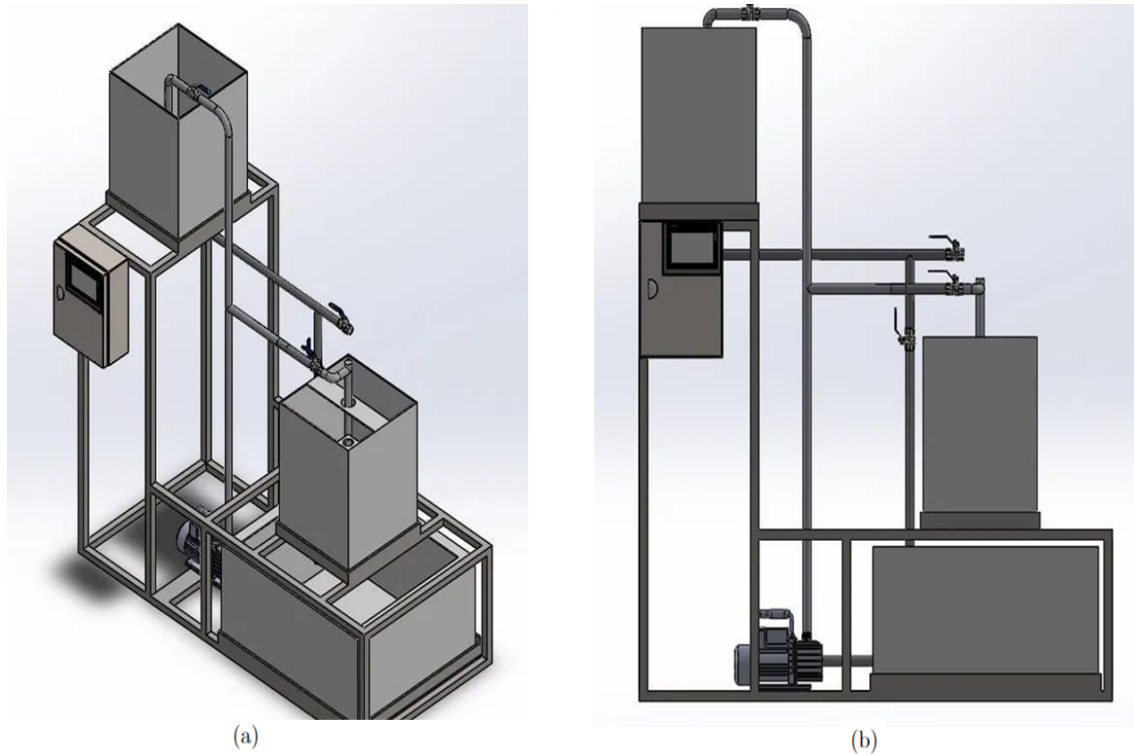


Figura 4.1 Diseño mecánico del prototipo del sistema hidráulico *Las Auras-Nopalera-Cuchumá*. (a) Vista isométrica. (b) Vista frontal. Creación propia.

En la figura 4.1 se muestra el diseño mecánico del prototipo académico haciendo uso del software SolidWorks, donde en el apartado (a) se puede apreciar la imagen isométrica, y en la (b) su parte frontal. En ambas, se ilustra a detalle cada uno de los componentes principales de la estructura. La tubería emula de manera sencilla su comportamiento con la contra-parte existente desde la presa Las Auras a las potabilizadoras Nopalera y Cuchuma de 12 y 8 pulgadas de diámetro. Con la finalidad de proporcionar una mayor utilización del prototipo en otros tipos de estudios, como el análisis matemático de dos tanques en cascada utilizando la Teoría de control, se consideró la conexión de tubería entre la válvula de salida de Nopalera hacia Cuchumá.

La figura 4.2 presenta el diseño de los contenedores Nopalera y Cuchumá que tienen una altura de 55 cm y su diferencia radica en las bases que soportan al sensor de nivel ultrasónico y al sensor del nivel hidrostático en el tanque Cuchumá de las cuales carecen el tanque de Nopalera.

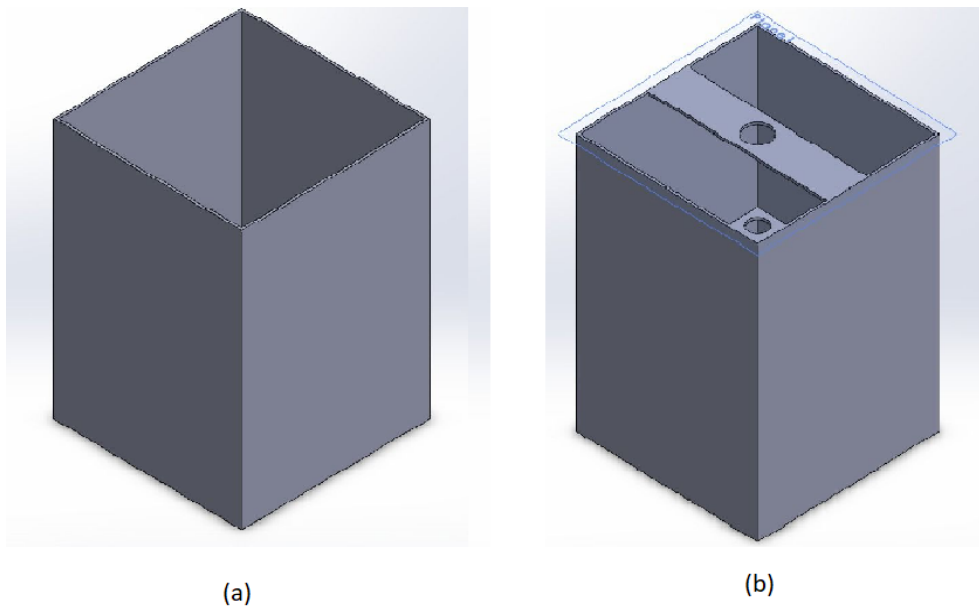


Figura 4.2 Diseño mecánico de contenedores. (a) Nopalera. (b) Cuchumá. Creación propia.

En la Tabla 3.1 se describe de manera detallada los elementos mecánicos considerados en el prototipo del sistema hidráulico Las Auras-Nopalera-Cuchumá.

Elementos	Valores
Contenedores de potabilizadoras (40cm × 40cm × 55cm)	0.088 m ³
Contenedor presa (70cm × 80cm × 40cm)	0.224 m ³
Dos válvulas de esfera con palanca	3/4"
Tubería galvanizada	3/4"
Perfil estructural PTR (calibre 18)	1 1/2" × 1 1/2"
Bomba hidráulica con alimentación trifásica	1/2 HP

Tabla 4.1 Elementos del prototipo.

4.1.2. Construcción del prototipo

La construcción de este prototipo académico fue realizado y desarrollado en tres distintas fases. Para comprender y analizar mejor el sistema se desarrolló este a una escala favorable acorde al planteamiento del problema que se busca resolver.

- **Primera fase.** En esta etapa, se dio inicio a la definición de volúmenes para cada tanque de regulación considerando que las medidas apropiadas para su manipulación y

ejecución tanto en presente como en futuras pruebas o estudios académicos, considerando la mejor opción para los contenedores de potabilizadoras $40\text{ cm} \times 40\text{ cm} \times 55\text{ cm}$ así mismo se definieron las dimensiones para el contenedor de presa Las Auras $70\text{ cm} \times 80\text{ cm} \times 40\text{ cm}$. En su construcción se emplearon placas de acero con un espesor de 1.90 mm apoyado de soldadura con arco de electrodo 6011, dando como resultado contenedores rectangulares con aberturas superficiales para su manipulación adecuada para mantenimiento así como llenado constante de los mismos (ver Figura 4.3).



Figura 4.3 Tanques construidos con placa de acero y soldadura de arco.

En esta fase también se construyó una estructura que soportará los tres contenedores. Asimismo, tendrá rodamientos para su fácil traslado. Las medidas de esta estructura fueron adecuadas a las dimensiones propias de los recipiente, haciendo utilización de perfiles estructurales PTR de $1\frac{1}{2}'' \times 1\frac{1}{2}''$ calibre 18. En la figura 4.4 se aprecia el prototipo finalizado en su primer fase de construcción.



Figura 4.4 Prototipo culminado en la primera fase. (a) Vista frontal. (b) ista isométrica.

- **Segunda fase:** A partir de esta aquí, se dio inicio a una mejor presentación al prototipo la estructura fue pintada de color gris con pintura epóxica para evitar la corrosión de los soportes principales de los contenedores (ver figura 4.5).

En esta etapa también se colocó la tubería galvanizada de 3/4 de pulgada que conecta a los tres contenedores con la bomba centrífuga de 1/2 HP de potencia que emula el acueducto Las Auras-Nopalera-Cuchumá. La utilización de tubería galvanizada en este prototipo tiene la intención de dar mayor estabilidad y soporte a cada una de los elementos que componen el prototipo. De igual manera, se mejoró la presentación del prototipo pintando los contenedores de color blanco a través de pintura epóxica para protección a futuro por el contacto permanente con líquidos, especialmente agua (ver figura 4.6).



Figura 4.5 Prototipo en proceso de pintado de la estructura en la segunda fase.



(a)



(b)

Figura 4.6 Contenedores pintados con pintura epóxica color blanco. (a) Tanques Cuchumá y Nopalera. (b) Contenedor Las Auras.



Figura 4.7 Prototipo finalizado en su segunda fase. (a) Vista lateral. (b) Vista frontal.

Aunado al proceso de instalación de la tubería galvanizada, los sensores y actuadores fueron colocados sin realizar conexiones determinadas o ajustes en ellos, ya que esto corresponde a otra etapa de la realización de este trabajo de tesis. Se consideraron sensores y actuadores que tuvieran relevancia en el sistema pero sobre todo que fueran similares a los que se pueden aplicar de manera física en el sistema existente.

Para el tanque Cuchumá como elemento de impacto e importancia dentro de la resolución de la problemática se contemplaron dos sensores de nivel, uno hidrostático y otro sonar (ultrasónico) para comparar su funcionalidad y así tomar en consideración a futuro el más viable para la resolución real del problema. Esto apoyará la toma de medidas de nivel debido a la importancia de la variable. Otras variables de relevancia dentro del prototipo son el flujo, así como la presión del sistema dentro de la tubería existente, por consecuencia se consideró tener sensores que entreguen las señales de estas variables. En cuestión de actuadores, se incluyó una electroválvula de apertura y cierre, que conecta directamente la salida del tanque Nopalera al tanque Cuchumá, esta adecuación tiene la finalidad de apoyar a futuro a temas con carácter didácticos.

En el caso del tanque Nopalera, se incluyó solamente un sensor de nivel hidrostático ya que esta variable es solo de lectura y visualización dentro del campo de experimentación. En el caso de flujo y presión, se colocaron sensores que permitan las lecturas de estas señales. En cuestión de actuadores, se instaló una válvula motorizada de apertura/cierre en la toma de llegada para controlar de forma sencilla y evitar el derrame de este tanque de regulación.

De forma similar, en la tubería de llegada propiamente en la división que se forma entre el flujo existente proveniente de presa Las Auras a Nopalera y que posteriormente dirige a Cuchumá, se instaló una válvula de control proporcional (analógica) con la finalidad de regular el flujo que toma dirección hacia Cuchumá, y aplicar posteriormente un control (tipo proporcional, proporcional integral) en campo. Es importante considerar y recordar que la válvula existente tiene actualmente una operación manual, por lo que proponer una válvula de control analógico conlleva un paso importante ante el control de la variable clave, el nivel.

- **Tercera fase:** Esta etapa de construcción permitió la conexión eléctrica, electrónica y de control del equipamiento oportuno del prototipo, en donde se instalaron los sensores de nivel, presión, caudal y pH para cada tanque en la fase antes mencionada, así como los actuadores que tienen una función predominante en este sistema para el control del vital líquido.

El equipamiento en esta etapa permite una evolución natural y concreta en cada uno de los elementos colocados con anterioridad para darles sentido y funcionalidad, por lo que se optó por instalar el tablero principal de arranque y paro (arrancador a tensión plena) compuesto por un guardamotor, contactor y relevador de sobrecarga con las especificaciones para funcionar con un voltaje trifásico a 230 VCA a la capacidad de ½ HP. A su vez, se complementó el prototipo con dos tableros de control de tipo industrial Siemens que contendrán, en los mismos, los PLC's LOGO!, así como los módulos de lectura y escritura de variables análogas, cada uno de ellos tendrá a su mando, lectura y control de los sensores y actuadores ubicados en cada tanque.

En cada tanque fue colocado un conjunto de luces pilotos que permitirán la visualización de manera sencilla a través de cuatro niveles: Luz roja para indicar que está en el nivel más bajo, luz ambar para ilustrar que está entre el 25 % y 50 %, la luz verde para indicar que el nivel está entre el 50 % y 75 %, y finalmente luz azul que indica que el tanque está arriba del 75 % de nivel. Las conexiones eléctricas fueron realizadas con cable eléctrico calibre 14 y calibre 22 para el mando de señales análogas específicas.

Para cubrir y proteger estas instalaciones eléctricas se utilizaron materiales a prueba de agua tales como caja 4" x 4" y mangueras eléctricas tipo Liquid Tite. La clavija de alimentación está compartida entre la toma correspondiente a 110 VCA monofásico y otra para 230 VCA trifásica.



Figura 4.8 Prototipo finalizado.

4.2. Descripción de dispositivos y conexiones eléctricas

4.2.1. Sensores

De acuerdo a las variables importantes del prototipo, se consideraron sensores capaces de medir presión, nivel, acidez y flujo. Por ello, se optaron por algunos modelos de sensores para visualizar señales y tener un punto de comparación entre los existentes en el mercado.

A continuación, se presenta una descripción breve de cada uno de los sensores utilizados en el prototipo que emula los problemas de la automatización.

4.2.1.1 Sensor de nivel ultrasónico

Los sensores ultrasónicos son dispositivos utilizados para medir distancias, detectar objetos y realizar otras funciones basadas en la emisión y recepción de ondas sonoras de alta frecuencia, más allá del rango de audición humana (por encima de 20 kHz). Estos sensores son comunes en una amplia gama de aplicaciones, desde automóviles autónomos hasta sistemas de seguridad y control industrial. Aquí hay algunos puntos clave sobre los sensores ultrasónicos:

1. **Principio de funcionamiento:** Los sensores ultrasónicos emiten pulsos de ondas sonoras a una frecuencia determinada. Estos pulsos viajan a través del aire u otro medio y rebotan en objetos en su camino. El sensor mide el tiempo que tarda en recibir el eco de vuelta y utiliza esta información para calcular la distancia al objeto.
2. **Componentes principales:** Un sensor ultrasónico consta principalmente de un transmisor y un receptor. El transmisor emite el pulso de ultrasonido y el receptor detecta el eco. Juntos, estos componentes permiten medir el tiempo de vuelo de la onda, y por lo tanto, la distancia al objeto.
3. **Aplicaciones:** Estos sensores son ampliamente utilizados en la industria automotriz para sistemas de estacionamiento asistido y detección de obstáculos. También, se aplican en la robótica para la navegación y evasión de obstáculos, así como en sistemas de seguridad para detectar intrusiones. Además, los sensores ultrasónicos son útiles en la medición de niveles de líquidos en tanques y otras aplicaciones industriales.
4. **Limitaciones:** Los sensores ultrasónicos pueden ser afectados por condiciones ambientales como la humedad y la temperatura, lo que puede influir en la velocidad del sonido. Además, su capacidad para detectar objetos pequeños o a distancias extremadamente cortas puede ser limitada.
5. **Comparación con otros sensores:** Los sensores ultrasónicos se diferencian de otros tipos de sensores de distancia, como los sensores infrarrojos y láser, en términos de rango, precisión y condiciones ambientales. Los sensores láser, por ejemplo, suelen ser más precisos a largas distancias, pero también pueden ser más costosos.

Tomando en consideración los principios anteriormente mencionados, se considero el sensor ultrasónico SITRANS LU150 de la marca Siemens, el cual se muestra en la figura 4.9. Este contiene dos hilos alimentado por un voltaje de 12 Volts de Corriente Directa (VCD)

creando una relación tipo bucle de 4 a 20 miliamperios, el cual es ideal para la medición de diferentes líquidos, lodos o materiales sólidos que se encuentren en tanques abiertos o cerrados alcanzado una cobertura de 5 metros lineales.



Figura 4.9 Sensor de nivel ultrasónico LU150 Siemens instalado en tanque Cuchumá.

4.2.1.2 Sensor de nivel hidrostático

Los sensores hidrostáticos son dispositivos diseñados para medir la presión de un líquido o gas en función de su altura o profundidad. Estos sensores funcionan utilizando el principio de la presión hidrostática, que establece que la presión en un líquido aumenta con la profundidad debido al peso del líquido sobre él. Aquí hay algunos puntos clave sobre los sensores hidrostáticos:

1. **Principio de funcionamiento:** Los sensores hidrostáticos aprovechan la relación entre la presión y la profundidad en un líquido. Consisten en un elemento sensor que está en contacto con el líquido o gas cuya presión se está midiendo. A medida que la profundidad del líquido aumenta, la presión sobre el sensor también aumenta, lo que se convierte en una medida de la altura del líquido o gas.
2. **Aplicaciones:** Estos sensores son ampliamente utilizados en aplicaciones que involucran la medición de niveles de líquidos, como tanques de almacenamiento, pozos y sistemas de control de fluidos. También, se utilizan en aplicaciones de monitoreo ambiental para medir niveles de agua en ríos, lagos y embalses.

3. **Consideraciones:** Algunos factores a considerar al usar sensores hidrostáticos incluyen la densidad del líquido, la temperatura y la calibración adecuada para garantizar mediciones precisas.

4. **Comparación con otros sensores:** Los sensores hidrostáticos son particularmente útiles en aplicaciones donde la medición de nivel de líquido es crucial. En comparación con otros sensores de presión, los sensores hidrostáticos pueden ser más adecuados cuando se necesita medir la altura del líquido en lugar de la presión en sí. Son esenciales en aplicaciones que requieren mediciones precisas de nivel de líquidos y encuentran uso en una variedad de industrias y entornos, desde el almacenamiento industrial hasta el monitoreo ambiental.

En este sentido, se consideró utilizar dos sensores hidrostáticos modelo QDY60A con un alcance lineal de cinco metros, que a su vez trabaja con 24 VCD. Este sensor se ilustra en la figura 4.10. Cabe señalar que de estos dos sensores que se adquirieron, sólo uno cuenta con un display digital que muestra el valor del nivel en diferentes unidades de medida, mientras que el otro no cuenta con este dispositivo, mas sin embargo permite ser conectado a un controlador lógico programable para su lectura analógica realizando conversiones propias gracias a la entrega de los valores entre 4 a 20 miliamperios apegados a los 5 metros lineales que el sensor permite describir en su lectura.



Figura 4.10 Sensor de nivel hidrostático.

4.2.1.3 Sensor de presión

Se adquirió sensor de presión 1/4" y un transmisor de presión con display digital 2088 de presión necesarios para la lectura de estas variables. Se consideró un criterio similar al de los sensores de nivel hidrostático debido a que sólo uno de los dos permite la lectura y visualización de la variable con pantalla digital, el cual se muestra en la figura 4.11, mientras el otro permite su lectura por medio de conversiones en un PLC usando las señales de intensidad de corriente que entrega de 4 a 20 mA en un rango de 0 a 1 Mega Pascales de presión.



Figura 4.11 Sensor de presión con display digital.

4.2.1.4 Sensor de caudal

Se propusieron dos sensores de flujo modelo YF-B6 (ver figura 4.12) para medir esta variable en la línea de conducción que emula el acueducto Las Auras-Nopalera-Cuchumá tanto en su dirección rumbo a Nopalera como a su derivación a Cuchumá. Este sensor entrega una medición de 4 a 20 mA de acuerdo al rango estipulado de 0 a 30 litros por minuto, lo cual es un rango aceptado debido a la gráfica de funcionamiento del equipo motor-bomba, ninguno permite su visualización de forma directa. Sin embargo, de acuerdo a las conversiones y funciones desarrolladas en los PLC's, se obtiene el resultado del valor esperado en las pantallas virtuales o físicas de los controladores.



Figura 4.12 Sensor de flujo modelo YF-B6 de 0-30 lts/min.

4.2.1.5 Sensor de pH

Los sensores de pH son dispositivos diseñados para medir y evaluar el nivel de acidez o alcalinidad de una solución líquida. Estos sensores funcionan al detectar los cambios en la concentración de iones de hidrógeno en la solución, y convierten estas variaciones en señales eléctricas interpretables. Estos dispositivos son esenciales en numerosos campos, desde la investigación científica y el control de calidad industrial hasta aplicaciones médicas y ambientales. Los sensores de pH juegan un papel crucial en el seguimiento y control preciso de la composición química de líquidos en diversas situaciones y entornos.

Considerando los factores propios de los sensores y encontrando una solución adecuada fue seleccionado el modelo PH-4502C (ver figura 4.13) que permite la medición de la variable de acidez y alcalinidad en un parámetro de 4 a 20 mA entro los 0 a 14 puntos de la escala de pH. Este sensor puede ser ajustado también por un microcontrolador para obtener la lectura. Los sensores pueden ser leídos por la parte del Controlador Lógico Programable.

4.2.2. Actuadores

4.2.2.1 Válvula motorizada de apertura y cierre (ON/OFF)

Las válvulas motorizadas de apertura y cierre son dispositivos utilizados para controlar el flujo de líquidos, gases u otros medios en sistemas industriales y aplicaciones comerciales. Estas válvulas se caracterizan por su capacidad de abrir y cerrar automáticamente en respuesta a señales eléctricas, neumáticas o electrónicas. Al operar de esta manera, permiten un control preciso sobre el flujo, la presión y la dirección del medio en sistemas como tuberías, tanques y procesos industriales. Estas válvulas están diseñadas con actuadores motorizados que



Figura 4.13 Sensor de pH modelo PH-4502C.

pueden ser eléctricos, neumáticos o hidráulicos. Los actuadores proporcionan el movimiento necesario para abrir o cerrar la válvula, lo que permite un control rápido y eficiente del flujo. Las válvulas motorizadas son especialmente útiles en aplicaciones donde se requiere un ajuste preciso y automatizado, así como en situaciones donde las condiciones cambian con frecuencia y es necesario un control continuo.

La válvula biestable considerada fue la del modelo BOCBMLPL5K (ver figura 4.14) con las especificaciones de 24 VCD para ser utilizada como apertura y cierre. Esta válvula opera de manera controlada debido a que está conectada de manera directa al sistema de bombeo que emula el acueducto Las Auras - Nopalera que forma parte de los problemas de automatización.



Figura 4.14 Válvula motorizada de apertura y cierre modelo BOCBMLPL5K.

4.2.2.2 Válvula proporcional motorizada de control de posición

Las válvulas proporcionales motorizadas (analógicas) son dispositivos diseñados para regular con precisión la posición de una válvula en sistemas industriales y aplicaciones comerciales. Estas válvulas son capaces de moverse a diferentes posiciones predefinidas en respuesta a señales eléctricas, electrónicas o neumáticas. Su función principal es controlar el flujo de líquidos, gases u otros medios en una variedad de procesos y sistemas. Estas válvulas cuentan con actuadores motorizados que proporcionan el movimiento necesario para cambiar la posición de la válvula. Los actuadores pueden ser eléctricos, neumáticos o hidráulicos y se ajustan para lograr la posición deseada con precisión. Esto permite un control detallado del flujo, la presión y otras variables en procesos industriales y sistemas de automatización. Las válvulas motorizadas de posición son esenciales en situaciones donde se necesita un control preciso y ajustable. Se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, como sistemas de control de temperatura, procesos químicos, sistemas de distribución de fluidos y muchas otras. Su capacidad para ajustar la posición de manera automática y confiable las convierte en componentes clave en la automatización industrial y en la optimización de procesos.

Para el control del afluente, proveniente de la bomba de medio caballo de fuerza, que deposita el líquido en el tanque Cuchumá se consideró una válvula de posición modelo A20-M15-S2-C (ver figura 4.15) que permitiría un cierre controlado y que esta a su vez pudiese ser manipulado por un controlador continuo (como un Proporcional, Proporcional-Integral) capaz de permitir un control más apropiado del flujo en el tanque Cuchumá. La idea central es permitir cierres y aperturas controladas entre 0 y 100 %.



Figura 4.15 Válvula proporcional motorizada de posición modelo A20-M15-S2-C.

4.2.2.3 Electroválvula

Las electroválvulas son dispositivos electromecánicos utilizados para regular el flujo de diferentes sustancias, como líquidos o gases, en una variedad de sistemas industriales y aplicaciones comerciales. Estas válvulas funcionan mediante la activación de un solenoide que, al recibir una señal eléctrica, genera un campo magnético capaz de cambiar la posición de la válvula, permitiendo o bloqueando el flujo. Las electroválvulas son fundamentales para automatizar y controlar de manera eficiente los flujos en diversos procesos industriales, así como en sistemas de automatización y manejo de fluidos. Estas válvulas se clasifican en dos categorías principales: las de tipo "normalmente cerradas" y las de tipo "normalmente abiertas". En las electroválvulas de tipo normalmente cerradas, el flujo de sustancia se bloquea cuando no se aplica corriente eléctrica al solenoide. Por otro lado, en las electroválvulas de tipo normalmente abiertas, el flujo es permitido en estado de reposo y se cierra cuando se aplica corriente al solenoide. Las electroválvulas tienen una amplia variedad de aplicaciones, desde la automatización de sistemas de riego hasta el control de flujos químicos en la industria y la regulación de sistemas de enfriamiento y climatización. Su capacidad para responder de manera rápida y precisa a señales eléctricas y ajustar los flujos las convierte en elementos esenciales en numerosas situaciones donde el control preciso y la automatización son críticos.

En este prototipo la válvula DN25 (ver figura 4.16) solo funge como ayuda en la descarga del tanque Nopalera la tanque Cuchuma con fines didácticos futuros en el prototipo y así tener un uso distinto de manera que pueda ser adecuado a otros problemas y dar solución acertada.



Figura 4.16 Electroválvula de apertura y cierre instalada en el tanque Cuchumá.

4.2.2.4 Motor trifásico con equipo de bombeo

Este ingenioso dispositivo combina la energía del motor con la funcionalidad de una bomba, permitiendo el movimiento eficiente de líquidos en diversas aplicaciones. El motor, fuente de energía, impulsa la bomba, que convierte esta energía en presión hidráulica. Esta presión resultante impulsa el fluido a través de tuberías, canales o conductos, posibilitando su transporte desde un punto a otro. Existen distintos tipos de bombas, como las centrífugas que emplean fuerza centrífuga, las de desplazamiento positivo que trabajan por ciclos volumétricos, las de flujo axial y radial para caudales y presiones específicas, entre otras. Desde el suministro de agua en comunidades hasta la irrigación agrícola, pasando por aplicaciones industriales y control de inundaciones, el motor bomba es esencial en la facilitación de múltiples procesos. Su evolución constante contribuye a mejorar la eficiencia, la durabilidad y la adaptabilidad a las necesidades cambiantes de la sociedad moderna.

A partir de los atributos anteriores, se consideró como forma de emulación al flujo de agua que proviene de la presa Las Auras hasta cada una de las potabilizadoras un equipo de bombeo de 1/2 HP controlado a 230VCA trifásico capaz de trabajar hasta 113 litros por cada 4 minutos con una succión de 1 1/2" de diámetro y una descarga de 1 1/4" que fue reducida a 3/4" para la tubería de galvanizado que fue utilizada. El motor bomba se muestra en la figura 4.17.



Figura 4.17 Motor bomba de 1/2 HP. Marca Bonasa modelo AA1916.

4.2.3. Controladores

4.2.3.1 Controlador Lógico Programable LOGO! Siemens

Para este prototipo fueron utilizados cuatro PLC's de la marca Siemens modelo LOGO! versión 8.3. La selección de este controlador es porque ofrece una amplia gama de funciones, como control de tiempo, conteo, funciones matemáticas y comunicación con otros sistemas. Es ideal para tareas como control de iluminación, sistemas de riego, máquinas pequeñas y monitoreo de procesos. También, es importante resaltar que su programación se basa en lenguaje de contactos, lo que lo hace accesible incluso para aquellos nuevos en la automatización.

Los usuarios pueden crear lógicas complejas mediante una interfaz gráfica, lo que elimina la necesidad de habilidades de programación avanzadas. Se muestra un ejemplo básico del PLC LOGO! en la figura 4.18.



Figura 4.18 Controlador Lógico Programable LOGO! Siemens. Fuente: <https://liesa.com.ar/logo-8-plc-siemens/>.

4.2.3.2 Modulo de expansión de entradas analógicas AM2 LOGO! SIEMENS

Aunque el PLC LOGO! cuenta con 4 entradas analógicas predeterminadas y totalmente ajustables se optó por ampliar a 2 más con fines de investigación y funcionalidad del controlador. Esto debido a la cantidad de sensores que involucra el sistema y para permitir que este tipo de módulo sea parte del sistema final de solución de manera realista. Algunas otras consideraciones importantes para la selección y puesta en marcha de este módulo de entradas

analógicas, es que se adhiere al PLC de forma física por medio de pines laterales en el sistema LOGO! de Siemens para ampliar sus capacidades para monitorear y controlar variables analógicas en una variedad de aplicaciones industriales y de automatización. Este módulo mejora la precisión, la flexibilidad y la capacidad de control, permitiendo un funcionamiento más eficiente y seguro en una amplia gama de entornos. Un ejemplo visual del módulo se muestra en la figura 4.19.



Figura 4.19 Módulo de expansión de entradas analógicas AM2 LOGO! Siemens. Fuente: <https://teknocontrol.com/producto/modulo-de-expansion-logo-am2-aq-24vdc-6ed10551mm000ba2/>

4.2.3.3 Módulo de expansión de salidas analógicas AM2 AQ LOGO! Siemens

La expansión de salidas en el sistema LOGO! de Siemens es esencial para aumentar la capacidad de control y automatización en aplicaciones industriales. Al brindar más opciones de control sobre dispositivos y procesos, se mejora la versatilidad y se permite una gestión más precisa y eficiente de una variedad de operaciones. Esto contribuye a un funcionamiento más fluido y optimizado en diversos entornos. Al agregar más salidas, se aumenta la flexibilidad y la versatilidad del sistema para actuar sobre diferentes actuadores y componentes en respuesta a las condiciones cambiantes.

Por lo anterior, se instaló un módulo de expansión de salidas analógicas AM2 AQ debido a que el PLC LOGO! carece de salidas analógicas y solo cuenta con salidas digitales. Este módulo permite la expansión a dos salidas una en un rango de 0-10 volts y otra en 4 a 20 mA de las cuales permite el control para la válvula motorizada de posición. Al igual que el módulo de entradas analógicas este se conecta de manera física al PLC LOGO! por medio de pines laterales. En la figura 4.20 se muestra un ejemplo de este módulo de expansión.



Figura 4.20 Módulo de expansión de salidas analógicas AM2 LOGO! Siemens. Fuente: <https://teknoccontrol.com/producto/modulo-de-expansion-logo-am2-aq-24vdc-6ed10551mm000ba2/>

4.2.4. Conexiones eléctricas

4.2.4.1 Conexión de fuerza y control del motor-bomba

Para el correcto funcionamiento del motor-bomba de acuerdo a su funcionalidad con voltaje trifásico a 230 VCA, se propone la conexión de fuerza de un arrancador a tensión plena, con un accionamiento directo debido a que la carga mínima que proporciona esta bomba es solamente de 1/2 HP, lo cual no representa una carga de mayor impacto. El arrancador a tensión plena está compuesto por un guardamotor marca Eaton con capacidad de 1/2 HP en la carga y apto para 230 volts trifásicos, el cual permite tener un grado de protección al ser termosensible y permitir la interrupción de la alimentación trifásica en caso de una sobretensión. Además, se considera un contactor que permite la conexión o desconexión de la alimentación por medio de una señal externa de 120VAC. Un relevador de sobrecarga, el cual funciona como segunda protección dentro del arrancador a tensión plena en caso de que dentro del motor-bomba exista un esfuerzo de trabajo o problema con la energía tanto de alimentación como de acción.

Para el tema de control de encendido y apagado del motor-bomba se propuso la instalación de un autoenclavamiento apoyado de relevadores auxiliares normalmente cerrados y abiertos, apoyados de dos botones de accionamiento, de arranque en color verde y color rojo para el paro. Estas conexiones se ilustran de manera gráfica y específica en la figura 4.21.

4.2.4.2 Conexión del control para tanque Nopalera

Para el control del tanque que emula la potabilizadora Nopalera, se utilizarán dos PLCs LOGO! para la conexión oportuna de las luces pilotos, así como del actuador en funcio-

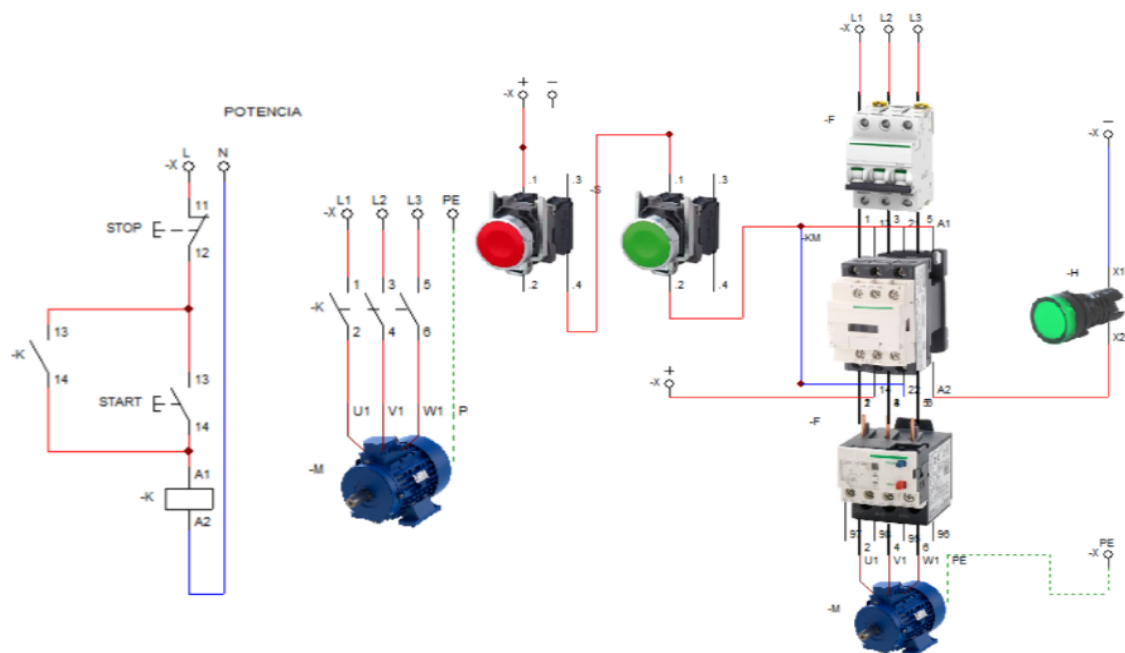


Figura 4.21 Diagrama del circuito de potencia y control para moto-bomba.

namiento en este tanque. A su vez, a estos se les incorporaron módulos de extensión de entradas analógicas para conectar alguno de los sensores y obtener sus lecturas. Asimismo, se adaptó un módulo de entradas analógicas para la activación de la válvula proporcional para incorporar el actuador de posición que permita su control continuo por medio de la programación existente en los controladores.

Los sensores que se tomaron en consideración para este control fueron un sensor de flujo, un sensor de presión y dentro del módulo de expansión de entradas analógicas M2 de SIEMENS para PLC's LOGO! en el se colocó el sensor de nivel hidrostático. Para la conexión de la válvula motorizada de posición, se usó del módulo de expansión AQM2 de SIEMENS para los PLCs LOGO!, la ilustración de este circuito se muestra de manera adecuada en la figura 4.22.

Los elementos considerados en el control del tanque Nopalera, con sus respectivas especificaciones, se encuentran en la tabla 4.2.

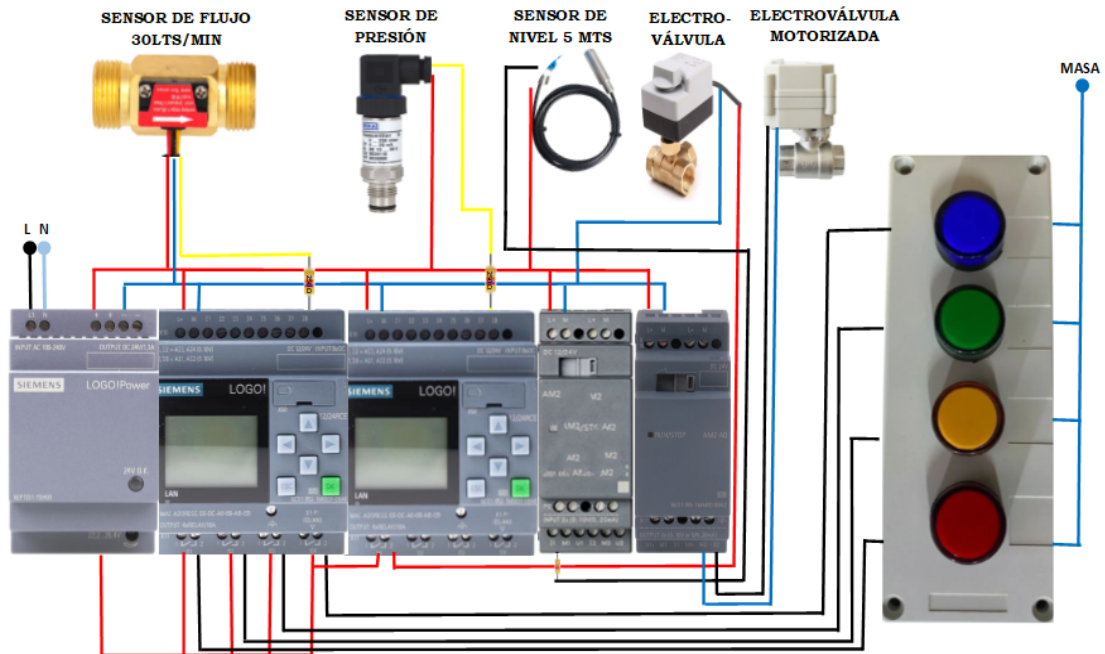


Figura 4.22 Diagrama del circuito de control de Nopalera.

4.2.4.3 Conexión del control para tanque Cuchumá

Se proponen la utilización de dos PLC's LOGO! para la conexión del control que realizara la lectura de los sensores conectados y a su vez permitirá la programación adecuada para el accionamiento de los actuadores y luces piloto que se ubican en este tanque. La selección de este número de PLCs se debe a la poca cantidad de salidas digitales que contienen, el cual es de solamente cuatro y en el caso especial del prototipo se requieren mínimo 8 para controlar las luces piloto que determinarán los cuatros diferentes niveles. Para este caso en específico se necesitan 5 salidas digitales, a su vez aprovechando la cantidad de entradas de cada uno de los PLC's se conectaron los sensores adaptados al tanque Cuchumá, los cuales consisten en un sensor de flujo, sensor de nivel ultrasónico, sensor hidrostático de nivel, sensor de presión y sensor pH. El cable que se utilizó es de calibre 18.

A su vez, cada sensor contiene un a resistencia de 500Ω para obtener la lectura en el PLC de una señal de 4-20 mA a una caída de tensión, y por recomendación del fabricante, se anexa esta resistencia en cada una de las lecturas análogas. De forma explícita el diagrama de conexiones eléctricas de sensores y actuadores se observa en la conexión de este control en la figura 4.23. Sus componentes se describen de manera específica y concreta en la tabla 4.3.

Cantidad	Elementos
2	PLCs LOGO! marca Siemens V8.3.
1	módulo de expansión de salidas analógicas marca Siemens mod. AM2 AQ.
1	válvula ON/OFF motorizada DN25 de 3/4", con alimentación de 24V.
1	válvula de esfera proporcional DN25 de 3/4", con alimentación 24V, de 4-20 mA.
1	Sensor de nivel hidrostático QDY60A de 4-20 mA y 0-5 m.
1	Sensor de presión mod. 2088, de 0-100 MPa, 4-20 mA.
1	Sensor de pH modelo 4502C con electrodo E201-BNC. Rango de detección 0-14 (ácido/base).
1	Caudalímetro YF-B1 de 4-20 mA, de 1-30 L/min.
1	Caja de 4 luces piloto.
1	Bomba hidráulica WEG de 1/2 HP con alim. trifásica.
1	Guardamotor ABB para motor trifásico mod. MS116.
1	Contactador trifásico Allen Bradley K09 de 1/2 HP, con alim. 120 VAC.
1	Relevador de sobrecarga 1/2 HP.
1	Tablero de control tipo industrial de 25 cm × 30 cm.
1	Tablero de control Siemens de 25 cm × 30 cm.
2	Botones de arranque y paro de emergencia.
2	Luces piloto de 120 VAC para activ. de motor.

Tabla 4.2 Equipamiento para el contenedor Nopalera

4.3. Plataforma propuesta de IoT-SCADA

La plataforma IoT-SCADA está configurada con la aplicación de Node-RED y LOGO! Web Editor para visualizar y procesar información de forma remota y local, respectivamente.

4.3.1. Montaje de la plataforma IoT con Node-RED

La plataforma IoT Node-RED fue seleccionada para su montaje como apoyo para la solución al planteamiento del problema del sistema Las Auras-Nopalera-Cuchuma. Esto debido a su facilidad de programación, de código abierto a través de Nodos y flujos. Además, puede ser usado con los controladores lógicos programables LOGO! Un punto de fortaleza a considerar es su código abierto para desarrollar una gran variedad de entornos.

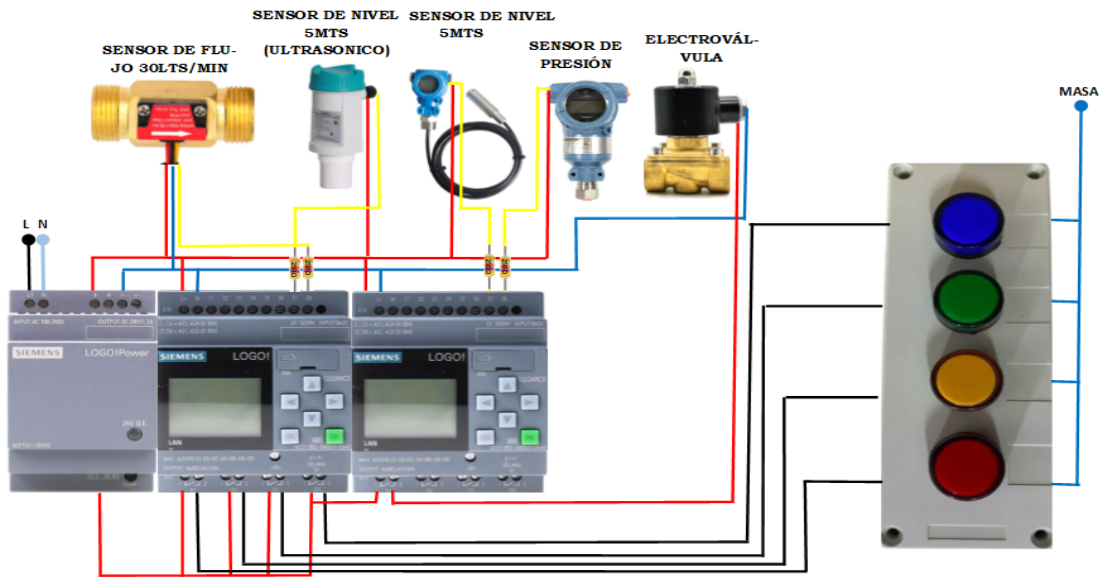


Figura 4.23 Diagrama del circuito de control de Cuchumá.

Cantidad	Elementos
2	PLCs LOGO! marca Siemens V8.3.
1	módulo de expansión de entradas analógicas Siemens mod. AM2.
1	Electroválvula DN25 de 3/4", con alim. 24V.
1	Sensor de nivel hidrostático QDY60A con display LCD, de 4-20mA y 0-5 m.
1	Sensor de nivel sonar Siemens mod. SITRANS LU150 de 4-20 mA, y de rango de 0-5 m.
1	Sensor de presión mod. 2088 con display LCD, 0-100 MPa, 4-20mA.
1	Sensor de pH modelo 4502C con electrodo E201-BNC. Rango de detección 0-14 (acido/base).
1	Caudalímetro YF-B1 de 4-20 mA, de 1-30 L/min.
1	Caja de 4 luces piloto.
1	Tablero de control tipo industrial de 25 cm × 30 cm.

Tabla 4.3 Equipamiento para el contenedor Cuchumá

La plataforma IoT fue instalada y programada de la siguiente manera:

1. Los sensores fueron conectados por medio de los PLC's LOGO! a través de sus entradas analógicas para así obtener los datos de las variables, a través de la conexión a ethernet por medio de un conmutador (switch) y conectado a una red de internet propia.

2. En dos computadoras, las cuales se encuentran en las plantas potabilizadoras Nopalera y Cuchumá, se instaló Node-RED con librerías de nodos apropiados para hacer la vinculación de las variables procesadas por el PLC. De esta manera se puede tener acceso local, monitorización y control de las variables proporcionadas por los sensores de los respectivos tanques.
3. En los programas Node-RED de cada computadora, se instalaron nodos del protocolo MQTT para la transmisión y recepción de las variables en línea directamente con el internet.
4. Se dispuso de una cuenta de la nube de Google para la instalación de un Servidor Privado Virtual (VPS) con una instancia de máquina virtual Compute Engine API del Sistema Operativo Ubuntu 18.04 permitiendo el acceso al tráfico de datos HTTPS (ver figura 4.24).
5. Finalmente, para tener interfaces virtuales de los sensores de las plantas potabilizadoras en el Internet, se instaló la plataforma de Node-RED en la nube de Google. De esta manera se tiene el Servidor Broker de Node-RED, el cual permite el tráfico de señales de un tanque a otro tanque, y viceversa, por medio del Servidor Broker Node-RED (ver figura 4.25).

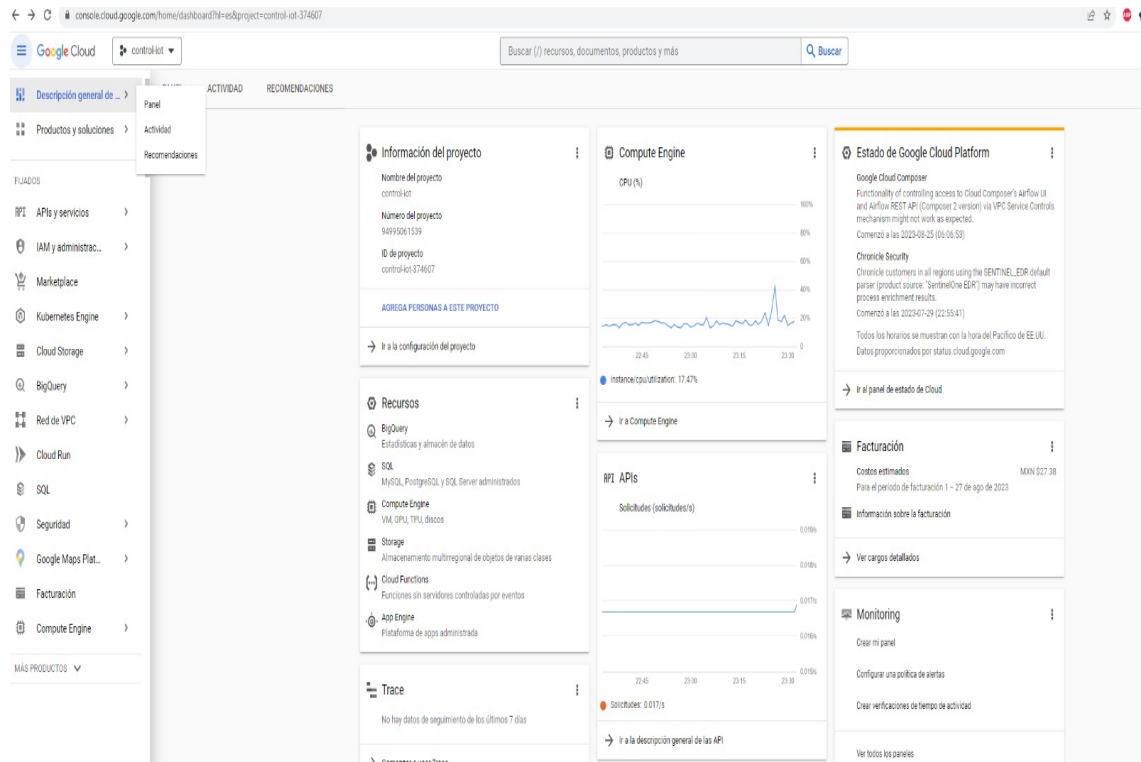


Figura 4.24 Pantalla de monitorización de Google Cloud.

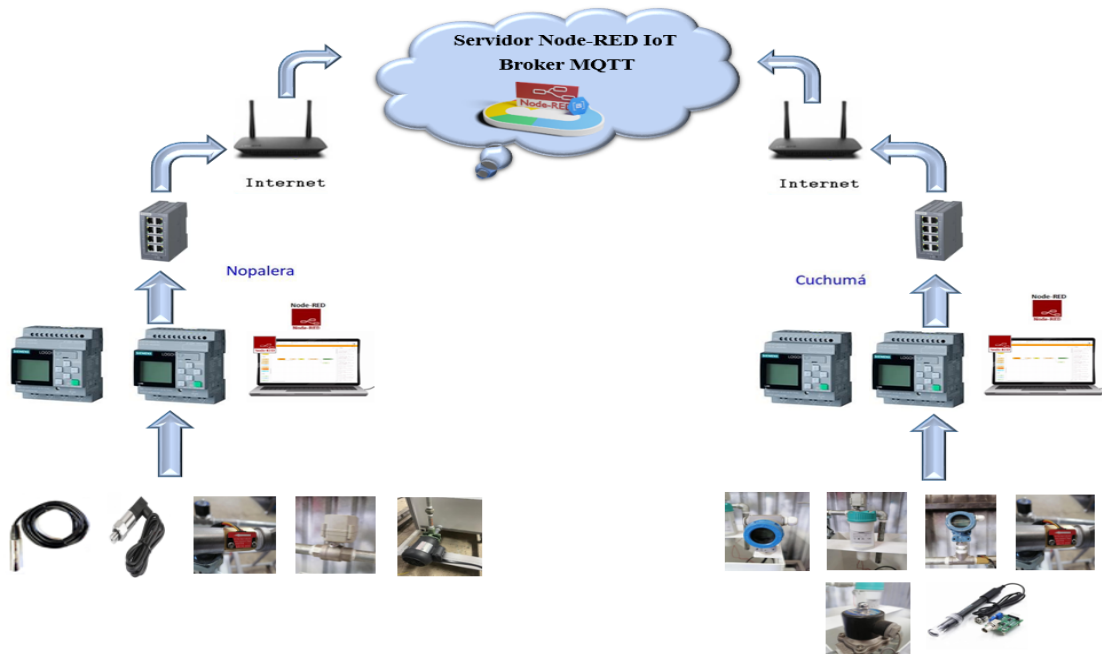


Figura 4.25 Plataforma IoT basada en el servidor Node-RED.

Vinculando dominio propio en la red

Para alojar la plataforma de IoT NODE-RED en primera instancia se creó un dominio basado en el registrador de nombres de dominio Google Domains (DNS), esto con la finalidad de lograr un entorno amistoso y concreto para ser llevado a la nube de Google. El dominio que se utilizó tiene como fundamento de seguridad el protocolo de transferencia de hipertexto seguro (HTTPS por sus siglas en inglés), este tipo de protocolo utilizado para el envío de datos entre navegador y dominios se encuentran encriptados para tener un aumento de la seguridad de forma significativa en cuanto a la transferencia de datos se refiere. Por lo cual el dominio tendrá la función de visualizar el contenido que se vincule a través de la nube. El dominio fue nombrado como `https://mechatronycontrol.com:1880` y asociado a la IP externa `34.170.203.247`.

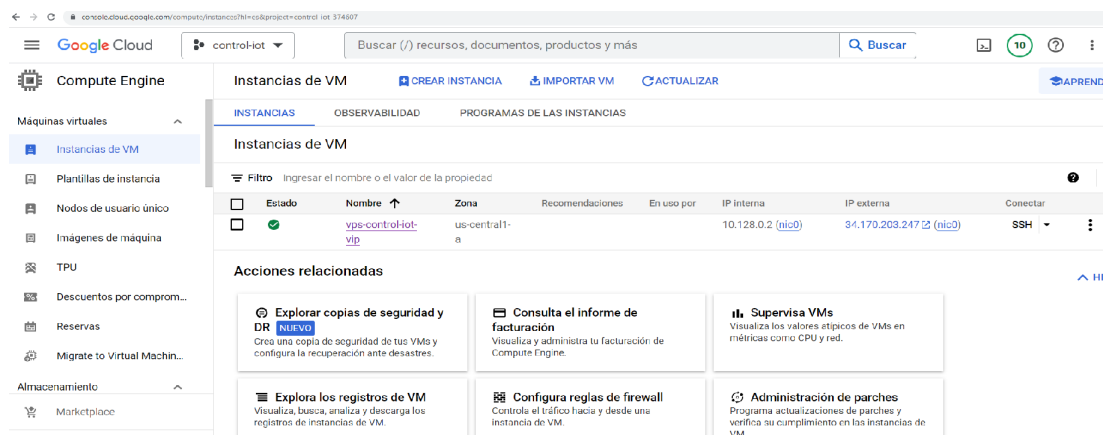


Figura 4.26 Pantalla de la dirección del dominio en Google Cloud.

Integración con de la nube

Para lograr instalar el protocolo IoT NODE-RED se necesitó la utilización de un recurso en la nube donde pudiese ser instalado y controlado para así visualizar el contenido propio generado. Para los fines de investigación, academia y de realización de prototipo inicial se consideró Google Cloud, el cual ofrece una gama diversa de servicios en la nube que brindan ventajas significativas, así como la facilidad de dar seguimiento al comportamiento de los diversos valores y variables propias de la nube dentro de una pantalla de monitorización (ver figura 4.27).

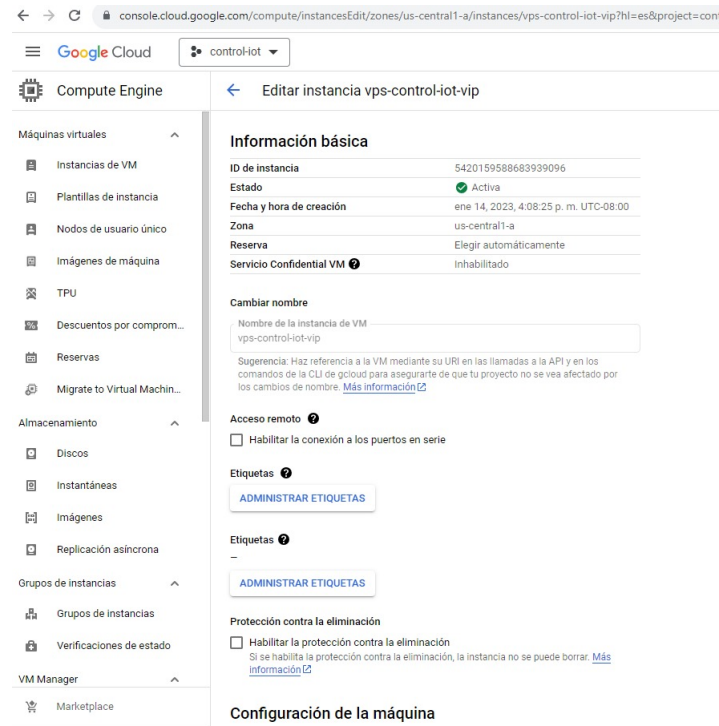


Figura 4.27 Pantalla de monitorización de Google Cloud.

Estos beneficios incluyen escalabilidad eficiente para adaptarse a las necesidades cambiantes, una amplia variedad de servicios, alta confiabilidad con mínimos tiempos de inactividad, seguridad sólida con medidas avanzadas de protección, potentes herramientas de inteligencia artificial, modelo de pago por uso que optimiza costos, rendimiento optimizado gracias a su infraestructura global, facilidad de desarrollo con herramientas ágiles, colaboración simplificada entre equipos y abundantes recursos de soporte. Dentro de este espacio en la nube se permitió la instalación que permita la ejecución necesaria del protocolo NODE-RED ligando este mismo al dominio existente que fue creado con anterioridad. Esto para trabajar desde el dominio creado tal y ejecutar los programas realizados en Node-RED con las ligas necesarias entre las variables físicas existentes y virtuales. Dentro de la nube fue necesaria la creación de una máquina virtual para la ejecución de la plataforma Node-RED dentro de la nube correspondiente.

4.3.2. Sistema SCADA basado en LWE

En el ámbito de la automatización industrial, la supervisión y control de procesos desempeñan un papel crucial para garantizar la eficiencia, la seguridad y la calidad en la producción. Para llevar a cabo esta tarea, se utilizan sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), que permiten monitorizar y controlar remotamente equipos, dispositivos y procesos industriales desde una interfaz centralizada. Uno de los productos notables en este campo es el sistema LOGO! Web Editor (LWE) desarrollado por Siemens. LWE es una solución de supervisión y control de procesos industriales desarrollada por Siemens. Se basa en la línea de productos LOGO!, que consiste en controladores programables diseñados para aplicaciones de automatización en pequeñas y medianas empresas. Usando una tarjeta micro-SD en el PLC LOGO! V8.3, una aplicación en cualquier navegador es cargada en el ambiente de Web server, donde se puede configurar esquema de diseño para monitorear y controlar dispositivos (ver figura 4.28). El Web Editor permite a los usuarios crear interfaces de usuario personalizadas, visualizar datos en tiempo real, y controlar dispositivos y procesos de manera remota a través de una variedad de dispositivos, como ordenadores, tabletas y smartphones.

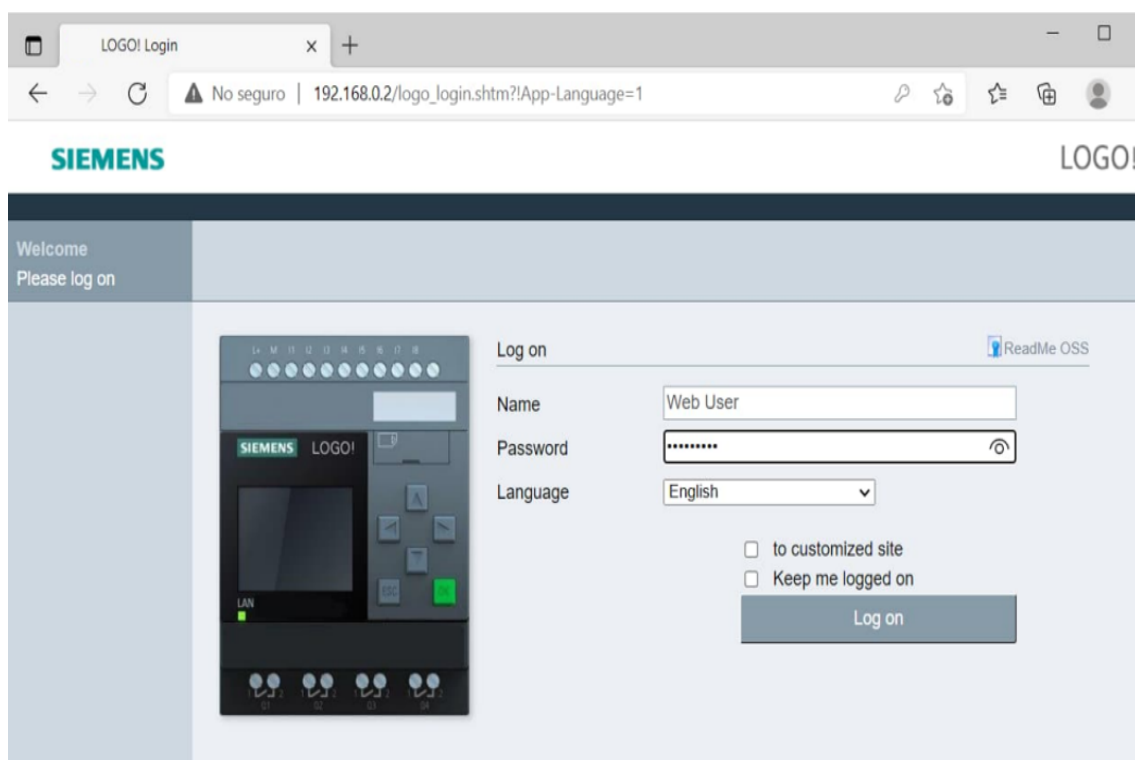


Figura 4.28 Acceso virtual de Logo Web Editor por navegador.

Capítulo 5

Resultados del monitoreo y control del sistema hidráulico

Con la instrumentación adquirida e instalada en el prototipo hidráulico que emula el sistema hídrico Las Auras-Nopalera-Cuchumá (ver figura 5.1), se brinda una solución factible a los principales problemas de automatización especificados en capítulos previos, a través de la implementación de un enfoque IoT-SCADA basado en la plataforma Node-RED - LWE.



Figura 5.1 Prototipo hidráulico que brinda solución a la problemática de la red hídrica Las Auras-Nopalera-Cuchumá.

5.1. Programación de controladores LOGO!

Usando el enfoque de programación de Diagramas de Bloques en el software LOGO! Softcomfort, se llevaron a cabo las configuraciones y algoritmos de los PLC's asociados a cada tanque.

5.1.1. Controladores LOGO! para Tanque Nopalera

La programación de los dos PLC's del tanque Nopalera T_N está relacionada con la configuración de las señales analógicas de los sensores tipo industrial. Consideramos la configuración de los siguientes sensores:

1. **Sensor de nivel hidrostático.** Este sensor proporciona una señal entre 4 y 20 mA, dependiendo del nivel proporcionado de 0 a 3.2 metros. El PLC LOGO! permite la lectura de la señal de corriente con un escalamiento de 200 a 1000 unidades. La ecuación de este sensor hidrostático está dada por,

$$N_h = \frac{x_1 - 200}{2.5}, \quad (5.1)$$

donde N_h es el nivel del sensor hidrostático de T_N en centímetros, x_1 es la señal escalada de la primera entrada analógica AI_1 . El valor N_h es restado con 200 unidades, y posteriormente dividido entre el valor decimal 2.5 para tener el nivel en centímetros.

2. **Sensor de presión.** Este sensor también considera una señal de corriente entre 4 y 20 mA correspondiente a la presión en 0 a 100 MegaPascales. Su ecuación está dada como sigue,

$$N_p = \frac{x_2 - 195}{80.5}, \quad (5.2)$$

donde N_p es la presión de T_N en MegaPascales y x_2 es la señal escalada de la entrada analógica AI_2 . De forma similar al sensor de nivel hidrostático, se hace un tratamiento de la señal de presión.

3. **Sensor de flujo.** Este sensor maneja una señal de corriente entre 4 y 20 mA correspondiente respectivamente a un rango de 0 a 30 litros por minuto. La ecuación está dada como sigue,

$$N_f = \frac{x_3 - 8}{36.4}, \quad (5.3)$$

donde N_f es el flujo del tanque Nopalera T_N en litros por minuto y x_3 es la señal escalada de la entrada analógica AI_3 .

En la figura 5.2 se puede apreciar la programación utilizada para el primer controlador que contiene la configuración para la lectura apropiada de los sensores, usando bloques aritméticos y conmutadores analógicos.

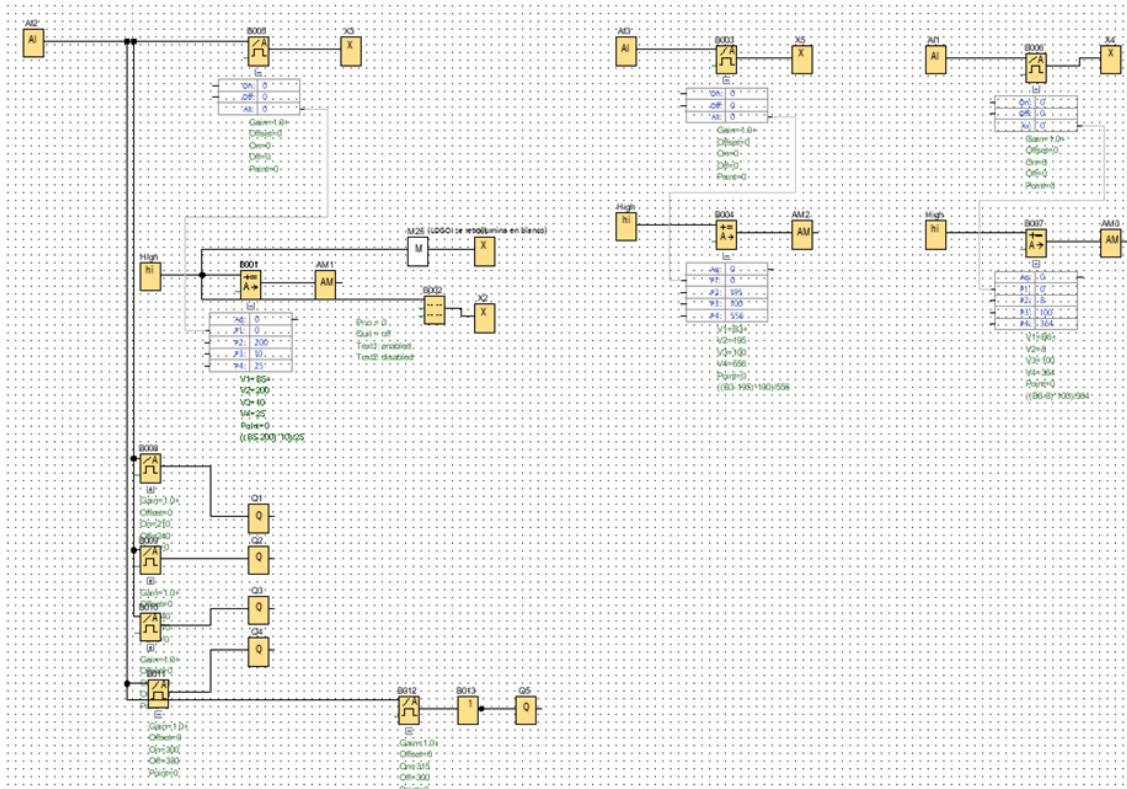


Figura 5.2 Programación del primer controlador LOGO! del tanque Nopalera.

Para el segundo PLC asociado al tanque Nopalera T_N , se realizó el control de la válvula motorizada proporcional (válvula analógica). Se tomó en cuenta un bloque de entrada analógica en red proveniente del PLC ubicado en el tanque Cuchumá T_C (ver Figura 5.3), el cual puede ser vinculado por la plataforma IoT Node-RED que está montada en la nube de Google, permitiendo recibir el valor de un controlador PID o PI programado en código JSON. Es importante señalar que este valor oscila entre 200 y 1000 unidades, siendo 0 y 100 por ciento respectivamente la apertura de la válvula en cuestión, tal como se presenta de forma real. De esta manera, en este PLC se tiene la configuración de la programación del control de la válvula motorizada de apertura y cierre para prevenir el derrame de este tanque ante cualquier eventualidad que sea realizada por el sistema.

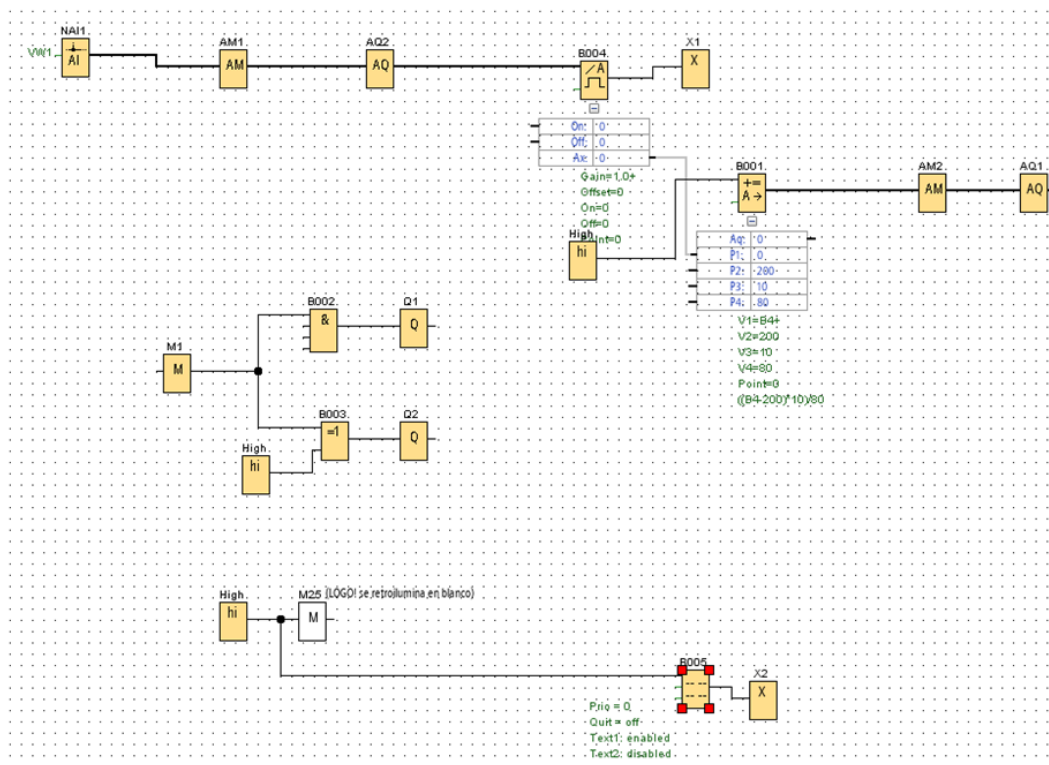


Figura 5.3 Programación del segundo controlador LOGO! del tanque Nopalera.



(a)



(b)

Figura 5.4 Controladores LOGO! configurados para tanque Nopalera. (a) Instalación de tablero con enrutador. (b) PLC's operando en red local y con conectividad de internet.

En la figura 5.4(a) se observa el gabinete de protección grado IP65 que contiene los PLC's relacionados al tanque Nopalera T_N , y su conexión del modem y los PLC conectados directamente al computador para transmitir los datos de cada uno de los sensores a la nube. También, se puede apreciar la caja con las cuatro luces pilotos, las cuales permiten conocer el nivel de manera sencilla y rápida en cuartos de nivel. En la figura 5.4(b) se ilustran las conexiones electrónicas realizadas en cada uno de los pines de entradas y salidas de cada uno de los controladores. De la misma manera, se observa la conexión ethernet localizada en cada PLC. Las pantallas de visualización de los PLCs fueron programadas para mostrar algunos datos y variables de importancia del sistema, que coexisten en armonía con los visualizadores de LOGO! Web Editor, así como el comportamiento dentro de las interfaces gráficas de la plataforma IoT Node-RED en la nube.

5.1.2. Controladores para tanque Cuchumá

Para los controladores LOGO! establecidos en el tanque Cuchumá T_C , se utilizó una lógica similar a la de T_N , aplicando las mismas ecuaciones para los sensores de nivel hidrostático y flujo.

La configuración de parámetros del sensor Sonar (ultrasónico) es distinta al resto, dada por la siguiente ecuación

$$C_u = \frac{x'_1 - 61}{13}, \quad (5.4)$$

donde C_u es el nivel del sensor ultrasónico del tanque Cuchumá que tiene un rango de operación de 0 a 3.5 metros, x'_1 es la señal escalada de la primera entrada analógica AI_1 del tanque Cuchumá.

En las figuras 5.5 y 5.6, se ilustra la programación de la ecuaciones para los sensores del tanque Cuchumá T_C , usando bloques aritméticos análogos. Además, se desarrollan simultáneamente la configuración de las luces pilotos considerando el nivel en cuartos pre-establecidos en la programación. Es importante señalar que la lectura de presión está ligada a un módulo de expansión de entradas analógicas con la finalidad de visualizar el comportamiento de este componente que se adhiere por medio de pines a los controladores LOGO! V8.3.

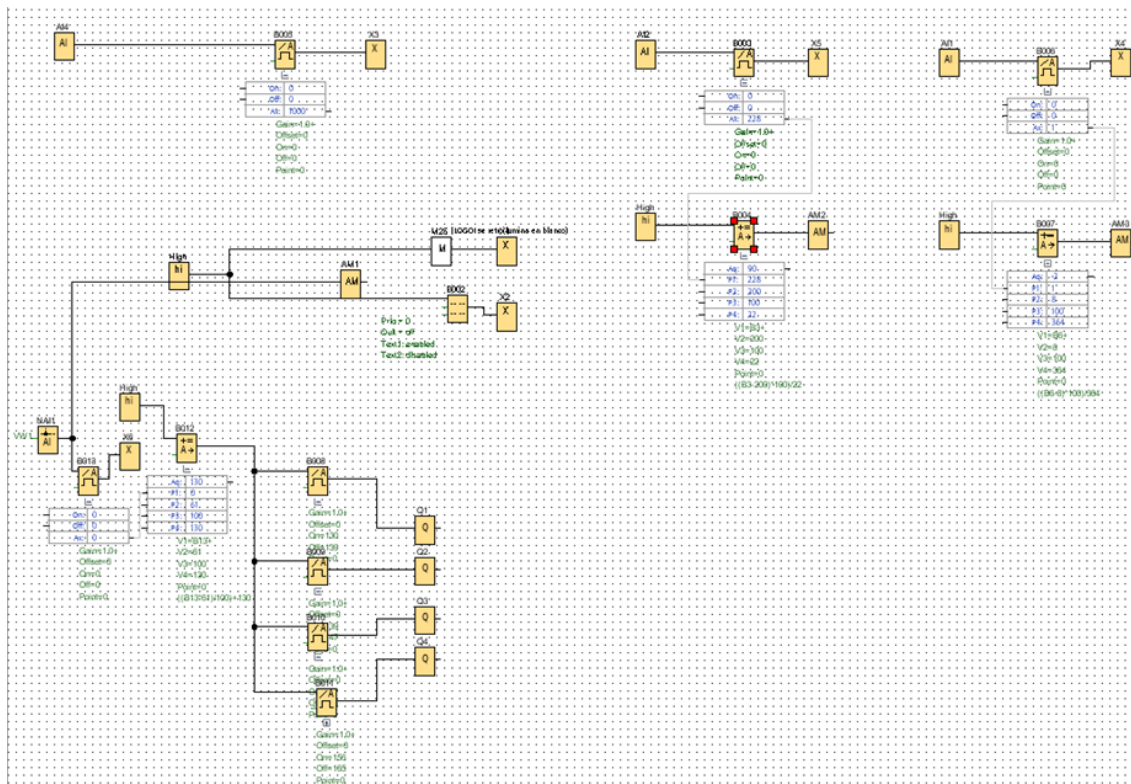


Figura 5.5 Programación del primer controlador LOGO! del tanque Cuchumá.

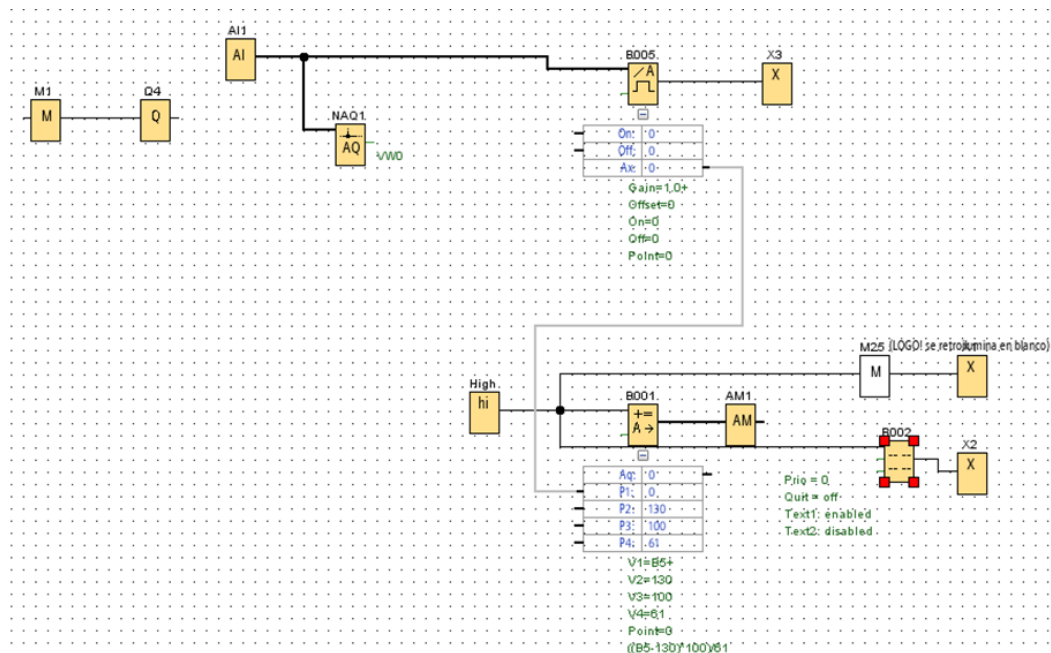


Figura 5.6 Programación del segundo controlador LOGO! del tanque Cuchumá.

En la figura 5.7(a) se observa el gabinete metálico IP65 que contiene los dos PLC con sus adaptaciones tales como el módulo de comunicación CMR2020, así como el módulo de expansión de entradas analógicas, las luces piloto y el módem que permite la comunicación de los PLC con la red. En el apartado (b) y (c) se aprecia las pantallas de operación de cada uno de los PLC donde se puede dar lectura a las variables de cada uno de los sensores instalados.

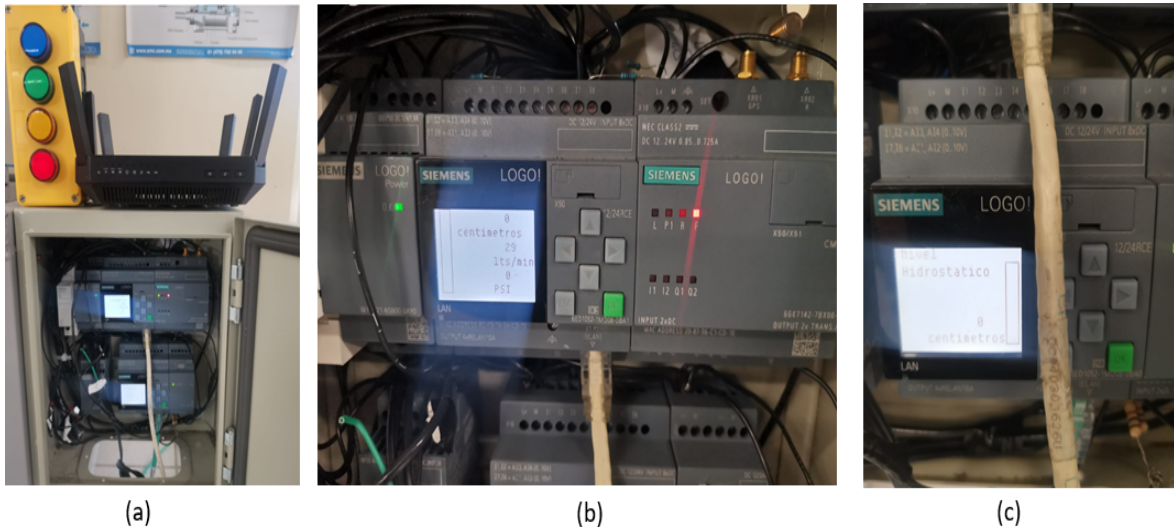


Figura 5.7 Controladores LOGO! configurados para tanque Cuchumá. (a) Instalación de tablero con enrutador. (b)-(c) PLC's operando en red local y con conectividad de internet.

5.2. Plataforma SCADA - LWE

En el prototipo construido, consideramos el uso de LOGO! Web Editor, propiedad de Siemens, para monitorear variables proporcionadas por las lecturas de las entradas análogas y el módulo de expansión de las mismas AM2 asociadas a sensores y algunos actuadores, a través de una red local, ya sea en el espacio del tanque Nopalera T_N o en el tanque Cuchumá T_C . Para cada tanque, se diseñaron plantillas individuales en LWE, las cuales pueden ser visualizadas en computadoras que tienen una comunicación remota con los PLCs de cada tanque, por medio de la conexión de un enrutador o switch, pero no están cargadas en Internet. Cabe señalar que los dos PLC's que están asociados a T_N no comparten conexiones eléctricas con los sensores y PLC's de T_C , y viceversa.

El uso de la plataforma SCADA-LWE en el prototipo hidráulico proporciona la solución a algunos problemas de automatización antes mencionados, entre ellos:

- El monitoreo de las variables proporcionadas de los sensores de nivel, presión y flujo, considerando plantillas individuales para cada tanque.
- El control virtual y visualización del estado de la válvula motorizada biestable para el tanque Nopalera, T_N .

Sin embargo, la plataforma SCADA-LWE no permite ejecutar un tipo de control remoto entre los dos tanques de las potabilizadoras, debido al acceso restringido entre las diferentes variables o accionamientos desde cualquier ubicación.

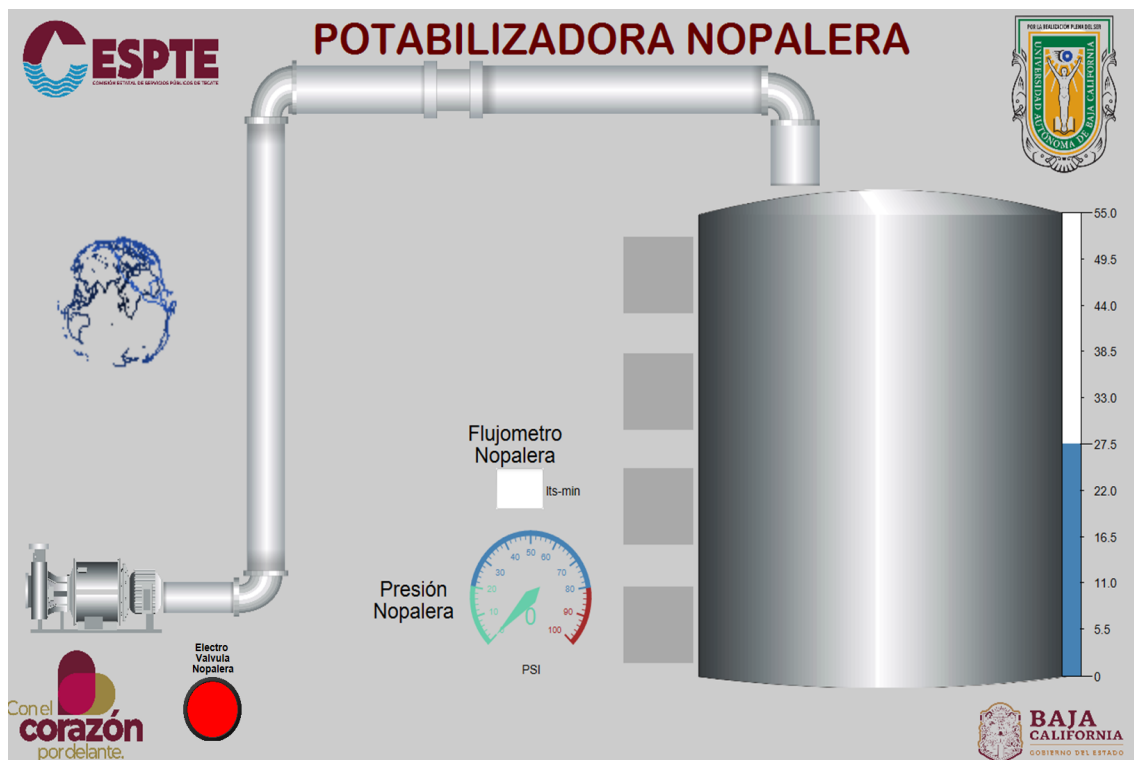


Figura 5.8 Plantilla del tanque Nopalera en LWE.

En la figura 5.8, se presenta la plantilla del tanque de regulación Nopalera, en la cual se indican los cuatro niveles de llenado, así como los indicadores digitales de los sensores de flujo y presión hidrostática y control virtual de la válvula motorizada biestable. De manera similar, en la figura 5.9 se muestra la plantilla para el tanque Cuchumá. En esta plantilla se considera la información de T_N a través de los datos tomados de los PLCs de T_N vinculados con Node-RED. En la figura 5.10, se ilustra el funcionamiento del prototipo con LWE.

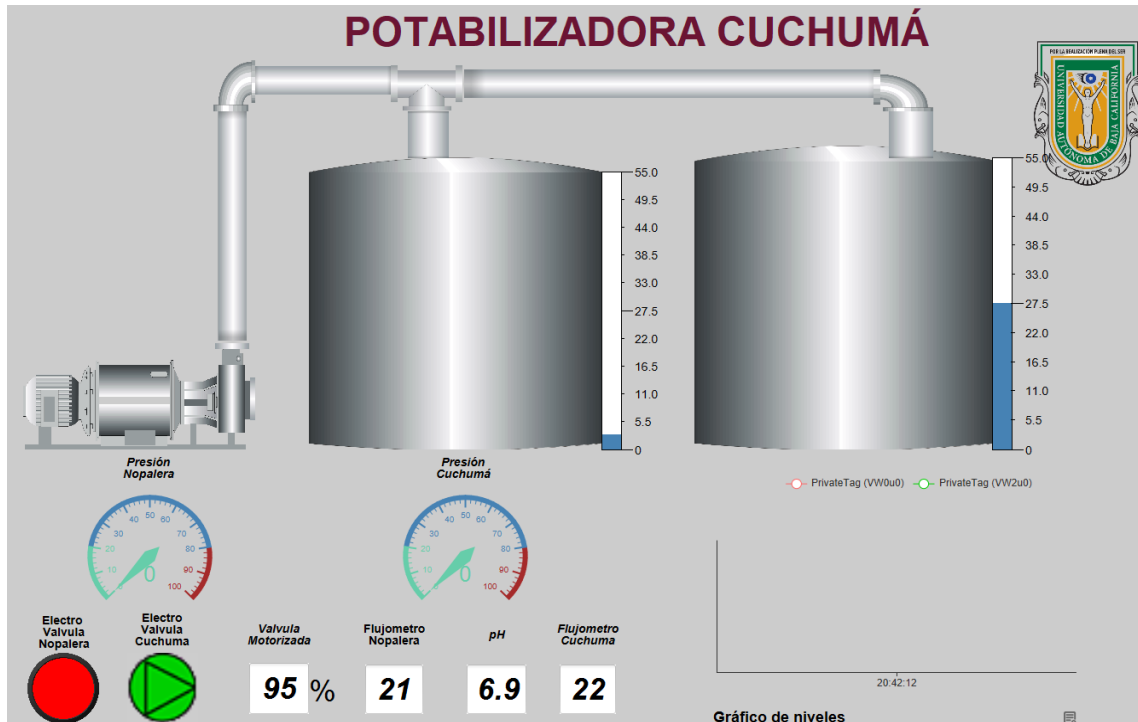


Figura 5.9 Plantilla del tanque Cuchumá en LWE.



Figura 5.10 Funcionamiento del prototipo con LWE.

5.3. Plataforma IoT con Node-RED

En este apartado desarrollamos una aplicación de Internet de las Cosas, usando la plataforma de Node-RED, con los objetivos de: (i) monitorear las variables de interés en el sistema hidráulico de Las Auras-Nopalera-Cuchumá en interfaces gráficas virtuales y remotas, mediante el uso de dashboards, y (ii) controlar el nivel h_C del tanque Cuchumá T_C mediante la aplicación de señales de control (P, PI, PID) de forma virtual en Node-RED, y posteriormente ejecutadas en la válvula analógica motorizada del tanque Nopalera T_N .

A continuación, se enlistan los pasos para alcanzar los objetivos arriba mencionados:

1. Primeramente, se considera la plataforma IoT montada para el prototipo mostrada en la Figura 4.25. En los equipos de cómputo vinculados a cada tanque de regulación, se integraron las librerías de nodos del protocolo de comunicación S7 en Node-RED (ver Figuras 5.11 y 5.12, nodos de color esmeralda), con el propósito de acondicionar y transferir las señales analógicas de los sensores recopiladas por los PLC's LOGO! al servidor de Node-RED, conocido como Broker Node-RED, el cual está instalado en la nube de Google (Google Cloud), y tiene un dominio DNS alojado en la página web: <https://mechatronycontrol.com:1880>. Para el nodo de señales analógicas, se realiza su configuración según el tipo de datos (DB1.WORD1 para 8 bits) que puede hacer uso de la dirección establecida en la tabla de direcciones ubicada en el software de programación del PLC Siemens SoftComfort lo cual permite hacer el enlace de comunicación con la finalidad de evitar el entrelace de las variables creando un canal único que permite extraer el valor analógico entregado por los sensores al controlador dando lectura y siendo transmitido y visualizado en un dashboard del Broker de Node-RED.
2. La programación de las interfaces virtuales se lleva a cabo mediante la conexión de nodos, o denominados como flujos, dependiendo de las aplicaciones que se desean presentar. Por ejemplo, el nodo de 'digital clock' (ver Figuras 5.11 y 5.12) muestra la hora del día en una interfaz gráfica (dashboard) a través de la alimentación de un nodo 'inject' cada 5 segundos. De hecho, este periodo podría variar el tiempo de retardo o latencia para transmitir datos, a la nube, al Broker Node-RED. De la misma manera, se llevan a cabo la transmisión de los datos analógicos, recopilados por la comunicación de los PLC's LOGO! con los sensores industriales, al Broker Node-RED (Google Cloud) estableciendo la contraseña de comunicación y la IP externa (34.170.203.247) en los nodos analógicos AI1, AI2, AI3 y AI4 asociados a las señales de sensores en el

programa de LOGO! SoftComfort (niveles de tanque, presión flujo y pH). Finalmente, se realiza la conexión de flujos y nodos de los niveles de ambos tanques para que activar las luces piloto (Q1, Q2, Q3 y Q4) conforme a los porcentajes de llenado se encuentren tales tanques.

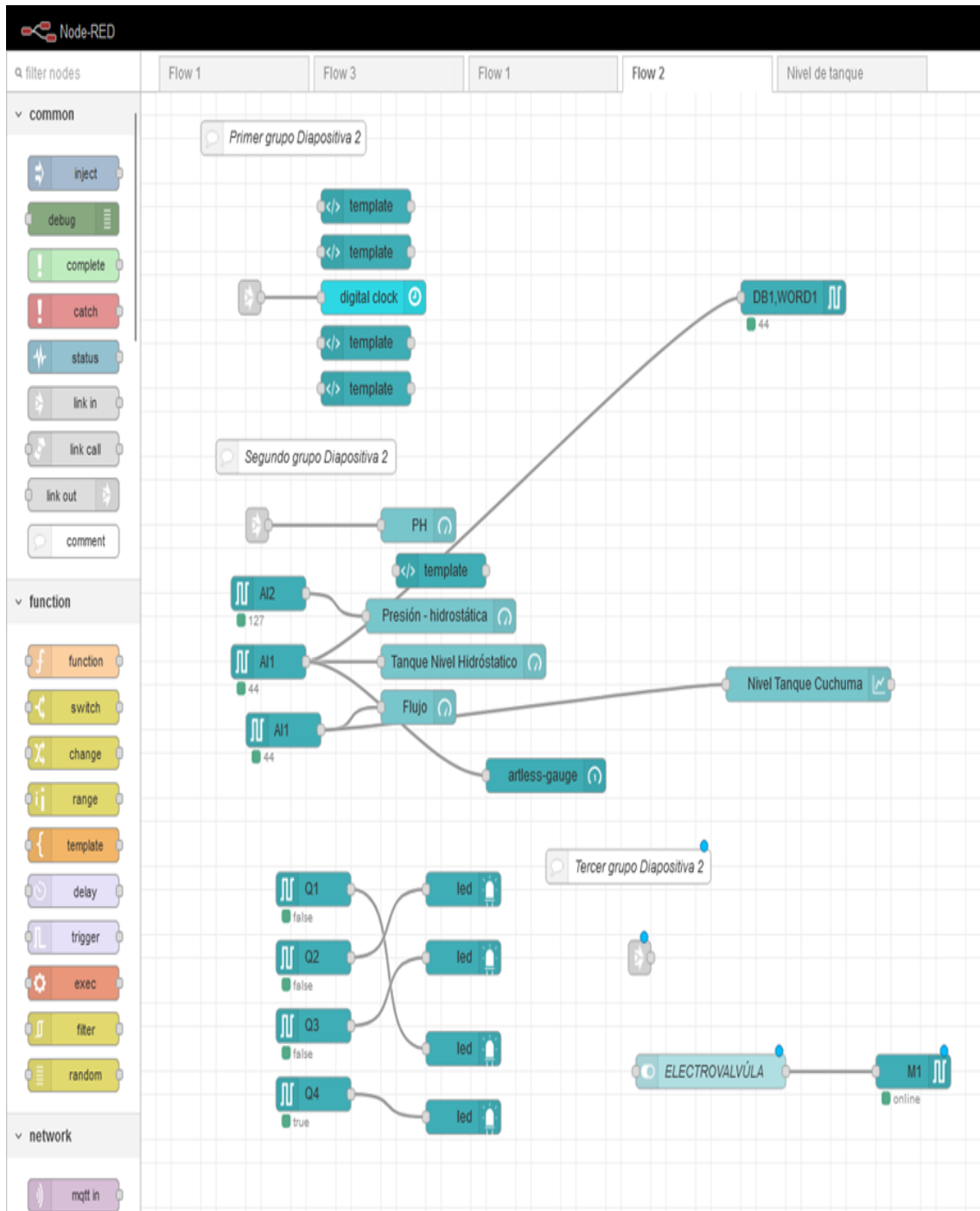


Figura 5.11 Programación basada en nodos para tanque Cuchumá.

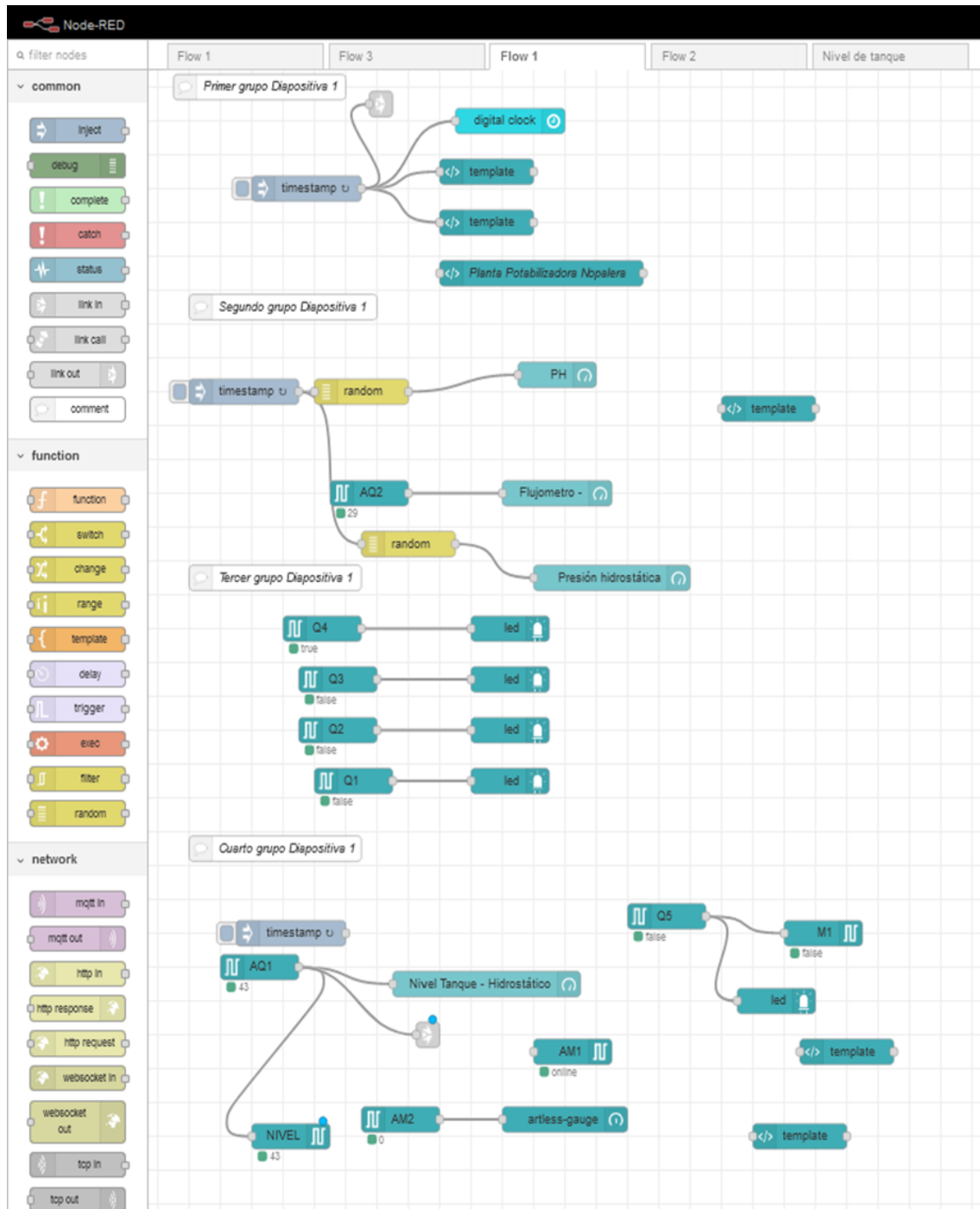


Figura 5.12 Programación basada en nodos para tanque Nopalera.

- Una vez realizada la configuración y conexión de todos los nodos involucrados en las señales de los sensores proporcionados por los PLC's LOGO!, se establecieron dos diapositivas virtuales para presentar los indicadores de las variables de interés de cada tanque. La ordenación de los tableros también es configurada en la página de flujos y nodos.

En la Figura 5.13 se ilustran los tableros virtuales (dashboards) de los sensores de nivel, flujo, presión hidrostática, y alcalinidad en la interfaz gráfica de la potabilizadora Nopalera. Asimismo, se observan los cuatro estados del nivel del tanque Nopalera conforme su porcentaje de llenado.

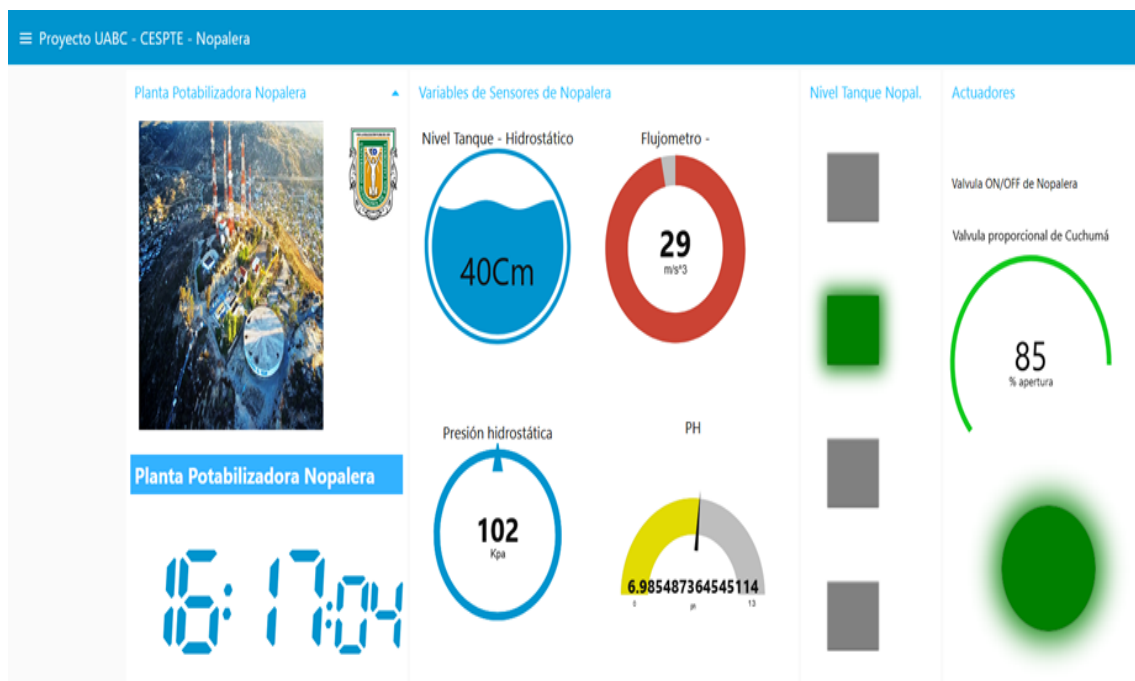


Figura 5.13 Tablero digitales para monitorear variables de sensores de potabilizadora Nopalera.

De forma similar, en la Figura 5.14 se presentan los indicadores de las variables de interés para el tanque Cuchumá. También, se observa el nivel h_C del tanque Cuchumá T_N en una gráfica que tiene como ejes coordenados al nivel vs tiempo. En la misma figura, se ilustra la posición de abertura de la válvula analógica motorizada.

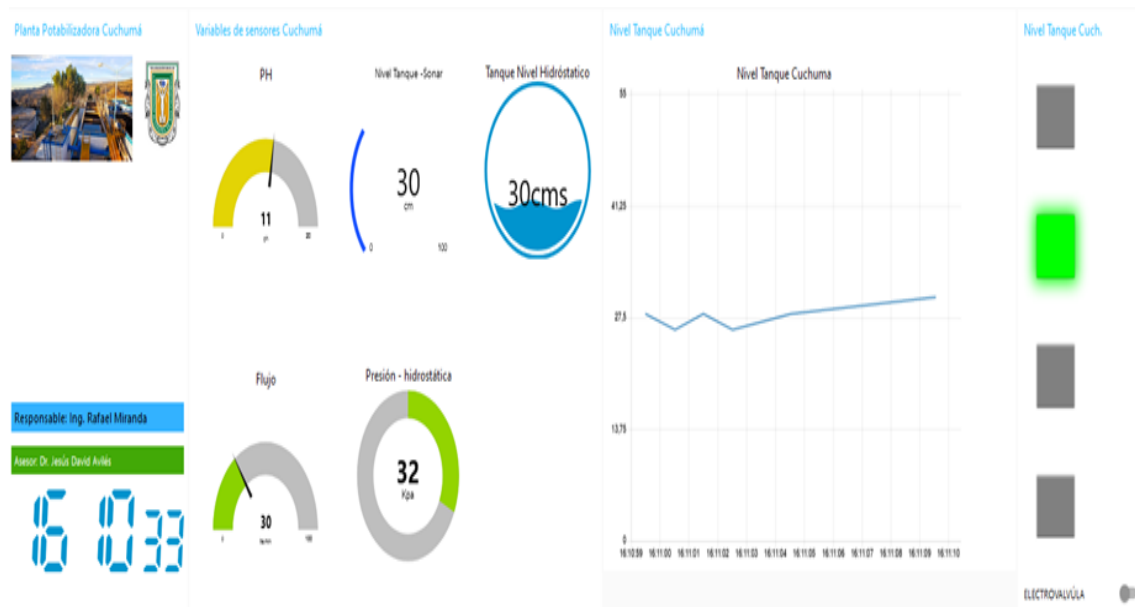


Figura 5.14 Pantalla de visualización potabilizadora Cuchumá.

- En este punto, se desarrolla el sistema de control en lazo cerrado que tiene como principal objetivo controlar el nivel h_C del tanque Cuchumá T_C , considerando la aplicación de un controlador PID-IoT, implementado en el Broker Node-RED, en una válvula proporcional ubicada en la zona de la potabilizadora Nopalera.

Para comprender explícitamente lo antes dicho, en la Figura 5.15 se presenta el bosquejo del lazo de control PID - IoT. En esta figura, se observa que h_C es la variable de salida a ser controlada (para evitar derrames en zonas aledañas o la falta de suministro del vital líquido en las zonas habitacionales y parques industriales), y es transferida al Servidor de Node-RED en la nube de Google, mediante la comunicación de un PLC y un computador, donde este último también aloja la plataforma de Node-RED de forma local. Por otro lado, en el servidor Node-RED se desarrolla el esquema de control PID - IoT usando las conexiones de flujos y nodos ilustradas en la Figura 5.16, en las cuales se reciben y procesan los valores acondicionados del nivel h_C , y posteriormente se transmite la señal de control, a la zona de la potabilizadora Nopalera, considerando la comunicación de la plataforma Node-RED en el computador de tal potabilizadora y un PLC con la finalidad manipular la válvula proporcional motorizada. Entonces, la señal de control PID - IoT permite abrir o cerrar de forma parcial o total la válvula proporcional para dar paso al flujo q_C por tal válvula y por la tubería que conduce al tanque T_C .

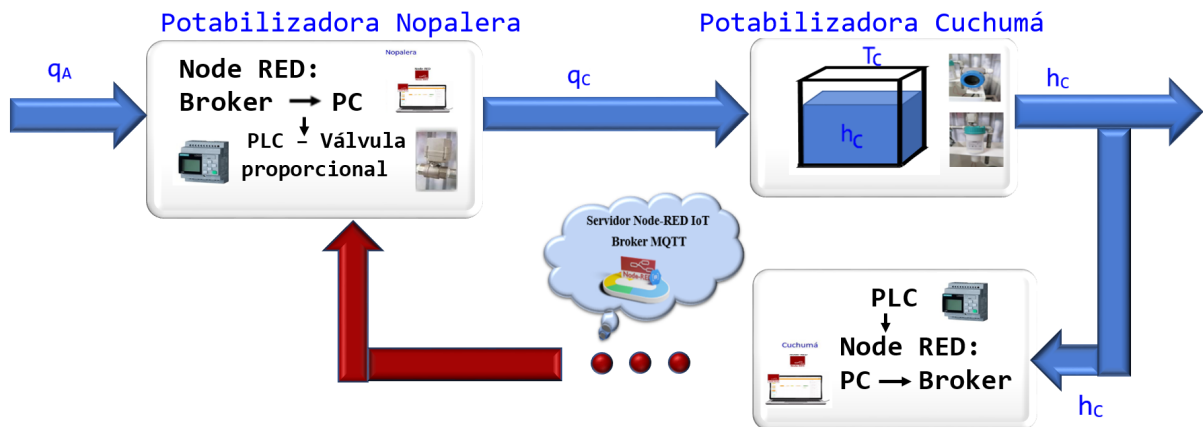


Figura 5.15 Sistema de control en lazo cerrado usando un controlador PID con IoT - Node RED.

Para enviar y recibir información al Servidor de Node-RED (o también nombrado como Broker Node-RED), se configuran los nodos MQTT de lectura y escritura a través del protocolo Modbus (Modbus Read - Modbus Write). Estos nodos de configuración también son observados en la Figura 5.16. Tales nodos deben contener la IP externa o el dominio DNS para tener la comunicación directa entre la conexión entre el Broker de Node-RED y las plataformas de Node-RED instaladas en cada potabilizadora. En la misma figura, se ilustran los nodos de set-point o valor de referencia, de las ganancias del controlador, así como otros más para su configuración. Además, el nodo 'PID logic' contiene el algoritmo de programación del control PID - IoT en código Java o Json, el cual es presentado en la Figura 5.17.

Un tercer tablero virtual fue montado (ver Figura 5.18) para ilustrar el comportamiento del nivel h_C , y de algunos parámetros de la válvula proporcional, en indicadores virtuales (dashboards), cuyos valores son proporcionados por el uso del control PID - IoT, el cual es alojado en el Broker Node-RED. En esta figura, también se muestran algunas barras deslizantes usadas para definir los valores de las ganancias del control IoT, así como su valor de referencia. Finalmente, se presentan dos gráficas, una que describe el comportamiento del nivel h_C y otra que muestra la señal de error dado por la diferencia entre la señal de salida y el valor de referencia, $e = r - y$.

Es importante mencionar que el monitoreo de todas las variables se encuentran disponibles de forma local en las plataformas Node-RED de cada computador de las potabilizadoras. Además, están disponibles de forma remota en el Broker Node-RED, ingresando con la IP externa definida o con el dominio DNS registrado.

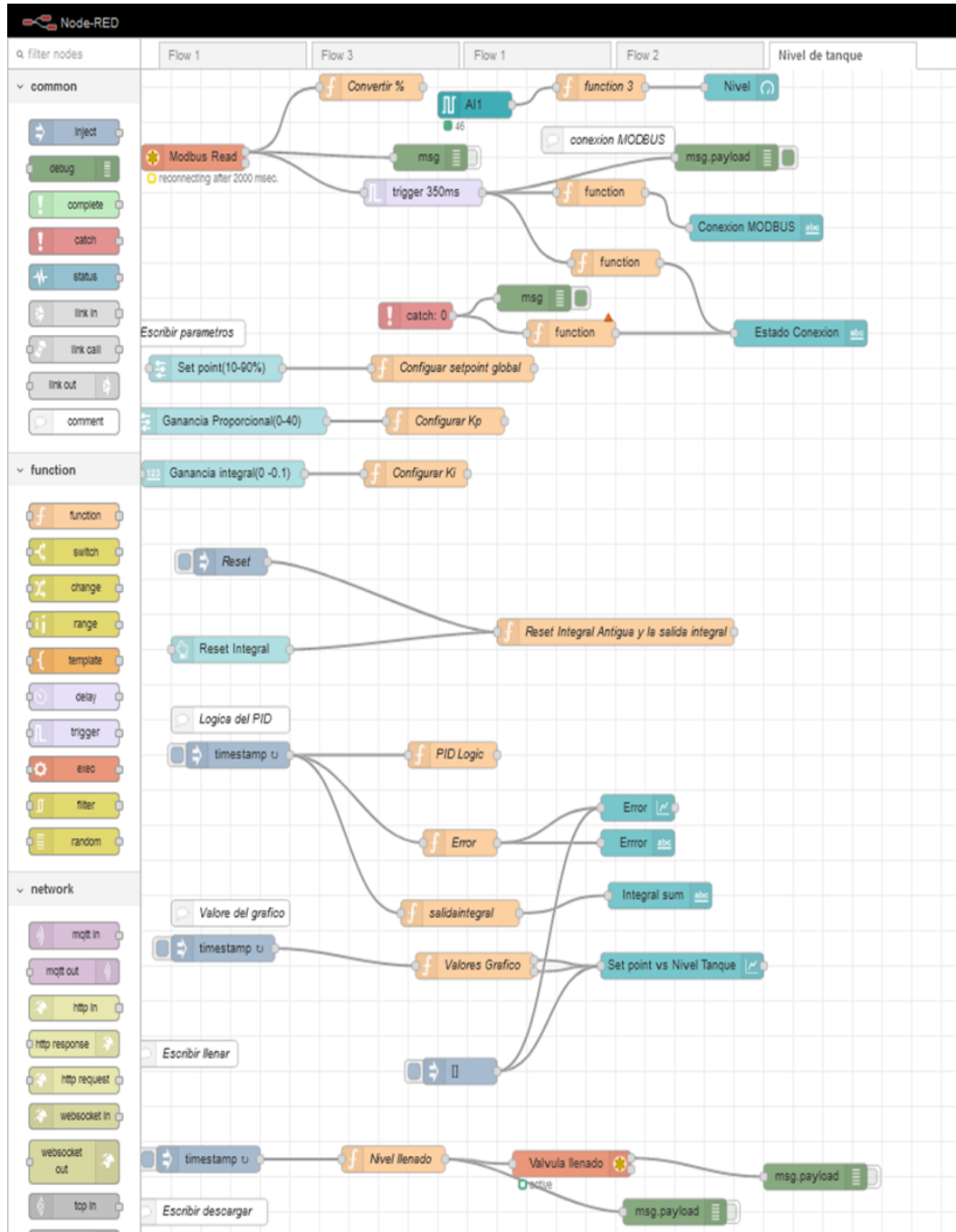


Figura 5.16 Configuración de un controlador PID - IoT implementado en el Servidor Node-RED.

```

1  var setpoint = global.get('setpoint') || 0;
2  var llenar = global.get('llenar') || 0;
3  var nivel = global.get('nivel') || 0;
4  var kp = global.get('kp') || 0;
5  var ki = global.get('ki') || 0;
6  var integralant = global.get('integralant') || 0;
7  var salidaintegral = global.get('salidaintegral') || 0;
8
9  //Error
10 var error = setpoint - nivel;
11 global.set('error', error);
12
13
14 // salidaintegral
15 //es error pasado
16 salidaintegral = salidaintegral + error;
17 global.set('salidaintegral',salidaintegral);
18 var salidaintegral = global.get('salidaintegral')||0;
19
20 //Salida PID = (Ganancia proporcional x error ) + (G
21 var pid = (kp* error) + (ki*salidaintegral);
22 global.set('llenar', pid);
23
24
25 if (pid >100)
26 {
27     global.set('salidaintegral',integralant);//cuando
28     global.set('llenar', 100);
29 }
30
31 if (pid < 0)
32 {
33     global.set('salidaintegral', integralant);
34     global.set('llenar', 0);
35 }
36
37
38 global.set('integralant',salidaintegral);
39

```

Figura 5.17 Programación en Java dentro del nodo 'PID logic' en el Broker Node-RED.

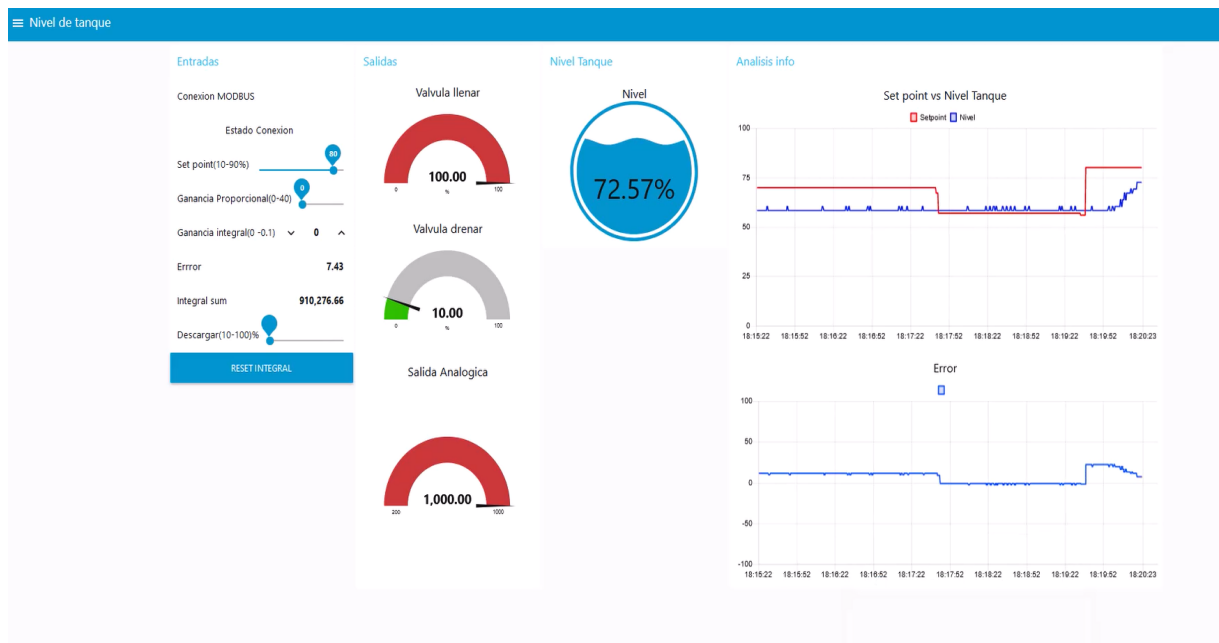


Figura 5.18 Tablero para monitorear el nivel h_C y el control PID-IoT en el Broker Node-RED.

5. Por último, se agregaron diapositivas virtuales que contienen a todas las gráficas de las variables de los sensores para ambas potabilizadoras.

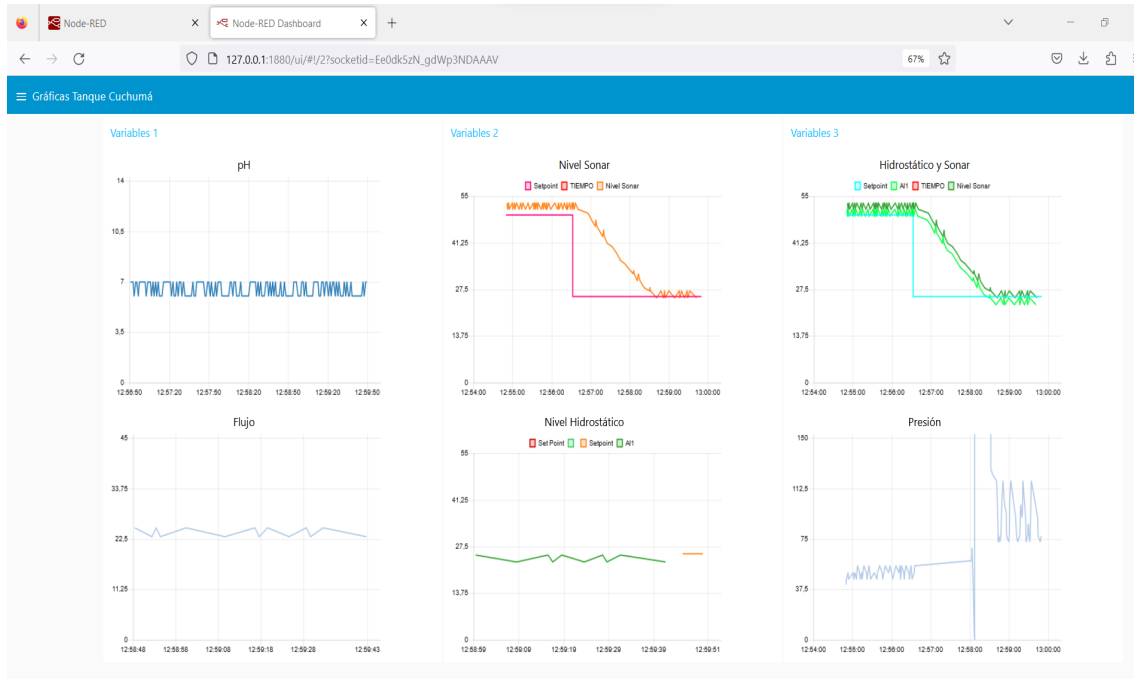


Figura 5.19 Gráficas de sensores de planta Cuchumá. Caso I.

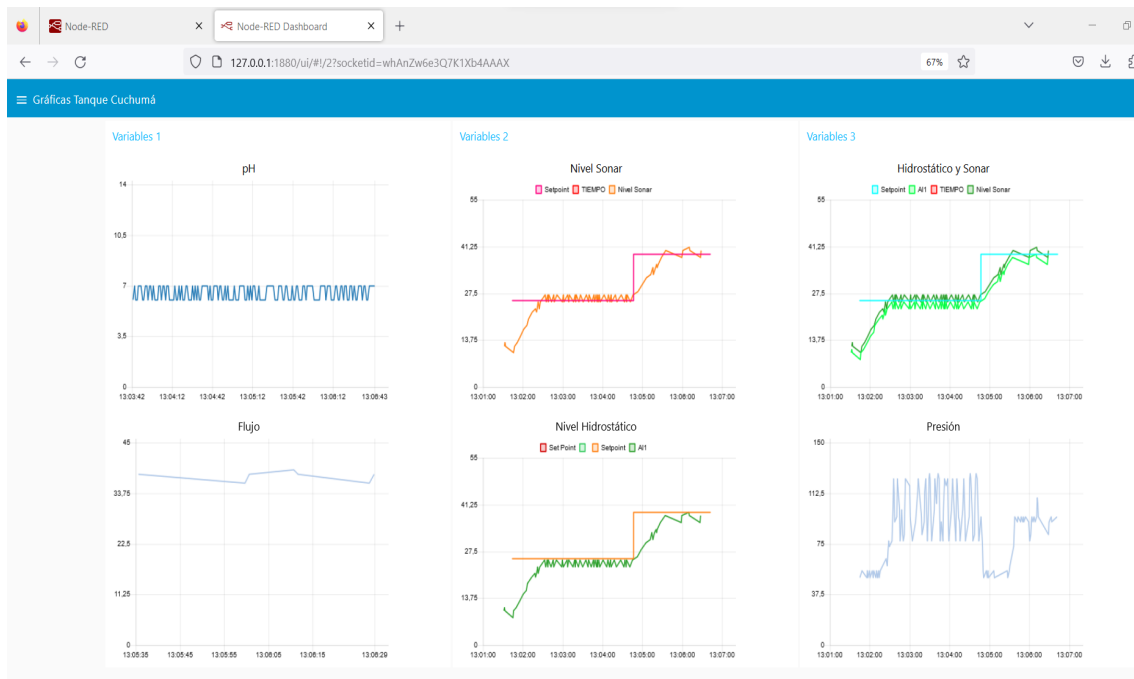


Figura 5.20 Gráficas de sensores de planta Cuchumá. Caso II.

Las gráficas 5.19 y 5.20 muestran el comportamiento de dos casos de las señales de sensores, proporcionados por la variación de las ganancias del controlador PID - IoT. Es fácil observar que en ambos casos, la gráficas de las señales nivel h_c , dadas por el sensor hidrostático y ultrasónico, alcanzan los valores de referencia.

El nivel h_C del tanque Cuchumá T_C es una de las variables de mayor relevancia en la solución del problema de automatización. Debido a esto, se implementaron dos instrumentos de medición de esta variable que utilizan diferentes tecnologías para obtener la unidad de lectura con la finalidad de realizar un análisis de comparación que permita determinar cual de estos dos transmisores es el más adecuado para implementar el estudio real.

Se realizaron dos casos de estudio con la finalidad de verificar el comportamiento de los dos transmisores de nivel, el hidrostático y ultrasónico. Para el primer caso, se considera un decremento en el valor de referencia ante la eventualidad de un cambio repentino en la pérdida de flujo del sistema, donde se puede apreciar el comportamiento de los dos niveles en un lapso de tiempo considerable, como se puede observar en la figura 5.19. Se tiene una gráfica comparativa de los transmisores con valores muy apegados a la línea del set-point. El nivel proporcionado por el transmisor ultrasónico observa un ligero atraso en la respuesta de comunicación en comparación con el transmisor de nivel hidrostático dados por la aplicación de un control PI. Para el segundo caso, se ilustra el incremento del set-point para ver el comportamiento de los sensores, tal como se muestra en la figura 5.20. Es posible notar de nueva cuenta el pequeño retraso con respecto al tiempo en la lectura del nivel sonar con respecto al hidrostático, brindando este último mayor precisión como se logra apreciar en la gráfica comparativa de ambos.

Esta comparativa permite determinar que para fines de respuesta concreta en el sistema de control retroalimentado, el transmisor de nivel hidrostático trabaja con una mayor velocidad de respuesta que el nivel del transmisor sonar. Esto conduce que el control opere con mayor capacidad de respuesta ante cualquier eventualidad que pudiese desarrollarse en el sistema real de acuerdo a las condiciones habituales que le rodean.

5.4. Control remoto usando mensajería de tecnología GSM/GPRS

El monitoreo de las variables de interés (nivel, presión, flujo) y el sistema de control IoT, ilustrados en las interfaces gráficas virtuales de Node-RED y que fueron descritos en las secciones pasadas, operan en condiciones óptimas cuando las compañías de energía eléctrica y de internet no tienen dificultades en ofrecer sus servicios de electricidad y datos, respectivamente. Si existe alguna intermitencia de energía eléctrica, conexión a la red de datos o daño en la infraestructura de comunicación local debido a las inclemencias del clima tal como los vientos de Santa Ana, lluvias y otros factores que provocarían una desestabilización temporal, se toma en consideración un segundo modo de operación emergente mediante la integración de la tecnología de mensajería SMS/GPRS con módulos de radio comunicación, enviando mensajes entre telefonía celular y módulos para transmitir/recibir mensajes SMS para activar dispositivos de control, como se muestra en la Figura 5.21.

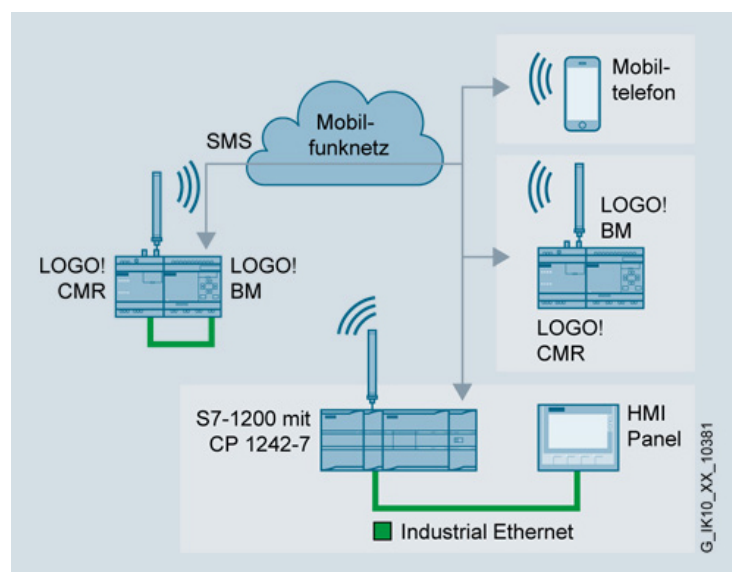


Figura 5.21 Esquema de funcionamiento del módulo de comunicación con tecnología GPRS/GSM de Siemens. Fuente: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/418/109477418/att_936882/v1/BA_LOGO-CMR2020-CMR2040_78.pdf.

El módulo de radio comunicación de Siemens, denominado CMR2020 (ver Figura 5.22), transmite/recibe mensajería de texto para las diferentes tareas que se le asignen. Su configuración es sencilla. Tal módulo requiere estar conectado con el PLC LOGO!, como si se tratara de un módulo de expansión de entradas/salidas, así como de una antena de tecnología GSM 794-4MR - Sinaut 6NH9860-1AA00 de Siemens.



Figura 5.22 Módulo de radio comunicación CMR2020 de Siemens. Fuente: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/418/109477418/att_936882/v1/BA_LOGO-CMR2020-CMR2040_78.pdf.

Es importante definir que para la correcta funcionalidad de estos equipos es necesario tener contratado un plan con datos y telefonía celular con el proveedor que permita, y tenga la mayor cobertura de la región para evitar la menor pérdida de señal telefónica en los puntos estratégicos de ubicación de cada uno de los módulos de acuerdo a las necesidades propias.

El sistema considerado incorpora de manera sencilla los componentes tales como el módulo de radiocomunicación y la antena a las conexiones ya existentes, permitiendo una alternativa que de manera no invasiva se adapte al sistema IoT -SCADA sin involucrarse con el mismo, debido a que es un sistema independiente que entrara en función solamente cuando sea necesario. En la figura 5.23 se pueden visualizar las conexiones que requiere este módulo de comunicación. Es importante resaltar que este módulo contiene de forma particular una plataforma de configuración sencilla que permite contemplar los parámetros necesarios y configurar la tarjeta SIM de telefonía móvil, así como la antena de comunicación y las acciones que se requieren para transmitir datos y señales propias del sistema en cuestión, por medio de un navegador tal y como se muestra en la figura 5.24. Se puede acceder a esta configuración tecleando la dirección IP previamente establecida en el módulo CMR2020.

La Figura 5.25 ilustra el funcionamiento del modo de operación de la tecnología GSM/GPRS, mediante la activación y desactivación de la válvula motorizada por medio del envío de mensajes de texto SMS.

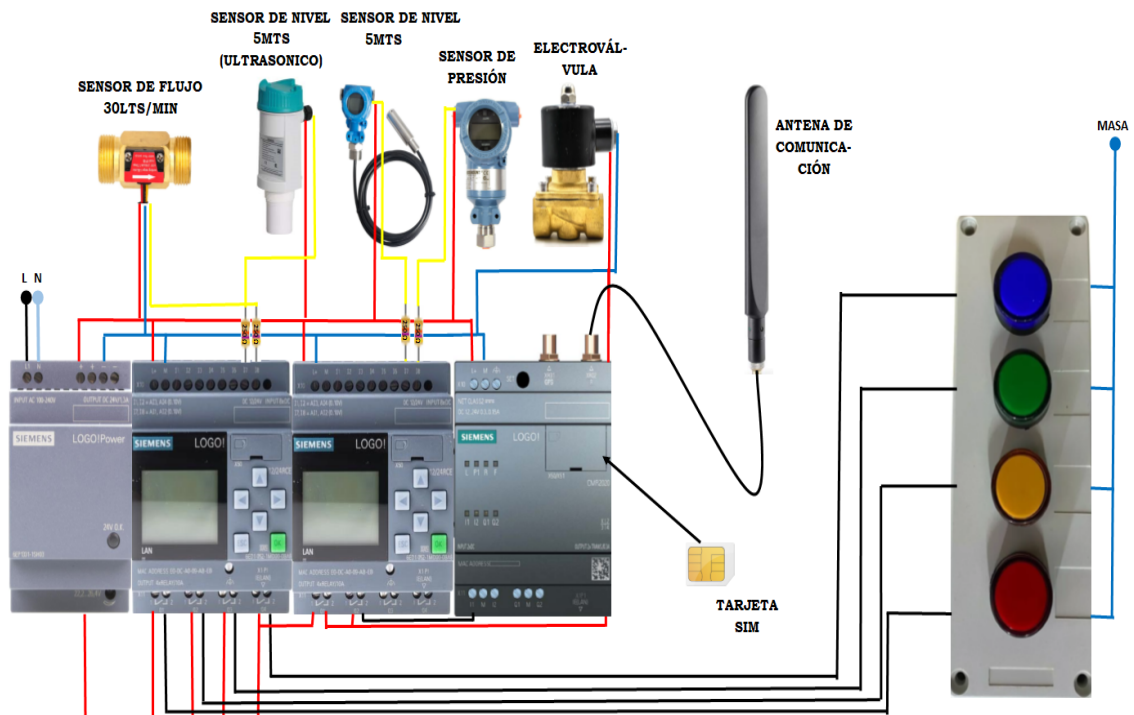


Figura 5.23 Conexión física del módulo de comunicación CMR200 Siemens.

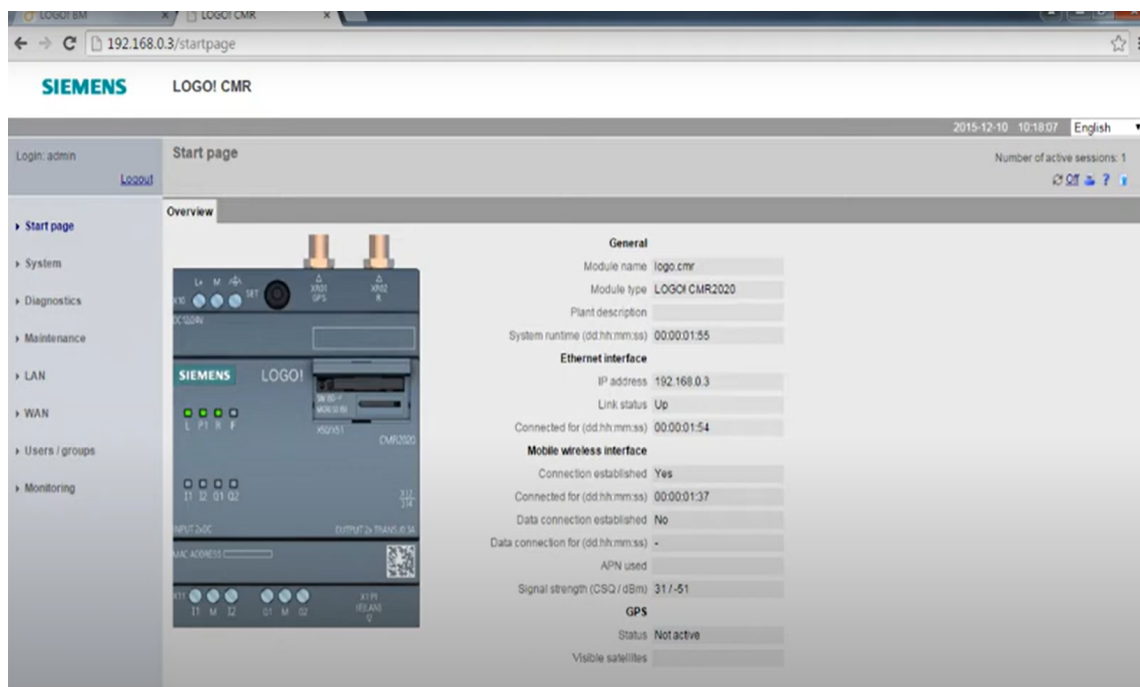


Figura 5.24 Pantalla de configuración del módulo CMR200 de Siemens.

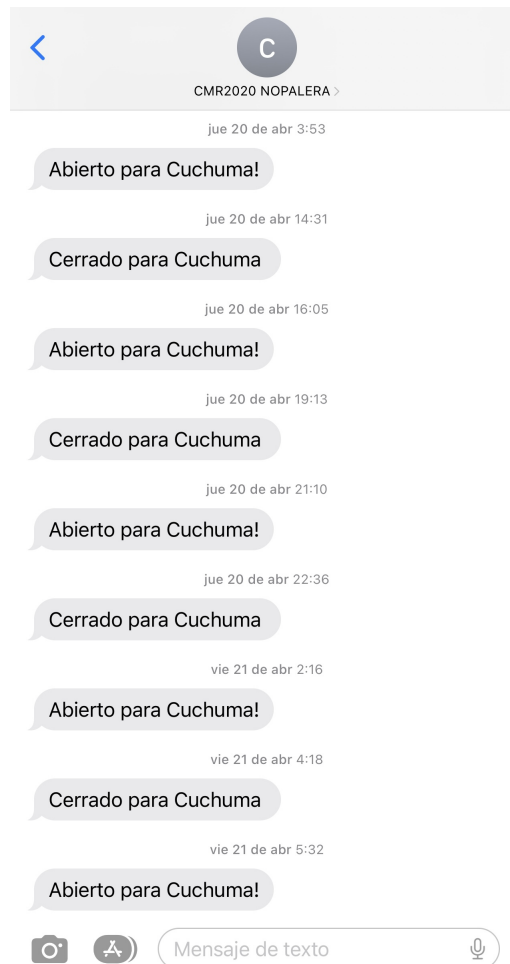


Figura 5.25 Evidencia del envío de mensajes SMS usando teléfonos celular y el módulo CMR2020.

5.5. Discusión de implementación de sistema automatizado en el proceso real

Considerando la aplicación del sistema automatizado en el prototipo didáctico, así como sus componentes tales como actuadores, sensores y accesorios, se realiza la siguiente sugerencia de implementación con aditamentos reales que dadas las características propias de dimensionamiento, operación y ejecución de maniobras que permitan al sistema real entre potabilizadora Nopalera y potabilizadora Cuchumá alcanzar una solución factible al planteamiento del problema en este trabajo de investigación.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las diferentes pruebas, se logró determinar que el transmisor de nivel hidrostático es el más adecuado porque presenta mayor eficacia durante su tiempo de respuesta y acercamiento al valor real de la variable en centímetros, es decir, la señal del error. Además, el transmisor ultrasónico requiere ser instalado en la parte alta y central del contenedor para medir adecuadamente el nivel. Una dificultad mayor del transmisor ultrasónico está asociada al mantenimiento y limpieza constante que requiere tal sensor para que opere adecuadamente. Entonces, el transmisor hidrostático de nivel brinda una mayor robustez en la implementación y facilidad en su implementación. Una propuesta a nivel industrial es el Flygt LTU601 por su gran resistencia a medios corrosivos, el cual opera en el rango de 4 a 20 mA con una variación de 0 a 5 metros.

Por otro lado, para transferir la lectura de la variable de presión dentro del sistema de tubería desde el punto inicial y final de operación, se propone el uso de un sensor de presión de la marca Keyence de uso rudo de medida enroscada de 1/4 de pulgada que trabaja de 4 a 20 mA y soporta presiones arriba de 250 libras fuerza (PSI, por sus siglas en ingles). Para la lectura de flujo es importante la utilización de un caudalímetro bridado preferentemente de la marca Krohne de clase 150 con diámetros preferentes de 12 pulgadas y 8 pulgadas de acuerdo a la salida y llegada del mismo sistema, con lectura de valor analógico de 4 a 20 mA para la obtención en valores de metros cúbicos por minuto o litros por segundo. Para los actuadores, en el caso de las válvulas manuales de operación, se recomienda la utilización de válvulas de seccionamiento brindadas de diámetro 12 y 8 pulgadas, respectivamente, según la localización de las mismas para seccionar. Para las válvulas de apertura y cierre automatizado, se recomienda aquellas válvulas de seccionamiento con accionamiento de actuador integrado de trabajo de 110-220 volts.

Para emular el trabajo de una válvula proporcional, se propone la utilización de válvula flotador de 12 pulgadas marca Claval acoplado a una válvula proporcional de 12 volts de operación de 3/4 de pulgada que permita, por medio de una adaptación a 3/8 de pulgada, intervenir en la apertura y cierre controlado dentro del diafragma de control que permite su apertura y cierre controlado de forma proporcional. Finalmente, la aplicación del controlador, se sugiere la utilización de los PLC's LOGO! de Siemens con la correcta instalación adecuada de la comunicación de ethernet.

5.6. Contribuciones

De acuerdo a los resultados obtenidos en este proyecto de maestría, se realizó la escritura de un trabajo de divulgación científica para Congreso Nacional de Control Automático, artículo que será presentado el día 27 de Octubre del 2023 en la ciudad de Acapulco, Guerrero. Se espera como trabajo de continuidad realizar un artículo de carácter internacional para su divulgación al campo mundial.

El enlace de este artículo se muestra a continuación: https://controls.papercept.net/conferences/conferences/CNCA23/program/CNCA23_ContentListWeb_2.html#juet3s1_04. En la Figura 5.26, se muestra la evidencia del programa del Congreso, donde se presentará este trabajo.

The screenshot shows a web browser window with the URL controls.papercept.net/conferences/conferences/CNCA23/program/CNCA23_ContentListWeb_2.html#juet3s1_04. The page content is as follows:

17:00-17:20, Paper JueT3S1.3	
<i>Real-Time Monitoring System for Damage Diagnosing on Civil Structures Using the Internet of Things (IoT)</i>	
Morales Valdez Jesús	Universidad Autónoma De La Ciudad De México
Mujica-Ortega Hoover	Universidad Nacional Autónoma De México
17:20-17:40, Paper JueT3S1.4	
<i>Design and Application of a SCADA-IoT Platform for Monitoring a Raw Water Distribution Network</i>	
Miranda Rafael	Universidad Autónoma De Baja California
Avilés Jesús David	Universidad Autónoma De Baja California
Flores-Resendiz Juan Francisco	Universidad Autónoma De Baja California
Márquez Claudia Lizeth	Universidad Autónoma De Baja California
Martínez Clark Rigoberto	Baja California Autonomous University - Tecate Unit
Morales Valdez Jesús	Universidad Autónoma De La Ciudad De México
Becerra Guillermo	CONAHCYT - Universidad Autónoma Del Estado De Quintana Roo
17:40-18:00, Paper JueT3S1.5	
<i>Design and Construction of a Prototype to Cut and Compact Amaranth</i>	
Ornelas-Lugo Cristian	Instituto Politécnico Nacional, ESIME Unidad Culhuacán
Palma-Arreola Jorge Adrian	Instituto Politécnico Nacional, ESIME Unidad Culhuacán
Bonilla-Serrano Jonathan	Instituto Politécnico Nacional, ESIME Unidad Culhuacán
Vazquez-Guerra Rocio Jasmin	Instituto Politécnico Nacional, CECyT 7, Cuauhtémoc
Rosas-Miramón Jesús	Instituto Politécnico Nacional, CECyT 7, Cuauhtémoc
JueT3S2	Sala Mozart 2
Robótica Y Mecatrónica I	Sesión regular
16:20-16:40, Paper JueT3S2.1	
<i>Formation Control Design for Multi-Quad-Rotors with Experimental Validation</i>	

Figura 5.26 Evidencia de presentación de un trabajo en el Congreso Nacional de Control Automático.

Capítulo 6

Conclusiones

En este trabajo de tesis, se proporcionó una solución factible para resolver el problema de distribución de agua potable en el sistema hídrico de Las Auras-Nopalera-Cuchumá en la ciudad de Tecate B.C., por medio del diseño y aplicación de un sistema automatizado SCADA-IoT de costo accesible en un prototipo académico, que emula la operatividad de las potabilizadoras Nopalera y Cuchumá. De acuerdo a los resultados obtenidos en las diferentes pruebas de accionamiento del prototipo que emula el planteamiento del problema de esta investigación se logra determinar cada elemento mecánico, eléctrico, electrónico y de control que permita la automatización del sistema desarrollado a través de una plataforma IoT por medio de la programación adecuada de control PI/PID, vinculando con ello, las variables más importantes del sistema tales como el nivel, flujo y presión que permitan ejecutar acciones oportunas de control por medio de la transmisión de mandos a distancia para permitir tener niveles adecuados en el tanque Cuchumá, dando solución a los principales problemas de automatización en los que se busca controlar el nivel del tanque Cuchumá por medio de un actuador proporcional estableciendo un valor base que el sistema permita respetar y mantener.

La selección de los controladores apropiados de acuerdo al nivel de respuesta esperado y la complejidad de la programación aplicada es un punto importante a resaltar debido a que esto permitió el desarrollo especial y definido del SCADA a utilizar por medio de la tecnología de Siemens LOGO!, la cual permitió converger con la plataforma IoT Node-RED, misma que proporciona el desarrollo interno de la visualización y almacenamiento de los valores obtenidos para cada uno de los sensores involucrados en el sistema emulado en cuestión.

El desempeño del controlador PI/PID, de acuerdo a las necesidades propias del sistema después del estudio teórico realizado para obtener la propuesta final, permitirá un mayor aprovechamiento de este apreciable recurso natural. Para ello, la implementación general de la propuesta de automatización de acuerdo a los resultados obtenidos en diversos casos de estudio dentro del prototipo, donde se emula el comportamiento general del problema, eliminará los derrames y mejorará considerablemente la logística operativa si este es implementado en el sistema real entre las potabilizadora Nopalera y Cuchumá evitando afectaciones considerables, ahorrando costos de producción, potabilización y distribución, las cuales se traducen como pérdidas considerables en la actualidad. Asimismo, el mejoramiento de los procesos operativos permitiría un desarrollo institucional de mayor impacto al organismo direccionando los tiempos y ejecución de labores de mayor relevancia en la operación de las plantas potabilizadoras al dejar el control del nivel por medio de la apertura manual en manos del sistema automatizado, dado a las características propias de la propuesta realizada. Así que esto conllevaría en el futuro, en generar gráficas, datos estadísticos y análisis de datos para soluciones, respuestas y eventos esperados a futuro por medio del análisis de bases de datos para pronosticar cualquier evento de magnitudes negativas y revertir sus efectos en porcentajes considerables. Finalmente, como segunda alternativa se propone un sistema SMS/GPRS que permita una comunicación fluida, sin tener como obstáculo la orografía del sistema siempre y cuando se encuentre dentro de la cobertura de telefonía móvil, lo cual es viable en este problema ya que el sistema de automatización estaría dentro de la ciudad de Tecate B.C.

Bibliografía

- [1] Abbas, S. G., Hashmat, F., y Shah, G. A. (2020). A multi-layer industrial-iot attack taxonomy: Layers, dimensions, techniques and application. En: *2020 IEEE 19th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)*. IEEE, pp. 1820–1825.
- [2] Albreem, M. A., El-Saleh, A. A., Isa, M., Salah, W., Jusoh, M., Azizan, M., y Ali, A. (2017). Green internet of things (iot): An overview. En: *2017 IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*. IEEE, pp. 1–6.
- [3] Alhebshi, F., Alnabils, H., Alzebaidi, J., Bensenouci, A., Brahimi, T., y Bensenouci, M.-A. (2018). Monitoring the operation of transmission line in a smart grid system through iot. En: *2018 15th Learning and Technology Conference (L&T)*. IEEE, pp. 139–146.
- [4] Almalki, F., Alsamhi, S. H., Sahal, R., Hassan, J., Hawbani, A., Rajput, N., Saif, A., Morgan, J., Breslin, J., *et al.* (2021). Green iot for eco-friendly and sustainable smart cities: future directions and opportunities. *Mobile Networks and Applications*, pp. 1–25.
- [5] Antonio, C. (2010). Instrumentación industrial. *Barcelona, España editorial Alfaomega*, pp. 240–251.
- [6] Arshad, R., Zahoor, S., Shah, M. A., Wahid, A., y Yu, H. (2017). Green iot: An investigation on energy saving practices for 2020 and beyond. *Ieee Access*, **5**: 15667–15681.
- [7] Bansal, M., Kumar, A., y Virmani, A. (2020). Green iot: Current scenario & future prospects. *Journal of trends in Computer Science and Smart technology (TCSST)*, **2**(04): 173–180.
- [8] Belomonte, L. P. (2020). *Comunicaciones industriales y WinCC*. Marcombo.
- [9] Bolton, W. (2017). *Mecatrónica*. Alpha Editorial.
- [10] CESPTE (2021). Reportes de trabajo, datos estadísticos. (no publicado).
- [11] Cirelli, A. F. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química viva*, **11**(3): 147–170.
- [12] Ciufudean, C. y Buzduga, C. (2020). An application of automation solutions in dynamically water supply networks. En: *2020 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC)*. IEEE, pp. 1–4.

- [13] CONAGUA (2018). Estadísticas del agua en México. Coyoacán, Ciudad de México.
- [14] Dalal, S. (2021). Futuristic investigative study of iot/green iot as a driving force for sustainable development. *Indian J. Sci. Technol*, **14**(8): 738–751.
- [15] Drenoyanis, A., Raad, R., Wady, I., y Krogh, C. (2018). Wastewater management: An iot approach. En: *2018 IEEE Region Ten Symposium (Tensymp)*. IEEE, pp. 291–292.
- [16] Falco, G., Caldera, C., y Shrobe, H. (2018). Iiot cybersecurity risk modeling for scada systems. *IEEE Internet of Things Journal*, **5**: 4486–4495.
- [17] Fazlollahtabar, H. (2022). Internet of things-based scada system for configuring/reconfiguring an autonomous assembly process. *Robotica*, **40**: 672–689.
- [18] Figueiredo, I., Esteves, P., y Cabrita, P. (2021). Water wise – a digital water solution for smart cities and water management entities. *Procedia Computer Science*, **181**: 897–904.
- [19] Garimella, P. K. (2018). It-ot integration challenges in utilities. En: *2018 IEEE 3rd International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS)*. IEEE, pp. 199–204.
- [20] Hídricos, R. (2020). Agua y cambio climático.
- [21] Hindy, H., Brosset, D., Bayne, E., Seem, A., y Bellekens, X. (2019). *Improving SIEM for Critical SCADA Water Infrastructures Using Machine Learning*, Vol. 11387 LNCS, pp. 3–19. Springer Verlag.
- [22] Júnior, A. C. D. S., Munoz, R., Quezada, M. D. L. Á., Neto, A. V. L., Hassan, M. M., y De Albuquerque, V. H. C. (2021). Internet of water things: A remote raw water monitoring and control system. *IEEE Access*, **9**: 35790–35800.
- [23] Kaur, G., Tomar, P., y Singh, P. (2018). Design of cloud-based green iot architecture for smart cities. En: *Internet of Things and Big Data Analytics Toward Next- Generation Intelligence*. Springer, pp. 315–333.
- [24] Krishna, S., Sarath, T., Kumaraswamy, M., y Nair, V. (2020). Iot based water parameter monitoring system. En: *2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*. IEEE, pp. 1299–1303.
- [25] Medrano, K., Altuve, D., Belloso, K., y Bran, C. (2018). Development of scada using a rtu based on iot controller. En: *2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)*. IEEE, pp. 1–6.
- [26] Mnushka, O. y Savchenko, V. (2020). *Security Model of IOT-based Systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. pp. 398–401.
- [27] Peng, H., Wu, Q., Li, J., y Zhou, R. (2020). *Design of Multi-layer Industrial Internet of Data Mine Network Model Based on Edge Computation*, Vol. 928, pp. 1034–1040. Springer Verlag.
- [28] Penin, A. R. (2011). *Sistemas Scada*. Marcombo.

- [29] Radoglou-Grammatikis, P., Sarigiannidis, P., Giannoulakis, I., Kafetzakis, E., y Panaousis, E. (2019). Attacking iec-60870-5-104 scada systems. En: *2019 IEEE World Congress on Services (SERVICES)*, 7. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 41–46.
- [30] Song, Y.-D. (2018). *Control of nonlinear systems via PI, PD and PID: Stability and performance*. CRC Press.
- [31] Tahiliani, V. y Dizalwar, M. (2018). Green iot systems: An energy efficient perspective. En: *2018 Eleventh International Conference on Contemporary Computing (IC3)*. IEEE, pp. 1–6.
- [32] Tanjim, M. S. S., Saleque, A. M., y Rahman, M. A. (2021). The data acquisition and control unit design for demand side low-cost customized scada. En: *2021 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, 1. IEEE, pp. 229–232.
- [33] Terán Pineda, D. F. (2012). *Automatización de dos zonas de bombeo y monitoreo de la red principal del sistema de agua potable de la Junta Administradora de agua potable Sumak Yaku-Araque-Otavaló*. B.S. thesis.
- [34] Xiang, X., Gui, J., y Xiong, N. N. (2021). An integral data gathering framework for supervisory control and data acquisition systems in green iot. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, **5**: 714–726.
- [35] Yadav, G. y Paul, K. (2021). Architecture and security of scada systems: A review. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, **34**: 100433.
- [36] Zolanvari, M., Teixeira, M. A., Gupta, L., Khan, K. M., y Jain, R. (2019). Machine learning-based network vulnerability analysis of industrial internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, **6**: 6822–6834.