



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“DESARROLLO DE UN SCADA DE UN ENTORNO VIRTUAL DE FLUJO Y
MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL BASADO EN UNA
ARQUITECTURA IOT”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Electromecánica

Autor:

Tipan Tuitise Alex Patricio

Tutor:

Ing. MS.c. Luigi Orlando Freire Martínez

Latacunga – Ecuador

Septiembre 2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Tipan Tuitise Alex Patricio, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “DESARROLLO DE UN SCADA DE UN ENTORNO VIRTUAL DE FLUJO Y MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL BASADO EN UNA ARQUITECTURA IOT”, siendo Ing. MS.c. Luigi Orlando Freire Martínez tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga. Septiembre 2020

Tipan Tuitise Alex Patricio

C.C. 17626177791

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DESARROLLO DE UN SCADA DE UN ENTORNO VIRTUAL DE FLUJO Y MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL BASADO EN UNA ARQUITECTURA IOT”, del ponente: Tipan Tuitise Alex Patricio, de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Septiembre 2020

Ing. MS.c. Luigi Orlando Freire Martínez

C.C. 0502529589

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: Tipan Tuitise Alex Patricio con el título de Proyecto de Titulación:

“DESARROLLO DE UN SCADA DE UN ENTORNO VIRTUAL DE FLUJO Y MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL BASADO EN UNA ARQUITECTURA IOT”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, Septiembre 2020

Lector 1 (Presidente)

Ing. Moreano Martínez Edwin Homero
C.C. 0502607500

Lector 2

Ing. Navarrete López Luis Miguel
C.C. 1803747284

Lector 3

Ing. Laurencio Alfonso Héctor Luis
C.C. 1758367252

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y tíos por el apoyo incondicional a lo largo del transcurso de mi vida, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por los valores y principios que me han inculcado.

A mis hermanas y amigos cercanos que han sido un apoyo fundamental en momentos de debilidad, quienes me han brindado su apoyo incondicional, durante todo este proceso de formación.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrir sus puertas y por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme de conocimiento.

Mi agradecimiento sincero a mi tutor de tesis Ing. MS.c Luigi Freire por su excelencia como docente, y por guiarme en el transcurso del proyecto de titulación, brindándome un apoyo con sus conocimientos y consejos que me ayudaran a lo largo de mi vida profesional.

A quienes mencione anteriormente mi eterna consideración y gratitud.

Alex Patricio

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico especialmente a mis padres y a mis tíos por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad. Han estado ahí presentes siempre, y mucho más cuando los he necesitado. A mis hermanas que han sido un ejemplo a seguir y siempre han estado presentes cuando yo las necesito. A mis amigos que me han demostrado el verdadero valor de la amistad, que me ha apoyado abiertamente sin esperar nada a cambio, quienes siempre han estado en mis altos y bajos momentos de mi vida académica.

Alex Patricio

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE GENERAL	1
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xvi
1. INFORMACIÓN BÁSICA	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNÓLOGICA	2
2.1 Título de la propuesta tecnológica	2
2.2 Tipo de propuesta alcance.....	2
2.3 Área del conocimiento	2
2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica	2
2.5 Objeto de estudio y campo de acción	3
2.5.1 Objeto de estudio.....	3
2.5.2 Campo de acción	3
2.5.3 Beneficiarios.....	3
2.5.3.1 Beneficiarios directos	3
2.5.3.2 Beneficiarios indirectos.....	3
2.6 Situación problemática y problema	4
2.6.1 Situación problemática.....	4
2.6.2 Problema.....	4
2.6.3 Matriz de identificación de problema.....	4
2.7 Hipótesis o formulación de preguntas directas	5
2.8 Objetivos	5
2.8.1. Objetivo general	5
2.8.2. Objetivos Específicos.....	5
2.9 Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos	5

3. MARCO TEÓRICO	7
3.1 Antecedentes	7
3.2 Entorno virtual	8
3.3 Sensores	8
3.4 Transmisores	9
3.5 Actuadores	10
3.6 Controladores Industriales	10
3.6.1 Tipos de controladores Industriales.....	10
3.6.1.1 Controlador lógico programable (PLC)	10
3.6.1.1.1 S7 PLCSIM	11
3.6.1.1.2 Tipos de datos PLC	12
3.7 Flujo	13
3.7.1 Sensores de Flujo	13
3.8 Sistemas de control	13
3.8.1 Tipo de señales de control.....	14
3.8.1.1 Normalizado y Escalado de señales analógicas	14
3.8.1.1.1 Normalizado	15
3.8.1.1.2 Escalado	15
3.8.2 Clasificación de los sistemas de control.....	17
3.8.2.1 De acuerdo a la acción de control	17
3.8.2.1.1 Sistema de control lazo abierto	17
3.8.2.1.2 Sistema de control lazo cerrado	17
3.8.2.2 De acuerdo a como se genera la acción de control	18
3.8.2.2.1 Control Proporcional	18
3.8.2.2.2 Control Integral	18
3.8.2.2.3 Control Derivativo.....	18
3.8.2.2.4 Control PID	19
3.9 Automatización	20
3.9.1 Definición.....	20
3.9.2 Pirámide de Automatización	20
3.10 Sistema SCADA	21
3.10.1 Definición.....	21
3.10.2 Consideraciones SCADA.....	22
3.10.3 Prestaciones en Sistema SCADA.....	22
3.10.4 Norma ISA 101 para el desarrollo de SCADA	23

3.11 OPC.....	25
3.11.1 Tecnología de comunicación.....	25
3.11.2 Cliente y servidor	26
3.11.3 Especificaciones OPC	27
3.12 Redes de comunicación Industrial	27
3.12.1 Bus de campo	28
3.12.2 Topología de las redes de comunicación industrial [30].....	29
3.12.3 Ethernet Industrial	29
3.12.3.1 Protocolos Industriales basados en Ethernet	30
3.13 Arquitectura IoT	30
3.13.1 Definición.....	30
3.13.2 Nube Industrial	31
3.13.2.1 Plataformas de nube industrial	32
3.14 Industria 4.0	32
4. METODOLOGÍA	34
4.1 Diseño del Entorno industrial	35
4.1.1 Estación de control de flujo.....	35
4.1.1.1 Diagrama P&ID del proceso a controlar	36
4.1.2 Estación de salida producción	37
4.2 Limitaciones del proceso	38
4.3 Configuración del Controlador	38
4.4 Programación del Controlador	39
4.4.1 Tabla de variables.....	39
4.4.2 Control de Flujo	40
4.4.2.1 Controlador PID para el control de flujo.....	44
4.4.2.1.1 Justificación matemática del PID TIA PORTAL.....	44
4.4.2.1.2 Configuración PID_COMPACT	44
4.4.3 Clasificación de cajas (Salida de producción).....	47
4.5 Selección del software para realizar el SCADA	49
4.6 Comunicación entre software de control- software de desarrollo de SCADA	50
4.7 Desarrollo del SCADA	51
4.7.1 Configuración con servidor OPC	52
4.7.2 Insertar Variables del controlador	53
4.7.4 Diseño del SCADA basado en normativa ISA 101.....	54
4.7.4.1 Simbología basada en la norma ISA 101	54

4.7.4.1.1 Interfaz HMI basado en la norma ISA 101	54
4.7.3.2 SCADA sistema de salida de producción	55
4.8 Selección del software para la Arquitectura IoT.....	56
4.8.1 Comunicación en base a la arquitectura IOT	56
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
5.1 Interfaz gráfica del SCADA, control de flujo y monitoreo IOT	59
5.1.1 Controlador PID	60
5.1.1.1 Puesta en servicio	60
5.1.1.2 Parámetros PID	61
5.1.2 Prueba del SCADA en control local	61
5.1.3 Prueba del SCADA en control remoto	62
5.2. SCADA salida de producción.....	63
5.2.1 Detección de errores por medio del SCADA	65
5.3 Velocidad de transmisión de datos	66
5.4 Registro de datos en la nube industrial	66
5.5 Sistema de alarmas en la nube Industrial	68
5.6 Comparativa SCADA gráfico versus SCADA basado en la norma ISA 101	69
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	70
6.1 Presupuesto	70
6.1.1 Costos de las horas de ingeniería en el desarrollo del SCADA	70
6.2 Análisis de Impactos	72
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
7.1 Conclusiones	73
7.2 Recomendaciones	73
8. BIBLIOGRAFÍA.....	74
9. ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Matriz Causa – Efecto	4
Figura 3.1. Características del entorno virtual Industrial	8
Figura 3.2. Tipo de sensores	9
Figura 3.3. Tipo de señales en transmisores	9
Figura 3.4. Tipo de controladores industriales	10
Figura 3.5. Aplicación y ventajas de PLCSIM	11
Figura 3.6. Sensores de Flujo	13
Figura 3.7. Señales en sistemas de control	14
Figura 3.8. Normalizado	15
Figura 3.9. Escalado	16
Figura 3.10. Instrucción NORM_X Y SCALE_X	16
Figura 3.11. Diagrama de bloque de un sistema lazo abierto	17
Figura 3.12. Diagrama de bloques de un sistema retroalimentado	17
Figura 3.13. Diagrama de bloque PID	19
Figura 3.14. Control PID	19
Figura 3.15. Pirámide de la Automatización	21
Figura 3.16. Niveles de la pirámide de la automatización	21
Figura 3.17. Consideraciones en Sistemas SCADAS	22
Figura 3.18. Prestaciones SCADA	23
Figura 3.19. Ciclo de vida de aplicación SCADA	24
Figura 3.20. Norma ISA 101	24
Figura 3.21. Comunicación OPC	25
Figura 3.22. OLE & COM	25
Figura 3.23. OPC server	26
Figura 3.24. OPC cliente y servidor	26
Figura 3.25. Especificaciones OPC	27
Figura 3.26. Partes del sistema de comunicación Industrial	28
Figura 3.27. Topologías de redes de comunicación Industrial	29
Figura 3.28. Ethernet Industrial	30
Figura 3.29. Protocolos Ethernet	30
Figura 3.30. Internet de las cosas en la Industria	31

Figura 3.31. Nube industrial.....	31
Figura 3.32. Nube industrial.....	32
Figura 3.33. Cuarta revolución industrial.....	33
Figura 4.1. Descripción del desarrollo del proyecto de titulación.....	34
Figura 4.2. Entorno Virtual (Control de flujo)	35
Figura 4.3. Diagrama P&ID del control de flujo.....	36
Figura 4.4. Entorno virtual (Clasificación de cajas).....	37
Figura 4.5. Protocolo IP.....	38
Figura 4.6. Marcas de sistema y de ciclo.....	39
Figura 4.7. Mecanismos de conexión	39
Figura 4.8. Normalizado y escalado del transmisor de flujo.....	41
Figura 4.9. Conversión y escalado del valor de caudal	41
Figura 4.10. Control local.....	42
Figura 4.11. Normalizado y escalado del transmisor de nivel.....	42
Figura 4.12. Cambio de control de forma local a remota.....	43
Figura 4.13. Control Remoto.....	43
Figura 4.14. Bloque de interrupción cíclica	45
Figura 4.15. PID Compact.....	45
Figura 4.16. Tipo de regulación PID	46
Figura 4.17. Parámetros de entrada y salida.....	46
Figura 4.18. Límites del valor real	47
Figura 4.19. Límites del valor de salida	47
Figura 4.20. Banda transportadora 1	48
Figura 4.21. Banda transportadora 2	48
Figura 4.22 Banda transportadora 3	49
Figura 4.23. Comunicación entre el PLC y software Ignition.....	50
Figura 4.24. Selección del dispositivo.....	52
Figura 4.25. Configuración IP del dispositivo.....	52
Figura 4.26. Configuración de Variables	53
Figura 4.27. Pantalla Principal del SCADA.....	54
Figura 4.28. Pantalla SCADA basada en la norma ISA 101	55
Figura 4.29. Pantalla SCADA salida de producción	55
Figura 4.30. Bloque Json	56

Figura 4.31. Bloque HTTP Envío.....	57
Figura 4.32. Bloque HTTP Recibe	57
Figura 4.33. Bloque Json Obtenido	58
Figura 4.34. Bloque de almacenamiento de datos	58
Figura 5.1. SCADA, control de flujo y monitoreo IoT	59
Figura 5.2. Puesta a servicio PID	60
Figura 5.3. Prueba de control local.....	62
Figura 5.4. Prueba de control remoto	63
Figura 5.5. SCADA, salida de producción y monitoreo IoT.....	64
Figura 5.6. Detección de errores en sistema SCADA	65
Figura 5.7. Gráfica de transmisión de datos	66
Figura 5.8. Registro de datos nube industrial	68
Figura 5.9. Sistema de alarmas en la nube industrial	68
Figura 5.10. Comparativa HMI SCADA.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tareas por objetivos	6
Tabla 3.1. Datos PLC	12
Tabla 4.1. Simbología del diagrama P&ID	37
Tabla 4.2. Normalizado y escalado de las señales.....	38
Tabla 4.3. Variables del entorno virtual	40
Tabla 4.4. Nomenclatura de la fórmula PID.....	44
Tabla 4.5. Variables PID	45
Tabla 4.6. Softwares para SCADA.....	49
Tabla 4.7. Fábrica de Símbolos	51
Tabla 4.9. Simbología ISA	54
Tabla 4.10. Páginas IOT	56
Tabla 5.1. Simbología de la curva PID.....	61
Tabla 5.2. Valores calculados para control PID	61
Tabla 5.3. Tiempo de transmisión de datos	66
Tabla 6.1. Softwares para el desarrollo del SCADA.....	70
Tabla 6.2. Elementos para el desarrollo del SCADA.....	70
Tabla 6.3. Costos de ingeniería	71
Tabla 6.4. Gastos directos	71
Tabla 6.5. Gastos indirectos	71

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “DESARROLLO DE UN SCADA DE UN ENTORNO VIRTUAL DE FLUJO Y MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL BASADO EN UNA ARQUITECTURA IOT”

Autor:

Tipan Tuitise Alex Patricio

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se lo realizó con la finalidad de desarrollar un SCADA de un entorno virtual de flujo y monitoreo remoto en tiempo real basado en una arquitectura IoT, mediante el uso de la instrumentación virtual y de software de simulación, está conformada de las siguientes etapas; diseño del proceso industrial, comunicación con el software de programación, desarrollo del SCADA y envío de datos a una nube industrial. El diseño del proceso virtual de flujo se consideró los procesos de control de flujo y salida de producción, los mismos que fueron replicados en el software de simulación industrial. Software que realiza la simulación en 3d, comunicación con dispositivos industriales como el PLC y control en tiempo real. El módulo encargado de realizar el control de flujo y salida de producción es el PLC SIM, que es un avanzado software de simulación virtual de controladores lógicos programables, que tiene como objetivo comprobar su funcionamiento, y además permite realizar simulaciones del programa TIA PORTAL sin la necesidad del hardware. El SCADA se lo realizó en el software Ignition, que permite la comunicación con controladores lógicos programables mediante el protocolo ethernet TCP/IP y para el IOT se lo realizó por medio de bloques de programa que se agregan a la programación del controlador en el TIA PORTAL. El resultado es un SCADA de bajo costo que permite la adquisición de datos, manipulación en tiempo real y visualización de las variables mediante una nube industrial. Con el desarrollo de este proyecto, se pretende mejorar el monitoreo en los procesos de control de flujo y salida de producción por medio de la supervisión de las variables más prescindibles de los procesos, control remoto, envío de alarmas y la adquisición de datos en una plataforma web.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITLE: " DEVELOPMENT OF AN SCADA OF A REAL TIME REMOTE MONITORING AND FLOW VIRTUAL ENVIRONMENT BASED ON AN IOT ARCHITECTURE"

Author:

Tipan Tuitise Alex Patricio

ABSTRACT

The present degree work was carried out with the purpose of developing a SCADA of a virtual environment of flow and remote monitoring in real time based on an IoT architecture, by means of the use of the virtual instrumentation and simulation software, it is conformed of the following stages; design of the industrial process, communication with the programming software, development of the SCAD and shipment of data an industrial cloud. The design of the virtual flow process considered the flow control and production output processes, which were replicated in the industrial simulation software. Software that performs 3D simulation, communication with industrial devices such as PLC and control in real time. The module in charge of carrying out the flow control and production output is the PLC SIM, which is an advanced virtual simulation software of programmable logic controllers, which aims to check their operation, and also allows simulations of the TIA PORTAL program without the need for hardware. The SCADA was performed in the Ignition software, which allows communication with programmable logic controller through the ethernet TCP/IP protocol and for the IOT it was performed through program blocks that are added to the controller programming in the TIA PORTAL. The result is a low-cost SCADA that allows data acquisition, real time manipulation and visualization of variables through an industrial cloud. With the development of this project, it is intended to improve the monitoring in the processes of flow control and production output through the supervision of the most dispensable variables of the processes, remote control, sending of alarms and data acquisition in a web platform

Keywords: SCADA, IOT, OPC, industrial cloud.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de **INGENIERIA EN ELECTROMECAÁNICA** de la facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADA**, **TIPAN TUITISE ALEX PATRICIO**, cuyo título versa "**DESARROLLO DE UN SCADA DE UN ENTORNO VIRTUAL DE FLUJO Y MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL BASADO EN UNA ARQUITECTURA IOT**", lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estime conveniente.

Latacunga, septiembre del 2020

Atentamente,

MSc. Diana Karina Taipe V.
C.C. 1720080934
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS



**CENTRO
DE IDIOMAS**

1. INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR:

Tipan Tuitise Alex Patricio

TEMA APROBADO:

DESARROLLO DE UN SCADA DE UN ENTORNO VIRTUAL DE FLUJO Y MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL BASADO EN UNA ARQUITECTURA IOT.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:

EQUIPO DE TRABAJO:

Ing. MS.c. Luigi Orlando Freire Martínez

Sr. Tipan Tuitise Alex Patricio

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Provincia de Pichincha, Cantón Quito, Parroquia de Amaguaña.

TIEMPO DE DURACIÓN DEL PROYECTO:

6 meses

FECHA DE ENTREGA:

Septiembre - 2020

LÍNEAS Y SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN A LAS QUE SE ASOCIA EL PROYECTO:

Línea de investigación: De acuerdo a lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, línea 4: Procesos Industriales.

Sub línea de investigación: En la Carrera de Ingeniería en electromecánica, línea 3: “Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos”.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:

El tipo de propuesta tecnológica corresponde al desarrollo de un SCADA de un entorno virtual de flujo y monitoreo remoto en tiempo real basado en una arquitectura IoT puesto que existe la necesidad de desarrollar el SCADA para realizar pruebas de interacción con

distintos softwares de control industrial, además de ello conocer la factibilidad de enviar las variables controladas a una nube industrial para conocer el tiempo de comunicación y el registro de datos.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1 Título de la propuesta tecnológica

Desarrollo de un SCADA de un entorno virtual de flujo y monitoreo remoto en tiempo real basado en una arquitectura IOT.

2.2 Tipo de propuesta alcance

Se pretende monitorear las variables de un entorno virtual de flujo a través de un SCADA en una nube industrial.

2.3 Área del conocimiento

En base a la clasificación de la Unesco acerca de las áreas y sub áreas del conocimiento [1], el presente proyecto se encuentra en el área de ingeniería, industria y construcción.

Sub áreas.- 52: Ingeniería y profesiones afines.

2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica

Los SCADA en la actualidad representan a la industria 4.0, debido a que se puede monitorear, controlar, adquirir datos y supervisar los procesos industriales, aplicado en la automatización de procesos, a pesar de ello estos sistemas tienen un elevado costo debido a los elementos empleados que se usan para realizar dichos sistemas. El presente trabajo de titulación se lo realiza con la finalidad de desarrollar un SCADA de un entorno virtual y monitoreo remoto en tiempo real basado en una arquitectura IoT, mediante el uso de la instrumentación virtual y de software de simulación, está conformada de las siguientes etapas; diseño del proceso industrial, comunicación con el software de programación, desarrollo del SCADA y envío de datos a una nube industrial.

Los procesos que se realizarán serán el control de flujo y salida de producción, tomando en cuenta que este será replicado en el software de simulación industrial. Software que realiza la simulación en 3d, comunicación con dispositivos industriales como el PLC y control en tiempo real.

El módulo encargado de realizar el control de flujo será el PLC SIM, que es un avanzado software de simulación virtual de controladores lógicos programables, que tiene como objetivo comprobar su funcionamiento, y además permite realizar simulaciones del programa TIA PORTAL sin la necesidad del hardware.

El SCADA se lo realizó en el software demostrativo Ignition, con el que se puede interactuar con el PLC SIM y simulador industrial, este programa permite visualizar las variables más prescindibles de los procesos de control de flujo y salida de producción, obtener un sistema de alarmas y un registro datos por medio de una nube industrial.

2.5 Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1 Objeto de estudio

El objeto de investigación en el campo de la ingeniería se enfoca al desarrollo de un SCADA de un entorno virtual flujo y el monitoreo basado en una arquitectura IoT.

2.5.2 Campo de acción

El proyecto a realizarse está sujeto al campo de acción “Automatización” de acuerdo a las características técnicas y científicas, la investigación está enfocada a promover el desarrollo de tecnologías y procedimientos que permita desarrollar un SCADA de un proceso industrial virtual por medio de adquisición de señales mediante un PLC, el cual facilitará el control de las variables, y finalmente se implementará una arquitectura IoT, para controlar el proceso virtual de forma remota.

2.5.3 Beneficiarios

2.5.3.1 Beneficiarios directos

Los sistemas SCADAS basados en IoT ayudan a que un gerente, un jefe de planta o cualquier persona con un cargo gerencial pueda tomar decisiones.

2.5.3.2 Beneficiarios indirectos

Proveedores de software para desarrollo de SCADA.

2.6 Situación problemática y problema

2.6.1 Situación problemática

La automatización a nivel mundial ayuda a optimizar la productividad de una empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma, también ha permitido mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos, incrementando la seguridad. Los países desarrollados son los promotores en el manejo y mejora de la automatización industrial aportando con nueva tecnología a los países en vías de desarrollo, los cuales para entrar en un mercado competitivo a nivel mundial tienden a automatizar sus industrias.

La industria 4.0 en la actualidad ha demostrado que los procesos industriales ya no pueden funcionar solo de forma aislada, sino que estas pueden conectarse a una base de datos no tangible y puede ser accedida de forma remota, un ejemplo claro de esta acción es conocido como sistemas basado en arquitectura IoT.

La implementación de sistemas SCADA ayuda a las grandes industrias a adquirir los datos de procesos industriales en tiempo real, para que estos puedan ser monitoreados y se pueda tomar decisiones sin tener que acudir al área de trabajo, para implementar estos sistemas se necesita de tiempo e inversión debido a los elementos empleados que se usan para dichos sistemas.

2.6.2 Problema

Inaplicabilidad de software SCADA para desarrollar sistemas de supervisión, control y adquisición de datos en los procesos industriales.

2.6.3 Matriz de identificación de problema



Figura 2.1 Matriz Causa – Efecto

2.7 Hipótesis o formulación de preguntas directas

Por medio del desarrollo de SCADA basado en IOT mejorará el monitoreo y control remoto de los sistemas de flujo y salida de producción.

2.8 Objetivos

2.8.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema SCADA de un entorno virtual de flujo para el monitoreo en tiempo real por medio de una nube industrial.

2.8.2. Objetivos Específicos

- Investigar en fuentes bibliográficas acerca de sistemas SCADAS aplicados en control de flujo, salida de producción y el monitoreo en base a la arquitectura IoT.
- Desarrollar el sistema SCADA del entorno virtual de flujo, salida de producción y el monitoreo remoto basado en una arquitectura IoT.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema.

2.9 Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

Es de gran importancia detallar cada una de actividades a realizar por objetivo, así fortalecer cada uno de los elementos de estudio que deberán estar asociados al desarrollo de un SCADA de un control de flujo y salida de producción, cada actividad a realizar será muy importante en la ejecución del proyecto tecnológico.

Tabla 2.1. Tareas por objetivos

Objetivos	Tareas
Investigar en fuentes bibliográficas acerca de sistemas SCADAS aplicados en control de flujo, salida de producción y el monitoreo en base a la arquitectura IoT.	Recopilar información de fuentes bibliográficas o de internet referente a los sistemas SCADA aplicados en control de flujo y salida de producción.
	Buscar artículos científicos u otros documentos, relacionados con SCADA para control de flujo, salida de producción en base a la arquitectura IoT.
Desarrollar el sistema SCADA del entorno virtual de flujo, salida de producción y el monitoreo remoto basado en una arquitectura IoT.	Diseñar en el entorno virtual el proceso de control de flujo y salida de producción.
	Establecer las variables que se van a controlar en el proceso.
	Realizar la comunicación entre el simulador de procesos, HMI, nube industrial y el controlador mediante el protocolo Ethernet TCP/IP.
	Hacer la interfaz hombre máquina para el control de flujo y salida de producción.
Realizar pruebas de funcionamiento del sistema.	Realizar las pruebas de funcionamiento del SCADA y su capacidad de enviar las variables para monitorearlas por internet.
	Generar un histórico gráfico de las variables del control de flujo y salida de producción.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

En la investigación realizada en el repositorio de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se encontraron diversos trabajos de investigación tales como “CONTROL Y MONITOREO DE PROCESOS INDUSTRIALES MEDIANTE UNA RED ETHERNET CON VISUALIZACIÓN WINCC PARA OPTIMIZAR EL LABORATORIO DE PLC’S DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERÍODO 2012-2013”, el cual establece el uso de una red Ethernet para interactuar con dos PLC S7-1200 y un sistema HMI realizado en WinCC para el monitoreo y control en tiempo real del proceso [2]; “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO HVAC, PARA EL ANÁLISIS, CONTROL Y MONITOREO DE VARIABLES DE CAUDAL Y TEMPERATURA, MEDIANTE SISTEMA SCADA”, utilizado para las prácticas de control y monitoreo de variables de caudal y temperatura, en el Laboratorio de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi [3]. Estos proyectos realizados guardan relación al desarrollo de SCADA, control y monitoreo en procesos industriales, pero no en la arquitectura IoT, por tanto, en el repositorio de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, existe un trabajo con la siguiente temática “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA DEL PROCESO DE LLENADO DE AGUA EN BOTELLAS CON PROYECCIÓN A LA INDUSTRIA 4.0 EMPLEANDO SIMATIC IOT 2040”, se realizó la implementación de un sistema que permita la supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) del proceso de llenado de botellas, que consta de equipos industriales, comunicados por una red mixta que comprende protocolos de comunicación Ethernet y Modbus [4].

Otras publicaciones de investigación de la IEEE xplora relacionadas a la temática como son “PLC Based Real Time Process Control using SCADA and MATLAB”, se da a conocer el control del proceso en tiempo real a través del Controlador lógico programable utilizando SCADA y MATLAB OPC Toolbox [5]; “IOT Application for Real-time Monitor of PLC Data using EPICS”, en el documento se diseñó y se implementó un sistema de monitoreo de datos de controladores lógicos programables, en tiempo real basados en web sobre datos EPIC [6].

3.2 Entorno virtual

Es un espacio que permite el aprendizaje mental y locomotriz por medio de la representación virtual de escenas basadas en la realidad, formado por un conjunto de máquinas, instrumentos de medición, sensores, actuadores, procesos industrializados entre otros, mucho más eficientes que los métodos convencionales de enseñanza. Permite realizar pruebas de aprendizaje “falla y error” en donde el usuario tiene la sensación de presencia real, esto ayuda al desarrollo de nuevos productos, o bien pruebas de configuraciones de programación antes de ser implementados en un proceso real.

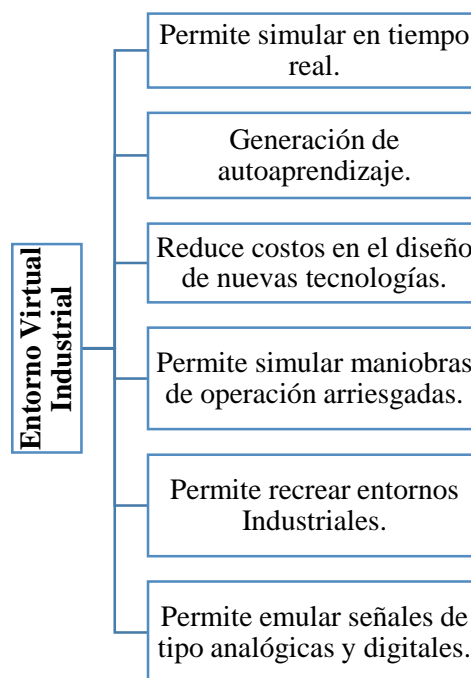


Figura 3.1. Características del entorno virtual Industrial

3.3 Sensores

El sensor es un dispositivo que tiene la capacidad de detectar magnitudes físicas o químicas conocidas como variables de instrumentación para transformarlas en variables eléctricas, la intensidad de la señal producida corresponde a la cantidad o magnitud de la variable que se está midiendo. El término sensor está fuertemente ligado al término transductor, el cual es un elemento que cuenta con la capacidad de experimentar un cambio al ser sometido a un cambio físico.

Existen sensores que pueden ser combinados con su acondicionamiento de señal mediante un microprocesador, este tipo de sensor es conocido como sensor inteligente, y cuenta con la

capacidad de compensar errores debido a que puede adaptarse al cambio, además brinda un cálculo más exacto de la medición de una variable y diagnostica las fallas presentes en el sistema. [7]

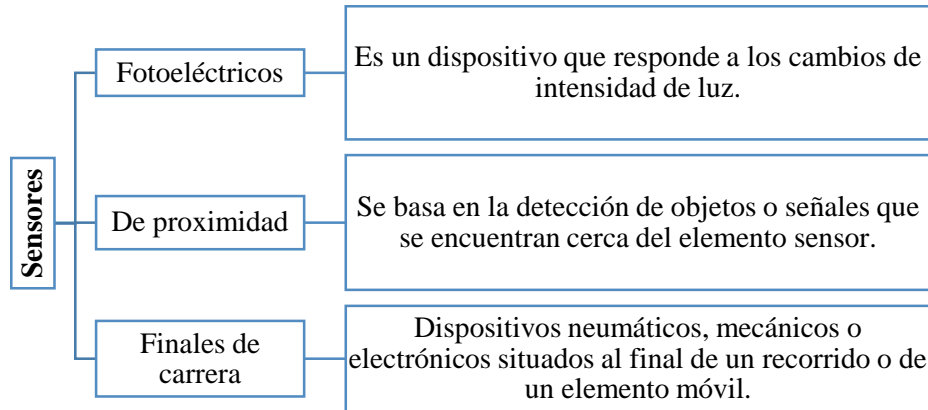


Figura 3.2. Tipo de sensores

3.4 Transmisores

Son instrumentos que se encargan de traducir una variable física en un lenguaje de señal analógica o digital, captan la variable mediante un sensor y normaliza su señal para transmitirla a distancia a un instrumento indicador, receptor, controlador o la combinación de estos. [8]

3.4.1 Tipos de señales de transmisión

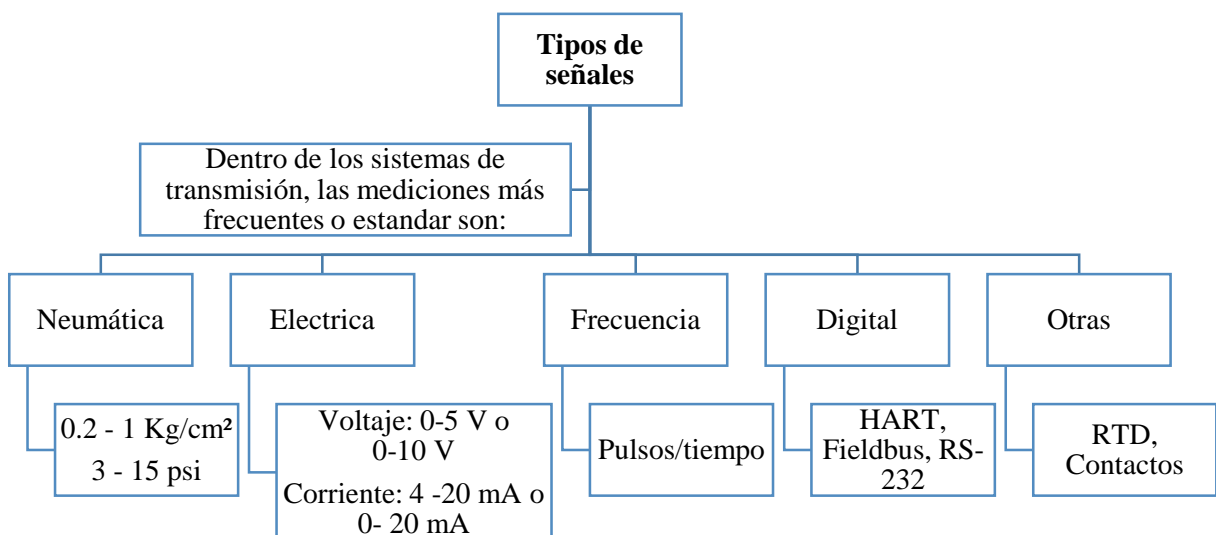


Figura 3.3. Tipo de señales en transmisores

3.5 Actuadores

Se define al actuador como un elemento final de control, es un dispositivo que tiene la capacidad de modificar la energía hidráulica, neumática o eléctrica del proceso para realizar un efecto sobre el proceso automatizado, [9]. Para realizar este proceso el actuador recibe la orden de un regulador o un controlador para poder generar la orden que será enviada a un elemento de control, por ejemplo, válvulas, motores, bombas con variador de frecuencia entre otros.

3.6 Controladores Industriales

Un controlador es un instrumento del sistema de control, que recibe la señal del valor medido por el sensor y el valor de referencia, determina la desviación y calcula la acción de control; este emite una señal al elemento final de control.

3.6.1 Tipos de controladores Industriales

Existen tres tipos de controladores utilizados en la automatización industrial. [10]

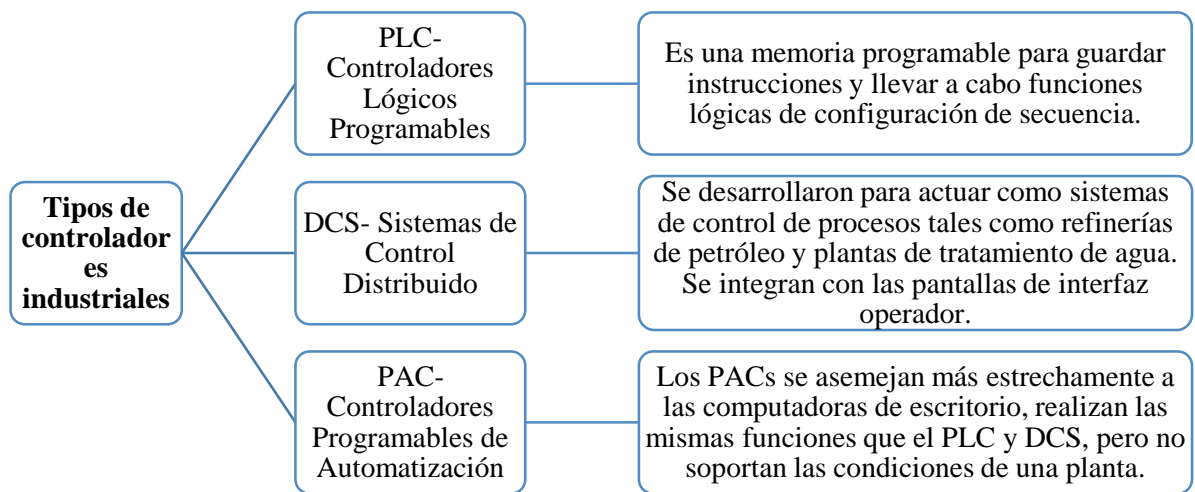


Figura 3.4. Tipo de controladores industriales

3.6.1.1 Controlador lógico programable (PLC)

El término PLC hace referencia a Programmable Logic Controller, que en español significa controlador lógico programable. Es una computadora digital, programable utilizada en carreras de ingeniería como la electromecánica, para el control automático de maquinaria empleada en procesos industriales.

La definición de PLC por norma IEC 61131-1: “Sistema electrónico de funcionamiento digital, diseñado para su uso en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario para implementar funciones específicas como lógica, secuenciación, temporización, conteo y aritmética, para controlar, a través de entradas y salidas digitales o analógicas, varios tipos de máquinas o procesos”.

Los PLC a diferencia de las computadoras convencionales, pueden controlar procesos industriales de tipo secuencial, además que están diseñados con múltiples entradas y salidas de tipo digital y analógica, resistencia a vibraciones, inmunidad al ruido eléctrico y rangos de temperatura aumentados.

3.6.1.1.1 S7 PLCSIM

El PLCSIM, es un avanzado simulador virtual de controladores lógicos S7-1200, S7-1500 y simula todas sus funciones. De esta manera no es necesario tener controladores reales para probar el funcionamiento de los programas antes de ser puestos en marcha.

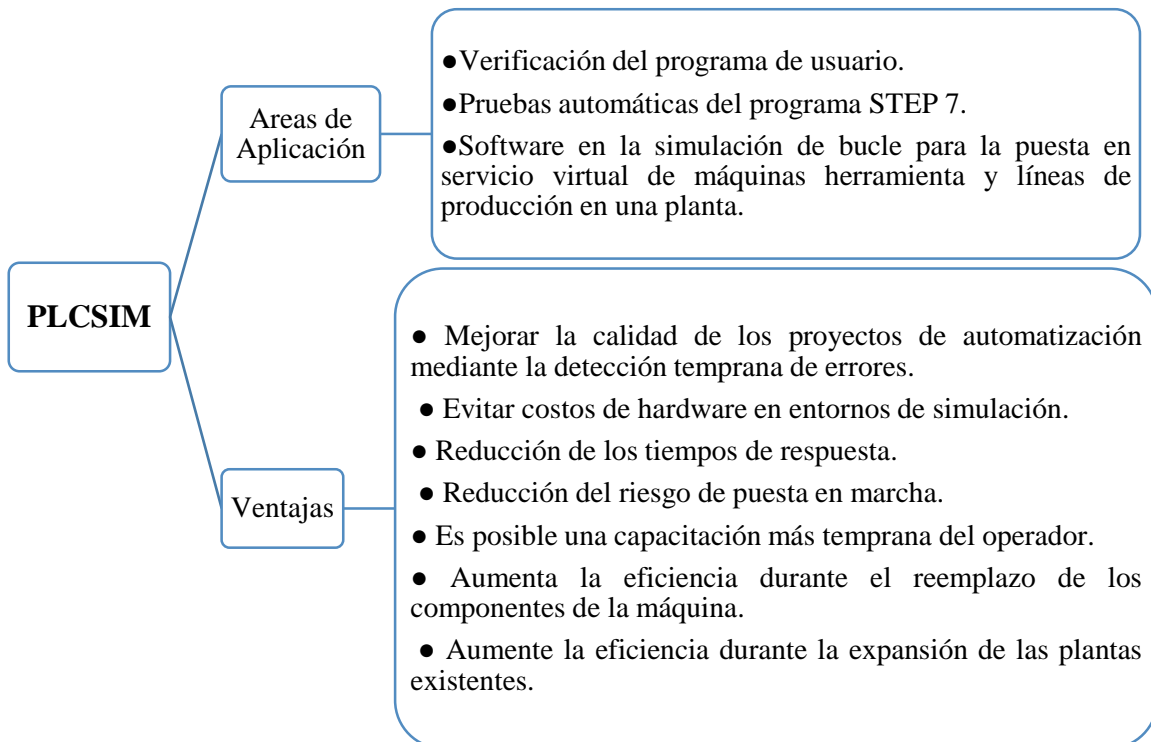


Figura 3.5. Aplicación y ventajas de PLCSIM

Por medio del S7 PLCSIM, se puede simular los bloques de programación en un controlador virtual. No es necesario ningún controlador físico. Se puede configurar el CPU con el TIA portal, programar la secuencia lógica de su aplicación y luego cargar la configuración en el controlador virtual. Desde allí puede ejecutar la lógica de programación, observar las entradas y salidas simuladas y adaptar sus programas. [11]

3.6.1.1.2 Tipos de datos PLC

En la tabla 3.1 se recopiló los tipos de datos comunes a utilizar en cualquier proyecto con su respectiva descripción. [12]

Tabla 3.1. Datos PLC

TIPOS DE DATOS COMUNES PLC	TAMAÑO DEL TIPO DE DATOS	MEMORIA QUE OCUPA	DESCRIPCIÓN	RANGO
BOOL	1 bit	1 byte	Valor booleano	0 a 1
BYTE	8 bits	1 byte	Byte sin signo	0 a 255
BYTE	8 bits	1 byte	Byte con signo	-128 a +127
WORD	16 bits	2 bytes	Entero sin signo	0 a 65.535
INT	16 bits	2 bytes	Entero con signo	-32768 a +32768
DWORD	32 bits	4 bytes	Entero doble sin signo	0 a 4294967295
DINT	32 bits	4 bytes	Entero doble con signo	-2147483648 a +2147483647
REAL	32 bits	4 bytes	Valor de 32 bits en coma flotante	+1,175495E-38 a +3,402823E+38
STRING	2 a 255 bytes	1 byte + x	Almacenado en la memoria del CPU como byte de longitud de 1 cadena seguida por bytes de datos	Caracteres ASCII 128 a 255

3.7 Flujo

El flujo en la industria es el tipo de variable más compleja para realizar mediciones. Existe una infinidad de medidores de flujo, cada uno con sus limitaciones, el problema es que la propia variable carece de una definición singular. El flujo puede ser flujo volumétrico que es el número de volúmenes que transitan por un conducto por unidad de tiempo, o también puede ser un flujo másico que es el número de unidades de masa que transita por unidad de tiempo. [13]

El flujo es la cantidad de fluido que circula por un ducto, tubería, rivera o río por una unidad de tiempo. En las industrias es muy importante el poder medir esta variable porque con esta se sabe el consumo. [14]

3.7.1 Sensores de Flujo

Son instrumentos especialmente creados para entender el comportamiento de los fluidos. [15]

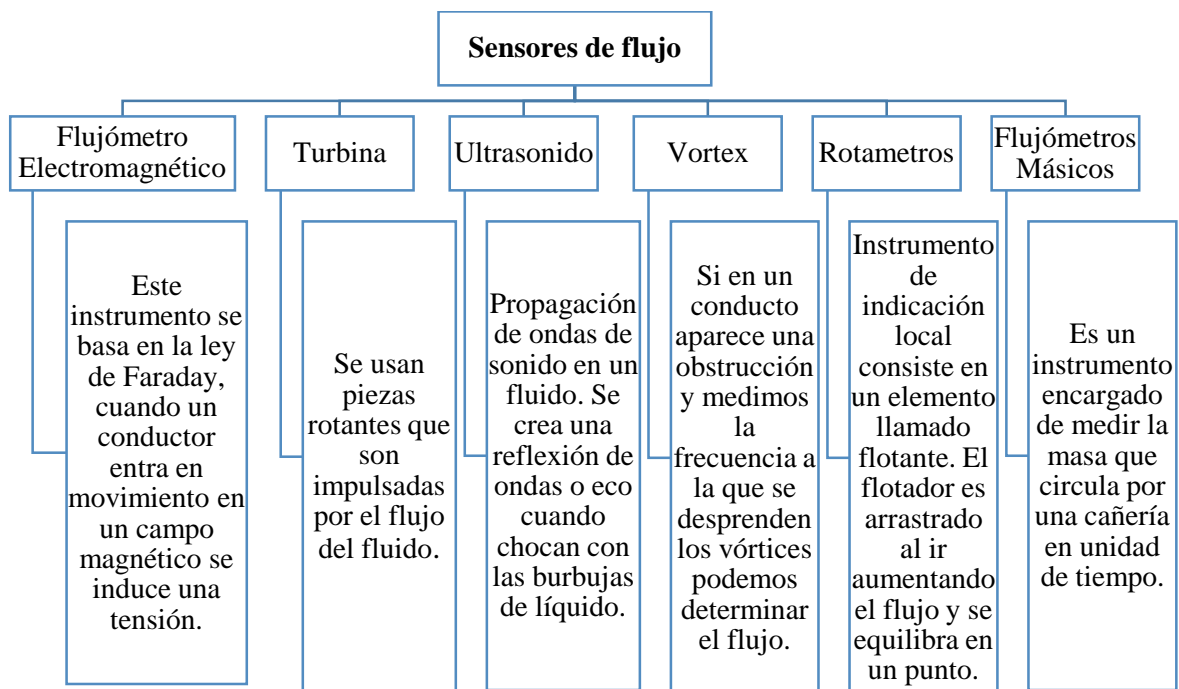


Figura 3.6. Sensores de Flujo

3.8 Sistemas de control

Un sistema de control es el conjunto de elementos que permiten la realización de una función específica, para lo cual cada elemento del sistema debe interactuar simultáneamente con otro., esta definición se detalla en la norma IEEE std C37, por otro lado, “un sistema de control automático es una interconexión de elementos que forman una configuración denominada

sistema, de tal manera que el arreglo resultante es capaz de controlar se por sí mismo”, [16]. En otras palabras, un sistema de control es el vínculo de causa-efecto, creado al momento de ingresar una señal a manera de entrada para obtener una respuesta o salida.

Se debe tomar en cuenta que no todas las señales cumplen con un patrón o frecuencia de ingreso determinado, para ello es necesario dividirlos en la siguiente clasificación:

- Entrada escalón: indica un comportamiento constante en el tiempo, es decir que su ingreso al sistema no varía.
- Entrada rampa: La señal ingresa al sistema con variaciones continuas en el tiempo ya sea de incremento o decremento.
- Entrada impulso: Se caracteriza por ser una señal de gran magnitud, pero relativamente corta.

3.8.1 Tipo de señales de control

Las señales en un sistema de control son de tipo analógica y digital. [17]

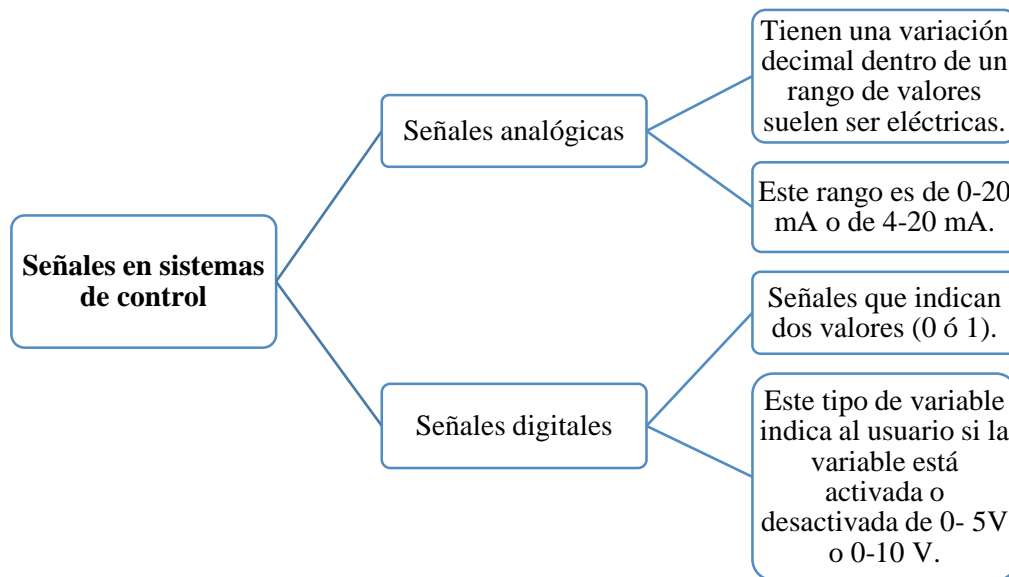


Figura 3.7. Señales en sistemas de control

3.8.1.1 Normalizado y Escalado de señales analógicas

En la mayor parte de procesos industriales interviene sensores o actuadores tipo analógico que envían señales al controlador, una vez ingresada la señal se procede a realizar la relación de valor mínimo y máximo por ejemplo un transmisor de caudal de 0 a 140 [l/min] nos proporciona una medida en señal analógica de 4-20 mA.

3.8.1.1.1 Normalizado

En el PLC podemos realizar la instrucción NORM_X normaliza los valores máximos y mínimos que corresponden a los valores en bits que lee el transmisor.

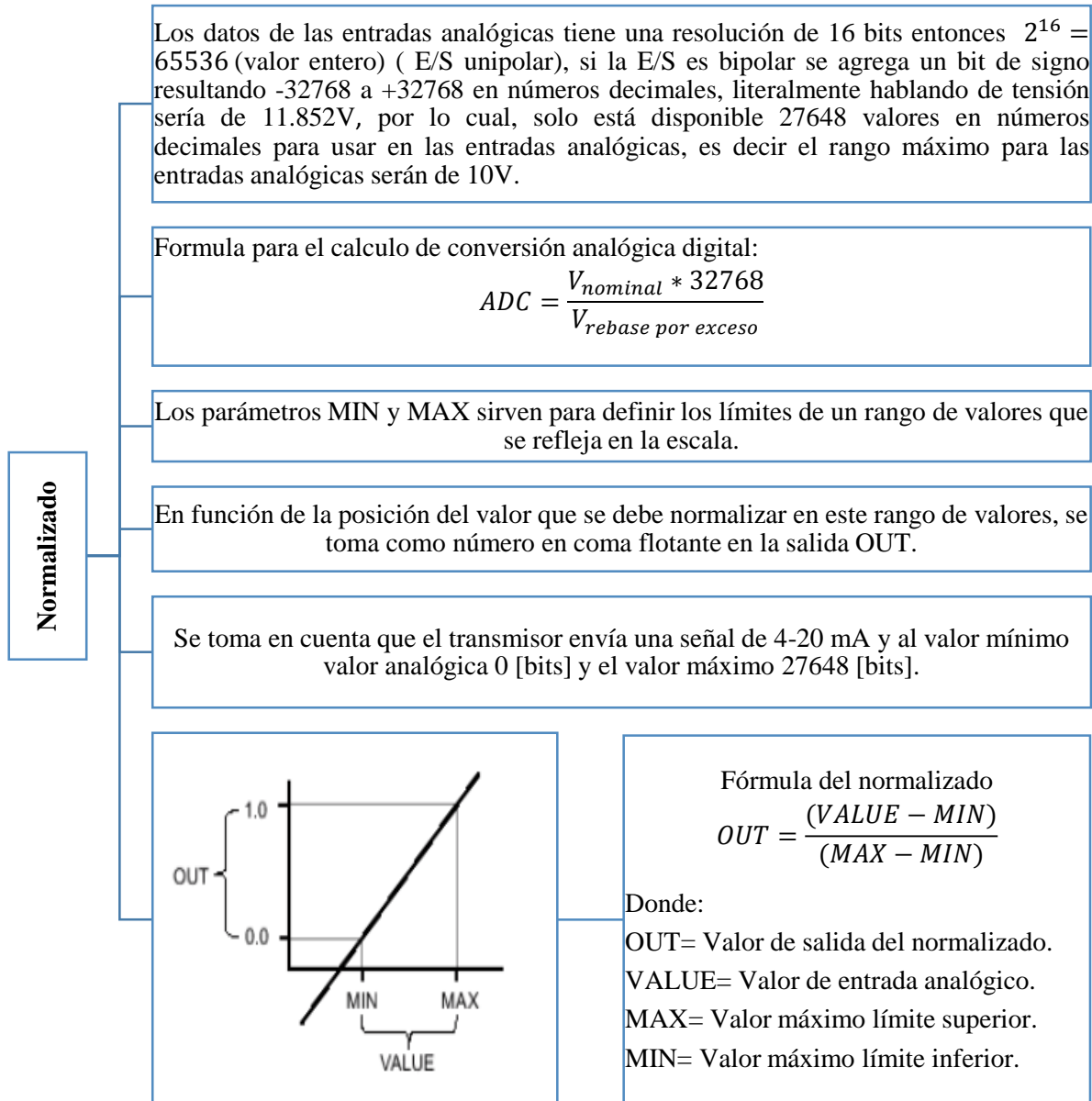


Figura 3.8. Normalizado

3.8.1.1.2 Escalado

En el PLC podemos realizar la instrucción SCALE_X escala los valores máximos y mínimos que corresponden a las unidades de ingeniería.

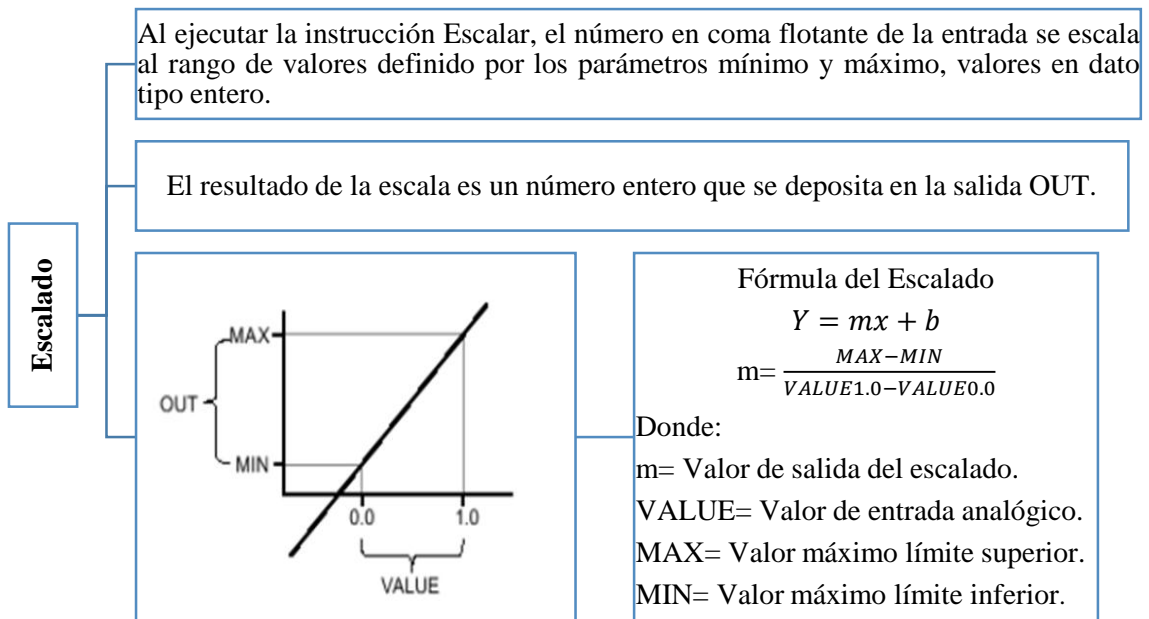


Figura 3.9. Escalado

La combinación de la instrucción NORM_X Y SCALE_X nos ayudará a escalar una señal analógica en TIA Portal sin ningún problema:

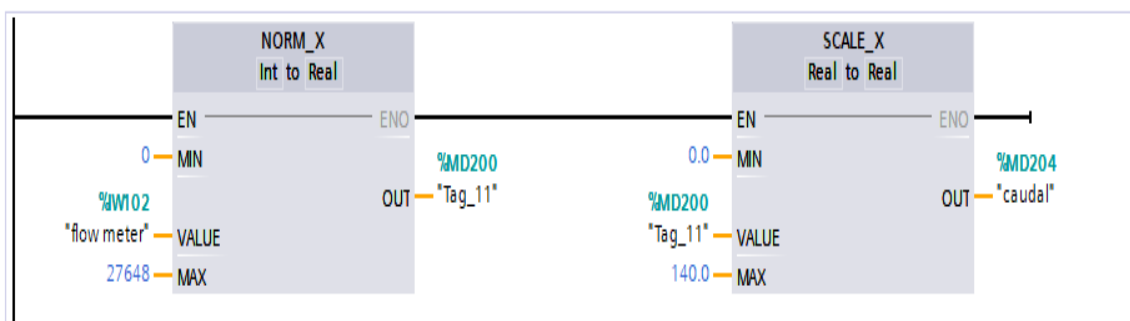


Figura 3.10. Instrucción NORM_X Y SCALE_X

Fuente: Autor.

3.8.2 Clasificación de los sistemas de control

3.8.2.1 De acuerdo a la acción de control

3.8.2.1.1 Sistema de control lazo abierto

Se define como lazo abierto aquel control donde la señal de salida no influye a la señal de entrada, es decir que son en cierta medida, independientes. Los elementos básicos que se utilizan en este tipo de control son básicamente un regulador o un actuador con la finalidad de obtener la respuesta que se desea determinar.

La característica de estos sistemas radica en que su exactitud depende en gran medida de la calibración del sistema, y consta de un elemento de entrada, un elemento de control y una salida principalmente. [18]

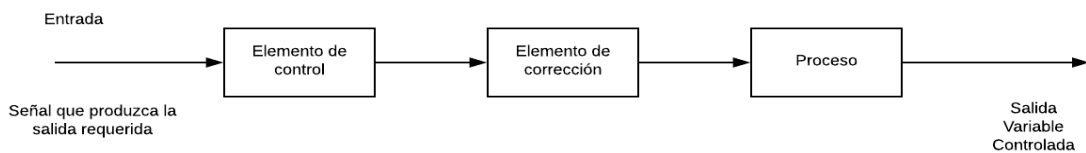


Figura 3.11. Diagrama de bloque de un sistema lazo abierto

Fuente: Autor

3.8.2.1.2 Sistema de control lazo cerrado

El control lazo cerrado es un sistema cuya acción de control depende de la variable de salida, es decir es un sistema retroalimentado el cual compara mediante un sensor la señal de salida obtenida con la señal deseada, para aplicar las correcciones respectivas durante el proceso que se controla. [16]

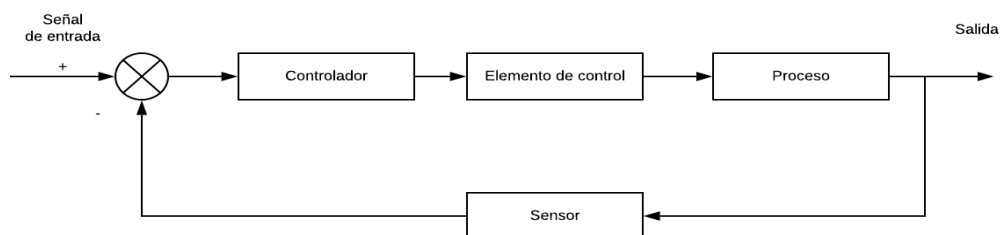


Figura 3.12. Diagrama de bloques de un sistema retroalimentado

Fuente: Autor

3.8.2.2 De acuerdo a como se genera la acción de control

3.8.2.2.1 Control Proporcional

“El modo de control proporcional (P) produce una acción de control que es proporcional al error”, [7]. De manera más detallada un sistema de control proporcional actúa en base a la gravedad del error, si la magnitud del error va en aumento, la señal de corrección aumentará y de igual manera si la magnitud del error disminuye la señal del control disminuirá.

Sus características principales son:

- Provoca un error en el sistema
- Acelera o disminuye el proceso de control a conveniencia.
- Es el control más estable de todos, [18].

3.8.2.2.2 Control Integral

El Control Integral produce una acción de control conforme a la integral del error en el tiempo. Entonces una señal de error constante producirá una señal de corrección creciente. La señal de corrección seguirá acrecentando mientras el error perdure. Se puede considerar que el control integral “mira hacia atrás”, suma todos los errores y responde a los cambios que ocurren. [7]

Características:

- Su propósito es dejar en cero el error cuando el proceso es estable.
- Incrementa la medida de control y de error a niveles máximos.
- Sus respuestas son arrastradas y de largas oscilaciones.

3.8.2.2.3 Control Derivativo

El Control Derivativo produce una acción de control que es proporcional a la rapidez con la que cambia el error. Cuando hay un cambio repentino en la señal de error, el controlador produce una señal de corrección de gran magnitud; cuando el cambio es progresivo, sólo se produce una pequeña señal de corrección. [7]

Características:

- Controla las perturbaciones y el ruido.
- Hace lento al sistema.
- Mientras más rápido varía la variable controlada más rápido le frena.

3.8.2.2.4 Control PID

Es la combinación simultánea del control proporcional, integral y derivativo es el mecanismo más utilizado debido a su flexibilidad y ajuste sencillo ampliamente usado en sistemas de control industrial. Este calcula la desviación o error entre un valor de entrada real y un valor deseado.

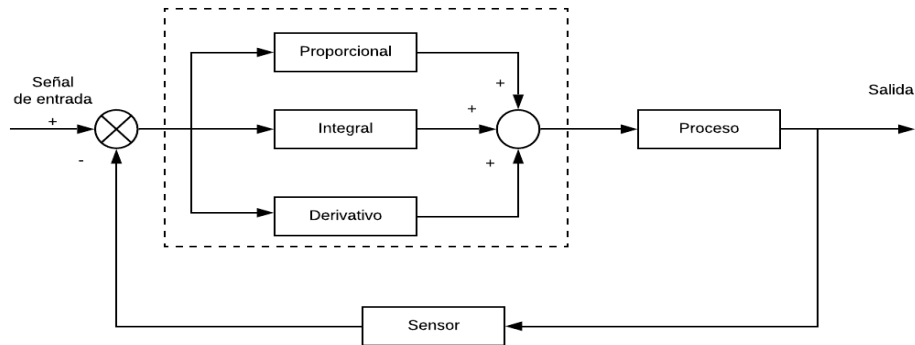


Figura 3.13. Diagrama de bloque PID

Fuente: Autor

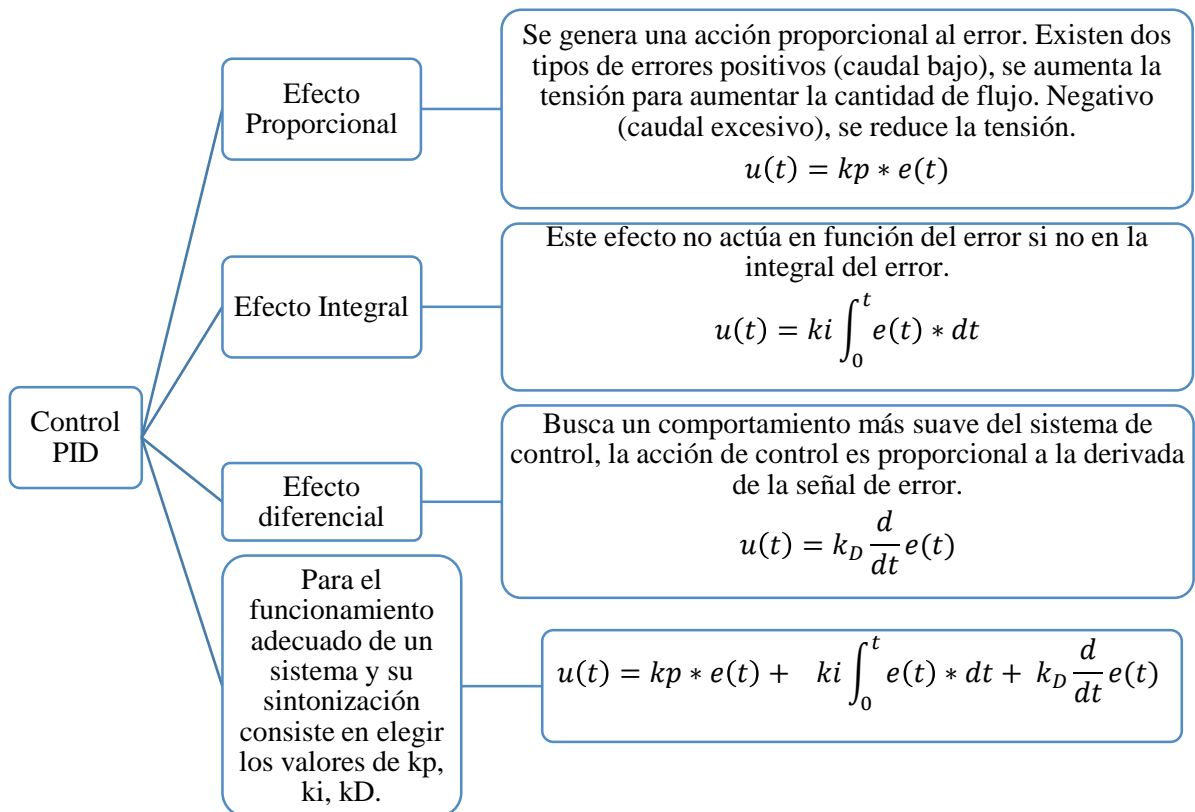


Figura 3.14. Control PID

3.9 Automatización

3.9.1 Definición

El término automatización se refiere a una amplia diversidad de sistemas y procesos que operan con mínima o sin intervención del ser humano, es decir es la capacidad que tiene una máquina o mecanismo para realizar tareas específicas sin depender de la mano de un operario. La automatización es una necesidad del mundo actual, porque con ella mejoramos los sistemas tradicionales aumentando la precisión y rendimiento, todo esto mediante sensores de control que ayudan a distinguir variables a su alrededor como son: presión, caudal, temperatura entre otros, los sensores en las máquinas tradicionales ayudan a realizar los ajustes necesarios para poder compensar las perturbaciones.

El sistema automatizado conforma una estructura jerárquicamente expandida, formada por el conjunto de elementos interconectados para que un proceso se pueda realizar de forma independiente por medio de operaciones de control y supervisión, bajo metodologías modernas, normativas y cumpliendo con los requisitos que requiera la industria. [20]

En definitiva, la automatización busca sustituir a operadores humanos mediante el uso de elementos computarizados para el control de máquinas o de procesos industriales, con esto se garantiza una mayor eficiencia, mayor calidad y adicional el incremento de la productividad y competitividad.

3.9.2 Pirámide de Automatización

CIM (Computer Integrated Manufacturing o Fabricación Integrada por Computador), es el término que se usa para nombrar a la pirámide de la automatización, resume de manera gráfica los niveles dentro de un proceso industrial. En la figura 3.15 se puede apreciar los niveles en orden jerárquico, los mismos pueden hacer interacción gracias a las redes de información y los avances en los computadores, [21]. Cada nivel engloba diferentes flujos de información que se dan entre los elementos de cada nivel y el constante cambio de información entre los diferentes niveles, [22]. En la actualidad estos sistemas son desarrollados de una manera eficaz por medio de ordenadores con sistemas operativos de alta calidad.

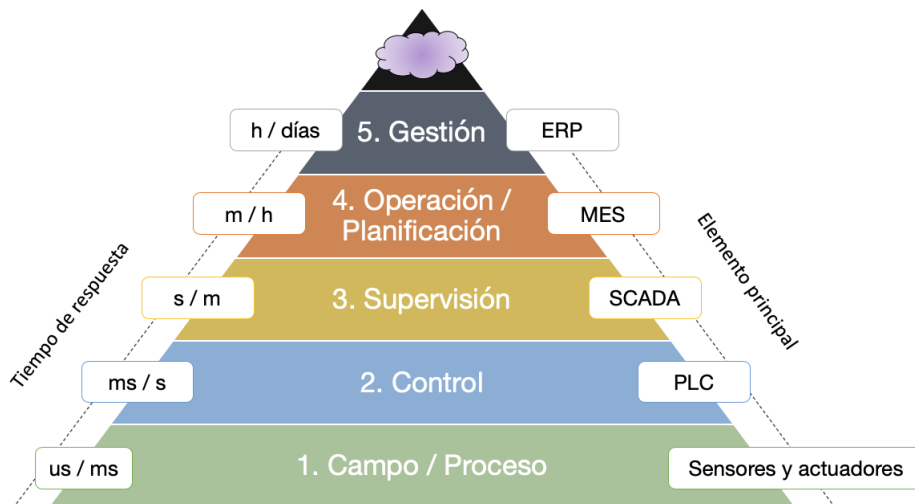


Figura 3.15. Pirámide de la Automatización

Fuente: [23]

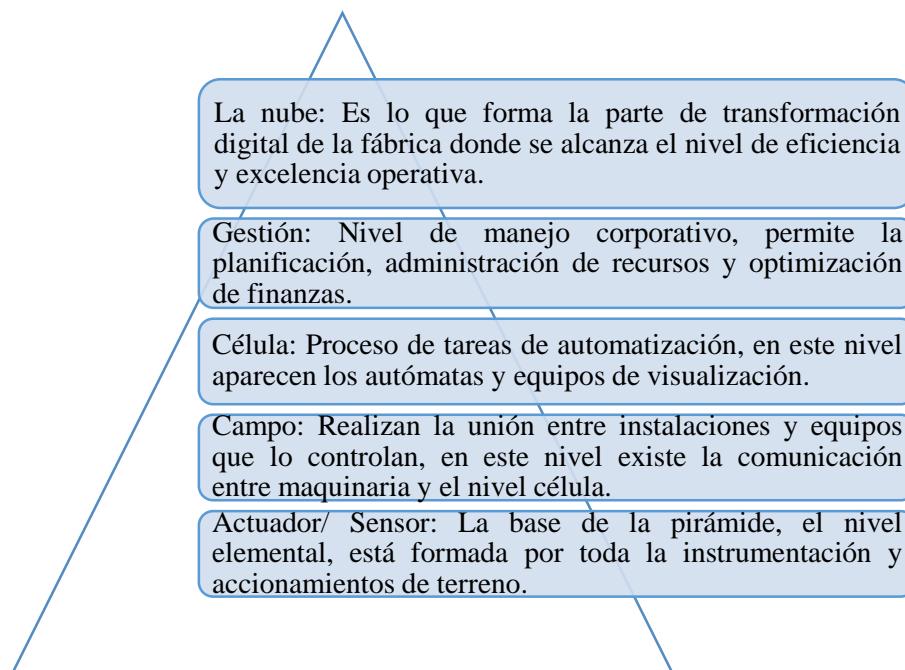


Figura 3.16. Niveles de la pirámide de la automatización

3.10 Sistema SCADA

3.10.1 Definición

La palabra SCADA por sus siglas en inglés significa Supervisory Control and Data Acquisition y en español significa Control con Supervisión y Adquisición de Datos. Un SCADA es un software diseñado para la supervisión de un proceso industrial a través de una estación central

o la pantalla de un ordenador, por medio de herramientas de comunicación, permite el control de forma remota, la adquisición de datos del proceso si estar presente en el campo. [24]

Los SCADA con el pasar de los años han hecho un progreso sustancial en términos de funcionalidad, escalabilidad, rendimiento y apertura, esto los convierte en una alternativa al desarrollo interno incluso para sistemas de control muy exigentes y complejos como aquellos de experimentos de física. [25]

El SCADA no solo realiza control, además su software tiene la utilidad de monitorización o supervisión, que cumple la tarea de interface entre los niveles de control y los de gestión, a un nivel superior. [26]

3.10.2 Consideraciones SCADA

Para que sea un sistema SCADA se debe considerar lo dicho en la figura 3.17.

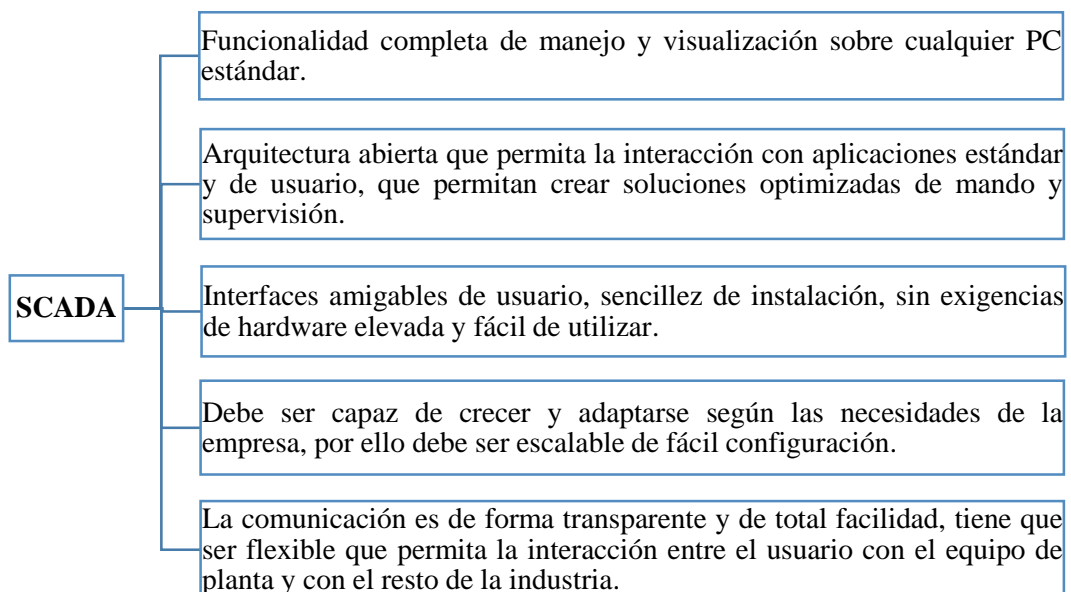


Figura 3.17. Consideraciones en Sistemas SCADAS

3.10.3 Prestaciones en Sistema SCADA

Para cumplir con las consideraciones básicas mencionadas anteriormente, el paquete SCADA comprende diversas funciones y beneficios para establecer una comunicación entre el proceso y el operador.

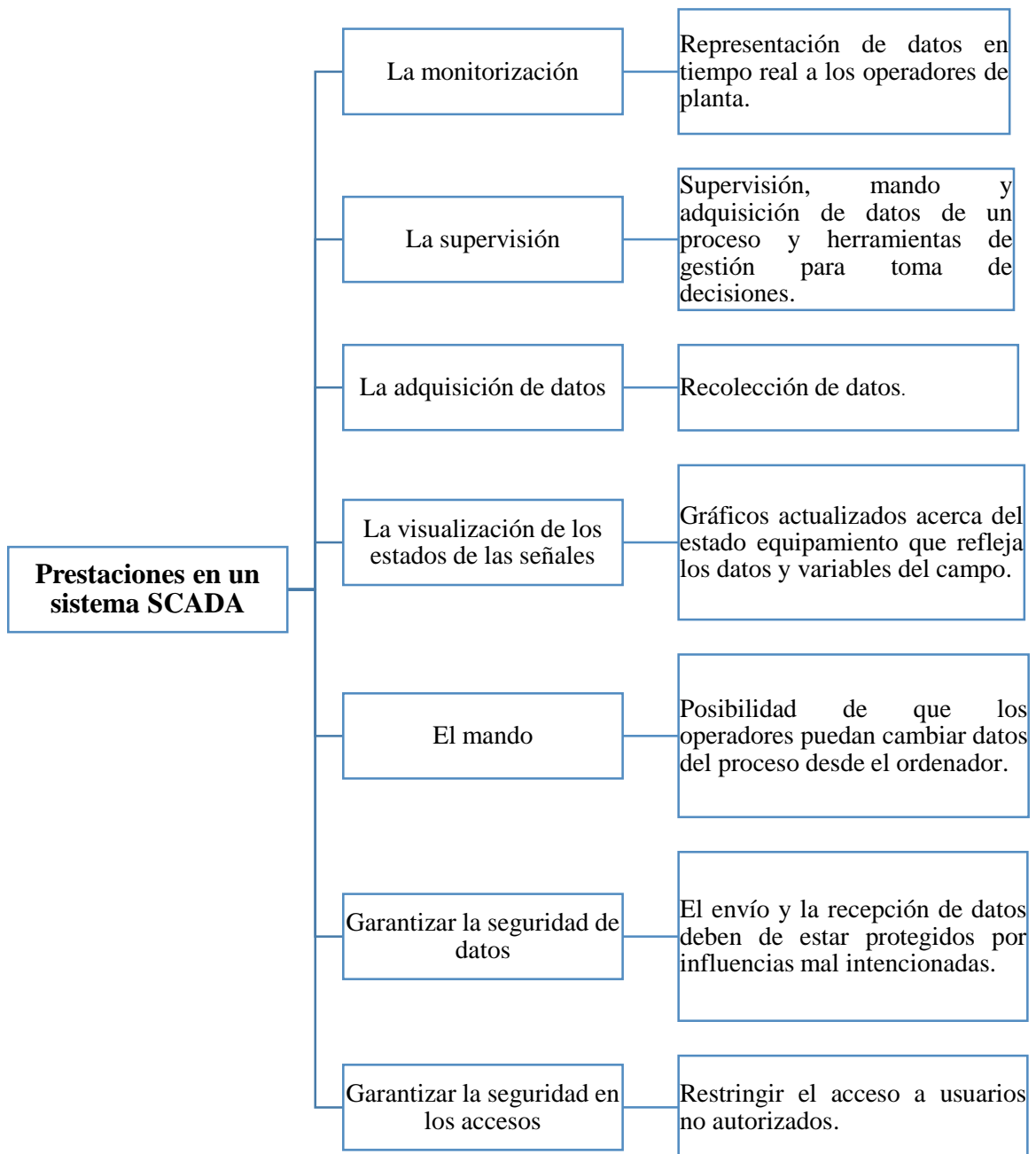


Figura 3.18. Prestaciones SCADA

3.10.4 Norma ISA 101 para el desarrollo de SCADA

La norma ISA 101 tiene como objetivo lograr un control de procesos más efectivo y eficiente, tanto en situaciones normales de operación, como en situaciones de fallas. Con la norma ISA

101 se pretende mejorar las habilidades de los operadores de la aplicación SCADA para detectar, diagnosticar y responder ante situaciones inauditas. [27]

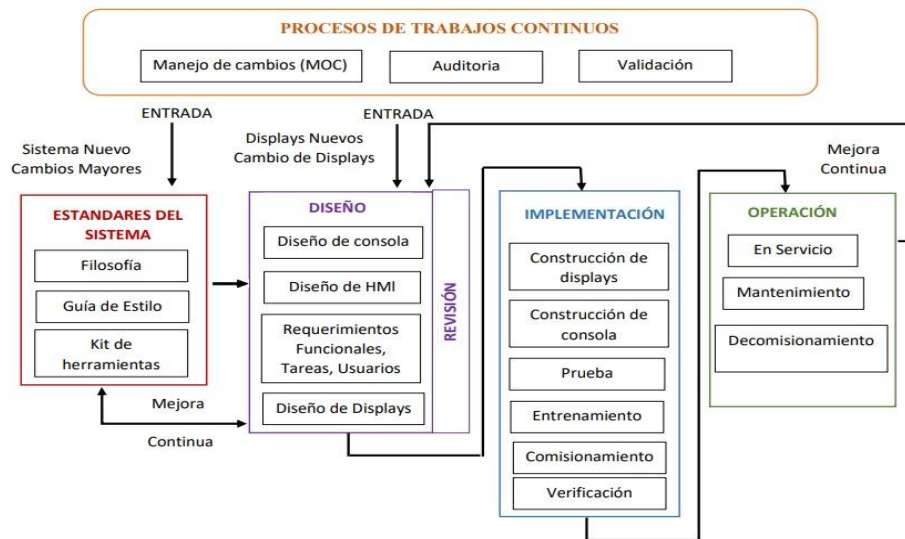


Figura 3.19. Ciclo de vida de aplicación SCADA

Fuente: [28]

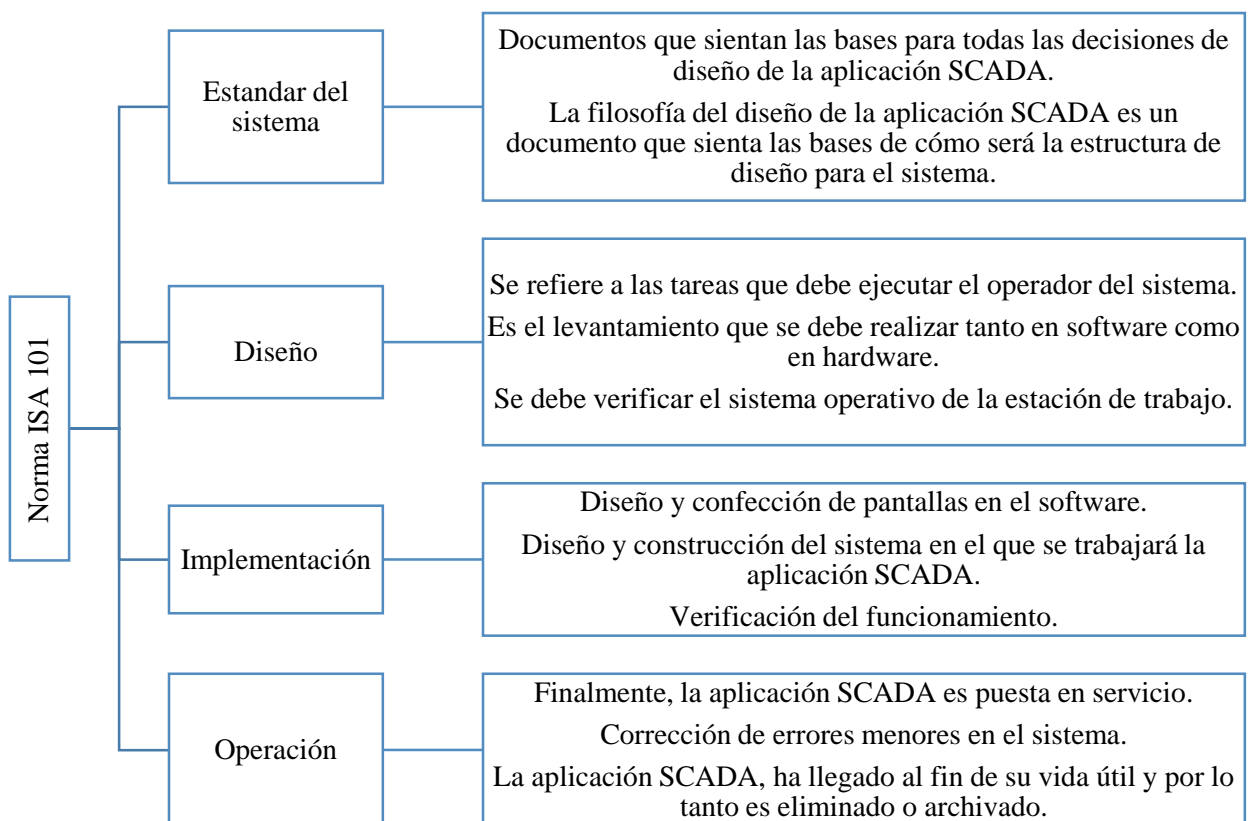


Figura 3.20. Norma ISA 101

3.11 OPC

El OPC es una tecnología creada para comunicar aplicaciones, en español OPC significa OLE para el Control de Procesos. Es un modelo basado en el SO Windows y software de control para la interconexión de procesos.

Mediante el OPC se puede acceder a los aparatos de campo a través de un estándar abierto. El modo de ingreso es similar no implica depender del tipo y origen de los datos. De esta forma los usuarios finales son libres de elegir el software y hardware que satisfaga sus requerimientos de producción sin preocuparse por la disponibilidad de software de control específico.

OPC permite definir una técnica estandarizada que, mediante el desarrollo de aplicaciones del tipo Cliente-Servidor, permite el acceso de datos de forma local o remota y gestiona la información en tiempo real. [26]

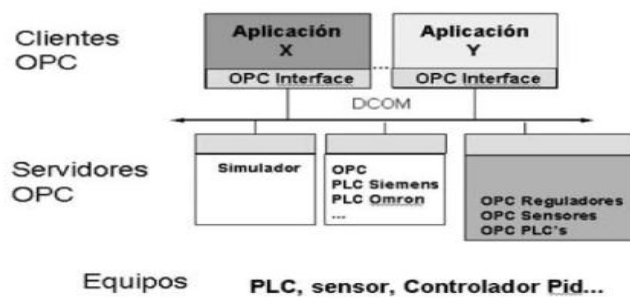


Figura 3.21. Comunicación OPC

Fuente: [26]

3.11.1 Tecnología de comunicación

El OPC se basa en la tecnología de incrustación de datos de Microsoft: OLE/COM

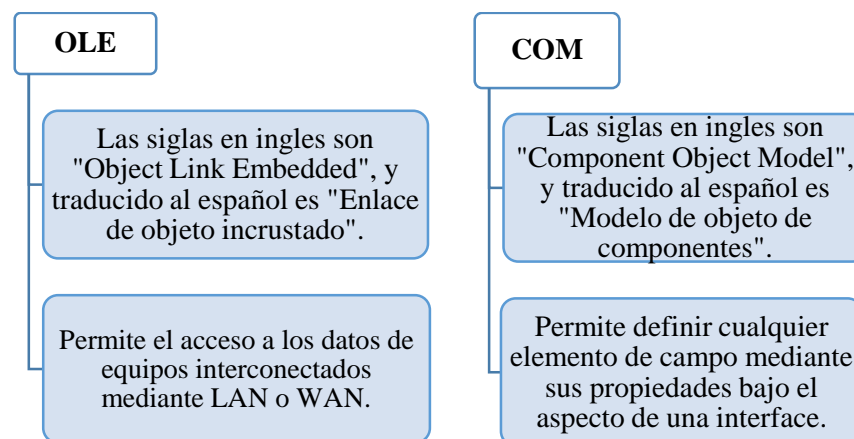


Figura 3.22. OLE & COM

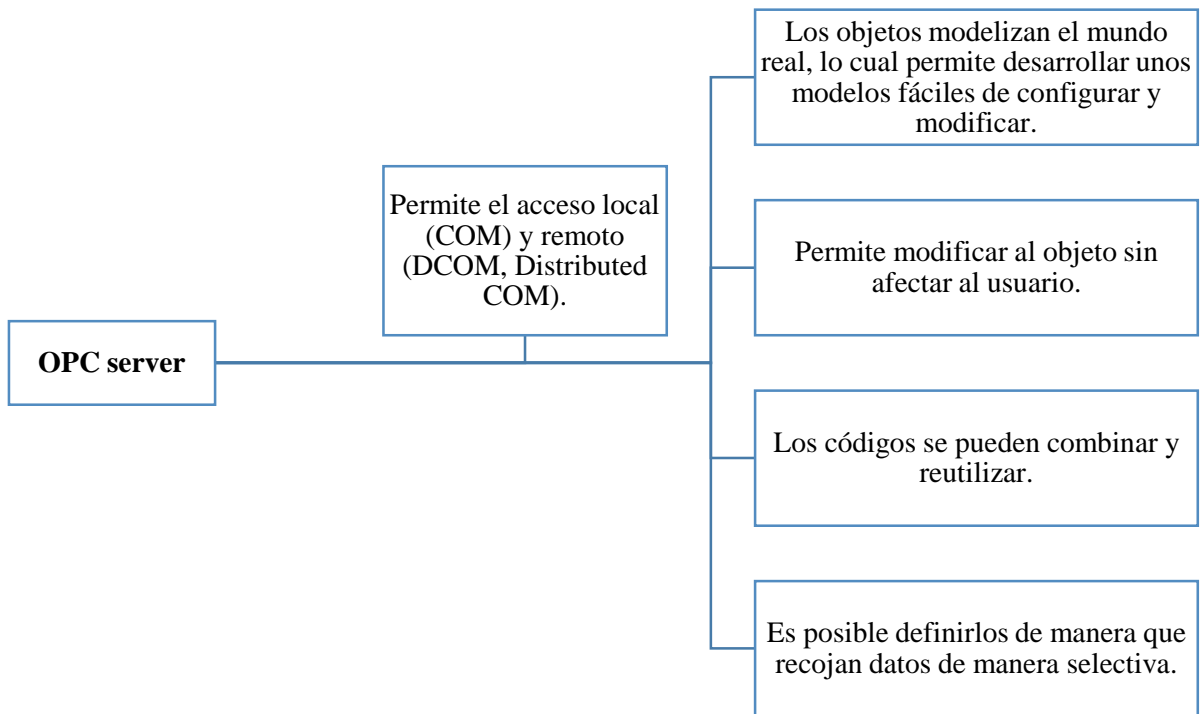


Figura 3.23. OPC server

3.11.2 Cliente y servidor

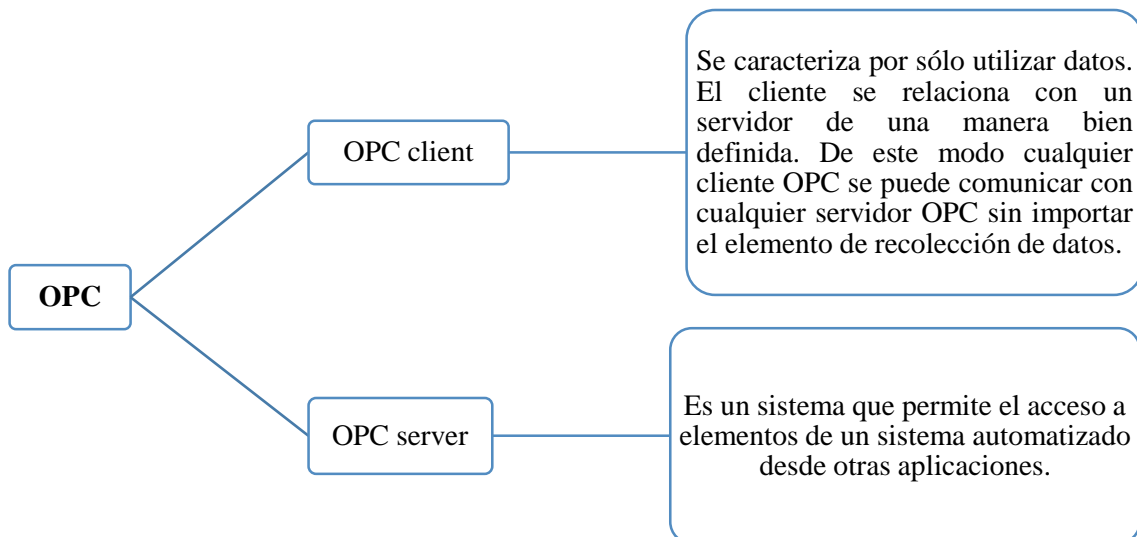


Figura 3.24. OPC cliente y servidor

3.11.3 Especificaciones OPC

OPC es un modelo de comunicaciones que permite el acceso a cualquiera que desee desarrollar aplicaciones de este tipo. Existen diferentes especificaciones, las más frecuentes se definen en la figura 3.25.

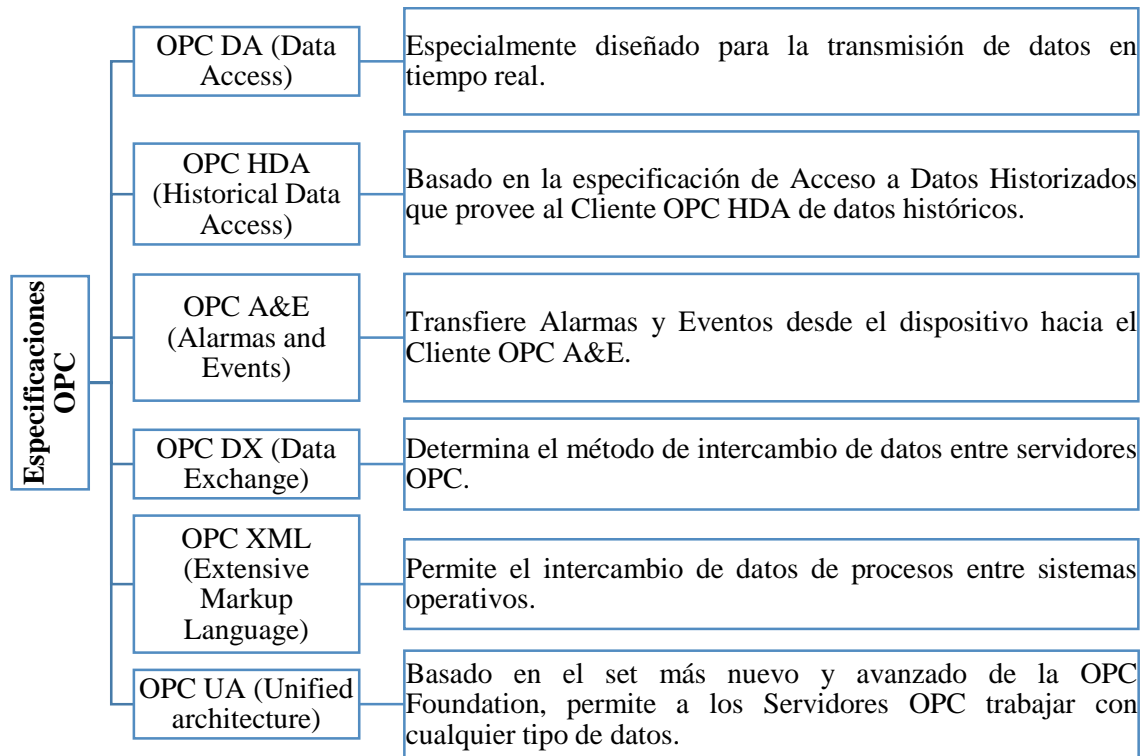


Figura 3.25. Especificaciones OPC

3.12 Redes de comunicación Industrial

Las redes de comunicación industrial son el eje principal de cualquier sistema de automatización, cumplen un papel fundamental en la pirámide de la automatización, ya que permite la intercomunicación entre dispositivos de cada nivel de la pirámide. Las redes de comunicación industrial se caracterizan por permitir el intercambio de datos en tiempo real pese a condiciones adversas, [29]. Se puede controlar dispositivos inteligentes por medio de las redes industriales al mismo tiempo que se reducen los costos por dejar los sistemas ambiguos.

Las redes industriales de comunicación implementadas en sistemas de control han ocupado grandemente el interés de los ingenieros en control, especialistas en computación y por supuesto de los especialistas en comunicación. [20]

Todo sistema de comunicación está compuesto por lo siguiente:

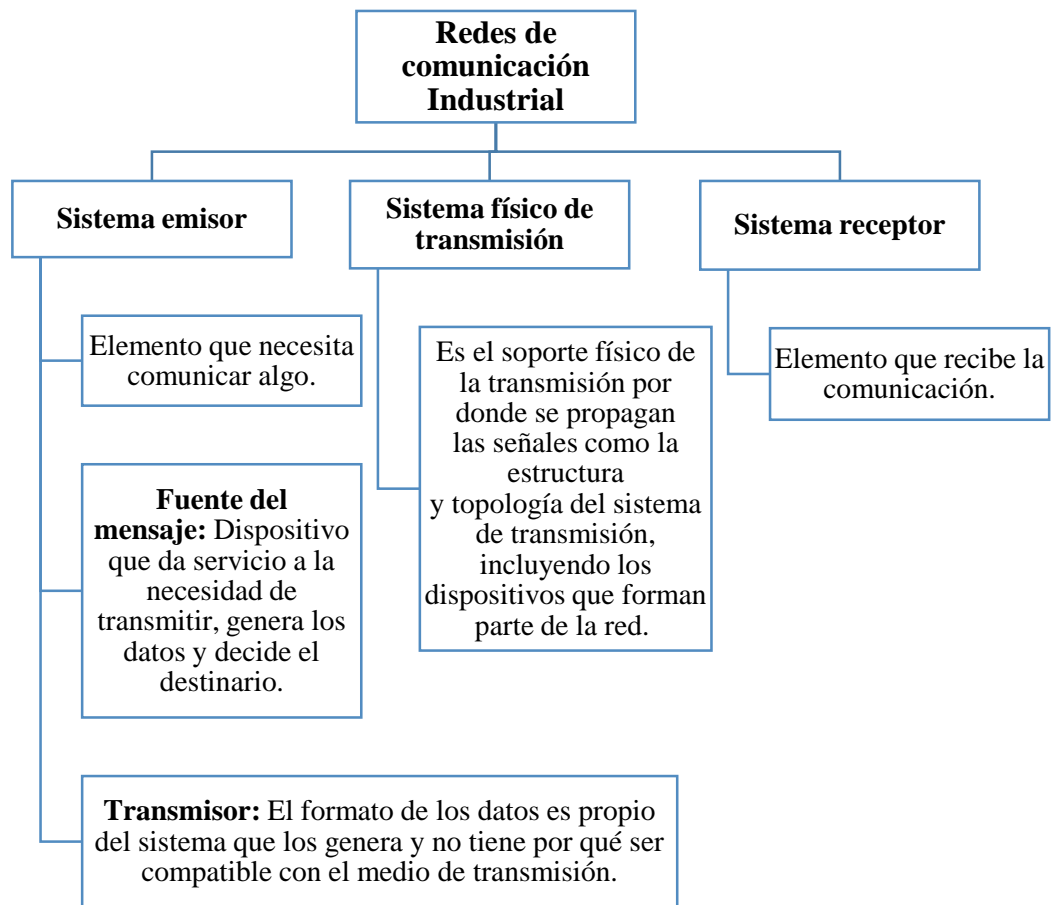


Figura 3.26. Partes del sistema de comunicación Industrial

3.12.1 Bus de campo

El bus de campo es el encargado de transmitir información en los procesos industriales, estos simplifican la instalación de máquinas y equipos industriales. El objetivo del bus es la sustitución de las conexiones punto a punto entre los elementos de campo reemplazando al tradicional lazo de corriente 4-20mA; los buses de campo son redes digitales con gran velocidad en transmisión de datos, y conectan con dispositivos como actuadores, sensores, PLC y dispositivos de control. [30]

Las redes de campo son una tecnología para la aplicación en procesos industriales, y son de reciente desarrollo, los buses de campo estandarizados son: Interbus, Profibus, Fieldbus, DeviceNet, Modbus, Internet Ethernet entre otros. [31]

3.12.2 Topología de las redes de comunicación industrial [30]

La topología de redes describe el modo en que varios dispositivos en una red son interconectados. Existen tres topologías básicas: bus, anillo y estrella.

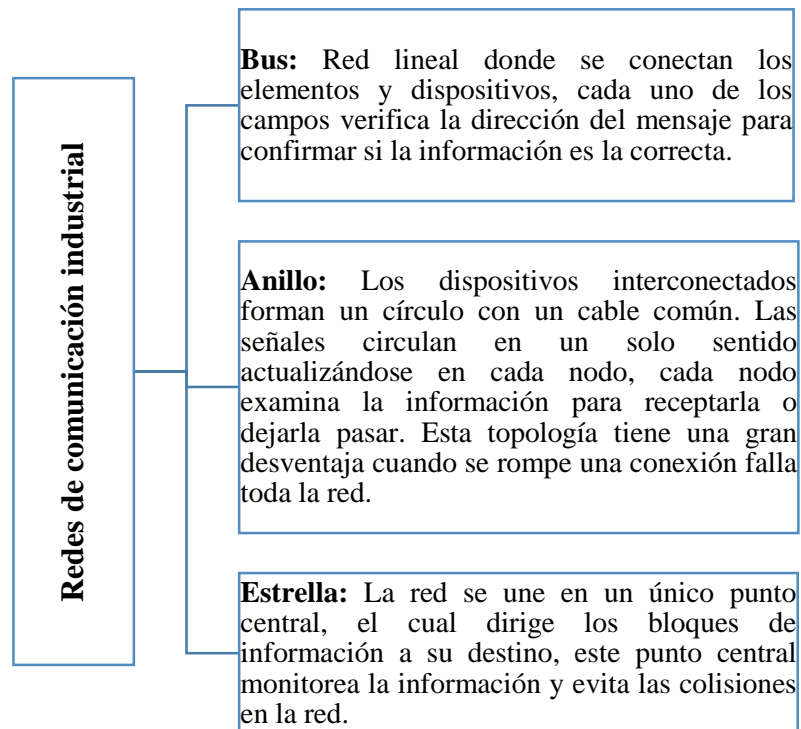


Figura 3.27. Topologías de redes de comunicación Industrial

3.12.3 Ethernet Industrial

Se establece en la norma IEEE 802.3 basada en la Ethernet de Xerox se ha convertido en uno de los métodos más extendido para interconexión de computadores personales en las redes de procesos de información. Ethernet es un estándar que establece la construcción y funciones de redes abiertas para la transmisión de información utilizando ambientes de oficina. En la actualidad debido a la necesidad de las comunicaciones en los procesos industriales, los fabricantes han optado por una plataforma ampliamente funcional que se encuentra ajustada a las necesidades de la industria. [31]

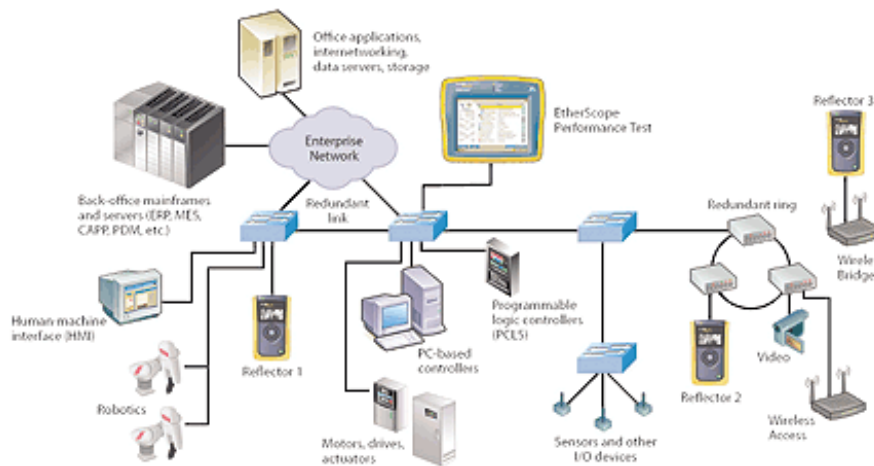


Figura 3.28. Ethernet Industrial

Fuente: [32]

3.12.3.1 Protocolos Industriales basados en Ethernet

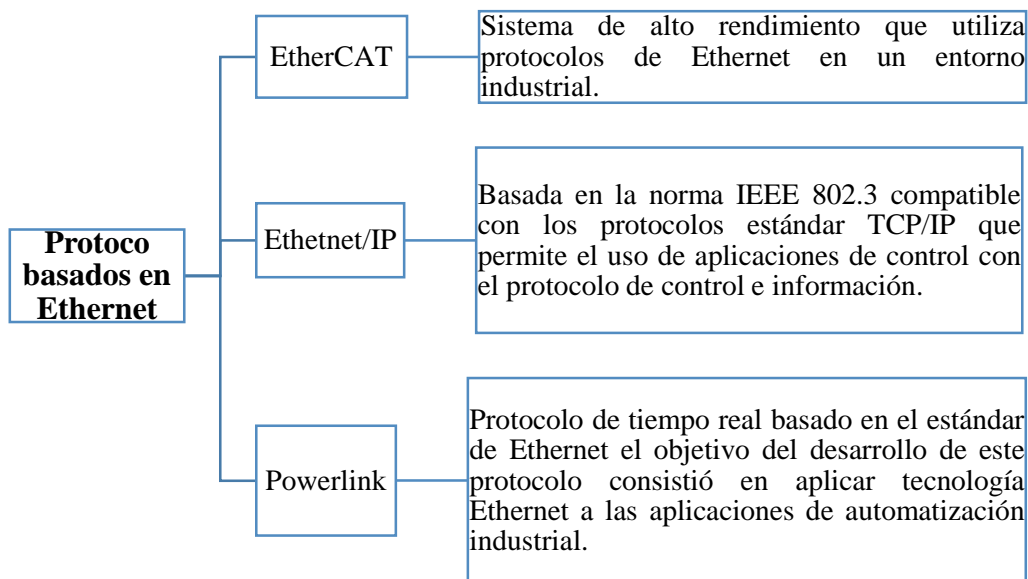


Figura 3.29. Protocolos Ethernet

3.13 Arquitectura IoT

3.13.1 Definición

En la actualidad toda empresa necesita saber el estado de la maquinaria industrial en tiempo real, además de dar alarma preventiva y con ayuda de gráficos establecer una decisión para evitar fallas en el proceso de producción. El término IoT que por sus siglas es Internet of Things que traducido al español es internet de las cosas, es una alternativa para poder realizar monitoreo

en las industrias, la información proveniente de controladores lógicos se la puede enviar a una nube virtual, en donde constantemente se actualizarán los datos para poder analizar el estado actual de un proceso industrial.

Normalmente las personas de oficina, docentes, estudiantes entre otros, hacen uso de la nube para guardar o compartir información, en las industrias sucede exactamente lo mismo se almacenan y transmiten datos de estaciones de trabajo en tiempo real, cuando hablamos de la nube en la industria es un claro avance que la industria da un salto a la digitalización y por ende a la evolución de industria 4.0.

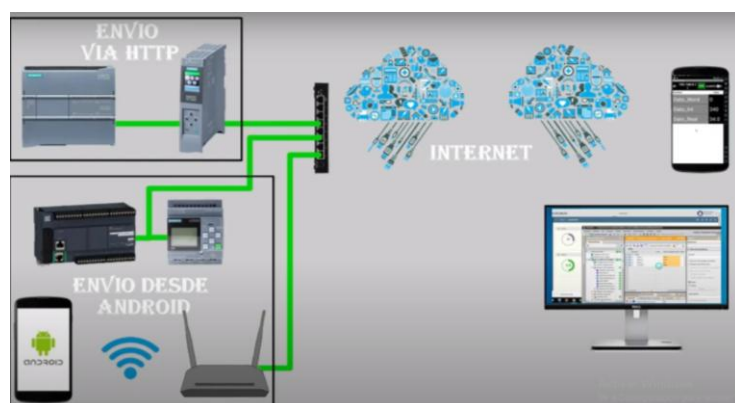


Figura 3.30. Internet de las cosas en la Industria

Fuente: [33]

3.13.2 Nube Industrial

La nube industrial es una plataforma en la web donde las industrias pueden compartir sus datos de forma segura, existen varias empresas dedicadas al diseño de estas plataformas y cada una necesita de diferentes equipos intermediarios o a la vez de ningún equipo para la recepción y envío de datos.

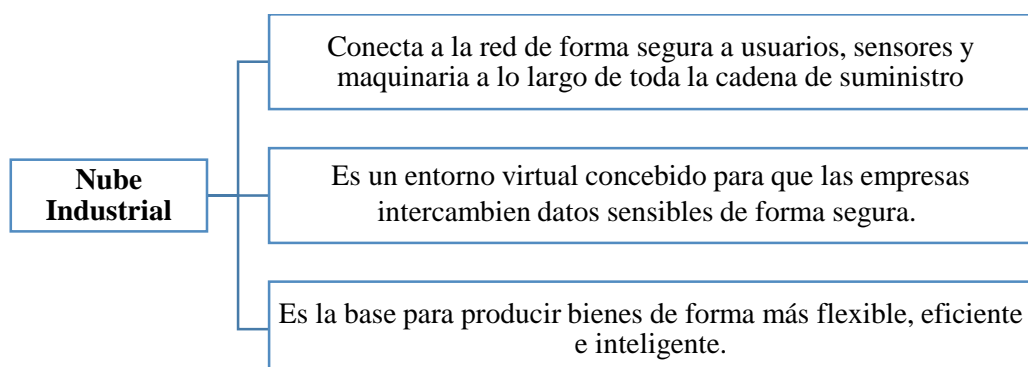


Figura 3.31. Nube industrial

3.13.2.1 Plataformas de nube industrial

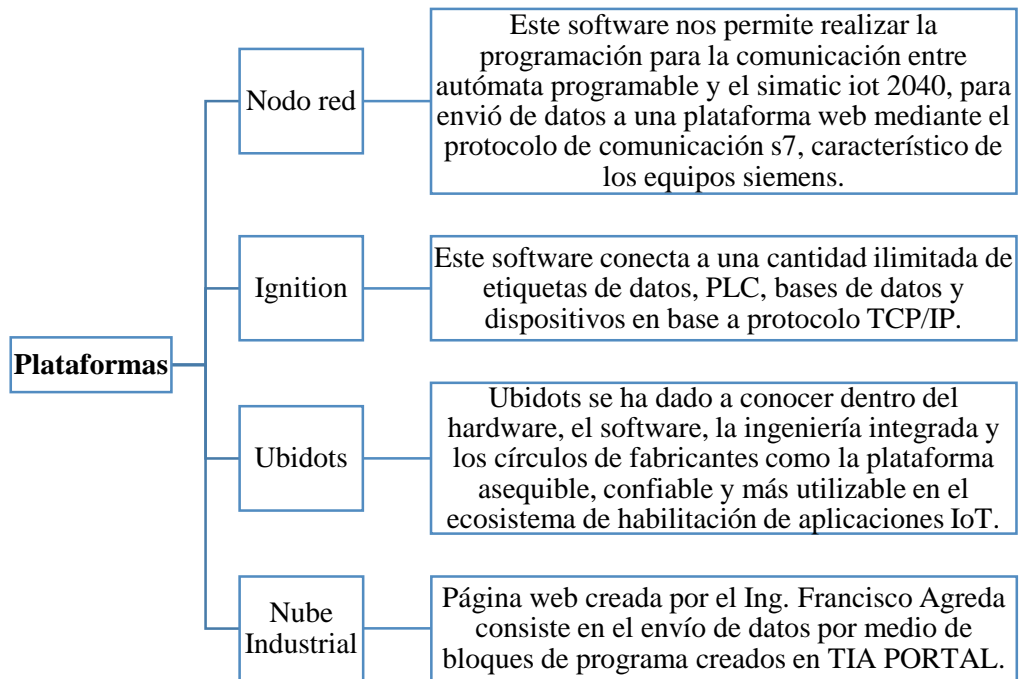


Figura 3.32. Nube industrial

3.14 Industria 4.0

La palabra industria 4.0 hace referencia al término fábrica inteligente que nació por la evolución de la informática y software en procesos de producción, esto genera una mejor organización y control al momento de fabricar productos. En Europa el término industria 4.0 se toma de manera generalizada, aunque la cuna del término es en Alemania; definiéndose como una nueva forma de producción mediante el internet de las cosas. [34]

La primera revolución industrial dio su origen en el siglo XVIII y XIX, donde las formas tradicionales de producción pasaron a una etapa de mecanización, colocándose como pilar de la economía la industria. La segunda revolución industrial ocurrió en el siglo XX, apareció la producción en cadena, esta incluye a las fábricas para poder producir en grandes cantidades y satisfacer a la mayor parte de la población. La tercera transición industrial ocurre a finales del siglo XX, el avance de la electrónica e informática permitió reemplazar la mano de obra de las personas por máquinas, para que estas realicen las tareas repetitivas, se automatizó las líneas de producción. En la actualidad el avance de la robótica junto con las tecnologías de información ha provocado una transformación al internet tradicional en internet de las cosas (IoT). Y esta

nueva etapa genera grandes oportunidades en la industria basado en el aprovechamiento de la informática. [35]



Figura 3.33. Cuarta revolución industrial

Fuente: [36]

En la actualidad la industria 4.0 o también conocida como industria digital busca transformar a industrias en organizaciones inteligentes interconectadas, con ello apuesta a mejorar a las industrias en los procesos de automatización, control, monitoreo, comunicación y globalización, mediante el uso de la tecnología digital para tener una comunicación directa a través del internet de las cosas (IoT) para la interacción de diferentes áreas como son los productos, producción y modelos de negocios, esto genera que los nuevos productos tengan un valor agregado el cual compite con la competencia y crea un impacto de bienestar personal.

4. METODOLOGÍA

La presente propuesta tecnológica uso los siguientes tipos y procedimientos metodológicos de investigación.

En este caso la primera modalidad es la investigación bibliográfica, debido a la búsqueda de antecedentes e investigaciones con relevancia de diferentes fuentes de información como son: libros, bibliotecas virtuales y de textos científicos de la IEEE, en base al desarrollo de SCADA, control de proceso de flujo, salida de producción y monitoreo de forma remota, con esto se realiza un buen cuerpo de marco teórico con información fidedigna. Como segunda instancia interviene una investigación aplicada porque el desarrollo del SCADA se debe realizar varias pruebas de funcionamiento en las distintas etapas del desarrollo, todo esto de manera constante hasta obtener el resultado deseado.

Los siguientes objetivos pertenecen a una técnica investigativa:

- Recolección de información.
- Procesamiento y análisis de datos.
- Desarrollo del proyecto.

La presente propuesta tecnológica utilizó las siguientes técnicas:

- Simulación. - Planta industrial.
- Medición. - Toma de datos de las variables.
- Observación. - Comportamiento del SCADA y nube industrial.

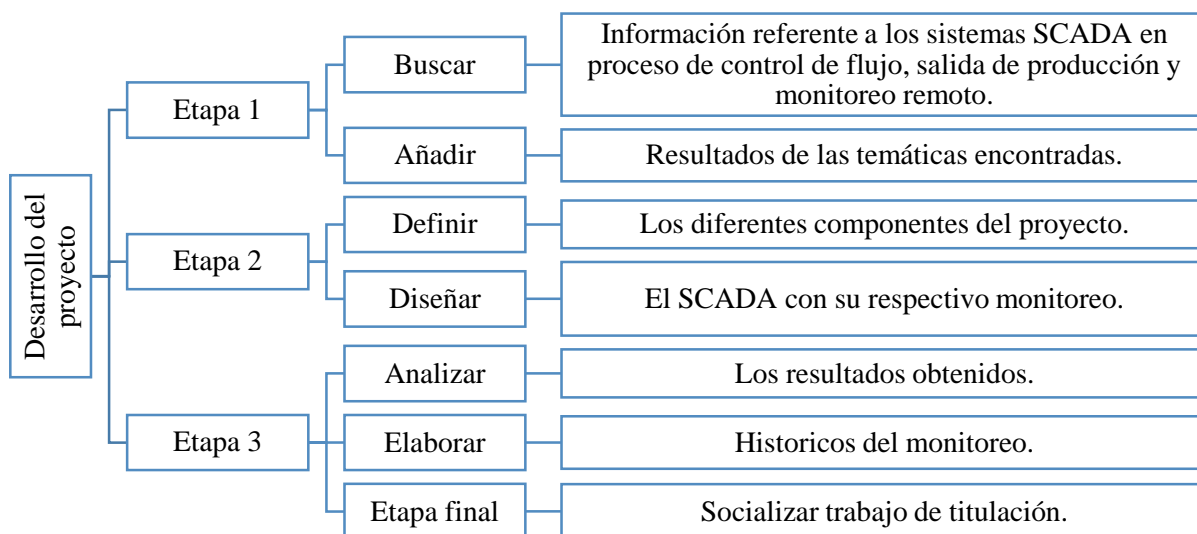


Figura 4.1. Descripción del desarrollo del proyecto de titulación

4.1 Diseño del Entorno industrial

4.1.1 Estación de control de flujo

El lugar donde se va a realizar el control de flujo será en el entorno realista industrial de Factory IO, se puede automatizar en tiempo real y se ajusta a las necesidades del proyecto. La escena presentada en la figura 4.2 consta de: una válvula de llenado, una válvula de descarga, un sensor de nivel, un sensor de flujo y un tanque. En el tablero de control en la parte exterior se encuentra una perilla de control, pulsadores de encendido y apagado, lámparas indicadoras, dos pantallas digitales y en el interior del tablero un controlador.



Figura 4.2. Entorno Virtual (Control de flujo)

4.1.1.1 Diagrama P&ID del proceso a controlar

El diagrama P&ID de la figura 4.3 establece el tipo de control que se realiza en la planta industrial, en este caso es un control de flujo de lazo cerrado, en donde el controlador tiene como objetivo mantener un caudal constante tanto a la entrada como a la salida del proceso de llenado del tanque, se controla tanto la válvula de llenado y la válvula de descarga, y el encargado de enviar los datos al controlador será el transmisor de flujo.

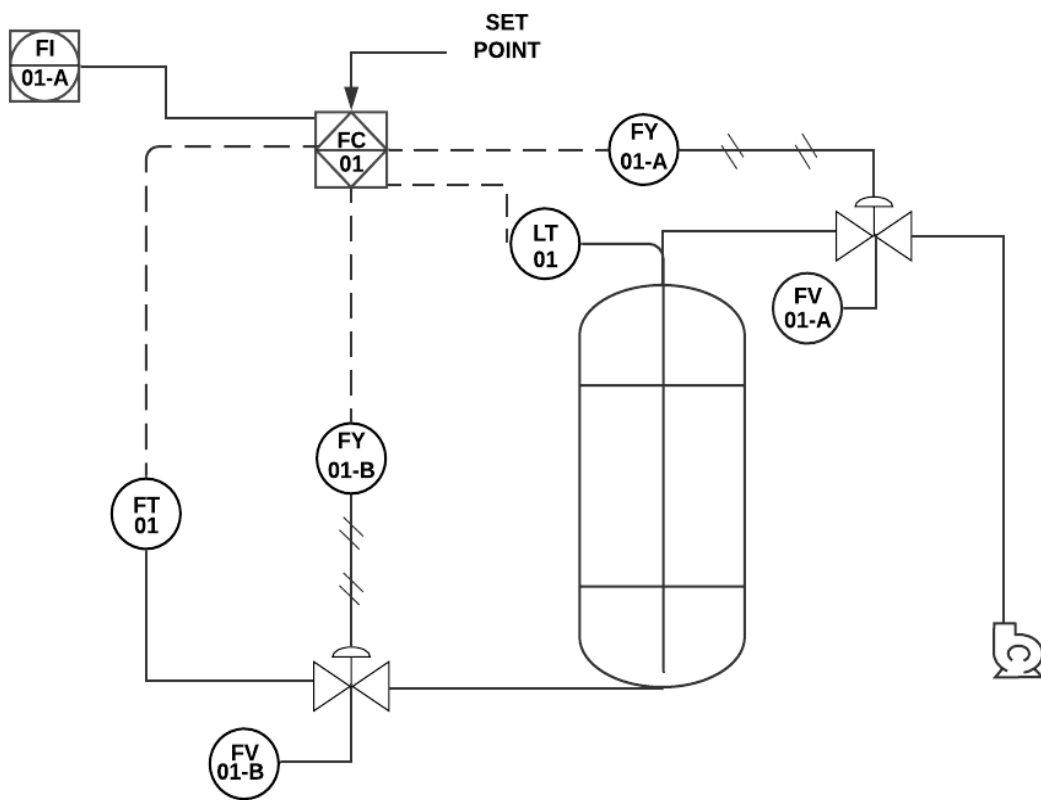


Figura 4.3. Diagrama P&ID del control de flujo

La simbología del diagrama P&ID se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 4.1. Simbología del diagrama P&ID

N°	Nomenclatura	Denominación
1	FV (01-A)	Válvula de llenado
2	FY (01-A)	Compensador de flujo
3	LT (01)	Transmisor de nivel
4	FV (01-B)	Válvula de descarga
5	FY (01-B)	Compensador de flujo
6	FT (01)	Transmisor de flujo
7	FC (01)	Controlador de flujo
8	FI (01)	Indicador de Flujo

4.1.2 Estación de salida producción

La escena presentada en la figura 4.4 consta de: 3 bandas transportadoras, dos brazos robóticos y 9 sensores difusos. En el tablero de control en la parte exterior se encuentran pulsadores de encendido y apagado, tres pantallas digitales y en el interior del tablero un controlador. La escena representa la clasificación de cajas por su tamaño y conteo de las mismas.



Figura 4.4. Entorno virtual (Clasificación de cajas)

4.2 Limitaciones del proceso

Conociendo los instrumentos con los que se va a trabajar en el control de flujo se procede a limitar las señales de los instrumentos, realizando en un normalizado de las señales de entrada y escalando los valores para las respectivas mediciones, tanto de los sensores y actuadores que intervienen en el proceso.

El normalizado de las señales de entradas se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 4.2. Normalizado y escalado de las señales

Instrumento	Señal (Int)	Normalizado (Real)	Escalado (Real)
Transmisor de flujo	0 – 10 V	0 - 27648	0 - 140 (lt/s)
Perilla local	0 – 10 V	0 - 27648	0 – 100 (%)
Transmisor de Nivel	0 – 10 V	0 - 27648	0 – 300 (cm)
Perilla remota	0 – 10 V	0 - 27648	0 – 100 (%)

4.3 Configuración del Controlador

El entorno virtual cuenta con un controlador que se puede comunicar con PLC-SIM del TIA PORTAL para esto se debe tomar la dirección IP del PLC, activar las marcas de ciclo y los mecanismos de conexión.

Configuración del protocolo IP

Dirección IP: 192.168.100.12

Sub Mascara: 255.255.255.0

Dirección del router: 192.168.100.1

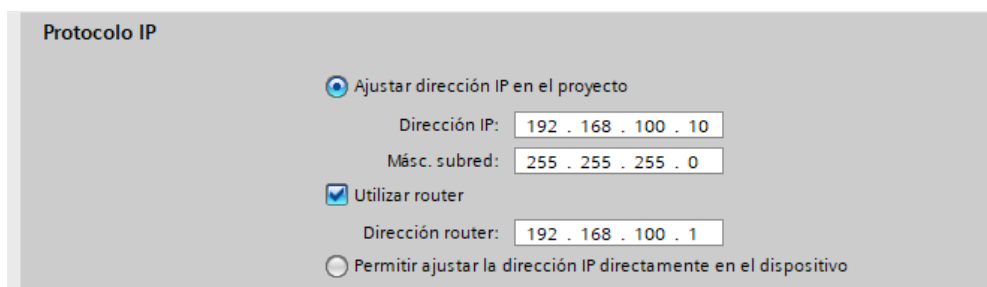


Figura 4.5. Protocolo IP

Marcas de sistema y de ciclo

Marcas de sistema y de ciclo

Bits de marcas de sistema

Activar utilización del byte de marcas de sistema

Dirección del byte de marcas de sistema (MBx):

Primer ciclo:

Estado de diagnóstico modificado:

Siempre 1 (high):

Siempre 0 (low):

Bits de marcas de ciclo

Activar utilización del byte de marcas de ciclo

Figura 4.6. Marcas de sistema y de ciclo

Protección y seguridad

Mecanismos de conexión

Permitir acceso vía comunicación PUT/GET del interlocutor remoto

Figura 4.7. Mecanismos de conexión

4.4 Programación del Controlador

4.4.1 Tabla de variables

Se considera los instrumentos que poseen el entorno virtual de flujo, en este caso los sensores, transmisores y actuadores. Tomando en cuenta el tipo de dato y la dirección que se le va asignar al controlador.

Tabla 4.3. Variables del entorno virtual

Nombre de variable	Tipo de Dato	Dirección
Válvula de descarga	Int	QW102
Transmisor de flujo	Int	IW102
SP	Int	QW104
PV	Int	QW106
Set Point	Int	IW104
Válvula de llenado	Int	QW100
Control Remoto	Bool	I0.4
Control Local	Bool	I0.5
Sensor difuso 1	Bool	I1.2
Sensor difuso 2	Bool	I1.3
Sensor difuso 3	Bool	I1.4
Sensor difuso 4	Bool	I1.5
Sensor difuso 5	Bool	I2.0
Sensor difuso 6	Bool	I2.1
Sensor difuso 7	Bool	I2.4
Sensor difuso 8	Bool	I2.5
Sensor difuso 9	Bool	I2.6
Inicio	Bool	I1.1
Paro	Bool	I3.4
Paro de emergencia	Bool	I3.3
Reset 1	Bool	I3.1
Reset 2	Bool	I3.4
Pick & Place1 X	Bool	Q1.1
Pick & Place1 Z	Bool	Q1.2
Pick & Place1 (Grab)	Bool	Q1.3
Banda 1	Bool	Q1.4
Banda 2	Bool	Q1.5
Banda 3	Bool	Q1.6
Pick & Place1 X	Bool	Q2.0
Pick & Place1 Z	Bool	Q2.1
Pick & Place1 (Grab)	Bool	Q2.2

4.4.2 Control de Flujo

Tomando en cuenta las limitaciones de las variables del proyecto se procede a realizar el normalizado y escalado en el TIA PORTAL, adicionalmente se realizará diferentes segmentos que será para el control de forma local o remota.

Segmento 1

En el primer segmento se hace el normalizado y escalado del transmisor de flujo que será el valor de caudal de salida del proceso, además de ello se usa la función especial MOVE para que el valor de la perrilla local sea representado en la válvula de llenado.

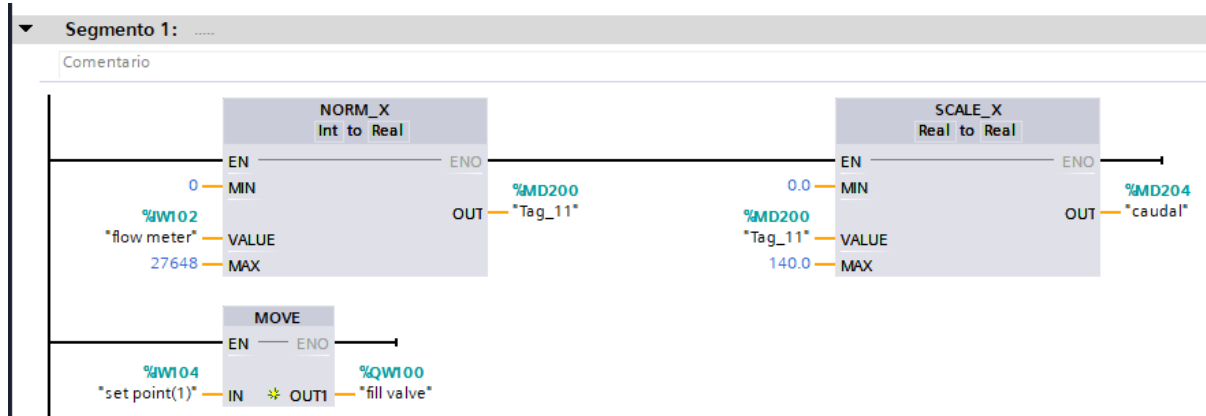


Figura 4.8. Normalizado y escalado del transmisor de flujo

Segmento 2

En el segmento dos se realiza la conversión de real a entero del valor de caudal del segmento número 1, adicionalmente se realiza un escalado de la salida del normalizado del segmento 1 para que sea esta memoria usada en el diseño del SCADA.

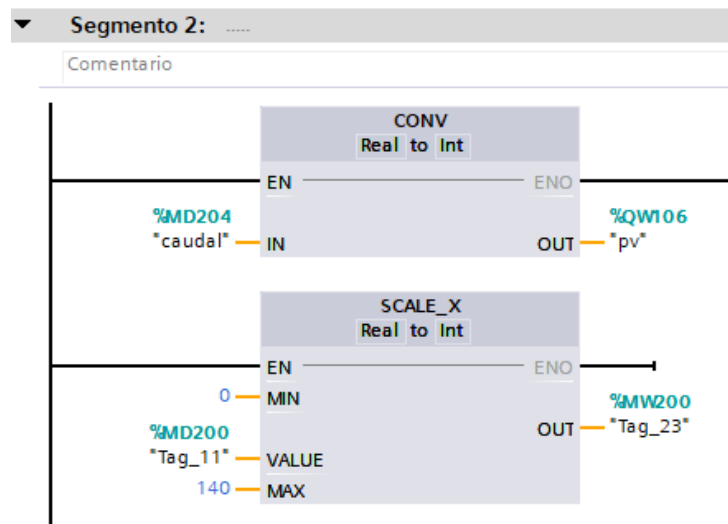


Figura 4.9. Conversión y escalado del valor de caudal

Segmento 3

Se establece el control de forma local en este caso de realiza un normalizado y Escalado del valor del set point, este mismo valor se convertirá en una variable entera para ser usada en el SCADA.

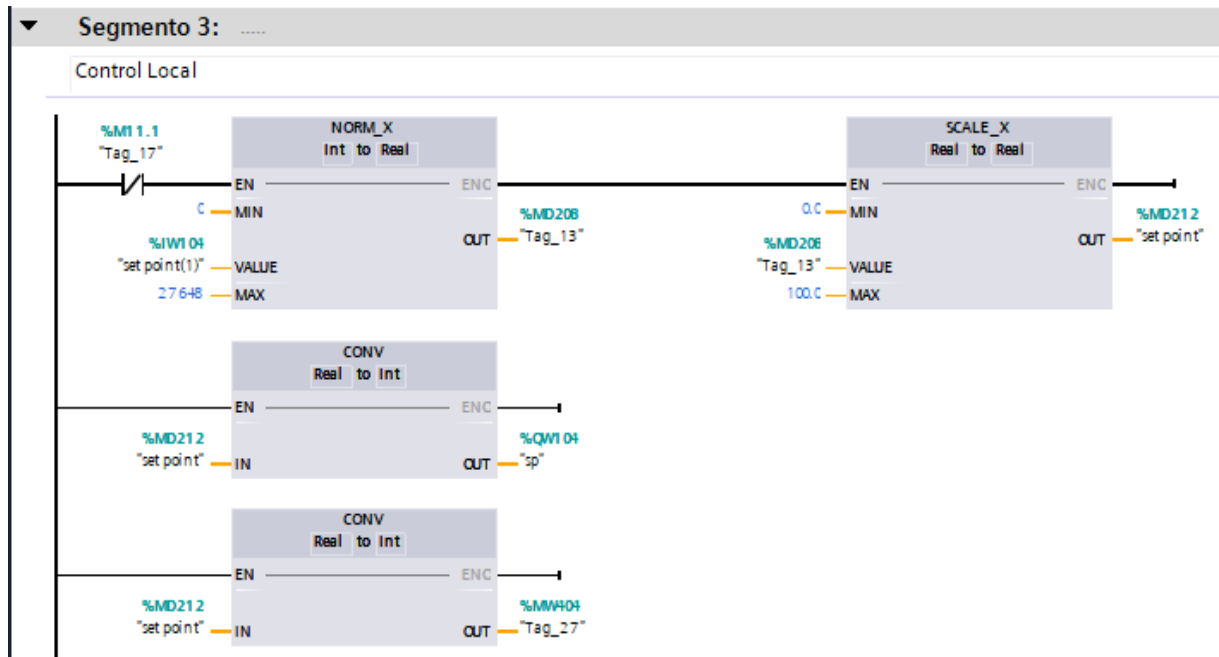


Figura 4.10. Control local

Segmento 4

Se realiza un normalizado y escalado del transmisor de nivel.

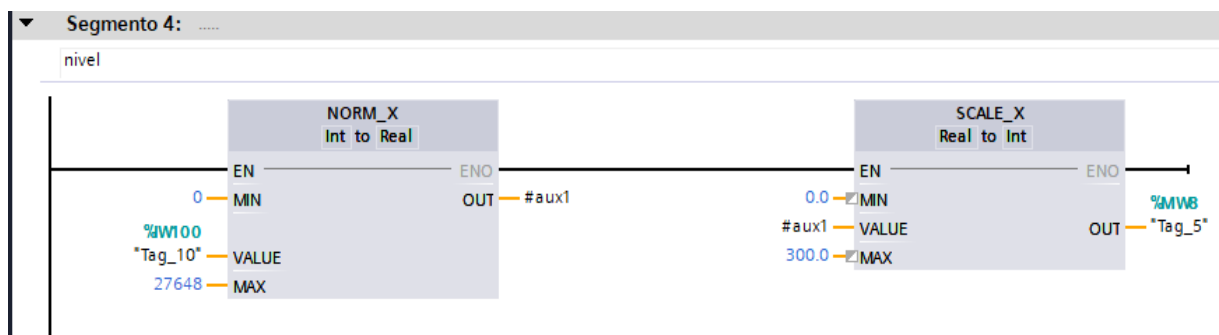


Figura 4.11. Normalizado y escalado del transmisor de nivel

En este segmento se toma en cuenta la existencia remota de un switch el cual será el indicador del tipo de control, sea este control local o control remoto.

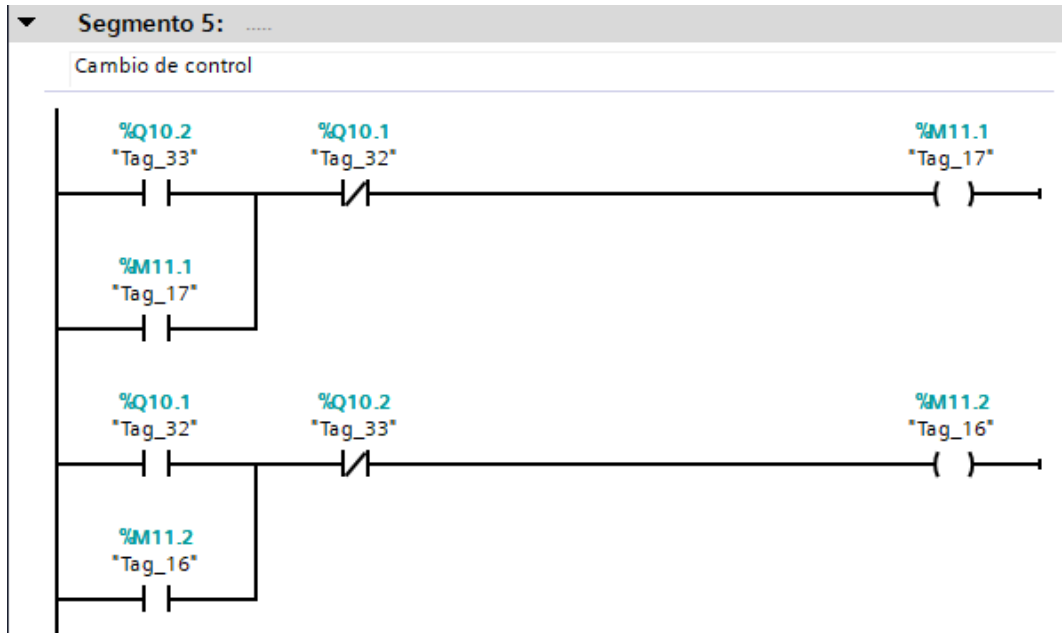


Figura 4.12. Cambio de control de forma local a remota

Se establece el control de forma remota en este caso se realiza un normalizado y escalado del valor del set point del SCADA, además de ello se usa la función especial MOVE para que el valor de la perrilla remota sea representado en la válvula de llenado.

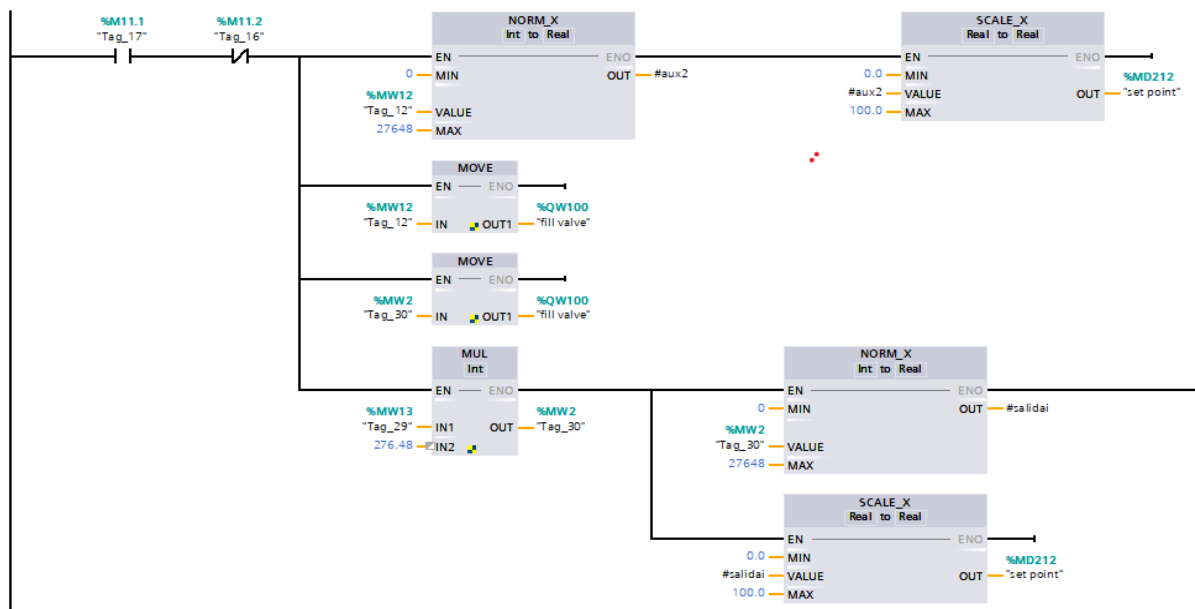


Figura 4.13. Control Remoto

4.4.2.1 Controlador PID para el control de flujo

4.4.2.1.1 Justificación matemática del PID TIA PORTAL

El PLC S7-1200 y S7-1500 cuenta con recursos tecnológicos como es el regulador PID para el control de procesos industriales, esta herramienta se inserta en el bloque de programación y se pone en servicio por medio de TIA PORTAL. El objetivo del regulador PID ayuda al control de un proceso mediante un algoritmo basado en las tres características del control PID: proporcional, integradora y derivativa. Para que el PID realice la operación de control de una forma adecuada se tiene que realizar los cálculos de la siguiente función matemática:

$$y = Kp[(b * w - x) + \frac{1}{Ti * s} (w - x) + \frac{Td * s}{a * Td * S + 1} (c * w - x)]$$

En donde:

Tabla 4.4. Nomenclatura de la fórmula PID

Letra	Significado
y	Valor de Salida del algoritmo PID
Kp	Ganancia proporcional
s	Operador Laplaciano
w	Consigna
x	Valor real
Ti	Tiempo de integración
Td	Tiempo derivativo
a	Coefficiente de retardo del acción derivativa
c	Ponderación de la acción D

4.4.2.1.2 Configuración PID_COMPACT

Para realizar el control PID en el TIA PORTAL se utiliza un bloque de organización que lleve a cabo una interrupción cíclica de 100 ms, para ello se debe añadir un bloque de organización.

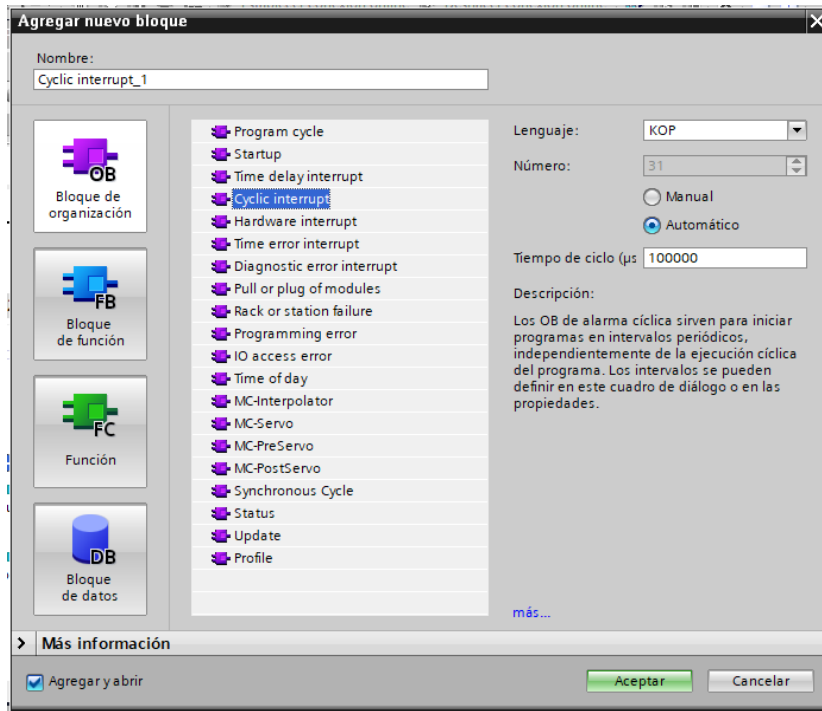


Figura 4.14. Bloque de interrupción cíclica

En el bloque de organización de interrupción cíclica se agrega el controlador PID, en este caso se utiliza el “PID Compact” encontrado en recursos tecnológicos y se establece el Setpoint, Input_PER y Output_PER.

Tabla 4.5. Variables PID

MD204	Entrada Caudal	Set point
MD212	Valor a variar	Input_PER
QW102	Salida del regulador	Output_PER

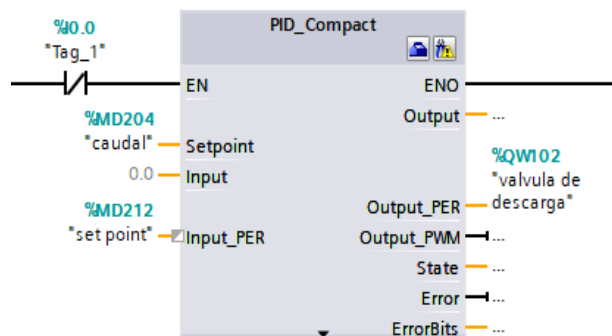


Figura 4.15. PID Compact

Dentro de los ajustes del PID Compact se realizan las siguientes configuraciones:

a. Tipo de Regulación

Es el primer ajuste que se realiza al bloque PID en este caso nos permite escoger el tipo de magnitud física como puede ser: fuerza, masa, volumen, caudal entre otras. En este caso la variable física será el caudal medido en l/s.

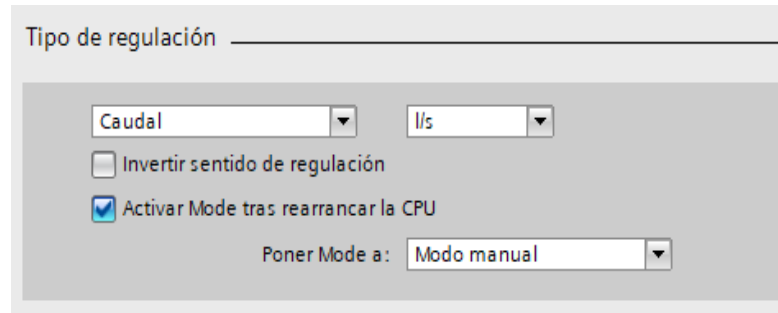


Figura 4.16. Tipo de regulación PID

b. Parámetros de entrada y salida

La segunda configuración establecerá el tipo de entradas y salidas en este caso el valor Input_PER permite conectar una entrada analógica que se podrá escalar a un rango deseado. La salida será una Output_PER, en este caso el actuador se activa por medio de la salida analógica y se controla con una señal como puede ser 0-10v o 4-20mA.

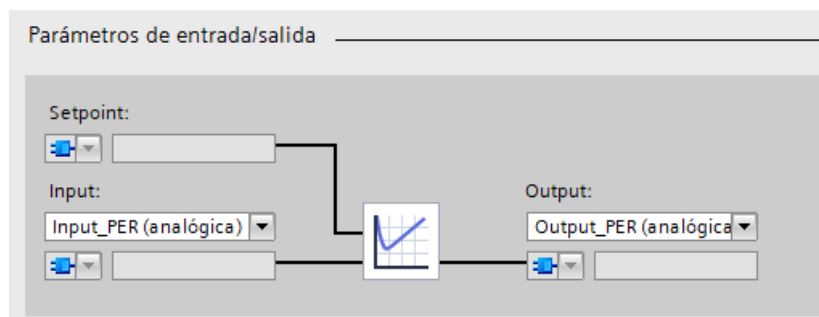


Figura 4.17. Parámetros de entrada y salida

c. Escalado del valor real

En este caso la entrada analógica será escalada para establecer el valor máximo y mínimo de la magnitud física. En este caso el máximo será los 27648 a una entrada de 4mA.

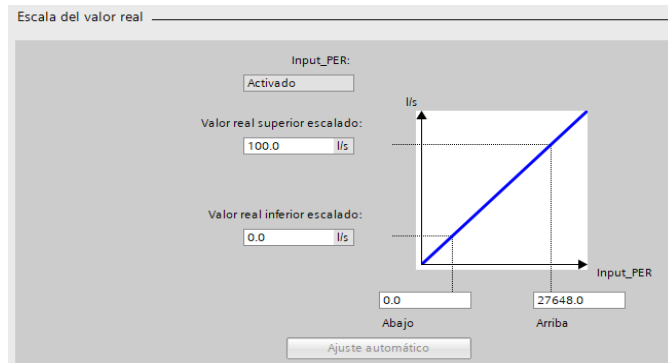


Figura 4.18. Límites del valor real

d. Límites del valor de salida

Permite establecer el rango de salida en el cual el PID estará limitado.

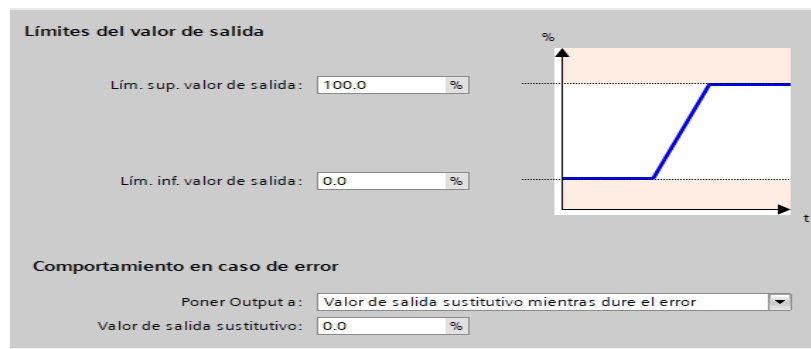


Figura 4.19. Límites del valor de salida

4.4.3 Clasificación de cajas (Salida de producción)

Para la salida de producción, se toma en cuenta tres escenas con diferentes secuencias debido al tamaño de las cajas.

Secuencia para cajas pequeñas

En este caso la salida de las cajas pequeñas será de la banda principal donde provienen todas las cajas, en la banda principal se encuentra 3 sensores difusos, 2 son encargados de enviar la señal discreta al brazo robótico 1 en caso de ser caja mediana o grande, si no es así el brazo no realizará ninguna acción, y al final de la banda transportadora 1 se encuentra el tercer sensor difuso encargado del conteo de las cajas pequeñas.



Figura 4.20. Banda transportadora 1

Secuencia para cajas medianas y grandes

Si el sensor difuso que se encuentra en la parte inferior del brazo 1 detecta la presencia de una caja mediana o grande, inmediatamente envía una señal al controlador para que detenga al motor de la banda transportadora 1 y 2, y se activa el brazo robot cumpliendo la secuencia de programación, en este caso intercambiando a la caja mediana o grande de banda transportadora hasta la parte final de la banda 2, donde se cumplirá otra secuencia en caso de ser una caja grande, caso contrario la caja mediana será contada y almacenada.

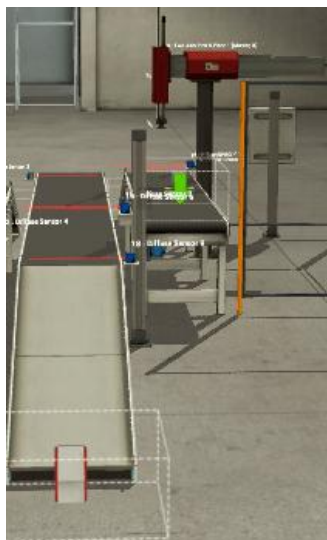


Figura 4.21. Banda transportadora 2

Secuencia para cajas grandes

Se detecta la caja grande por medio de los sensores ubicados al final de la banda transportadora 2, en este caso el sensor difuso al detectar la caja será el que envíe la señal discreta al controlador accionando al brazo 2, parando la banda transportadora 2, intercambiando la caja grande hacia la banda número 3, y finalmente en la banda número 3 la caja grande al ser detectada por el sensor difuso reseteará al brazo número 2 siendo contada y almacenada.

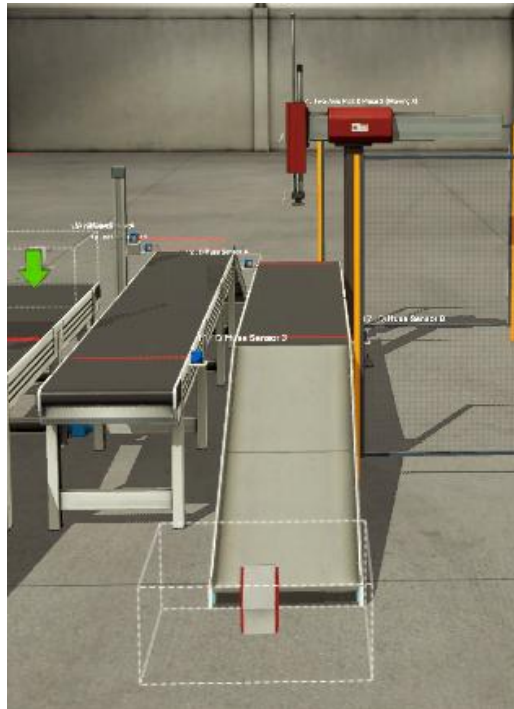


Figura 4.22 Banda transportadora 3

4.5 Selección del software para realizar el SCADA

Para seleccionar el software en donde se va desarrollar el SCADA se debe tener en cuenta que este software pueda acceder a un servidor OPC, el cual será el intermediario entre el PLC y SCADA para ello en el mercado se encuentran diversos softwares descritos en la siguiente tabla:

Tabla 4.6. Softwares para SCADA

Software	Costo	Conexión OPC	Versión de prueba	Librerías y elementos	Interfaz
WinCC	888,25 \$	SI	Limitada	Intermedio	Fácil Uso
Labview	3,525.00 \$	SI	Limitada	Intermedio	Moderado
Ignition	3,700 \$	SI	Ilimitada	Intermedio	Moderado

Los diferentes softwares poseen casi similares características, pero en este caso la mejor alternativa es Ignition, porque se puede aprovechar la versión de prueba la cual nos permite trabajar de forma ilimitada en el desarrollo del SCADA.

4.6 Comunicación entre software de control- software de desarrollo de SCADA

Una vez finalizada el desarrollo del programa en el controlador y la elección del software para el SCADA se procede a realizar la comunicación entre el controlador y el software para el desarrollo de SCADA, la cual en configuración de cliente se establece comunicación a través de una conexión Ethernet bajo el protocolo TCP/IP. En este caso el router se convierte en una puerta de enlace predeterminada, la dirección IP del controlador cumple un papel muy importante, el software Ignition se comunica con el controlador en base a su dirección IP, en este caso se configura el dispositivo solo con el nombre y la dirección IP.

En la figura 4.23 se observa cómo fue establecida la comunicación mediante el protocolo Ethernet TCP/IP, donde el router es el que se va encargar de la comunicación entre la planta del proceso, controlador, nube industrial y finalmente con nuestro SCADA.

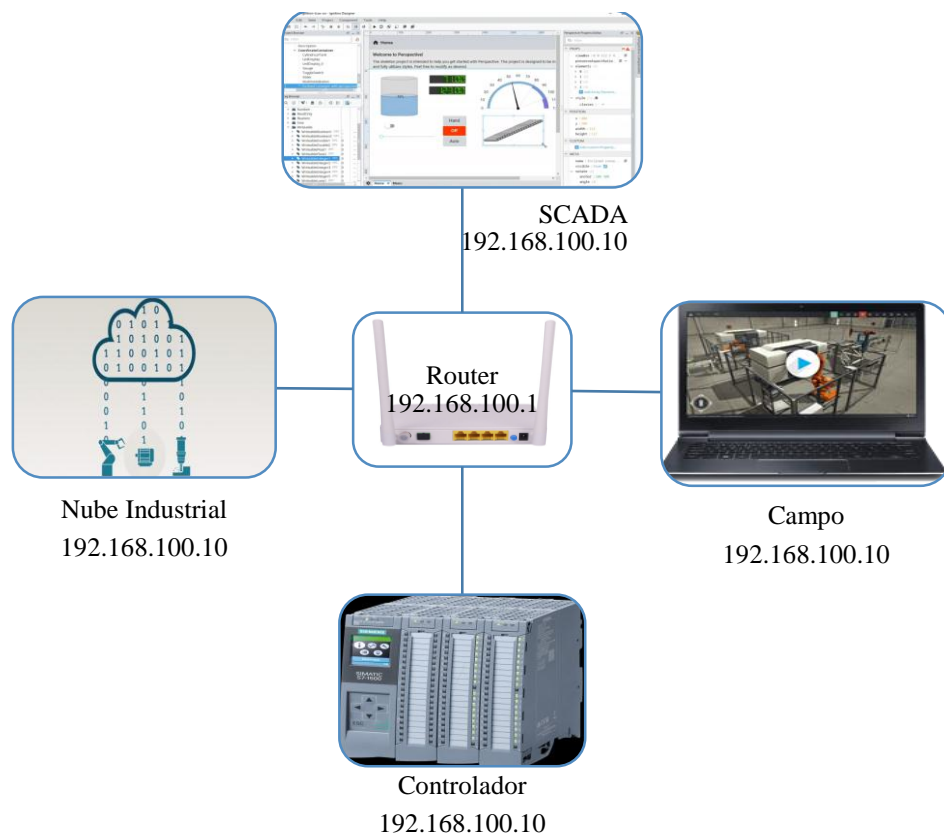












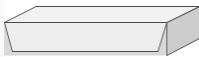


Figura 4.23. Comunicación entre el PLC y software Ignition

4.7 Desarrollo del SCADA

Para desarrollar el SCADA del control de flujo, salida de producción se tiene que descargar Ignition Designer en el servidor web de Ignition, el cual nos permite realizar la interfaz gráfica del proceso a controlar, se utilizan los símbolos internos del programa para diseñar el proceso a controlar en este caso se describen en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Fábrica de Símbolos

Gráfico	Nombre
	Selector
	Tanque
	Válvula de diafragma
	Transmisor de flujo
	Transmisor de nivel
	Slider
	Tubería
	Pulsadores
	Banda transportadora
	Brazo neumático Z
	Brazo neumático X
	Sensor difuso
	Caja

4.7.1 Configuración con servidor OPC

Ignition puede realizar la comunicación con diversos dispositivos por protocolo Modbus RTU, TCP, Ethernet entre otros, al conectar un dispositivo automáticamente la plataforma crea un servidor OPC vinculado con la página web, el servidor estará en constante intercambio de datos siempre y cuando no exista un agente externo que ocasione la desconexión de los datos enviados del router a la red.

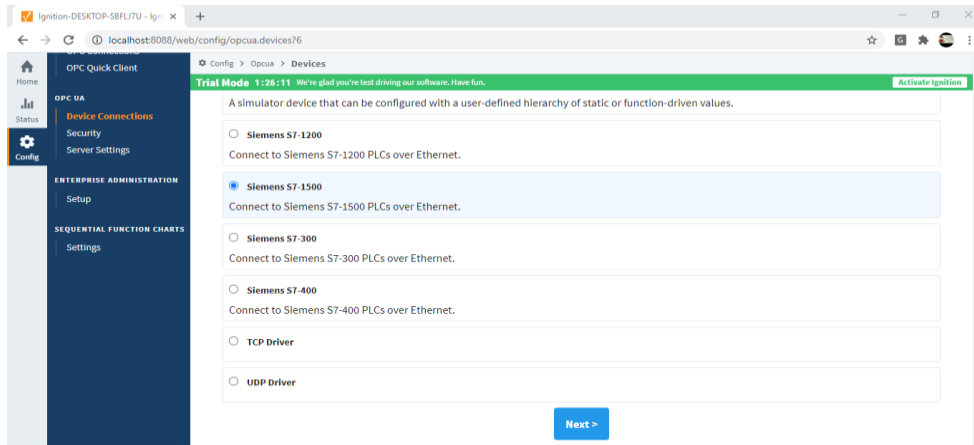


Figura 4.24. Selección del dispositivo

En este caso se selecciona el controlador con el que se va a trabajar y el tipo de comunicación a realizar.

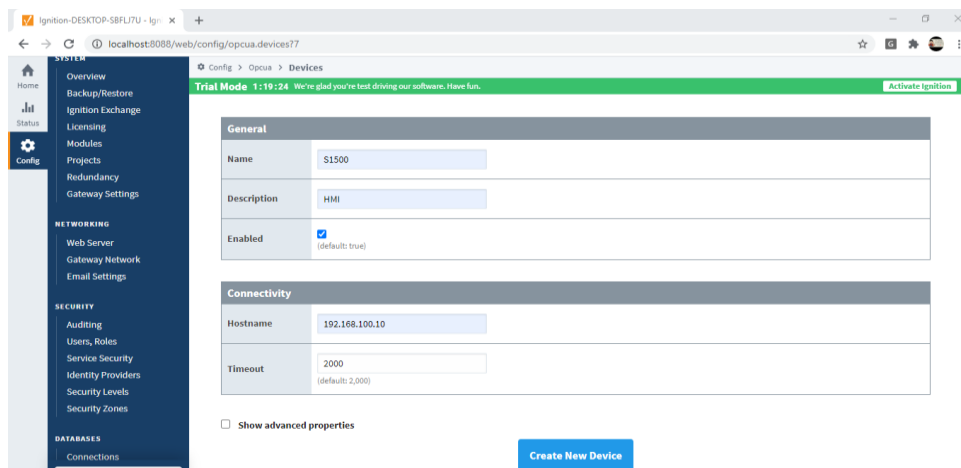


Figura 4.25. Configuración IP del dispositivo

Se le asigna un nombre al controlador, una descripción de lo que se está realizando y lo más importante es añadir la dirección IP con la que se va a comunicar el PLC, si se agrega una dirección incorrecta no se podrá enviar las variables al servidor web.

4.7.2 Insertar Variables del controlador

Establecida la comunicación con la página web de Ignition, se puede insertar las variables del PLC al Ignition Designer, en este caso se configuran cada una de las variables a controlar, definiendo bien el tipo del valor de la variable, sea tipo Word, boolean, float, doublé, entre otras, adicionalmente se debe seleccionar el servidor OPC y el nombre de la variable como se observa en la figura 4.26.

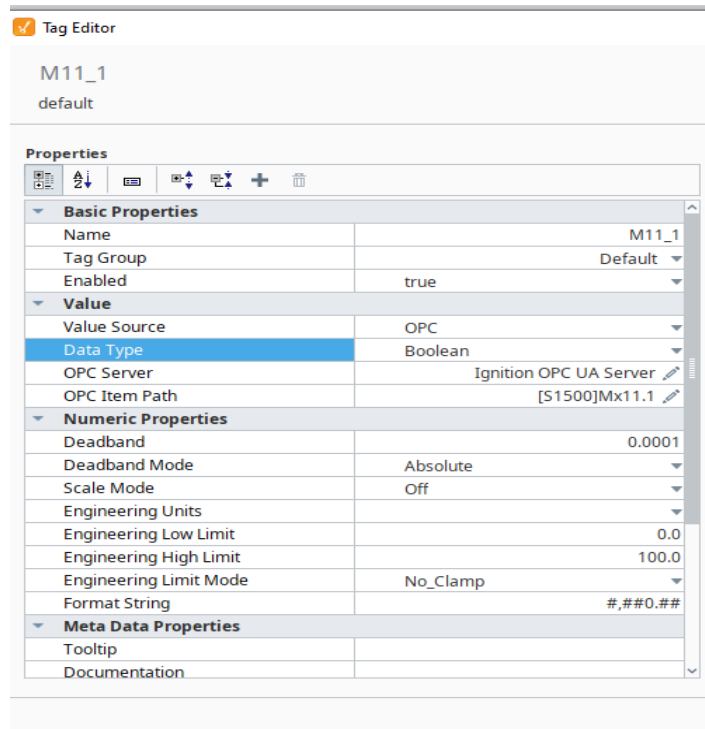


Figura 4.26. Configuración de Variables

El Ignition OPC UA Server será el encargado del intercambio de datos entre el PLC y la interfaz gráfica, para hacer el llamado de las variables se tiene que escribir el nombre del dispositivo en corchetes y la dirección de la variable en este caso se trabaja con una memoria M11.1 en la configuración OPC será Mx11.1.

4.7.3. SCADA control de flujo

Una vez determinadas todas las variables que intervienen en el proceso de control de flujo se diseña la pantalla principal del SCADA en donde se encontrará los indicadores, el tipo de control sea de forma remota o local, las variables flotantes que en este caso será indicadores de entrada y salida de flujo, el nivel del tanque y el set point remoto.

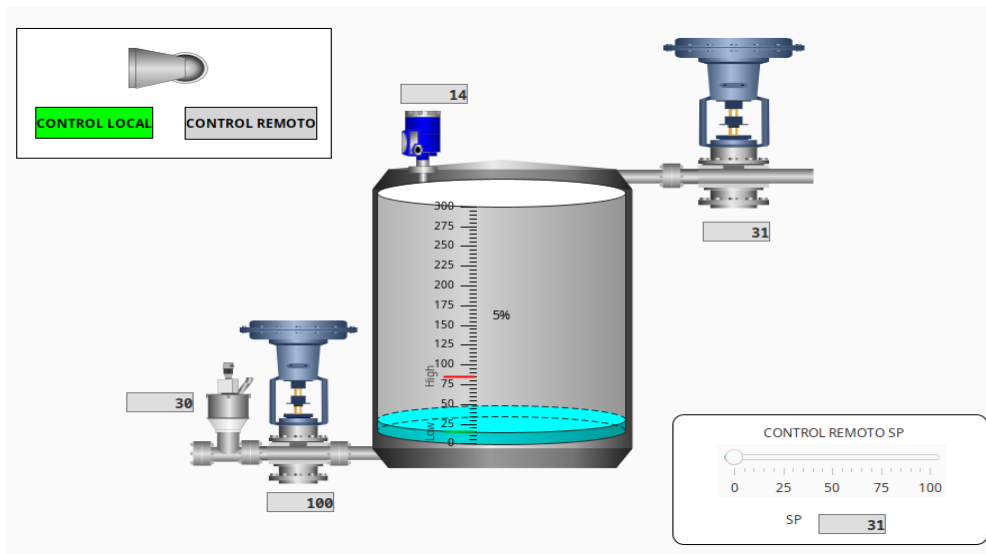






Figura 4.27. Pantalla Principal del SCADA

4.7.4 Diseño del SCADA basado en normativa ISA 101

4.7.4.1 Simbología basada en la norma ISA 101

Tabla 4.8. Simbología ISA

Símbolo	Significado
	Tanque
	Válvula de diafragma
	Transmisor de Flujo
	Display indicador Analógico

4.7.4.1.1 Interfaz HMI basado en la norma ISA 101

Determinada la simbología se procede a realizar el HMI que en este caso sigue el gráfico del P&ID, este no tiene una guía común para el estilo, los colores se mantienen en tonos grises a diferencia del SCADA tradicional que representa el proceso en forma gráfica.

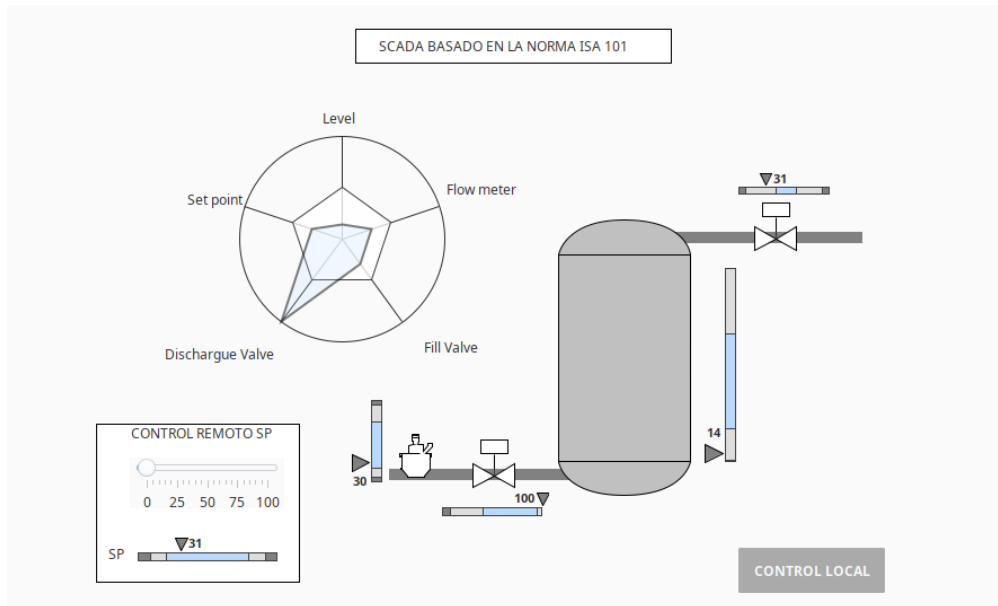


Figura 4.28. Pantalla SCADA basada en la norma ISA 101

4.7.3.2 SCADA sistema de salida de producción

Una vez determinadas todas las variables que intervienen en la salida de producción se diseña la pantalla principal del SCADA en donde se encontrará la representación de las 3 bandas transportadoras, los brazos robóticos, sensores difusos y además de esto se tiene la salida de producción que registra el número de cajas pequeñas medianas y grandes. La pantalla SCADA cuenta con su propio sistema de control y un detector de falla en los brazos robóticos.

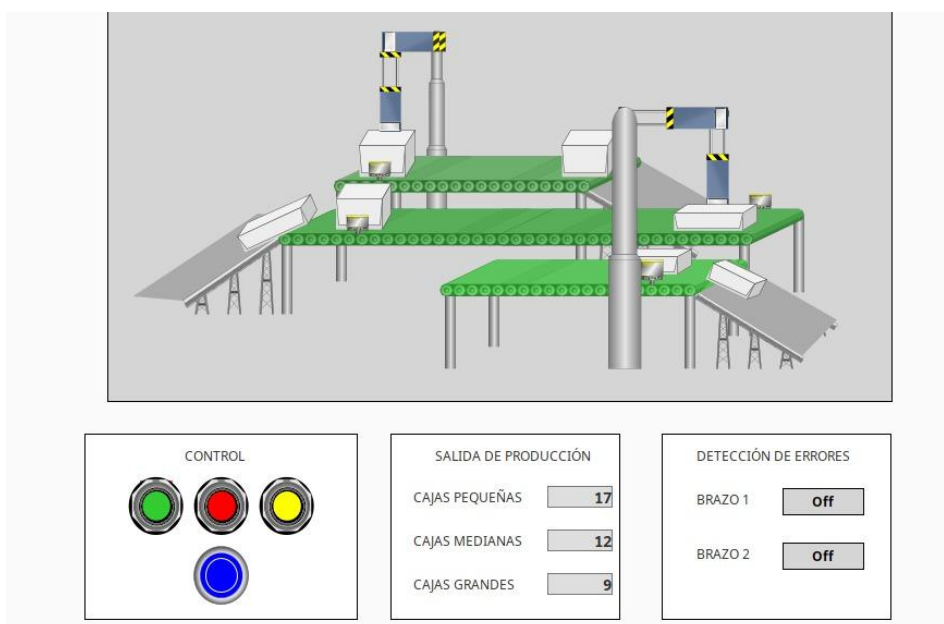


Figura 4.29. Pantalla SCADA salida de producción

4.8 Selección del software para la Arquitectura IoT

Para poder monitorear las variables de forma remota se aprovecha el IOT o también conocido internet de las cosas, consiste en enviar las variables del proceso a una nube industrial, existen varios softwares en el mercado para realizar monitoreo IOT como se ve en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Páginas IOT

Página	Requisitos	Licencia
Nodo red	Raspberry Pi 4	Gratuita
SIMATIC IOT2000	Módulo IOT	Pago
Ubidots	Raspberry Pi 4 o Arduino	Pago
Nube Industrial	Bloque HTTP	Demostrativa

En este caso la mejor página es Nube industrial porque solo basta agregar un bloque de programa a la programación realizada en TIA PORTAL. Y este bloque de programa permite al dispositivo vincularse a la nube y actualizarse constantemente siempre que exista una conexión de internet.

4.8.1 Comunicación en base a la arquitectura IOT

En este caso se utilizará las librerías brindadas por la página nube industrial el bloque HTTP y la librería Json que se encarga de enviar cualquier tipo de variable sea boolean, float, Real, String entre otros. Se agrega un bloque de programa y se colocan las variables que se desean enviar a la nube industrial, en este caso el segmento número 1 de la programación del IOT será de las entradas Json:

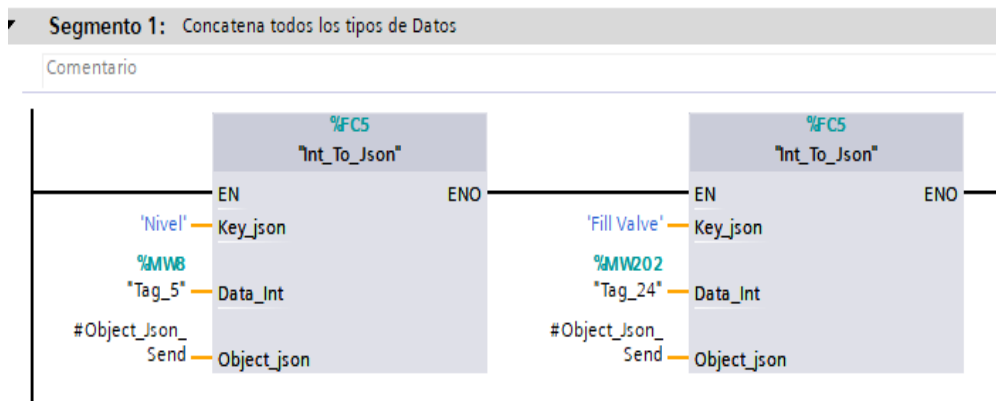


Figura 4.30. Bloque Json

En el segmento número 2 se agrega el bloque de comunicación envío para enviar las variables Json establecidas en el segmento número 1, se tiene que considerar que en este bloque se tienen que configurar una cuenta para acceder a la nube industrial y la contraseña:

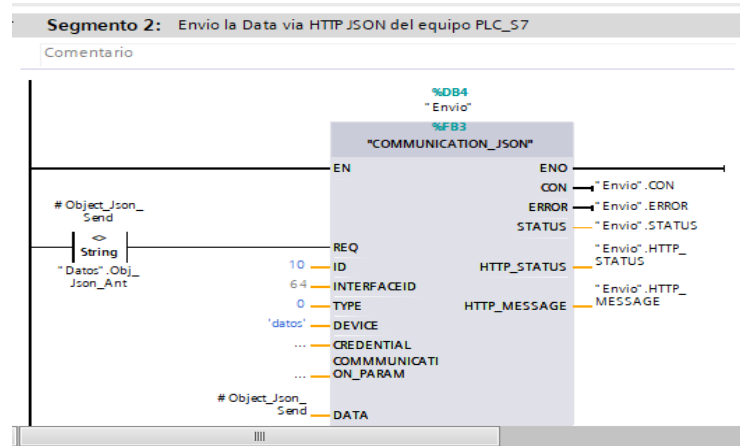


Figura 4.31. Bloque HTTP Envío

En el segmento número 3 se agrega el bloque de comunicación recibe para recibir las variables Json establecidas en el segmento número 1, se tiene que considerar que en este bloque se tienen que configurar una cuenta para acceder a la nube industrial y la contraseña:

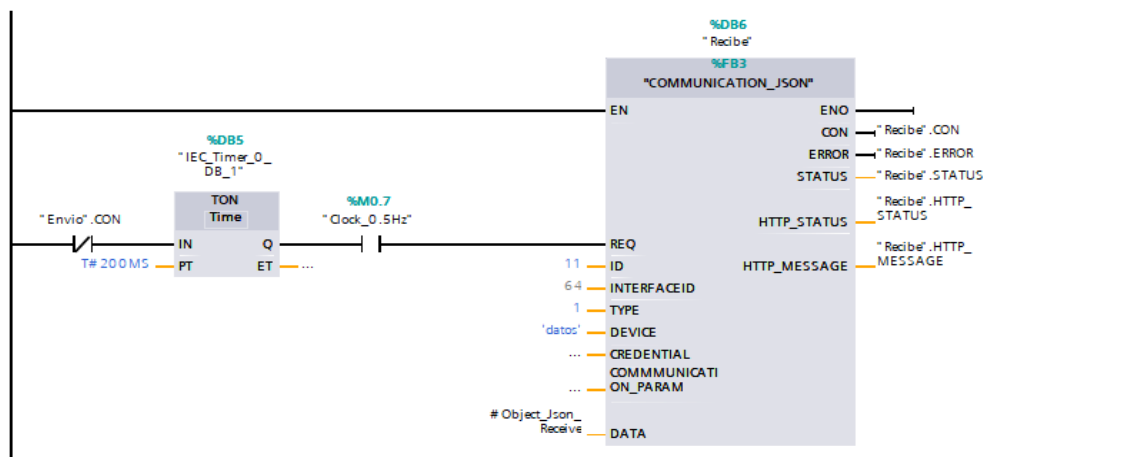


Figura 4.32. Bloque HTTP Recibe

En el segmento número 4 va a ser la comprobación de la llegada de los datos con su respectivo nombre de variable en la nube industrial:

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Interfaz gráfica del SCADA, control de flujo y monitoreo IOT

En la figura 5.1 podemos observar la planta virtual, el SCADA y las variables de entrada y salida del proceso enviada a una nube industrial en tiempo real, cumpliendo con el objetivo general, en esta figura se muestra la pantalla principal del SCADA y su interfaz con el usuario, las variables de las 3 estaciones tienden a ser las mismas.

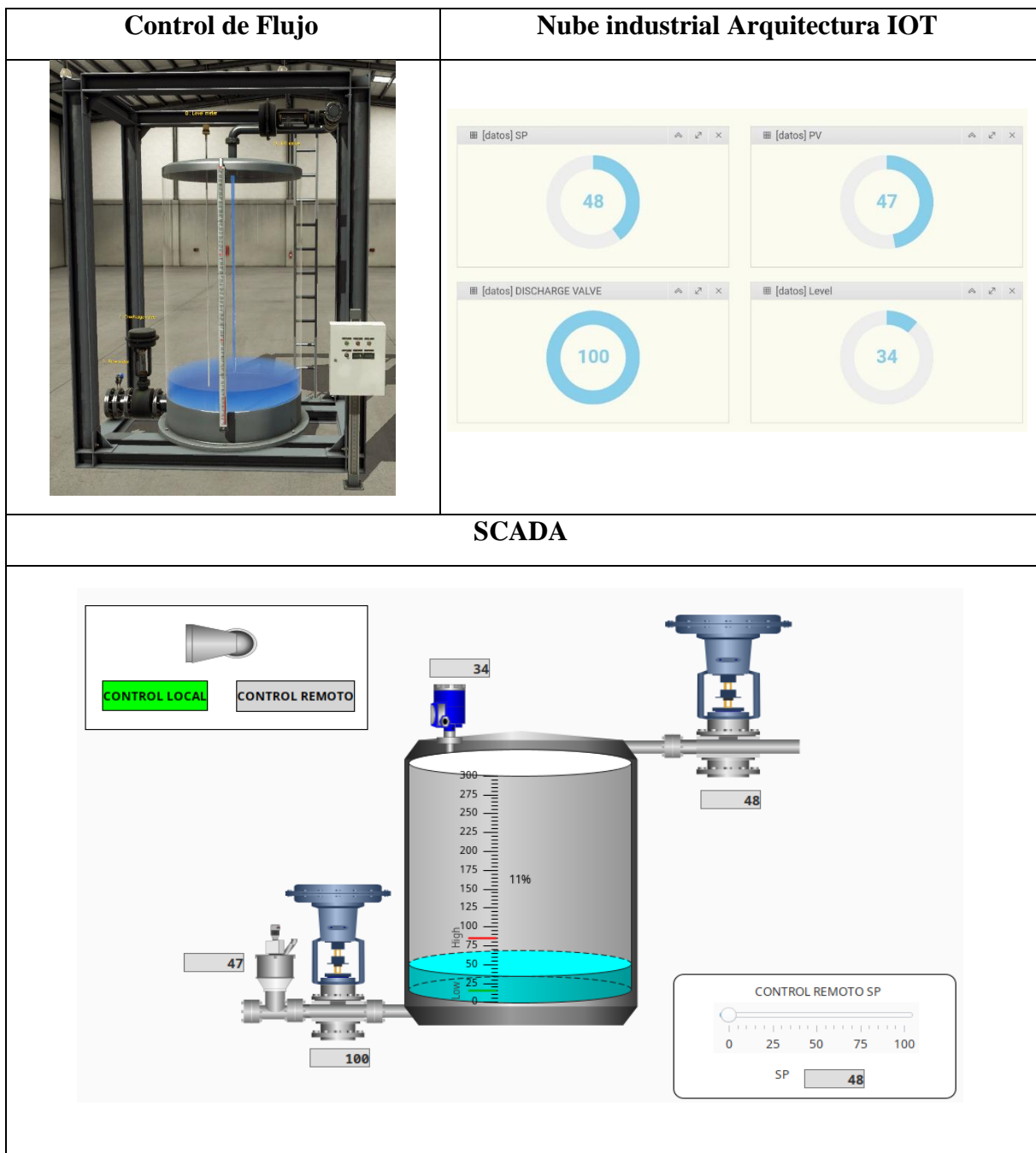


Figura 5.1. SCADA, control de flujo y monitoreo IoT

Descripción del funcionamiento

- La estación de control de flujo se encuentra previamente cargada por la programación realizada en el controlador que se encarga de limitar y controlar a los sensores y actuadores del proceso.
- El SCADA representa todos los actuadores y sensores del proceso, además se puede cambiar el tipo de control de control local a remoto.
- En la nube industrial las variables se pueden monitorear de forma remota, y si se realiza un tipo de cambio a los datos inmediatamente se verá reflejada la alteración en la nube.

5.1.1 Controlador PID

Realizado los ajustes en el PID compact, se da a conocer las curvas de sintonización en puesta a servicio y las variables que se encargará de mantener un valor constante de flujo en todo el proceso.

5.1.1.1 Puesta en servicio

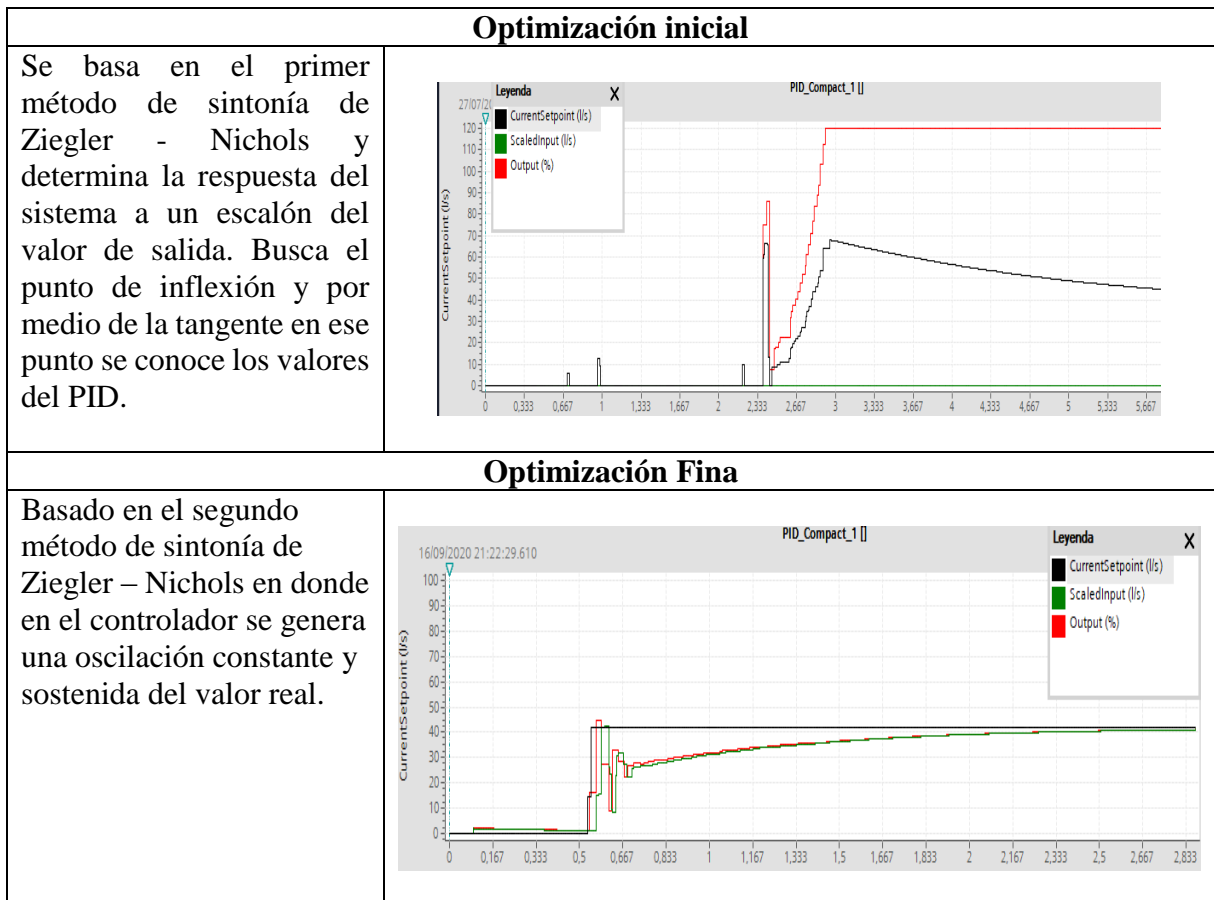


Figura 5.2. Puesta a servicio PID

La gráfica representa el cambio de la variable de flujo versus tiempo, en donde existen 3 diferentes tipos de líneas gráficas explicadas en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Simbología de la curva PID

CurrentSetpoint (l/s)	SP	Potenciómetro
ScaledInput (l/s)	PV	Transmisor de Flujo
Output	CV	Control en la válvula de descarga

5.1.1.2 Parámetros PID

Los cálculos realizados para mantener un control de flujo constante se los define en la tabla 5.2, en este caso los parámetros se deben reemplazar en la fórmula del PID_COMPACT y en los parámetros del bloque PID para que el controlador tenga valores óptimos de trabajo.

Tabla 5.2. Valores calculados para control PID

Parámetros	Valor calculado
Ganancia proporcional	1.0
Tiempo de integración	20.0 s
Tiempo derivativo	0.0 s
Coefficiente de retardo de la acción derivativa	0.2s
Ponderación de la acción D	1.0

5.1.2 Prueba del SCADA en control local

En este caso el control local debe ser realizado a nivel de campo y todas las variables que se alteren en el campo tienen que ser de igual manera alteradas en el SCADA, en el controlador y en la nube industrial, para ello nos guiamos de la figura 5.3 se establece un valor de set point de 68, inmediatamente la gráfica del PID tiende a crecer hasta alcanzar el valores, los datos de la nube industrial cambian inmediatamente.

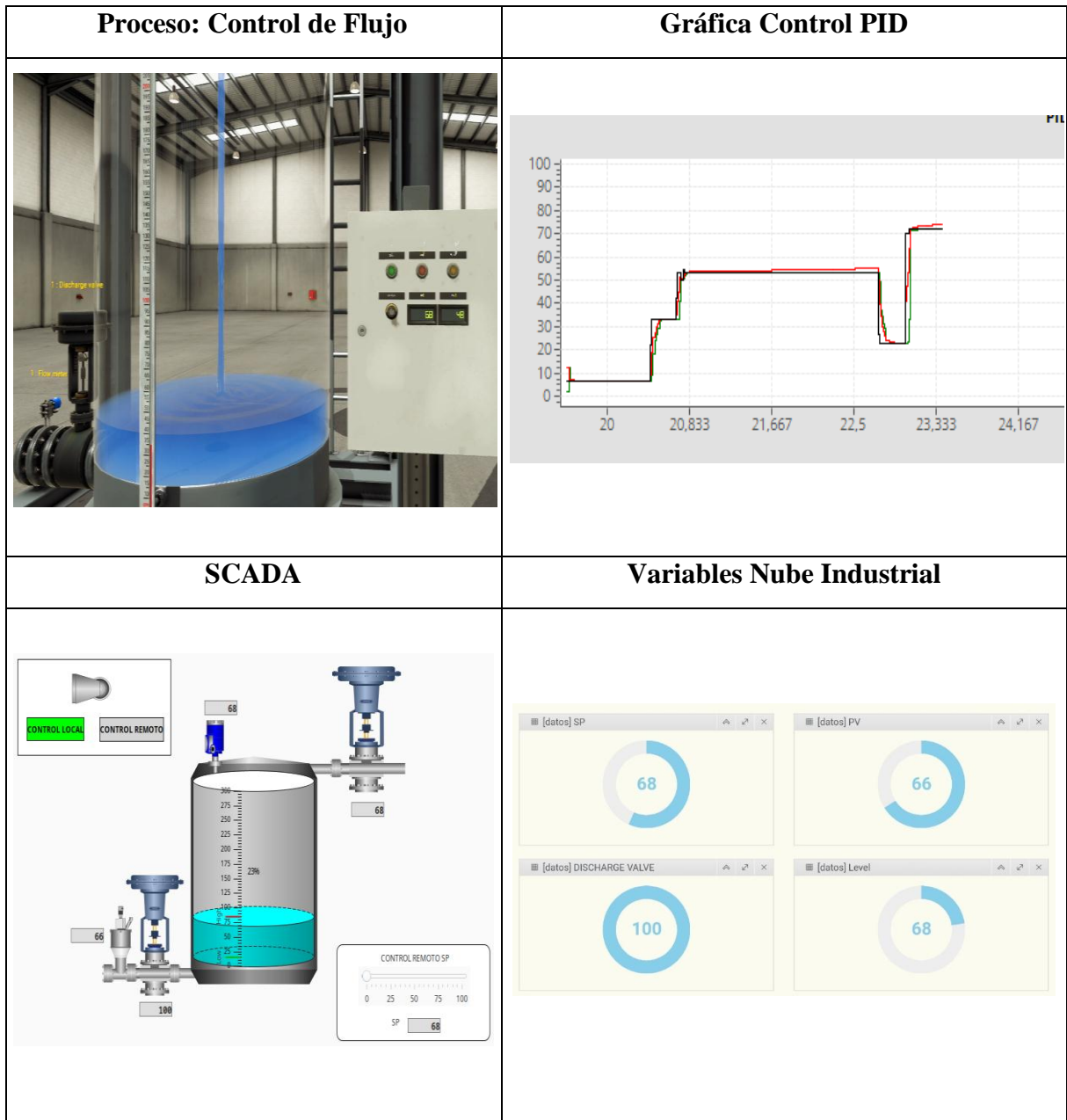


Figura 5.3. Prueba de control local

5.1.3 Prueba del SCADA en control remoto

En este caso el control remoto debe ser realizado desde el SCADA y todas las variables que se modifiquen tienen que cambiar en el campo, en el controlador y en la nube industrial, para ello nos guiamos de la figura 5.4, en donde se establece un flujo de salida de 7, la gráfica PID actúa al instante reduciendo el flujo, los valores de la nube industrial cambian en un tiempo inmediato.

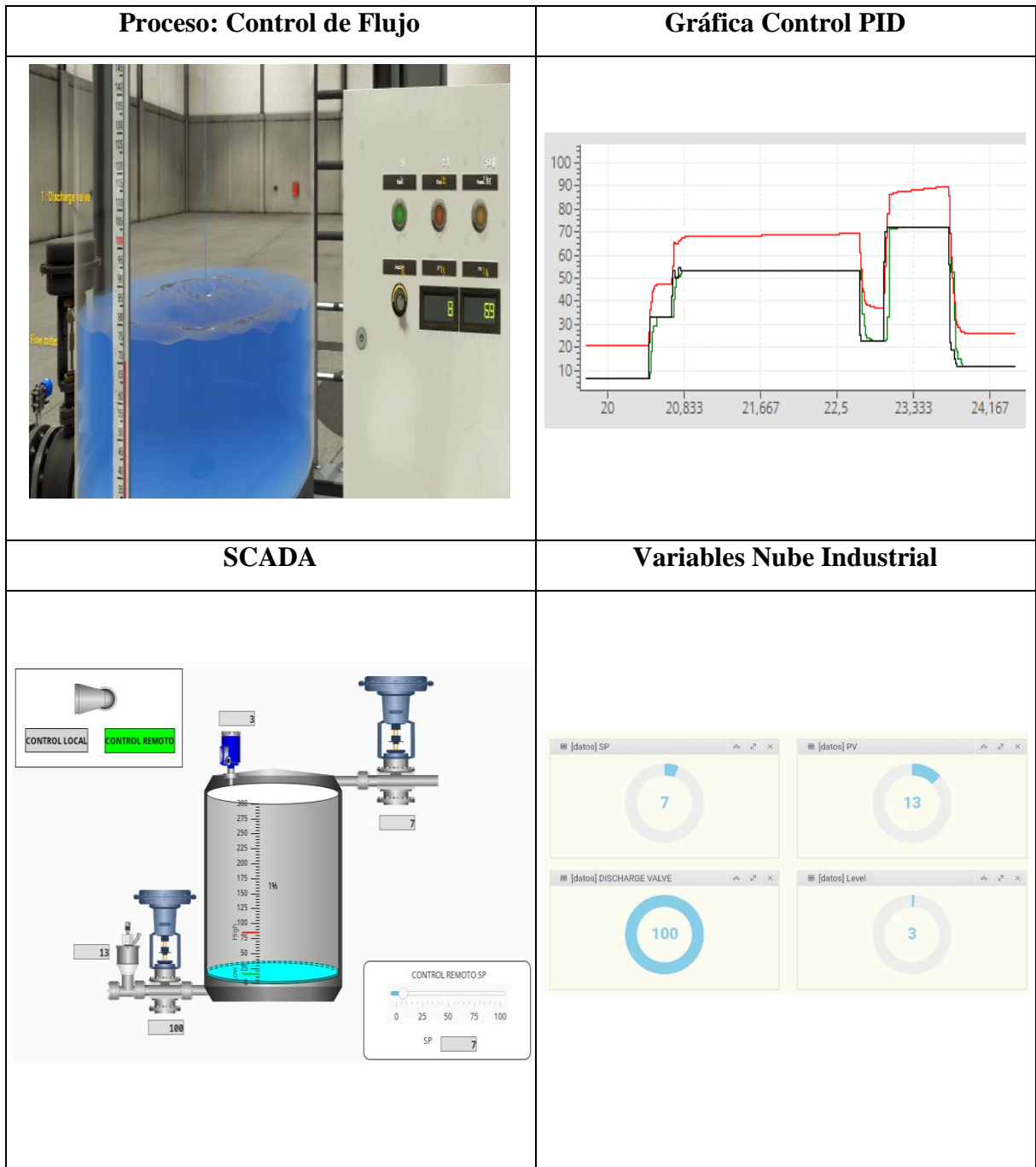


Figura 5.4. Prueba de control remoto

5.2. SCADA salida de producción

En la figura 5.5 podemos observar el SCADA de la salida de producción, las variables enviadas a una nube industrial en tiempo real, que en este caso enviará la cantidad de cajas pequeñas, medianas o grandes que han sido almacenadas.

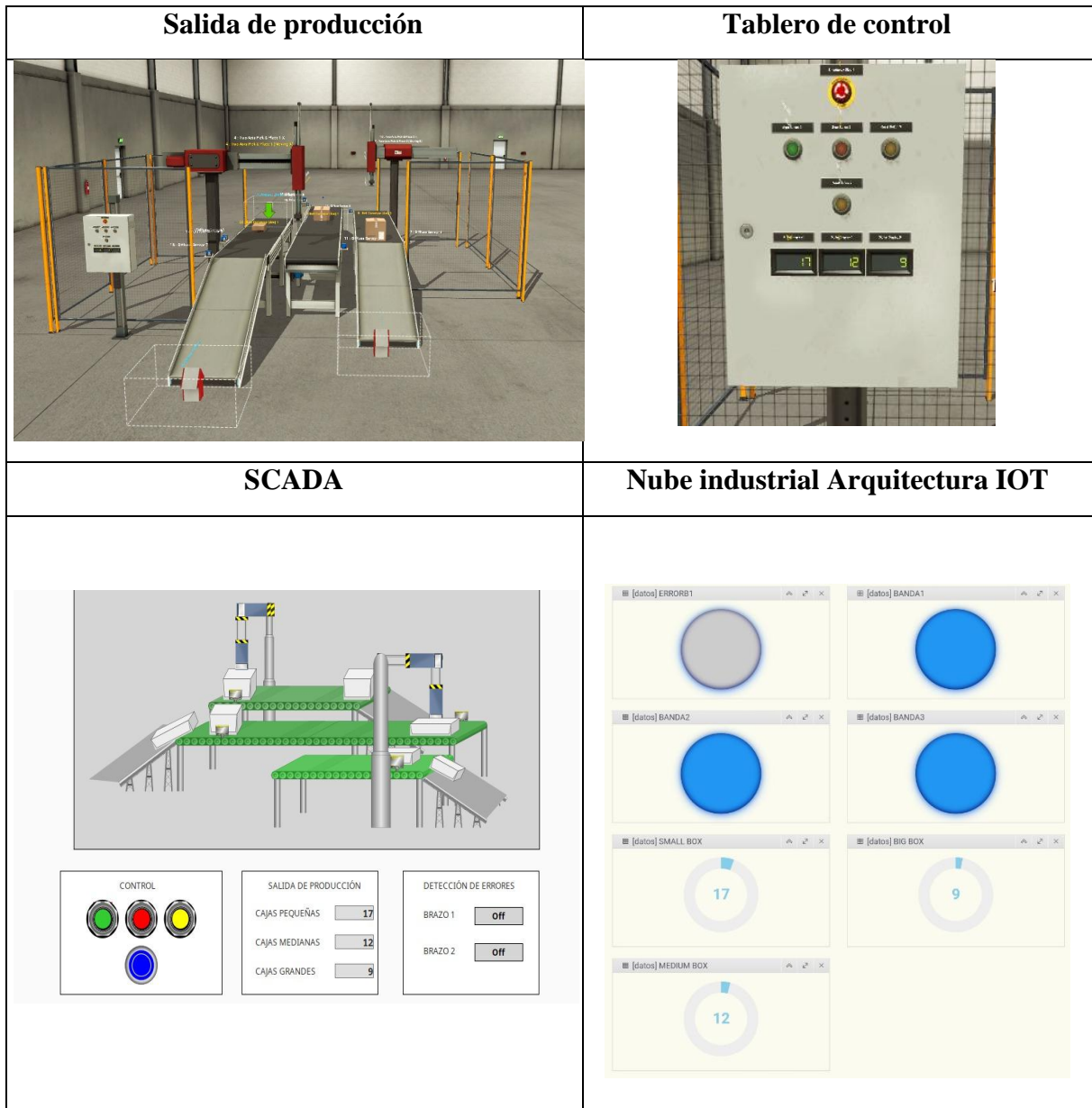


Figura 5.5. SCADA, salida de producción y monitoreo IoT

Descripción del funcionamiento

- En la estación de salida de producción se aprecia los movimientos de la banda transportadora, la acción de los sensores difusos y su interacción con los brazos robóticos.
- El SCADA representa todos los actuadores y sensores del proceso, también puede realizar un control remoto, mediante los pulsadores que están vinculados con las variables del entorno virtual y adicional tiene la capacidad de detectar fallas en los brazos robóticos.

- En la nube industrial se llevará el registro de la salida de producción y además se puede observar el estado “on” o “off” de las bandas transportadoras y visualizar de forma remota cuántas cajas están saliendo en ese momento.

5.2.1 Detección de errores por medio del SCADA

En la estación de salida de producción se simuló una falla en la banda transportadora 1 en este caso el brazo robótico no recibió la señal de activación y la caja se quedó en la banda transportadora, cuando esto sucede el SCADA lo detectara y se puede realizar un stop de forma remota si el sistema no se autocorrije, el SCADA nos permite tomar una decisión rápida en caso de errores en el sistema.

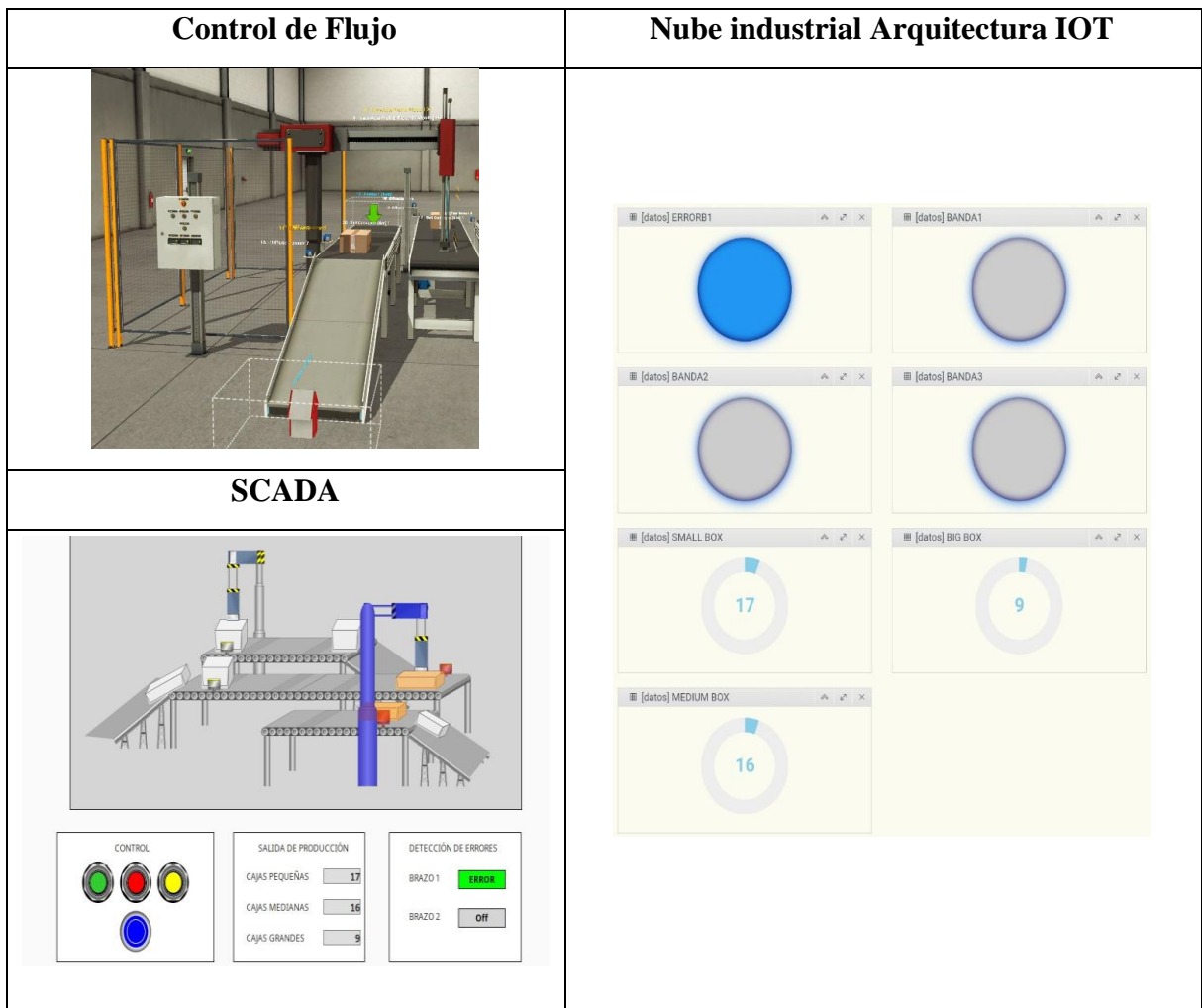


Figura 5.6. Detección de errores en sistema SCADA

5.3 Velocidad de transmisión de datos

Es de vital importancia conocer el tiempo en el cual los datos son enviados desde el lugar del proceso al SCADA, para ello Ignition nos lleva un constante monitoreo del tiempo de las 3 pruebas tomadas el valor promedio de transmisión de datos se establece en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Tiempo de transmisión de datos

Detalles	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3
Rendimiento medio	0.33/seg	0.34/seg	0.32/seg
Rendimiento (1 min)	1.00/seg	1.01/seg	1.01/seg
Tiempo medio de respuesta	2.23ms	1.12ms	0.98ms
		Promedio total	1.43ms

Como los datos del tiempo cambian constantemente se puede establecer una gráfica del tiempo de intercambio de datos como se ve en la figura 5.7.

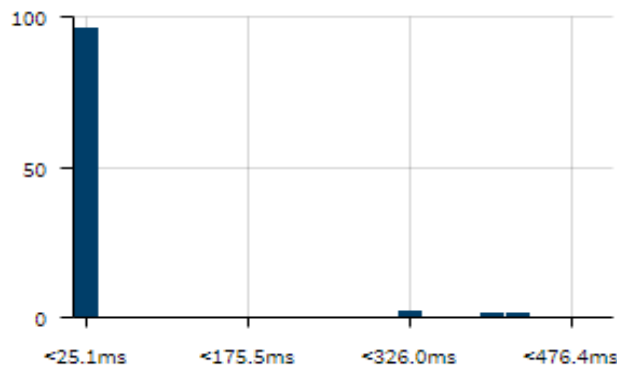


Figura 5.7. Gráfica de transmisión de datos

5.4 Registro de datos en la nube industrial

Dentro del entorno de la nube industrial existen los históricos los cuales registran los cambios que las variables han recibido, estableciendo la fecha, la hora en el que se usó la variable, en este caso se tomará el registro de datos del día miércoles 06/08/2020 en el cual observaremos el comportamiento del almacenamiento de datos de cada una de las variables enviadas a la nube, todos los diagramas de la figura 5.8 son el valor de la variable versus el tiempo de conexión.

SP



PV



Cajas pequeñas



Cajas medianas



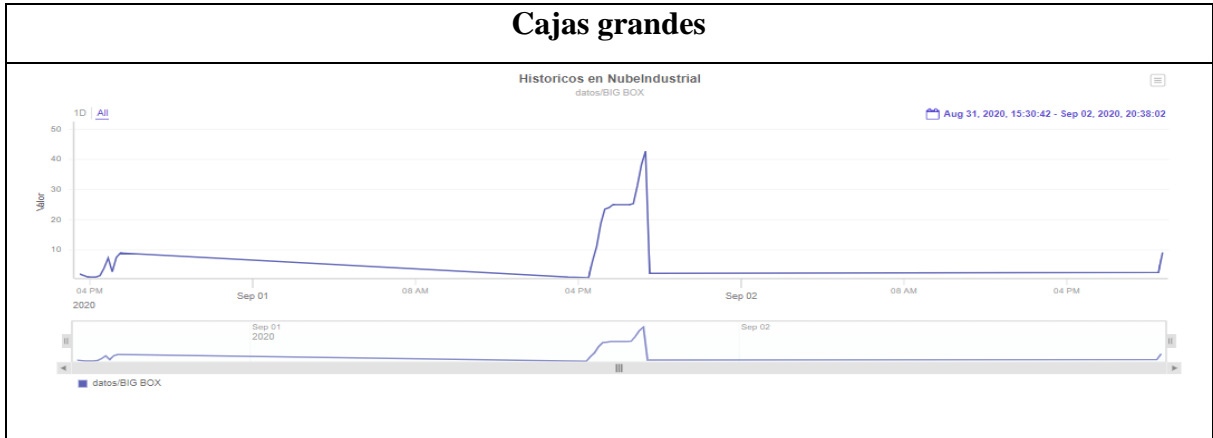


Figura 5.8. Registro de datos nube industrial

5.5 Sistema de alarmas en la nube Industrial

En el monitoreo del control de flujo se experimentó con un valor de SP en rangos de 40 a 50 %, en este caso la salida no debe exceder dicho valor ni estar por debajo de los rangos establecidos, se manipulo el valor de set point en un valor fuera de los límites establecidos y la nube industrial nos notifica ese cambio en la variable por medio de correos.

Por debajo del rango establecido	Alarma SP
	<p>NI Nube Industrial <nubeindustrial@gmail.com> Jue 03/09/2020 23:03 Para: Usted</p> <p>Se activo una alarma en el Sistema El valor de SP esta por debajo de 40. El valor actual es de 29 Enviado el 04/09/2020</p>
Exceso de rango establecido	Alarma SP
	<p>NI Nube Industrial <nubeindustrial@gmail.com> Jue 03/09/2020 23:01 Para: Usted</p> <p>Se activo una alarma en el Sistema El valor de SP esta por encima de 50. El valor actual es de 74 Enviado el 04/09/2020</p>

Figura 5.9. Sistema de alarmas de la nube industrial

5.6 Comparativa SCADA gráfico versus SCADA basado en la norma ISA 101

En este caso se comparará la interfaz gráfica que existe entre el SCADA tradicional y el SCADA basado en la normativa ISO 101.

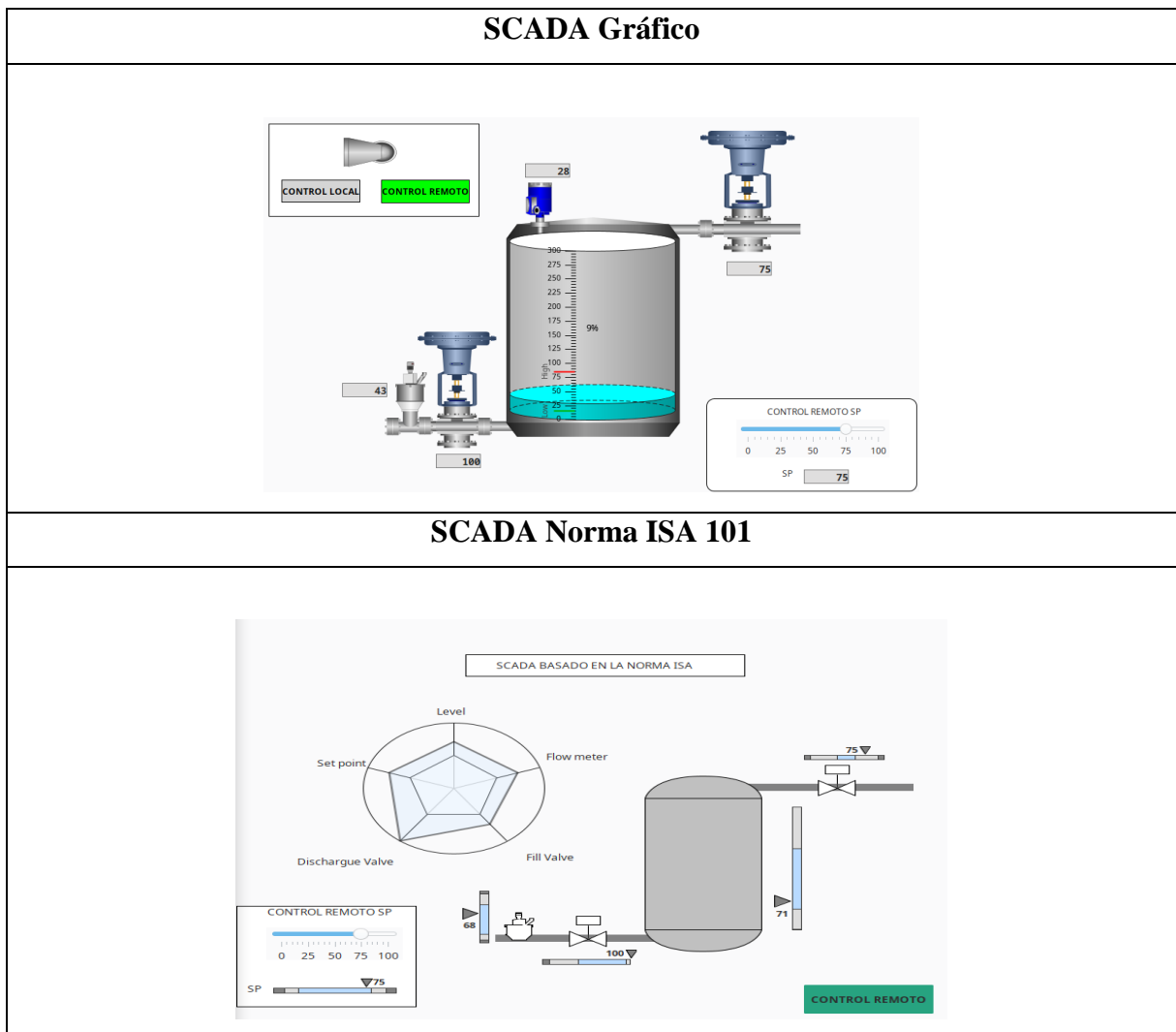


Figura 5.10. Comparativa HMI SCADA

Diferencias

- El SCADA basado en la norma ISA 101 se asemeja a los diagramas P&ID es poco gráfico a diferencia del SCADA tradicional.
- El SCADA de la norma ISA 101 las variables de tipo analógico se representan en un display que a medida que cambie las variables esta puede indicar su valor máximo, mínimo y su valor óptimo.
- En procesos pequeños se recomienda el uso del SCADA tradicional, pero en procesos sumamente grandes se recomienda optimizar al SCADA hacerlo menos gráfico, evitar los distractores y representar como señala la norma ISA 101.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1 Presupuesto

Para el desarrollo de la propuesta tecnológica se realizó el análisis de gastos, con la finalidad de determinar el costo del proyecto. Se tomarán en cuenta el software del mismo, mano de obra, gastos indirectos. En la tabla 6.1 se detalla el costo del software descargado.

Tabla 6.1. Software para el desarrollo del SCADA

Software	Costo Licencia (\$)	Licencia (Si-No)	Versión Prueba	Costo total (\$)
TIA PORTAL	326,74	si		0,0
IGNITION	3,700		Limitada	0,0
NUBE INDUSTRIAL	15,0		Limitada	0,0
			Total	0,0

Tabla 6.2. Elementos para el desarrollo del SCADA

ITEM	Valor UNT (\$)	Cantidad	Costo total (\$)
CPU Quasad CORE i3	580	1	580,0
Cable Ethernet	10	1	10,0
		Total	590,0

6.1.1 Costos de las horas de ingeniería en el desarrollo del SCADA

Para el desarrollo del SCADA se han empleado varias horas en la programación, tanto en el controlador y la interfaz del SCADA, el tiempo de prueba y las correcciones, en la tabla 6.3 se conoce el costo de trabajo de ingeniería según el salario mínimo publicado en 2019 es de \$408,95, posterior a ello se realizó el cálculo tomando en cuenta al Código de Trabajo.

$$\text{Número de horas} = 8 \text{ horas} \times 20 \text{ dias}$$

$$\text{Número de horas} = 160 \text{ horas}$$

$$\text{Costo} = \frac{408,98}{160} = 2,56 \text{ \$ la hora}$$

Tabla 6.3. Costos de ingeniería

Número de horas	Descripción	Valor UNIT(\$)	Costo total (\$)
20	Diseño de la planta	2,56	51,2
120	Programación	2,56	307,2
120	Diseño del SCADA	2,56	307,2
80	Pruebas de funcionamiento	2,56	204,8
	Total		870,4

- **Gastos directos totales**

Tabla 6.4. Gastos directos

GASTOS DIRECTOS	COSTO (\$)
Softwares para el desarrollo del SCADA	0,0
Elementos para el desarrollo del SCADA	590,0
TOTAL	590,0

- **Gastos indirectos totales**

Tabla 6.5. Gastos indirectos

GASTOS DIRECTOS	COSTO (\$)
Costos de ingeniería	870,4
TOTAL	870,4

6.2 Análisis de Impactos

- **Impacto práctico:**

La propuesta tecnológica en su desarrollo abarca mucha información relacionada con los procesos de automatización y control, normalizados y escalado de señales analógicas, desarrollo HMI y uso del internet de las cosas aplicado en procesos industriales. Por medio del desarrollo del SCADA basado en la IoT, podemos monitorear, registrar cambios en las variables los sistemas de flujo y salida de producción. Facilita el registro de datos por medio de generación de históricos además el servicio de alarmas en caso de que una variable se exceda de rangos preestablecidos.

- **Impacto tecnológico:**

El desarrollo de este proyecto, será de ayuda para futuros investigadores porque por medio de la automatización, control, monitoreo y el uso del internet de las cosas se puede implementar en varios proyectos, como puede ser la agricultura, ganadería, monitoreo y control de servicio de luz, robótica, meteorología, teniendo diferentes áreas de uso y aplicación ilimitadas.

- **Beneficios**

Los beneficios del trabajo de grado son:

Comprensión del software Ignition para el desarrollo de SCADA.

Aprender a utilizar servidores OPC.

Enseñanza de protocolos de comunicación TCP/IP.

Monitoreo remoto en tiempo real.

Sistema de alarmas para procesos de control de flujo.

Registro de datos en forma de históricos.

Aplicación de la nube Industrial para los futuros proyectos.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Se logró desarrollar el SCADA de un proceso de control de flujo y salida de producción, con su respectiva instrumentación virtual, bandas transportadoras, brazos robóticos, sensores difusos, tanque, válvulas de diafragma, sensor de flujo y nivel, elementos de medición, el mismo que será puesto en marcha mediante un control PID, y las variables que se encuentra en el proceso se podrán enviar a una nube industrial.
- Se ha determinado que a través del desarrollo de SCADA basado en IOT, los sistemas de control de flujo y salida de producción han mejorado, porque se puede monitorear de forma remota las variables más importantes de los procesos, llevar un registro constante de los datos y adicional un sistema de alarmas por medio del correo.
- El uso de software demostrativo para el desarrollo del proyecto, ha sido de un gran aporte, porque mediante de estos se pudo acceder a una nube industrial, y adicional el software Ignition para el desarrollo de SCADA que ayuda al monitoreo, control y supervisión de los procesos.
- Al desarrollar el SCADA basado en los estándares de la normativa ISA 101 se comprobó que las pantallas son similares a los diagramas P&ID, y la normativa no recomienda el diseño de pantallas con gráficos 3D esto en grandes procesos ocasiona estrés a los operadores, por esos motivos es óptimo una pantalla esquemática que mejore el monitoreo, detección de errores, alarmas y de esta manera mejorar la eficiencia, trabajo del operador y seguridad del proceso.

7.2 Recomendaciones

- Revisar la versión, compatibilidad y complementos del software de desarrollo, porque si la versión no es compatible con el TIA portal no se podrá realizar la comunicación ni el intercambio de información en tiempo real.
- Determinar la dirección IP para el controlador virtual que estará asociada con la dirección del router en este caso si la dirección IP del router es 192.168.100.1 se procede a elegir valores después del uno como 192.168.100.8.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNESCO, "Clasificación Internacional Normalizada de la Educación," SENE CYT, Quito, 1997.
- [2] B. S. T. d. Rocío and R. M. O. Estalin, "Repositorio UTC," Julio 2014. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1866/1/T-UTC-1698.pdf>.
- [3] C. C. L. Fernando and S. S. D. Mauricio, "Repositorio UTC," 2017. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4060/1/T-UTC-0226.pdf>.
- [4] M. M. S. SUÁREZ, "Repositorio Dspace," 2019. [Online]. Available: <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/4784/UPSE-TET-2019-0003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [5] C. P. B. K.N.Bagal, "PLC Based Real Time Process Control using SCADA and MATLAB," *IEEE Xplore*, 2018.
- [6] H. M. J. A. M. a. S. V. K. Ramesh Joshi1, "IOTApplication for Real-time Monitor of PLC Data using EPICS," *IEEE*, 2016.
- [7] W. Bolton, SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO EN LA INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA, Alfaomega grupo editor S.A. , 2013, p. 648.
- [8] P. C. d. Prada, "Instrumentación para el control de Procesos".
- [9] Zaira Sanchez, Miguel Alonso, "Automatización del proceso de frutado y batido de yogurt empleando un controlador lógico programable y una interface hombre-máquina," Estado libre y soberano de Hidalgo, 2014.
- [10] U. PROFINET, "Universidad PROFINET," 8 10 2019. [Online].
- [11] Siemens, *S7-1500 S7-PLCSIM Advanced*, 2019.
- [12] tecnopl.com, "TIPOS DE DATOS EN S7-300 DEFINICIÓN Y ESTRUCTURA EN STEP7," 15 5 2015. [Online]. Available: <http://www.tecnopl.com/tipos-de-datos-en-s7-300/>.
- [13] L. G. Gutiérrez, Instrumentación básica y medida de control, Madrid: AENOR, 2014.
- [14] D. PICHOGAGÓN, "Flujo y Caudal," Quito, 2012.
- [15] S. Torres, "SENSORES DE FLUJO, PRINCIPIOS DE MEDICIÓN".
- [16] R. H. Gaviño, Introducción a los sistemas de control, aplicaciones y simulación con Matlab, L. M. C. Castillo, Ed., Juarez: PEARSON, 2010, p. 528.
- [17] V. INDUSTRY, Instrumentación y control, s.f.
- [18] P. Proaño, "CONTROL AUTOMÁTICO CENTRALIZADO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LECHE, YOGURT Y QUESO EN LA PLANTA DE LÁCTEOS MARCO'S," 07 2012. [Online]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2359>. [Accessed 10 11 2019].

- [19] K. Ogata, *Ingeniería de Control Moderna*.
- [20] E. I. Castellanos, *Sistemas de Automatización*, Feijóo, 2012.
- [21] A. G. Higuera and F. J. C. García, *CIM: El computador en la automatización de la producción*, Servicio de publicaciones de la Universidad de Castilla - La Mancha , 2007.
- [22] A. R. Penin, *Sistemas SCADA*, MARCOMBO, 2007.
- [23] A. Brunete, "Automatización Industrial," 2014. [Online].
- [24] P. Luis Corrales, "Interfaces de Comunicación Industrial," 2007.
- [25] C. G. S. A. Daneels, "WHAT IS SCADA?," 1999.
- [26] A. R. Penin, *Sistemas SCADA (2a. ed.)*, Marcombo, 2008.
- [27] I. C. Vasquez, "Diseño y puesta en marcha de aplicación SCADA," 2017.
- [28] A. N. S. A. 101.1, *Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*, 2015.
- [29] N. O. Alonso, *Redes de Comunicaciones Industriales*, 2013.
- [30] O. M. R. RONDON and J. I. S. ARENAS, "REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL," 2011.
- [31] C. A. Salazar and L. C. Correa, "Buses de campo y protocolos en redes Industriales," 2011.
- [32] R. E. Industria, "Revista Electro Industria," Microbyte Ltda, 2008. [Online]. Available: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1034>.
- [33] A. web, *Innovate Easy Industry Cloud*, 2020.
- [34] F. D. FUTURO, 20 7 2017. [Online]. Available: <https://www.factoriadelfuturo.com/formacion/>.
- [35] J. L. d. V. Román, "Industria 4.0: la transformación digital de la industria," sf.
- [36] Economipedia, "Economipedia," 2019. [Online]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/cuarta-revolucion-industrial.html>.
- [37] I. E. Commission, *Programmable controllers*, 2003.

9. ANEXOS

