

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas



**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL Y
MONITOREO DE RESERVORIOS DE AGUA POTABLE USANDO UN
ALGORITMO DE CONTROL MEDIANTE UNA RED INALAMBRICA EN
AREQUIPA**

Tesis presentada por el Bachiller:

Rodríguez Mogrovejo, Peter Alex

para optar por el Título Profesional de:

Ingeniero de Sistemas

Asesora: Mgter: Rosas Paredes, Karina

AREQUIPA – PERÚ

2019



FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE SISTEMAS
DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El Borrador de Tesis titulado:

DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL Y MONITOREO
DE RESERVORIOS DE AGUA POTABLE USANDO UN ALGORITMO DE
CONTROL MEDIANTE UNA RED INALAMBRICA EN AREQUIPA.

Presentado por (el) (la) (los) Bachilleres

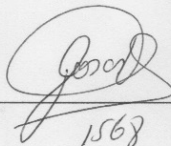
PETER ALEX RODRIGUEZ MOGROVEJO

Nuestro dictamen es:

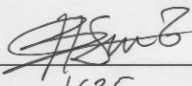
Procede

OBSERVACIONES: Ninguna

Arequipa, 02 de ENERO de 2020



1567



1635

DEDICATORIA

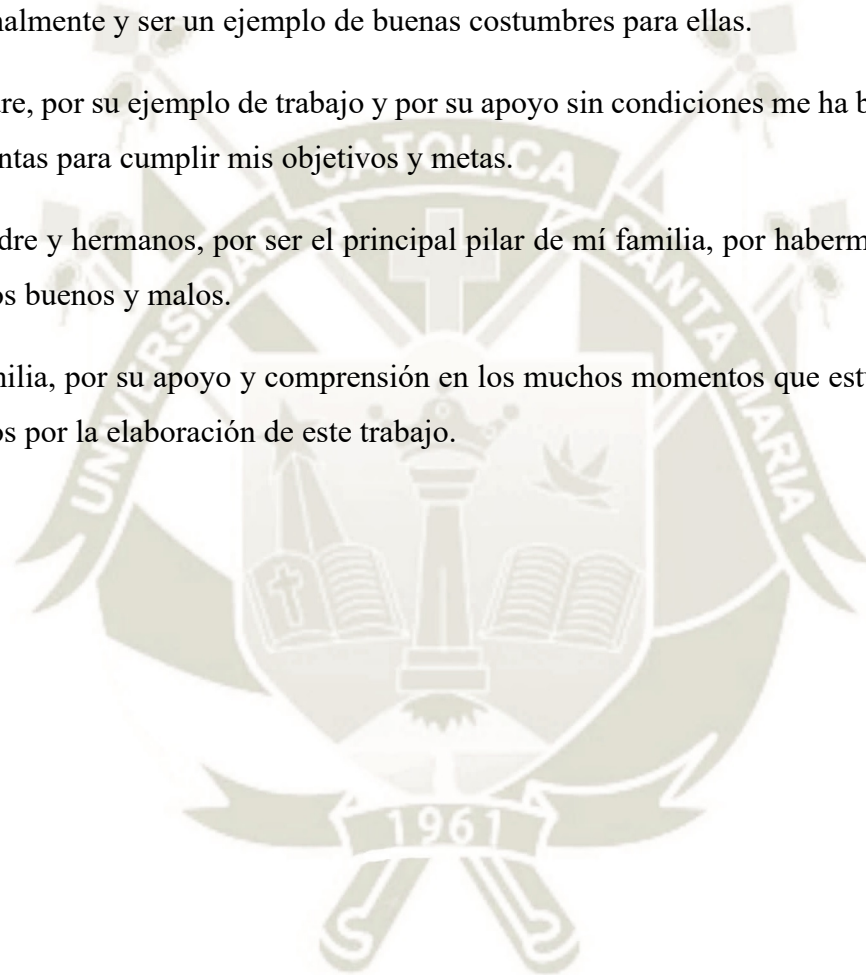
Dedico esta tesis primeramente a Dios por haberme permitido cumplir unos de mis objetivos hasta este momento, por haberme dado la oportunidad de tener unos padres maravillosos.

A mis hijos que son y serán el impulso a ser cada día mejor persona, a seguir esforzándome profesionalmente y ser un ejemplo de buenas costumbres para ellas.

A mi padre, por su ejemplo de trabajo y por su apoyo sin condiciones me ha brindado todas las herramientas para cumplir mis objetivos y metas.

A mi madre y hermanos, por ser el principal pilar de mi familia, por haberme apoyado en los momentos buenos y malos.

A mi familia, por su apoyo y comprensión en los muchos momentos que estuve lejos de ellos motivados por la elaboración de este trabajo.



RESUMEN

En el inicio del siglo XXI, la sociedad de hoy se encuentra en una nueva etapa como consecuencia del desarrollo industrial del siglo pasado, las exigencias que demanda este nuevo orden mundial, donde el conocimiento y la información son el motor de los avances científicos y tecnológicos, requiere de una base fundamental para la adopción global de dicho orden.

La presente tesis nace a raíz de la identificación de los **antecedentes** de la problemática dentro de la empresa de saneamiento que abastece agua potable a la ciudad de Arequipa, donde existen reboses de agua en reservorios, tuberías de abastecimiento que revientan, exceso de presión, agua no facturada, etc., es decir, deficiencias importantes en la gestión del abastecimiento de agua a la ciudad, casi todo por falta de control y un adecuado monitoreo de los procesos.

El actual proyecto de investigación, representa una solución a un problema ya definido en el ámbito de control de los reservorios de agua potable. Basado en la necesidad de confrontar la necesidad de soluciones ya planteadas en otras áreas e incluso implementadas y en funcionamiento con resultados positivos. Siendo así, que inicialmente se determina la problemática que desea solucionar planteando los **objetivos** que se quieren lograr y plasmar los alcances de la implementación del sistema automatizado propuesto.

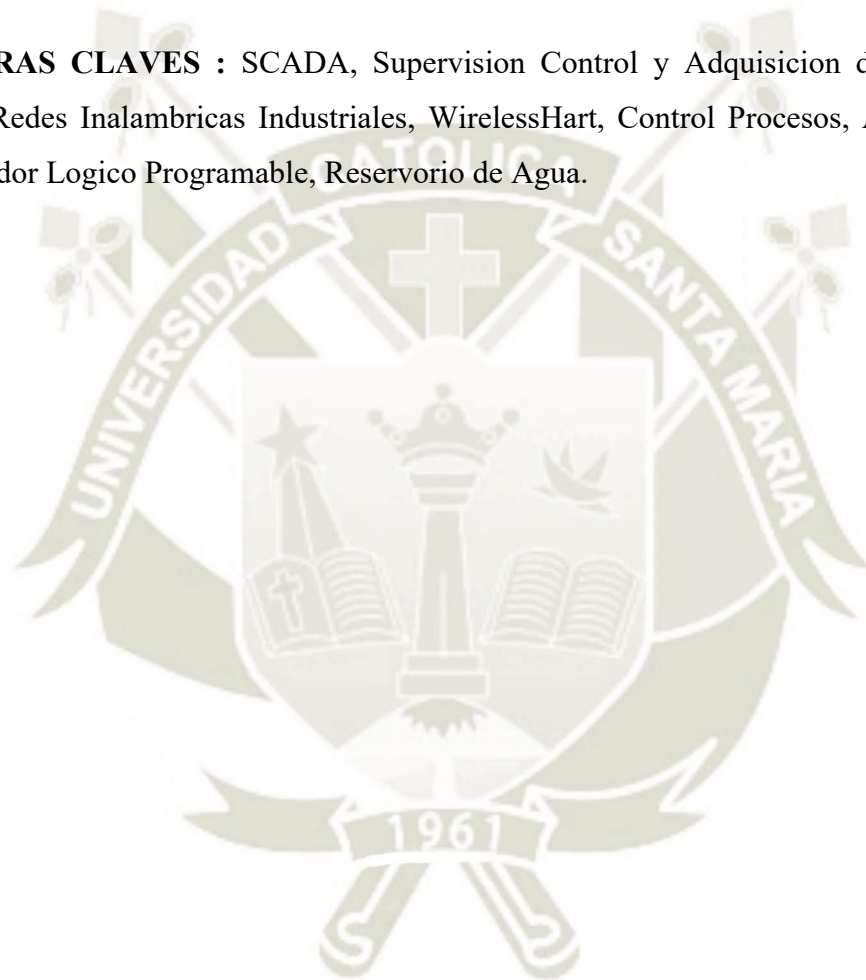
La **metodología** empleada es Empírico Analítica (cuantitativa) que por el tipo de investigación es Cuasi-experimental, por la finalidad se ubica como Investigación Aplicada y considerando los criterios para la investigación se puede decir dentro de la dimensión cronológica que es Descriptiva empleando como fuente para la elaboración recopilación de información documental y de campo.

Posteriormente se expresa el desarrollo teórico y conceptual que sustenta el “por qué” del sistema propuesto y la lógica de su funcionamiento, es así, que se diseñan todos los programas donde se aplicarán los procedimientos necesarios para el buen desarrollo del software, resaltando la comunicación de campo hacia centro de control, la implementación de la lógica difusa como parte del procedimiento, la recepción de la información en tiempo real, la seguridad de los datos obtenidos dentro del procedimiento, por lo que, consecuentemente al diseño y puesta en marcha del proyecto se tiene que analizar la información recibida (Validación de Pruebas en Operación y Ejecución del Sistema Utilizando el HMI), los cuales

permiten que la propuesta diseñada para el fin de la tesis sean los asertivos para una toma de decisiones correcta y ratificar con certeza que la operatividad del proyecto es adecuada.

Finalmente, luego de haber presentado la propuesta para lograr implementar un sistema SCADA de control y monitoreo de reservorios de agua potable usando un algoritmo de control mediante una red inalámbrica, se obtienen las **conclusiones** que validan la implementación del presente proyecto y confirman que el simulador creado para dicho fin es muy acorde a la realidad aceptando circunstancias muy reales.

PALABRAS CLAVES : SCADA, Supervision Control y Adquisicion de Datos, Logica Difusa, Redes Inalambricas Industriales, WirelessHart, Control Procesos, Automatizacion , Controlador Logico Programable, Reservorio de Agua.



ABSTRACT

At the beginning of the 21st century, today's society is in a new stage with the achievement of the industrial development of the last century, the demands that this new world order demands, where knowledge and information are the engine of scientific and technological advances, it requires a fundamental basis for the global adoption of said order.

This thesis was born as a result of the identification of the background of the problem within the sanitation company that supplies drinking water to the city of Arequipa, where there are overflows of water in reservoirs, supply pipes that burst, excess pressure, water not billed, etc., that is to say, important deficiencies in the management of the water supply to the city, almost all due to lack of control and adequate monitoring of the processes.

The current research project represents a solution to a problem already defined in the field of control of drinking water reservoirs. Based on the need to confront the need for solutions already raised in other areas and even implemented and functioning with positive results. Thus, the first chapter determines the problem that you want to solve by setting out the objectives you want to achieve and capturing the scope of the proposed automated system implementation.

The methodology used is Empirical Analytical (quantitative) which, due to the type of research, is Quasi-experimental, for the purpose it is located as Applied Research and considering the criteria for the investigation, it can be said within the chronological dimension that is Descriptive using as a source for the compilation of documentary and field information.

Subsequently, the theoretical and conceptual development that supports the “why” of the proposed system and the logic of its operation is expressed, thus, all the programs are designed where the necessary procedures for the good development of the software will be applied, highlighting the communication from field to control center, the implementation of fuzzy logic as part of the procedure, the reception of information in real time, the security of the data obtained within the procedure, so, consequently to the design and implementation of the project the information received must be analyzed (Validation of Tests in Operation and Execution of the System Using the HMI), which allow the proposal designed for the purpose of the thesis to be the assertive for correct decision-making and confirm with certainty that the Project operability is adequate.

Finally, after having presented the proposals to implement a SCADA system for the control and monitoring of drinking water reservoirs using a control algorithm through a wireless network, the conclusions that validate the implementation of this project are obtained and confirm that the simulator created To this end, it is very much in accordance with reality, accepting very real circumstances.

KEYWORDS: SCADA, Supervision Control and Data Acquisition, Diffuse Logic, Industrial Wireless Networks, WirelessHart, Process Control, Automation, Programmable Logic Controller, Water Reservoir.



INTRODUCCIÓN

El diseño de este proyecto está motivado por la gran cantidad de agua perdida por una deficiente falta de control en el ingreso y distribución de agua potable suscitada diariamente en los reservorios de la ciudad de Arequipa, debido a reboses de los mismos por exceso de ingreso, exceso de presión que rompe tuberías, agua no facturada, etc., todo esto se controla manualmente en la actualidad y no existen sistemas de monitoreo en tiempo real que logren prever dichas falencias.

Habiendo identificado el problema, se puede profundizar de forma más específica donde surgen las interrogantes de identificar la posibilidad de implementar un sistema SCADA para control y monitoreo como piloto en algunos reservorios de la ciudad, evaluando la forma en que se diseñará el Algoritmo que dará solución al problema general, además de confirmar asertivamente que la comunicación será óptima y segura bajo una red inalámbrica en el estándar (IEEE 802.15.4) WirelessHart, en la banda 2.4 GHz.

Hoy en día el uso de sistemas SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) da soluciones que pueden presentarse en los procesos industriales y van de la mano con la tecnología utilizando múltiples diseños y estos a su vez probados en simulaciones de control y monitoreo utilizando esta técnica para demostrar una automatización óptima.

Considerando la problemática y conociendo de las alternativas de solución se plantea diseñar un sistema de control y monitoreo en los reservorios de agua potable en la ciudad de Arequipa con el objeto de solucionar el principal problema y en el camino demostrar que la aplicación del sistema SCADA sería el más apropiado para cumplir con los requerimientos identificados en la empresa de servicios públicos de agua en Arequipa, como son la creación del Algoritmo requerido, la determinación de la red industrial inalámbrica en la banda propuesta y la recepción de datos de los procesos que se aplicarán para cumplir y demostrar los objetivos propuestos mediante una simulación donde se podrá apreciar el proceso de control, monitoreo y recepción de datos de los reservorios de agua potable en la ciudad.

Consecuentemente se desarrollará el planteamiento teórico y conceptual para comprender el porqué del sistema propuesto y la lógica de su funcionamiento, además de todos los sistemas que se emplearían para lograr la implementación de dicho sistema. El diseño e implementación de un “SCADA” es una solución a un problema que implementado adecuadamente tiene resultados favorables como se ha demostrado en empresas de saneamiento a nivel nacional e internacional. SCADA, es un sistema de elementos de software y hardware que permite a las

industrias: Controlar los procesos industriales localmente o a distancia, monitorizar, recopilar y procesar datos en tiempo real, interactuar directamente con dispositivos como sensores, válvulas, bombas, motores, señales de tráfico, etc., a través del software de interfaz hombre-máquina (HMI) y grabar eventos en un archivo de registro.

Ingresando a la parte de la operacionalidad del proyecto, donde se realizan los diseños de los programas que se aplicarían para el funcionamiento del sistema (software), la comunicación del campo a la central y el sistema de control de lógica difusa, donde, la estructura del controlador difuso implementado corresponde al de una familia de controladores que representa las mejores posibilidades para constituirse en un estándar Industrial. Se trata de un controlador difuso incremental que emula un controlador continuo y que está definido en base a una tabla numérica, la cual contiene los parámetros principales o de sintonización.

Posteriormente, la Validación de Pruebas en Operación y Ejecución del Sistema Utilizando el HMI, explica la evaluación de cada parte de los procesos del sistema, sus alcances y modo de comunicación que permite el funcionamiento y las virtudes de las opciones que brinde el sistema el todo su proceso. Se explican los detalles de dichos procesos detalladamente con sus respectivos gráficos e imágenes de la aplicación en operación.

Para el uso de un sistema SCADA, siendo uno de los componentes necesarios para su implementación, la parte de comunicaciones, ya sea de tipo local (LAN) o de áreas más extensas de tipo (WAN). Según lo propuesto en el presente trabajo de investigación, la comunicación es parte muy importante del proceso de control y monitoreo del ingreso y distribución del agua potable en la ciudad de Arequipa aplicada a los reservorios que se encuentran ubicados en diferentes zonas de la provincia y por consiguiente a distancias muy variadas del centro de control.

Las respuestas positivas que se buscan obtener son brindar resultados eficientes a la problemática actual para el control y monitoreo de los reservorios de agua potable en el proceso de llenado distribución y rebose, de manera que se cumplan con los requerimientos operativos planteados a fin que se reduzca los indicadores de agua potable no facturados o no contabilizados por la pérdida en los reboses de los reservorios.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	viii
TABLA DE CONTENIDOS	ixx
LISTADO DE FIGURAS	xii
LISTADO DE TABLAS	xvii
LISTADO DE ECUACIONES	xviii
CAPÍTULO I	1
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.	1
1.1. Problema de Investigación	1
1.1.1. Enunciado del Problema	1
1.1.2. Descripción del Problema	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo Principal	2
1.2.2. Objetivos Secundarios	2
1.3. Justificación del Problema	3
1.4. Alcances y Limitaciones	4
1.5. Tipo y Nivel de Investigación	6
CAPÍTULO II	7
2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO.	7
2.1. Estado del Arte	7
2.2. Marco Teórico.	18
2.2.1. Lógica Difusa FLC (Fuzzy Logic Controllers)	18
2.2.2. Sistemas de Control	19
2.2.3. Variadores de Velocidad	20
2.2.4. Máquina Virtual	21
2.2.5. Automatización Industrial	21
2.2.6. Control de Procesos	21
2.2.7. Instrumentación Industrial	22
2.2.8. Framework	22
2.2.9. Redes de comunicación industriales	22
2.2.10. Reservorio de Agua	22
2.2.11. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)	24
2.2.12. Controlador Lógico Programable (PLC)	26
2.2.13. HMI (Human Machine Interface)	29
2.2.14. Sensores	30
2.2.15. Sensor de Caudal	30
2.2.16. Sensor de Presión	31
2.2.17. Sensor de Nivel	32
2.2.18. Actuadores	33
2.2.19. Electro Válvulas	35
2.2.20. Válvulas	35
2.2.21. Bombas (Centrífuga - Horizontales)	36
2.2.22. Comunicación y Redes Inalámbricas Industriales	37
2.2.23. Algoritmo de Control (Lógica Difusa)	38

CAPÍTULO III	39
3. DISEÑO DEL SISTEMA	39
3.1. Diseño y Simulación Del Sistema de Monitoreo y Control de Reservorios.	39
3.1.1. Controlador Lógico Programable CompactLogix 5000.	39
3.1.2. Sensores y/o Transmisores	46
3.1.3. Actuadores	52
3.1.4. Válvulas	54
3.1.5. Bombas (Centrifuga – Horizontales)	57
3.2 Diseño y Configuración de Software	58
3.2.1 SmartDraw (Diagramación) V.2013	58
3.2.2 RsLogix 5000. V.20.04	59
3.2.3 RsLogix Emulate 5000 V.24.00	63
3.2.4 RsLinx Classic Gateway 3.71	64
3.2.5 FactoryTalk Studio V.8.20	65
3.3 Comunicación Industrial Red Hart (Ethernet) – (Inalámbrica)	68
3.3.1 Red Ethernet TCP/IP	68
3.3.2. Red HART	71
3.3.3. Red DeviceNet	75
3.3.4 Comunicación y Diseño WirelessHart (2.4 Ghz) (IEC62591-1)	79
3.3.5 Componentes Redes Industriales	81
3.3.6 WirelessHART (2.4 Ghz) (IEC62591-1)	82
3.3.7 Seguridad WirelessHART	84
3.3.8 Estándar ZigBee (IEEE 802.15.4)	85
3.3.9 Módulo Xbee Pro (IEEE 802.15.4) y Router	85
3.3.10 ConnectPort® X2	86
3.3.11 Router Four-Faith F8834 ZigBee (IEEE 802.15.4)	87
3.3.12 Comunicación Ubicación Reservorios	87
3.4 Modo de Control	90
3.4.1 Modelamiento Matemático del Proceso	90
3.4.2 Modo de Control FLC (Fuzzy Logic Controllers)	91
3.4.3 Funcionamiento del Bloque FLC en la Programación Ladder	93
3.4.4 Lazo de Control Cerrado	99
3.5 Estudio de factibilidad del proyecto	101
3.5.1 Estudio Técnico	101
3.5.2 Estudio de Operatividad	102
3.5.3 Estudio Económico para la implementación	102
3.5.4 Resumen de los Costos de inversión para la implementación:	108
3.5.5 Análisis de Costo de Beneficio del Sistema	108
CAPÍTULO IV	113
4. VALIDACIÓN DE PRUEBAS EN OPERACION Y EJECUCIÓN DEL SISTEMA CON HMI	113
4.1. Funcionamiento del Proceso LLENADO – DISTRIBUCION – REBOSE	113
4.1.1. Para evaluar la Usabilidad de la Presentación de Tesis	113
4.1.2. Para evaluar la Usabilidad del Sistema PRINCIPAL	113
4.1.3. Para evaluar eficacia en el proceso de llenado-distribución y rebose de reservorios:	115
4.1.4. Para evaluar la eficacia en el Control de los instrumentos y la comunicación de datos en el Sistema SCADA	119
4.1.5. Para evaluar el monitoreo de los Procesos de Llenado – Distribución - Rebose considerando las alertas del sistema SCADA:	122
4.1.6. Para evaluar el monitoreo de los Proceso de Llenado – Distribución - Rebose considerando las alertas de Comunicación del sistema SCADA.	123
4.1.7. Para evaluar el monitoreo y control del Proceso Distribución del sistema SCADA:	125
4.2. Diagrama de Instrumentación de Tuberías y Dispositivos	126
4.2.1. Diagrama de Llenado -Distribución - Rebose (Reservorio)	126
4.2.2. Diagrama Llenado	127
4.2.3. Diagrama Rebose	127

4.2.4.	Diagrama Distribución	128
4.3	Campo de Verificación	128
4.3.1	Ubicación espacial	128
4.3.2	Ubicación temporal	128
4.3.3	Unidades de estudio	128
4.4	Recopilación e interpretación de Resultados del Proceso	130
4.4.1	Resultados cronológicos obtenidos (Resumen)	130
4.4.2	Tiempo de respuesta en Reservorios	131
4.4.3	Variación en Inventario de Agua	132
4.4.4	Requerimiento de Operadores	132
4.4.5	Tiempo para puesta en marcha de Reservorios	133
CAPITULO V		134
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	134
5.1.	Perfil de Especialistas	134
5.2.	Marco de la Evaluación de Especialistas	134
5.2.1.	Interpretación de encuestas	134
5.2.2.	Diagnóstico general.	147
5.2.3.	Criterio de calificación de la encuesta y diagnóstico final.	147
5.2.4.	Calificación según el diagnóstico de los resultados finales de la encuesta.	149
CONCLUSIONES		150
RECOMENDACIONES		152
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		153
ANEXOS		157

LISTADO DE FIGURAS

<u>Nombre:</u>	<u>Pág.</u>
Figura 1: Introducción a la Lógica Difusa _____	17
Figura 2: Metáfora Hidráulica _____	22
Figura 3: Elemento diagrama de Forrester _____	22
Figura 4: PLC Modular (1) _____	26
Figura 5: PLC Compactos (2) _____	26
Figura 6: Partes de un Sensor de Presión _____	31
Figura 7: Actuadores Eléctricos _____	34
Figura 8: Partes de Electro – Válvula _____	34
Figura 9: Válvula _____	35
Figura 10: Bomba Centrifuga de Eje Horizontal (-) _____	36
Figura 11: Bomba Centrifuga de Eje Horizontal (+) _____	36
Figura 12: Chasis del CompactLogix 5000 _____	38
Figura 13: Procesador 1769 – L32E del CompactLogix 5000 _____	39
Figura 14: Módulo 1769 – IQ16 56 _____	41
Figura 15: Módulo Eléctrico 1769 – IQ16 _____	41
Figura 16: Módulo Eléctrico 1769 – OW16 _____	43
Figura 17: Módulo Eléctrico 1769 – IF4 _____	44
Figura 18: Módulo Eléctrico 1769 – OF4 _____	45
Figura 19: Diagrama de Bloque Simplificado _____	45
Figura 20: Prosonic M FMU/42 Transmisor Ultrasónico _____	47
Figura 21: Emerson Medidor de Caudal Serie 1500 Daniel _____	50
Figura 22: Transmisor de presión absoluta y manométrica Emerson Rosemoun 2088 _____	51
Figura 23: Actuador YTC Posicionador Electro-Neumático de serie 1000/1050 ____	52
Figura 24: Válvula de Compuerta Sello Flexible AWWA C509 Sigma Flow _____	55
Figura 25: Software SmartDraw Diagrama De Flujo _____	58
Figura 26: Software SmartDraw Diagrama Llenado _____	58
Figura 27: Software RsLogix 5000 V20:04 _____	60
Figura 28: RsLogix Emulate 5000 Chassis Monitor _____	62
Figura 29: RsLinx Classic Gateway _____	63
Figura 30: RSWho en el RsLinx Classic _____	64

Figura 31: FactoryTalk Studio _____	66
Figura 32: Protocolo de Capa de Transporte _____	69
Figura 33: Protocolo de Capa de Internet _____	70
Figura 34: Comunicación HART _____	71
Figura 35: Comunicación Punto a Punto Red HART _____	72
Figura 36: Comunicación Multipunto Red HART _____	73
Figura 37: Lazo de Conexión de la Red HART _____	74
Figura 38: Estructura del Mensaje HART _____	74
Figura 39: Topología de la Red DeviceNet _____	76
Figura 40: Ejemplo de Conexiones en el Protocolo DeviceNet _____	77
Figura 41: Tipos de Conectores DeviceNet _____	77
Figura 42: Zona Fresnel _____	78
Figura 43: Topología de Malla en Estrella _____	79
Figura 44: Arquitectura Red Industrial _____	80
Figura 45: Conexión directa inalámbrica de la red a un Gateway _____	81
Figura 46: Múltiples puntos de acceso mediante una red troncal _____	83
Figura 47: Tipo de Xbee _____	85
Figura 48: ConnectPort X2 _____	85
Figura 49: Router Four-Faith F8834 ZigBee _____	86
Figura 50: Enlace Centro de Control a Reservoirio D- 37 _____	86
Figura 51: Enlace Centro de Control a Reservoirio D- 38 _____	87
Figura 52: Enlace Centro de Control a Reservoirio D- 48 _____	87
Figura 53: Enlace Centro de Control a Reservoirio D- 49 _____	88
Figura 54: Enlace Centro de Control a Reservoirio D- 50 _____	88
Figura 55: Lógica implementada en RSLogix 5000 _____	90
Figura 56: Diagrama esquemático del controlador difuso (FLC) _____	91
Figura 57: Función de membresía de entrada al error _____	94
Figura 58: Implementación de las funciones de membresía al error en RsLogix 5000 _____	95
Figura 59: Implementación parcial de las funciones de membresía al Error en RsLogix 5000 _____	97
Figura 60: Función de membresía de salida _____	97
Figura 61: Método de defusificación del centroide _____	98
Figura 62: Implementación de la etapa de defusificación en RsLogix 5000 _____	98

Figura 63: Diagrama esquemático del controlador difuso (FLC)	99
Figura 64: Controlador Difuso en modo Manual	99
Figura 65: Controlador Difuso en modo Automático	100
Figura 66: PRI (Periodo de Retorno de Inversión)	110
Figura 67: Presentación de Proyecto	112
Figura 68: Pantalla principal de simulación	113
Figura 69: Niveles	113
Figura 70: Medidor de almacenamiento	113
Figura 71: Indicador de Status de Conexión	114
Figura 72: Graficas de los Procesos de los Reservorios	114
Figura 73: Procesos de llenado – distribución y rebose (reservorio)	115
Figura 74: Panel de llenado de Reservorio (Automático)	116
Figura 75: Panel de apagado de la Bomba en Reservorio (Automático)	116
Figura 76: Proceso de llenado de Reservorio (Automático)	117
Figura 77: Panel de llenado de Reservorio (Manual)	117
Figura 78: Panel de llenado de Reservorio (Manual)	117
Figura 79: Datos obtenidos de los Sensores en Tiempo Real	118
Figura 80: Información de Sensor de Caudal	119
Figura 81: Información de Sensor de Presión y Bomba	119
Figura 82: Funcionamiento Sensor Rebose	120
Figura 83 Se apaga todo el proceso de llenado	120
Figura 84: Funcionamiento de Válvula de Salida	121
Figura 85: Indicador Amarillo Nivel Bajo	121
Figura 86: Indicador Verde Nivel Normal	122
Figura 87: Indicador Rojo Nivel Alto	122
Figura 88: Alertas de Comunicación del sistema SCADA	123
Figura 89: Control Reservorio Status Conectado	123
Figura 90: Control Reservorio Status Desconectado	123
Figura 91: Proceso de Distribución de Agua (Reservorio)	124
Figura 92: Diagrama de Llenado -Distribución -Rebose (Reservorio)	125
Figura 93: Diagrama de Llenado	126
Figura 94: Diagrama de Rebose	126
Figura 95: Diagrama de Distribución	127
Figura 96: Reservorios alcance del estudio, Arequipa	128

Figura 97: Tiempo de respuesta en reservorios _____	130
Figura 98: Variación en inventario de Agua _____	131
Figura 99: Requerimiento de Operadores _____	131
Figura 100: Tiempo para puesta en marcha de Reservorios _____	132
Figura 101: Pregunta 1: Conociendo el funcionamiento del proceso de llenado y distribución de agua potable de los reservorios que actualmente operan: ¿Cómo calificaría el sistema de control integral presentado en este proyecto desde el punto de vista de complementación tecnológica, control y monitoreo del proceso? _____	134
Figura 102: Pregunta 2: ¿Cómo cree usted que se debe calificar la eficacia en la supervisión de datos (alertas, metros cúbicos, llenado del reservorio, etc.) y monitoreo (forma gráfica en tiempo real) desde el centro de control? _____	135
Figura 103: Pregunta 3: ¿Cuánto considera usted que es necesario agregar algunas opciones de control y monitoreo adicionales que puedan ser útiles además de las que se encuentran actualmente en el sistema? _____	136
Figura 104: Pregunta 4: ¿Qué tanto cree en los instrumentos empleados propuestos en el proyecto como (computadores, sensores, antenas, etc.) para lograr medir, convertir, transmitir, controlar o registrar las variables obtenidas del proceso optimizando? _____	136
Figura 105: Pregunta 5: ¿Cómo puede calificar que el sistema SCADA (sistema inalámbrico de información del reservorio hacia el centro de control), planteado para control y monitoreo de reservorios de agua potable, se usará un tipo de comunicación por medio de la red industrial inalámbrica WirelessHart propuesta (IEEE 802.15.4 banda 2.4Ghz)? _____	137
Figura 106: Pregunta 6: ¿Qué tan confiable cree usted que sea el diseño del proyecto presente respecto al control y monitoreo de datos obtenidos en los reservorios de agua que son recepcionados en el centro de control? _____	138
Figura 107: Pregunta 7: ¿Cree que el sistema SCADA aumenta la eficiencia del proceso de control y monitoreo incrementando la precisión, calidad, velocidad y disminuyendo los riesgos que normalmente se obtendrían en la misma tarea si fuese realizada en forma manual? _____	138
Figura 108: Pregunta 8: ¿Qué tanto considera usted que el sistema propuesto	

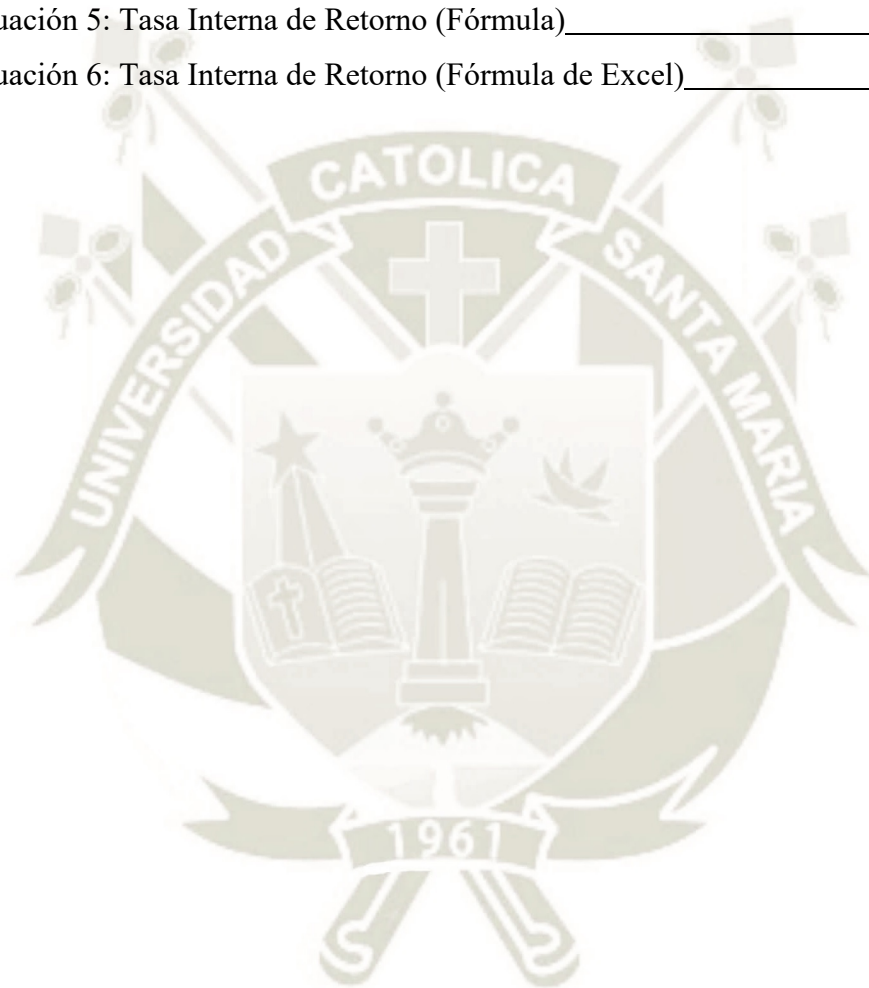
- obtendrá mejores resultados desde su ejecución en comparación de otros sistemas similares empleados en otras empresas de distribución de agua potable? _____ 139
- Figura 109: Pregunta 9: Luego de haber utilizado la simulación del presente proyecto diseñado para el control de llenado, distribución y rebose de reservorios en la ciudad de Arequipa ¿qué tan amigable cree usted que sea para ser manipulado por lo operarios asignados a dichos reservorios? _____ 140
- Figura 110: Pregunta 10: Considerando su experiencia y conocimiento en Reservorios de Agua Potable, ¿Qué tan útil y necesario cree usted que sea implementar este proyecto a todos los reservorios en la ciudad? _____ 141
- Figura 111: Pregunta 11: Teniendo conocimiento de los problemas planteados siendo actualmente la operación de reservorios manualmente y utilizado el simulador diseñado para resolverlos, ¿Cómo considera usted que el software brinda la seguridad requerida para lograr sus objetivos con eficiencia? _____ 141
- Figura 112: Pregunta 12: ¿Qué tanto cree usted que el actual diseño SCADA creado para este proyecto de investigación es el adecuado para el logro de los objetivos planteados? _____ 142
- Figura 113: Pregunta 13: El presente proyecto ¿Cómo cree usted que sería para solucionar la problemática de los reboses de agua en los reservorios y por ende, la solución para el problema del agua no facturada que se pierde en dichos reboses de los reservorios en la ciudad de Arequipa? _____ 143
- Figura 114: Pregunta 14: ¿Cómo considera usted que es necesario reducir las deficiencias de información sobre las pérdidas de agua por una mala práctica en la actualidad y que este proyecto lo presenta como solución? _____ 143
- Figura 115: Pregunta 15: ¿Qué tanto cree usted que sería útil la implementación de sistemas de control y monitoreo a todos los reservorios de la región Arequipa? _____ 144
- Figura 116: Pregunta 16: ¿Cómo consideraría usted en recomendar implementar de este proyecto en todos los reservorios de la ciudad de Arequipa? _____ 145

LISTADO DE TABLAS

<u>Nombre:</u>	<u>Pág.</u>
Tabla 1: Especificación del Módulo 1769 – IQ16_____	40
Tabla 2: Especificación del Módulo 1769 – OW16_____	42
Tabla 3: Especificación del Módulo 1769 – IF4_____	43
Tabla 4: Especificación del Módulo 1769 – OF4_____	44
Tabla 5: Especificación Prosonic M FMU/42 Transmisor Ultrasónico_____	47
Tabla 6: Especificaciones del Sensor de Caudal Emerson Serie 1500 Daniel_____	49
Tabla 7: Especificaciones Transmisor de presión absoluta y manométrica Rosemoun 2088_____	50
Tabla 8: Especificación del Actuador YTC_____	52
Tabla 9: Material Válvula de Compuerta Sello Flexible AWWA C509 Sigma Flow _____	55
Tabla 10: Dimensión Nominal _____	56
Tabla 11: Velocidades de la Red DeviceNet _____	77
Tabla 12: Reglas de inferencia:_____	96
Tabla 13: Lista de Materiales Electrónicos_____	102
Tabla 14: Costo Materiales Electrónicos_____	103
Tabla 15: Lista de Materiales informáticos_____	104
Tabla 16: Costo de Materiales informáticos_____	105
Tabla 17: Lista de Materiales Eléctricos _____	106
Tabla 18: Costo de Materiales Eléctricos _____	106
Tabla 19: Costo de Implementación de Sistema de Control y Monitoreo De Reservorios de Agua Potable_____	107
Tabla 20: Flujo de Caja_____	108
Tabla 21: Lista de reservorios involucrados_____	128
Tabla 22: Reporte Resumen de Resultados obtenidos de Procedimientos por Reservorio: _____	129
Tabla 23: Resumen de respuestas de encuestas efectuadas_____	146
Tabla 24: Criterio de Calificación Utilizado_____	146
Tabla 25: Calificación según el diagnóstico de los resultados finales de la Encuesta_____	148

LISTADO DE ECUACIONES

<u>Nombre:</u>	<u>Pág.</u>
Ecuación 1: Balance de agua del tanque_____	89
Ecuación 2: Proceso de Fuzzificación _____	93
Ecuación 3: Valor Actual Neto (Fórmula)_____	109
Ecuación 4: Valor Actual Neto (Fórmula de Excel)_____	109
Ecuación 5: Tasa Interna de Retorno (Fórmula)_____	110
Ecuación 6: Tasa Interna de Retorno (Fórmula de Excel)_____	111



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1. Problema de Investigación

1.1.1. Enunciado del Problema

Diseño y simulación de un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un concepto que se emplea para realizar una solución mediante software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia en este caso se pretende tener el control y monitoreo de reservorios de agua potable mediante la aplicación de un algoritmo de control usando lógica difusa para control siendo la propuesta de comunicación necesaria una red inalámbrica industrial bajo el protocolo 802.15.4 WirelessHart (Red Inalámbrica con la Variante del protocolo Hart) dentro de una red en la banda de 2.4 GHz (Gigahercios) en Arequipa.

Interrogantes de la Investigación

a) Interrogante Principal:

¿Es factible diseñar y simular un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) para el control y monitoreo de reservorios de agua potable mediante la aplicación de un algoritmo de control siendo la propuesta de comunicación necesaria una red inalámbrica industrial bajo el estándar IEEE 802.15.4 (Institute of Electrical and Electronics Engineers) (WirelessHart) en la banda de 2.4 GHz en Arequipa?

b) Interrogantes Secundarias

- ¿Es factible el diseño y simulación de un sistema SCADA para el control y monitoreo de reservorios de agua potable en Arequipa?
- ¿Cómo intervendrá el algoritmo en el control y monitoreo de reservorios de agua potable en Arequipa?

- ¿Sería óptima y segura la comunicación de transferencia de datos de una red inalámbrica industrial bajo el estándar (IEEE 802.15.4) (WirelessHart) en la banda de 2.4 GHz en Arequipa para el control y monitoreo de reservorios en Arequipa?

1.1.2. Descripción del Problema

Área del Conocimiento

- Área General : Ingeniería y Tecnología
- Área Específica : Ingeniería Informática, Eléctrica y Electrónica
- Especialidad : Ingeniería de Sistemas y Comunicaciones
- Línea : Comunicación y Simulación de Procesos Industriales

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Principal

Diseñar y simular un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) para el control y monitoreo de reservorios de agua potable mediante un algoritmo FLC (fuzzy logic Controllers) usando lógica difusa para su aplicación y utilizando una Red Inalámbrica Industrial WirelessHart usando el estándar IEEE 802.15.4 (Institute of Electrical and Electronics Engineers) en la banda de 2.4 GHz en la ciudad de Arequipa.

1.2.2. Objetivos Secundarios

- Determinar la aplicación de un algoritmo que permitirá el control y monitoreo de reservorios de agua potable en Arequipa,
- Determinar la aplicación de una Red Industrial Inalámbrica usando un estándar IEEE 802.15.4 en la banda de 2.4 GHz para el control y monitoreo de reservorios en Arequipa,
- Realizar la adquisición de datos de los procesos e identificar las variables a monitorear y controlar, por medio de un PLC (Programmable Logic Controller - Controlador Lógico Programable).

- d. Diseñar y simular el proceso de llenado de agua por medio de una bomba para realizar la medición del caudal y la presión así como sensores de nivel y caudal e instrumentación industrial para el control de dichas variables.
- e. Diseñar el sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) para mostrar los datos adquiridos dentro de cada uno de los procesos de llenado, distribución y de rebose a fin de direccionar las decisiones y acciones necesarias para corregir posibles problemas durante sus procesos de operación.
- f. Implementar indicadores en el sistema SCADA con la finalidad de hacer eficaces los procesos para la obtención de información los cuales puedan ser validados en los resultados en función al tiempo, control y alertas que surjan en el proceso de operaciones.

1.3. Justificación del Problema

Como justificación profesional

Debido a que se busca simular un conjunto de aplicaciones que integren módulos robustos y flexibles, con interfaces de comunicación integradas y protocolos de comunicación cifrados mediante una red inalámbrica industrial bajo el estándar IEEE 802. 15. 4 (Institute of Electrical and Electronics Engineers), WirelessHart (Red Inalámbrica con la Variante del protocolo Hart) en la banda de 2.4 GHz.

Además de integrar un algoritmo de control usando lógica difusa, monitoreo de reservorios de agua potable mediante un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Como justificación Práctica

El desarrollo de este proyecto, contempla diseñar y simular un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) del control de flujo de llenado de reservorios de agua potable, se utilizará software de simulación especializada para sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), una simulación en tiempo real del comportamiento de un sistema de control de flujo apertura y cierre de válvulas, con provisión de las interfaces de actuación sobre el mismo y de sus variables de estado controlado por un módulo industrial (marca y modelo según evaluación)

El monitoreo de todos los reservorios en cuanto a sus niveles de llenado y capacidad que se van automatizar se contempla usar instrumentos de tipo ultrasónico utilizando PLC's

(Programmable Logic Controller) el cual se encargaran de procesar las señales obtenidas de los instrumentos de campo.

Como justificación Teórica

Debido a que se basa en teorías y trabajos anteriormente estudiados, además de buscar aplicar soluciones prácticas a problemas que han sido observados gracias a la experiencia y recolección de datos de agentes relacionados a la problemática del control y monitoreo de los reservorios de agua potable en nuestra ciudad.

1.4. Alcances y Limitaciones

Alcances

El presente trabajo académico tiene como alcance el diseño y simulación de un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) para el control y monitoreo de reservorios de agua mediante la aplicación de un algoritmo de lógica difusa y una red inalámbrica industrial bajo el estándar (IEEE 802. 15. 4) (WirelessHart) en la banda de 2.4 GHz en Arequipa.

El presente trabajo propone una solución mediante una implementación de un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), que le permita realizar el monitoreo y control de los procesos de llenado, almacenamiento, distribución y rebose de agua potable de 5 reservorios ubicados en distintas partes de la ciudad ,este mismo sistema que le proporcione información veraz y en tiempo real sobre el funcionamiento general del sistema y las fallas que se puedan presentar, a fin de tomar decisiones y ejecutar acciones técnicas que permitan evitar desperdicios del líquido vital, así como reducir costos de operación y garantizar una repartición equitativa y oportuna del agua de consumo humano.

Se considera entonces que mediante un sistema de comunicación una red inalámbrica industrial bajo el estándar (IEEE 802. 15. 4) WirelessHart (Red inalámbrica con la Variante del protocolo Hart) en la banda de 2.4 GHz se puede realizar eficazmente el control y monitoreo remoto de un diseño de sistema SCADA, permitiendo a cualquier “usuario autorizado” acceder a la información, gracias al manejo de datos en tiempo real y al uso de señales de tipo alarma que alerten a los responsables de posibles fallos durante el proceso de llenado de los reservorios así como del almacenamiento y distribución, facilitando de esta manera la gestión automatizada del recurso hídrico.

Por tal razón se propone la realización de este estudio que aporta con la actualización y automatización de los procesos de llenado, almacenamiento, distribución y rebose que garanticen el uso sostenible del agua potable.

Para lograr este propósito, en un primer momento se realiza un análisis situacional de los procesos de llenado, almacenamiento, distribución y de rebose de agua de la captación principal de cada reservorio, posteriormente se diseña un tablero de control para el prototipo de sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), luego se desarrolla una interfaz gráfica para el monitoreo y envío de señales de control, conjuntamente con la adquisición de datos de las variables presión, nivel y caudal.

Finalmente se permite el acceso del “usuario autorizado” al PLC (Programmable Logic Controller) mediante el navegador de una computadora integrada al centro de control, para que éste pueda efectuar las tareas de monitoreo y control de las variables involucradas.

Cabe recalcar que la presente investigación encuentra su justificación teórica, metodológica y empírica en el levantamiento de información real, que integran conocimientos científicos y tecnológicos que al ser apoyados en el método científico, orienta el trabajo de campo y permite el diseño de un prototipo de sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), con la finalidad de contribuir con aportes que mejoren el sistema de suministro de agua potable, ciudad de Arequipa.

Limitaciones

El siguiente trabajo contiene las siguientes limitantes:

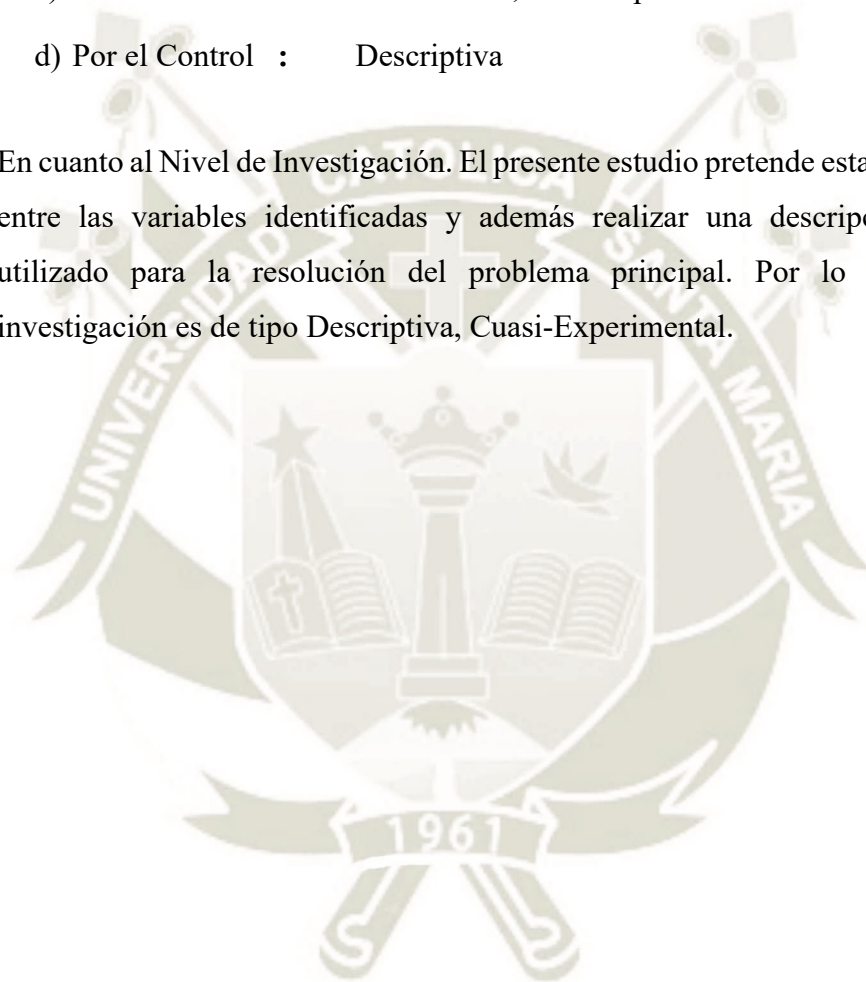
- Los recursos utilizados para su elaboración provienen del mismo encargado de su elaboración.
- El uso de licencias de uso profesional de las herramientas tecnológicas (software) serán evaluados en el proceso de ejecución, actualmente se piensa el uso de licencias de uso para temas académicos (estudiante) o de versión DEMO, utilizado para la simulación y procesamiento de datos.
- La proyección y adquisición de los equipos e instrumentos a utilizar en la simulación son con los que actualmente se pueden encontrar en el mercado, por lo tanto, el precio y/o valor es del período de elaboración del presente trabajo solo podríamos estimar una factibilidad económica mas no una implementación real.

1.5. Tipo y Nivel de Investigación

Acerca del Tipo de Investigación. Según el ámbito, el presente trabajo de investigación es:

- a) Por su finalidad: Investigación Aplicada
- b) Por su Nivel : Cuasi-Experimental
- c) Por su Fuente : Documental, De Campo
- d) Por el Control : Descriptiva

En cuanto al Nivel de Investigación. El presente estudio pretende establecer la relación entre las variables identificadas y además realizar una descripción del método utilizado para la resolución del problema principal. Por lo que la presente investigación es de tipo Descriptiva, Cuasi-Experimental.



CAPÍTULO II

2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO.

2.1. Estado del Arte

Análisis de Antecedentes Investigativos.

El presente trabajo recopiló información de diferentes artículos de investigación, tesis de grado etc., de diferentes fuentes bibliográficas como Web of Science, Google Académico o repositorios de tesis de varias Universidades donde plantean proyectos sobre SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) para monitorear y controlar el estado operativo de diversos procesos, pues estos sistemas son eficaces en cuanto a la adquisición de datos y la supervisión.

Varias son las investigaciones realizadas para la implementación de sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) en las diferentes actividades humanas, a continuación, se muestra un resumen de varios estudios que se han realizado sobre el tema.

Monitoreo de la calidad del agua en tiempo real usando Internet de las cosas en SCADA.

Autor Por: Saravanan, K.; Anusuya, E.; Kumar, R; Le Hoang Son

Categorías/Clasificación: Áreas de investigación Environmental Sciences & Ecology Categorías de Web of Science: Environmental Sciences

El Objetivo, Monitoreo y Evaluación Ambiental mediante un SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

La contaminación del agua es la causa de muchas enfermedades en el mundo. Es necesario medir la calidad del agua utilizando sensores para prevenir la contaminación del agua.

Sin embargo, los trabajos relacionados siguen siendo los problemas de comunicación, movilidad, escalabilidad y precisión.

En este documento, proponemos un nuevo sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) que se integra con la tecnología de Internet de las cosas (IoT) para el monitoreo en tiempo real de la calidad del agua.

Su objetivo es determinar la contaminación del agua, las fugas en la tubería y también la medición automática de parámetros (como el sensor de temperatura, el sensor de flujo, el sensor de color) en tiempo real utilizando Arduino Atmega 368 utilizando el módulo Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM).

El sistema se aplica en Tirunelveli Corporation (ciudad metropolitana de Tamilnadu, India) para la captura automática de datos de sensores (sensores de presión, pH, nivel y energía). El sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) se ajusta con sensores adicionales y reduce los costos. Los resultados muestran que el sistema propuesto supera a los existentes y produce mejores resultados. SCADA captura los valores precisos en tiempo real del sensor de flujo, temperatura, color y turbidez a través de la comunicación GSM.

Conclusiones

- Se propone usar nueva tecnología de monitoreo para determinar la contaminación del agua, fugas de tubería, temperatura, etc. usando un SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) utilizando una comunicación de tipo GSM para su control en tiempo real.
- El resultado que se espera es bajar los costos de mantenimiento y la captura de valores precisos en tiempo real.

Automatización y control a distancia de los reservorios de San Diego.

Autor Hernández Espinoza, Juan Carlos; **SCADA** Sistemas de control.

El Objetivo, automatización Controladores programables Reservorios—Perú
Este proyecto fue realizado en los Reservorios de regulación horaria de San Diego que se encuentran a 14 Km de la Bocatoma perteneciente a la Central Hidroeléctrica de Cañón del Pato. La necesidad del proyecto surge para cumplir con los siguientes objetivos:

- Automatizar los Reservorios San Diego, mediante la instalación de Controladores Lógicos Programables (PLC), sensores de nivel y posición digitales, con el fin de tener lecturas exactas y, con los enclavamientos adecuados, realizar maniobras seguras.
- Tener la información en tiempo real en el Centro de Control de Lima y a disposición de las jefaturas, para optimizar el uso de los reservorios de regulación, teniendo así un mejor manejo del recurso hídrico.
- Instalar un sistema SCADA para poder efectuar la operación remota de los Reservorios San Diego desde la sala de control de la Bocatoma de la Central Hidroeléctrica de Cañón del Pato, evitando así tener un operador en los reservorios.

Conclusiones

- La operación remota disminuyó enormemente los viajes del operador a los reservorios, evitando principalmente el tránsito en horas de la noche por dicha carretera que es considerada de alto riesgo.
- Lo anterior es una mejora en la seguridad personal de nuestro operador, que es la meta principal de la empresa.
- Adicionalmente conlleva a un menor gasto de combustible y un mayor tiempo entre los mantenimientos de la movilidad.
- Desde la fecha de implementación hasta el día de hoy el sistema a demostrado ser confiable y robusto, esto se debe principalmente a que el PLC (Programmable Logic Controller) es de uso industrial y está diseñado para estos entornos.
- Las veces que ha fallado el sistema o ha funcionado aparentemente en contra de la lógica del PLC (Programmable Logic Controller) a sido por un mal funcionamiento de los sensores debido a causas externas, por ejemplo si en un mantenimiento el sensor de nivel 4 en la descarga es golpeado y movido ligeramente de su posición comienza a dar lecturas erradas y el PLC (Programmable Logic Controller) actúa de acuerdo a ello, es el operador que en ese caso se da cuenta de la falla y va al sitio a corregir el problema. Siempre después del análisis de dichas fallas se concluye que el PLC ha actuado correctamente.

Aplicaciones de un sistema SCADA en la gestión de Presa Yuvacik Embalse.

Autor (Bobat, A (Bobat, Alaeddin); Gezgin, T (Gezgin, Tolga); Aslan, H (Aslan, Huseyin)) **Tipo de documento** (Artículo de Investigación) **Categorías / Clasificación** (Áreas de investigación: Engineering; Water Resources)

El Objetivo, Desalinacion y Tratamiento de Aguas Usando un sistema de control SCADA.

Los sistemas de control industrial, que incluyen sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), sistemas de control distribuido y otras configuraciones de sistemas de control más pequeños, como los controladores lógicos programables montados sobre patines, se utilizan a menudo en los sectores de control industrial.

Los sistemas SCADA se utilizan generalmente para controlar activos dispersos mediante la adquisición de datos centralizada y el control de supervisión.

Los sistemas SCADA también son sistemas distribuidos que se utilizan para controlar los activos dispersos geográficamente, que a menudo se encuentran dispersos en miles de kilómetros cuadrados, donde la adquisición y el control de datos centralizados son críticos para la operación del sistema.

Se utilizan comúnmente en sistemas de distribución como la distribución de agua y los sistemas de recolección de aguas residuales, oleoductos y gasoductos, redes eléctricas y sistemas de transporte ferroviario.

Conclusiones

- En este artículo, nos informa sobre el sistema SCADA utilizado en la operación de represa y embalse de Yuvacik, que se encuentra en la provincia de Kocaeli, Turquía, y se analizan los problemas asociados con la operación del sistema y sus soluciones.

Automatización basada en PLC y SCADA de Filter House una sección de la planta de tratamiento de agua.

Autor Archana, A.; Yadav, B. Conferencia: IEEE 1st International Conference on Emerging Technology Trends in Electronics, Communication and Networking

El Objetivo, automatización basada en PLC y SCADA de Filter House, para una planta de tratamiento de agua.

Rajasthan es un estado árido y, por lo tanto, hacer que el agua potable esté disponible es una prioridad del gobierno. Bajo el esquema de suministro de agua rural de Bhageri Ka Naka (Rajasthan), hay un sistema de transmisión con capacidad para producir y entregar 16.21 MLD de agua tratada en los reservorios de agua clara cerca de la planta de tratamiento.

Este esquema de suministro de agua se divide principalmente en tres secciones, a saber: (1) Casa de la bomba de admisión (IPH), (2) Planta de tratamiento de agua (WTP) y (3) Casa de la bomba de agua clara (CWPH).

La sección de la planta de tratamiento de agua implica:

1. Medición de turbidez y dosificación de alumbre.
2. Medición de pH y dosificación de cal.
3. Clarifloculador para clarificar el agua cruda dosificada con alumbre
4. Filtro de la casa para filtrar aún más el agua clarificada.
5. Cloración

Conclusiones

- Este documento describe cómo se realiza la automatización de Filter House (sección 4 de la planta de tratamiento de agua) para este proyecto utilizando PLC y SCADA.

Un sistema de control remoto basado en una estrategia de control ON/OFF y tecnología GSM es la manera más adecuada para evitar el rebose del sistema de bombeo de agua en el reservorio de la municipalidad de ASCOPE.

Autor Medrano Herrera, Carlos Franco, Trujillo Huamán, Sergio Jhonatan
SCADA Sistemas de control ; **Tipo de Documento**(Tesis) **Para optar el título** De Licenciado en Ingeniería Electrónica.

El Objetivo, implementar un sistema de control remoto SCADA basado en una estrategia de control ON/OFF y tecnología de Comunicación GSM es la manera más adecuada para evitar el rebose del sistema de bombeo de agua en el reservorio de la municipalidad de ASCOPE.

El presente trabajo de investigación se centra en realizar un sistema de control remoto basado en una estrategia de control ON/OFF y tecnología GSM es la manera más adecuada para evitar el rebose del sistema de bombeo de agua en el reservorio de la municipalidad de Ascope.

Se aborda la problemática que ocasiona el **rebose del Reservorio de Agua Potable de la Municipalidad de Ascope**. En él exponemos nuestro objetivo y damos a conocer la importancia de dar una solución debido a estar causando tiempos perdidos y malestar en la población.

Se realizar un sistema de control remoto basado en una estrategia de control ON/OFF y tecnología GSM es la manera más adecuada para evitar el rebose del sistema de bombeo de agua en el reservorio de la municipalidad de Ascope y también reforzar la solución que estamos proponiendo. Este estudio representa posibles tecnologías y desarrollo de la solución. Los resultados de la selección en cuanto a Tecnología de comunicación inalámbrica y Estrategia de Control para monitorear el Nivel Alto del Reservorio de Agua Potable.

Conclusiones

- Se estudió la problemática existente en el reservorio de la Municipalidad de Ascope, encontrando el malestar en el personal y la comunidad por los reboses ocasionados por el control manual existente, ocasionando aniegos y horas adicionales para los trabajadores.
- Se estudió las estrategias de control, lo cual permitió poder elegir la mejor.
- Se estudió las tecnologías de telemetría, lo cual permitió poder hacer un análisis de estas para el reservorio de la Municipalidad de Ascope y así poder emplear la mejor.

- Se propuso la mejor estrategia de control y tecnología de telemetría para la problemática del Reservorio, los materiales para el diseño que se propusieron son una buena alternativa en cuanto a su funcionalidad y costo.

Diseño y Automatización de un SCADA para una planta de cal en rsv32, aplicando una red industrial Ethernet TCP/IP.

Autor Quispe Paredes, Esmelin Ismael, **SCADA** Sistemas de control

Tipo de Documento(Tesis) **Para optar el Título Profesional** De Ingeniero de Sistemas.

El Objetivo, Diseño y Automatización de un SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) para una planta de Cal.

Los sistemas industriales, la automatización y control de procesos, permitirá a la empresa una operación del proceso eficiente, eficaz y estable del transporte de la cal a través de tuberías, así como la supervisión y medición de las variables del proceso de una manera rápida y en tiempo real para el desarrollo de las actividades industriales.

El diseño de este sistema de automatización “SCADA” se desarrollará con el software el RSView32, y el controlador lógico programable “PLC” CompactLogix 5000, con su respectivo software el cual desarrollaremos el programa con todas las secuencias necesarias para operar el transporte neumático de la cal en un silo a distancia, además mediante el uso del software RSView32 de automatización industrial se elabora el interfaz hombre-máquina “HMI”, el cual permitirá una monitorización y operación de los instrumentos de medición y todos los elementos de campo desde un computador ubicado en el cuarto de la sala de control.

La comunicación de datos utilizadas para el monitoreo y control del proceso del Transporte Neumático de Cal, se aplica la red Ethernet TCP/IP para los instrumentos de medición como los sensores de 4- 20mA y para los actuadores, los variadores de velocidad que usaremos y así como otros protocolos de comunicación empleados, procurando de esta manera un material adicional en lo referente a modos de transmisión de datos del modelo

OSI, siendo este un tema muy importante actualmente en lo que a sistemas de automatización se refiere.

Utilizado tres herramientas para el desarrollo de esta tesis, Diseñar el proceso a través de un lenguaje de programación de escalera Ladder, la segunda es controlar el funcionamiento del proceso mediante un control PID (controlador proporcional, integral), y la tercera Automatizar el proceso de transportación de la cal a través de un HMI (Human Machine Interface).

Finalmente, las pruebas de funcionamiento del sistema se realizaron con la ayuda de simuladores, máquina virtual, capaces de crear todas las condiciones de operación del sistema en sitio, logrando de esta manera recrear de una mejor forma el funcionamiento de sensores, motores, actuadores, válvulas, tuberías, tanques y plantear una estrategia de control en la automatización y demás elementos presentes en la línea del proceso de transporte de la cal.

Conclusiones

Primero: Se logró desarrollar un sistema de diseño y automatización de un SCADA para una planta de cal, aplicando una red industrial Ethernet que permita determinar grandes márgenes de producción en el sector minero; dicha solución tecnológica se muestra como una herramienta para realizar un análisis del desplazamiento del transporte de cal.

Segundo: El modelo de Diseño y la Automatización aplicada, permite registrar, vigilar y monitorear de manera rápida, los parámetros principales del proceso de la planta de cal en tiempo real, que cumple con una finalidad y es válido para los operadores de sala de control o personal encargado de realizar una supervisión del proceso de transporte de cal en los silos a distancia.

Tercero: La efectividad del sistema propuesto se ve reflejada en la obtención del control del proceso útil, aplicando una estrategia de control ON OFF, considerando, además, que la funcionalidad para determinar la variable de proceso sea permisible para una mejor optimización de variables según la necesidad del operador de sala de control.

Cuarto: Sí es posible obtener un flujo de trabajo orientado a desarrollar una SCADA con una mejor supervisión, control y adquisición de datos del proceso de la cal, el cual brinda un flujo de trabajo diferenciado y más

completo en operar todos los instrumentos de medición de campo desde un computador ubicado en la sala de control.

Quinto: Se determinó el tipo de PLC (Programmable Logic Controller), el HMI (Human Machine Interface). y los instrumentos de medición de campo adecuados, considerando optimizar el tiempo de distribución del transporte de cal con una mejor calidad, limpia y seca.

Sexto: Este sistema propuesto, puede representar el respaldo necesario en la toma de decisiones debido a la operatividad entre el operador y el proceso industrial a que genera un valor agregado al desarrollar la aplicación de sistema de automatización del transporte de la cal, a los silos de distancia.

Telecomunicaciones en Sistemas SCADA de alta disponibilidad para las plantas de tratamiento de Huachipa y la Atarjea.

Autor Albornoz Domínguez, Abner Aquiles, **SCADA** Sistemas de control

Tipo de Documento Tesis **Para optar el Título Profesional** De Ingeniero de Telecomunicaciones.

El Objetivo, sistemas de comunicaciones SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) para una Plantas de tratamiento de agua.

En el presente trabajo describe el diseño y la implementación del sistema de comunicaciones que es la plataforma de comunicaciones de un sistema SCADA de alta disponibilidad para el sector agua potable. Se describe la plataforma de comunicaciones de las plantas de tratamiento de agua potable de Huachipa y La Atarjea, la Bocatoma de Huachipa y del Ramal Norte, que es el canal troncal de agua potable desde la planta de tratamiento de agua potable de Huachipa hacia la población de Jicamarca, San Juan de Lurigancho, Collique, Comas y puente Piedra.

El Centro de control de La Atarjea concentra la información de los reservorios que abastecen a la población y el Centro de Control de Huachipa concentra la información de los procesos de la planta de tratamiento y del canal troncal donde se ubican 4 reservorios principales que alimentan a los demás reservorios. Entre los sistemas de comunicación usados se pueden encontrar comunicación inalámbrica (Radioenlaces) y alámbrica (Fibra

óptica, coaxial, par trenzado). El trabajo se enfoca en el diseño, así como de los equipos que componen el sistema de comunicaciones.

Conclusiones

- El sistema de comunicaciones descrito es usado para la automatización de las dos principales plantas de tratamiento de agua potable de la ciudad de Lima.
- El primer sistema de comunicaciones descrito (La Atarjea) es usado para la automatización de las estaciones (Reservorios) de donde se abastecerá agua potable a otros reservorios y a la población y el segundo sistema (Huachipa) es usado para el canal troncal desde la planta de tratamiento hasta Collique, incluido la automatización de la Bocatoma y Planta de tratamiento de Agua Potable.
- Entre los sistemas de comunicación usados podemos encontrar comunicación inalámbrica (Radioenlaces) y alámbrica (Fibra óptica, coaxial, par trenzado).
- Radio enlaces entre los reservorios y parte del canal troncal (Ramal Norte) y como sistema redundante entre la Planta de tratamiento de agua potable y la Bocatoma.
- Fibra óptica como sistema comunicaciones principal entre la Planta de tratamiento de agua potable y La Bocatoma, así como en el canal troncal (Ramal Norte) específicamente en los dos túneles entre Jicamarca y San de Lurigancho el primero y San Juan de Lurigancho y Collique el segundo.
- El sistema de comunicaciones sirve como medio de transmisión de sistemas como: sistema SCADA, Sistema de datos históricos y Backup automático, sistema de sincronización GPS, sistema Video Wall y CCTV.
- Entre los principales protocolos de comunicación usados están: STP (Spanning Tree Protocol), RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol), SNMP (Simple Network Management Protocol) y el protocolo industrial (MODBUS).
- El protocolo STP y RSTP son usados en los sistemas redundantes, estos protocolos definen la ruta de los datos.
- El protocolo SNMP es usado para monitorear remotamente (desde una PC) el funcionamiento de los equipos que forman parte del sistema.



2.2. Marco Teórico.

2.2.1. Lógica Difusa FLC (Fuzzy Logic Controllers)

Según el matemático Fernando Sancho Caparrini, en unos de sus libros introducción a la lógica difusa hace referencia la siguiente definición.

La forma en que la gente piensa es, inherentemente, difusa. La forma en que percibimos el mundo está cambiando continuamente y no siempre se puede definir en términos de sentencias verdaderas o falsas.

Ejemplo

Consideremos como ejemplo el conjunto de vasos del mundo, que pueden estar vacíos o llenos de agua. Ahora tomemos un vaso vacío y comencemos a echar agua poco a poco, ¿en qué momento decidimos que el vaso pasa de estar vacío a estar lleno? Evidentemente, hay dos situaciones extremas que reconocemos sin ninguna duda, la primera cuando el vaso está completamente vacío, sin una sola gota de agua en su interior, y la segunda cuando está completamente lleno, cuando no cabe ni una sola gota más en él, pero una gota antes de estar completamente lleno, ¿diríamos que es falso que el vaso está lleno?, observa que para afirmar su condición, en la frase anterior no solo he usado el término lleno, sino que he añadido un modificador diciendo completamente lleno. Si a un vaso lleno de agua le quito una gota de agua... ¿dejo de considerarlo lleno y automáticamente pertenece para mí a otra clasificación?



Figura 1. Introducción a la Lógica Difusa
(<http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=97>)

Las definiciones de vaso completamente vacío y vaso completamente lleno son demasiado estrictas como para que resulten interesantes en un razonamiento en el que se consideran operaciones de llenado y vaciado de vasos, y entre los términos de lleno y vacío hay un área que no está claramente definida de pertenencia a ninguno de esos extremos. En el lenguaje natural que usamos en el mundo real hemos cubierto esta imprecisión por medio de una jerarquía de términos intermedios junto con modificadores que permiten cubrir un espectro más grande de áreas usando un número limitado de ellos, y podemos hablar de lleno, medio lleno, completamente lleno, casi lleno, etc. Matemáticamente, los conceptos de sí/no, verdadero/falso están representados por medio del concepto clásico de conjunto, pero necesitamos extenderlo para poder representar este tipo de información más difusa.

Un conjunto difuso permite a sus elementos tener un grado de pertenencia. Si el valor 1 se asigna a los elementos que están completamente en el conjunto, y 0 a los que están completamente fuera, entonces los objetos que están parcialmente en el conjunto tendrán un valor de pertenencia estrictamente entre 0 y 1. Por tanto, si un vaso completamente lleno tiene un grado de pertenencia a los vasos llenos de valor 1, y un vaso completamente vacío un grado de pertenencia de valor 0, entonces al añadir una gota a este último, su grado de pertenencia a los vasos llenos sería ligeramente superior a 0. (*Fernando Sancho Caparrini, 2018*)

2.2.2. Sistemas de Control

Control es un concepto muy común y es ampliamente usado por muchas personas en la vida cotidiana. El término es usado habitualmente para hacer referencia a la interacción entre el hombre y lo que lo rodea, más específicamente a la interacción hombre-máquina, un ejemplo sencillo es el de conducir un automóvil donde es necesario controlar el vehículo para lograr llegar al destino deseado, sistemas como este son llamados de control manual.

El control automático involucra solamente a máquinas, un ejemplo común es el control del nivel de agua de un tanque, donde dependiendo del nivel del líquido se abrirá o cerrará la válvula correspondiente a su llenado.

Ambos temas son un amplio campo de estudio con aplicación en las más diversas ramas de la ingeniería. Algunas aplicaciones son: en robótica se controla la velocidad, posición y fuerza con la que manipuladores interactúan con el medio, en la industria química el control es aplicado al flujo de líquidos, presión de gas, nivel de líquidos en depósitos, etc., incluso el cuerpo humano cuenta con mecanismos que trabajan como control automático, por ejemplo, el diámetro de la pupila del ojo, la presión sanguínea, el ritmo respiratorio, etc., son procesos biológicos que se los puede ver como equivalentes al control automático realimentado.

Los sistemas a controlar pueden ser de la más variada naturaleza. En los últimos 50 años una gran cantidad libros y publicaciones sobre control han sido presentados, de estos, los métodos de análisis y diseño son herramientas muy importantes para el ingeniero que realiza control.

El control automático surge para liberar al hombre de tareas repetitivas, donde la complejidad del sistema a controlar es elevada o la operación es riesgosa, puede haber una gran cantidad de motivos por la cual se opta por el control automático.

Este concepto de experiencia o base de conocimiento es muy importante en sistemas de control difuso. (*Tesis: lógica difusa y sistemas de control, 2016*)

Aplicación a sistemas de control con Lógica Difusa.

La incorporación de lógica difusa a los sistemas de control da lugar a lo que llamaremos sistemas de control difuso. Dentro de los sistemas de control se encuentran dos grandes áreas, el modelado o identificación y el control propiamente dicho o control directo.

2.2.3. Variadores de Velocidad

El Variador de Velocidad por sus siglas en inglés VSD (Variable Speed Drive) términos en referencia a la automatización industrial es en un sentido amplio un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. También es conocido como Accionamiento de

Velocidad Variable, también por sus siglas en inglés ASD (Adjustable-Speed Drive).

Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo. La combinación de un motor de velocidad constante y de un dispositivo mecánico que permita cambiar la velocidad de forma continua (Loteró Ayala, 2103).

Variadores eléctrico-electrónicos

Los variadores eléctrico-electrónicos incluyen tanto el controlador como el motor eléctrico, sin embargo, es práctica común emplear el término variador únicamente al controlador eléctrico. (Loteró Ayala, 2103)

2.2.4. Máquina Virtual

Es un software que simula un sistema de computación y puede ejecutar programas como si fuese una computadora real. Este software en un principio fue definido como "un duplicado eficiente y aislado de una máquina física". La acepción del término actualmente incluye a máquinas virtuales que no tienen ninguna equivalencia directa con ningún hardware real. (Rubén Andrés, 2017).

2.2.5. Automatización Industrial

Es un dispositivo que realiza una labor de manera automática de acuerdo a los parámetros con los cuales ha sido diseñado. Con un sistema automático se busca principalmente aumentar la eficiencia del proceso incrementando la velocidad, la calidad y la precisión y disminuyendo los riesgos que normalmente se tendrían en la tarea si fuese realizada en forma manual.

2.2.6. Control de Procesos

El controlar un proceso, se refiere a como se controlan variables inherentes al mismo para: reducir la variabilidad del producto final, incrementar la eficiencia, reducir impacto ambiental, mantener el proceso dentro de los límites de seguridad que corresponda.

2.2.7. Instrumentación Industrial

Es el grupo de elementos que sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en este.

2.2.8. Framework

Para el manejo de todas estas librerías se encuentran unas guías de desarrollo y conexión por medio de SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) con una plantilla que ayudan a facilitar el diseño para hacerlo de una forma más dinámica y concisa dependiendo de utilizar la librería para una cantidad de proceso, el cual nos ayudara a realizar de una forma más práctica para que los usuarios puedan utilizar estos bloques y sus facultades de una forma dinámica.

2.2.9. Redes de comunicación industriales

Las comunicaciones a este nivel deben poseer unas características particulares para responder a las necesidades de intercomunicación en tiempo real que se deben producir y ser capaces de resistir un ambiente hostil donde existe gran cantidad de ruido electromagnético y condiciones ambientales duras. En el uso de comunicaciones industriales se pueden separar dos áreas principales, una comunicación a nivel de campo o local y una comunicación de distancia hacia el SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) o centro control.

En ambos casos la transmisión de datos se realiza en tiempo real, o por lo menos con una demora que no es significativa respecto de los tiempos del proceso, pudiendo ser crítico para el nivel de campo.

Según el entorno donde van a ser instaladas, en un ámbito industrial existen varios tipos de redes en este proyecto se implementaría una red de comunicación industrial WirelessHart (Rosado, 2003).

2.2.10. Reservorio de Agua

Las variables de estado o reservorios y los flujos, se basan en la metáfora hidráulica del flujo de agua que entra y sale del depósito o reservorio.

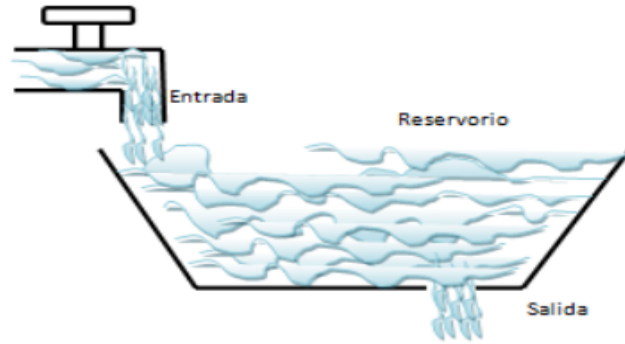


Figura 2. Metáfora Hidráulica (Britto, 2007).

Los reservorios son acumuladores, de los cuales generan información y se toman acciones y decisiones. Los reservorios proveen al sistema de inercia y proveen con memoria. Generan diferencias entre las entradas del flujo de procesos y salida de flujos. Las tasas de flujo y almacenes son fuente de desequilibrio en dinámica de sistemas. Notación para diagramación de flujo y almacenes se pueden diferenciar los siguientes elementos:

- Almacenes, reservorios o niveles son representados gráficamente.
- Flujos de entrada son representados por válvulas con un punto fuera del almacén.
- Las válvulas son representadas por triángulos que controlan los flujos.
- Las nubes representan las fuentes para los flujos. Una fuente representa el almacén del cual se origina el flujo fuera de los límites donde nace el modelo. Una fuente representa el almacén con el flujo que va drenando de los límites del modelo. (Britto, 2007)

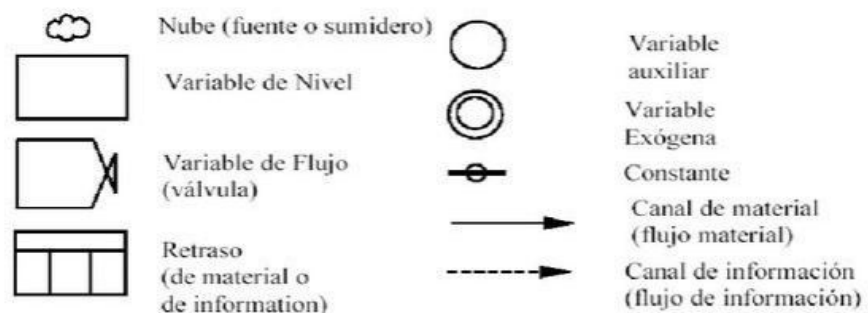


Figura 3. Elemento diagrama de Forrester (Britto 2007).

2.2.11. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

Un sistema SCADA se denomina al sistema de Control, Supervisión y Adquisición de Datos. Este sistema permite la gestión y control de cualquier sistema local o remoto a través de interfaces gráficas que permite la comunicación del usuario con el sistema. Se basa en la aplicación de software que funcionan sobre ordenadores de controles de producción, con accesos a la planta mediante comunicaciones digitales con instrumentos y actuadores. El control se realiza a través de interfaces gráficas de alto nivel para el operador (pantallas táctiles, ratones o cursores, lapiceros ópticos, entre otros).

Este sistema permite la comunicación con dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, sistemas de dosificación, entre otros) para que controle el proceso de manera automática a través del terminal visual (pantalla) del ordenador, que se configurada por el usuario y puede ser modificada con facilidad. Además, provee a diversos usuarios de toda la información que se genera en el proceso productivo.

El flujo de la información en los sistemas SCADA es como se describe a continuación: El fenómeno físico lo constituye la variable que deseamos medir. Dependiendo del proceso, la naturaleza del fenómeno es muy diversa: presión, temperatura, flujo, potencia, intensidad de corriente, voltaje, ph, densidad, etc. Este fenómeno debe traducirse a una variable que sea inteligible para el sistema SCADA, es decir, en una variable eléctrica. Para ello, se utilizan los sensores o transductores.

Los sensores o transductores convierten las variaciones del fenómeno físico en variaciones proporcionales de una variable eléctrica. Las variables eléctricas más utilizadas son: voltaje, corriente, carga, resistencia o capacitancia.

Sin embargo, esta variedad de tipos de señales eléctricas debe ser procesada para ser entendida por el computador. Para ello se utilizan acondicionadores de señal, cuya función es la de referenciar estos cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje. Además, provee aislamiento eléctrica y filtraje de la señal con el objeto de proteger el sistema de Transientes y ruidos originados en el campo.

Una vez acondicionada la señal, la misma se convierte en un valor digital equivalente en el bloque de conversión de datos. Generalmente, esta función es llevada a cabo por un circuito de conversión analógico/digital. El computador almacena esta información, la cual es utilizada para su análisis y para la toma de decisiones. Simultáneamente, se muestra la información al usuario del sistema, en tiempo real.

Basado en la información, el operador puede tomar la decisión de realizar una acción de control sobre el proceso. El operador comanda al computador a realizarla, y de nuevo debe convertirse la información digital a una señal eléctrica. Esta señal eléctrica es procesada por una salida de control, el cual funciona como un acondicionador de señal, la cual la escala para manejar un dispositivo dado: bobina de un relé, setpoint de un controlador. (EcuRed, 2011)

Necesidad de un sistema SCADA

Para evaluar si un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) es necesario para manejar una instalación dada, el proceso a controlar debe cumplir las siguientes características:

- a) El número de variables del proceso que se necesita monitorear es alto.
- b) El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitativa, ya que puede instalarse un SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) para la supervisión y control de un proceso concentrado en una localidad.
- c) La información del proceso que se necesita en el momento en que los cambios se producen en el mismo, o en otras palabras, la información se requiere en tiempo real.
- d) La necesidad de optimizar y facilitar las operaciones de la planta, así como la toma de decisiones, tanto gerenciales como operativas.
- e) Los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión de un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Estos beneficios pueden reflejarse como aumento de la efectividad de la producción, de los niveles de seguridad, etc.

f) La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sean iniciadas por un operador. En caso contrario, se requerirá de un Sistema de Control Automático, el cual lo puede constituir un Sistema de Control Distribuido, PLC's (Programmable Logic Controller), Controladores a Lazo Cerrado o Abierto o una combinación de ellos.

Funciones:

Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA están las siguientes:

- a) Recabar, almacenar y mostrar información, en forma continua y confiable, correspondiente a la señalización de campo: estados de dispositivos, mediciones, alarmas, etc.
- b) Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador, tales como: abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas, etc.
- c) Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.
- d) Aplicaciones en general, basadas en la información obtenida por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, detección de fugas, etc.

2.2.12. Controlador Lógico Programable (PLC)

Un autómata programable o PLC (Programmable Logic Controller), es un dispositivo programable diseñado para el control de señales eléctricas asociados al control automático de procesos industriales.

Un PLC (Programmable Logic Controller) posee las herramientas necesarias, tanto de software como de hardware, para controlar dispositivos externos, recibir señales de sensores y tomar decisiones de acuerdo a un programa que el usuario elabore según el esquema del proceso a controlar.

El PLC está compuesto de tres componentes principales:

- Unidad central de proceso (CPU)

- Grupo de entradas (X) o (I)
- Grupo de salidas (Y) o (Q)

Las entradas pueden ser digitales (pulsador, fin de carrera, sensor de proximidad, presostato, termostato, etc.) o análogas (transmisor de presión, caudalímetro magnético, sensor de temperatura, etc.).

Las salidas pueden ser digitales (bobina contactor, piloto de señalización, etc.) o análogas (electroválvula reguladora de caudal o válvulas proporcionales).

Existen dos tipos de PLC:

- PLC modulares (1) ***Figura 4***
- PLC compactos (2) ***Figura 5***



Figura 4: PLC Modular (1)



Figura 5: PLC Compactos (2)

http://www.moeller.es/productos_soluciones

Cualquiera sea el tipo de PLC (*Programmable Logic Controller*), están compuestos de varias partes internas entre ellas:

- Fuente de alimentación
- Unidad central de procesos
- Memoria ROM (*Read Only Memory*)
- Memoria de datos (*Random Access Memory*)
- Memoria de program EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*)
- Interfaces de entrada y salida

A diferencia de un computador tradicional, un PLC (*Programmable Logic Controller*) no tiene teclado, pantalla ni ratón, tampoco tienen disco duro ni

Windows. Pero internamente si es un computador, con su hardware: procesadores, memoria, puertos de comunicación, etc. y con su software: un sistema operativo (que le llaman

Firmware), y una programación, específica para la aplicación o el caso particular en que se está usando.

La principal diferencia entre un PC y un PLC (*Programmable Logic Controller*), es que el PLC contienen múltiples canales para medir distintas señales provenientes de sensores instalados en la maquina o proceso que controlan. Y también tienen canales de salida de señal que actúan sobre la maquina o proceso que controlan.

Campos de aplicación de PLC's (*Programmable Logic Controller*)

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo, para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales (Reyes, 2008).

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización. Por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, o control de instalaciones, entre otras.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, hace que su eficacia se aprecie principalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

2.2.13. HMI (Human Machine Interface)

Es decir, Interfaz Hombre-Máquina, es el dispositivo o sistema que permite la interface entre la persona y la máquina, tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso. En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas.

Tipos de HMI

Podemos distinguir básicamente dos tipos de HMIs:

Terminal de Operador: consistente en un dispositivo, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Pueden ser además con pantalla sensible al tacto (touch screen).

PC + Software: esto constituye otra alternativa basada en un PC en donde se carga un software apropiado para la aplicación. Como PC se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto, en donde existen los llamados Industriales (para ambientes agresivos), los de panel (Panel PC) que se instalan en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador, y en general veremos muchas formas de hacer un PC, pasando por el tradicional PC de escritorio. Respecto a los softwares a instalar en el PC de modo de cumplir la función de HMI (Human Machine Interface).

Software HMI (Human Machine Interface)

Estos softwares permiten entre otras cosas las siguientes funciones: Interface gráfica de modo de poder ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas. Si bien es cierto sólo con la primera función enunciada es la propiamente HMI (Human Machine Interface), casi todos los proveedores incluyen las otras dos ya sea en el mismo paquete o bien como opcionales. También es normal que dispongan de muchas más herramientas. Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño

o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego debe quedar corriendo en el PC un software de ejecución - Run Time (Raúl Cobo, 2008).

2.2.14. Sensores

Un sensor es una unidad electrónica capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas.

Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser, por ejemplo:

Temperatura, intensidad lumínica, distancia, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc.

Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica como en una RTD (Resistance Temperature Detector), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Dependiendo del tipo de señal de salida del sensor, estos pueden ser:

- Sensor analógico.
- Sensor digital.

Los sensores analógicos entregan como salida un voltaje o una corriente continuamente variable dentro del campo de medida especificado. El rango de voltaje de salida más común es 0 a 10 V y los rangos de corriente de salida más comunes son de 0 a 20 mA y 4 a 20 mA.

Los sensores digitales entregan un voltaje o una corriente variable en forma de pulsos o pasos discretos de manera codificada, es decir con su valor representado en algún formato de pulsos o palabras, digamos PWM (*Pulse Width Modulation* *Modulación de ancho de pulsos*) o binario. (Frank Mecafenix, 2017)

2.2.15. Sensor de Caudal

Los sensores de flujo comúnmente llamados caudalímetro miden el volumen de líquido que pasa por un punto determinado durante un periodo definido.

El flujo de un líquido que pasa por una tubería depende de cuatro factores: velocidad, densidad, viscosidad de flujo y el diámetro de la tubería.

La operación de un caudalímetro magnético se basa en la ley de Faraday, que indica si un conductor se mueve a través de un campo magnético, entonces se induce en el mismo un voltaje (E) proporcional a su longitud (D), su velocidad de

desplazamiento (V) y la intensidad del campo (B). En este caso el fluido en movimiento actúa como conductor, mientras que el campo lo establecen dos bobinas montadas en las paredes exteriores de la tubería y excitadas por un voltaje DC (*Corriente Continua*) pulsante.

Fórmula de Faraday:

$$E \propto D \cdot V \cdot B$$

Donde:

E = Voltaje inducido en el conductor (electrodos)

D = Longitud del conductor (distancia entre los electrodos)

V = Velocidad del conductor (velocidad promedio del fluido)

B = Fuerza del campo magnético

2.2.16. Sensor de Presión

Los sensores de presión son dispositivos que transforman la magnitud física de presión por unidad de superficie en una señal normalizada, normalmente 4.20 mA (*Miliamperios*). Los rangos de medida son muy amplios, desde unas milésimas de bar (*Unidad de Presión*) hasta los miles de bar (*Unidad de Presión*). Los sensores de presión sin amplificación de señal se llaman también transductores.

Principios de funcionamiento de un sensor de presión

Para la medida de presión con transmisores de presión, o sensores de presión se requiere un sensor que mide el valor de presión o la variación de la misma y lo convierte en una señal eléctrica. La señal eléctrica indica el valor de presión recibida. Los cuatro principios más importantes son la medida con sensores resistivos, sensores piezoresistivos, sensores capacitivos y sensores piezoeléctricos.

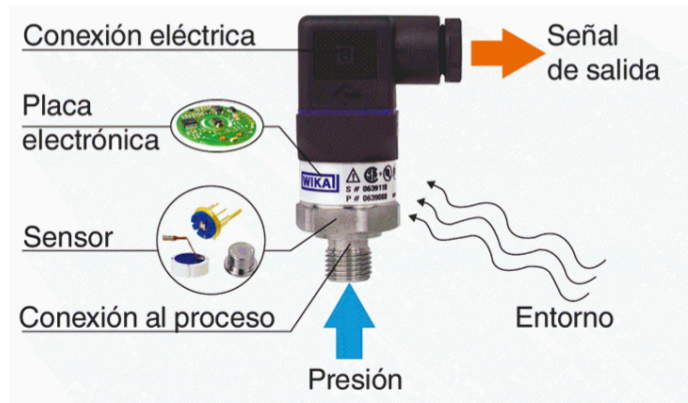


Figura 6: Partes de un Sensor de Presión
(<https://www.bloginstrumentacion.com>)

2.2.17. Sensor de Nivel

El Sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente.

Integral para el control de procesos en muchas industrias, los sensores de nivel se dividen en dos tipos principales.

Los Sensor de nivel de punto se utilizan para marcar una altura de un líquido en un determinado nivel preestablecido.

Generalmente, este tipo de sensor funciona como alarma, indicando un sobre llenado cuando el nivel determinado ha sido adquirido, o al contrario una alarma de nivel bajo.

Los sensores de nivel continuos son más sofisticados y pueden realizar el seguimiento del nivel de todo un sistema.

Estos miden el nivel del fluido dentro de un rango especificado, en lugar de en un único punto, produciendo una salida analógica que se correlaciona directamente con el nivel en el recipiente. Para crear un sistema de gestión de nivel, la señal de salida está vinculada a un bucle de control de proceso y a un indicador visual.

Sensores de Nivel Ultrasónico

El sensor consta de un transductor ultrasónico el cual continuamente transmite impulsos cortos de ultrasonidos a la superficie del medio. Los impulsos son recibidos por el sensor en forma de ecos. El tiempo entre la transmisión y la recepción de los pulsos se mide. Este tiempo es proporcional a la distancia y por lo tanto a la altura de llenado del medio. La conversión de estos valores a p.ej.

distancia, altura de llenado y volumen se realiza mediante procesador en el cabezal de conexión. Los valores de salida se pueden visualizar mediante LCD(Pantalla) y/o transmitir a través de las salidas correspondientes. En la versión a dos hilos, la misma conexión se utiliza para la señal de salida y para la alimentación.

Aplicaciones:

- En depósitos o contenedores en prácticamente toda la industria.
- Adecuado para líquidos agresivos y neutros si las partes en contacto del sensor son resistentes al medio (vapor) de acuerdo con la tabla de resistencia.

Ventajas:

- Principio de medición sin contacto
- Opciones para medición de distancia, volumen y nivel

2.2.18. Actuadores

Un ACTUADOR es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

Con el tiempo, se hizo conveniente automatizar la actuación de dispositivos, por lo que diferentes dispositivos hicieron su aparición. Actualmente hay básicamente dos tipos de actuadores:

- Lineales
- Rotatorios

Los actuadores lineales generan una fuerza en línea recta, tal como haría un pistón. Los actuadores rotatorios generan una fuerza rotatoria, como lo haría un motor eléctrico. En este artículo nos concentraremos en los actuadores rotatorios. En la próxima actualización tocaremos el tema de los actuadores lineales.

Como ya se mencionó, hay tres tipos de actuadores:

- Neumáticos
- Eléctricos
- Hidráulicos

Funcionamiento del actuador Rotatorio

El objetivo final del actuador rotatorio es generar un movimiento giratorio. El movimiento debe estar limitado a un ángulo máximo de rotación. Normalmente se habla de actuadores de cuarto de vuelta, o 90°; fracción de vuelta para ángulos diferentes a 90°, por ejemplo 180°; y de actuadores multi vuelta, para válvulas lineales que poseen un eje de tornillo o que requieren de múltiples vueltas para ser actuados.

La variable básica a tomar en cuenta en un actuador rotatorio es el torque o par; también llamado momento. Y es expresado en lb-in, lb-pie, N-m, etc.

Actuador Rotatorio Eléctrico

Para hacer funcionar el actuador eléctrico, se debe energizar los bornes correspondientes para que el motor actúe en la dirección apropiada. Usualmente vienen con un controlador local o botonera que hace este proceso mas sencillo. Sin embargo, para la automatización remota del actuador, se debe considerar el diagrama de cableado que viene con el actuador. Las conexiones deben considerar fuerza, señales de límites de carrera y torque, señales análogas o digitales de posición y torque, etc.

El torque generado por el motor eléctrico es aumentado por un reductor interno o externo para dar salida al torque final en el tiempo seleccionado. Esta es la razón por la que los actuadores eléctricos toman más tiempo en recorrer la carrera que los neumáticos o hidráulicos. *(Vildósola, 2008)*



Figura 7: Actuadores Eléctricos (<https://ab.rockwellautomation.com>)

2.2.19. Electro Válvulas

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide. Generalmente no tiene más que dos posiciones: abierto y cerrado, o todo y nada. Las electroválvulas se usan en multitud de aplicaciones para controlar el flujo de todo tipo de fluidos.

No se debe confundir la electroválvula con válvulas motorizadas, en las que un motor acciona el mecanismo de la válvula, y permiten otras posiciones intermedias entre todo y nada.

La apertura y el cierre de la electroválvula están unidas a la posición del núcleo móvil que se desplaza bajo el efecto del campo magnético provocado por la puesta con tensión de la bobina.

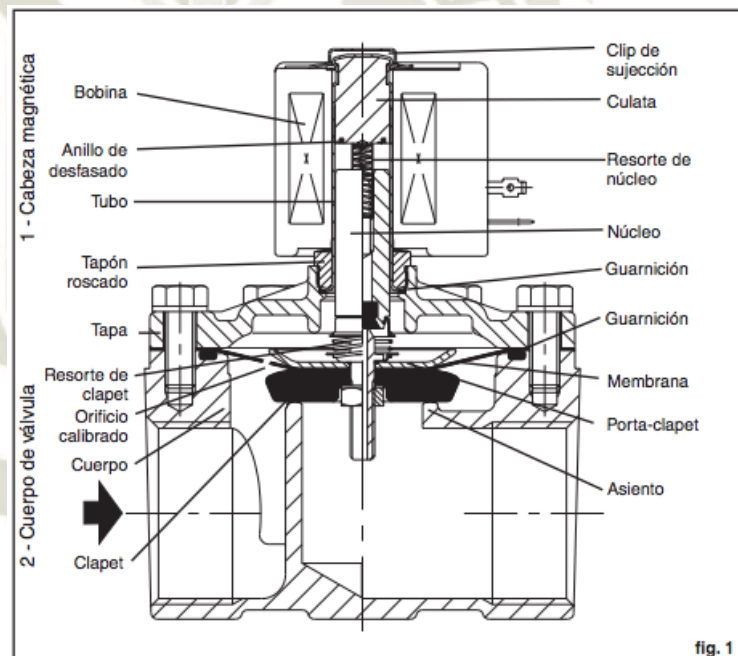


Figura 8: Partes de Electro – Válvula (esquivl,2017) (<http://www.tecval.cl>)

2.2.20. Válvulas

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Las válvulas son unos de los instrumentos de más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos.

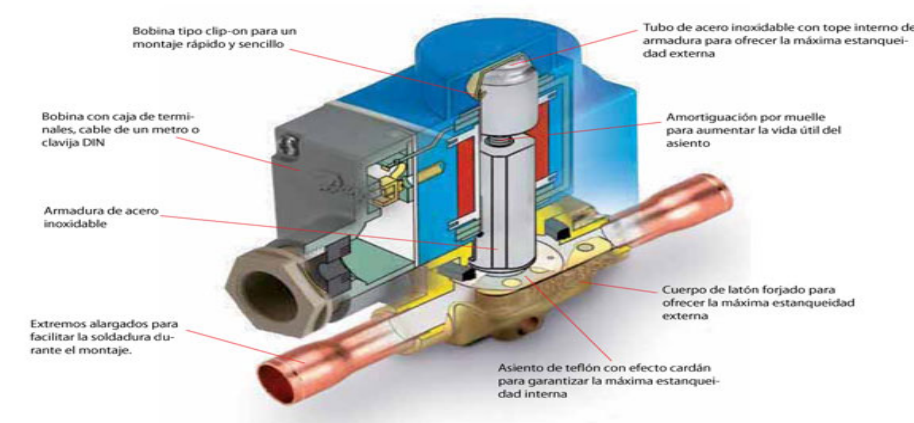


Figura 9: Válvula (<http://reymo.com>)

2.2.21. Bombas (Centrífuga - Horizontales)

Son equipos que tienen el eje de transmisión de la bomba en forma horizontal. Tienen la ventaja de poder ser instaladas en un lugar distinto de la fuente de abastecimiento, lo cual permite ubicarlas en lugares secos, protegidos de inundaciones, ventilados, de fácil acceso, etc.

Por su facilidad de operación y mantenimiento es apropiado para el medio rural. Su bajo costo de operación y mantenimiento es una ventaja adicional. Se pueden clasificar, de acuerdo a la posición del eje de la bomba con respecto al nivel del agua en la cisterna de bombeo, en bombas de succión positiva y bombas de succión negativa.

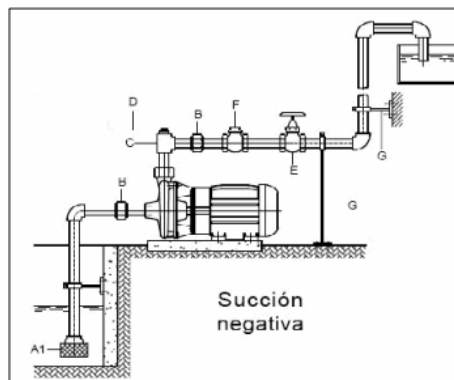


Figura 10: Bomba Centrífuga de Eje Horizontal (-) (<http://www.fullmecanica.com>)

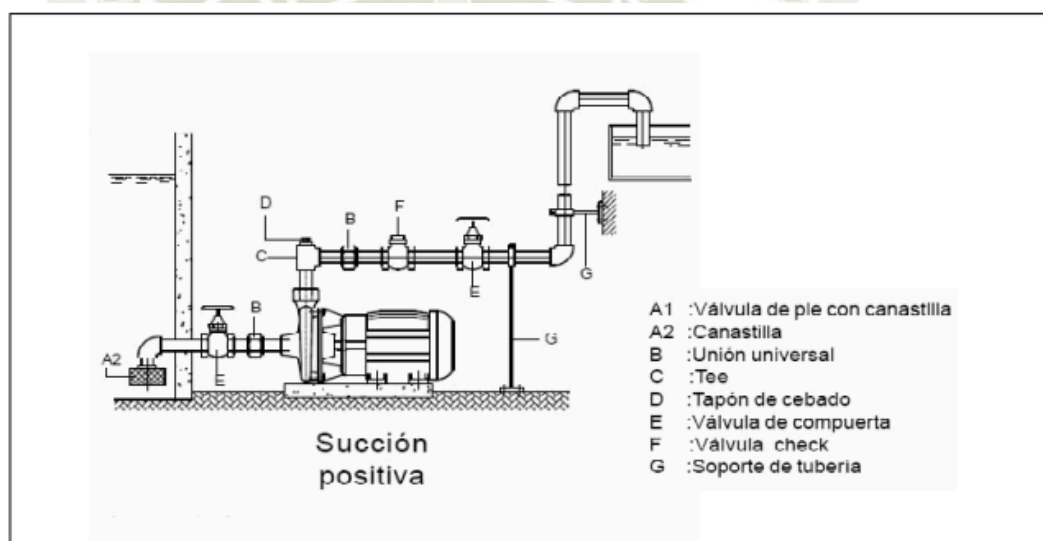


Figura 11: Bomba Centrífuga de Eje Horizontal (+) (<http://www.bvsde.paho.org>)

2.2.22. Comunicación y Redes Inalámbricas Industriales

La comunicación con los dispositivos de las máquinas o proceso se realiza mediante comunicación de datos empleando las puertas disponibles para ello, tanto en los dispositivos como en los PC's. Actualmente para la comunicación se usa un software denominado servidor de comunicaciones, el que se encarga de establecer el enlace entre los dispositivos y el software de aplicación (HMI u otros) los cuales son sus clientes. La técnica estandarizada en estos momentos para esto se llama OPC (*Ole for Process Control*), por lo que contamos entonces con Servidores y Clientes OPC.

2.2.23. Algoritmo de Control (Lógica Difusa)

El Control automático desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, robótica, económicos, biológicos, etc.

Los tipos de control empleados para estos procesos serán descritos a continuación, sin embargo es necesario indicar algunos términos que son empleados en todo sistema de automatizado.

Señal de salida: es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, etc.). También se denomina variable controlada. PROCESS VARIABLE.

Señal de Referencia: Es el valor que se desea que alcance la señal de salida. SET POINT.

Error: es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real. Señal de control: es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya, o elimine, el error. OUTPUT.

Señal análoga: es una señal continua en el tiempo.

Señal digital: es una señal que solo toma valores de 1 y 0.

Planta: Es el elemento físico que se desea controlar. Planta puede ser: un motor, un horno, un sistema de disparo, un sistema de navegación, un tanque de combustible, etc.

Proceso: operación que conduce a un resultado determinado.

Sistema: consiste en un conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado.

Perturbación: es una señal que tiende a afectar la salida del sistema, desviándola del valor deseado.

Sensor: es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) es una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital. También es llamado transductor. Los sensores, o transductores, analógicos envían, por lo regular, señales normalizadas de 0 -5 volts, 0-10 volts o 4-20mA.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA

3.1. Diseño y Simulación Del Sistema de Monitoreo y Control de Reservorios.

3.1.1. Controlador Lógico Programable CompactLogix 5000.

El procesador de CompactLogix 5000, forma parte de la familia Logix de Allen Bradley, que está bajo la red NetLinx. Este producto es el que vamos a utilizar para implementar de forma física nuestra propuesta de tesis, es flexible y robusto, está en un paquete compacto que ofrece un canal integrado por Ethernet IP, se puede integrar hasta 30 módulos de entrada y salida. La programación se realiza desde la plataforma del RSLogix 5000 que alberga lenguajes dentro de la norma IEC 61131 (*International Electrotechnical Commission's*).

Se comprende como un Autómata Programable, a toda máquina electrónica, está diseñada para controlar en tiempo real un proceso industrial. Su manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Esta plataforma realiza funciones lógicas: serie paralelos, temporizadores, contadores, escalamientos, comparaciones y otros más potentes cálculos matemáticos.

Esto quiere decir que los elementos tradicionales como relés auxiliares, relés de enclavamiento, temporizadores, contadores, son internos. La tarea del usuario se reduce a realizar el programa, que no es más que la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida en una programación de escalera.



Figura 12: Chasis del CompactLogix 5000 (www.Rockwell-Automation.com)

Los productos de Allen Bradley de la familia SCL 500 del RsLogix 5000, se constituyen tipo modular para los cuales en un chasis o rack se va implementando en el PLC.

Los elementos de este Módulo 1756 se toman en cuenta que este proyecto es de 7 chasis como son: Módulo IB16 entadas de 16bits, Módulo IM16 el voltaje con que se trabaja, Módulo OW16 Salida del relé de 24v, Analógicos, Módulo I/O digitales, Conectores de comunicación sensores, y actuadores.

Módulos especiales para control de procesos y lenguaje básico. También se dispone de módulos de comunicación en redes industriales tales como los protocolos: DH plus, RS-232, RS-485, Ethernet, Control Net.

Procesador 1769 – L32E: Es un procesador potente y versátil con que vamos a trabajar con el CompactLogix 5000, capaz de entender lenguajes de programación bajo la norma IEC 61131. Tiene un sistema operativo multitarea, tiene memoria de 1.5Mb, la comunicación se puede realizar desde el puerto Serial o desde Ethernet/IP, también cuenta con la opción para comunicación con DeviceNet.

Características:

- Incluye un puerto serial RS-232 incorporado en cada controlador 1769-L3x Ofrece puertos de comunicación incorporados para redes EtherNet/IP o ControlNet.
- Incluye un módulo de interface de comunicación 1769-SDN para control de E/S y configuración de dispositivos remotos en DeviceNet
- Le permite controlar las E/S distribuidas a través de EtherNet/IP ControlNet™ o DeviceNet™ (solo ciertos modelos).
- Proporciona una conexión en puente transparente con control y recolección de datos a través de la misma red.
- Se integra con los módulos Compact I/O 1769.



Figura 13: Procesador 1769 – L32E del CompactLogix 5000 (www.Rockwell-Automation.com)

Tipos de Módulos:

Módulo 1769 IQ16 (entradas discretas de 24VDC)

Especificaciones de Entradas

Tabla 1:

Especificación del Módulo 1769 – IQ16

Especificación	1769-IQ16
Categoría de Voltaje	24V dc
Rango de Operación de Voltaje	10 a 30V dc hasta 30°C (86°F) 10 a 26.4V dc hasta 60°C (140°F)
Número de Entradas	16
Bus de Corriente	115mA hasta 5V dc (0575W)
Disipador de Calor	3.55 total de Watts.
Retardo de Señal	Retardo Apagado: 8.0ms Retardo Encendido: 8.0ms

Fuente: Elaboración Propia

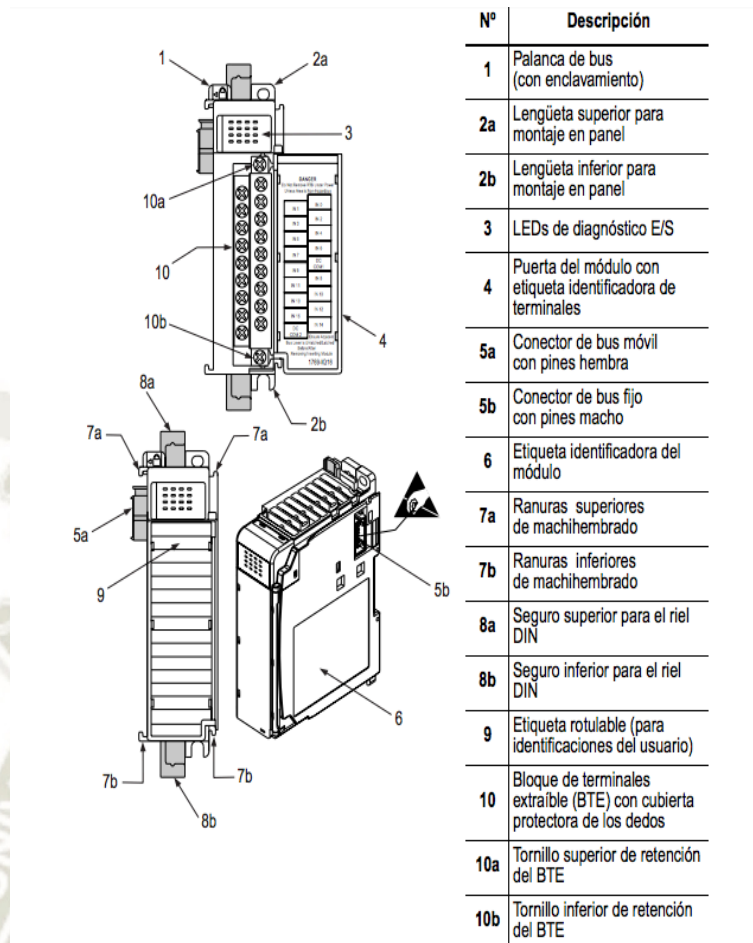


Figura 14: Módulo 1769 – IQ16 (<https://literature.rockwellautomation.com/>)

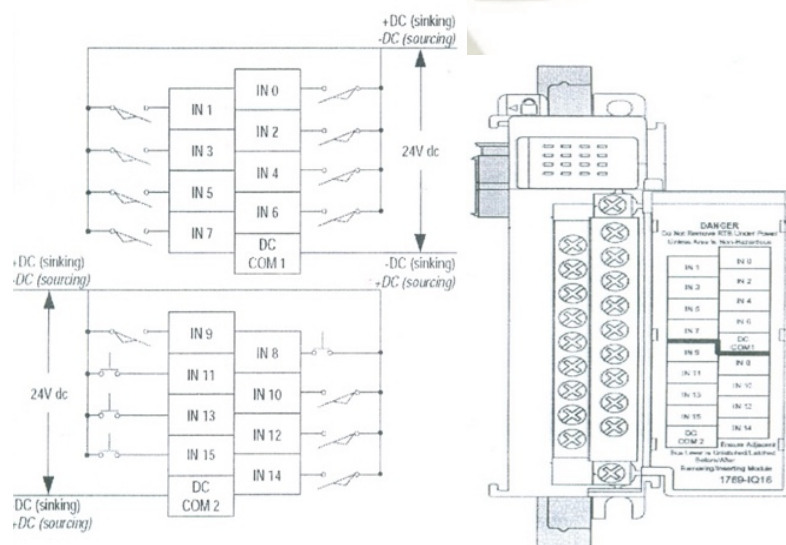


Figura 15: Módulo Eléctrico 1769 – IQ16 (<https://literature.rockwellautomation.com/>)

MODULO 1769 OW 16 (Salida AC/DC a relé)

Especificaciones de Salidas

Tabla 2:
Especificación del Módulo 1769 – OW16

Especificación	1769-OW16
Categoría de Voltaje	AC/DC
Rango de Operación de Voltaje	5 a 265V ac 5 a 125V dc
Número de Entradas	16
Bus de Corriente	205mA hasta 5V dc 180mA hasta 24V dc
Disipador de Calor	4.75 total de Watts.
Retardo de Señal	Apagado: 10ms Encendido: 10ms

Fuente: *Elaboración Propia*

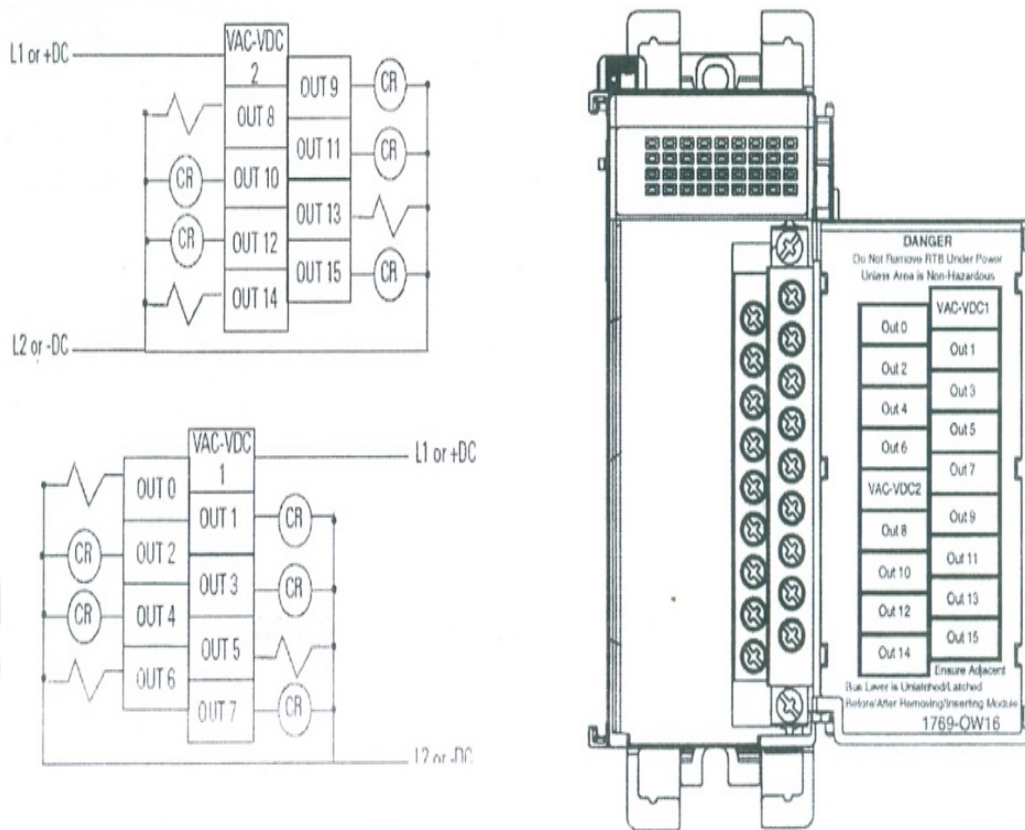


Figura 16: Módulo Eléctrico 1769 – OW16 (<https://literature.rockwellautomation.com/>)

MODULO 1769 – IF4 (Entrada Analógica)

Tabla 3:
Especificación del Módulo 1769 – IF4

PALABRA	POSICION DE BIT															
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	SGN	Entrada Analógica – Canal de Datos 0														
1	SGN	Entrada Analógica – Canal de Datos 1														
2	SGN	Entrada Analógica – Canal de Datos 2														
3	SGN	Entrada Analógica – Canal de Datos 3														
4	Not used															

Fuente: Elaboración Propia

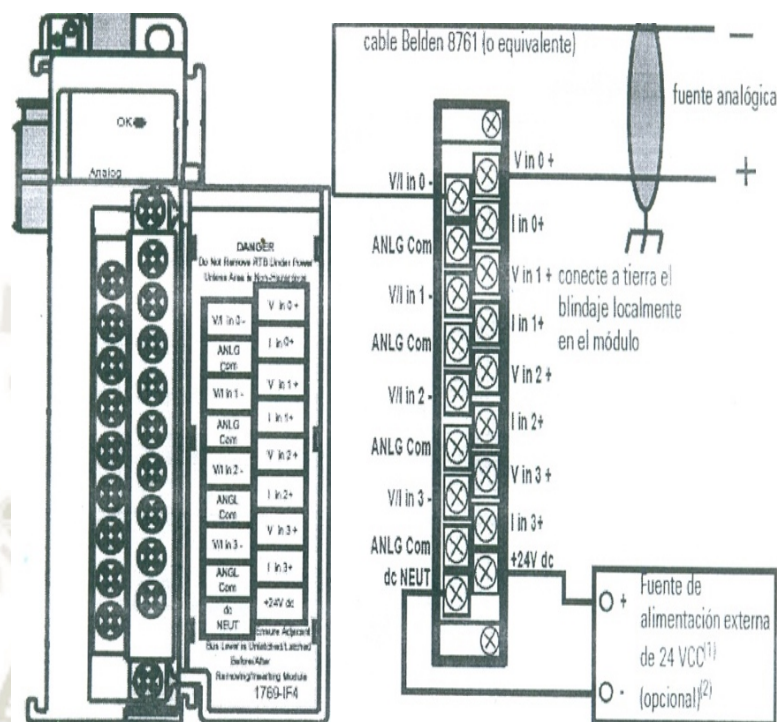


Figura 17: Módulo Eléctrico 1769 – IF4 (<https://literature.rockwellautomation.com/>)

MODULO 1769 – OF4 (Salida Analógica)

Tabla 4:

Especificación del Módulo 1769 – OF4

Especificación	1769 – OF4
Rango de Operación Analógica	Voltaje +-10 dc, 0 a 10dc, 0 a 5V dc, 1 a 5V dc. Corriente 0 a 20mA, 4 a 20mA.
Rango de Escalamiento Analógico	Voltaje: +- 10,5V dc, -0.5 a 10.5V dc, -0.5 a 5.25V dc, 0.5 a 5.25V dc. Corriente: 0 a 21mA, 3.2 a 21mA.
Número de Salidas	4

Bus de Corriente	120mA a 5V dc.
	120mA a 24V dc.
Disipador de Calor	2.63 Watts.

Fuente: Elaboración Propia

Salidas analógicas del cable

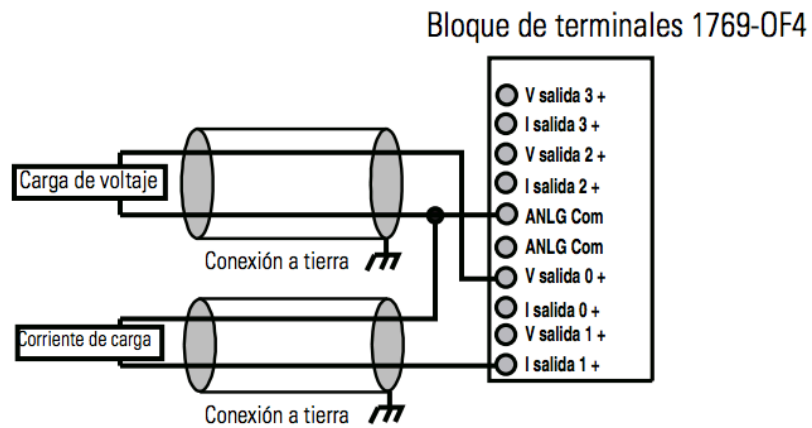


Figura 18: Módulo Eléctrico 1769 – OF4 (<https://literature.rockwellautomation.com/>)

Diagrama de bloque simplificado

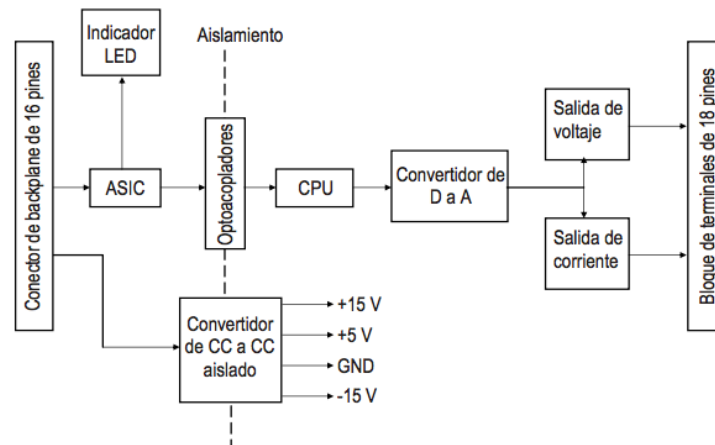


Figura 19: Diagrama de Bloque Simplificado (<https://literature.rockwellautomation.com/>)

3.1.2. Sensores y/o Transmisores

Estos dispositivos forman parte de las entradas de nuestro sistema de control y monitoreo de reservorios, que emplearemos en este diseño de automatización.

Utilizaremos varios tipos de sensores de nivel, de caudal, de presión, deben de enviar señales de tipo analógica que entregan como salida un voltaje o una corriente continuamente variable dentro del campo de medida especificado. El rango de voltaje de salida es 0 a 10 V y los rangos de corriente de salida son de 0 a 20 mA y 4 a 20 mA.

También se usaran sensores digitales entregan un voltaje o una corriente variable en forma de pulsos o pasos discretos de manera codificada, es decir con su valor representado en algún formato de pulsos o palabras, digamos PWM (Modulación de ancho de pulsos) o binario (0 - 1). La primera distinción entre los medidores de niveles es la debida al tipo de medidor, que puede ser de tres posiciones que usaremos, (nivel mínimo, nivel medio y nivel máximo).

3.1.2.1. Prosonic M FMU/42 Transmisor Ultrasónico de Nivel Sin Contacto

En esta propuesta de Tesis, una parte muy importante para lograr el correcto monitoreo es con el sensor de nivel de tipo ultrasónico, cuyo modelo es de Prosonic M FMU/42, fueron fabricados específicamente para la medición de nivel no invasiva en fluidos, El sensor del Prosonic M emite impulsos ultrasónicos hacia la superficie del producto. Al incidir los impulsos sobre la superficie, éstos se reflejan y vuelven al sensor.

El Prosonic M determina el tiempo t que transcurre entre la emisión y la recepción de un impulso. El instrumento utiliza este tiempo t (y la velocidad del sonido c) para calcular la distancia D entre la membrana del sensor y la superficie del producto, siendo:

- $D = c \cdot t/2$

Dado que el instrumento conoce la distancia de vacío E indicada por el usuario, puede determinar el nivel a partir de:

- $L = E - D$

Por medio de un sensor de temperatura integrado, el equipo tiene asimismo en cuenta los cambios que sufre la velocidad de sonido debido a las variaciones de temperatura.

Supresión de las señales de eco de interferencia

La supresión de las señales de eco de interferencia es una particularidad del Prosonic M con la que se impide que los ecos interferentes (procedentes, p. ej., de rebordes salientes, juntas soldadas, elementos de instalación) se interpreten como ecos de nivel.



Figura 20: Prosonic M FMU/42 Transmisor Ultrasónico
(<http://www.instrumentsandcontrol.com/>)

Especificaciones del Sensor de Prosonic M FMU/42 Transmisor Ultrasónico

Tabla 5:
Especificación Prosonic M FMU/42 Transmisor Ultrasónico

Principio de medición	Ultrasonic
Característica / Aplicación	Compact ultrasonic transmitter
Suministro / Comunicación	2/4-wire (HART), PROFIBUS PA, FOUNDATION Fieldbus
Exactitud	+/- 4 mm or +/- 0,2 % of set measuring range
Temperatura ambiente	-40 °C ... 80 °C (-40 °F ... 176 °F)
Temperatura de proceso	-40 °C ... 80 °C (-40 °F ... 176 °F)
Presión de proceso absoluta / máx. límite de sobrepresión	0.7 bar ... 2.5 bar abs (10 psi ... 36 psi)
Partes principales humedecidas	PVDF

Proceso de conexión	Flange DN80, ASME 3", JIS 10K 80 DN100, ASME 4", JIS 10K 100 Mounting bracket
Distancia de bloqueo	0.4 m (1.3 ft)
Max. distancia de medida	10 m (33 ft)
Comunicación	4 ... 20 mA HART PROFIBUS PA FOUNDATION Fieldbus
Certificados / Aprobaciones	ATEX, FM, CSA, INMETRO, NEPSI
Límites de aplicación	Foam / high turbulence possible: FMU44/FDU92 Fast filling and discharging rate: FMU90 + FDU9x Level limit detection FMU90 + FDU9x

Fuente: <https://portal.endress.com/>

3.1.2.2. Emerson Medidor de Caudal Serie 1500 Daniel

En la presente Tesis proponemos un sensor de caudal, este tipo de instrumentos nos va ayudar a la medición volumétrica de caudal.

Un montaje interno de acero inoxidable único maximiza el rendimiento de volumen y minimiza la caída de presión, lo que permite caudales altos sobre un rango extendido de caudal. Los dispositivos electrónicos sólidos y de nueva generación integran dos bobinas pickoff y un preamplificador de dos canales altamente duradero para garantizar la integridad de pulso total, eliminando virtualmente la posibilidad de pulsos faltantes o de doble conteo.

Tabla 6:
Especificaciones del Sensor de Caudal Emerson Serie 1500 Daniel

Tamaños de la tubería	DN25 a DN600 (1 pulg. a 24 pulg.)
Tipo de fluido	Líquido
Linealidad (estándar)	1 pulg. a 2,5 pulg.: $\pm 0,25$ %; 3 pulg. a 24 pulg.: $\pm 0,15$ %
Repetibilidad	$\pm 0,02$ %
Intervalo de temperatura del proceso (estándar)	Acero al carbono: -29 °C a $+60$ °C (-20 °F a $+140$ °F) Acero inoxidable: -40 °C a $+60$ °C (-40 °F a $+140$ °F)
Intervalo de presión operativa	PN20 a PN420 (ANSI 150 a 2500)
Materiales	Acero al carbono y acero inoxidable
Dispositivos electrónicos	2 bobinas pickoff y un preamplificador de dos canales (estándar); modelos adicionales de amplificador previo disponibles para cumplir con los requerimientos de la aplicación
Comunicación	4 ... 20 mA HART PROFIBUS PA

Fuente: <https://portal.endress.com/>

Características:

- Se logra medir caudales más altos y un rango de flujo extendido
- Se Mejora la precisión de la medición fiscal con una salida de pulso lineal con velocidad de flujo y rangeabilidad 10: 1 (reducción)
- Se Maximiza la responsabilidad con la resolución de pulsos de alta frecuencia que permite la medición de incrementos de minutos
- Se Mejora el rendimiento de la electrónica con una combinación superior de preamplificador de dos canales y dos bobinas de pickoff
- Se Elimina los impulsos faltantes o de doble conteo al lograr la integridad total del pulso con la segunda bobina de pickoff estándar
- Se obtiene el acceso local a los datos de flujo críticos en tiempo real
- Se Simplifica el mantenimiento con la nueva tapa roscada que permite un fácil acceso al preamplificador y la (s) bobina (s) de recogida
- Se Actualiza fácilmente los medidores equipados con UMB a la nueva carcasa LME que cuenta con electrónica encapsulada para mejorar la durabilidad

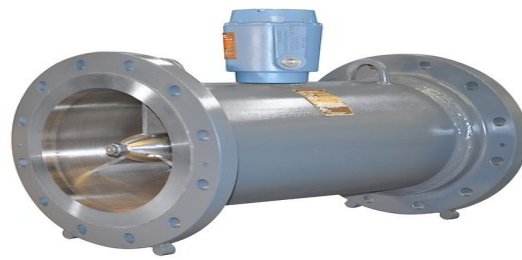


Figura 21: Emerson Medidor de Caudal Serie 1500 Daniel
(<https://www.emerson.com/es-es/catalog/automation-solutions>)

3.1.2.3. Transmisor de Presión Emerson Rosemount 2088

Con el Rosemount 2088 Transmisor de presión absoluta y manométrica, nosotros vamos a poder tener una medición en tiempo real de presión en el proceso de llenado de reservorio.

Tabla 7:
Especificaciones Transmisor de presión absoluta y manométrica Rosemount 2088

Tipo de Medición	Presión, Manométrica, absoluta
Precisión	Hasta 0,065% de span
Tipo de fluido	Líquido
Estabilidad	Hasta $\pm 0,125\%$ del límite superior de rango (URL) por 3 años
Garantía	Garantía limitada de hasta 5 años
Rangeabilidad	Hasta 50:1
Intervalo de presión operativa	PN20 a PN420 (ANSI 150 a 2500)
Materiales	Acero al carbono y acero inoxidable
Alcance de la medición	Hasta 4 000 psig (275,8 bar) manométrica, hasta 4 000 psia (275,8 bar) absoluta
Protocolo de comunicación	HART® de 4-20 mA, HART® de baja potencia de 1-5 VCC

Fuente: <https://www.emerson.com/es-es/catalog/automation-solutions/>

Características:

- La interfaz del operador local (LOI) incluye menús directos y botones de configuración integrados para facilidad de uso

- Las soluciones con sello remoto y manifold integrado, ensambladas en fábrica y resistentes a fugas, permiten un encendido rápido
- Los protocolos disponibles incluyen HART de 4-20 mA y HART de baja potencia de 1-5 VCC para flexibilidad en las aplicaciones
- Su diseño ligero y compacto facilita la instalación



Figura 22: Transmisor de presión absoluta y manométrica Emerson Rosemount 2088
(<https://www.emerson.com/es-es/catalog/automation-solutions/>)

3.1.3. Actuadores

3.1.3.1. Actuador YTC Posicionador Electro-Neumático de serie 1000/1050

El Posicionador analógico Electro-Neumático controla con precisión de carrera de la válvula en respuesta a una señal de entrada de 4-20 mA desde el controlador. Estas válvulas de control neumática son unidades servo controladas que emplean la presión del aire comprimido como fuente de energía y comando.

Como fuente de energía la presión del aire genera el movimiento de un pistón de doble acción al ser sometido a presiones diferenciales o el de un diafragma accionado por resortes. Como fuente de comando un valor de presión de aire que varía entre 3 a 15 psi genera la referencia para que el Posicionador regule correspondientemente el eje de la válvula entre 0° y 90°.



Figura 23: Actuador YTC Posicionador Electro-Neumático de serie 1000/1050

<http://www.bray-actuadors.com>

Especificaciones del Actuador YTC Posicionador Electro-Neumático de serie 1000/1050

Tabla 8:
Especificación del Actuador YTC

<i>MODELO</i>	YT – 1000L		YT – 1000R	
<i>TIPO DE ACCIÓN</i>	Simple	Doble	Simple	Doble
<i>SEÑAL DE ENTRADA</i>	4-20mA DC			
<i>IMPEDANCIA</i>	250 +/- 15 Ω			
<i>PRESION DE SUMINISTRO</i>	0.14 - 0.7MPa (1.4 – 7 bar)			
<i>CARRERA</i>	10 – 150 mm		0 – 90°	
<i>CONEXIÓN DE AIRE</i>	PT, NPT 1/4			
<i>CONEXIÓN DE CALIBRADO</i>	PT, NPT 1/8			
<i>ENTRADA POR TUBERIA</i>	PF(G) 1/2			
<i>GRADO DE PROTECCIÓN</i>	IP66			

PRUEBA DE EXPLOSION	Ex dmb IIB T5 (ATEX) Ex dmb IIC T5 (KTL) Ex ia IIB T5 (KTL) Ex dm IIB T5 (FM) Ex ia IIC T6 (NEPSI) Ex dmb IIC T5/T6(NEPSI)			
AMBIENTE DE TEMPERATURA	Temperatura de Operación: -20, 70°C Temperatura de Explosión a prueba: -40 , 60°C			
LINEALIDAD	±1.0% F.S.	±2.0% F.S.	±1.0% F.S.	±2.0% F.S.
HYSTERESIS	±1.0% F.S.			
SENSIBILIDAD	±2.0% F.S.	±0.5% F.S.	±2.0% F.S.	±0.5% F.S.
REPETIBILIDAD	±0.5% F.S.			
CAPACIDAD DE FLUJO	80 LPM (Sup. = 0.14 MPa)			
CONSUMO DE AIRE	2.5 LPM (Sup. = 0.14 MPa @ idle)			
SEÑAL DE REALIMENTACION	4-20 mA(DC 10-30V)			
PESO	2.7 kg		3.5 Kg	
MATERIAL	Aluminio fundido			

Fuente: Elaboración Propia

3.1.4 Válvulas

3.1.4.1 Válvula de Compuerta Sello Flexible AWWA C509 Sigma Flow

Para nuestro sistema propuesto de control y monitoreo usamos una válvula de compuerta que tiene un funcionamiento para abrir o cerrar el proceso del flujo, con la finalidad de cortar y regular el paso del líquido (agua), aumentando o reduciendo la sección del paso que gira sobre un eje, uno de los objetivos importante de esta válvula es por su operación de apertura y cierre. La utilizaremos para el conducto de líquido (agua) mediante tuberías para el proceso de llenado y distribución del reservorio. Estas válvulas de Compuerta Sello Flexible AWWA C509, se pueden automatizar económicamente con actuadores neumáticos y eléctricos de Bray . El Bray / Válvula de Alto Rendimiento McCannalok ofrece la más alta calidad, alto rendimiento y mayor valor disponible las que serán implementar en nuestra

propuesta de Tesis, cumpliendo las necesidades requeridas de los procesos industriales.

Características de Válvula de Compuerta Sello Flexible AWWA C509 Sigma Flow:

- Su operación es neumática, con actuador doble o simple.
- Su presión piloto es de 20 bar.
- La posición del montaje, puede trabajar el proceso en cualquier posición.
- Es una válvula robusta, de muy larga duración y está constituida por un funcionamiento seguro.
- Consta de un diámetro nominal de conexiones desde DN 40 hasta DN 300, con caja y disco de material forjado.
- Su rango de temperatura es de -20°F to 500°F (-29°C to 260°C).
- Este sistema de la válvula de estanqueidad esta optimizado por un ordenador para una larga de las juntas o presión de junta definida al espacio del producto a través de la pestaña de estanqueidad o ranuras de descarga para que la junta se dilate de forma controlada.
- Su rango de tamaño y de presión de trabajo de la válvula mariposa es de: 2 1/2"-60" (65mm-1500mm) y 285 psi (20.0 Bar).
- Su estilo del cuerpo: Wafer, Lug y Doble brida
- Alta resistencia, anti estallidos una pieza madre.
- Contorneada disco para maximizar el flujo.
- Anillo completo la cara de retención protege asiento en aplicaciones abrasivas.
- Empaquetadura del vástago fácilmente accesible y ajustable.



Figura 24: Válvula de Compuerta Sello Flexible AWWA C509 Sigma Flow

[\(https://suhissa.com.mx/producto/valvula-compuerta-awwa-c509/\)](https://suhissa.com.mx/producto/valvula-compuerta-awwa-c509/)

Tabla 9:

Material Válvula de Compuerta Sello Flexible AWWA C509 Sigma Flow

Cuerpo:	Hierro dúctil ASTM A536
Compuerta:	Hierro Dúctil ASTM A 536 Totalmente encapsulada de Hule EPDM
Tuerca de elevación y Prot. S/Torque:	Bronce ASTM B584 UNS C864
Vástago:	Acero inoxidable AISI 420 13% Cr
Tornillo, tuerca y arandela (cuerpo- bonete):	Acero Inoxidable AISI 316
Bonete:	Hierro dúctil ASTM A536
Empaque:	NBR ASTM D2000
O-rings:	NBR ASTM D2000
Anillo del vástago:	Bronce ASTM B16
Anillo de rozamiento:	Nylamid®
Buje del sello:	Bronce ASTM B16
Estopero:	Hierro dúctil ASTM A536
Cubre polvo:	NBR ASTM D2000
Arandela tornillo estopero:	Acero Inoxidable AISI 316
Volante ó dado operador:	Hierro dúctil ASTM A536
Pintura:	Resina epóxica adherida por fusión de acuerdo AWWA C550. Certificado WRAS

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 10:
Dimensión Nominal

Diámetro Nominal		Dimensiones Generales Pulgadas						Numero de Barrenos	Peso Kilogramos
Pulgadas	Milímetros	A	B	C	D	E	Diámetro de Barrenos		
2	50	10 3/8	6.00	7.00	4.75	0.75	0.75	4	15
* 2 1/2	63	11 3/8	7.00	7.50	5.50	0.75	0.75	4	18
3	75	12 1/2	7.50	8.00	6.00	0.75	0.75	4	21
4	100	13 7/8	9.00	9.00	7.50	0.94	0.75	8	30
6	150	17 1/2	11.00	10.50	9.50	1.00	0.88	8	48
8	200	21	13.50	11.50	11.75	1.13	0.88	8	84
* 10	250	24 1/2	16.00	13.00	14.25	1.19	1.00	12	130
* 12	300	27 3/8	19.00	14.00	17.00	1.25	1.00	12	192

Fuente <https://suhissa.com.mx/>

3.1.5 Bombas (Centrífuga – Horizontales)

Bomba centrífuga horizontal multi etapa 5 HP | Speroni

Electrobombas centrífugas horizontales multi etapa.

Ofrecen elevadas presiones y grandes caudales de agua con bajos consumos de energía. Aseguran un funcionamiento muy silencioso.

Aplicaciones:

- Abastecimiento de agua y presurización de hogares.
- Reservorios Agua Tratada
- Movimiento de aguas en general.

Grupos de presurización.

Características:

- Caudal: hasta 13.5 m³/h.
- Altura de elevación: hasta 95 m.
- La carcasa de bomba es de acero inoxidable. El cuerpo de bomba y el soporte de motor es de fundición de hierro.
- El impulsor y el difusor son de noryl.
- El eje del motor es de acero inoxidable.

- Cuenta con sello mecánico de silicio/silicio para los modelos RS/RSM 40-50-60
- La presión máxima de ejercicio es de 10 bar.
- La temperatura máxima del líquido a bombear es de 35° C.
- Equipada con motores de 2 polos de servicio continuo. Potencias de 0,8 a 5 HP en las versiones monofásicas
- Las versiones monofásicas vienen provistas con protección termo amperométrica y condensador permanentemente conectado.
- Aislación: Clase F.
- Protección eléctrica: IP44.

3.2 Diseño y Configuración de Software

3.2.1 SmartDraw (Diagramación) V.2013

Se decidió trabajar con este Software porque es un procesador visual muy potente para generar varios tipos de gráficos, es una herramienta de modelado que destaca por su gran variedad de modos de modelado, amoldándose a cualquier tipo de objetivo que queramos definir o diseñar.

En este caso temas de ingeniería del software a planificación de superficies o terrenos, sistemas de automatización SCADA, pasando por los típicos diagramas de flujo y organigramas empresariales.

Sirve para hacer múltiples diagramas. Entre estos se encuentran los diagramas de flujo, mapas mentales, organigramas, graficas de Gantt, etc. Una de las ventajas con las que cuenta esta aplicación es que es posible compartir documentos por medio de office, adobe acrobat Reader, imágenes como JPG para que varias personas puedan tener y trabajar sobre un mismo documento.

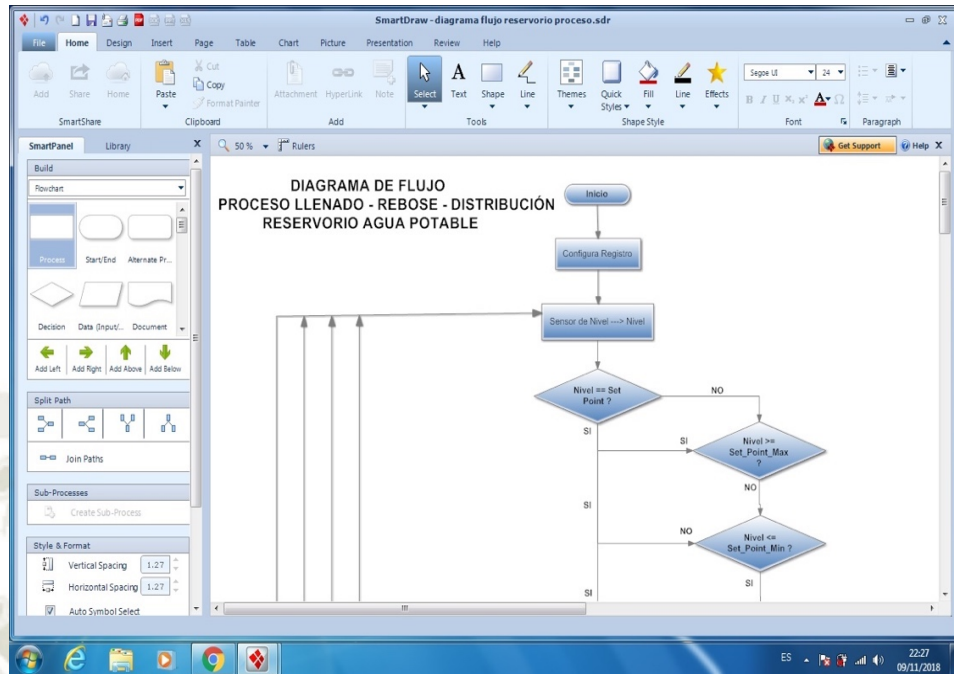


Figura 25: Software SmartDraw Diagrama De Flujo

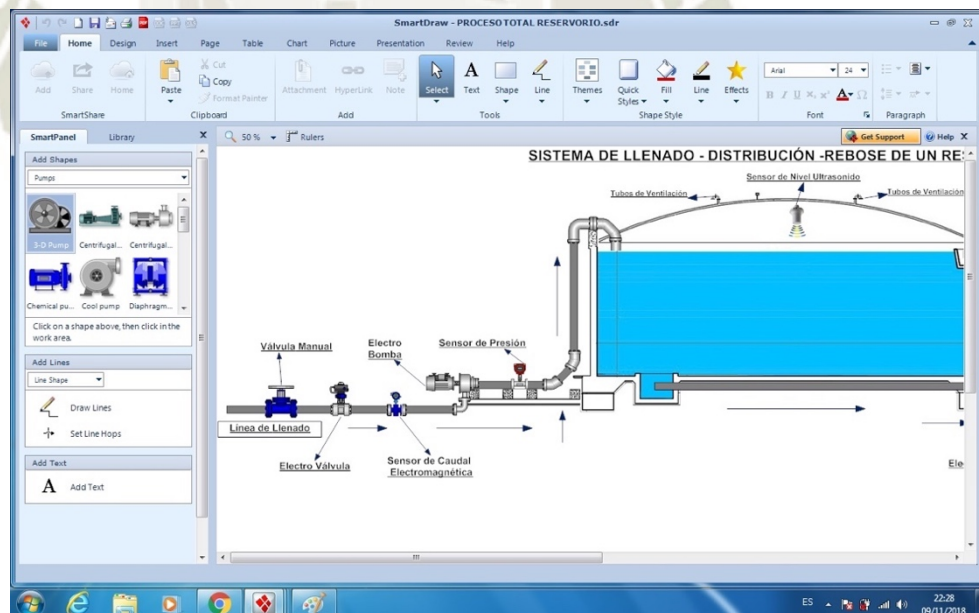


Figura 26: Software SmartDraw Diagrama Llenado

3.2.2 RsLogix 5000. V.20.04

Es el último de la serie de Allen-Bradley de Software PLC. RSLogix5000 utiliza un paquete de software que consta de cinco estilos de lenguajes de programación:

escalera lógica, texto estructurado, diagramas de bloques de funciones, diagramas de funciones secuenciales y grafcep. RsLogix 5000 es definitivamente más potente y flexible, pero es mucho más reciente, donde es sofisticado y automatizado.

Estos lenguajes de programación se pueden utilizar para el proceso de control, unidades, secuencial, y control movimiento. Este sistema permite al usuario crear comandos etiquetas a través de una plataforma basada en etiquetas. Esto permite al usuario utilizar una descripción de su elección para ese comando. Los parámetros para ese comando a continuación, se pueden especificar para ser un bit, entero, etc. Rockwell Software ha declarado lo siguiente acerca de la plataforma RSLogix5000:

- Intuitivo y fácil de usar
- Interfaz Compatible IEC 1131-3
- Programación estructurada por medio de símbolos y matrices
- Programación en Ladder
- Instrucciones add-on definidas por el usuario
- Alarmas FactoryTalk y eventos incorporados en el controlador Logix
- Servicio de asistencia técnica de seguridad SIL3 integrado
- Recuperación y almacenamiento automático de proyectos
- Importación/exportación parcial de tipo de datos definido por el usuario (UDT)
- Advertencia de verificación de bifurcación encorto de diagrama de lógica de escalera y opción de búsqueda
- Opción Fuzzy Designer de RsLogix 5000
- Configuración de variadores Power Flex integrados
- Tags consumidos/producidos de unidifusión de Ethernet/IP
- Supervisor Firmware de Logix5000

- Actualización rápida automática para variadores SERCOS
- Transformaciones robóticas Kinematics
- Control programable de movimiento jaloneado
- Mejora del sistema de fallos – Sólo acciones ante fallos
- Permite hacer cambios en línea en el editor CAM de salida de movimiento

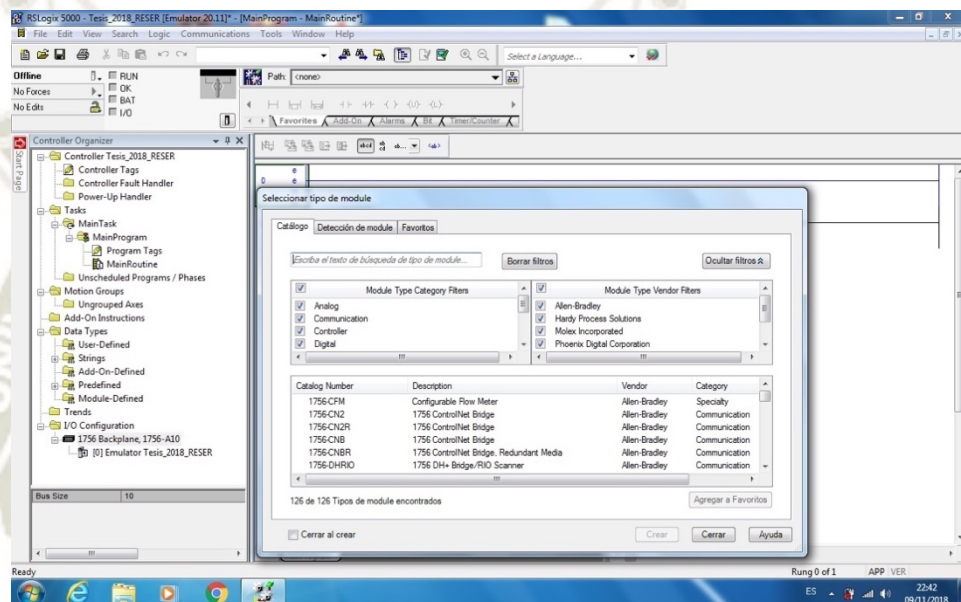


Figura 27: Software RsLogix 5000 V20.04

Fuzzy Designe (Lógica Difusa)

La opción Fuzzy Designer para RsLogix 5000 le permite crear sus propios algoritmos de lógica de aproximación personalizados para usar en cualquier familia de controladores Logix5000.

Fuzzy Designer proporciona un entorno de diseño de lógica de aproximación con un gran número de características que se integra con Logix mediante el uso de la nueva característica de instrucción add-on. Una vez que se ha creado un algoritmo personalizado, se compila en una instrucción add-on que puede importarse a los proyectos del controlador.

La opción Fuzzy Designer puede entonces monitorear y sintonizar ocurrencias de la instrucción que se está ejecutando en el controlador, y así se facilita el establecimiento de un esquema de control de lógica de aproximación eficaz. Fuzzy Designer (9324-RLDFZYENE) puede añadirse como opción separada a las ediciones RsLogix Mini, Lite, Standard, Standard/NetWorx, Full y Professional.

Proceso de Conversión de Código del RsLogix 5000

Con la ayuda de la programación este Software tiene la opción que es una plataforma plenamente con beneficios y / o caídas de aplicar RSLogix5000 a un mundo real proceso de fabricación.

Esto se hizo en tres etapas:

1. Primero la construcción de un diagrama de flujo con la finalidad de construir de manera más eficiente el algoritmo a implementar.
2. Segundo paso fue decidir qué parte de la máquina de código demostraría el mayor contraste entre dos plataformas de software.
3. El tercer paso fue la real aplicación del nuevo lenguaje de programación.
 - Juego de operaciones suministrar múltiples aplicaciones.
 - Se integra sistemas DCS o controladores de lazo único y servo drive o sistemas dedicados en un solo ambiente.
 - Capacidad de resolución de problemas en línea.
 - Capacidad de crear nuevas etiquetas mientras está en línea.

Además, la capacidad de monitorear y cambiar valores de variables, mientras que el programa está en línea, ha sido un beneficio. Se planteó una estrategia de control, con la finalidad de automatizar la variable dependiente y para eso se utilizó un control para lo cuando el Software lo cuenta dentro de un bloque de función se pueden cambiar en línea para optimizar su curva de FLC. El resultado de esta afinación puede verse casi instantáneamente y no interrumpir otras funciones del programa.

3.2.3 RsLogix Emulate 5000 V.24.00

El software RsLogix Emulate 5000 es una herramienta de ingeniería de escritorio basada en Windows que usaremos para emular un controlador Logix5000.

Se puede usar en combinación con el software RsLogix 5000 para ejecutar y probar el código de aplicación sin necesidad de conectarse al hardware físicamente.

Si se usa el software RsLogix Emulate 5000 antes de iniciar un proyecto, es posible reducir drásticamente errores de programación costosos que usualmente podrían surgir en la planta.

El software RsLogix Emulate 5000 le permite:

- Probar las pantallas de la interface operador-máquina.
- Hacerse cargo de la velocidad de ejecución de la aplicación al controlar la “velocidad de tiempo” para monitorear mejor la operación de códigos e identificar los posibles problemas de temporización.
- Usar la instrucción de depuración de punto de rastreo para rastrear tags del programa de aplicación cuando ocurren ciertos eventos.
- Usar la instrucción de punto de interrupción para detener la ejecución del programa basándose en errores o eventos en ubicaciones predeterminadas para analizar mejor su proceso.

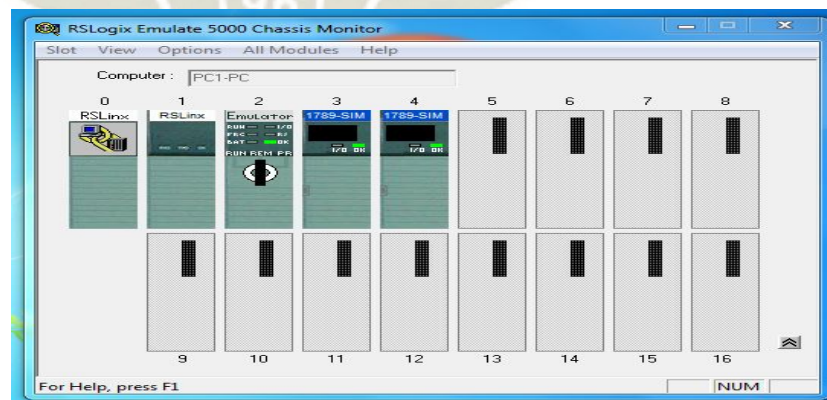


Figura 28: RsLogix Emulate 5000 Chassis Monitor

3.2.4 RsLinx Classic Gateway 3.71

Para la implementación, simulación de la Propuesta de la presente Tesis, se decidió utilizar el software RsLinx Classic es usado como medio de comunicación para redes y dispositivos de Rockwell Automation es una solución completa para comunicaciones industriales que puede utilizarse.

Su principal objetivo del software es seleccionar un controlador, es la interfaz de software para el dispositivo de hardware que se utilizará para establecer la comunicación entre el RsLinx y su procesador.

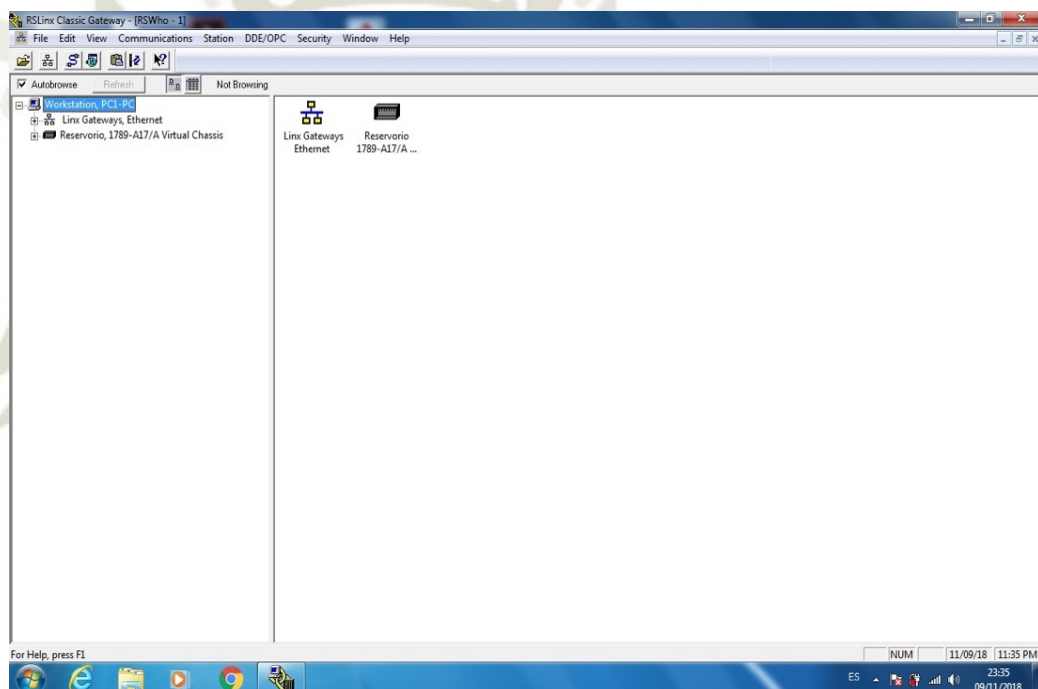


Figura 29: RsLinx Classic Gateway

El uso del RSWho en el RsLinx Classic

Lo podemos observar como una ventana que muestra las redes y dispositivo, donde se puede acceder a una variedad de herramientas de configuración y supervisión. Algunas de las herramientas disponibles son la configuración de las herramientas de la red DeviceNet que usaremos para nuestra comunicación de datos, Ethernet, Control Net y familia del controlador que vamos desarrollar nuestra programación en el PLC CompacLogix5000.

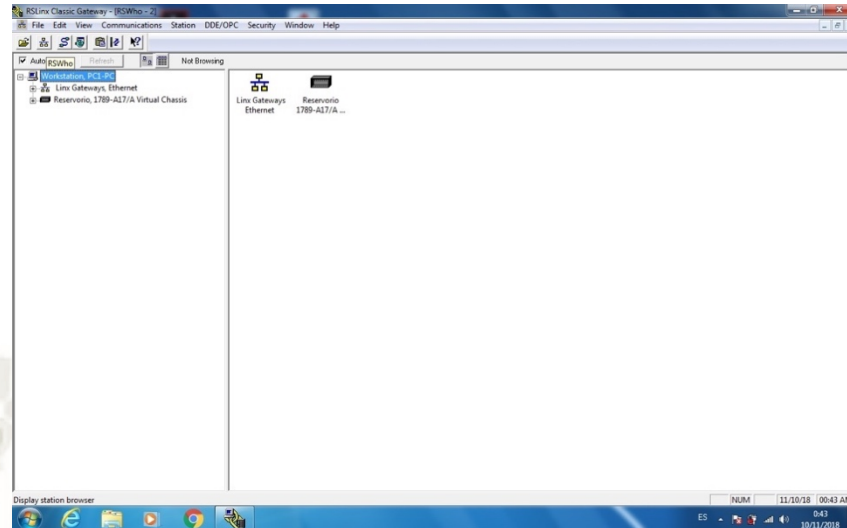


Figura 30: RSWho en el RsLinx Classic

3.2.5 FactoryTalk Studio V.8.20

El rendimiento y la visibilidad en toda una empresa requieren una solución de interface operador-máquina (HMI) que comience con capacidad de escalado y arquitectura flexible hasta donde sea necesario, desde sistemas HMI autónomos tradicionales hasta sistemas altamente distribuidos.

FactoryTalk® View se entrega con un paquete de software que proporciona a sus operadores, supervisores y directivos acceso a datos críticos del sistema de control dentro de su empresa global.

La arquitectura distribuida y escalable acepta aplicaciones de servidores distribuidos multiusuario, con lo que le ofrece control y acceso máximos a la información.

FactoryTalk View, que provee una solución HMI (Human Machine Interface) común para aplicaciones a nivel máquinas y a nivel supervisor.

- FactoryTalk View Studio Software de configuración para desarrollar y probar aplicaciones HMI.
- FactoryTalk View Site Edition Server Servidor HMI que almacena componentes de proyecto HMI (por ejemplo, pantallas gráficas) y sirve estos componentes a los clientes.

Para la simulación de la presente Tesis Factory talk studio tiene herramientas necesarias para su realización en estos casos están presentes las siguientes:

- La arquitectura FactoryTalk orientada al servicio proporciona servicios comunes como seguridad, alarmas y diagnósticos en todos los productos.
- Optimiza las comunicaciones de la planta al integrar mejor los controladores de Rockwell Automation y los datos en tiempo real de FactoryTalk.
- Maximiza la productividad al obtener acceso directo a la información de tags en el controlador y al eliminar la necesidad de crear tags para HMI.
- Configura su aplicación desde cualquier sitio de la red y haga cambios en un sistema en ejecución fácilmente con la capacidad de configuración remota multiusuario.
- Define pantallas gráficas una sola vez, y úselas como referencia en todo el sistema distribuido.
- Proporciona una pista de auditoría de la información de operador y de alarmas en una base de datos de registro centralizada.
- Personaliza la experiencia del operador al utilizar VBA del lado del cliente y el modelo de objetos gráficos expuesto.
- Maximiza la disponibilidad del sistema con detección de fallos y recuperación incorporados.

Acceso de usuarios con las opciones de FactoryTalk View Security

FactoryTalk utiliza FactoryTalk Security, que es compatible con la administración central y con el cumplimiento de las políticas de seguridad de su sistema de automatización.

FactoryTalk Security autentica la identidad de los usuarios y autoriza las solicitudes de éstos para obtener acceso a un sistema habilitado para FactoryTalk con un conjunto de cuentas de usuario definidas y privilegios de acceso contenidos en el FactoryTalk Directory.

FactoryTalk Security también se integra con cuentas de usuario o de grupos de usuarios vinculados a Windows y administra cuentas de usuario, incluidas la aplicación de contraseñas únicas, los fines de sesión automáticos después de intentos de acceso fallidos y la aplicación del cambio de contraseña después de cierto tiempo.

FactoryTalk View salvaguarda su sistema a nivel de proyecto. Asigna niveles de seguridad para los comandos, los macros, los tags de bases de datos y las pantallas gráficas de FactoryTalk View Site, además de que asigna combinaciones de niveles de seguridad para usuarios o para grupos de usuarios, dándoles distintos niveles de acceso a diferentes características.

Algunas operaciones críticas como los cambios en los puntos de ajuste, los comandos en FactoryTalk View o la descarga de recetas, requieren la verificación de la identidad de su operador antes de seguir adelante. FactoryTalk View puede solicitar que un operador y, opcionalmente, un tercero autorizado introduzca un nombre de usuario y una contraseña antes de realizar una operación.

La actividad del operador y los cambios en el sistema se registran luego a través de FactoryTalk Diagnostics.

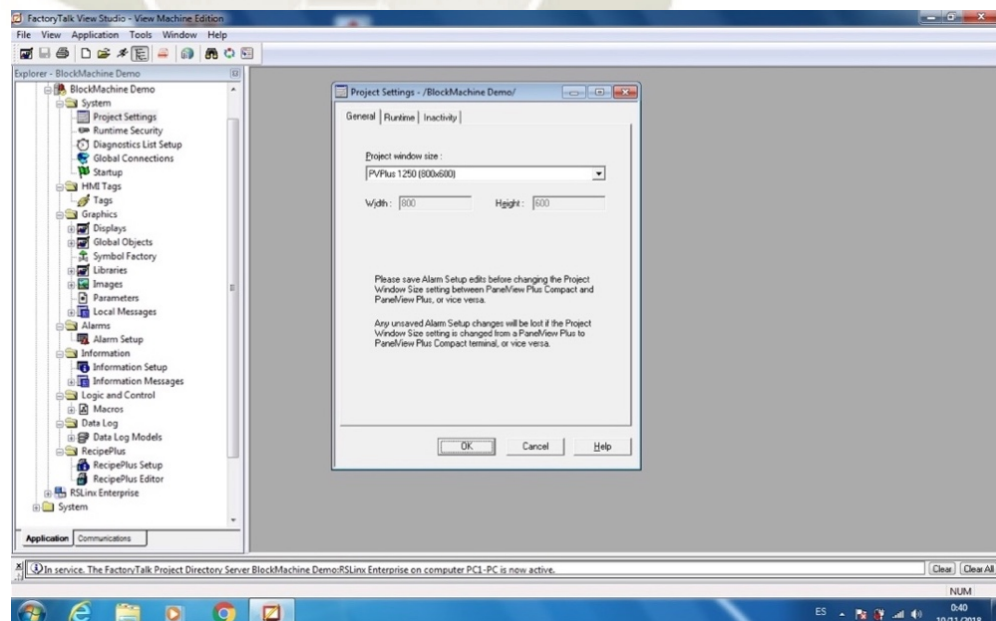


Figura 31: FactoryTalk Studio

3.3 Comunicación Industrial Red Hart (Ethernet) – (Inalámbrica)

3.3.1 Red Ethernet TCP/IP

En este protocolo Ethernet es el nombre de una tecnología de redes de área local (LAN), basada en tramas de datos Ethernet que define las características de la red, su cableado y señalización es de nivel físico, los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI (*Open System Interconnection*).

Además se refiere a las redes de área local y los dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3 que define el protocolo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*).

La Ethernet Industrial permite a las empresas tomar datos de una línea de manufactura y utilizarlos en el software corporativo, en este caso es para comunicación del PLC (*Programmable Logic Controller*), que tiene que estar conectar a nuestro SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) para la supervisión de los datos y otras aplicaciones de control, estos datos en tiempo real se ofrecen vía navegador Web a los encargados de las tareas de diagnóstico y monitorización remota.

Como primer enfoque respecto a las ventajas que desarrollaremos más adelante:

- Reducción del costo de Hardware
- Redes más sencillas.
- Mejora en compartir información entre los sistemas back office y los de fabricación.

Ethernet Industrial, este sistema de bus basado en IEEE 802.3 apto para la industria se caracteriza por:

- Conexión de sistemas de automatización entre sí y con PC's o estaciones de trabajo para lograr comunicación homogénea.
- Posibilidad de realizar amplias soluciones mediante redes abiertas.
- Elevado rendimiento de transmisión.
- Diferentes soportes de transmisión (cable triaxial, par trenzado industrial y FO).

TCP/IP es una combinación de dos protocolos individuales. IP por sus siglas en inglés (Internet Protocol), opera en la Capa de red (capa 3) y es un servicio no orientado a conexión que proporciona una entrega de máximo esfuerzo a través de una red. TCP por sus siglas en inglés (Transmission Control Protocol), opera en la

capa de transporte (capa 4), y es un servicio orientado a conexión que suministra control de flujo y confiabilidad en la transmisión de datos entre el PLC y la estación de trabajo. Al unir estos protocolos, se suministra una gama de servicios más amplia. De forma conjunta, constituyen la base para un conjunto completo de protocolos que se denomina conjunto de protocolos TCP/IP. La Internet se basa en este conjunto de protocolos TCP/IP. A continuación, se describe detalladamente las capas del modelo TCP/IP donde operan los protocolos TCP e IP.

3.3.1.1. Capa de Transporte

La capa de transporte del modelo TCP, proporciona servicios de transporte desde el host origen hacia el host destino. Esta capa forma una conexión lógica entre los puntos finales de la red, el host transmisor y el host receptor. Los protocolos de transporte ver *figura 32* segmentan y re ensamblan los datos mandados por las capas superiores en el mismo flujo de datos, o conexión lógica entre los extremos. La corriente de datos de la capa de transporte brinda transporte de extremo a extremo.

Generalmente, se compara la Internet con una nube. La capa de transporte envía los paquetes de datos desde la fuente transmisora hacia el destino receptor a través de la nube. El control de punta a punta, que se proporciona con las ventanas deslizantes y la confiabilidad de los números de secuencia y acuses de recibo, es el deber básico de la capa de transporte cuando utiliza TCP. La capa de transporte también define la conectividad de extremo a extremo entre las aplicaciones de los hosts. Los servicios de transporte incluyen los siguientes servicios:

TCP y UDP

- Segmentación de los datos de capa superior.
- Envío de los segmentos desde un dispositivo en un extremo a otro dispositivo en otro extremo.

TCP solamente

- Establecimiento de operaciones de punta a punta.
- Control de flujo proporcionado por ventanas deslizantes.

- Confiabilidad proporcionada por los números de secuencia y los acuses de recibo.

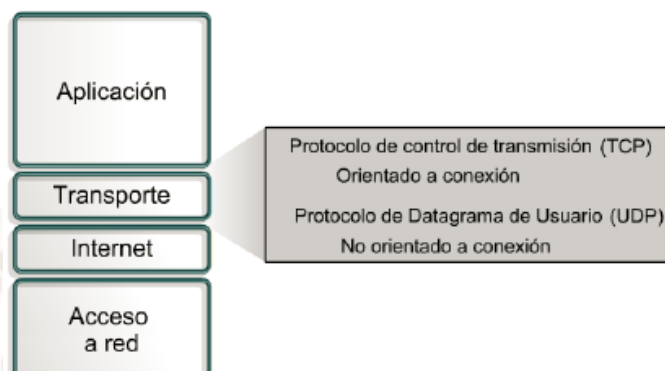


Figura 32: Protocolo de Capa de Transporte (www.cisco.com)

3.3.1.2. Capa de Internet

El propósito de la capa de Internet es seleccionar la mejor ruta del destino, sino así para enviar paquetes por la red. La determinación de la mejor ruta y la conmutación de los paquetes ocurren en esta capa, pero en esta propuesta de Tesis se plantea la conexión de red local y la red inalámbrica ambas de tipo industrial.

En la figura 33, donde se observan protocolos que operan en la capa de Internet TCP/IP y se describen a continuación:

- IP proporciona un enrutamiento de paquetes no orientado a conexión de máximo esfuerzo. El IP no se ve afectado por el contenido de los paquetes, sino que busca una ruta hacia el destino.
- El Protocolo de mensajes de control en Internet ICMP (*Internet Control Message Protocol*) suministra capacidades de control y envío de mensajes.
- El Protocolo de resolución de direcciones ARP (*Address Resolution Protocol*) determina la dirección de la capa de enlace de datos, la dirección MAC (Media Access Control), para las direcciones IP conocidas.
- El Protocolo de resolución inversa de direcciones RARP (*Reverse Address Resolution Protocol*) determina las direcciones IP (*Internet Protocol*) cuando se conoce la dirección MAC.

El IP ejecuta las siguientes operaciones:

- Define un paquete y un esquema de direccionamiento.
- Transfiere los datos entre la capa Internet y las capas de acceso de red.
- Enruta los paquetes hacia los hosts remotos.

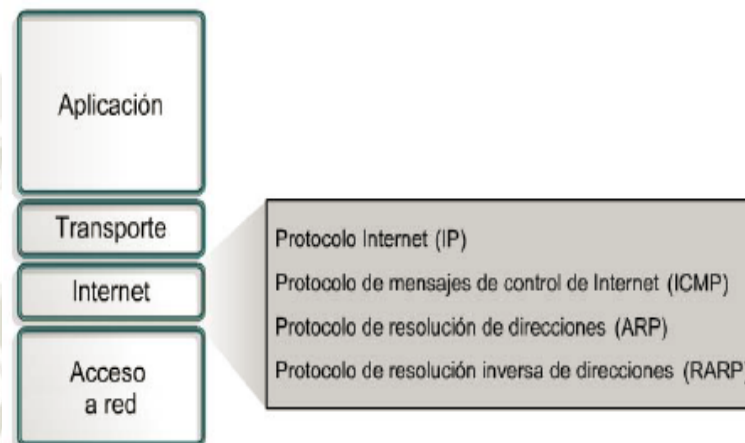


Figura 33: Protocolo de Capa de Internet (www.cisco.com)

Por último, a modo de aclaración de la terminología, a veces, se considera a IP como protocolo poco confiable. Esto no significa que IP no enviará correctamente los datos a través de la red. Llamar al IP, protocolo poco confiable simplemente significa que IP no realiza la verificación y la corrección de los errores. Dicha función la realizan los protocolos de la capa superior desde las capas de transporte o aplicación [*Tesis “DESARROLLO DE UNA INTERFAZ TCP/IP - HART PARA LA INTEGRACIÓN DE UN MANEJADOR DE ACTIVOS DE INSTRUMENTACIÓN EN LÍNEA, UTILIZANDO HERRAMIENTAS WEB, BAJO SOFTWARE LIBRE” Arturo José Vila González, Barcelona, Octubre - 2009*]

3.3.2. Red HART

Se trabaja con un método tradicional de transmisión de datos con 4-20mA en esta Red HART (*Highway Addressable Remote transduce*), solo se limita a transmitir la magnitud de la medición. Con la evolución en los procesos y la aparición de la instrumentación de campo inteligente, es un protocolo híbrido, que mezcla la señal analógica de corriente con la transmisión de datos digitales por los mismo dos cables

sin que se distorsionen ninguna de la dos señales. Este tipo de comunicación trae dos grandes ventajas, primero el cableado existente y las estrategias de control actualmente utilizadas, no deberán ser totalmente reemplazados al momento de implementar HART (*Highway Addressable Remote transduce*), y segundo toda la información adicional que se puede transmitir (tags, datos de campo y span, información del producto y diagnóstico). La cual puede ahorrar mucho tiempo y dinero a la hora de la mantención, y además mejora el manejo y la utilización de las redes de instrumentos inteligente.

HART (*Highway Addressable Remote transduce*) es un protocolo que puede funcionar como Maestro- Esclavo (un dispositivo de campo solo responde cuando se le ha pedido algo previamente). Así como también puede funcionar en modo ráfaga. Puede haber hasta dos maestros y hasta 15 dispositivos esclavos se pueden conectar en configuración multipunto.

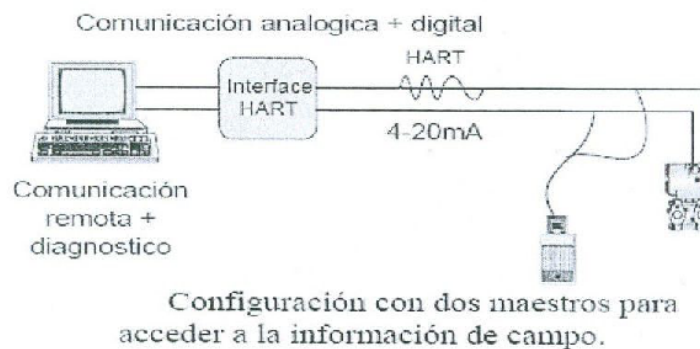


Figura 34: Comunicación HART (www.emerson-proces.com)

3.3.2.1. Método de Operación del Protocolo de Comunicación HART

HART (*Highway Addressable Remote transduce*) opera usando el principio de modulación por desplazamiento en frecuencia (FSK), el cual está basado en el estándar de comunicación BELL 202. La señal digital se construye a través de un ciclo 1200 Hz para representar el bit 1 y aproximadamente dos ciclos de 2200Hz que representan el bit 0. La tasa de transmisión de datos es de 1200 baudios. Lo que significa que los dígitos binarios se transmiten a 1200 bits por segundo.

3.3.2.2. Topología de la Red HART

a. Comunicación Punto a Punto de la Red HART

En las operaciones punto a punto el dispositivo de campo tiene la dirección 0 y su salida de corriente es de 4-20mA. En el caso de los instrumentos pasivos, es decir que obtienen alimentación del lazo se dispone una fuente que alimentara al lazo. Esta se conectará en serie al instrumento y a una resistencia de carga, los estándares HART permiten resistencias de 230 a 1100.

La señal HART (*Highway Addressable Remote transduce*) debe introducirse y leerse desde el lazo de corriente, la fuente se encuentra casi en corto circuito para las frecuencias HART, por esto los dispositivos maestros deben ir en paralelo al instrumento o a la resistencia de carga. Además, un equipo HART no debe contribuir con ninguna carga DC al lazo. Para esto se conectan a través de un condensador de $5\mu F$ o más.

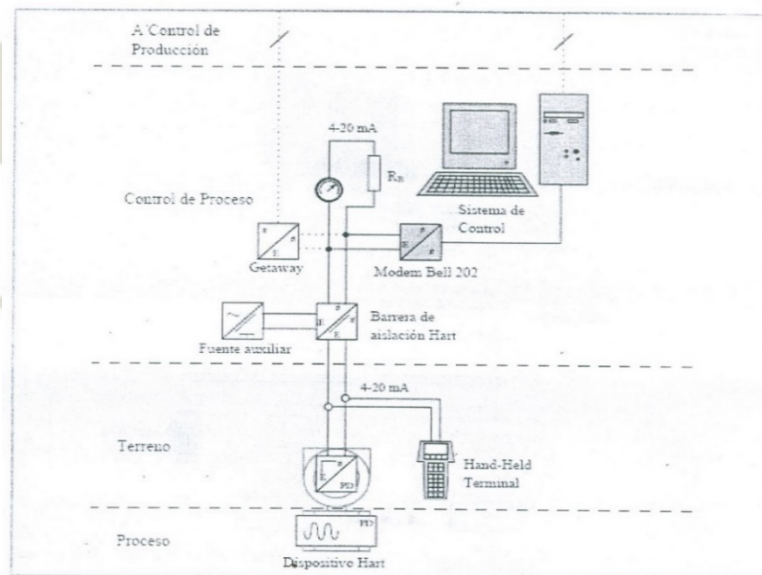


Figura 35: Comunicación Punto a Punto Red HART (www.emerson-proces.com)

b. Comunicación Multi Punto de la Red HART

En este modo se pueden conectar hasta 15 instrumentos en paralelo, usando un par de cables, y una fuente en caso que se requiera, A diferencia del modo punto a punto las direcciones de los dispositivos van del 1 al 15 y las salidas

de corriente de cada uno se digan en 4mA. Para este modo de operación los controladores e indicadores de deben contar con un HART MODEM. Las consecuencias más destacables de este modo de transmisión son dos, retardo en la comunicación Maestro-Esclavo. Y perdida de la señal análoga, ya que como se dijo anteriormente, la corriente de salida de cada instrumento se fija en 4mA.

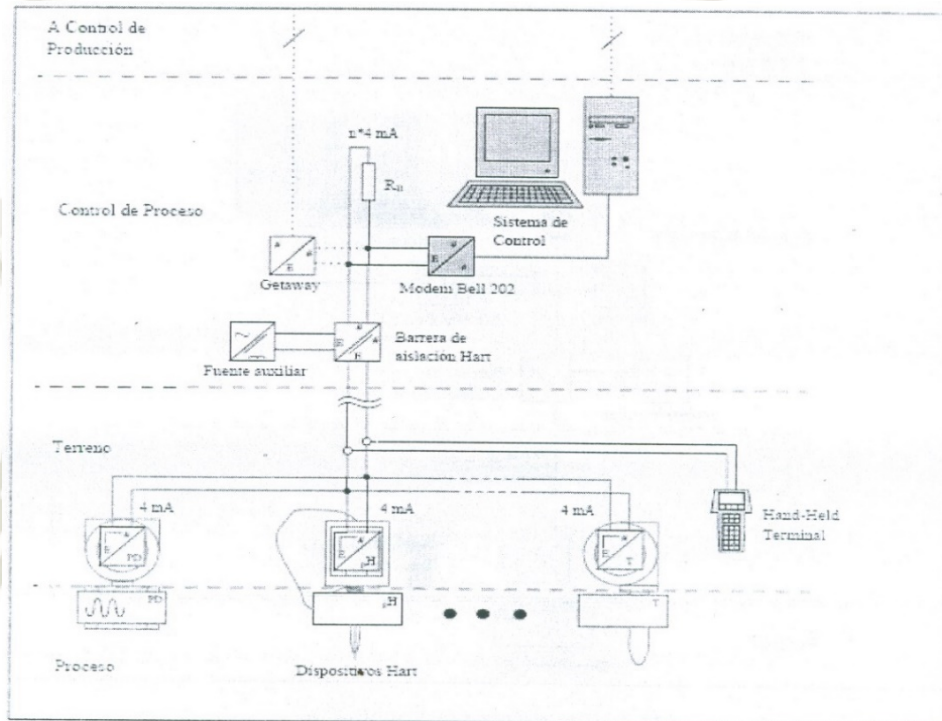


Figura 36: Comunicación Multipunto Red HART (www.emerson-proces.com)

3.3.2.3. Lazo de Conexión de la Red HART

Se aplica una conexión convencional para un transmisor alimentado por lazo de corriente de dos hilos, en la práctica los tres elementos (la fuente de poder, el transmisor TX y la resistencia de carga, RL) se pueden conectar en cualquier orden, ya que se conectan en serie, y cualquier punto del circuito puede ir a tierra. Las especificaciones de HART permiten resistencia de carga de 230 a 1100 ohms.

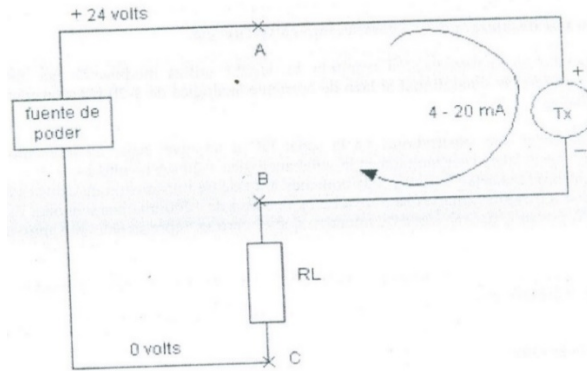


Figura 37: Lazo de Conexión de la Red HART (www.emerson-proces.com)

3.3.2.4. Estructura del mensaje HART

Cada mensaje en el protocolo HART, incluye las direcciones de su fuente y destino, para asegurarse de que es recibido por el dispositivo correcto, y tiene una suma de verificación (checksum) para poder detectar cualquier corrupción del mensaje. El estado del dispositivo de campo está incluido en cada mensaje de respuesta, indicando su estado de operación correcto. Puede o no haber información o datos incluidos en el mensaje, dependiendo del comando en particular. Dos o tres transacciones de mensajes se pueden realizar cada segundo.

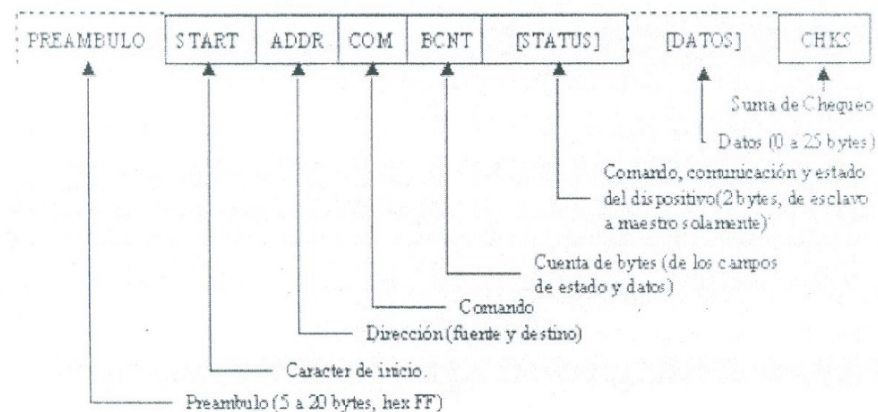


Figura 38: Estructura del Mensaje HART (www.emerson-proces.com)

3.3.3. Red DeviceNet

DeviceNet es una red abierta creada por Rockwell Automation en el 1993. Se basa en el protocolo CAN (*Controller Area Network*), es una red de control inteligente

de bajo costo que conecta una amplia gama de dispositivos inteligentes como sensores, válvulas, lectores de código de barras, actuadores, variadores de frecuencia, PC's, controladores lógicos programables.

DeviceNet permite que los dispositivos industriales puedan ser fácilmente interconectados en una red y ser manejados remotamente, es ideal para aplicaciones que se beneficien de una estrecha integración entre dispositivos.

3.3.3.1. Método de Operación de la Red DeviceNet

Se basa en el estándar ISO de siete capas para redes de comunicaciones (modelo OSI). Utiliza el protocolo CAN (*Controller Area Network*), que es un protocolo orientado a mensajes, para la capa de enlace y CIP (*Common Industrial Protocol*), que es un protocolo orientado a objetos. El método de acceso al medio es el CSMA/NBA, lo que significa que antes de transmitir un nodo “escucha” si alguien más está transmitiendo y solo en el caso de estar libre el canal comienza a transmitir (CSMA: *Acceso Múltiple por Detección de Portadora*). Si dos nodos comienzan a transmitir al mismo tiempo se da prioridad al que tenga el identificador más bajo, pero no se pierde la información transmitida (NBA: *Arbitraje de Bit No destructivo*). Una vez que un nodo está transmitiendo” escucha” también lo que el mismo transmite para detectar errores.

A través del protocolo CIP (*Common Industrial Protocol*) pueden enviar mensajes explícitos o de información, que generalmente requieren una respuesta de otra unidad, pero no son de tiempo crítico) o Implícitos (o de control, son paquetes de información crítica usados para transmitir datos en tiempo real). Una vez hecha la conexión el identificador CAN direcciona la información al nodo correspondiente.

Las funciones que cumple el protocolo CIP (*Common Industrial Protocol*) en las distintas capas son:

- Capa de Aplicación: le presenta al usuario una lista de nodos, con sus objetos y a su vez la clase, los servicios, los atributos y las distintas reacciones de estos últimos.
- Capa de Presentación: se encarga de traducir los datos ingresados por el usuario en datos que pueda entender la capa inferior.

- Capa de Sesión: lleva un control de las conexiones abiertas y se encarga de enrutar los datos. Se colocan las MAC ID del nodo en el que se encuentra el objeto, el número de clase e instancia y el servicio requerido, de modo que la capa inferior pueda realizar el ruteo.

3.3.3.2. Topología de la Red DeviceNet

En esta Topología de Red DeviceNet soporta una topología “trunk-line/drop-line”, lo que significa que los nodos se pueden conectar directamente a la línea principal o mediante derivaciones cortas, con longitudes máximas de 6 metros.

Cada red DeviceNet permite entonces conectar hasta 64 nodos donde un nodo es utilizado por el “scanner” maestro y el nodo 63 es reservado como el nodo por defecto, quedando disponibles 62 nodos para los dispositivos. Sin embargo, la mayoría de los controladores industriales permiten conectarse a múltiples redes DeviceNet, con lo cual se puede ampliar la cantidad de nodos interconectados.

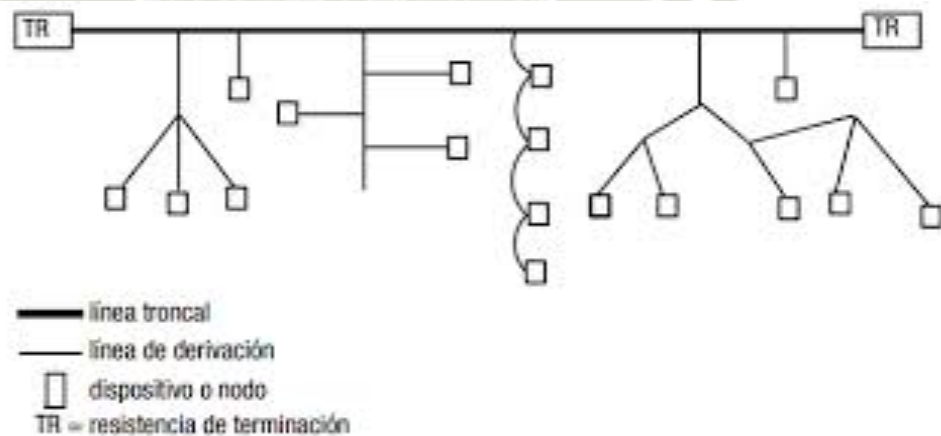


Figura 39: Topología de la Red DeviceNet (www.emerson-proces.com)

3.3.3.3. Velocidad de la Red DeviceNet

Se utilizan cables gruesos para la línea principal ya que permiten una mayor longitud de distribución de la red. Menores velocidades de transmisión de datos posibilitan también mayores distancias de transmisión, como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 11:
Velocidades de la Red DeviceNet

VELOCIDADES	125 KBPS	250 KBPS	500 KBPS
Longitud de cable grueso	500 m	250 m	100 m
Longitud de cable fino	100 m	100 m	100 m
Cable Plano	380 m	200 m	75 m
Máxima longitud de línea de bajada	6 m	6 m	6 m
Longitud de bajada acumulativa	156 m	78 m	39 m

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3.4. Derivaciones y Conexiones

Las derivaciones se hacen a través de unos conectores especiales (taps). También es necesario el uso de terminaciones con impedancia de 121 ohm, aproximadamente.

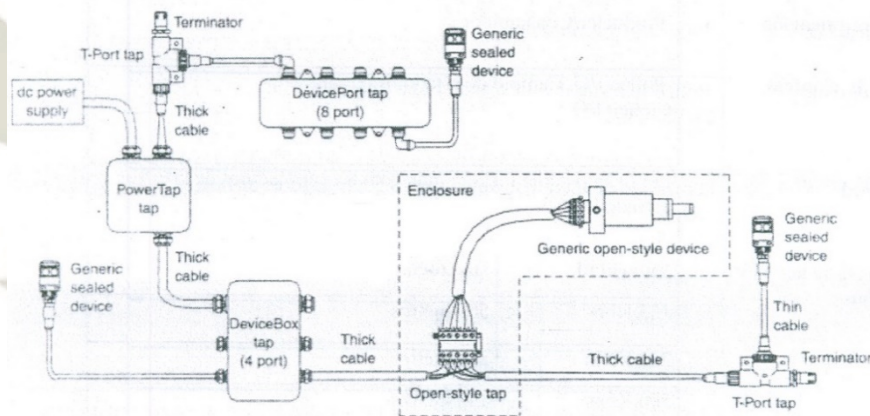


Figura 40: Ejemplo de Conexiones en el Protocolo DeviceNet (www.emerson-proces.com)

Los conectores terminales de los dispositivos pueden ser diversos tipos en el Protocolo DeviceNet.

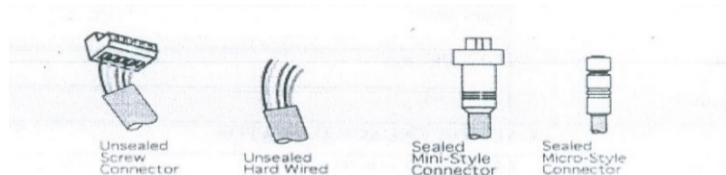


Figura 41: Tipos de Conectores DeviceNet (www.emerson-proces.com)

3.3.4 Comunicación y Diseño WirelessHart (2.4 Ghz) (IEC62591-1)

Redes Inalámbricas Industriales

Actualmente las tecnologías inalámbricas en el área industrial están en constante mejora y hay un gran interés por parte de grandes integradores en promocionarlas. Entre las tecnologías inalámbricas de mayor proyección en la IACS (Industria de la Automatización y Control de Sistemas) podemos encontrar: ISA100 (International Society of Automation) ---- Wireless ISA100.11a es un estándar de tecnología de red inalámbrica desarrollado por la Sociedad Internacional de Automatización (ISA), WirelessHart (Red inalámbrica con la Variante del protocolo Hart), WIA- PA (es el nuevo estándar de comunicación inalámbrica industrial china para la automatización de procesos), así como los protocolos Wi-Fi (Wireless Fidelity) (IEEE 802.11n y 802.11ac).

Por tal razón pretendemos implementar la tecnología de comunicación Industrial Inalámbrica, mostrando qué requisitos debe cubrir la tecnología para ser robusta y fiable, las tecnologías con mayor proyección disponibles en el mercado como son: ISA100 Wireless (ISA100.11a)

WirelessHART. Wi-Fi (IEEE 802.15.4)

Del mismo modo, se analiza de qué forma estas llegan a cubrir los requisitos en cuestión de seguridad, disponibilidad y privacidad en la IACS (Industria de la Automatización y Control de Sistemas).

Zona Fresnel

Cuando se diseña un enlace radio y se quiere obtener una conexión fiable y estable se debe considerar la zona de Fresnel, que son áreas de figuras elipses como se muestra en la imagen entre la línea de vista del emisor y el receptor.

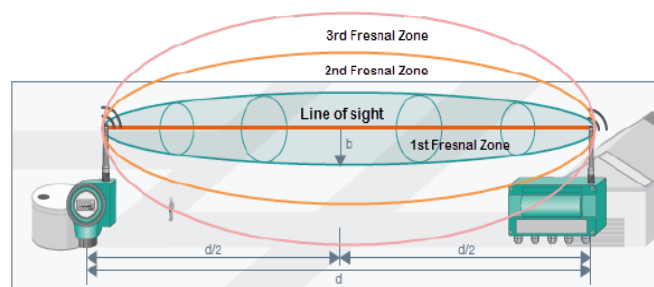


Figura 42: Zona Fresnel (<http://openaccess.uoc.edu/>)

Topologías redes Wireless Industriales

La topología de las redes Wireless viene caracterizada por el diseño, o por la disposición de los nodos y los componentes de la red. Hoy en día, las topologías más extendidas en redes industriales sobre todo debido a sus ventajas son las topologías en estrella, malla en estrella y malla.

Topología de Malla en Estrella

En el presente proyecto consideramos que la topología más adecuada sería la de malla en estrella.

Como su nombre indica, es una combinación las dos topologías, para obtener las ventajas de cada una. La velocidad, el bajo consumo y simplicidad de la topología en estrella y la auto-recuperación, redundancia y el ancho rango de la topología en malla.

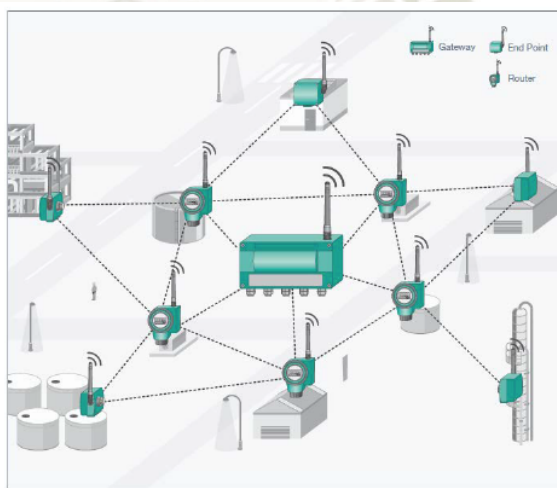


Figura 43: Topología de Malla en Estrella (<http://openaccess.uoc.edu/>)

Arquitectura Redes Inalámbricas Industriales

Como se observa en la gráfica siguiente, en las redes industriales podemos tener por un lado la conexión de los controladores a los instrumentos en un nivel, en el siguiente las interconexiones de los controladores a las aplicaciones. Por encima de este nos encontramos con el nivel HMI (Human Machine Interface) y finalmente el último nivel a las conexiones externas. Para las comunicaciones entre los diferentes niveles se usan Gateway, que suelen requerir diferentes protocolos.

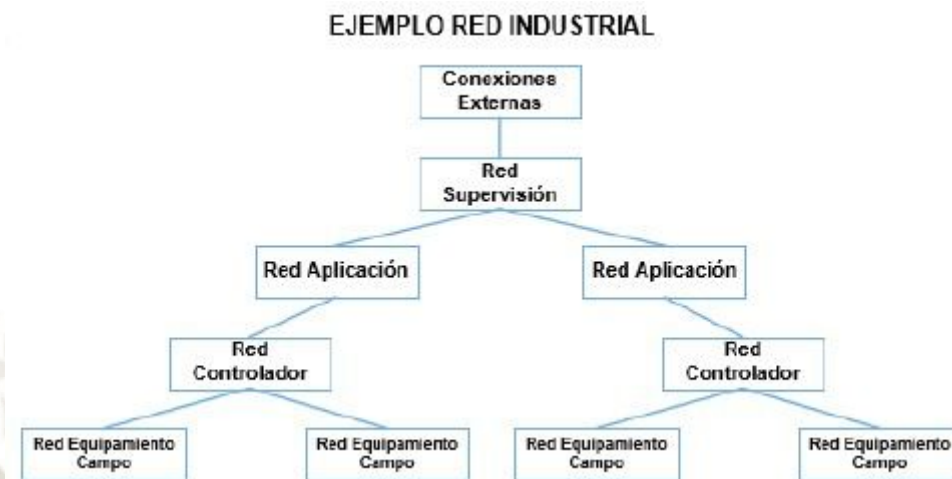


Figura 44: Arquitectura Red Industrial (<http://openaccess.uoc.edu/>)

Resiliencia

Resiliencia, debe ser uno de los atributos más importantes en una buena red industrial Wireless y se refiere a la capacidad de la red en recuperarse a un estado de operación después de una interrupción.

Es evidente que siempre puede haber fallos impredecibles y aleatorios en el sistema que hacen que una red que no sea 100% fiable, pero la clave está en minimizar estos eventos al máximo (Supervivencia) y ser capaz de recuperarse fácilmente de estos eventos cuando ocurran.

3.3.5 Componentes Redes Industriales

El principal objetivo de las redes industriales es la de ofrecer la comunicación con y entre los componentes y sistemas especializados encargados del control y la adquisición de los datos como los PLC's (Programmable Logic Controllers), el sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) y el DCS (Distributed Control System).

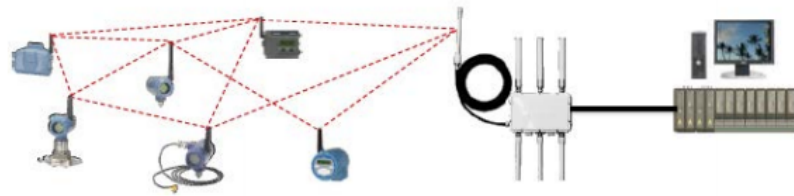


Figura 45: Conexión directa inalámbrica de la red a un Gateway
(<http://openaccess.uoc.edu/>)

Protocolos de comunicación Industrial

Entre los principales protocolos de comunicación que han surgido para cumplir con los requisitos demandados en las redes industriales podemos encontrar: el estándar ISA100.11a, y el estándar WirelessHART. Ambos se basan en el uso del estándar IEEE 802.15.4 para redes de área personal de baja velocidad, operando en la banda de los 2.4GHz.

3.3.6 WirelessHART (2.4 Ghz) (IEC62591-1)

WirelessHART (*Red inalámbrica con la Variante del protocolo Hart*) es una tecnología de red de sensores inalámbricos basada en el Protocolo de transductor remoto direccionable de autopista HART (*Highway Addressable Remote Transducer*). Desarrollado como un estándar inalámbrico interoperable de múltiples proveedores, WirelessHART se definió para los requisitos de las redes de dispositivos de campo de proceso.

El protocolo utiliza una arquitectura de malla sincronizada con el tiempo, auto organizada y autorreparable. El protocolo admite la operación en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2.4 GHz utilizando el estándar IEEE 802.15.4. La tecnología inalámbrica subyacente se basa en el trabajo de la tecnología TSMP (Time Synchronized Mesh Protocol) de Dust Networks que es un protocolo de red que forma el fundamento de redes de sensores inalámbricos confiables y de muy baja potencia.

Características:

- Norma internacional IEC 62591 (*International Electrotechnical Commission's*), IEEE 802.15.4 (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*)

- Desarrollado por HART (*highway addressable remote transducer*) Communication Foundation
- Industria Redes de sensores inalámbricos industriales

Arquitectura

Las redes WirelessHART habitualmente están compuestas por diferentes tipos de elementos:

- Dispositivos de campo con capacidades de enrutamiento de paquetes (Routers) en la red en malla.
- Adaptadores para unir dispositivos HART cableados a la red Wireless en malla.
- Puntos de acceso, responsabilizados de la comunicación entre las aplicaciones host y los dispositivos de campo conectan la red en malla WFN al Gateway.
- Gateway o pasarela, actúa como interfaz entre la WPN y la WFN. (Redes Wireless de Planta (WPN) y Red Wireless de Campo (WFN)).
- Administrador de red que puede estar incluida en el Gateway o estar implementados de forma independiente. Encargado de controlar toda la red, debe identificar las mejores rutas y gestionar la distribución de tiempos de acceso, así como de la programación de la comunicación de cada dispositivo en la red.
- De uno a varios administradores de seguridad que puede estar incluidos en el Gateway o estar implementados de forma independiente. Encargados de gestionar el acceso a la red de dispositivos autorizados y las claves de cifrado.
- Repetidores encargados de dirigir los mensajes WirelessHART sin ningún tipo de acceso a los procesos, con el objetivo de ampliar el alcance de la red o evitar obstáculos.
- Dispositivos de móviles de mano, como por ejemplo los que puedan llevar los operarios o ingenieros de planta para mantenimiento o diagnóstico.

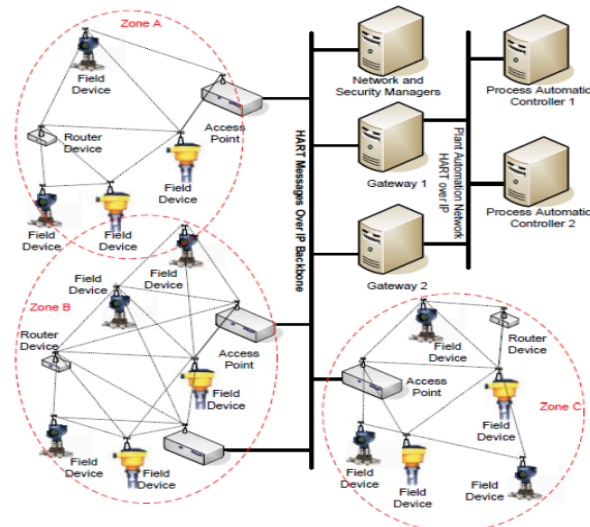


Figura 46: Múltiples puntos de acceso mediante una red troncal
(<http://openaccess.uoc.edu/>)

3.3.7 Seguridad WirelessHART

Se debe recordar que las redes Wireless son potencialmente susceptibles a ciberataques, esto es especialmente importante a tener en cuenta en la IACS (*Industria de la Automatización y Control de Sistemas*). Por lo que las redes deben garantizar la confidencialidad de la información, la integridad y la autenticidad mediante la implantación adecuada de algoritmos y mecanismos de seguridad.

Tanto WirelessHART (*Red inalámbrica con la Variante del protocolo Hart*) como ISA100.11a aplican protección de seguridad a través de encriptación de carga útil (payload) y autenticación de mensajes para mensajes de salto simple (hop-by-hop) y mensajes de extremo a extremo (end-to-end).

Mientras que la seguridad en la capa de red y transporte protege de posibles ataques en las rutas de la red entre el transmisor y receptor, la seguridad en la capa de enlace de datos defiende de posibles ataques desde fuera del sistema.

En ambos estándares se definen un grupo de claves de seguridad. Los dispositivos nuevos que se quieren unir a la red deben conocer la clave de acceso a la red antes de unirse a esta.

WirelessHART, adicionalmente a la clave de acceso define sesiones y claves de red. La clave de sesión es usada por la capa de red para la autenticación de comunicaciones extremo a extremo entre dos dispositivos y es diferente por cada

par de comunicaciones. La clave de red es usada por la capa de enlace de datos para autenticar mensajes en base a un salto (one-hop).

La generación y administración de la clave es responsabilidad del administrador de seguridad y distribuida a los dispositivos de campo por el administrador de red.

3.3.8 Estándar ZigBee (IEEE 802.15.4)

Es un estándar relativamente nuevo que fue diseñado específicamente para sensores con baterías y está basado en el estándar IEEE 802.15.4 (Ikram W., Thornhill N. F., 2010).

Es altamente atractivo para aplicaciones simples con baja velocidad de transferencia, baja potencia y que se requiera de un coste bajo. Sobre las bandas 868MHz (Europa) ofrece un canal, 10 sobre la banda estadounidense 902-928MHz y 6 en la banda mundial ISM 2.4GHz. Una característica importante es que permite Disponer de una garantía muy baja de Quality-of-Service, no soporta de determinismo y no emplea saltos de frecuencia haciendo susceptible a interferencias.

3.3.9 Módulo Xbee Pro (IEEE 802.15.4) y Router

De acuerdo a Digi, los módulos Xbee son soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Estos módulos utilizan el protocolo de red llamado IEEE 802.15.4 para crear redes FAST POINT-TO-MULTIPOINT (punto a multipunto); o para redes PEER-TO-PEER (punto a punto). Fueron diseñados para aplicaciones que requieren de un alto tráfico de datos, baja latencia y una sincronización de comunicación predecible. Por lo que básicamente Xbee es propiedad de Digi basado en el protocolo ZigBee. En términos simples, los Xbee son módulos inalámbricos fáciles de usar.

Regular vs Pro – Hay pocas diferencias entre un Xbee regular y un Xbee PRO. La diferencia en cuanto a hardware es que el Xbee PRO es un poco más largo. Con respecto a comunicación, la versión Pro tiene un mayor alcance (1,6 Km línea vista), pero para ello tiene un mayor consumo de potencia. El criterio para tomar la decisión de cual usar es la distancia que uno requiera comunicar dos Xbee. Los dos modelos se pueden mezclar dentro de la misma red.

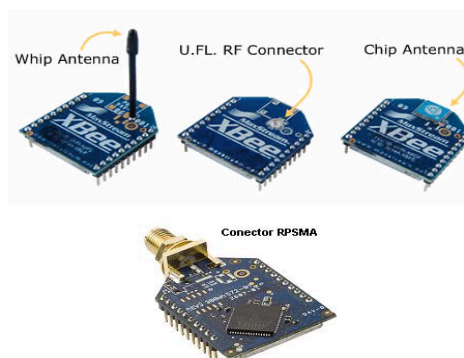


Figura 47: Tipo de Xbee (<https://xbee.cl/que-es-xbee/>)

3.3.10 ConnectPort® X2

ConnectPort X2 es una pequeña puerta de enlace de Xbee a Ethernet que proporciona redes IP de bajo costo de dispositivos habilitados para Xbee y redes de sensores. Con un entorno de desarrollo simple, ConnectPort X2 permite que las aplicaciones personalizadas se ejecuten localmente mientras se conectan a través de las redes Ethernet existentes para la conectividad WAN a un servidor centralizado.

Las puertas de enlace ConnectPort X2 se benefician de las capacidades de administración mejoradas ofrecidas por Digi Remote Manager. Este sistema de administración de dispositivos basado en la web permite el acceso remoto y el control de sus puertas de enlace Digi.

Los productos ConnectPort X2 presentan un rápido desarrollo de aplicaciones específicas de M2M en el motor de scripts Python estándar de la industria. Digi ESP™ proporciona un IDE que incluye la detección, depuración, compilación y descarga de dispositivos Python en las puertas de enlace Digi.



Figura 48: ConnectPort X2 (<https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/gateways/connectportx2gateways#overview>)

3.3.11 Router Four-Faith F8834 ZigBee (IEEE 802.15.4)

ZigBee (IEEE 802.15.4)

Soporta transmisión de datos según el protocolo ZigBee de corto alcance y largo alcance Modulo Xbee Pro.

Comunicaciones de alta fiabilidad

Los equipos incorporan módulos Wireless de rango industrial de altas prestaciones basados en componentes electrónicos de gran precisión y estabilidad especialmente diseñados para su funcionamiento ininterrumpido en rangos de temperatura entre $-35 \sim +75^{\circ} \text{C}$. De esta forma ofrecen una comunicación estable y de gran fiabilidad en cualquier situación.



Figura 49: Router Four-Faith F8834 ZigBee (<https://en.four-faith.com/zigbee/>)

3.3.12 Comunicación Ubicación Reservorios

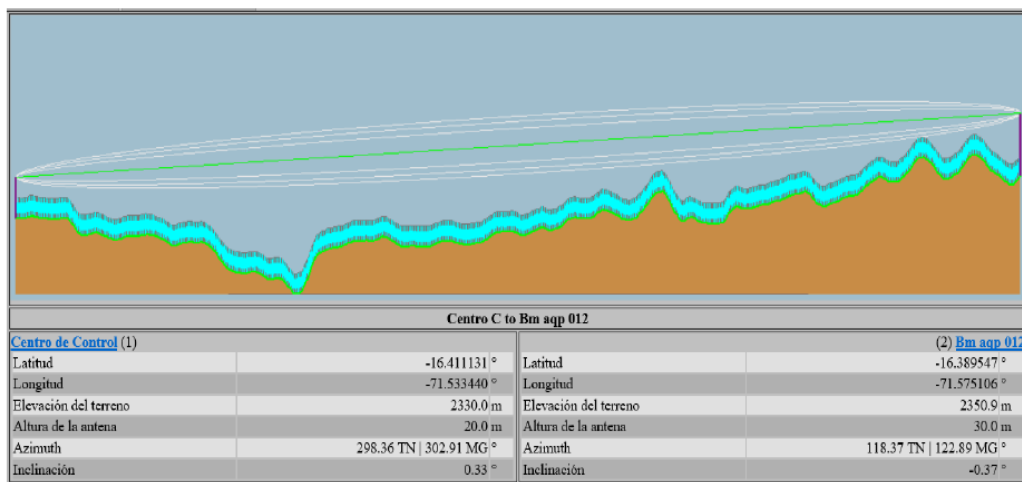


Figura 50: Enlace Centro de Control a Reservorio D- 37 (Google Earth Google Maps)

Distancia: 4.051 Km
Pérdida por urbanización: 0 dB
Frecuencia: 2.4 GHz WirelessHart

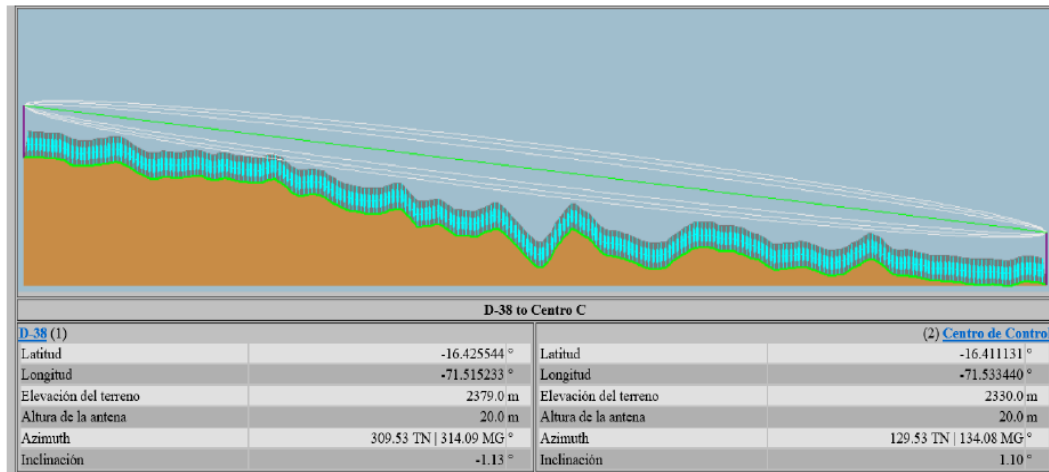


Figura 51: Enlace Centro de Control a Reservorio D- 38 (*Google Earth
Google Maps*)

Distancia: 4.518 Km
Pérdida por urbanización: 0 dB
Frecuencia: 2.4 GHz WirelessHart

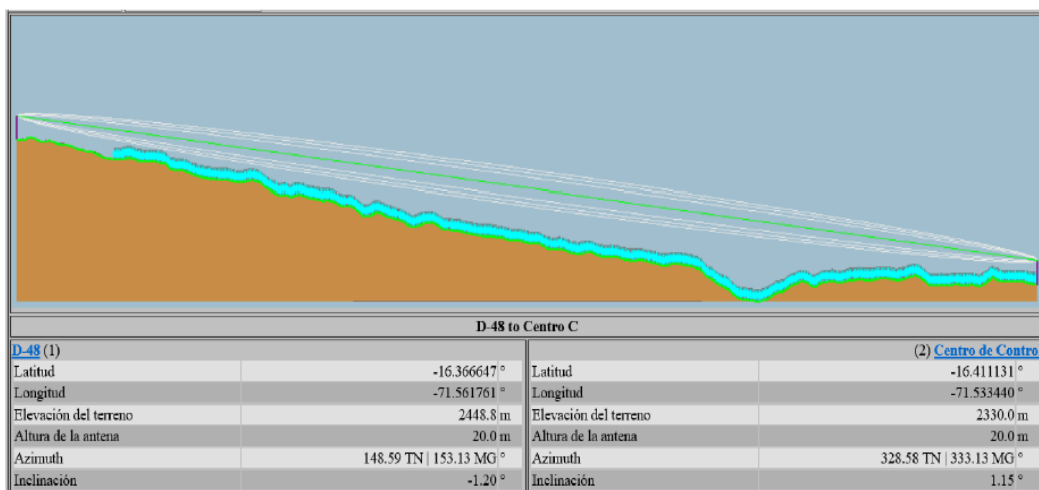


Figura 52: Enlace Centro de Control a Reservorio D- 48 (*Google Earth
Google Maps*)

Distancia: 4.796 Km
Pérdida por urbanización: 0 dB
Frecuencia: 2.4 GHz WirelessHart

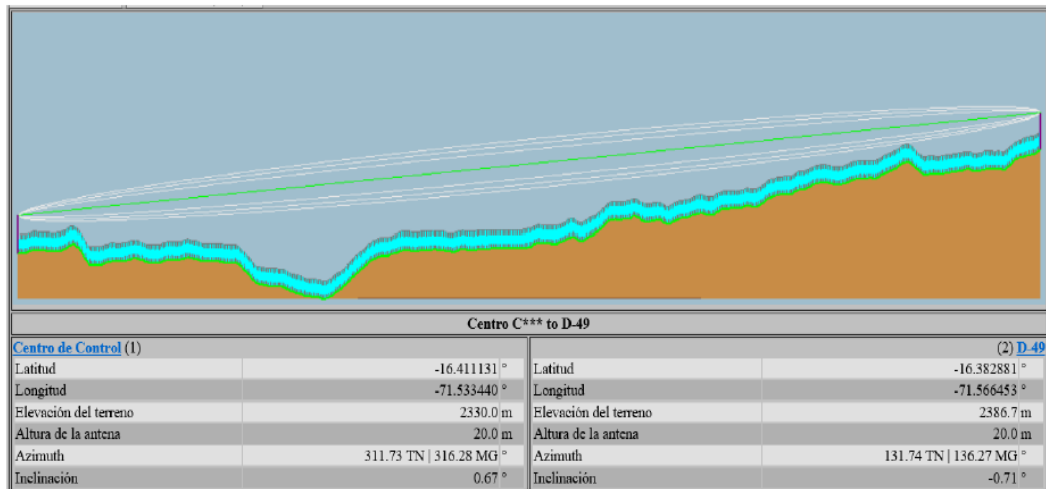


Figura 53: Enlace Centro de Control a Reservoirio D- 49 (Google Earth Google Maps)

Distancia: 4.719 Km
 Pérdida por urbanización: 0 dB
 Frecuencia: 2.4 GHz WirelessHart

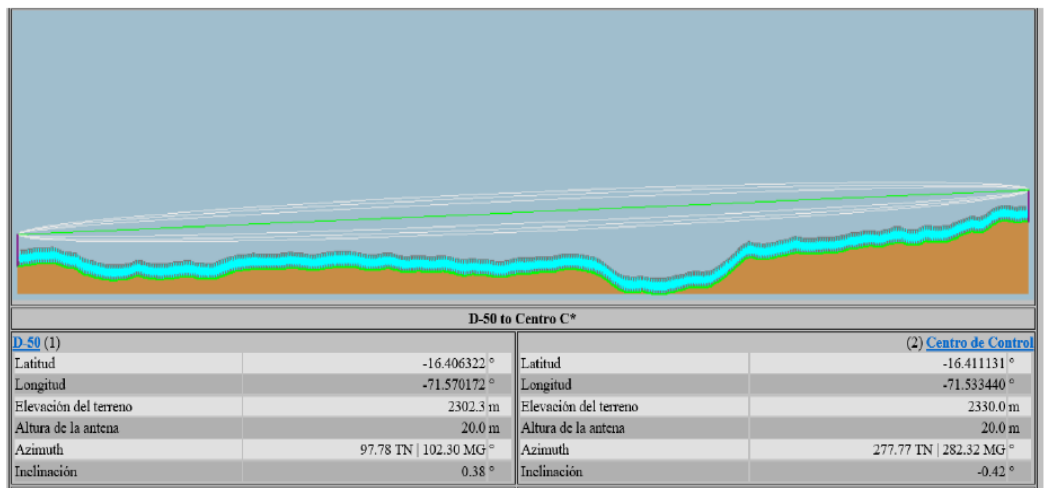


Figura 54: Enlace Centro de Control a Reservoirio D- 50 (Google Earth Google Maps)

Distancia: 2.954 Km
 Pérdida por urbanización: 0 dB
 Frecuencia: 2.4 GHz WirelessHart

3.4 Modo de Control

3.4.1 Modelamiento Matemático del Proceso

El sistema a modelar consta de un tanque donde ingresa un flujo de agua f_i y sale un flujo de agua f_o . Aplicando ecuaciones de balance de masa en el tanque tenemos:

$$\frac{dM(t)}{dt} = (f_i(t) - f_o(t)) \rho_L$$

$$\frac{dM(t)}{dt} = \rho_L \frac{dV_1(t)}{dt}$$

De tal manera que se obtiene la altura del tanque $h(t)$:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A_1} (f_i(t) - f_o(t))$$

Ecuación 1: Balance de agua del tanque

Donde:

$M(t) \Rightarrow$ Masa del agua en el tanque (kg)

$V_1(t) \Rightarrow$ Volumen de agua en el tanque (m^3)

$\rho_L \Rightarrow$ Densidad del agua (kg/m^3)

$A_1 \Rightarrow$ Area de la base del tanque (m^2)

$f_i(t) \Rightarrow$ Flujo de entrada de agua (m^3/s)

$f_o(t) \Rightarrow$ Flujo de salida de agua (m^3/s)

$h(t) \Rightarrow$ Altura de agua en el tanque (m)

Nótese que el modelamiento es genérico para todos los tanques desarrollados en la presente tesis, donde la única variación resulta en las dimensiones de los tanques y flujos de entrada y salida dados por los flujos de consumo y las características de las bombas.

El conjunto de ecuaciones desarrolladas en la presente sección fue implementado en RsLogix 5000 usando el lenguaje de programación Diagrama de bloques defunciones (FBD), dada su facilidad en la implementación de instrucciones matemáticas y de cálculo diferencial. A continuación, se muestra el layout de la simulación del proceso implementado en RsLogix 5000:

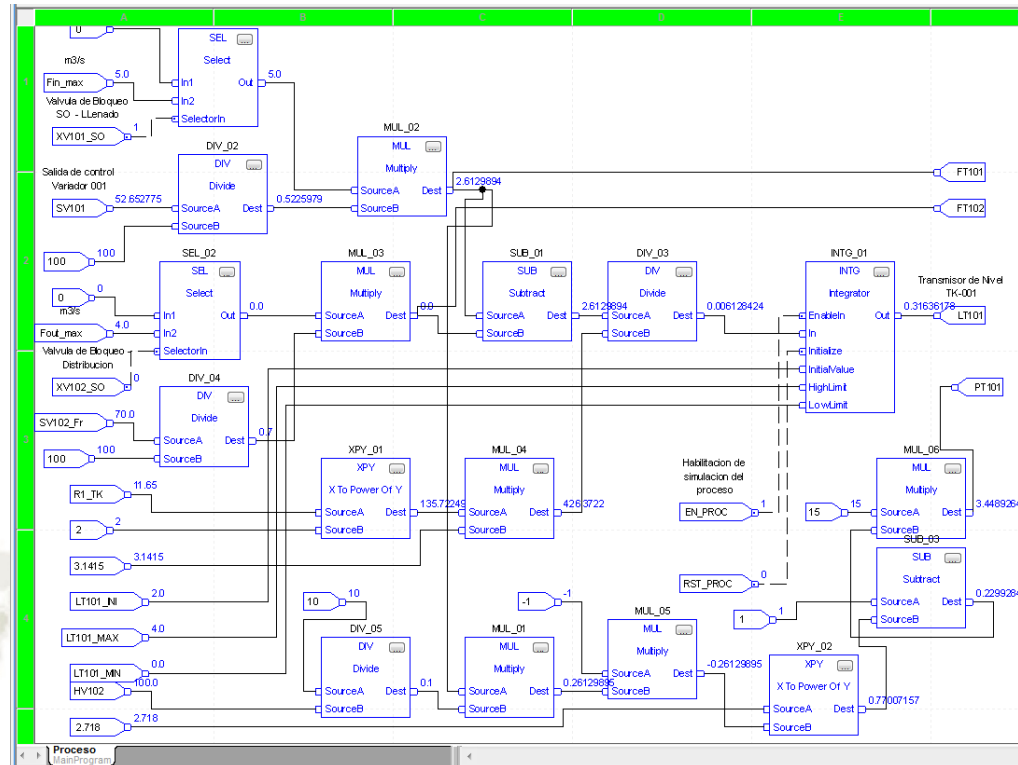


Figura 55: Lógica implementada en RsLogix 500 para la simulación del llenado de un tanque (Elaboración Propia)

Como resultado de esta simulación se tiene el nivel $h(t)$ en el tanque y los valores de presión en la descarga de las bombas.

3.4.2 Modo de Control FLC (Fuzzy Logic Controllers)

Algoritmo de Control (Lógica Difusa)

Narrativa Modo de Control FLC (Fuzzy Logic Controllers)

La estructura del controlador difuso implementado corresponde al de una familia de controladores que representa las mejores posibilidades para constituirse en un estándar Industrial. Se trata de un controlador difuso incremental que emula un controlador continuo y que está definido en base a una tabla numérica, la cual contiene los parámetros principales o de sintonización.

Las variables de discusión del controlador difuso (FLC), están relacionadas al error de los lazos de control en tiempo discreto denotado por $e(k)$, a su vez de la variación incremental cualitativa y cuantitativa de $e(k)$. Los elementos de salida del controlador FLC, son los cambios incrementales en la variable de control $u(k)$.

En este proyecto se implementa un controlador Fuzzy (FLC) teniendo en cuenta todas las etapas típicas de un controlador FLC, y se muestra en el siguiente diagrama:

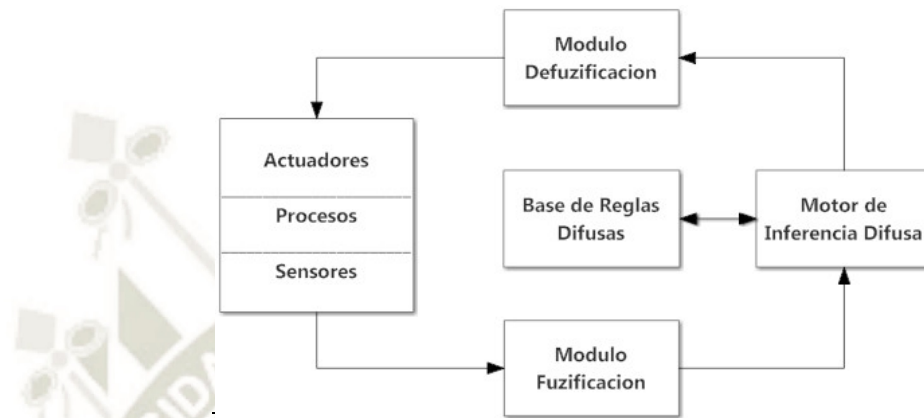


Figura 56: Diagrama esquemático del controlador difuso (FLC)

Algoritmo de Control Operatividad (Lógica Difusa)

El Control automático desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, robótica, económicos, biológicos, etc.

Los tipos de control empleados para estos procesos serán descritos a continuación, sin embargo, es necesario indicar algunos términos que son empleados en todo sistema de automatizado.

Señal de salida: es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, etc.). También se denomina variable controlada. PROCESS VARIABLE.

Señal de Referencia: Es el valor que se desea que alcance la señal de salida. SET POINT.

Error: es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real. Señal de control: es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya, o elimine, el error. OUTPUT.

Señal análoga: es una señal continua en el tiempo.

Señal digital: es una señal que solo toma valores de 1 y 0.

Planta: Es el elemento físico que se desea controlar. Planta puede ser: un motor, un horno, un sistema de disparo, un sistema de navegación, un tanque de combustible, etc.

Proceso: operación que conduce a un resultado determinado.

Sistema: consiste en un conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado.

Perturbación: es una señal que tiende a afectar la salida del sistema, desviándola del valor deseado.

Sensor: es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) es una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital. También es llamado transductor. Los sensores, o transductores, analógicos envían, por lo regular, señales normalizadas de 0 -5 volts, 0-10 volts o 4-20mA.

Por un tema de estabilidad la presente tesis plantea usar el protocolo desarrollado por HART (Highway Addressable Remote Transducer Protocol), el cual salió a la luz en el año 2007. Está basado en el protocolo de comunicación HART, actualmente en la versión 7, que se lleva usando desde finales de los años 80, el cual proporciona una conexión cableada con los instrumentos de campo de dos sentidos mediante una señal analógica de 4-20mA. WirelessHART ha heredado de su análoga característica como amplias funciones de seguridad, transferencias de datos no solicitados, notificaciones de eventos, la transferencia en modo bloque y diagnósticos avanzados.

Fue especialmente diseñado para cubrir las necesidades en las redes de campo en el control de procesos y permite la interoperabilidad con diferentes estándares.

3.4.3 Funcionamiento del Bloque FLC en la Programación Ladder

La implementación del diagrama anterior se llevó a cabo mediante la programación del PLC (Programmable Logic Controller) en referencia, aplicando el estándar de programación para autómatas programables normados en el estándar IEC 61131-3:

a. Diagrama de contactos (LD - Ladder Diagram): Es un lenguaje de programación de entorno gráfico, que es una representación de contactos en arreglo similar a los circuitos eléctricos para la concepción de la lógica, se basa en el análisis de los

estados de un peldaño o rung para activar, desactivar o ejecutar alguna acción. En este lenguaje de programación, la secuencia de ejecución se inicia en el peldaño o rung “0”, continuando hasta la última grada configurada para completar el ciclo de ejecución.

b. Diagrama de bloques de funciones (FBD - Function Block Diagram): Es un lenguaje de programación de entorno gráfico, que es una representación de bloques funcionales que se ejecutan en cascada, donde la salida o resultado de cada bloque se convierte en la entrada para el siguiente. La ejecución de los bloques se ejecuta según el orden en que fueron configurados, de izquierda a derecha hasta ejecutar el último bloque funcional.

Para nuestro caso se usó el Lenguaje basado en diagrama de contactos (LD) o también conocido como lenguaje escalera.

Módulo de Fuzzificación:

El control difuso siempre involucra este proceso de Fuzzificación, esta operación se realiza en todo instante de tiempo, es la puerta de entrada al sistema de inferencia difusa. Es un procedimiento matemático en el que se convierte un elemento del universo de discurso (variable medida del proceso) en un valor en cada función de membresía a las cuales pertenece. En el proceso de Fuzzificación se establece una relación entre las entradas al conjunto fuzzy y un conjunto de funciones de pertenencia, para lo cual hay que tener en cuenta el número de entradas, tamaño del universo de discurso, forma y número de los conjuntos fuzzy.

Como fue mencionado, las reglas de control se definen en términos del error $e(k)$, diferencia entre:

$$e(k) = r(k) - y(k)$$

Ecuación 2: Proceso de Fuzzificación

Donde:

$r(k)$ = Set point o valor deseado

$y(k)$ = Variable de proceso o valor de salida

y la razón de cambio en el error, como la derivada discreta:

$$de(k) = [e(k) - e(k-1)]/T \quad \text{o} \quad de(k) = e(k) - e(k-1), \text{ cuando } T=1$$

Las funciones Membresía de entrada al error y al cambio en el error se muestran a continuación:

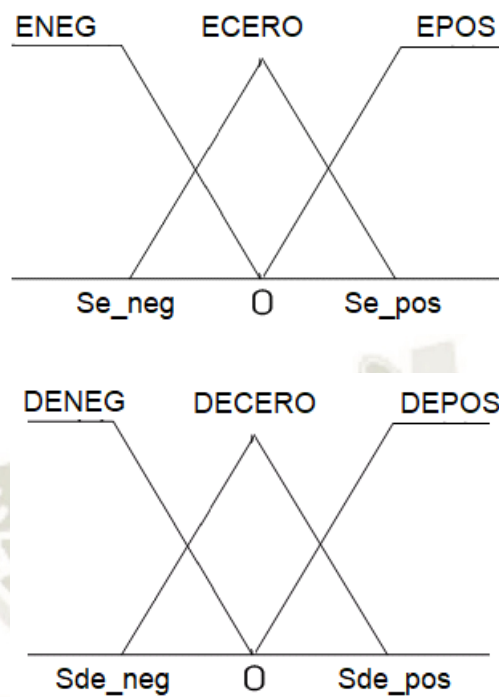


Figura 57: Función de membresía de entrada al error

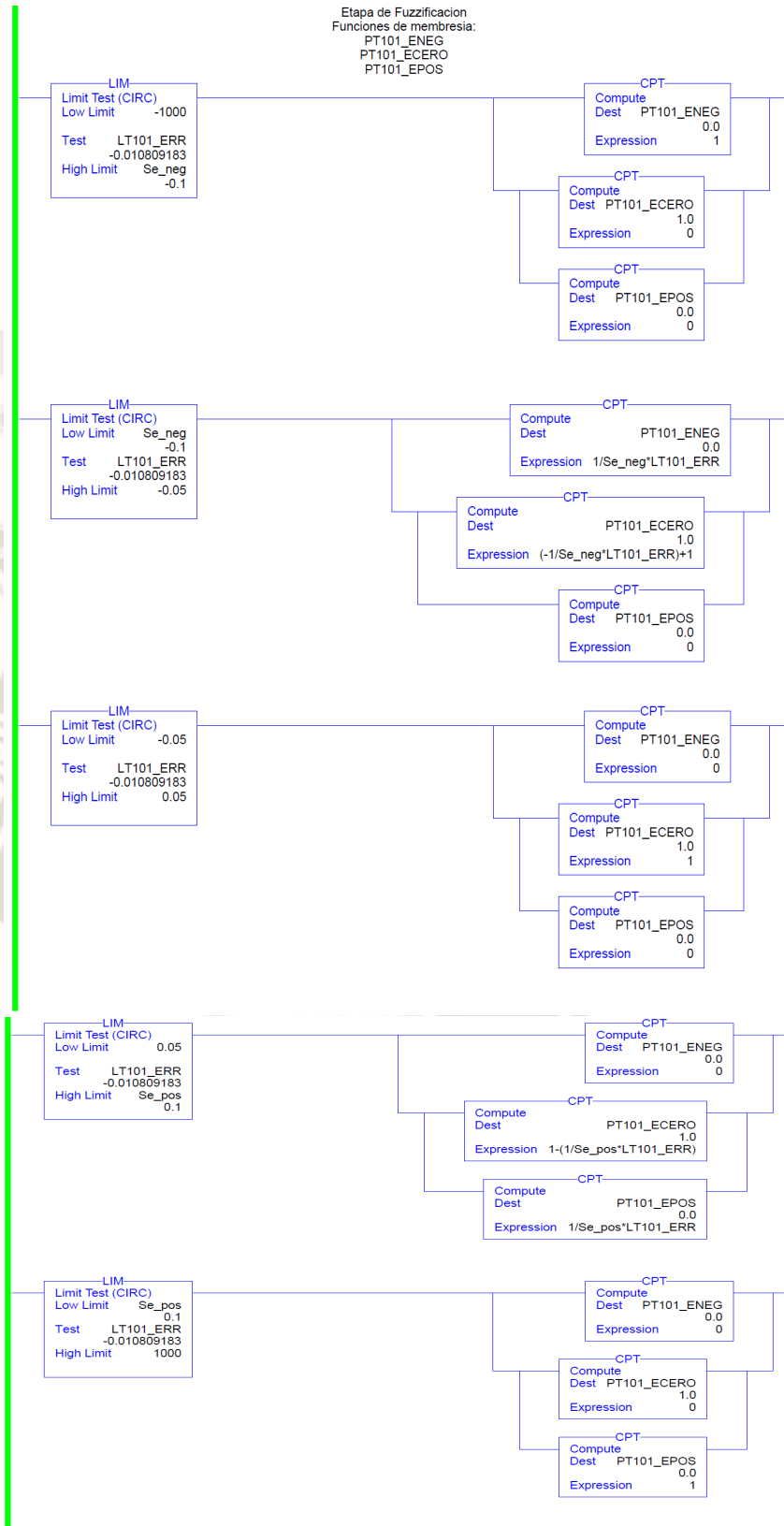


Figura 58: Implementación de las funciones de membresía al error en RsLogix 5000

Motor de inferencia:

Los controladores difusos en el motor de inferencia usan reglas de inferencia, éstas combinan uno o más conjuntos borrosos de entrada llamados antecedentes o premisas y le asocian un conjunto borroso de salida llamado consecuente o consecuencia. Involucran a conjuntos difusos, lógica difusa e inferencia difusa. A estas reglas se les llama reglas difusas o fuzzy rules. Son afirmaciones del tipo SI-ENTONCES. Los conjuntos difusos del antecedente se asocian mediante operaciones lógicas borrosas AND, OR, etc. Las reglas difusas representan el conocimiento y la estrategia de control, pero cuando se asigna información específica a las variables de entrada en el antecedente, la inferencia difusa es necesaria para calcular el resultado de las variables de salida del consecuente, este resultado es en términos difusos, es decir que se obtiene un conjunto difuso de salida de cada regla, que posteriormente junto con las demás salidas de reglas se obtendrá la salida del sistema.

Basado en el comportamiento dinámico del proceso de llenado del tanque se definieron las siguientes reglas de inferencia, expresas en una tabla de inferencias:

Tabla 12:
Reglas de inferencia:

	DENEG	DECERO	DEPOS
ENEG	Snu	Snu	0
ECERO	Snu	0	Spu
EPOS	0	Spu	Sppu

Fuente: Elaboración Propia

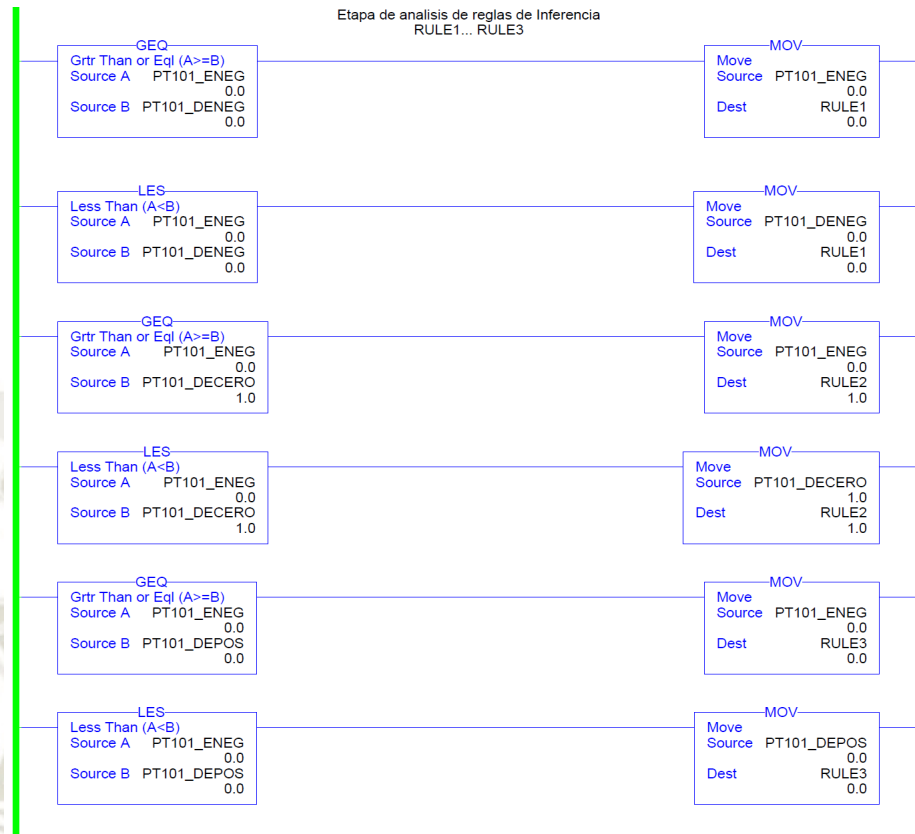


Figura 59: Implementación parcial de las funciones de membresía al error en RsLogix 5000

Módulo de Defusificación:

La defusificación (defuzzyfication) es un proceso matemático usado para convertir un conjunto difuso en un número real. El sistema de inferencia difusa obtiene una conclusión a partir de la información de la entrada, pero es en términos difusos. Esta conclusión o salida difusa es obtenida por la etapa de inferencia borrosa, esta genera un conjunto borroso pero el dato de salida del sistema debe ser un número real y debe ser representativo de todo el conjunto obtenido en la etapa de agregado, es por eso que existen diferentes métodos de defusificación y arrojan resultados distintos, el “más común y ampliamente usado” es el centroide.

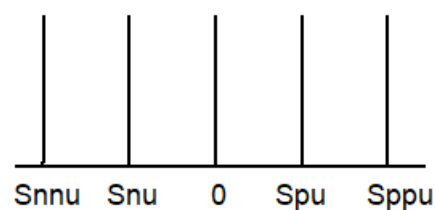


Figura 60: Función de membresía de salida

Con el método de defusificación del centroide se transforma la salida difusa en un número real el cual es la coordenada x, del centro de gravedad de tal conjunto difuso de salida. La ecuación que representa esto fue implementada mediante

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n MD_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n MD_i}$$

Figura 61: Método de defusificación del centroide

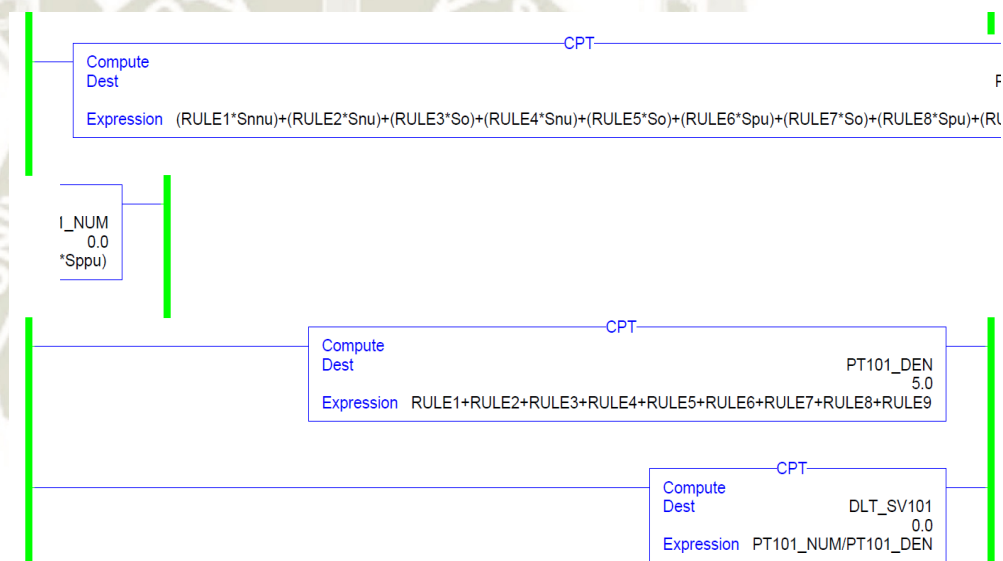


Figura 62: Implementación de la etapa de defusificación en RsLogix 5000

3.4.4 Lazo de Control Cerrado

En el presente proyecto se implementó una estrategia de control a lazo cerrado con la finalidad de controlar el nivel en los diferentes tanques de almacenamiento de agua potable tomando en cuenta las diferentes variables que intervienen el dicho proceso.

El lazo de control básico, adquiere las variables de proceso (PV) mediante las tarjetas de entradas analógicas y se escala para obtener valores de 0 a 4m de altura de agua y/o 0% a 100% de llenado. Dependiendo el modo de control seleccionado, la lógica de control tomará una acción automática o esperará algún comando del operador.

En la siguiente figura se muestra el sistema de control resultante luego de la implementación del controlador difuso (FLC) interactuando con el modelo simulado del proceso de llenado de los tanques. Aquí se consideró tiempos de muestreo de 1 segundo dada la dinámica relativamente lenta que desarrolla un proceso de llenado en general.

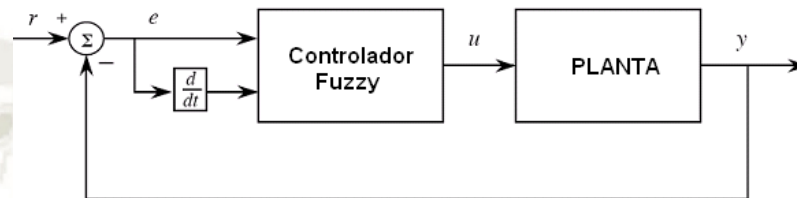


Figura 63: Diagrama esquemático del controlador difuso (FLC)

Los modos de control implementados fueron el modo MANUAL y el modo AUTOMATICO, a seguir detallamos cada uno de ellos:

Modo Manual (MAN): En este modo el controlador difuso (FLC) detiene la ejecución de su algoritmo, de tal manera que la salida del controlador retendrá el último valor calculado al instante del cambio de modo. En este modo, el operador puede cambiar la salida del controlador manualmente de acuerdo a su criterio y responsabilidad, por ejemplo: para setear la velocidad de la bomba al 50% o 70%. Este modo es usado normalmente durante el arranque de un proceso o etapa para tomar decisiones inmediatas ante un eventual problema.

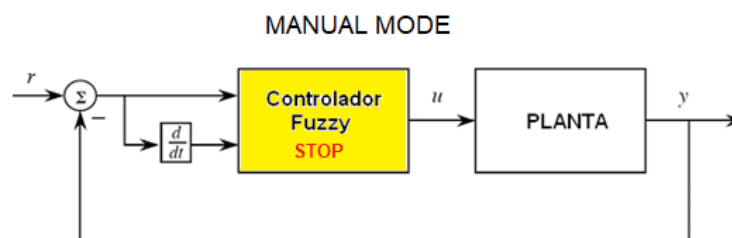


Figura 64: Controlador Difuso en modo Manual

Modo Automático (AUTO):

En este modo el controlador difuso (FLC) ejecuta el algoritmo fuzzy, de tal manera que la salida del controlador será el resultado de la etapa de defusificación. En este modo, el operador no puede cambiar la salida del controlador manualmente. Este modo es usado normalmente luego del arranque de un proceso a fin de mantener condiciones de operación.

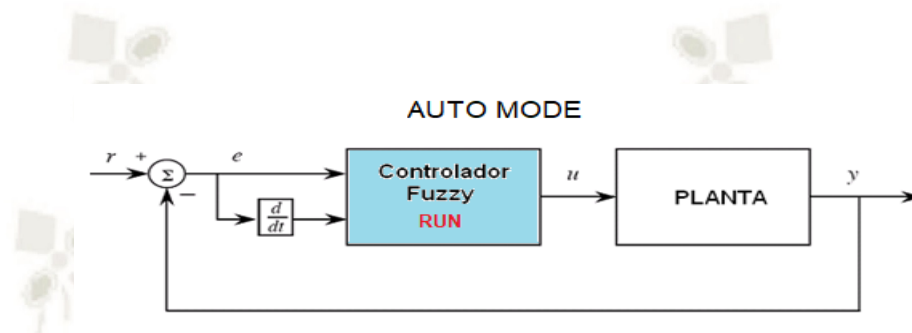


Figura 65: Controlador Difuso en modo Automático

3.5 Estudio de factibilidad del proyecto

3.5.1 Estudio Técnico

La propuesta de la presente tesis y su posterior aplicación implica un análisis de factibilidad técnica, donde se evalúa de acuerdo a la variedad de equipos e instrumentos que se emplearán, además del simulador de software, que solamente se aplica considerando máquinas virtuales para el uso de manipulación en el proceso de aprendizaje no comercial, donde se puede proponer, diseñar, evaluar, monitorear y controlar los diferentes procesos de la planta de referencia. Para tener certeza de la factibilidad técnica sea la adecuada se deberá considerar las condiciones proyectadas de cada equipo e instrumento y que cumplan con lo requerido.

Las personas idóneas y con la experiencia necesaria serán las que puedan validar la conformidad del interfaz *hombre-máquina*, la operatividad del software, las capacidades del mismo para brindar información en tiempo real de acuerdo a las necesidades proyectadas de la empresa a la cual beneficiará la implantación del presente proyecto, logrando disminuir sustancialmente la cantidad de agua no

facturada en virtud a diversos factores que no se controlan por falta de información oportuna y precisa

Este análisis de Factibilidad Técnica logrará controlar, medir, administrar información, brindar seguridad y minimizar riesgos innecesarios de los reboses de agua en los reservorios de la ciudad de Arequipa, para una toma oportuna de decisiones con un análisis eficiente de datos y mejorar los sistemas actuales de control y monitoreo en los diferentes reservorios.

3.5.2 Estudio de Operatividad

En referencia al análisis de Factibilidad de operatividad, se deberá identificar las labores del proceso de manera sistemática para obtener información real, donde en la parte del proceso que se recepciona todos los datos adquiridos el personal estará en capacidad de asumir el rol de toma de decisiones de tal manera que se cumplan los parámetros establecidos para el sistema sugerido en esta tesis, buscando la eficiencia en cada parte del proceso operativo.

Como parte del proceso operativo, se deberá considerar una etapa de capacitación a los operadores que estarán a cargo en el centro de control y ser parte de la innovación dentro de la tecnificación necesaria con afanes de productividad y logro de indicadores de eficiencia y eficacia siempre buscados por todas las empresas con proyección a una mejora constante.

Es necesario asumir que los cambios que se presenten en caso de aplicar esta propuesta tecnológica son para favorecer el mejor desenvolvimiento de los procesos de la empresa de tal manera que no genere incertidumbre, más bien, se experimenten cambios positivos. Para apoyar la facilidad de operatividad del sistema propuesto será necesario crear un manual de procedimientos con características y vocabulario fácil de manera que el operador no tenga dificultades en su aprehensión y posterior uso sin contratiempos.

3.5.3 Estudio Económico para la implementación

La actual propuesta presentada en la tesis, generará un beneficio económico para la empresa a la cual se ofrece su implementación, debido a que disminuirán las pérdidas producidas por la diferencia generada por el agua producida y el agua que se dejó de facturar, creando brechas significativas desde hace muchos años atrás,

que no logran corregirse de manera significativa. A consecuencia del análisis previo se pretende demostrar los beneficios relevantes de las expectativas económicas que beneficiarían aplicando dicha propuesta.

Se diversifican los costos del proceso en tres partes luego de haber analizado cada etapa del mismo, las partes se detallan a continuación:

a. Proceso Electrónico.

Permite aplicar la tecnología de manera integrada con la finalidad de conseguir la automatización industrial de los procesos que se complementarán con sistemas de control y supervisión de datos (proceso informático), la instrumentalización industrial que mantiene la operatividad del proyecto empleando fuentes eléctricas (proceso electrónico) y las redes de comunicación industrial.

Tabla 13:
Lista de Materiales Electrónicos

LISTA DE MATERIALES ELECTRÓNICOS						
PROYECTO		Diseño y Simulación de un Sistema Scada para el control y monitoreo de reservorios de agua potable usando un algoritmo de control mediante una red inalámbrica en Arequipa 2019				
REALIZADO POR:		Peter Alex Rodriguez Mogrovejo				
Proceso	Reservorio		FECHA	28/10/2019		
LISTA DE MATERIALES ELECTRONICOS						
ITEM	DESCRIPCION				UNIDAD	CANT.
1	Multímetro Fluke 77 Iv				1	1
2	Sensor de Caudal (Caudalímetros)				1	10
3	Sensores de Presion				1	5
4	Transmisor Ultrasónico de Nivel Sin Contacto con Proceso Endress + Hauser				1	5
5	Actuadores Electro - Neumaticos				1	10
6	Válvula de Compuerta Sello Flexible AWWA C509 Sigma Flow				1	10
7	Bombas Centrifugas Horizontales				1	10
8	PLC Allen Bradley				1	5
9	Sensor de Rebose o Niveles				1	5

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 14:
Costo Materiales Electrónicos

COSTO DE MATERIALES ELECTRÓNICOS

COSTO DE MATERIALES					
ITEM	UNIDAD	DESCRIPCION	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	1	Multímetro Fluke 77 Iv	1	S/1,800	S/1,800
2	1	Sensor de Caudal (Caudalímetros) PCE-TDS 100HS	10	S/8,614	S/86,138
3	1	Sensor de presión PCE-DMM 70	5	S/4,607	S/23,037
4	1	Transmisor Ultrasónico de Nivel Sin Contacto con Proceso Endress + Hauser	5	S/5,200	S/26,000
5	1	Actuadores Electronico	10	S/1,970	S/19,700
6	1	Válvula de Compuerta Sello Flexible AWWA C509 Sigma Flow	10	S/12,000	S/120,000
7	1	Bombas Centrifugas Horizontales	10	S/23,900	S/239,000
8	1	PLC Allen Bradley Controller, Dual Ethernet W DLR Capability, 1MB Me	5	S/4,800	S/24,000
8	1	HMI Allen Bradley Panelview Plus 7 Standard Terminal, Touch Screen con Proceso Endress + Hauser)	5	S/3,900	S/19,500
8	1	Switch Allen Bradley Stratix 5700 Switch, Managed, 6 Fast Ethernet Copp	6	S/3,500	S/21,000
8	1	Sensor de Rebose o Niveles (Transmisor Ultrasónico de Nivel Con Contacto con Proceso Endress + Hauser)	5	S/5,200	S/26,000
					S/606,174

Fuente: Elaboración Propia

b. Proceso Informático.

Este proceso emplea la comunicación entre los diferentes dispositivos electrónicos y eléctricos con la finalidad de que cumplan la finalidad para lo cual fueron integrados en el proyecto de tesis propuesto, además de participar en la comunicación industria (redes industriales).

Tabla 15:
Lista de Materiales Informáticos

LISTA DE MATERIALES INFORMÁTICOS

PROYECTO		Diseño y Simulación de un Sistema Scada para el control y monitoreo de reservorios de agua potable usando un algoritmo de control mediante una red inalámbrica en Arequipa 2019					
REALIZADO POR:		Peter Alex Rodríguez Mogrovejo					
Proceso	Reservorio			FECHA	28/10/2019		
LISTA DE MATERIALES INFORMATICOS							
ITEM	DESCRIPCION					UNIDAD	CANT.
1	Servidor Dell PowerEdge R330					1	3
2	Workstation Dell Precision T5810 (Con monitor de 19" incluido)					1	2
3	Switch Cisco Catalyst 2960-X 24 GigE, 4 x 1G SFP, LAN Base					1	2
4	KVM De Consola Tripp Lite Netdirector De 8 Puertos 1u Para Instalar En Rack, Con Lcd De 19 Pulgadas + 8 Cables Combinados Ps2/Usb					1	1
5	UPS APC 8000VA Modelo SURT8000XLI					1	1
6	PLC Allen Bradley Controller, Dual Ethernet W DLR Capability, 1MB Me					1	5
7	HMI Allen Bradley Panelview Plus 7 Standard Terminal, Touch Screen					1	5
8	Switch Allen Bradley Stratix 5700 Switch, Managed, 6 Fast Ethernet Copp					1	1
9	Router Four-Faith F8834 ZigBee (IEEE 802.15.4)					1	5
10	ConnectPort® X2 (DiGi)					1	5
11	CPUs i7 Octava generacion Micro Dell					1	5
12	Monitor Dell 17 pulgadas Dell					1	5
13	Mouse, Teclado					1	5
14	Modulo Xbee Pro Estandar ZigBee (IEEE 802.15.4)					1	5
15	Antenas Xbee Pro					1	5
16	Torre de 6 Metros Tubo galvanizado					1	5
17	Torre de 21 Metros Tubo galvanizado					1	1
18	Simulador Software RSLOGIX 5000					1	1
19	Simulador Software RSLINX					1	1
20	Simulador Software RSLOGIX EMULATE 5000					1	1
21	Software Factory Talk View Studio					1	1
22	UTP CAT 6 Cero Halogeno(Rollo)					1	5
23	Programacion y Diseño					1	1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16:
Costo de Materiales Informáticos

COSTO DE MATERIALES INFORMÁTICOS

COSTO DE MATERIALES					
ITEM	UNIDAD	DESCRIPCION	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	1	Servidor Dell PowerEdge R620	1	S/9,000	S/9,000
2	1	Workstation Dell Precision T3430 (Con monitor de 19" incluido)	2	S/2,900	S/5,800
3	1	Conmutador Catalyst de Cisco WS-C2960X-24TS-L 2960-X 24 GigE 4x1G Sfp	2	S/1,800	S/3,600
4	1	KVM De Consola Tripp Lite Netdirector De 8 Puertos 1u Para Instalar En Rack, Con Lcd De 19 Pulgadas + 8 Cables Combinados Ps2/Usb	1	S/3,500	S/3,500
5	1	UPS APC 8000VA Modelo SURT8000XLI	1	S/6,500	S/6,500
6	1	Router Four-Faith F8834 ZigBee (IEEE 802.15.4)	5	S/1,700	S/8,500
7	1	ConnectPort® X2 (DiGI)	5	S/500	S/2,500
8	1	Dell 640W4 7070 Micro i5	5	S/2,500	S/12,500
9	1	Monitor Dell 17 pulagdas Dell	5	S/250	S/1,250
10	1	Mouse, Teclado	5	S/90	S/450
11	1	Modulo Xbee Pro Estandar ZigBee (IEEE 802.15.4)	5	S/400	S/2,000
12	1	Antenas Xbee Pro (25 Metros)	5	S/110	S/550
13	1	Torre de 6 Metros Tubo galvanizado	5	S/200	S/1,000
14	1	Torre de 21 Metros Tubo galvanizado	1	S/2,100	S/2,100
15	1	Simulador Software RSLOGIX 5000	1	S/19,000	S/19,000
16	1	Simulador Software RSLINX	1	S/12,000	S/12,000
17	1	Simulador Software RSLOGIX EMULATE 5000	1	S/15,000	S/15,000
18	1	Software Factory Talk View Studio	1	S/21,000	S/21,000
22	1	UTP CAT 6 Cero Halogeno(Rollo)	5	S/1,300	S/6,500
23	1	Programacion y Diseño	1	S/30,000	S/30,000
					S/162,750

Fuente: Elaboración Propia

c. Proceso Eléctrico.

Esta etapa del proceso abastece de energía a todos los componentes del proyecto de tal manera que se cumplan los objetivos propuestos dentro de la estructura creada y adecuada a través de cableado estandarizado y aprobado desde una fuente eléctrica apropiada y siendo regulado el proceso con los respectivos mantenimientos regulares y planificados (sistema eléctrico).

Tabla 17:
Lista de Materiales Eléctricos

LISTA DE MATERIALES ELÉCTRICOS

PROYECTO	Diseño y Simulación de un Sistema Scada para el control y monitoreo de reservorios de agua potable usando un algoritmo de control mediante una red inalámbrica en Arequipa 2019						
REALIZADO POR:	Peter Alex Rodriguez Mogrovejo						
Proceso	Reservorio			FECHA	28/10/2019		
LISTA DE MATERIALES ELÉCTRICOS							
ITEM	DESCRIPCION					UNIDAD	CANT.
1	Tablero Electronico de control					1	6
2	Rollos de Cable 14					1	6
3	Reles					1	20
5	Interruptores					1	20
6	Cajas de Paso					1	20
7	Supresores de Pico					1	10
8	UPS					1	6
9	Estabilizadores Solidos					1	6

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18:
Costo de Materiales Eléctricos

COSTO DE MATERIALES ELÉCTRICOS

COSTO DE MATERIALES					
ITEM	UNIDAD	DESCRIPCION	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	1	Tablero Electronico de control	6	S/2,800	S/16,800
2	1	Rollos de Cable 14	6	S/120	S/720
3	1	Reles	20	S/180	S/3,600
5	1	Interruptores	20	S/260	S/5,200
6	1	Cajas de Paso	20	S/180	S/3,600
7	1	Supresores de Pico	10	S/60	S/600
8	1	UPS	6	S/2,800	S/16,800
9	1	Estabilizadores Solidos	6	S/800	S/4,800
					S/52,120

Fuente: Elaboración Propia

3.5.4 Resumen de los Costos de inversión para la implementación:

Esta propuesta de tesis con la finalidad de promover la inversión, efectúa cotizaciones de los componentes sujetos al proyecto, como son componentes electrónicos, informáticos y eléctricos como parte del sistema de control y monitoreo en los reservorios de agua potable en la ciudad de Arequipa.

El resumen de dichos componentes es el siguiente:

Tabla 19:

Costo de Implementación de Sistema de Control y Monitoreo de Reservorios de Agua Potable

Costo de implementación de sistema de control y monitoreo de reservorios de agua potable	
Costo de inversión Electrónica	S/604,374
Costo de inversión Informática	S/162,750
Costo de inversión Eléctrica	S/52,120
Total de inversión	S/819,244

Fuente: Elaboración Propia

3.5.5 Análisis de Costo de Beneficio del Sistema

3.5.5.1 Flujo de Caja

Para poder efectuar el flujo de caja que tenga como finalidad el beneficio económico para la implementación de la propuesta de esta tesis deberán considerarse los siguientes parámetros:

- Tiempo de Vida de equipos a adquirir: 10 años.
- Tasa de Depreciación: (equipos adquiridos se depreciarán totalmente en 10 años, sin valor residual). La tasa de depreciación anual (T) es de 25%.
- Costo de Oportunidad de la empresa (TMAR): 8%.

Tabla 20:
Flujo de Caja

	PERIODO (AÑOS)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EGRESOS											
Electrónicos	604,374										
Informáticos	162,750										
Eléctricos	52,120										
Mantenimiento	-	-	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
Depreciación	-	204,811	204,811	204,811	204,811						
Total Gastos	819,244	204,811	224,811	224,811	224,811	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
INGRESOS											
Ahorro	-	667,720	600,948	540,853	486,768	438,091	394,282	354,854	319,368	287,432	258,688
deprec.		204,811	204,811	204,811	204,811	-	-	-	-	-	-
Total ingresos	-	872,531	805,759	745,664	691,579	438,091	394,282	354,854	319,368	287,432	258,688
FCN	- 819,244	667,720	580,948	520,853	466,768	418,091	374,282	334,854	299,368	267,432	238,688
FCA	- 819,244	- 151,524	429,424	950,277	1,417,045	1,835,136	2,209,418	2,544,272	2,843,640	3,111,072	3,349,760

Fuente: Elaboración Propia

3.5.5.2 Criterios económicos

Para efectuar el estudio de factibilidad económica del sistema propuesto se deberán considerar y evaluar tres indicadores:

- VAN (Valor Actual Neto).
- TIR (TIR Tasa Interna de Retorno).
- PRI (Período de Recuperación de la inversión).
- TMAR (Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento)

VAN (Valor Actual Neto).

Podemos obtener el VAN (Valor Actual Neto) obteniéndolo de la sumatoria de todos los flujos de caja netos actualizados por periodo y la diferencia con los flujos descontados a la inversión inicial. El VAN es la comparación de los ingresos con los egresos esperados desde del inicio de operaciones del proyecto en un momento de tiempo. Para poder decir que el proyecto es factible el resultado de las operaciones deberá ser mayor a cero, es decir que el $VAN > 0$.

Fórmula Valor Actual Neto (VAN)

$$VAN = -I_0 + \sum \frac{S_t}{(1+i)^t}$$

Ecuación 3: Fórmula de Valor Actual Neto.

Donde:

I_0 = Desembolso Inicial
 S_t = Flujo de Caja Actualizado
 i = Tasa de descuento

También se aplica la fórmula en Microsoft Excel en el menú principal hay que dirigirse a FORMULAS y escoger la fórmula siguiente para encontrar el Valor Actual Neto:

Fórmula Valor Actual Neto (VAN)

$$=VAN (I; f1; f2)-IO$$

Ecuación 4: Fórmula en Excel de Valor Actual Neto.

Donde:

I = Tasa de interés
 f = Flujo de efectivo neto
 IO = Inversión inicial

El VAN (Valor Actual Neto) obtenido es de S/. 2,175,514, es mayor que cero lo cual significa que el monto a invertir es menor al ahorro estimado en el período de vida del proyecto. Este es un primer indicador para no descartar invertir en este proyecto.

PRI (Periodo de Retorno de Inversión).

El PRI (Período de Retorno de Inversión) se obtiene de la gráfica de los FCN (Flujo de caja neto) acumulados para cada período como se muestra en el Gráfico 1. El PRI se determina en la gráfica en el momento en que la recta se interseca con el eje X.

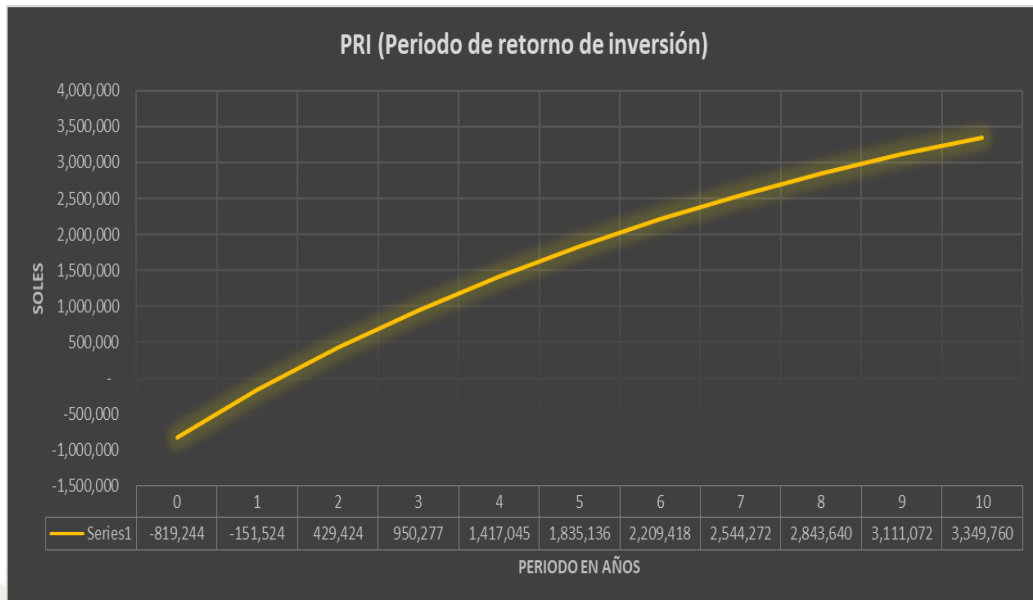


Figura 66: PRI (Periodo de Retorno de Inversión).

Del gráfico anterior se puede observar que el Período de Recuperación de Inversión es superior a 1 año sin llegar al segundo año, lo cual hace un proyecto atractivo para muchas empresas, pues la mayoría han llegado a implementar proyectos que tienen un PRI de hasta 5 años.

TIR (Tasa Interna de Retorno).

Por último, como revisión final del análisis económico del Sistema de Control y Monitoreo de Reservorios de agua en la ciudad de Arequipa, se deberá obtener la TIR (Tasa Interna de Retorno) haciendo lo siguiente: igualando el VAN a cero. Ésta es la tasa de interés que hace el Valor Actual Neto igual a cero. El TIR es un índice de rentabilidad que busca determinar hasta cuánto podría el inversionista aumentar la TMAR (Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento) para que el proyecto siga siendo aceptado en su operación.

$$TIR = -I_0 + \sum \frac{S_t}{(1+i)^t} = 0$$

Ecuación 5: Fórmula de Tasa Interna de Retorno

Donde: I_0 = Desembolso Inicial S_t = Flujo de Caja Actualizado i = Tasa de descuento

También se aplica la fórmula en Microsoft Excel en el menú principal hay que dirigirse a FORMULAS y escoger la fórmula siguiente para encontrar la Tasa Interna de Retorno:

$$=TIR (IO; F2)$$

Ecuación 6: Fórmula de Tasa Interna de Retorno en Excel**Donde:** F = Flujo de efectivo neto IO = Inversión inicial

Efectuando las operaciones correspondientes se obtiene que la Tasa Interna de Retorno de 70% anual, por lo que el Sistema es claramente rentable para implementarlo en la empresa se saneamiento a la cual refiere la tesis propuesta. Estos resultados superan algunas expectativas previas a la formulación de este proyecto.

CAPÍTULO IV

4. VALIDACIÓN DE PRUEBAS EN OPERACION Y EJECUCIÓN DEL SISTEMA UTILIZANDO HMI

4.1. Funcionamiento del Proceso LLENADO – DISTRIBUCION – REBOSE

Las pruebas realizadas para verificar la operación y ejecución de sistema a través de las Funciones implementadas en el HMI son:

4.1.1. Para evaluar la Usabilidad de la Presentación de Tesis

En esta imagen nos muestra el nombre de la tesis con el respectivo logo de la Universidad Católica de Santa María, y quien es el desarrollador del HMI (Human Machine Interface) en la parte inferior se representa el botón de ingreso al sistema SCADA “SISTEMA SCADA RESERVORIOS”.



Figura 67: Presentación del Proyecto

4.1.2. Para evaluar la Usabilidad del Sistema PRINCIPAL

Aquí tenemos la presentación del sistema principal, con la finalidad de acceder a la supervisión control y monitoreo de los reservorios ubicados en las diferentes partes de la ciudad de Arequipa y mostrando en tiempo real el estado del reservorio

en su capacidad, así como también el estado de la conexión inalámbrica implementado del reservorio al centro de control, para acceder a cualquier instancia debemos hacer clic en la figura o en su defecto en su respectivo nombre. Es muy importante observar en el mapa la distribución de los reservorios siendo uno de los procesos más importantes el de monitoreo, por tal motivo se muestra lo siguiente:



Figura 68: Pantalla Principal de Simulación

Indicadores

- Indicador con 3 tipos de alerta
 - Verde: Nivel de Capacidad de Reservorio Normal
 - Amarillo: Nivel de Capacidad de Reservorio Bajo
 - Rojo: Nivel de Capacidad de Reservorio Alto
- Indicador Capacidad y/o Almacenamiento
Capacidad del Reservorio en tiempo real

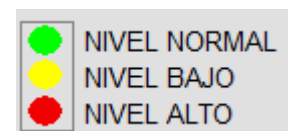


Figura 69: Niveles

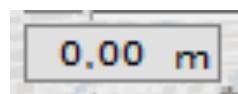


Figura 70: Medidor de almacenamiento

- Indicador de Conectividad

Si está conectado o desconectado del sistema a los reservorios.



Figura 71: Indicador de Status de Conexión

Se agregó un botón de GRAFICO, con la finalidad tener un historial de todos los procesos que se tienen en los reservorios, tomando como dato: segundos, minutos, horas y fecha de todos los procesos de todos los reservorios de forma independiente.

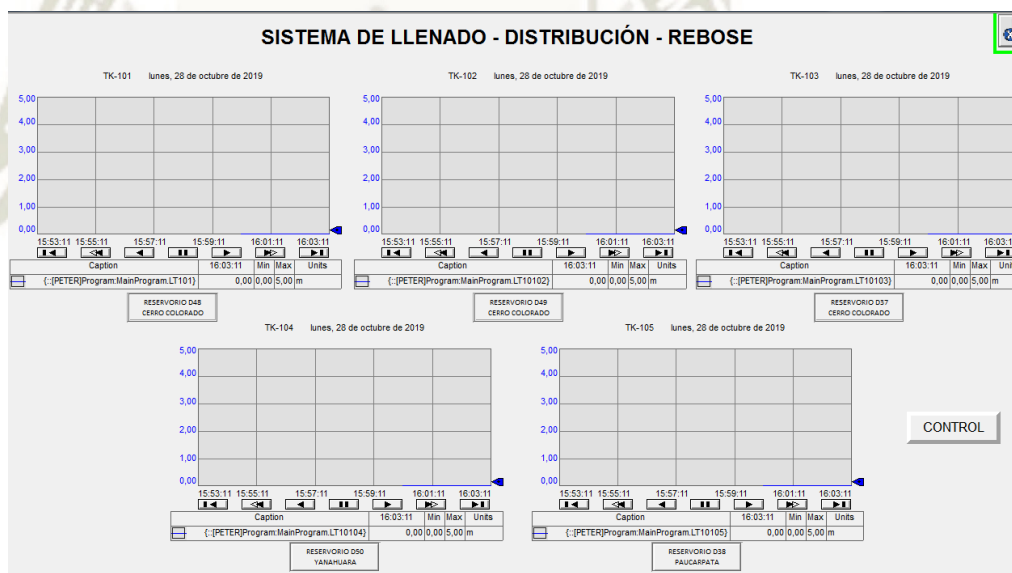


Figura 72: Gráficas de los Procesos de los Reservorios

4.1.3. Para evaluar eficacia en el proceso de llenado-distribución y rebose de reservorios:

Para poder evaluar los procesos que hemos propuesto para los reservorios ingresamos a cualquiera de los ubicados en el mapa.

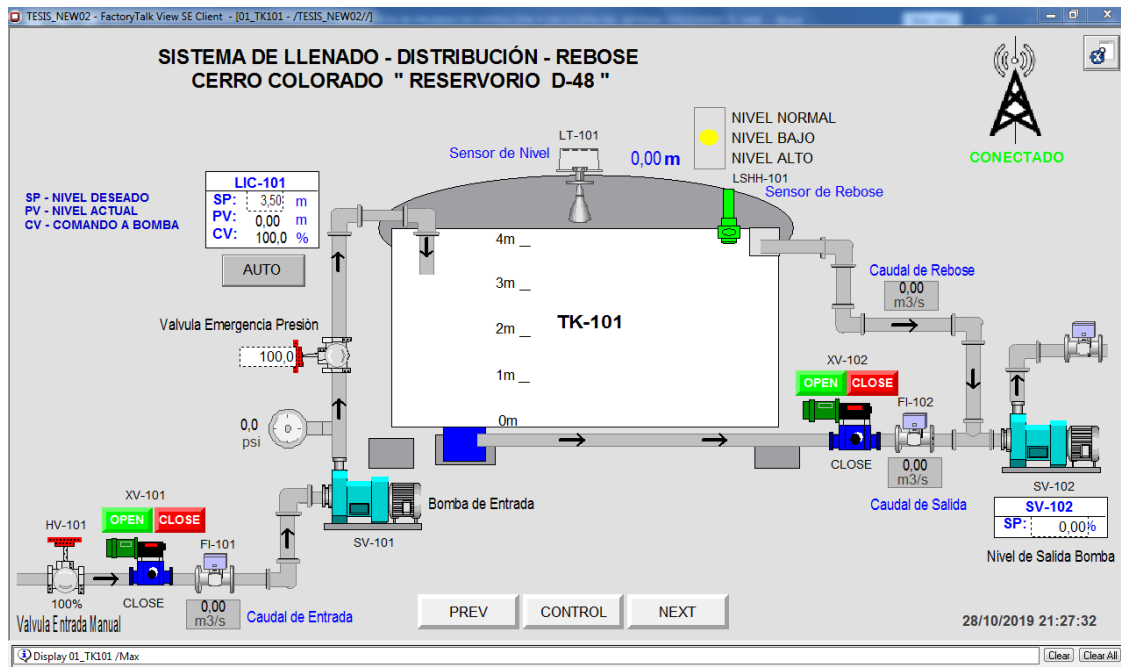


Figura 73: Procesos de llenado – distribución y rebose (reservorio)

Proceso de Llenado

Se inicia el proceso con los siguientes pasos:

1. Con la apertura de una válvula de entrada manual (se aplica a situaciones de emergencia).
2. Seguido se tiene una válvula (actuador) Electro - Neumático la cual opera según sistema.
3. Abierta la Válvula Electro-Neumático. El caudal que ingresa es medido por un caudalímetro (sensor de Caudal).
4. El ingreso de agua es bombeado por la bomba de agua enviándola al reservorio
5. El agua enviada al reservorio y por medidas de seguridad se instala un sensor de presión a la salida de la bomba
6. Por último y también por seguridad se instaló una válvula manual por si ocurren fallas de la bomba.

Formas para llenar el Reservorio.

Existen 2 acciones de llenar el reservorio

a) Automático.

Tal como se muestra el panel en la **Figura 74**.

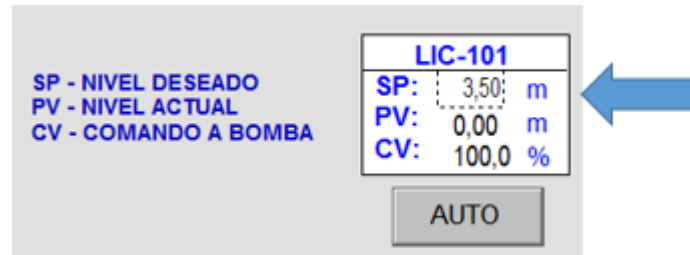


Figura 74: Panel de llenado de Reservorio (Automático)

La función de automático funciona según el perfil y los parámetros que se establecieron en dicha función por ejemplo como se muestra en la *Figura 74*.

Está activado la función automática, la bomba se activa he inicia el proceso de llenado hasta alcanzar el nivel deseado según (SP = Nivel Deseado) en este caso 3.5 metros (reservorio) y la bomba opera a su máximo (CV = Comando o potencia de bomba) en este caso está operando al 100% la bomba.

En la siguiente *Figura .75* se muestra que se alcanzó el nivel deseado (SP = 3.00 m) siendo el Nivel actual (PV = 3.45) por lo tanto la bomba se apaga por esa razón (CV= 00 %)

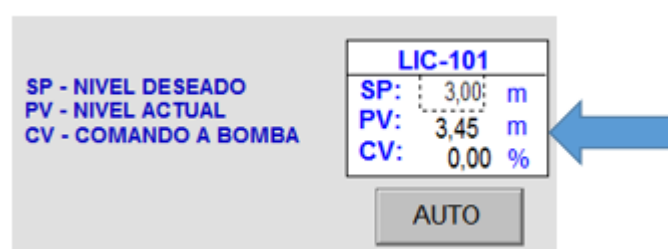


Figura 75: Panel de apagado de la Bomba en Reservorio (Automático)

Si el nivel del reservorio está por debajo del nivel deseado la bomba automáticamente comienza el proceso de llenado hasta alcanzar nuevamente el nivel deseado como se muestra en la *Figura 76*.

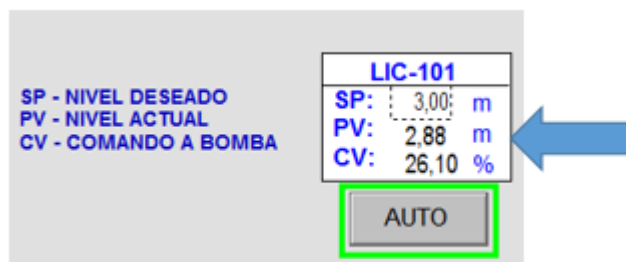


Figura 76: Proceso de llenado de Reservorio (Automático)

b) Manual

Este perfil se tomó en cuenta para que el operador pueda cambiar los parámetros de forma manual, cambiar la potencia de la bomba bajo el criterio que vea por conveniente el operador, cambiar el nivel deseado del reservorio. Esto quiere decir una vez alcanzado el nivel deseado del reservorio la bomba se apaga, si el nivel del reservorio está por debajo del nivel deseado la bomba no se prende, hasta que el operador inicie el proceso de llenado manualmente desde el sistema como muestra la *Figura 77* y *Figura 78*.

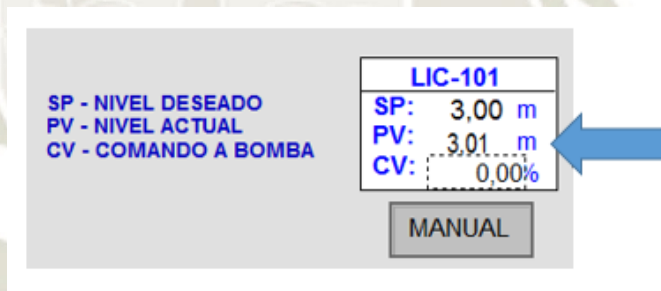


Figura 77: Panel de llenado de Reservorio (Manual)

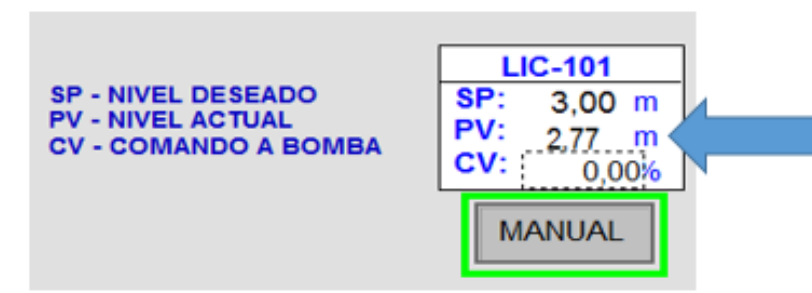


Figura 78: Panel de llenado de Reservorio (Manual)

4.1.4. Para evaluar la eficacia en el Control de los instrumentos y la comunicación de datos en el Sistema SCADA

a) El planteamiento sugerido para tener una manera segura en los procesos, se basa en los datos obtenidos de los sensores y sistemas de alerta que se propone en la presente solución.

La siguiente *figura 79* muestra que los datos obtenidos de los sensores en tiempo real en este caso sensor de niveles sean obtenidos por el sistema y procesen las acciones correspondientes.

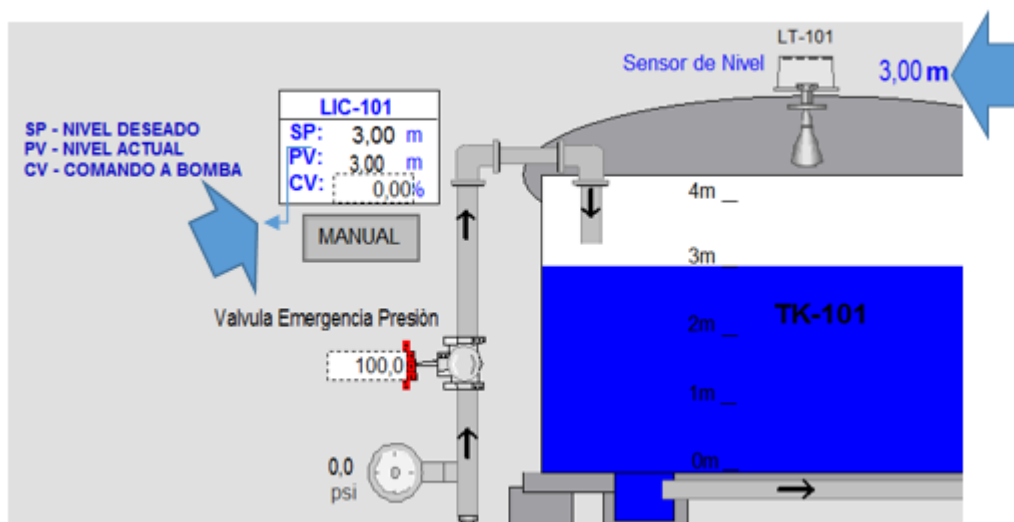


Figura 79: Datos obtenidos de los Sensores en Tiempo Real

El sensor de niveles da información tiempo real del nivel de agua en el reservorio y envía información al sistema tal como se muestra en la *figura 79*.

b) El sensor de caudal (caudalímetro) se utiliza bajo la misma lógica obtiene información en tiempo real y envía la información al sistema tal como se muestra en la siguiente *figura 80*.

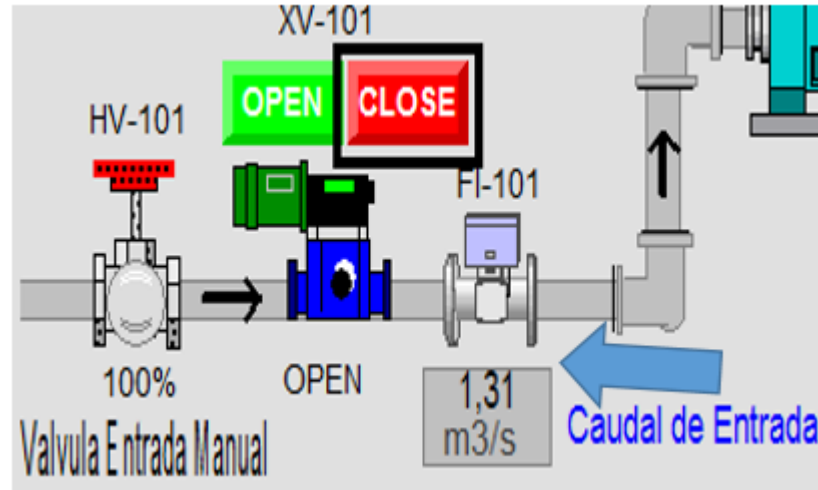


Figura 80: Información de Sensor de Caudal

- c) El sensor de presión obtiene información en tiempo real de la fuerza con la que se está operando la bomba ese momento tal como se muestra en la Figura 81. muestra que la bomba está operando al 100% de su capacidad y el sensor de presión es de 5.9 psi. Si la fuerza de la bomba varía el sensor de presión automáticamente lo reconoce.

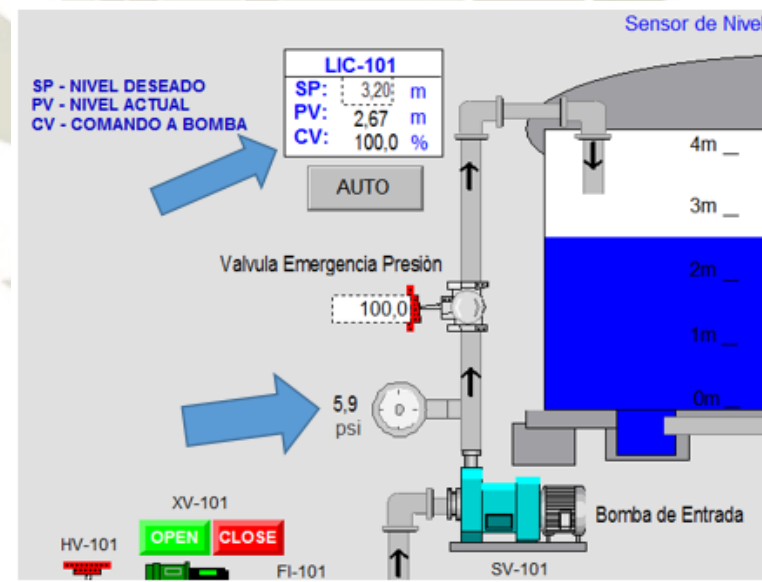


Figura 81: Información de Sensor de Presión y Bomba

- El sensor de rebose si bien es cierto está dentro de los procesos del reservorio, pero no está de forma activa más bien es solo una acción de emergencia en el caso que todos los protocolos de emergencia no se activen.

- Se activa el sensor de rebose, de forma inmediata se apaga todo el proceso de llenado tal como se muestra en la *figura 83*.
- Se activa el sensor de caudal de rebose, junto con la bomba distribución al 20% de su capacidad solo para evitar rebalse del reservorio como se muestra en la *figura 82*.

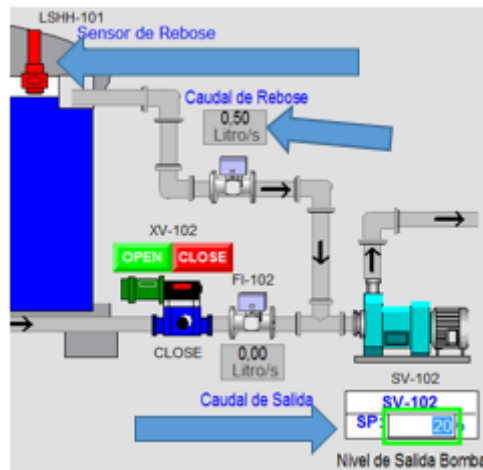


Figura 82: Funcionamiento Sensor Rebose

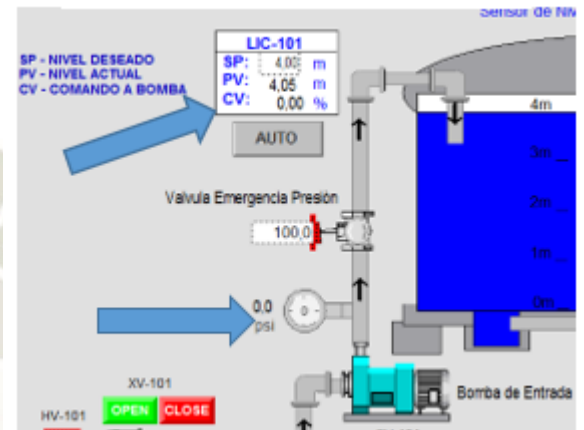


Figura 83: Se apaga todo el proceso de llenado

- d) Actuador de salida, válvula (actuador) Electro - Neumático del proceso de distribución la cual opera según sistema, o de forma manual por el operador se puede abrir o cerrar para la distribución de agua potable hacia la bomba de forma remota tal como se muestra en la figura 84.

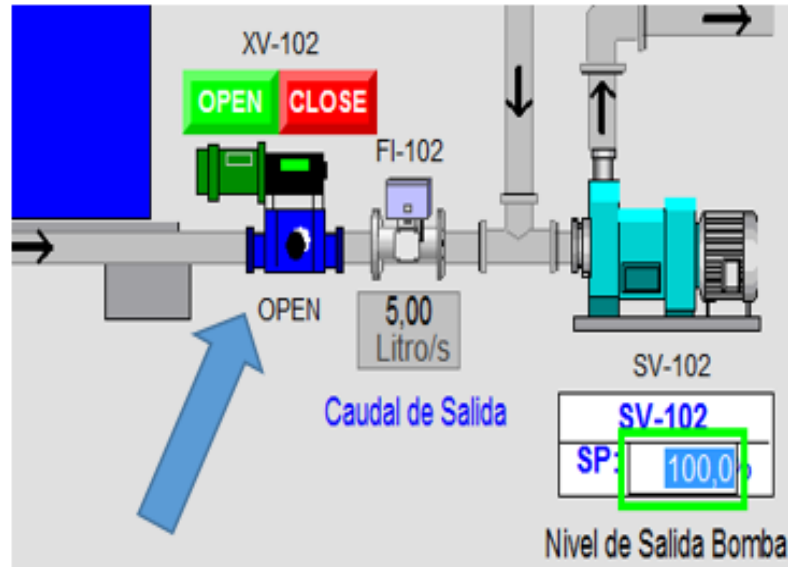


Figura 84: Funcionamiento de Válvula de Salida

4.1.5. Para evaluar el monitoreo de los Procesos de Llenado – Distribución – Rebose considerando las alertas del sistema SCADA:

Se considera como importante la función de alertas, para lo cual se implementan 3 tipos de alertas que van en función al algoritmo de lógica difusa que se implementó en la presente solución:

- Alerta Verde : Nivel del reservorio es Normal
- Alerta Amarillo : Nivel del reservorio es Bajo
- Alerta Rojo : Nivel reservorio es Alto

Tal como se muestra las siguientes figuras:

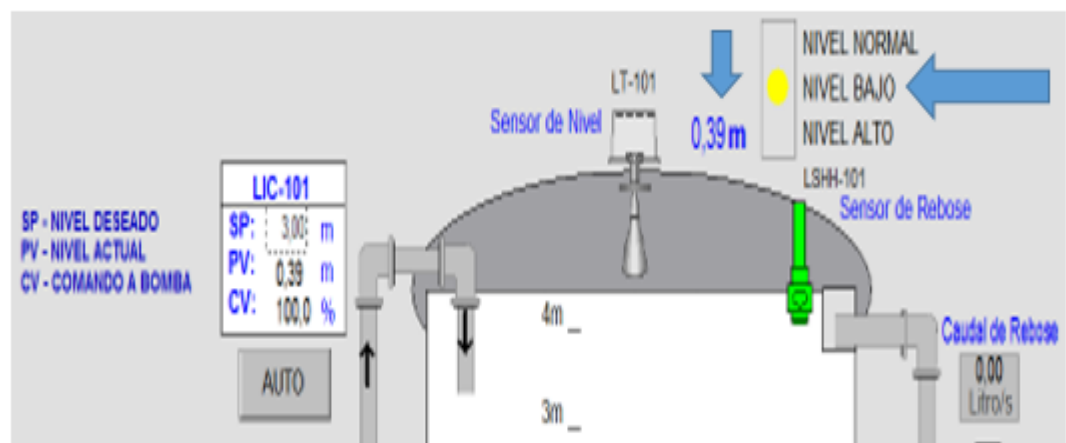


Figura 85: Indicador **Amarillo** Nivel Bajo

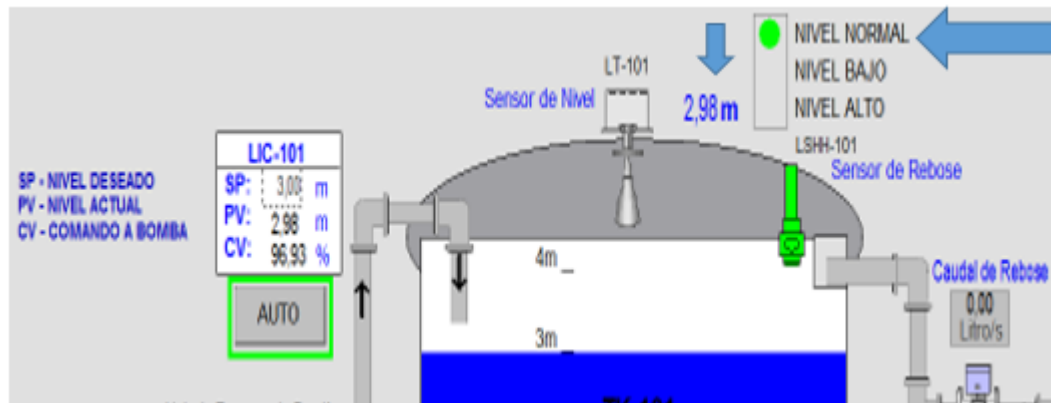


Figura 86: Indicador **Verde** Nivel Normal

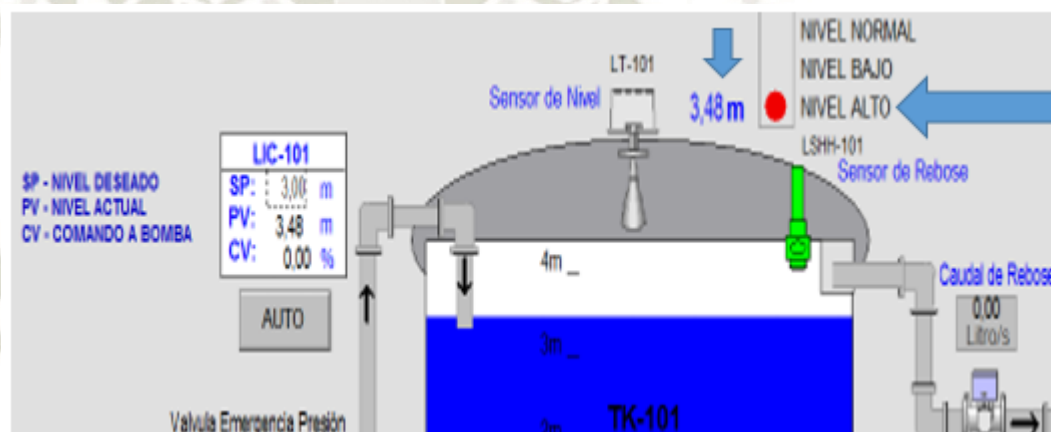


Figura 87: Indicador **Rojo** Nivel Alto

4.1.6. Para evaluar el monitoreo de los Proceso de Llenado – Distribución - Rebose considerando las alertas de Comunicación del sistema SCADA.

El centro de control recibe toda la información en tiempo de real de los procesos que tiene el reservorio es por esa razón que se implementó un estado de comunicación en el sistema SCADA, las alerta son de CONECTADO Y DESCONECTADO, los equipos de comunicación inalámbrico (WirelessHART) instalados en las instalaciones del reservorio y la estación central que recibe toda la información en el centro del control.

Cada comunicación es independiente para cada reservorio, si el sistema dejara de recibir información por un tiempo máximo de 60 segundos, automáticamente el sistema lo toma como desconectado, hasta que el sistema vuelva a conectarse.

Tal como se muestra en la siguiente *figura 88*.



Figura 88: Alertas de Comunicación del sistema SCADA

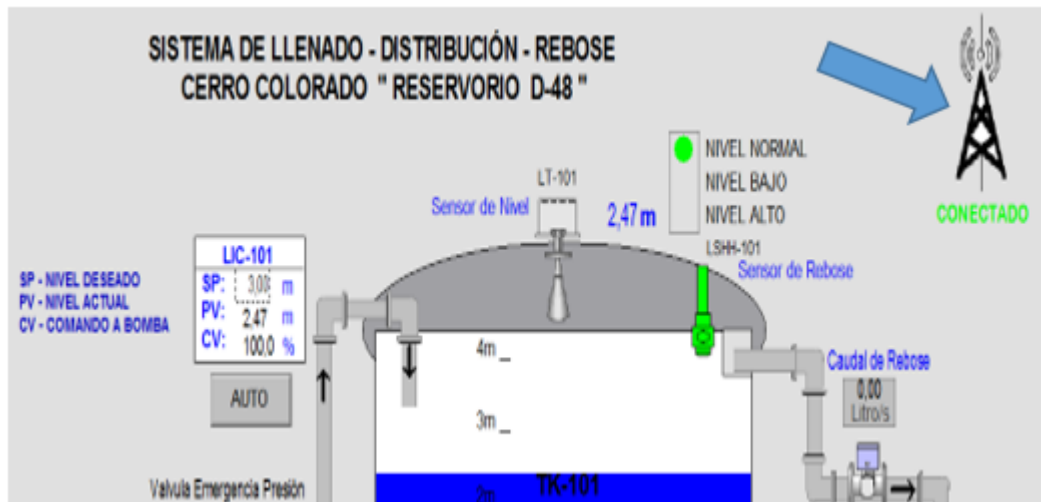


Figura 89: Control Reservorio Status Conectado

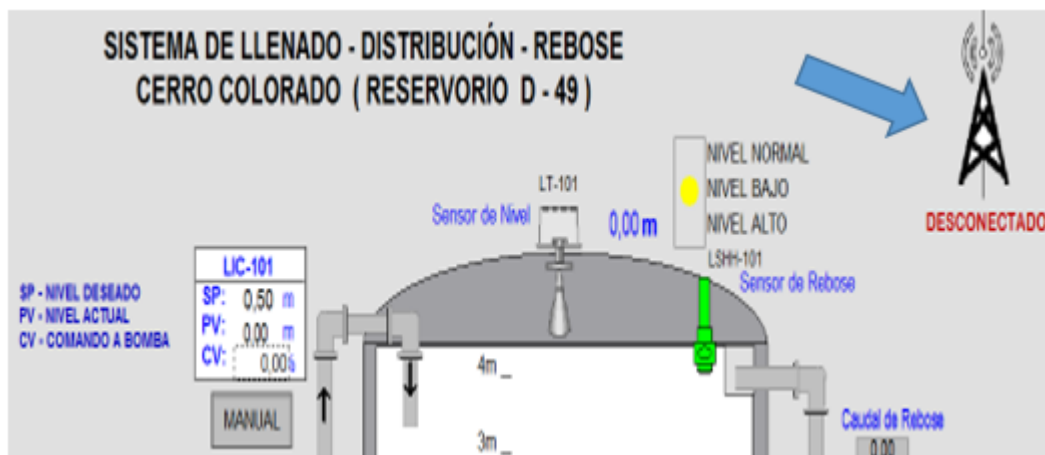


Figura 90: Control Reservorio Status Desconectado

4.1.7. Para evaluar el monitoreo y control del Proceso Distribución del sistema SCADA:

El proceso de distribución se consideró en la presente solución solo de forma manual ya que se desconoce el nivel de demanda por parte de los usuarios, esto quiere decir que los niveles de fuerza de la bomba son manejados manual manualmente por el operador tal como se muestra la *figura 91*.

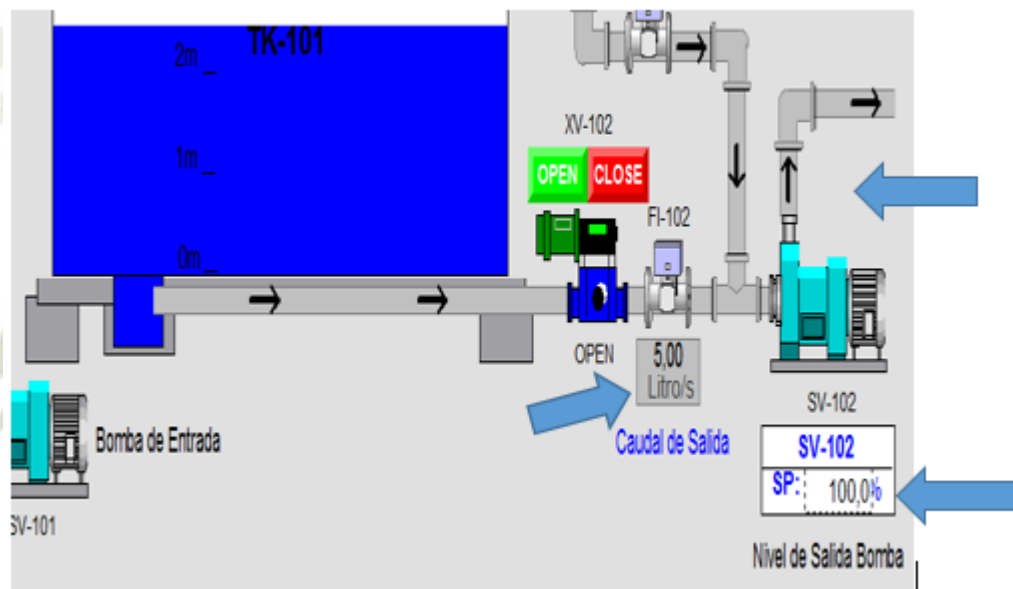


Figura 91: Proceso de Distribución de Agua (Reservorio)

4.2. Diagrama de Instrumentación de Tuberías y Dispositivos

4.2.1. Diagrama de Llenado -Distribución - Rebose (Reservorio)

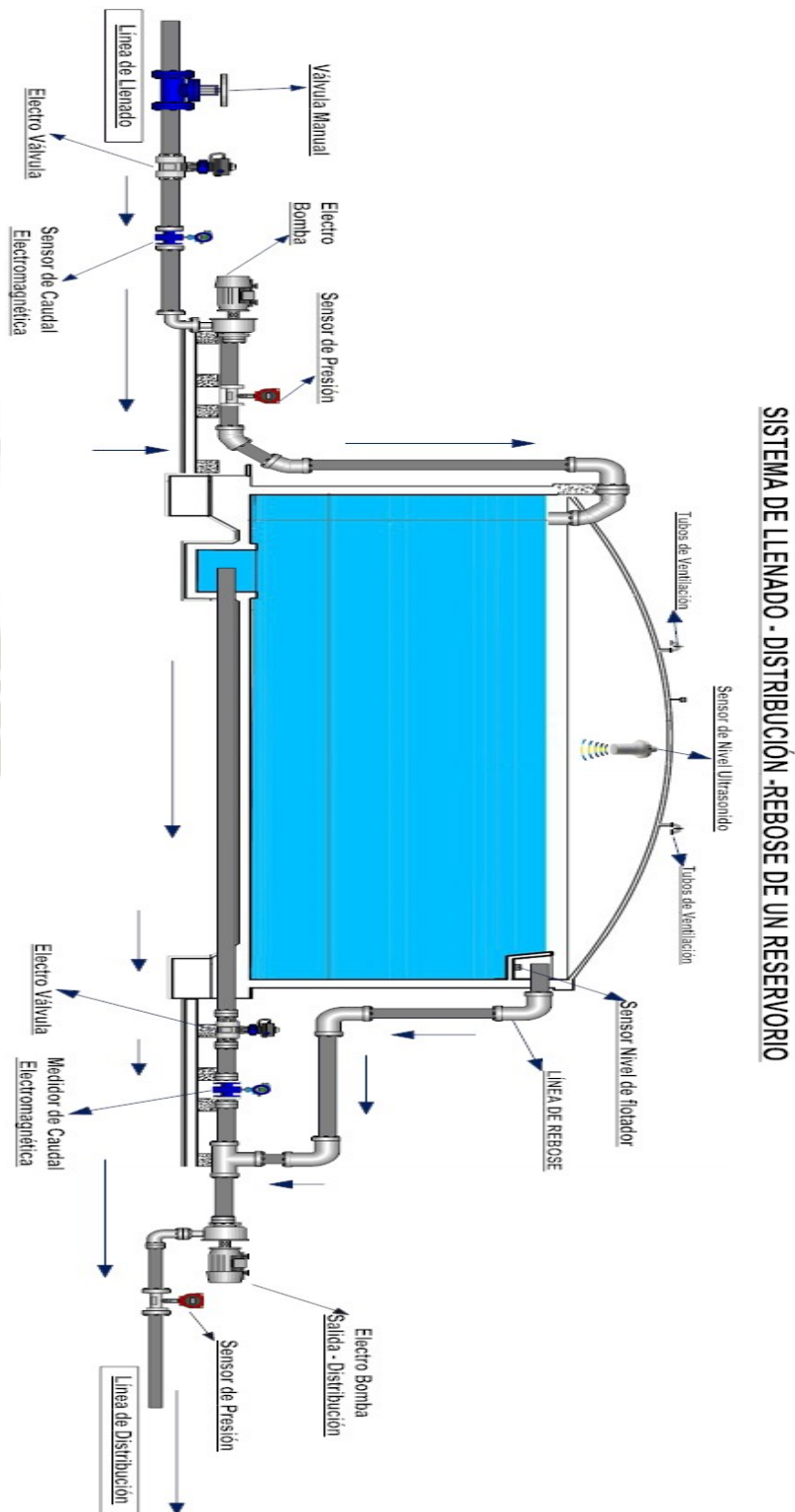


Figura 92: Diagrama de Llenado -Distribución -Rebose (Reservorio)

4.2.2. Diagrama Llenado

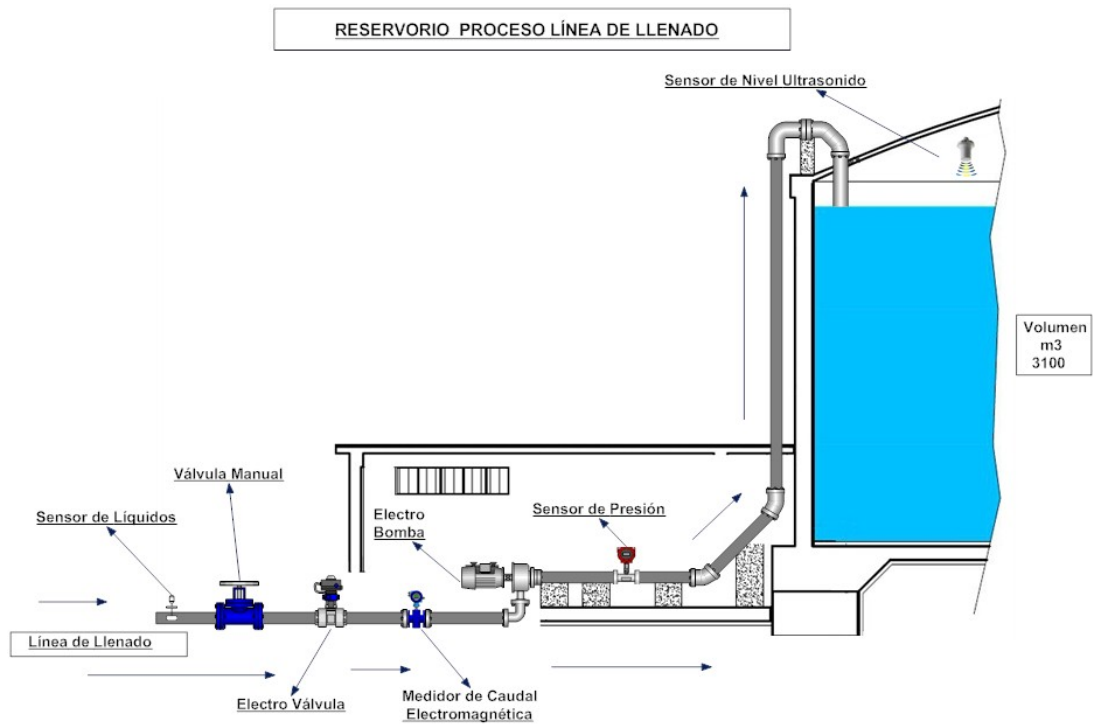


Figura 93: Diagrama de Llenado

4.2.3. Diagrama Rebose

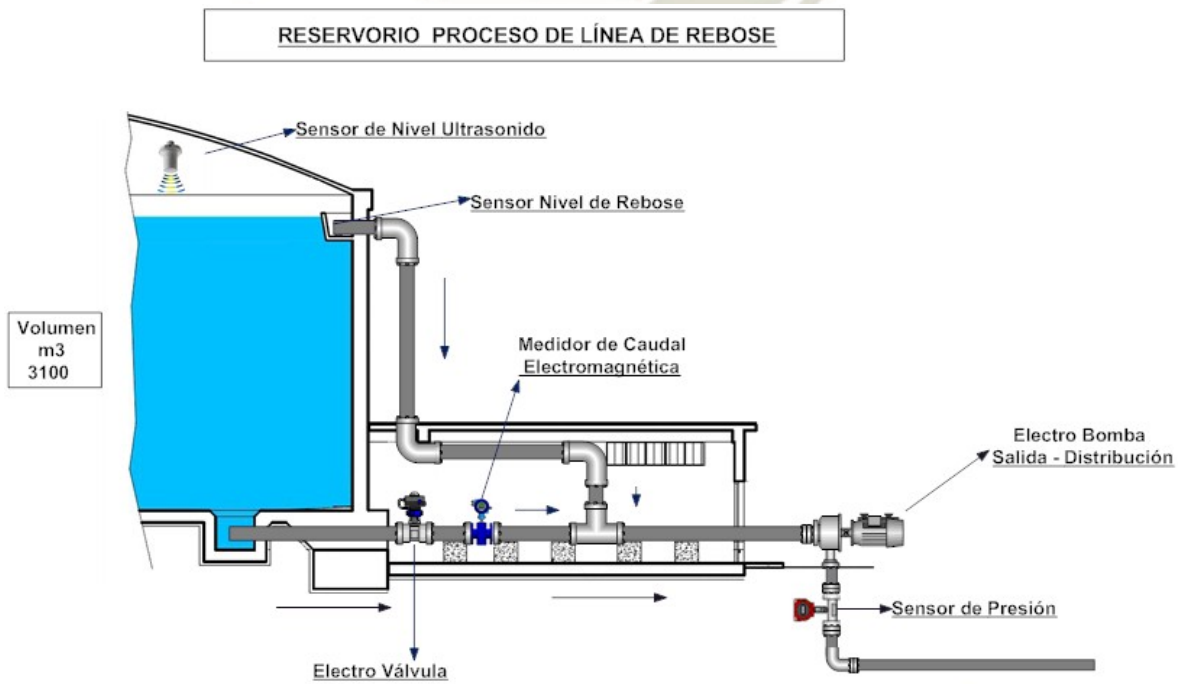


Figura 94: Diagrama de Rebose

4.2.4. Diagrama Distribución

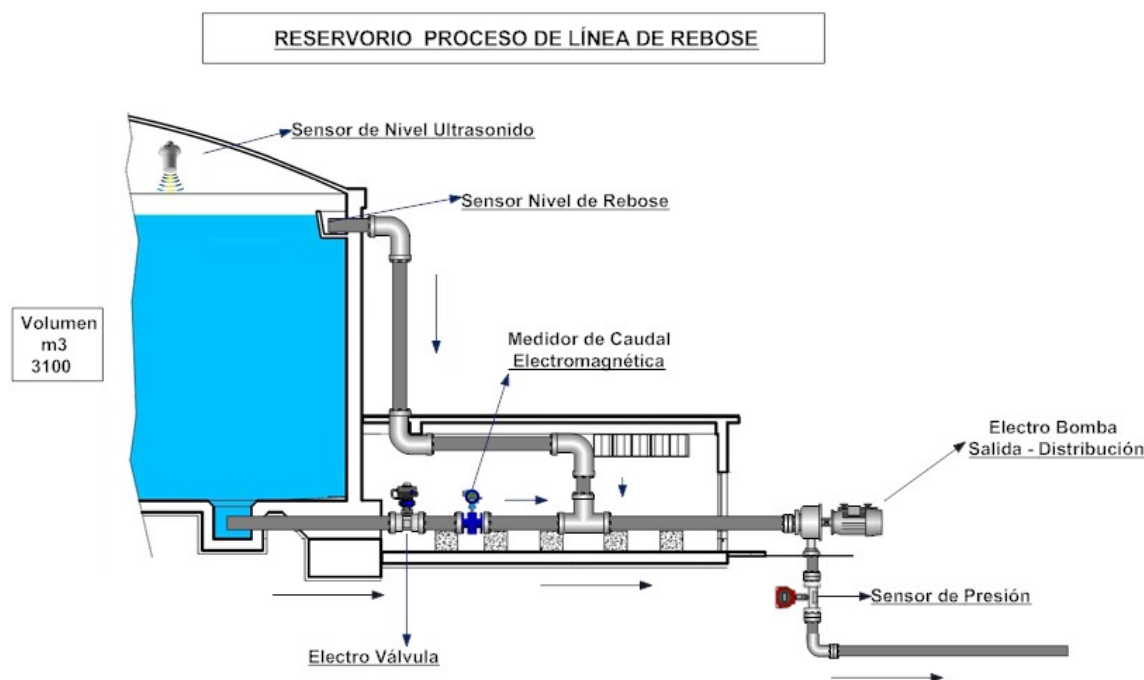


Figura 95: Diagrama de Distribución

4.3 Campo de Verificación

4.3.1 Ubicación espacial

El presente trabajo propone aplicar en la ciudad de Arequipa, distrito de Arequipa, provincia Arequipa, departamento Arequipa.

4.3.2 Ubicación temporal

La presente investigación es coyuntural debido a que aborda una problemática real en cuanto al control y monitoreo de reservorios de agua potable en la ciudad de Arequipa. Además, que aplica herramientas relacionadas a la profesión para solucionarlo.

4.3.3 Unidades de estudio

La unidad de estudio son los reservorios de agua potable, específicamente su control y monitoreo. A continuación, se detallan los reservorios involucrados.

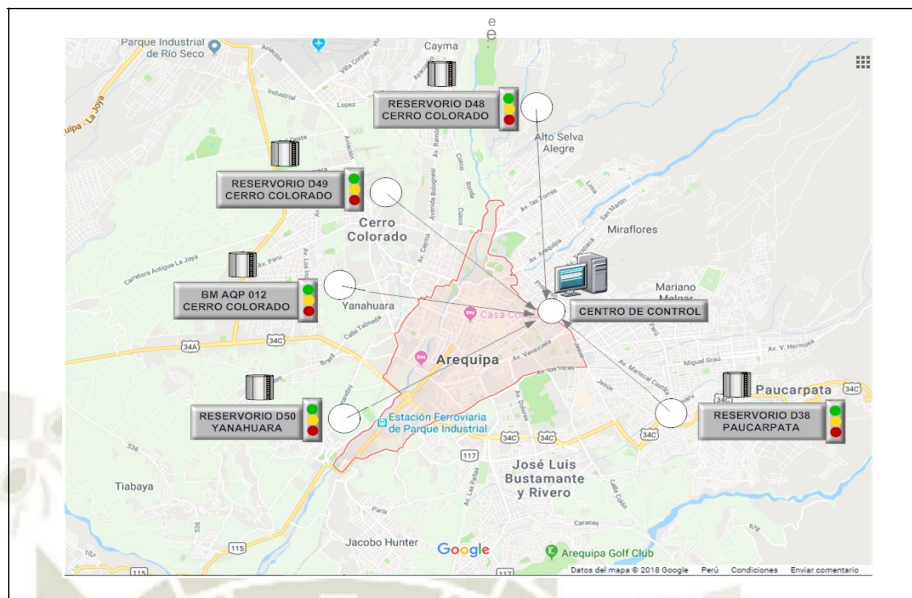


Figura 96: Reservorios alcance del estudio, Arequipa

Tabla 21:

Lista de reservorios involucrados.

Estación	C. Este	C. Norte	Ubicación	Distrito
Centro de Control	-	-	Punto de monitoreo principal (Centro de control) Av. Virgen del Pilar 1701	AREQUIPA
Bm aqp 012	224947.16	8186229.44	A un costado del Pozo de Agua Mz. 51 Lt. 2 Zona D, Jr. Sor Ana de los Angeles – Semi Rural Pachacutec	CERRO COLORADO
D-38	231391.2734	8182339.965	Techo caseta de válvulas, Av. Guardia Civil*/Ca Pizarro/Hartley	PAUCARPATA
D-48	226341.338	8188782.746	Techo caseta de válvulas, Av. Villa Hermosa S/NKm. 5, Espaldas de Sider Perú	CERRO COLORADO
D-49	225862.688	8186979.279	Buzón dentro del reservorio Av. José Olaya, Pj. Túpac Amaru, costado del Cementerio Esperanza	CERRO COLORADO
D-50	225498.048	8184378.907	Techo de caseta de válvulas, Urb. Torreblanca / Cerro Fátima	YANAHUARA

Fuente: Elaboración Propia

4.4 Recopilación e interpretación de Resultados del Proceso

4.4.1 Resultados cronológicos obtenidos (Resumen)

Cada uno de los reservorios sujeto al sistema SCADA crea una base de datos que posteriormente generan reportes, los cuales serán interpretados para hacer un seguimiento de todos los procesos y evaluar el desempeño del sistema en tiempo real, en la Tabla siguiente se presenta un ejemplo:

Tabla 22:
Reporte Resumen de Resultados obtenidos de Procedimientos por Reservorio.

CUADRO DE RESULTADOS				
Actividad	N° Reservorio	Valor Actual	Valor Esperado (SCADA)	Unidad
Tiempo de Respuesta en Reservorio D-48	D-48	55	1	mins
Tiempo de Respuesta en Reservorio D-49	D-49	50	1	mins
Tiempo de Respuesta en Reservorio D-50	D-50	50	1	mins
Tiempo de Respuesta en Reservorio D-37	D-37	40	1	mins
Tiempo de Respuesta en Reservorio D-38	D-38	45	1	mins
<hr/>				
Variabilidad en Inventario de Agua D-48	D-48	2.5	0.5	metros
Variabilidad en Inventario de Agua D-49	D-49	2.5	0.5	metros
Variabilidad en Inventario de Agua D-50	D-50	2.5	0.5	metros
Variabilidad en Inventario de Agua D-37	D-37	2.5	0.5	metros
Variabilidad en Inventario de Agua D-38	D-38	2.5	0.5	metros
<hr/>				
Requerimiento de Operadores en D-48 / Dia	D-48	6	0.5	HH
Requerimiento de Operadores en D-49 / Dia	D-49	6	0.5	HH
Requerimiento de Operadores en D-50 / Dia	D-50	6	0.5	HH
Requerimiento de Operadores en D-37 / Dia	D-37	6	0.5	HH
Requerimiento de Operadores en D-38 / Dia	D-38	6	0.5	HH
<hr/>				
Tiempo de Puesta en Marcha Reservorio D-48	D-48	90	25	mins
Tiempo de Puesta en Marcha Reservorio D-49	D-49	90	25	mins
Tiempo de Puesta en Marcha Reservorio D-50	D-50	90	25	mins
Tiempo de Puesta en Marcha Reservorio D-37	D-37	90	25	mins
Tiempo de Puesta en Marcha Reservorio D-38	D-38	90	25	mins

Fuente: Elaboración propia.

Tabla de Resultados

Esta tabla de resultados, nos muestra una comparación de actividades que se realizan en todos los reservorios, esta tabla de resultados nos demuestra que implementado un sistema de SCADA, una automatización de procesos (llenado-almacenamiento-distribución-rebose), los tiempos de respuesta son superiores en todo sentido, mejorando la operación de los reservorios en el proceso de entrega del recurso hídrico a los usuarios finales.

A continuación, explicamos de forma más precisa las actividades y valores de cada reservorio:

4.4.2 Tiempo de respuesta en Reservorios

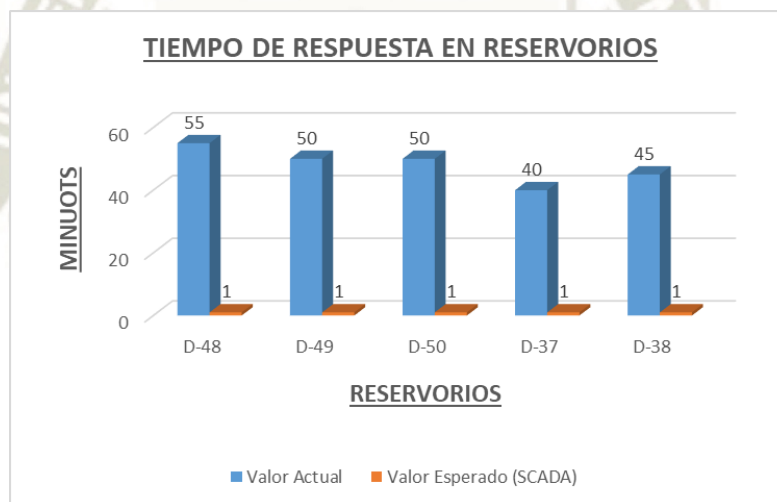


Figura 97: Tiempo de respuesta eventualidades (Manual – SCADA)

En la figura 97, se refiere a la acción de respuesta ante un escenario pudiendo ser una alerta u ocurrencia, como se muestra en la figura el valor actual (forma manual) el promedio de respuesta es de 45 a 55 minutos, con la implementación de un sistema SCADA, se reduce el tiempo a 1 minuto ya que sería atendida la alerta desde el centro de control de forma inmediata.

4.4.3 Variación en Inventario de Agua

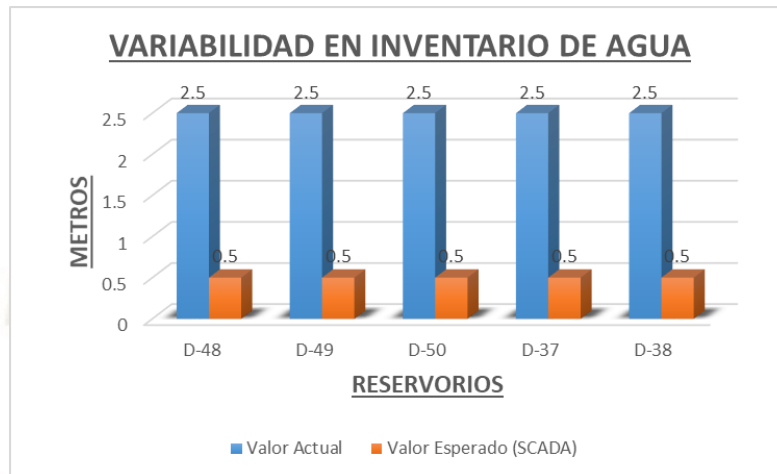


Figura 98: Variación en inventario de Agua (Manual – SCADA)

En la figura 98, se refiere a que, con un control manual, el nivel puede variar hasta 2.5 metros, ya que se abriendo y cerrando las vuelvas de ingreso y salida constantemente sin tener una medición ni alerta del proceso.

Sin embargo, aplicando un control difuso con la implementación de un sistema SCADA, se garantiza la disponibilidad de agua con margen de variación de 0.5 en el peor de los casos, en conclusión la disponibilidad de agua sería permanente.

4.4.4 Requerimiento de Operadores

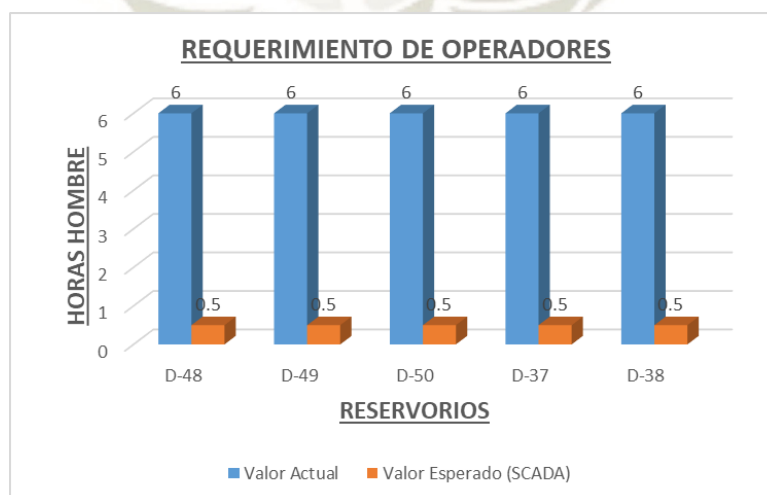


Figura 99: Requerimiento de Operadores (Manual – SCADA)

En la Figura 99, se refiere a una medición de tiempo trabajado por el operador ante una alerta u ocurrencia, quiere decir en la forma actual en promedio requiere 6 horas hombre por día en cada reservorio para determinar el problema.

Con un sistema SCADA implementado se reduce ese tiempo en promedio de 0.5 a 1 hora hombre por día, que siendo estos instrumentos monitoreados desde un centro de control.

4.4.5 Tiempo para puesta en marcha de Reservorios

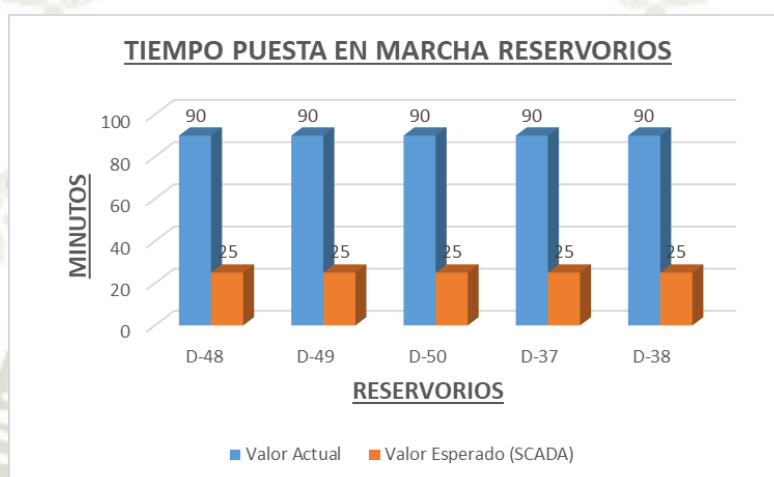


Figura 100: *Tiempo de puesta en marcha de Reservorios (Manual – SCADA)*

En esta figura 100, se refiere al tiempo que se necesita para restablecer los procesos ante una paralización en la forma actual en promedio se demora 90 minutos en determinar la falla y restablecer los procesos, pero si se implementa un sistema SCADA ese tiempo se reduce drásticamente se podría determinar casi en tiempo real la falla, simplemente haciendo un diagnóstico de los instrumentos que actúan en los procesos y de esa manera atender la falla de forma inmediata y directa.

CAPITULO V

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se realizarán los análisis y discusión de los resultados tomando inicialmente las evaluaciones efectuadas por los especialistas del área u operarios de planta. El análisis principal se enfoca en los resultados de las encuestas obtenidos por el sistema SCADA propuesto en esta tesis.

5.1. Perfil de Especialistas

En el área de operaciones y con Experiencia en manejo de reservorios de agua potable en la supervisión y monitoreo de procesos industriales vinculadas a empresas de saneamiento en el Perú.

5.2. Marco de la Evaluación de Especialistas

Con la finalidad de evaluar la situación actual de operatividad de los reservorios en cuanto a sus procesos utilizado actualmente en el control de reservorios que tiene la empresa de saneamiento SEDAPAR y respaldar el desarrollo del sistema de diseño e implementación de un sistema SCADA de control y monitoreo usando comunicaciones industriales para su operatividad propuesto en la presente tesis, se realizó la siguiente dinámica:

- Presentación del sistema propuesto mediante el desarrollo de una simulación de control y monitoreo de 5 reservorios y un centro de control para su operatividad, mediante el cual se evidencia la obtención de información en tiempo real de todos los procesos que opera un reservorio, dando una explicación breve del funcionamiento de la simulación de la propuesta de tesis.
- Evaluación de 4 especialistas o usuarios finales del sistema requerido en la sala de control de operaciones, a través de un cuestionario (ver Anexo B).
- Interpretación de encuestas.

5.2.1. Interpretación de encuestas

A continuación, se han efectuados preguntas referentes al simulacro que determinaría si es o no posible la implementación del sistema propuesto en esta

tesis de manera que pueda validarse efectivamente de manera práctica su implementación.

PREGUNTA 01:

Conociendo el funcionamiento del proceso de llenado y distribución de agua potable de los reservorios que actualmente operan: ¿Cómo calificaría el sistema de control integral presentado en este proyecto desde el punto de vista de complementación tecnológica, control y monitoreo del proceso?

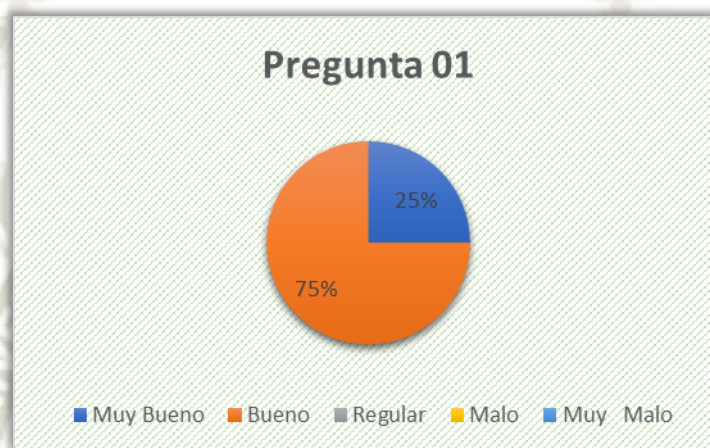


Figura 101: Pregunta 1

De acuerdo a la interpretación de los especialistas encuestados, el 75% de los encuestados asume que es bueno el implementar tecnología a los actuales sistemas de control del proceso de llenado y distribución de agua potable de los reservorios que actualmente operan, y el 25% de los encuestados respaldan como muy buena esta opción de complementación tecnológica, por lo tanto, es muy aceptable implementar sistemas tecnológicos a los actuales.

PREGUNTA 02:

¿Cómo cree usted que se debe calificar la eficacia en la supervisión de datos (alertas, metros cúbicos, llenado del reservorio, etc.) y monitoreo (forma gráfica en tiempo real) desde el centro de control?

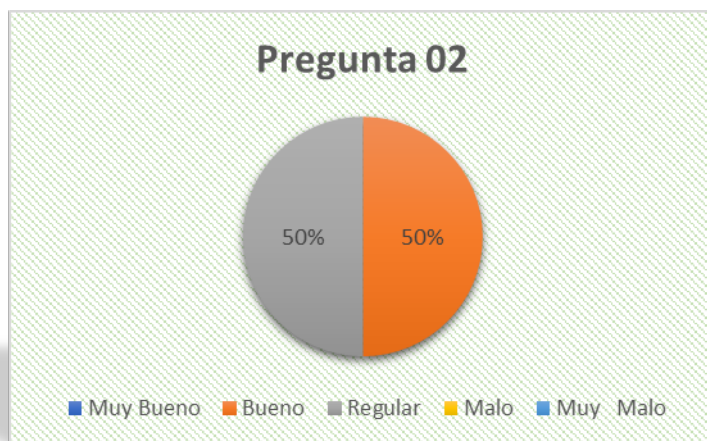


Figura 102: Pregunta 2

Tomando en consideración las respuestas de los encuestados, especialistas en operación del proceso de llenado y distribución de agua potable de los reservorios en la ciudad de Arequipa, respecto a la eficacia y monitoreo de los datos obtenidos en el centro de control, se puede apreciar que la mitad de los encuestados asume que es bueno este procedimiento, sin embargo, la otra mitad asume que es regular, por lo tanto se puede asumir que es positivo el planteamiento en esta tesis pero hay que considerar que se pueden mejorar la eficacia del traslado de información hacia el centro de control.

PREGUNTA 03:

¿Cuánto considera usted que es necesario agregar algunas opciones de control y monitoreo adicionales que puedan ser útiles además de las que se encuentran actualmente en el sistema?

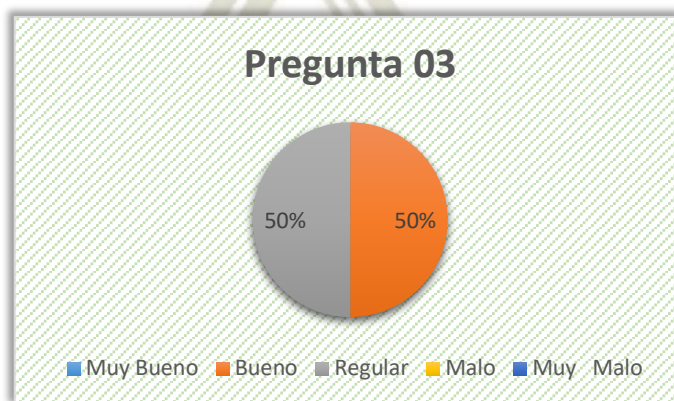


Figura 103: Pregunta 3

De la misma forma que en el caso de la pregunta anterior, se puede asumir, con respecto a la pregunta y a las respuestas de los encuestados en las cuales la mitad asume que sería bueno agregar algunas opciones adicionales a las ya existentes para ampliar la información recabada, además que la otra mitad de los encuestados no lo ve tan prioritario. Estos resultados indican que de alguna forma se puede adicionar algún o algunos datos que puedan ser útiles para la supervisión y monitoreo de información en el llenado y distribución de agua de los reservorios en la ciudad de Arequipa.

PREGUNTA 04:

¿Qué tanto cree en los instrumentos empleados propuestos en el proyecto como (computadores, sensores, antenas, etc.) para lograr medir, convertir, transmitir, controlar o registrar las variables obtenidas del proceso optimizando?

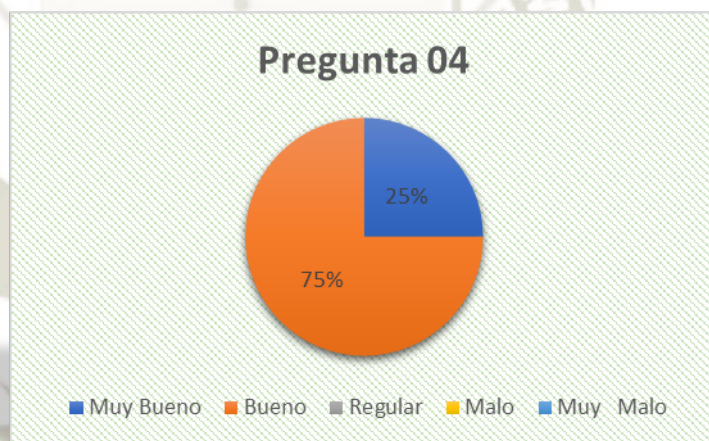


Figura 104: Pregunta 4

En el caso de esta pregunta, se puede apreciar que las respuestas de los encuestados son muy positivas con respecto a los materiales industriales que emplearán en esta propuesta de tesis, pues, el 25% de los encuestados asume que los instrumentos, equipos y maquinaria a implementar de ser el caso es muy buena para el uso asignado, además que el 75% piensa que efectivamente los instrumentos industriales eléctricos, electrónicos e informáticos son los adecuados para cumplir las funciones designadas al diseño propuesto.

PREGUNTA 05:

¿Cómo puede calificar que el sistema SCADA (sistema inalámbrico de información del reservorio hacia el centro de control), planteado para control y monitoreo de reservorios de agua potable, se usara un tipo de comunicación por medio de la red industrial inalámbrica WirelessHART propuesta (IEEE 802.15.4 banda 2.4Ghz)?

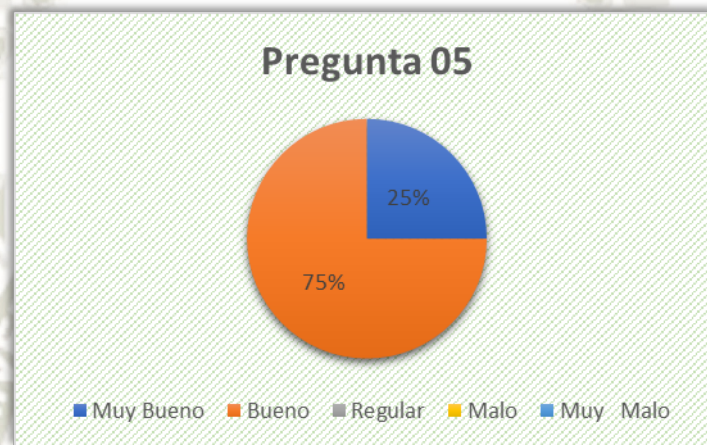


Figura 105: Pregunta 5

En este caso se puede considerar muy positiva la aceptación de los encuestados respecto a la calificación del sistema SCADA propuesto en esta tesis para la implementación de un sistema automatizado de supervisión y monitoreo de los reservorios en la ciudad de Arequipa, pues el 25% de los encuestados dice que es muy bueno, adicionándose el 75% de los mismos que afirma que es bueno, de tal forma que es positiva la tendencia del empleo de sistemas tecnológicos de acuerdo al modelo planteado en la presente propuesta es adecuada para el fin que se ha diseñado.

PREGUNTA 06:

¿Qué tan confiable cree usted que sea el diseño del proyecto presente respecto al control y monitoreo de datos obtenidos en los reservorios de agua que son recepcionados en el centro de control?

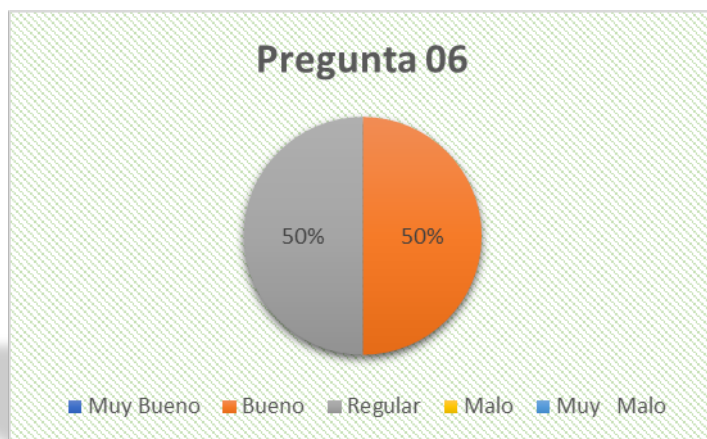


Figura 106: Pregunta 6

Al igual que en las preguntas 2 y 3, se puede apreciar que los encuestados asumen por partes iguales entre bueno y regular la aceptación del diseño del presente proyecto, lo cual se puede asumir que al ser un proyecto nuevo genera ciertas dudas acerca de su confiabilidad en el diseño y el recabar información segura, sin embargo, los resultados no son negativos, lo cual permite asumir que los encuestados mayoritariamente aceptan el diseño propuesto.

PREGUNTA 07:

¿Cree que el sistema SCADA aumenta la eficiencia del proceso de control y monitoreo incrementando la precisión, calidad, velocidad y disminuyendo los riesgos que normalmente se obtendrían en la misma tarea si fuese realizada en forma manual?

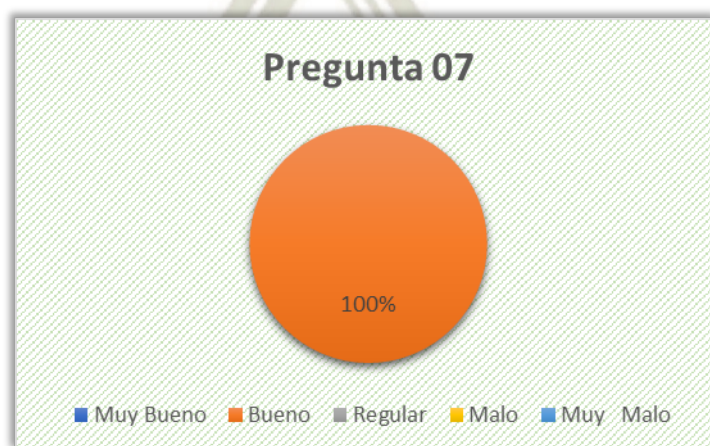


Figura 107: Pregunta 7

Esta pregunta da respuestas contundentes respecto a la eficiencia del uso de tecnología y el uso de métodos manuales, pues se puede entender que los datos obtenidos en tiempo real simplifican procedimientos y agilizan la toma de decisiones de manera contundente, ya que el 100% de los encuestados respondieron que con este sistema propuesto se minimizan los riesgos que suceden en la actualidad.

PREGUNTA 08:

¿Qué tanto considera usted que el sistema propuesto obtendrá mejores resultados desde su ejecución en comparación de otros sistemas similares empleados en otras empresas de distribución de agua potable?

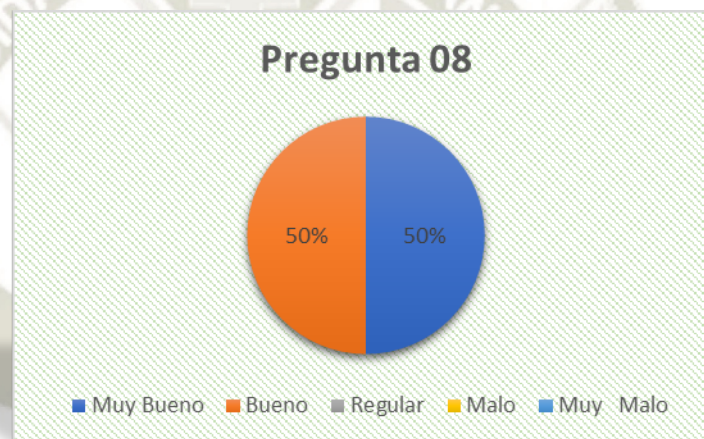


Figura 108: Pregunta 8

Las respuestas a esta pregunta fueron muy positivas comparando este sistema propuesto respecto a otros similares, lo cual determina que este proyecto es innovador y solucionaría problemas que actualmente se suscitan en los reservorios de la ciudad de Arequipa. La mitad de los encuestados afirmó que los resultados que se obtendrán serán mucho mejores al igual que la otra mitad que serán mejores que en la actualidad.

PREGUNTA 09:

Luego de haber utilizado la simulación del presente proyecto diseñado para el control de llenado, distribución y rebose de reservorios en la ciudad de Arequipa

¿qué tan amigable cree usted que sea para ser manipulado por lo operarios asignados a dichos reservorios?

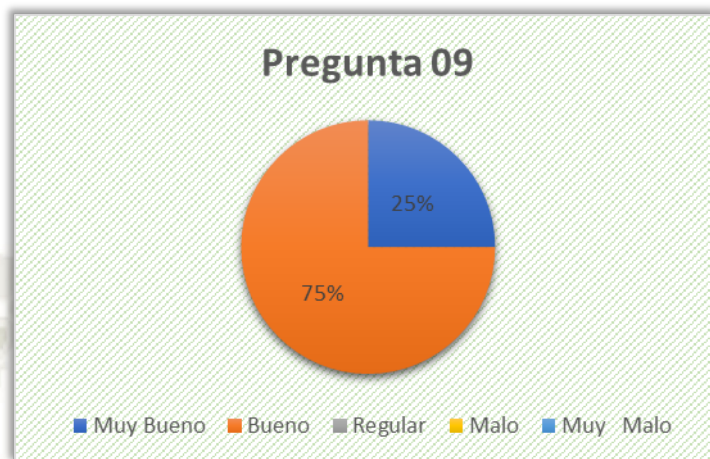


Figura 109: Pregunta 9

Las respuestas a esta pregunta son bastante positivas en relación a la implementación de este sistema de control y monitoreo propuesto en esta tesis, pues el 75% dice que es bueno y el 25% asume que es muy bueno, esto nos afirma que el sistema es de fácil comprensión para el uso e interpretación de los datos recibidos en el centro de control, además que al ser diseñado luego de un estudio meticuloso de la problemática en los procesos de llenado y distribución de agua y sus consiguientes deficiencias, permite que el uso del operador sea práctico, simple y de fácil manipulación.

PREGUNTA 10:

Considerando su experiencia y conocimiento en Reservorios de Agua Potable, ¿Qué tan útil y necesario cree usted que sea implementar este proyecto a todos los reservorios en la ciudad?

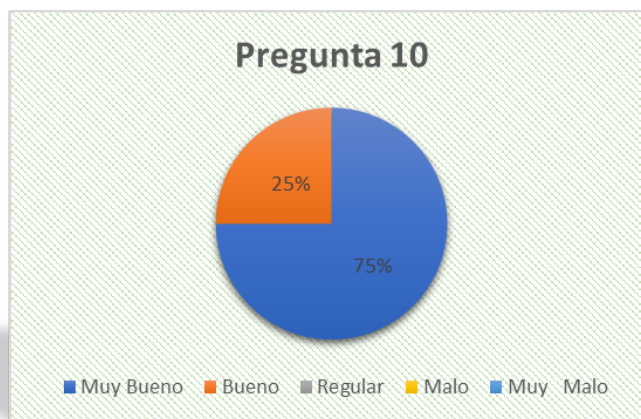


Figura 110: Pregunta 10

De la misma manera que en la pregunta anterior, la respuesta es positiva respecto a la implementación de este sistema de control y monitoreo a los reservorios de agua de manera íntegra, pues los resultados serían muy eficientes y el ahorro generado al evitar los reboses por una automatización adecuada en todos los reservorios de la ciudad. El 75% de los especialistas dijeron que sería muy bueno y el 25% dijo que sería bueno aplicar, en ambos casos, este sistema en la totalidad de reservorios de la red de agua potable de la ciudad de Arequipa.

PREGUNTA 11:

Teniendo conocimiento de los problemas planteados siendo actualmente la operación de reservorios manualmente y utilizado el simulador diseñado para resolverlos, ¿Cómo considera usted que el software brinda la seguridad requerida para lograr sus objetivos con eficiencia?

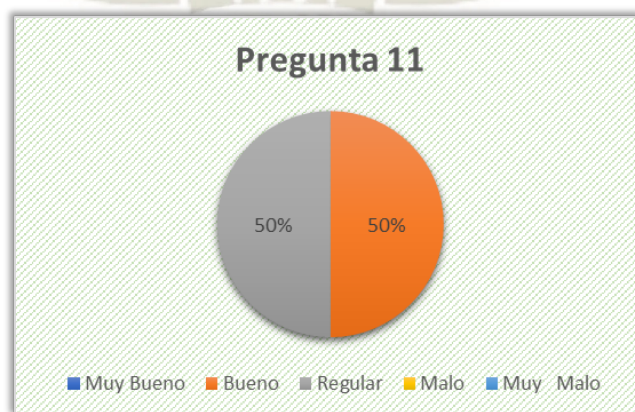


Figura 111: Pregunta 11

Los encuestados respondieron de forma equitativa donde el 50% dijo que es regular y el otro 50% afirmó que es buena la seguridad con la cual se lograrían los objetivos

principales para los que se plantearon en este proyecto de tesis, de alguna forma hay confianza en el logro de objetivos propuestos. Se puede entender por lo tanto que la seguridad del software genera alguna duda y no convence a la mitad de los especialistas encuestados.

PREGUNTA 12:

¿Qué tanto cree usted que el actual diseño SCADA creado para este proyecto de investigación es el adecuado para el logro de los objetivos planteados?

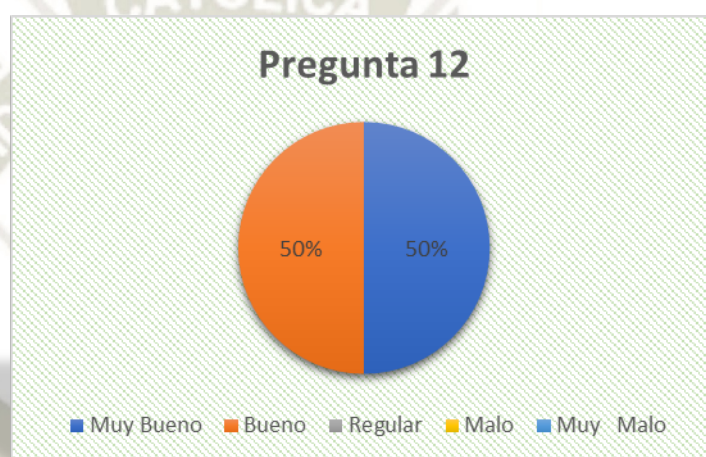


Figura 112: Pregunta 12

En este caso los encuestados respondieron favorablemente hacia el diseño integral del sistema propuesto para este proyecto (SCADA), pues la mitad lo consideró muy bueno y la otra mitad respondió que es bueno, esto quiere decir que el sistema de referencia es el adecuado para cumplir con los objetivos planteados en la propuesta de tesis actual. En general el sistema integral da confianza a los encuestados y sería apropiado instalar el proyecto.

PREGUNTA 13:

El presente proyecto ¿Cómo cree usted que sería para solucionar la problemática de los reboses de agua en los reservorios y por ende la solución para el problema del agua no facturada que se pierde en dichos reboses de los reservorios en la ciudad de Arequipa?

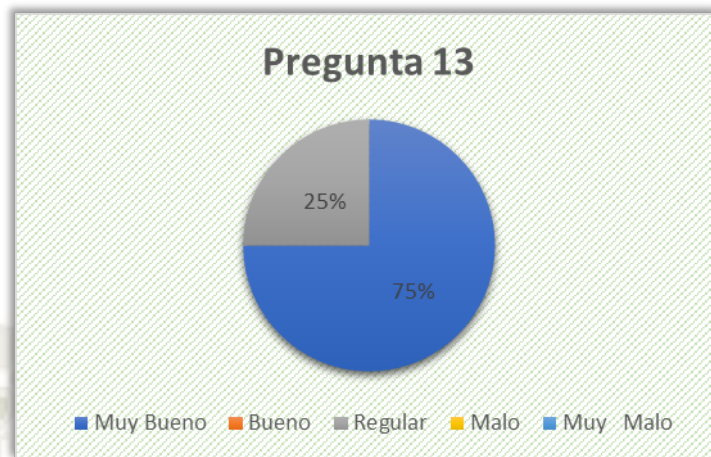


Figura 113: Pregunta 13

Esta pregunta da respuesta a uno de los problemas principales de la cantidad de la causa de la propuesta de este proyecto de tesis, donde los encuestado dicen mayoritariamente que si se solucionarían los problemas de rebose de agua en los reservorios que suceden actualmente, pues el 75% afirma que se dará solución al problema, sin embargo, el 25% cree que la solución sería parcial.

PREGUNTA 14:

¿Cómo considera usted que es necesario reducir las deficiencias de información sobre las pérdidas de agua por una mala práctica en la actualidad y que este proyecto lo presenta como solución?

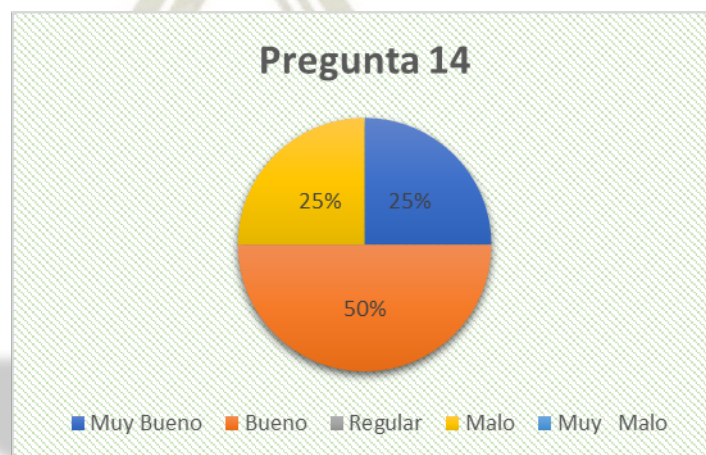


Figura 114: Pregunta 14

Los encuestados respondieron en un 50% que es bueno y en un 25% que es muy bueno reducir la deficiencia en la información por la pérdida de agua en los reboses por mala práctica debido a la deficiencia de sistemas automatizados de control y monitoreo, es decir que mayoritariamente creen que la información es muy útil para corregir las actuales falencias y corregir adecuadamente la cantidad de agua perdida en reboses sin facturar. El 25% no le da la importancia debida a la información como parte primordial para evitar estas deficiencias.

PREGUNTA 15:

¿Qué tanto cree usted que sería útil la implementación de sistemas de control y monitoreo a todos los reservorios de la región Arequipa?

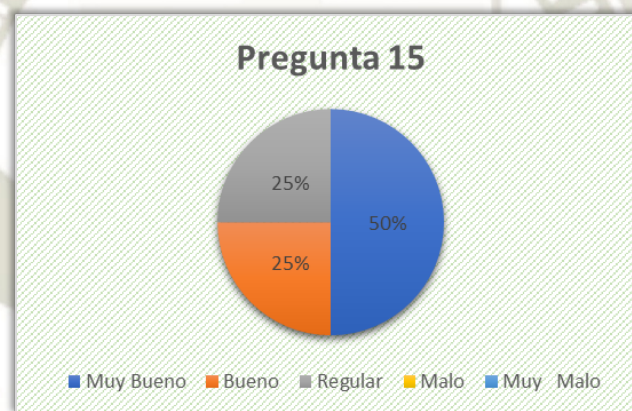


Figura 115: Pregunta 15

La mitad de los encuestados cree muy favorablemente que sería muy bueno instalar este sistema de control y monitoreo a todos los reservorios de la región Arequipa ya que permitiría evitar muchas deficiencias de reboses de agua en reservorios y pérdidas económicas a la empresa de saneamiento que brinda el servicio, además el 25% cree que efectivamente sería bueno implementar este sistema y un 25% cree que no sería muy útil. En resumen, las 2/3 partes está de acuerdo con la implementación del sistema de control y monitoreo propuesto en este proyecto de tesis.

PREGUNTA 16:

¿Cómo consideraría usted en recomendar la implementación de este proyecto en todos los reservorios de la ciudad de Arequipa?

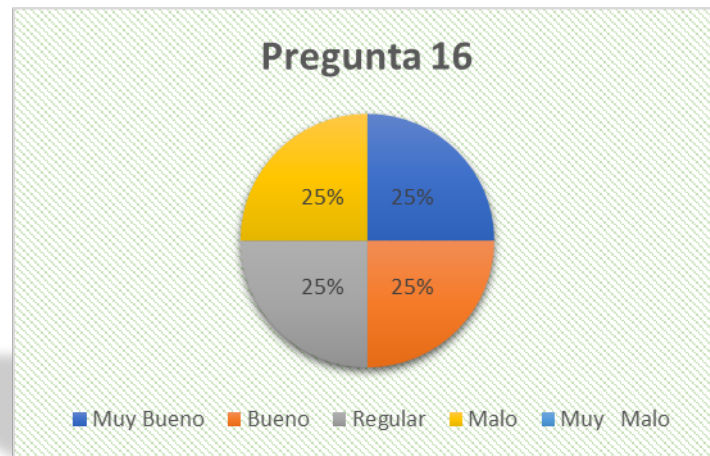


Figura 116: Pregunta 16

En esta pregunta las respuestas fueron variadas, de tal manera que la mitad estaría de acuerdo en recomendar este proyecto para su aplicación, sin embargo, el 25% tiene dudas para recomendarlo y el 25% restante no lo recomendaría. Considerando la mayoría, es que se puede considerar que el proyecto es recomendado para cubrir las deficiencias de reboses de agua en reservorios de la ciudad de Arequipa no facturados y que generan pérdida.

5.2.2. Diagnóstico general.

De acuerdo a los resultados obtenidos por medio de las encuestas, se puede resumir en la siguiente tabla:

Tabla 23:

Resumen de respuestas de encuestas efectuadas.

OPCIÓN DE RESPUESTA	RESUMEN DE RESPUESTAS	
	PERIODICIDAD	PORCENTAJE
MUY BUENO	18	28%
BUENO	33	52%
REGULAR	11	17%
MALO	2	3%
MUY MALO	0	0%
	64	100%

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Criterio de calificación de la encuesta y diagnóstico final.

La metodología utilizada para poder calificar la implementación del sistema SCADA para el control, supervisión y monitoreo de reservorios de agua en la ciudad de Arequipa será la Escala Likert, la cual se basa en calificar el estado de las cosas, variables, comportamientos, desempeños y/o conformidad en función a una escala de 5 opciones que va de menor a mayor.

En la *Tabla 24* muestra el criterio de calificación utilizado.

Tabla 24:

Criterio de calificación utilizado

CRITERIO DE CALIFICACIÓN	PUNTAJE
Muy Malo	0%
Malo	25%
Regular	50%
Bueno	75%
Muy Bueno	100%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, las respuestas que se obtuvieron luego de realizar las encuestas nos permiten determinar lo siguiente:

Muy Malo.

La cantidad de respuestas con calificación Muy Malo en todos los casos es 0, es decir que nadie considera que el proyecto es muy malo en alguno de sus aspectos principales.

Malo.

Las personas que respondieron con calificación Malo fueron solamente 2 respuestas, que es el 3% de las respuestas en general, esto permite identificar que hay algún pequeño detalle que corregir o quizás mejorar, es muy pequeño el porcentaje, pero es bueno tomarlo en cuenta.

Regular.

Las respuestas con la calificación de Regular suman 11, equivalente al 17% del total de respuestas obtenidas en las encuestas efectuadas a los especialistas. Este resultado indica que existen algunas razones para mejorar algo que pueda ser de utilidad adicional como opción para mejorar lo datos recolectados, según las respuestas de los encuestados.

Bueno.

En cuanto a las respuestas obtenidas en la calificación Bueno, se puede apreciar que la mayoría da como aceptable esta alternativa que suma un total de 33 respuestas equivalentes al 52% del total, esto quiere decir que el proyecto propuesto en esta tesis tiene calificación aprobatoria para su ejecución y afectaría positivamente en la solución de los problemas detectados en la empresa de saneamiento con sus respectivos reservorios y los reboses que se suceden cotidianamente.

Muy Bueno.

Los resultados obtenidos en la opción de respuesta de mayor calificación como es Muy Bueno, son alentadores, pues definitivamente las 18 respuestas de esta opción de calificación reflejado en el 28% del total de preguntas respondidas nos dicen que definitivamente el proyecto es muy positivo y es el adecuado para resolver los problemas y lograr los objetivos planteados en la presente tesis.

5.2.4. Calificación según el diagnóstico de los resultados finales de la encuesta.

Tabla 25:

Calificación según el diagnóstico de los resultados finales de la encuesta.

CRITERIO DE CALIFICACIÓN	PUNTAJE
Proyecto deficiente / No apto para ejecutar	0% - 25%
Proyecto Regular / Corregir varios aspectos	26% - 50%
Proyecto Aceptable / Se puede mejorar detalles	51% - 75%
Proyecto Bueno / Se puede ejecutar, confiable y seguro	76% - 100%

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se deduce que la calificación obtenida presenta que las alternativas Muy Bueno y Bueno, son las más representativas de las respuestas otorgadas por los especialistas encuestados, de tal manera que se consigue el 80% de aceptación, lo cual permite asumir que el proyecto para la supervisión y monitoreo de los reservorios de agua en la ciudad de Arequipa es necesario para el control de los reboses de agua y evitar las pérdidas que se están dando hasta el momento.

CONCLUSIONES

1. Se creó algoritmo como infraestructura de la solución para este problema que cumpla las características necesarias para este proyecto definido de manera rigurosa y logre producir los resultados esperados luego de ejecutar las instrucciones.
2. Se empleó una Red Industrial Inalámbrica usando un estándar IEEE 802.15.4 en la banda de 2.4 GHz debido que cumple con requisitos debe cubrir la tecnología para ser robusta y fiable, del mismo modo se analiza de qué forma estas llegan a cubrir los requisitos en cuestión de seguridad. Las ventajas que ofrece la red en malla como la fiabilidad, la redundancia, resiliencia etc., así como como el ahorro de costes, mediante la reducción de ingeniería y de mano de obra, ya que reduce elementos como cableados, racks, bandejas de cables y cabinas, elementos que suponen un coste significativo en proyecto de procesos industriales, adicionalmente el factor más importante y que debe tomarse en cuenta es la reducción en el tiempo de ejecución del proyecto.
3. Se pudo determinar que la mejor forma para realizar la adquisición de datos de los procesos e identificar las variables a monitorear y controlar es por medio del PLC (*Programmable Logic Controller* - Controlador Lógico Programable) debido que contiene múltiples canales para medir distintas señales provenientes de sensores instalados en la maquina o proceso que controlan y además también tiene canales de salida de señal que actúan sobre la máquina o proceso que controla.
4. Se logró demostrar la efectividad y eficiencia para el control y monitoreo de datos de los reservorios de la ciudad de Arequipa es diseñar un simulador de todos los procedimientos del sistema SCADA propuesto en este proyecto de tesis.
5. La implementación el sistema SCADA dará solución a la dispersa información de datos que generalmente no se registra dentro de los procesos de llenado y distribución de agua cuando se generan reboses direccionando las decisiones y acciones necesarias para corregir las falencias durante el proceso descrito.

6. Se pudo manejar con solvencia la implementación de los indicadores de resultados obtenidos en el proceso del proyecto, dando como resultado la validez en tiempo real de los procesos de control y monitoreo de manera eficiente.
7. Se pudo concluir con asertividad que es posible obtener un flujo de trabajo orientado a desarrollar un Sistema SCADA con una mejor supervisión, control y adquisición de datos del proceso de ingreso y distribución de agua de los reservorios, el cual brinda un flujo de información diferenciado y más completo desde que se consigue operar todos los instrumentos de medición de campo desde un Centro de Control ubicado en la sede principal.
8. El sistema automatizado propuesto en la presente tesis representará se pudo dar el respaldo necesario en la toma de decisiones debido a la fácil operatividad entre el colaborador y la comunicación con los puntos instalados en los diversos reservorios, dándole así, un valor agregado al desarrollar la aplicación de sistema de automatización en la obtención de datos a tiempo real minimizando las pérdidas de agua y todos los daños que generan una falta adecuada de control a distancia.
9. Los resultados que se obtuvieron de la operación del sistema propuesto crearán una base de datos que a su vez generará un reporte, el cual permitirá obtener información en tiempo real y verificación de cada uno de los procedimientos de cada reservorio para una adecuada toma de decisiones provisionada por la recepción oportuna de información de monitoreo y control en los diversos lugares remotos de los reservorios implementados.

RECOMENDACIONES

1. Establecer Manuales Procedimientos Administrativos para el uso y manipulación del Sistema que se establecerá de tal manera que cualquier parte del proceso de ingreso y distribución de agua potable se encuentre contemplado en dicho manual.
2. Implementar cursos de capacitación al personal involucrado en el control de Reservorios de Agua Potable en la ciudad de Arequipa, estableciendo medidas para emergencias y la solución a los mismos (Protocolos de Seguridad).
3. Implementar un manual de operaciones del sistema propuesto que deberá contener una descripción de todas las operaciones dentro de la propuesta del menú y los alcances le las mismas.
4. Crear Plan de Contingencias de acuerdo a las posibles eventualidades que no estén contempladas en el Manual de Procedimientos donde el operador u operadores puedan tomar las decisiones adecuadas dentro de los requerimientos establecidos por la Empresa.
5. Crear planes de mantenimiento periódicos para cada tipo de proceso (electrónicos, informáticos y eléctricos), llevar un historial por cada reservorio y por cada procedimiento.
6. Hacer seguimiento sistemático cronológicamente de los reportes creados y acumulados, de tal manera que se pueda identificar cambios de parámetros e identificar las probables frecuencias a cambiar de ser el caso.
7. Contar con todas las licencias necesarias para el uso de software, hardware, redes de comunicación inalámbrica (dentro de la frecuencia requerida), además de una biblioteca de manuales de software, instaladores y manuales de los respectivos equipos y máquinas empleadas para este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albornoz Domínguez, Abner Aquiles. (2018). *Telecomunicaciones en Sistemas SCADA de alta disponibilidad para las plantas de tratamiento de Huachipa y la Atarjea*. (Tesis de pregrado). CONCYTEC, Lima.
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/8767>.
- Archana, A. & Yadav, B., (2012). *Automatización basada en PLC y SCADA de Filter House una sección de la planta de tratamiento de agua*. IEEE 1st International Conference on Emerging Technology Trends in Electronics, Communication and Networking. (Artículo de Investigación). Web Of Science
<http://biblioteca.ucsm.edu.pe:20574>
- Bobat, Alaeddin, Gezgin, Tolga & Aslan, Huseyin. (2015/05). *Aplicaciones de un sistema SCADA en la gestión de Presa Yuvacik Embalse*. (Artículo de Investigación). Web Of Science (<http://biblioteca.ucsm.edu.pe:20934>.)
- Britto, R. M. (2007). *Programación de la producción en sistemas de manufactura*. Universidad de Bogotá. Bogotá.
- Daniel Gregorio González Pineda (2006). *Instalación de un prototipo de sistema SCADA y diseño de un módulo de adquisición de temperaturas*. (Tesis de pregrado). Universidad Simón Bolívar – Venezuela.
- EcuRed (2011) *SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)*. Recuperado de: (https://www.ecured.cu/Sistema_SCADA)
- Edwar Lotero Ayala (2013) *Variadores de Velocidad* (publicación de Schneider Electric) (http://www.infoplcn.net/files/documentacion/motion_control/infoPLC_net_Variadores_de_Velocidad_2013.pdf)
- Estévez Santé, José Javier (2017). *Sistema de Comunicación Xbee para una Red de Sensores*. (Tesis de pregrado). Escuela de Ingeniería de Bilbao.

(<https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/29495/1%20Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

Eugenio Vildósola C. (2008). *Actuadores*. Soltex Chile S.A.
(<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>)

Fábregas, Enric. (2009). *Protocolo de Comunicación EtherNet/IP* Rockwell Automation.

Febres Urdaneta, Erika. (2001). *Protocolo de Comunicación HART para los Instrumentos de Flotech S.A.*

Frank Mecafenix. (2017) *Tipos de Sensores y sus características. Ingeniería Mecafenix.*
(<https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/>)

Gonzalo Lorenzo Lledó (2009) *Automatización de una planta industrial*. (Tesis de Doctorado). Universidad de Alicante. España.
(<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10056/1/Suficiencia%20Gonzalo.pdf> año 2009)

Hernández Espinoza, Juan Carlos. (2011). *Automatización y control a distancia de los reservorios de San Diego*. (Tesis pre grado). (<https://scholar.google.es>)

Joaquín Sala Fayos (2013). *Redes Wireless Industriales*.
(http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/33381/1/Herciano_TFG_0614.pdf)

Medrano Herrera, Carlos Franco, Trujillo Huamán & Sergio Jhonatan. (2011) *Un sistema de control remoto basado en una estrategia de control ON/OFF y tecnología GSM es la manera más adecuada para evitar el rebose del sistema de bombeo de agua en el reservorio de la municipalidad de ASCOPE*. (Tesis pre grado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo. Google Académico
(<http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/3527>)

Monografías.com. (2011/05/27) **Sistemas SCADA**. Disponible en:
(<http://www.monografias.com/trabajos11/sisco/sisco.shtml#in>.)

OoCities. (2011/05/29) **Introducción a los Sistemas SCADA**. Disponible en:
(http://www.oocities.org/gabrielordonez_ve/SISTEMAS_SCADA.htm)

Pérez-López, E. (2015). **Los sistemas SCADA en la automatización industrial**. Costa Rica:
Tecnología en Marcha.

Papers: **Evaluación de Uso Eficiente de Recursos Agua Potable para SEDAPAR, Arequipa, Perú**.
(<https://onedrive.live.com/?authkey=%21AjUkf50sWRSyS7w&cid=ADDEF557E89581A1&id=ADDEF557E89581A1%2194141&parId=ADDEF557E89581A1%2194152&o>.)

Papers: **A Comparison of WirelessHART™ and ISA100.11ª**.
(<https://www.emerson.com/documents/automation/white-paper-a-comparison-of-wirelesshart-isa100-11a-en-42598.pdf>)

Papers: **WirelessHART**. (<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1399>.)

Papers: **Red Wireless en parque de tanques industrial**.
(<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/83166/Resum.pdf?sequence=2&isAllowed=y>)

Papers: **Introducción a la Lógica Difusa**. Fernando Sancho Caparrini Fuente:
<http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=97>

Papers: **FactoryTalk View Studio Software de configuración para desarrollar y probar aplicaciones HMI**. (http://www2.udec.cl/~scampana/ftalk-pp013_-es-p.pdf.)

Papers: **Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4)**.
(<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/1/InformeTecZB.pdf>.)

Papers: Chen D., Nixon M., Mok A., (2010). ***WirelessHART Real-Time Network for Industrial Automation***, Editorial Springer New York Dordrecht Heidelberg London.

Quispe Paredes, Esmelin Ismael. (2018) ***Diseño y Automatización de un SCADA para una planta de cal en rsview32, aplicando una red industrial Ethernet TCP/IP***. (Tesis pre grado) Universidad Católica de Santa María, Arequipa.

Repositorio UDEP (2016) ***Lógica difusa y sistemas de control***. (Tesis de pregrado). Universidad de Piura.
(http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_185_184_133_1746.pdf)

Rubén Andrés. (2017/05/31). ***Máquina Virtual***. Computer Hoy. Recuperado de (<https://computerhoy.com/noticias/software/que-es-maquina-virtual-como-funciona-que-sirve-46606>)

Rosado (2003). ***Redes de comunicación industriales***. (Universidad de Valencia).
(https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3_rev0.pdf)

Reyes. (2008). ***Controlador Lógico Programable (PLC)***. Universidad de Oviedo.
(http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/plc_resumen.pdf)

Raúl Cobo. (2008). ***HMI (Human Machine Interface)***. ABC de la Automatización. Recuperado de: (<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>)

RsLogix 5000. V.20.04. (<https://www.rockwellautomation.com/>)

Saravanan, K., Anusuya, E., Kumar, R. & Son, L.H. (SEP 2018). ***Monitoreo de la calidad del agua en tiempo real usando Internet de las cosas en SCADA***. Web of Science: Environmental Sciences. (Artículo de Investigación).

SmartDraw (Diagramación) V.2013 (Software). (<https://www.smartdraw.com/>).

ANEXOS

ANEXO A: GLOSARIO DE TÉRMINOS

PLC	Controlador Lógico Programable.
HART	Highway Addressable Remote Transducer.
OSI	Interconexión de Sistemas Abiertos.
MAP	Manufacturing Automation Protocol.
HTTP	Hypertext Transfer Protocol Overview.
CPU	Unidad Central de Proceso.
AC/DC	Corriente Alterna/Corriente Continua.
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos.
CAN	Controller Área Network.
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
PID	Proporcional Integral y Derivativo.
I/O	Entrada y Salida.
NC	Normalmente Cerrado.
NA	Normalmente Abierto.
HMI	Interfaz Máquina Hombre
CV	Variable de Control.
PV	Variable del Proceso.
PI&D	Diagramas de Instrumentación de Tuberías.

TCP/IP	Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet
GHz	Giga Hertz.
FLC	(Fuzzy Logic Controller) Controlador de Lógica Difusa.
VSD	(Variable Speed Drive) Variador de Velocidad.
ASD	(Adjustable Speed Drive) Accionamiento de Velocidad Variable.
IACS	Industria de Automatización y Control de Sistemas.
TMAR	Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento.
TIR	Tasa Interna de Retorno.
VAN	Valor Actual Neto.

Señal de salida: es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, etc.). También se denomina variable controlada. PROCESS VARIABLE.

Señal de Referencia: Es el valor que se desea que alcance la señal de salida. SET POINT.

Error: es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real. Señal de control: es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya, o elimine, el error. OUTPUT.

Señal análoga: es una señal continua en el tiempo.

Señal digital: es una señal que solo toma valores de 1 y 0.

Planta: Es el elemento físico que se desea controlar. Planta puede ser: un motor, un horno, un sistema de disparo, un sistema de navegación, un tanque de combustible, etc.

Proceso: operación que conduce a un resultado determinado.

Sistema: consiste en un conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado.

Perturbación: es una señal que tiende a afectar la salida del sistema, desviándola del valor deseado.

Sensor: es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) en una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital. También es llamado transductor. Los sensores, o transductores, analógicos envían, por lo regular, señales normalizadas de 0 -5 volts, 0-10 volts o 4-20mA.

Wireless Hart: Red Inalámbrica con la Variante del protocolo Hart.

Algoritmo: Se puede definir como una secuencia de instrucciones que representan un modelo de solución para determinado tipo de problemas. O bien como un conjunto de instrucciones que realizadas en orden conducen a obtener la solución de un problema

Transientes: Un transiente es una señal o forma de onda que empieza en una amplitud cero. Un ejemplo es el sonido de un disparo de un rifle o la vibración de un golpe de un martillo. Cuando se hace el análisis de espectro a Transientes, generalmente no generan series de armónicos, pero generan un espectro continuo en el que la energía está distribuida sobre el rango de frecuencias.

Gateway: (Puerta de enlace) es un dispositivo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación. Su propósito es traducir la información del protocolo utilizado en una red al protocolo usado en la red de destino.

ANEXO B: CUESTIONARIO

EVALUACIÓN DE SIMULADOR DE SISTEMA DE LLENADO, DISTRIBUCIÓN Y REBOSE EN RESERVORIOS DE AGUA

OPERADOR ENCUESTADO				Identificación
Nombres: Apellidos	<hr/>			
DNI :				
Edad :				
Cargo:	Operador Reservoirio	Ubicación	Arequipa	
Área:	Operaciones	Distrito		

Nro. Preg.	Preguntas	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo
1	Conociendo el funcionamiento del proceso de llenado y distribución de agua potable de los reservorios que actualmente operan: ¿Cómo calificarían el sistema de control integral presentado en este proyecto desde el punto de vista de complementación tecnológica, control y monitoreo del proceso?					
2	¿Cómo cree usted que se debe calificar la eficacia en la supervisión de datos (alertas, metros cubicos llenados, etc) y monitoreo(forma grafica en tiempo real) desde el centro de control?					
3	¿Cuánto considera usted que es necesario agregar algunas opciones de control y monitoreo adicionales que puedan ser útiles además de las					

	que se encuentran actualmente en el sistema?					
4	Qué tanto cree en los instrumentos empleados propuestos en el proyecto como (computadores, sensores, antenas, etc.) para lograr medir, convertir, transmitir, controlar o registrar las variables obtenidas del proceso optimizando.					
5	¿Cómo puede calificar que el sistema SCADA, planteado para control y monitoreo de reservorios de agua potable, se usara un tipo de comunicación por medio de la red industrial inalámbrica WirelessHART propuesta (IEEE 802.15.4 banda 2.4Ghz)? Esto quiere decir un enlace inalámbrico del reservorio al centro de control.					
6	¿Qué tan confiable cree usted que sea el diseño del proyecto presente respecto al control y monitoreo de datos obtenidos en los reservorios de agua que son recepcionados en el centro de control?					
7	¿Cree que el sistema SCADA aumenta la eficiencia del proceso de control y monitoreo incrementando la precisión, calidad, velocidad y disminuyendo los riesgos que normalmente se obtendrían en la misma tarea si fuese realizada en forma manual?					
8	¿Qué tanto considera usted que el sistema propuesto obtendrá mejores resultados desde su ejecución en comparación de otros sistemas similares empleados en otras empresas de distribución de agua potable?					

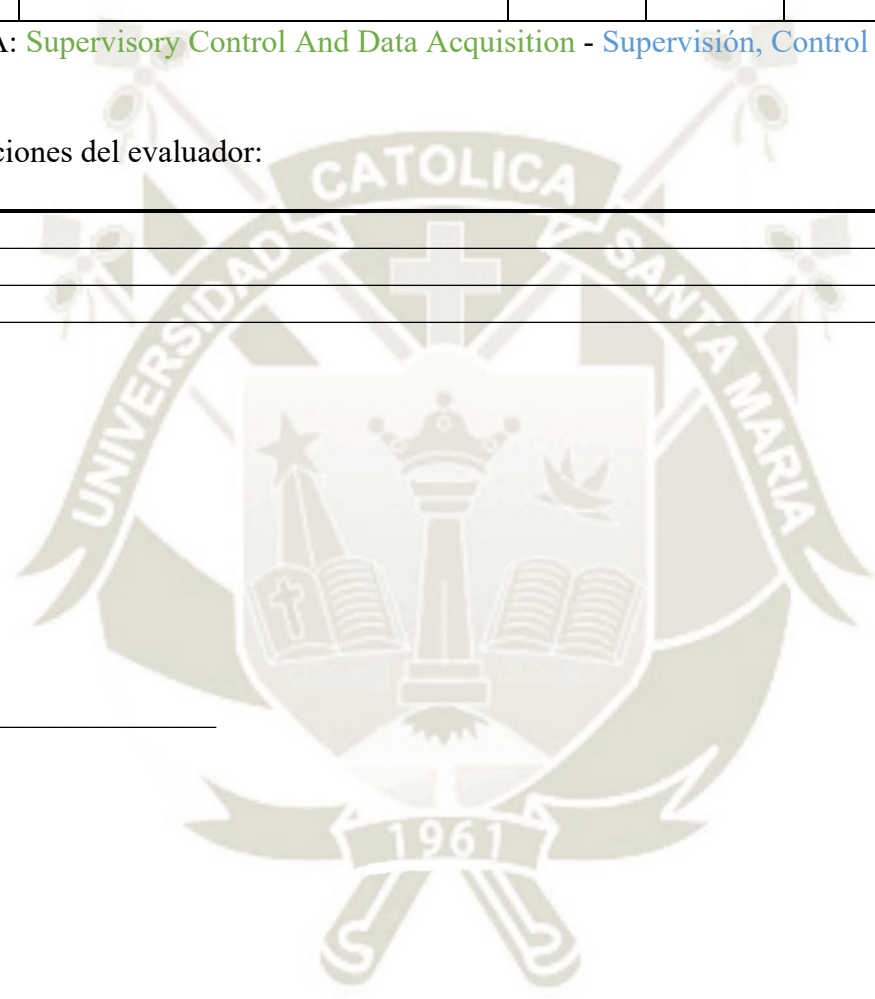
9	Luego de haber utilizado la simulación del presente proyecto diseñado para el control de llenado, distribución y rebose de reservorios en la ciudad de Arequipa ¿qué tan amigable cree usted que sea para ser manipulado por lo operarios asignados a dichos reservorios?					
10	Considerando su experiencia y conocimiento en Reservorios de Agua Potable, ¿Qué tan útil y necesario cree usted que sea implementar este proyecto a todos los reservorios en la ciudad?					
11	Teniendo conocimiento de los problemas planteados siendo actualmente la operación de reservorios manualmente y utilizado el simulador diseñado para resolverlos, ¿Cómo considera usted que el software brinda la seguridad requerida para lograr sus objetivos con eficiencia?					
12	¿Qué tanto cree usted que el actual diseño SCADA creado para este proyecto de investigación es el adecuado para el logro de los objetivos planteados?					
13	El presente proyecto cree usted que solucionaría la problemática de los rebose de agua de los reservorios por ende la solución para el agua no facturada que se pierde en el rebose lo de los reservorios					
14	¿Cómo considera usted que es necesario reducir las deficiencias de información sobre las pérdidas de agua por una mala práctica en la actualidad y que este proyecto lo presenta como solución?					

15	¿Qué tanto esta usted de acuerdo en la implementación de sistemas de control y monitoreo a todos los reservorios de nuestra región?					
16	¿Qué tanto puede usted recomendar la implementación de este proyecto en todos los reservorios de la ciudad de Arequipa?					

*SCADA: **Supervisory Control And Data Acquisition** - Supervisión, Control y Adquisición de Datos

Observaciones del evaluador:


Nombre:
DNI :
Cargo



ANEXO C: LISTA DE OPERADORES RESERVORIO

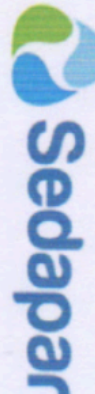
1

EVALUACIÓN DE SIMULADOR DE SISTEMA DE LLENADO, DISTRIBUCIÓN Y REBOSE EN RESERVORIOS DE AGUA

OPERADOR ENCUESTADO				Identificación
Nombres: Apellidos	Francisco Rodolfo			
	Dpaza Torres			
DNI :	40733066			
Edad :	40			
Cargo:	Operador Reservorio	Ubicacion	Arequipa	
Área:	Operaciones	Distrito	Mno Melgor	

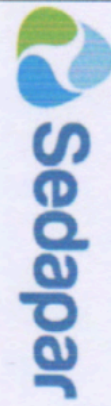
2

EVALUACIÓN DE SIMULADOR DE SISTEMA DE LLENADO, DISTRIBUCIÓN Y REBOSE EN RESERVORIOS DE AGUA

OPERADOR ENCUESTADO				Identificación
Nombres: Apellidos	Alvaro Pantoja			
DNI :	29542517			
Edad :	55			
Cargo:	Operador Reservorio	Ubicacion	Arequipa	
Área:	Operaciones	Distrito		

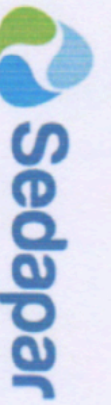
3

EVALUACIÓN DE SIMULADOR DE SISTEMA DE LLENADO, DISTRIBUCIÓN Y REBOSE EN RESERVORIOS DE AGUA

OPERADOR ENCUESTADO				Identificación
Nombres: Apellidos	Carlos Jesús			
	Arias Molina			
DNI :	30562986			
Edad :				
Cargo:	Operador Reservorio	Ubicacion	Arequipa	
Área:	Operaciones	Distrito		

4

EVALUACIÓN DE SIMULADOR DE SISTEMA DE LLENADO, DISTRIBUCIÓN Y REBOSE EN RESERVORIOS DE AGUA

OPERADOR ENCUESTADO				Identificación
Nombres: Apellidos	JUAN EDWARD			
	CRUZ MARCAPURIS			
DNI :	30761627			
Edad :	57			
Cargo:	Operador Reservorio	Ubicacion	Arequipa	
Área:	Operaciones	Distrito		