



**DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA ESSAP EN LA
CIUDAD DE CORONEL OVIEDO**

RAMÓN LÓPEZ BENÍTEZ

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
Coronel Oviedo - Paraguay**

Año 2017

**DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA ESSAP EN LA
CIUDAD DE CORONEL OVIEDO**

**Elaborado por
RAMÓN LÓPEZ BENÍTEZ**

**Tutor
Ing. Derlis Rodrigo Arredondo Onieva**

Trabajo presentado a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la
Universidad Nacional del Caaguazú, como requisito para la obtención
del título de Ingeniero en Electrónica

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
Coronel Oviedo - Paraguay
Año 2017**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica aprobado en representación de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional del Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Dedicado a:

Mi madre Alicia por darme la vida, el cariño y el cuidado que ningún otro ser podría brindarme y a mis hermanos Fabio, Armando y Angeles por brindarme su apoyo incondicional de siempre.

Agradecimientos:

Gracias a mi familia, a mis amigos, gracias a la vida misma por permitirme disfrutar de ellos y alcanzar mi objetivo, gracias a los profesores que formaron parte de mi desarrollo profesional a lo largo del proceso, porque a final del duro camino puedo afirmar que disfruté y aprendí de todos.

DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA ESSAP EN LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO

RAMÓN LÓPEZ BENÍTEZ

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad diseñar la automatización del sistema de distribución de agua potable de la ESSAP en la ciudad de Coronel Oviedo.

Para ese fin, la metodología adoptada para la realización del trabajo constó de varias fases que van desde la recolección de datos, el análisis de las alternativas, el diseño de los circuitos y de la arquitectura de la red, el diseño de la interfaz HMI o SCADA, la programación del controlador principal hasta la realización de las pruebas y simulaciones del nuevo sistema diseñado.

Se llegó a implementar una interfaz SCADA para la visualización en tiempo real del sistema compuesto por sensores de nivel de agua, sensores de presión, servomecanismos para el control de las válvulas principales y las diferentes señalizaciones asociadas a un controlador central, posibilitando el monitoreo constante de todo el proceso de manera automática. De esta manera el nuevo sistema funcionará óptimamente beneficiando con ello a la ESSAP, mejorando ostensiblemente su gestión, y a sus 8.200 usuarios brindándoles un mejor servicio. Con el trabajo se lograron todos los objetivos propuestos y resultado de ello se pudo diseñar un sistema SCADA con el lenguaje de programación java, con un microcontrolador Arduino UNO, como servidor o adquisidor de datos, totalmente automatizado mediante el uso de sensores y actuadores.

Palabras claves: Adquisición de datos, Bomba hidráulica, Control automático de variables, Control de procesos, Microcontroladores, Sistemas SCADA.

AUTOMATIZATION DESIGN OF ESSAP'S DRINKING WATER DISTRIBUTION SYSTEM IN CORONEL OVIEDO CITY

RAMÓN LÓPEZ BENÍTEZ

ABSTRACT

The purpose of this project is to design the automation of the drinking water distribution system of the ESSAP in the city of Coronel Oviedo.

For this purpose, the methodology adopted for the work realization consisted of several phases ranging from data collection, analysis of alternatives, circuit design and network architecture, the HMI interface design or SCADA, the programming of the main controller until the realization of the tests and finally the simulations of the new designed system.

A SCADA interface was implemented for the real-time visualization of the system composed of water level sensors, pressure sensors, servomechanisms for the control of the main valves and the different signaling associated with a central controller, enabling the constant monitoring of the whole process automatically. Thus, the new system will work optimally benefiting the ESSAP, whose management will improve ostensibly, and its 8,200 users by providing them with a better service.

All the proposed objectives of the project were achieved, as result a SCADA system with the Java programming language could be designed, with an Arduino UNO microcontroller, as a server or data acquisition, fully automated through the use of sensors and actuators.

Keywords: Variable Automatic control, Data acquisition, Microcontrollers, Process control, Hydraulic Pump, SCADA systems.

CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	iii
<i>Dedicado a:</i>	iv
<i>Agradecimientos:</i>	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
CONTENIDO.....	viii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABLAS	xvi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS	xviii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
CAPÍTULO 1	3
1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO DE FIN DE GRADO	3
1.2. ESTADO DEL ARTE.....	4
1.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS	4
CAPITULO 2	5
2.1. Generalidades sobre los sistemas de control.....	5
2.1.1. Sistemas de Control.....	5
2.1.1.1. Control en Lazo Abierto.....	5
2.1.1.2. Control en Lazo Cerrado	5
2.1.1.3. Controladores automáticos.....	6
2.1.1.4. Elementos de un sistema de control	7
2.1.1.4.1. Interfaces Hombre Maquina	7
2.1.1.4.1.1. Sistemas SCADA	7
2.1.1.4.1.1.1. Definición de adquisición de datos y control.....	7
2.1.1.4.1.1.1.2. Fundamentos de adquisición de datos.....	8
2.1.1.4.2. Controladores Digitales	10
2.1.1.4.3. Comunicaciones digitales	11
2.1.1.4.4. Sensores o transductores	11
2.1.1.4.5. Actuadores	11

2.1.1.4.5.1.	Actuadores eléctricos	12
2.2.	Generalidades sobre el abastecimiento de agua potable	12
2.2.1.	Red de distribución.....	12
2.2.1.1.	Componentes de una red de distribución	12
2.2.1.1.1.	Tuberías	12
2.2.1.1.2.	Válvulas	13
2.2.1.1.3.	Bombas	14
2.2.1.1.4.	Hidrantes	14
2.2.1.1.5.	Tanques de distribución	14
2.2.1.1.6.	Tomas domiciliarias.....	15
2.2.1.1.7.	Medidores en una red de distribución.....	15
2.3.	Generalidades sobre evaluación financiera de proyectos de inversión.....	16
2.3.1.	Flujo de caja proyectada o presupuesto de efectivo proyectado	16
2.3.2.	Tasa interna de rentabilidad (TIR)	16
2.3.3.	Valor actual neto (VAN).....	16
2.3.4.	Tiempo de recuperación de inversión (TRI)	16
2.3.5.	Relación beneficio – costo (B/C)	17
CAPÍTULO 3		18
3.1.	Controlador.....	18
3.2.	Red de comunicaciones	19
3.3.	Medidores de nivel de agua.....	24
3.3.1.	Instrumentos basados en características eléctricas del líquido.....	24
3.3.2.	Medidor de nivel de ultrasonidos	30
3.3.3.	Medidor de nivel de radar o microondas.....	32
3.3.4.	Medidor de nivel de radiación.....	37
3.3.5.	Medidor de nivel láser.....	41
3.3.6.	Otros fenómenos	42
3.3.7.	Medidor másico de nivel	43
3.4.	Medidores de caudal de agua	46
3.4.1.	Medidores volumétricos	47
3.4.2.	Medidores de caudal masa	47
3.5.	Medidores de turbidez de agua.....	47
3.6.	Otros requerimientos	49
CAPÍTULO 4		49

4.1.	ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE LA ESSAP	49
III.	RESUMEN EJECUTIVO	66
	CAPITULO 5	66
5.1.	Descripción del trabajo.....	66
5.1.1.	Métodos y Técnicas a utilizar.....	66
5.1.1.1.	Tipo de Investigación	66
5.1.1.2.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos	66
5.1.1.3.	Métodos y Análisis de Datos.....	66
5.1.1.4.	Fases Metodológicas	66
5.2.	Justificación.....	68
5.3.	Finalidad del proyecto	69
5.4.	Metas	69
5.5.	Objetivos	69
5.5.1.	Objetivo general	69
5.5.2.	Objetivos específicos.....	69
5.6.	Beneficiarios.....	70
5.7.	Producto	70
5.8.	Localización física y cobertura espacial.....	70
5.9.	Especificaciones de actividades y tareas realizadas	71
5.10.	Recursos necesarios.....	71
5.10.1.	Recursos humanos	72
5.10.2.	Recursos materiales.....	72
5.10.3.	Recursos financieros	72
5.11.	Factibilidad técnica	72
5.12.	Factibilidad económica	73
5.12.1.	Beneficios.....	73
5.12.2.	Costos	74
5.12.3.	Evaluación económica.....	76
5.12.3.1.	Pérdidas por roturas de tuberías principales de la red de distribución	76
5.12.3.2.	Pérdidas por desbordamientos de los tanques	76
5.12.3.3.	Pérdidas por casos de averías de motores	76
5.12.3.4.	Pérdidas en consumo de energía eléctrica.....	76
5.12.3.5.	Resumen de pérdidas con el sistema actual	76
5.12.3.6.	Determinación del flujo de caja proyectada.....	77

5.12.3.7. Determinación de la tasa interna de rendimiento (TIR)	78
5.12.3.8. Determinación del valor presente neto (VPN)	78
5.12.3.9. Determinación del periodo de recuperación de la inversión (PRI)	78
5.12.3.10. Relación Beneficio - Costo	78
5.12.3.11. Resumen de la evaluación económica del proyecto	78
IV. INGENIERÍA DE DISEÑO.....	80
CAPÍTULO 6	80
6.1. Análisis de alternativas para la automatización	80
6.1.1. Evaluación de criterios para la selección de alternativas	81
6.1.2. Clasificación de alternativas disponibles	82
6.1.2.1. Arduino con Computadora	82
6.1.2.2. Raspberry pi con Arduino	90
6.1.2.3. PLC con PC.....	91
6.1.2.4. PLC con panel HMI	94
6.1.2.4.1. HMI (visualizadores)	94
6.1.3. Análisis y comparación técnica de alternativas.....	96
6.1.3.1. Arduino con Computadora:	96
6.1.3.2. Raspberry pi con Arduino	97
6.1.3.3. PLC con PC.....	98
6.1.3.4. PLC con panel HMI	99
6.2. Análisis para selección de actuador de válvula.....	101
6.3. Cálculos y diseño de la arquitectura de la red de comunicación.....	102
6.3.1. Elaboración de cálculos matemáticos y modelado del sistema.....	102
6.3.2. Análisis de los protocolos de comunicación industriales.....	103
6.3.2.1. Norma RS-232:	103
6.3.2.2. Norma RS-422:	104
6.3.2.3. Norma RS-485:	104
6.3.2.4. USB (Universal Serial Bus):	104
6.3.3. Diseño de la arquitectura de comunicación.....	106
6.4. Diseño de los circuitos electrónicos	107
6.4.1.1. Cálculo de resistencias para sensores.....	107
6.4.1.2. Selección de relés y cálculo de resistencias y transistores para el control de los relés: 108	
6.1.1.1. Circuito electrónico de potencia:.....	109
6.2. Esquema de Fuerza y Mando	111

6.3.	Cálculos y diseño de la estructura mecánica de control de apertura de válvulas.	113
6.4.	Programación del controlador y de la Interfaz gráfica de control.....	116
6.4.1.	Programación de la interfaz SCADA.....	117
6.4.1.1.	Interfaz de inicio de sesión.....	117
6.4.1.2.	Interfaz SCADA.....	118
6.4.1.3.	Programación del Controlador.....	119
6.5.	Diagrama de flujo de funcionamiento.....	121
6.6.	Dimensionamiento de sistemas de protección y backup.....	122
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	123
VI.	CONCLUSIONES.....	124
VII.	RECOMENDACIONES.....	125
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	126
	Referencias del PFG.....	126
	Otras páginas de internet consultadas.....	127
IX.	APÉNDICE.....	128
	Apéndice A: Resumen ejecutivo.....	128
	Apéndice A.1: Nivel salarial utilizado en costo de ingeniería.....	128
	Apéndice A.2: Pérdidas por roturas de tuberías principales de la red de distribución.....	129
	Apéndice A.3: Pérdidas por desbordamientos de los tanques.....	131
	Apéndice A.4: Pérdidas por casos de averías de motores.....	131
	Apéndice A.5: Pérdidas en consumo de energía eléctrica.....	132
	Apéndice A.6: Resumen de pérdidas.....	132
	Apéndice A.7: Costos de mantenimiento.....	133
	Apéndice A.8: Periodo de recuperación de la inversión (PRI).....	133
	Apéndice A.9: Relación Beneficio - Costo.....	134
	Apéndice B: Ingeniería de diseño.....	135
	Apéndice B.1: Cálculo para la selección del motor.....	135
	Apéndice B.2: Programación de la interfaz de Inicio de Sesión.....	136
	Apéndice B.3: Programación de la interfaz SCADA.....	141
	Apéndice B.4: Programación del controlador.....	157

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 2

Figura 2.1: Diagrama de bloques de un sistema de control industrial	6
Figura 2.2: Diagrama funcional de un sistema de adquisición de datos basado en PC.....	9
Figura 2.3: Sistema de control digital	10
Figura 2.4: Restitución de la inversión	17

CAPITULO 3

Figura 3.1: Controlador Lógico Programable (PLC).....	19
Figura 3.2: Comunicación punto a punto	20
Figura 3.3: Comunicación on-line	21
Figura 3.4: Comunicaciones por fieldbus.....	22
Figura 3.5: Transmisión sin hilos (Wireless)	23
Figura 3.6: Medidor de nivel resistivo/conductivo.....	24
Figura 3.7: Medidor de capacidad. Fuente: OMEGA.....	26
Figura 3.8: Transductor ultrasónico de nivel	30
Figura 3.9: Medidor de nivel de radar.....	34
Figura 3.10: Señales en un sistema de radar FMCW	34
Figura 3.11: Eliminación del efecto por frecuencia Doppler	35
Figura 3.12: Medidor de nivel de radiactivo (rayos γ de Cesio 137)	38
Figura 3.13: Dosis de radiación de Cesio 137 admisible para los operadores	39
Figura 3.14: Medidor de nivel laser.....	42
Figura 3.15: Detectores de nivel óptico, vibratorio y térmico.....	43
Figura 3.16: Esquema de funcionamiento de un sistema másico de nivel	45
Figura 3.17: principios de medida de los medidores de caudal	46
Figura 3.18: Sensores de turbidez de transmisión, reflexión, relación y el turbidímetro Jackson (Jackson Candle).....	48

CAPITULO 4

Figura 4.1: Localización de las plantas de distribución y tratamiento	50
Figura 4.2: Tanque elevado	51
Figura 4.3: Medidores de nivel del reservorio	52
Figura 4.4: Cañerías de entrada y salida de agua	52
Figura 4.5: Placa de motores.....	53
Figura 4.6: Placa de turbinas	54
Figura 4.7: Caudalímetro	55
Figura 4.8: Display de Caudalímetro	55
Figura 4.9: Válvula manual.....	56

Figura 4.10: Válvula manual	57
Figura 4.11: Bombas de agua	57
Figura 4.12: Banco de capacitores	58
Figura 4.13: Caudalímetro Polysonics DCT6088	59
Figura 4.14: Tablero principal de mando y fuerza	60
Figura 4.15: Arranque de motores trifásicos con autotransformador	61
Figura 4.16: Esquemas de conexión	61
Figura 4.17: Operador de ESSAP observando indicador de nivel del tanque elevado	62
Figura 4.18: Vista de elementos de la planta	64
Figura 4.19: Trayectorias del operador	65

CAPITULO 5

Figura 5.1: Localización de la planta de distribución de la ESSAP	71
---	----

CAPITULO 6

Figura 6.1: Esquema del sistema de control	81
Figura 6.2: Algunos modelos de Arduino	83
Figura 6.3: Arduino controlando un proceso industrial	84
Figura 6.4: Computadora de escritorio	84
Figura 6.5: Placa Arduino UNO R3	85
Figura 6.6: Arduino IDE	87
Figura 6.7: Netbeans IDE	89
Figura 6.8: Relación entre las partes del sistema	89
Figura 6.9: Placa Raspberry Pi	90
Figura 6.10: Raspberry Pi como SCADA	91
Figura 6.11: PLC S7 – 1200 CPU 1214C	92
Figura 6.12: TIA Portal V13	93
Figura 6.13: PLC S7 – 1200 como controlador del proceso	94
Figura 6.14: HMI SIEMENS	95
Figura 6.15: Uso de PLC con panel HMI	96
Figura 6.16: Diagrama de bloques del sistema de control	102
Figura 6.17: Esquema del sistema con circuitos de interface de sensores y actuadores	107
Figura 6.18: Circuito interfaz de lectura de sensores	107
Figura 6.19: Circuito interfaz de control de relés	108
Figura 6.20: Esquema del circuito de interfaz incluido el controlador	109
Figura 6.21: Vista superior del PCB con drivers de potencia para el controlador Arduino	110
Figura 6.22: Vista inferior del PCB con drivers de potencia para el controlador Arduino	110
Figura 6.23: Esquema de fuerza y mando del sistema	111
Figura 6.24: Esquema del controlador ampliado	112
Figura 6.25: Sensores del sistema	112
Figura 6.26: Engranajes con una relación de 2:1	114

Figura 6.27: Engranajes dos y uno	115
Figura 6.28: Vista realista de la válvula uno motorizada.....	116
Figura 6.29: Ventana de inicio de sesión.....	117
Figura 6.30: Ventana SCADA.....	118

IX. APÉNDICE

APÉNDICE A

Figura A.1: Tarifas de Servicios de ESSAP	131
---	-----

APÉNDICE B

Figura B.1: Engranajes dos(el más grande) y uno.....	135
Figura B.2: Diagrama de cuerpo libre.....	136

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 3

Tabla 3.1: Constantes dieléctricas de varios tipos de líquidos.....	28
---	----

CAPITULO 5

Tabla 5.1: Recursos financieros	72
Tabla 5.2: Costo de materiales.....	75
Tabla 5.3: Costo de mano de obra	75
Tabla 5.4: Cronograma de actividades	75
Tabla 5.5: Resumen de pérdidas	77
Tabla 5.6: Flujo de caja proyectada.....	77
Tabla 5.7: Resumen financiero.....	78

CAPITULO 6

Tabla 6.1: Especificaciones técnicas del Arduino UNO	86
Tabla 6.2: Alternativas. Resumen comparativo	101
Tabla 6.3: Resumen de protocolos de comunicación	105

IX. APÉNDICE

APÉNDICE A

Tabla A.1: Estructura salarial 2017	128
Tabla A.2: Tabla salarial 2017	129
Tabla A.3: Pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ESSAP	133

LISTA DE ABREVIATURAS

- **ADC** Convertidor Analógico a Digital (CAD)
- **ANDE** Administración Nacional de Electricidad
- **ANSI** Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
- **CPU** Unidad Central de Procesamiento
- **DAC** Convertidor Digital a Analógico (CDA)
- **DAQ** Sistema de adquisición de datos
- **DPDT** Conmutador bipolar
- **ESSAP** Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay
- **HART** Highway Addressable Remote Transducer
- **HMI** Human Machine Interface. Interfaz Hombre Máquina
- **IDE** Entorno de Desarrollo Integrado
- **IEC** Comisión Electrotécnica Internacional
- **IEEE** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
- **ISA** Sociedad de Instrumentos de América
- **LAN** Red de Área Local.
- **PLC** Controlador Lógico Programable
- **PLD** Dispositivo Lógico Programable
- **SCADA** Supervisión, Control y Adquisición de Datos
- **SPDT** Conmutador unipolar
- **TIA** Totally Integrated Automation. Siemens
- **TIR** Tasa Interna de Rendimiento
- **UNE** Una Norma Española
- **VPN** Valor Presente Neto o Valor Actual Neto (VAN)
- **Wi-fi** Wireless Fidelity. O Fidelidad sin cables

LISTA DE SÍMBOLOS

- **A** Corriente eléctrica en Ampere
- **β** Ganancia del transistor
- **h** Tiempo en horas
- **HP** Potencia eléctrica en caballos de fuerza
- **Hz** Frecuencia eléctrica en Hertz
- **I_b** Corriente de base de transistor
- **I_c** Corriente de colector de transistor
- **l** Litros
- **M** Momento o par en N.m
- **m** Metros
- **N** Fuerza en Newton
- **Ω** Resistencia eléctrica en Ohmios
- **Q** Caudal de fluido
- **r** Relación de transmisión de los engranajes
- **rpm** Revoluciones por minuto
- **s** Tiempo en segundos
- **V** Voltaje eléctrico en voltios
- **VAC** Voltaje en corriente alterna
- **W** Potencia eléctrica en vatios
- **ω** Velocidad angular
- **Z** Numero de dientes del engranaje

I.INTRODUCCIÓN

La Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP) es una empresa imprescindible para el servicio de agua potable en la Ciudad de Coronel Oviedo.

Actualmente la planta de distribución de la mencionada empresa es deficiente en equipos de nueva tecnología, principalmente en el campo de la electrónica, capaces de efectuar las mismas funciones realizadas por una persona de modo totalmente manual. Esto sumado a la gran demanda por la cantidad de usuarios y al crecimiento constante de la población amerita un sistema capaz de optimizar los recursos disponibles para el servicio.

Todo lo mencionado anteriormente ha motivado a la realización del presente proyecto que tiene como finalidad diseñar la automatización del sistema de distribución de agua potable de la ESSAP en la ciudad de Coronel Oviedo. Utilizando dispositivos electrónicos capaces de realizar funciones simples como la apertura-cierre de una válvula o el control de nivel de agua en un tanque para decidir una acción utilizando lógica de control.

Se desea implementar una interfaz HMI para la visualización en tiempo real del sistema compuesto por sensores de nivel de agua, sensores de presión, servomecanismos para el control de las válvulas principales y las diferentes señalizaciones asociados a un controlador central posibilitando el monitoreo constante de todo el proceso de manera automática.

Con todas las mejoras mencionadas se logrará que el sistema funcione óptimamente beneficiando de esa forma a la ESSAP, a sus funcionarios y a sus 8.200 usuarios brindándoles un mejor servicio.

La metodología adoptada para la realización del trabajo consta de varias fases que van desde la recolección de datos, el análisis de las alternativas, el diseño de los circuitos y de la arquitectura de la red, el diseño de la interfaz HMI, la programación del controlador principal hasta la realización de las pruebas y simulaciones del nuevo sistema diseñado.

El desarrollo del presente proyecto se describe desde los conceptos generales, por tanto, se pueden encontrar en el Capítulo 1 los antecedentes del proyecto final de grado, el estado del arte y la definición de términos básicos.

Una vez que se hayan visto los antecedentes y el estado en cuanto a automatización de sistemas y entendido los términos básicos, se procede al Capítulo 2, definiendo las teorías básicas sobre los sistemas de control, el abastecimiento de agua potable y sobre la evaluación financiera de proyectos de inversión.

En el Capítulo 3 se mencionan los requerimientos del sistema tales como controladores, redes de comunicación, sensores, actuadores, etc. Mientras que en el Capítulo 4 se realiza un análisis de la condición actual de la planta de distribución de agua potable de la ESSAP en la ciudad de Coronel Oviedo.

En el Capítulo 5 se presenta el resumen ejecutivo del proyecto final de grado, en donde se pueden encontrar la descripción, la metodología utilizada con sus fases, los objetivos, las metas, la fundamentación, los beneficios y el análisis financiero del proyecto.

Por último, en el Capítulo 6 se realiza el diseño de ingeniería, que abarca hasta la programación de los controladores del sistema, realizando previamente el análisis de las alternativas disponibles para la automatización, las evaluaciones tanto técnicas como económicas de las alternativas disponibles, diseñando los componentes, las interfaces gráficas, los mecanismos de control y la estructura de comunicación entre los elementos del sistema.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES

1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO DE FIN DE GRADO

“PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUERTO TEJADA”

Realizado por Cristhian Fernando Balanta Lasso y Rodolfo Sepulveda Salazar para la obtención del título de Ingeniero Electrónico en el año 2011 en Cali – Colombia. Tuvo como principal objetivo: Realizar propuesta para la automatización de la red de distribución de agua potable en la planta de tratamiento de Puerto Tejada. Y algunas de sus conclusiones fueron:

- Se logró obtener una interfaz gráfica HMI para la operación de la etapa de distribución de agua potable. Esta interfaz se diseñó teniendo en cuenta las operaciones en la interfaz que le permiten al usuario el control y visualización del sistema. Y lo más importante poder interactuar con el proceso propuesto.
- Teniendo como base el proceso y la estructura actual de la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Tejada Cauca y analizando su etapa de distribución, se planteó una posible automatización y el diseño del sistema SCADA de la etapa de distribución, para prestar un mejor servicio a sus usuarios.

“AUTOMATIZACION DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD DE OYAMBARILLO”

Realizado por Víctor Javier Garzón Sierra y Doris Elizabeth Gómez Pumisacho en el año 2008 en Quito – Ecuador.

Tuvo como objetivo principal: Automatizar el tanque de almacenamiento y distribución del sistema de agua potable de la comunidad de Oyambarillo. Y como conclusión los siguientes:

- De la prueba de medición de volumen se concluyó que el volumen de agua que extraen las dos bombas al mismo tiempo del tanque, es similar al volumen de

entrada, por lo que el tiempo de funcionamiento de las bombas no se verá interrumpido en cuanto a nivel de agua.

- De las pruebas de mando manual desde el tablero de control se concluyó que este mando en efecto tiene prioridad sobre cualquier otro mando. Se debe considerar que con este modo no solo maneja las bombas independientemente, sino que además sirve para realizar mantenimiento en el tanque de bombeo.

1.2. ESTADO DEL ARTE

En la actualidad, la mayoría de los sistemas están basados en la utilización de controladores PLC con interfaces HMI, resultando la implementación de tales dispositivos bastante costosa. Se han logrado obtener grandes beneficios con tales implementaciones, pero existe la posibilidad de mejorar aún más en ciertos aspectos, tales como costo de mantenimiento y reparación, facilidad de implementación y disponibilidad de los materiales utilizados.

Existe un proyecto de mejoramiento de la planta de tratamiento de la ESSAP. Que se encuentra en su etapa final. La conclusión del proyecto mencionado permitirá eliminar el inconveniente con la falta de agua que existía en el local de distribución.

1.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS

- Arduino: Es una placa de desarrollo de proyectos electrónicos con hardware y software de código abierto.
- Hardware: Parte física y tangible de una computadora. Ej.: teclado, mouse, circuitos integrados, circuito electrónico, etc.
- Java: Es un lenguaje de programación de software en sistemas informáticos.
- Planta: Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular.
- Software: Parte no tangible de una computadora. Ej.: programas, aplicaciones o secuencias de instrucciones programadas mediante algún lenguaje de programación.
- Variable controlada: La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla.

- Variable manipulada: También llamada señal de control es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.

CAPITULO 2

TEORÍAS BÁSICAS

2.1. Generalidades sobre los sistemas de control

2.1.1. Sistemas de Control

2.1.1.1. Control en Lazo Abierto

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado. Obsérvese que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo está en lazo abierto. Por ejemplo, el control de tráfico mediante señales operadas con una base de tiempo es otro ejemplo de control en lazo abierto [1].

2.1.1.2. Control en Lazo Cerrado

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo

cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error u llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema [1].

2.1.1.3. Controladores automáticos

Un controlador automático compara un valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia (el valor deseado), determina la desviación y produce una señal de control que reduce la desviación a cero o a un valor pequeño. La manera en la cual el controlador automático produce la señal de control se denomina acción de control.

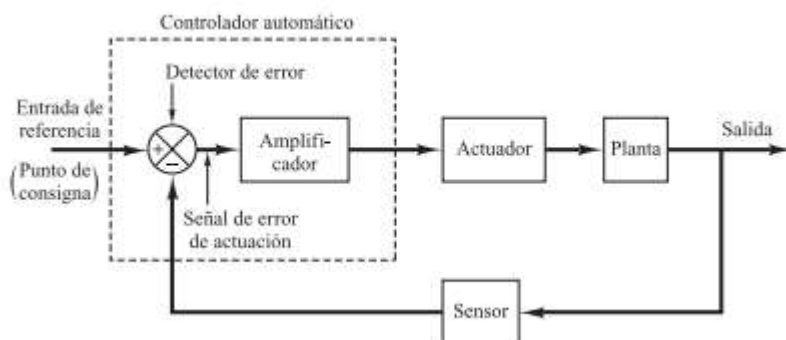


Figura 2.1: Diagrama de bloques de un sistema de control industrial

La Figura 2.1 es un diagrama de bloques de un sistema de control industrial que consiste en un controlador automático, un actuador, una planta y un sensor (elemento de medición). El controlador detecta la señal de error, que, por lo general, está en un nivel de potencia muy bajo, y la amplifica a un nivel lo suficientemente alto. La salida de un controlador automático se alimenta a un actuador, como un motor o una válvula neumáticos, un motor hidráulico o un motor eléctrico. (El actuador es un dispositivo de potencia que produce la entrada para la planta de acuerdo con la señal de control, a fin de que la señal de salida se aproxime a la señal de entrada de referencia).

El sensor, o elemento de medición, es un dispositivo que convierte la variable de salida en otra variable manejable, como un desplazamiento, una presión o un voltaje, que pueda usarse para comparar la salida con la señal de entrada de referencia. Este elemento está en la trayectoria de realimentación del sistema en lazo cerrado. El punto de ajuste del controlador debe convertirse en una entrada de referencia con las mismas unidades que la señal de realimentación del sensor o del elemento de medición [1].

2.1.1.4. Elementos de un sistema de control

2.1.1.4.1. Interfaces Hombre Maquina

Comprende los sinópticos de control y los sistemas de presentación gráfica. La función de un Panel Sinóptico es la de representar, de forma simplificada, el sistema bajo control (un sistema de aprovisionamiento de agua, una red de distribución eléctrica, una factoría) [2].

2.1.1.4.1.1. Sistemas SCADA

2.1.1.4.1.1.1. Definición de adquisición de datos y control

La adquisición de datos es el proceso por el cual los fenómenos físicos del mundo real son transformados en señales eléctricas que se miden y se convierten en un formato digital para procesamiento, análisis y almacenamiento en una computadora. En la gran mayoría de las aplicaciones, el sistema de adquisición de datos (DAQ) no está diseñado solo para adquirir datos, pero para actuar sobre ellos también. En la definición de sistemas DAQ, es por lo tanto útil para extender esta definición para incluir los aspectos de control del sistema total. Controlar es el proceso mediante el cual se convocan las señales de control digital del hardware del sistema para un formato de señal para uso de dispositivos de control tales como actuadores y relés. Estos dispositivos entonces controlar un sistema o proceso. Cuando un sistema se conoce como sistema de adquisición de datos o Sistema DAQ, es posible que también incluya funciones de control.

2.1.1.4.1.1.2. Fundamentos de adquisición de datos

Un sistema de adquisición y control de datos, construido alrededor de la potencia y flexibilidad de la PC, puede consistir en una amplia variedad de diversos bloques de construcción de hardware de diferentes fabricantes de equipos. La tarea del integrador de sistemas es unir estos componentes individuales en un sistema de trabajo completo.

Los elementos básicos de un sistema de adquisición de datos, como se muestra en el diagrama funcional de la Figura 2.2 es la siguiente:

- Sensores y transductores
- Cableado de campo
- Acondicionamiento de señal
- Hardware de adquisición de datos
- PC (sistema operativo)
- Software de adquisición de datos

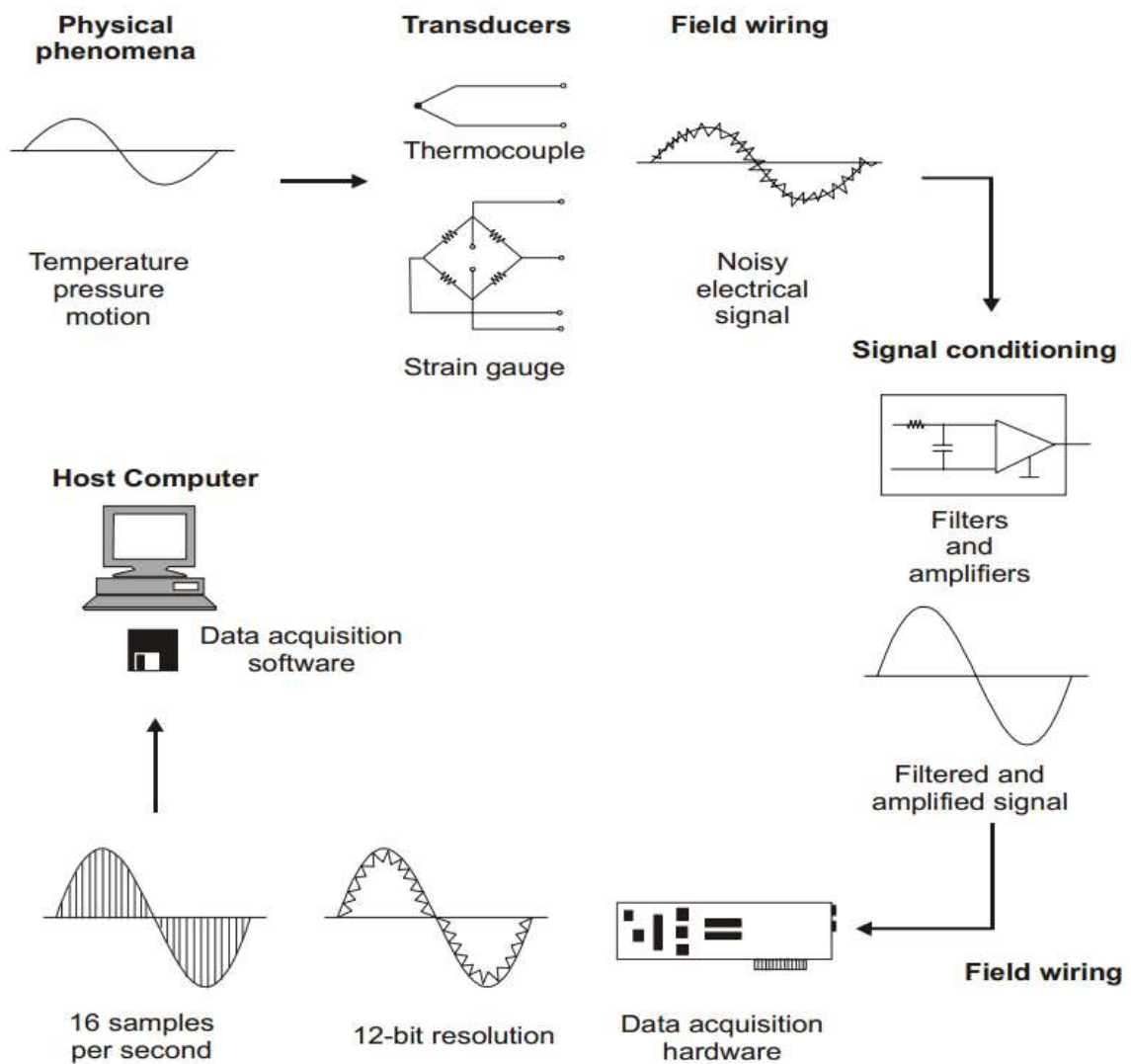


Figura 2.2: Diagrama funcional de un sistema de adquisición de datos basado en PC

Cada elemento de todo el sistema es importante para la medición precisa y la recopilación de datos del proceso o de los fenómenos físicos que se monitorean, y se analiza en las siguientes secciones [3].

2.1.1.4.2. Controladores Digitales

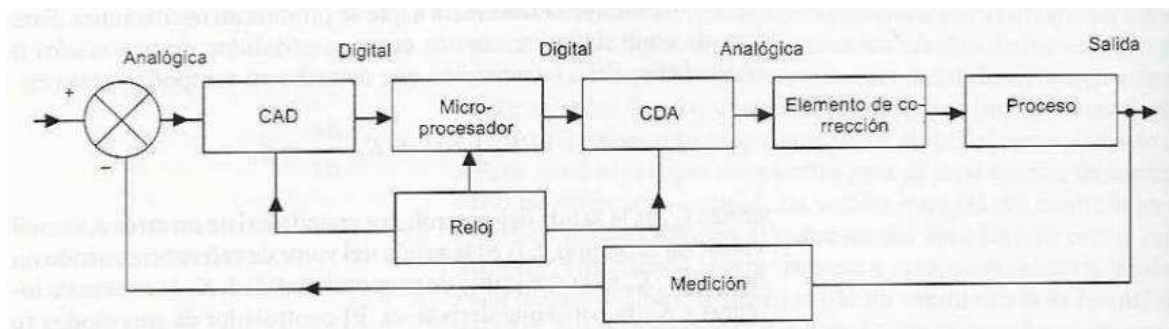


Figura 2.3: Sistema de control digital

La Figura 2.3 muestra la base de un sistema de control digital directo, que se utiliza en procesos continuos. El término control digital directo se usa cuando el controlador digital, básicamente un microprocesador, controla el sistema de control en lazo cerrado. El controlador recibe las señales de entrada de los sensores, ejecuta los programas de control y proporciona una señal que envía a los elementos de corrección. Estos controladores requieren señales de entrada digitales, procesan la información en forma digital y producen una señal de salida digital. Dado que en muchos sistemas de control se realizan mediciones analógicas, para convertir las señales de entrada se utiliza un convertidor analógico a digital (CAD). Un reloj envía un pulso a intervalos regulares e indica en que momento el CAD debe tomar muestras de la variable controlada. Estas muestras se convierten en señales digitales que le microprocesador compara con la magnitud del valor de referencia para producir la señal de error. El microprocesador inicia, entonces, un modo de control que procesa la señal de error y produce una señal de salida digital. El modo de control que utilice el microprocesador estará determinado por el programa de instrucciones que use para procesar las señales digitales, es decir, el software. La salida digital se utiliza para iniciar la acción correctora, lo que en general sucede después de procesar dicha salida en un convertidor digital a analógico (CDA), dado que los elementos correctores por lo común requieren señales analógicas [3].

2.1.1.4.3. Comunicaciones digitales

Un bus externo es un conjunto de líneas a través de las cuales se transmiten señales y se conectan entre sí microprocesadores, microcontroladores, computadoras y PLC, los que a su vez se conectan con equipo periférico. Para obtener la impresión de la salida generada en una computadora es necesario conectar un bus para que mediante este conectar la computadora y la impresora. Los sistemas con varios multiprocesadores son muy comunes. (...). En una planta automatizada no sólo es necesario transferir datos entre los controladores lógicos programables, visualizadores, sensores y actuadores, y que el operador introduzca datos y programas, también es preciso contar con un medio de comunicación para intercambiar datos con otras computadoras [3].

2.1.1.4.4. Sensores o transductores

Los dispositivos que convierten el valor de una variable controlada a una señal eléctrica se denominan transductores eléctricos. El número de transductores eléctricos diferentes es muy grande. Se han inventado transductores eléctricos para medir virtualmente toda variable física, sin importar qué tan complicada sea. En la industria, las variables físicas más importantes que se encuentran son la posición, velocidad, aceleración, fuerza, potencia, presión, velocidad de flujo, temperatura, intensidad luminosa, y humedad [4].

2.1.1.4.5. Actuadores

Los sistemas de actuadores son los elementos de los sistemas de control que transforman la salida de un microprocesador o un sistema de control en una acción de control para una máquina o dispositivo. Por ejemplo, si es necesario transformar una salida eléctrica del controlador en un movimiento lineal que realiza el desplazamiento de una carga. Otro ejemplo sería cuando la salida eléctrica del controlador anterior requiere transformarse en una acción que controle la cantidad de líquido que entra y circula en una tubería [3].

2.1.1.4.5.1. Actuadores eléctricos

Tradicionalmente, las industrias han utilizado exclusivamente servomotores neumáticos para las válvulas de control. Los actuadores eléctricos han avanzado en tecnología en cuanto a velocidad, par disponible, conexiones aptas para la señal de 4-20 mA c.c., las comunicaciones HART, Foundation Fieldbus y otros. Además, el motor eléctrico, una vez calibrado, puede funcionar sin problemas durante meses o años. El registro del número de carreras y del camino recorrido por el vástago, han facilitado el trabajo de mantenimiento, y personal con poca experiencia puede predecir, por ejemplo, cuando habrá que cambiar la estopada de la válvula.

Se sabe que el coste de la producción de aire comprimido para la alimentación de las válvulas neumáticas, es importante y se estima en un 40%-50% la pérdida de energía en la conversión electricidad (o vapor) a aire comprimido. De aquí que, presumiblemente, es más económico ahorrarse el coste y mantenimiento de un compresor para aire de instrumentos y utilizar directamente la energía eléctrica para mover el servomotor eléctrico de la válvula de control [5].

2.2. Generalidades sobre el abastecimiento de agua potable

2.2.1. Red de distribución

La red de distribución es la parte del sistema que transporta el agua directamente hacia los puntos de consumo (edificios, industrias, bocas de riego e incendio, etc.). Está construida por todo un conjunto de tuberías, piezas especiales y elementos dispuestos y ordenados de forma conveniente para garantizar abastecimiento [6].

2.2.1.1. Componentes de una red de distribución

2.2.1.1.1. Tuberías

Los conductos que conforman la red de distribución se pueden clasificar en varios tipos, de acuerdo a la función que desempeñan y al tamaño relativo al resto del abastecimiento:

- Tuberías principales o (tuberías de alimentación). Son las conducciones de mayor diámetro y responsables de la alimentación de los conductos secundarios. Su principal función es, pues, la conducción. Como regla general

trata de evitarse la realización de tomas o conexiones sobre este tipo de conducciones.

- Tuberías o conductos secundarios (arterias de conducción). Son conducciones de diámetro menor que las anteriores. Su papel es transportar el agua desde las arterias (tuberías de alimentación) a las tuberías de distribución. Se intenta evitar el realizar conexiones o tomas sobre dichas conducciones, aunque los consumidores principales del abastecimiento se encuentran conectados a este tipo de tuberías.
- Tuberías de distribución. Son las conducciones encargadas de transportar el agua hasta las propias acometidas de los diferentes puntos de consumo. Son conducciones específicamente diseñadas para realizar numerosas tomas sobre las mismas. Por ello el material de dichas conducciones debe permitir la realización de tomas en carga, que permitan realizar nuevas conexiones en el sistema sin interrumpir el suministro.
- Ramales o acometidas. Es el conjunto de tuberías y válvulas que enlazan la red pública con la instalación interior del edificio, junto al muro de la fachada. Habitualmente no se considera a estos ramales incluidos en las redes de distribución.
- Tuberías de traída o aducciones. Son conductos que unen los puntos de producción de agua con la red de distribución y, por tanto, no forman parte de ésta.

2.2.1.1.2. Válvulas

Las válvulas son dispositivos mecánicos que son empleados para detener, iniciar o controlar las características del flujo en conductos a presión. Pueden ser accionadas manualmente o por medios automáticos o semiautomáticos. Así, existen accionadores eléctricos, hidráulicos o neumáticos, los cuales se usan en plantas de tratamiento o en instalaciones donde se requiere operar frecuentemente las válvulas. En redes de distribución son más usuales las válvulas que se operan manualmente mediante palancas, volantes y engranes, debido a que los cierres y aperturas son ocasionales.

2.2.1.1.3. Bombas

La gran mayoría de los sistemas de distribución y líneas de conducción incorporan bombas en sus instalaciones para trasladar el agua a través del sistema o mantener presiones requeridas. En abastecimiento de agua potable son usadas para extraer el agua del subsuelo y conducirla hasta plantas de tratamiento, almacenamientos, o directamente hasta la red de distribución. También permiten elevarla carga en zonas de presión ascendentes (booster), así como proveer de agua al cuerpo de bomberos durante el combate de incendios.

2.2.1.1.4. Hidrantes

Los hidrantes son conexiones especiales de la red que se ubican a cierta distancia, distribuidos en las calles. Existen dos tipos de hidrantes: públicos y contra incendio. Los hidrantes públicos consisten de llaves comunes colocadas en pedestales de concreto o de mampostería que pueden usarse como llaves comunitarias pues pueden emplearlos varias familias dependiendo de su cercanía con el hidrante. Generalmente se ubican, cuando es posible, a distancias menores de 200 m, aunque pueden localizarse a distancias hasta de 500 m en lugares no muy densamente poblados.

Los hidrantes públicos pueden tener una sola llave (hidrantes simples) o varias (hidrantes múltiples), y algunos disponen incluso de un pequeño almacenamiento. Es preferible que el hidrante simple no lo usen más de 70 personas, aunque un hidrante múltiple puede dar servicio a 250 o hasta 300 personas.

Los hidrantes contra incendio son toma especial distribuida en las calles a distancias relativamente cortas, de fácil acceso con el fin de conectar mangueras para combatir incendios.

2.2.1.1.5. Tanques de distribución

Los almacenamientos o tanques son utilizados en los sistemas de distribución de agua para asegurar la cantidad y la presión del agua disponible en la red. Según su construcción pueden ser superficiales o elevados. Los superficiales se emplean cuando se dispone de terrenos elevados cerca de la zona de servicio.

2.2.1.1.6. Tomas domiciliarias

La toma domiciliaria tiene como función el proporcionar agua de la red de distribución para conducirla a la instalación hidráulica intradomiciliaria. Se divide en dos partes conocidas como: ramal y cuadro. Se le llama ramal a la conexión que abarca desde el acoplamiento a la red de distribución hasta el codo inferior del cuadro. El cuadro es propiamente el conjunto de tubos y codos que forman una figura rectangular con el objeto de alojar un medidor y que sea cómoda su lectura. El cuadro se encuentra generalmente dentro del domicilio del usuario.

2.2.1.1.7. Medidores en una red de distribución

Los principales tipos de medidores de una red de abastecimiento de agua son: Medidores de presión. Se utilizan manómetros metálicos (tipo Bourdon), manómetros diferenciales, y transductores de presión, tanto diferenciales como absolutos o manométricos.

Medidores de nivel. Las señales analógicas de nivel (nivel en continuo) se obtienen generalmente mediante transductores de presión con un valor de fondo de escala pequeño para mejorar la resolución. También se emplean sondas ultrasónicas, que miden la distancia desde las mismas a la superficie libre del agua, calculando el tiempo que tarda el sonido en recorrer la distancia sonda-superficie libre-sonda.

Medidores de caudal/volumen. Existen muchos medidores para determinar tanto el caudal como el volumen circulante por una conducción. Se puede distinguir entre los que se basan en la medida de la velocidad del fluido (electromagnéticos, ultrasónicos, sondas Annubar), y los que acumulan el volumen consumido (contadores de chorro, de hélice tipo Woltmann, volumétricos, etc.). Existe además otra gama de medidores que determina el caudal instantáneo a partir de la medida instantánea de otras magnitudes (los medidores Venturi, los contadores proporcionales o los diafragmas o placas orificio).

Medidores de calidad del agua. Además de las magnitudes de tipo hidráulico una red de abastecimiento requiere la medición de las variables relacionadas con la calidad de las aguas servidas. De entre los medidores de este tipo de variables destacan, por su amplio uso, los medidores de cloro [7].

2.3. Generalidades sobre evaluación financiera de proyectos de inversión

2.3.1. Flujo de caja proyectada o presupuesto de efectivo proyectado

El presupuesto de flujo de efectivo presenta las fuentes (u orígenes) y los usos (o aplicaciones) planificados para el efectivo durante el año presupuestado [9].

2.3.2. Tasa interna de rentabilidad (TIR)

(...)En particular, el VPN igual a cero, evidencia que los dineros invertidos en el proyecto ganan un interés idéntico a la tasa de descuento utilizada en los cálculos. Por ejemplo, si $VPN(0.15) = 0$, las sumas invertidas en el proyecto ganan un 15% de interés.

En consecuencia, la tasa de interés que produce un VPN igual a cero es una medida de rentabilidad adecuada. Como se trata del interés que ganan los dineros que permanecen invertidos en el proyecto, se le da el nombre de tasa interna de rentabilidad, o simplemente TIR [10].

2.3.3. Valor actual neto (VAN)

El método del valor actual del FED (Flujo de Efectivo Descontado) compara el valor actual de los flujos netos de entradas de efectivo con el valor del costo inicial, erogado en efectivo, de un proyecto de desembolso de capital; la diferencia monetaria entre estas dos cantidades de valor actual se llama valor actual neto. Los flujos netos de entradas de efectivo (es decir, los flujos de entradas menos los flujos de salidas de efectivo) se descuentan a su valor actual usando una tasa "meta", o mínima, de rendimiento (que es una tasa de interés). Por lo tanto, este método requiere la determinación de tres elementos de formación para cada proyecto (el flujo inicial de salida de efectivo, los futuros flujos netos de entradas de efectivo, y una tasa neta de rendimiento) [9].

2.3.4. Tiempo de recuperación de inversión (TRI)

Este método, que en inglés se conoce con el nombre de payback period, mide la bondad de un proyecto de inversión en términos del tiempo que se demora en recuperar la inversión, por ejemplo, en el proyecto del gráfico de la Figura 2.4.

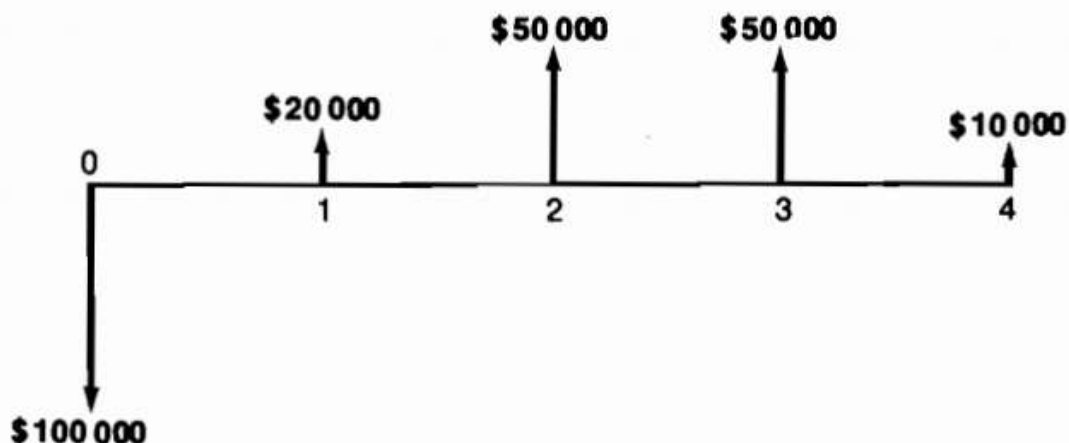


Figura 2.4: Restitución de la inversión

el periodo de restitución es de 3 años, periodo que constituye el tiempo que se demora el inversionista en recuperar su inversión de \$ 100000 [10].

2.3.5. Relación beneficio – costo (B/C)

Este índice, cuya utilización es muy frecuente en estudios de grandes proyectos públicos de inversión, se apoya en el método del valor presente neto (...).

La relación beneficio-costos (B/C), se calcula de la siguiente manera:

- Se calcula el valor presente de los ingresos asociados con el proyecto en cuestión.
- Se calcula el valor presente de los egresos del proyecto.
- Se establece una relación entre el VPN de los ingresos y el VPN de los egresos, al dividir la primera cantidad por la segunda. El resultado de tal división es la relación beneficio-costos:

En términos simbólicos

$$\frac{B(i)}{C(i)} = \frac{VPN \text{ ingresos}(i)}{VPN \text{ egresos}(i)}$$

Debemos observar que la relación beneficio-costos es una función de la tasa de interés que se emplea en los cálculos del VPN de los ingresos y egresos, de modo que, al calcular este índice con propósitos decisorios, es menester utilizar la tasa de interés de oportunidad.

La relación beneficio-costos puede asumir los siguientes valores:

$$\frac{B(i)}{C(i)} > 1; \frac{B(i)}{C(i)} = 1; \frac{B(i)}{C(i)} < 1$$

Cuando su valor es superior a la unidad, significa que el VPN de los ingresos es superior al de los egresos, es decir, que el VPN de todo el proyecto es positivo y en consecuencia el proyecto es atractivo.

Cuando la relación B/C es igual a 1, el valor presente neto de los ingresos es igual al de los egresos; cuando esto acontece, el valor presente neto de todo el proyecto es igual a cero. Por consiguiente, en tales circunstancias el proyecto es indiferente y la tasa de interés utilizada representa la tasa interna de rentabilidad del proyecto. Finalmente, cuando el valor de esta relación es negativo, tenemos un proyecto en el cual el VPN de los ingresos es menor que el de los egresos, lo cual señala que el VPN de todo el proyecto es negativo, es decir, que el proyecto no es atractivo [10].

CAPÍTULO 3

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Los requerimientos más resaltantes del sistema son los siguientes:

3.1. Controlador

Según W. Bolton: Actualmente, los microprocesadores reemplazan rápidamente a los controladores operados por leva y se utilizan en general para realizar funciones de control. Ofrecen la ventaja de que mediante su uso es factible emplear una gran variedad de programas. Muchos sistemas sencillos cuentan solo con un microcontrolador integrado, el cual es un microprocesador con memoria y todo integrado en un chip específicamente programado para llevar la tarea en cuestión. Una opción más adaptable es el controlador lógico programable. Se trata de un controlador basado en un microprocesador en el que se utiliza una memoria programable para guardar instrucciones y para implantar funciones de lógica, secuencia, temporización y aritmética para controlar eventos, y puede reprogramarse para realizar diversas tareas. En la Figura 3.1 se muestran las acciones de control de un controlador lógico programable; las entradas pueden ser

señales, digamos, de interruptores que se cierran y el programa empleado para determinar cómo debe responder el controlador a las entradas y cuál es la salida que ha de producir [3].

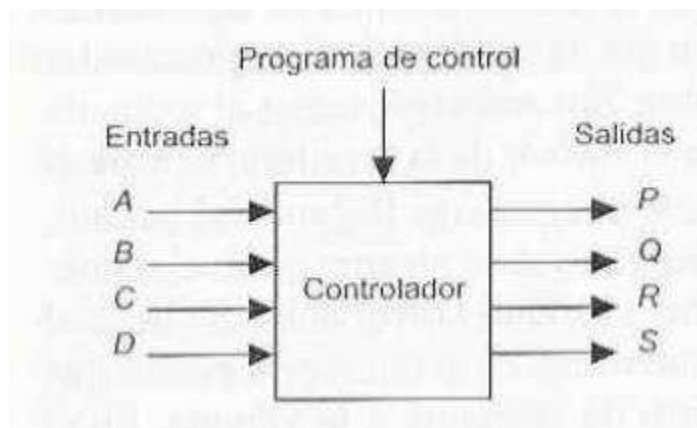


Figura 3.1: Controlador Lógico Programable (PLC)

3.2. Red de comunicaciones

La red de comunicaciones tiene como objetivo permitir el intercambio de información (diálogo o conversación) entre dos o más elementos (PCs, servidores, impresoras, mainframes, etc.) llamados nodos de la planta. Estos nodos deben estar unidos físicamente (cableado, conectores, electrónica, etc.) y usar las mismas normas básicas de diálogo (protocolos) o, en su defecto, disponer de los equipos traductores necesarios para la conversión de normas. Los fabricantes de sistemas de comunicaciones empezaron con sus propios sistemas llamados propietarios, es decir, sistemas en los que no es posible intercambiar sus aparatos con los de otros fabricantes.

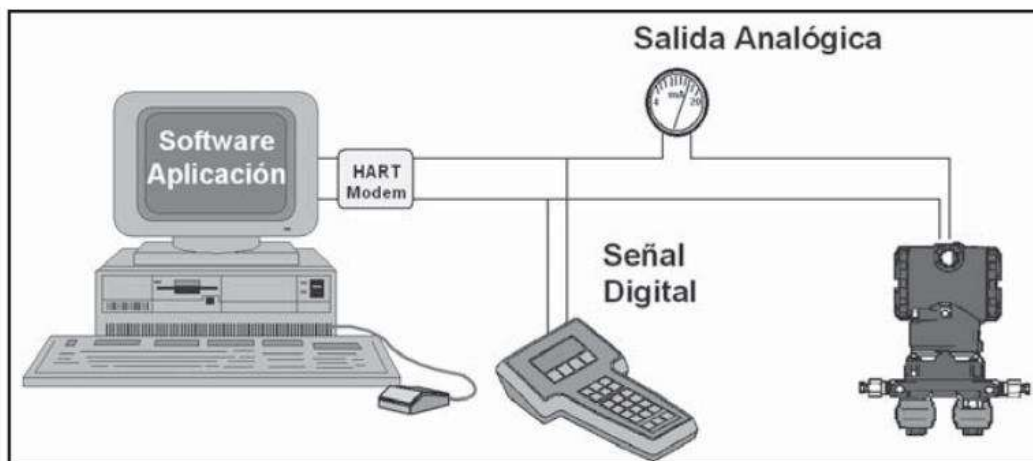


Figura 3.2: Comunicación punto a punto

Sin embargo, debido a la lógica demanda del mercado, fabrican sistemas abiertos con protocolos estándar utilizados ampliamente por diferentes empresas que fabrican productos, de modo que son compatibles entre sí. Es natural que un fabricante se resista a divulgar su sistema debido al alto coste que ha pagado por la investigación y el desarrollo de su producto, pero al final, se impone el deseo del cliente.

Las comunicaciones punto a punto (Figura 3.2) lo hacen con el instrumento de manera individual, usualmente mediante un comunicador portátil y permiten la configuración del equipo y la lectura de diagnósticos. Para ello, hay que desplazarse a planta y conectarse con el instrumento. Esto se hace típicamente cuando el instrumento no funciona bien y se quiere ver lo que ocurre (mantenimiento correctivo).

Las comunicaciones multipunto permiten acceder simultáneamente a más de un instrumento. Hay varios tipos:

- Topología de bus: el protocolo digital híbrido (HART) permite conectar varios instrumentos a través de un par de hilos a modo de bus. La conexión se hace digitalmente utilizando una alimentación constante de 4 mA. Limitado a aplicaciones con poca velocidad de transmisión (tanques).
- Comunicación "on-line" (Figura 3.3): instrumentos con protocolos híbridos y sistemas de control utilizando la señal 4-20 mA partiéndola en dos salidas, mediante multiplexores: una de 4-20 mA para el sistema de control y otra, con

la señal digital, al sistema de gestión de instrumentación, mediante comunicación serie RS-485. Así pueden gestionarse históricos, alarmas, calibraciones, etc.

- Comunicación mediante instrumentación inteligente: recibiendo la información del microprocesador del instrumento y realizando diversas funciones, tales como configuración de equipos (datos, auto-test, pruebas del lazo, etc.), diagnósticos (estado del instrumento, útil para el mantenimiento correctivo e incluso preventivo si avisa antes del fallo), monitorización de alarmas, gestión de calibraciones del instrumento (definición, ejecución y grabación del test).

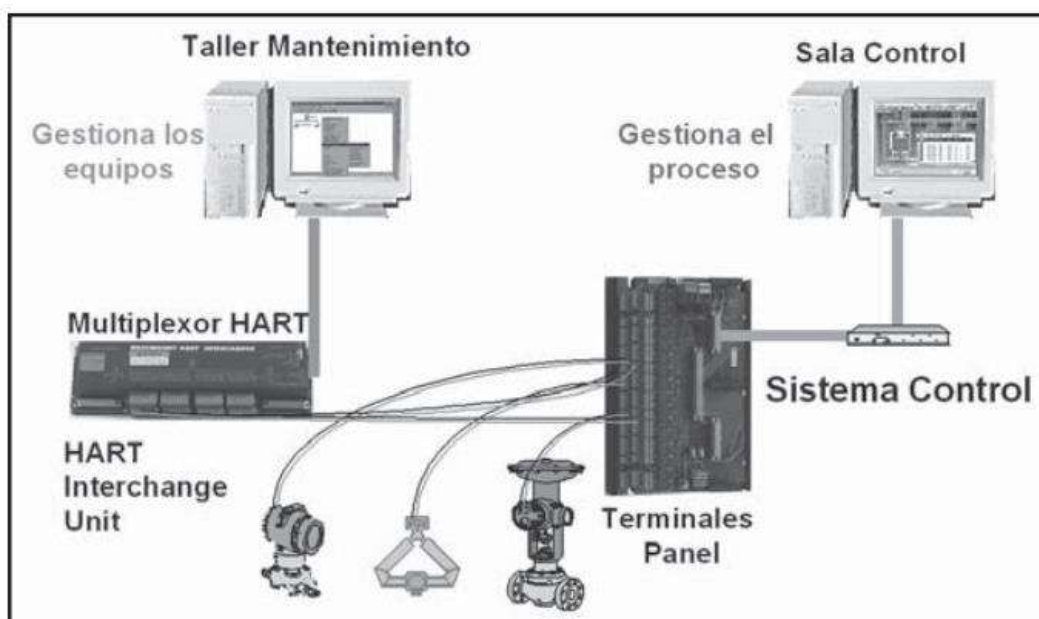


Figura 3.3: Comunicación on-line

Por razones técnicas, prestaciones y costes, principalmente, una red de datos formada de forma integrada con varias plantas alejadas entre sí, se subdivide en subredes llamadas LAN (Local Area Network) caracterizadas por abarcar unos pocos km y poseer una alta velocidad Mbits/s) para el intercambio de información. Cumplen una serie de normas, independientes de los protocolos que internamente hablan los nodos, que definen principalmente las características físicas del cable (cobre y fibra óptica) y los conectores.



Figura 3.4: Comunicaciones por fieldbus

El sistema de comunicaciones Foundation Fieldbus (Figura 3.4) que apareció hacia 1980, se caracteriza por:

- Bidireccional, multi-drop, es decir varios instrumentos de campo colgados de la misma red al nivel de aparato (H1).
- Interoperatividad.
- Diagnóstico de averías: reduce un 75% el coste del mantenimiento convencional, ya que el personal de mantenimiento trabaja solo en el equipo que hay que reparar e incluso puede hacerlo a distancia desde la sala de control.
- Mejora de la integridad del control al ser posible el control PID en campo.
- Menor susceptibilidad al ruido eléctrico que la clásica señal de 4-20 mA c.c.
- Límites más estrechos de oscilación alrededor del punto de consigna.
- El fieldbus interconecta transmisores, posicionadores, multiplexores I/O y otros equipos y está diseñado para control básico y avanzado.
- El circuito utilizado se usa a nivel de ordenador principal como sistema de alta velocidad entre enlaces, estaciones de trabajo, servidores, etc., y su objeto es la integración de subsistemas y aplicaciones de control de alto rendimiento.

Ethernet complementa la tecnología fieldbus (estándar IEC 61158) y las dos tecnologías proporcionan una solución abierta a la integración de los aparatos de campo y de panel, permitiendo las comunicaciones al nivel de gerencia, que así

dispone de la información suficiente para, entre otras posibles actuaciones, reducir la fabricación si la demanda de productos es escasa y optimizar la fabricación con relación a la vida de los equipos. Sin embargo, casi todos los protocolos con base Ethernet son propietarios y, si bien los aparatos de Ethernet pueden interconectarse, usualmente no es posible su interoperatividad. Esto es debido a que el estándar sólo especifica el cable, la dirección del puerto del hardware y del aparato y no incluye el de la aplicación ni las capas del usuario abiertas necesarias para conseguir una completa interoperatividad en el circuito. La transmisión sin hilos (wireless) es un sistema de comunicaciones que permite situar, en el proceso el transmisor y el receptor en las mejores condiciones. Trabaja con las normas IEEE 802.3, IEEE 802.11 a/b/g, IEEE 802.11q, ISA100, ANSI/ISA-TR99.00.01-2007 (Tecnologías de seguridad para los sistemas industriales de automatización y de control) y 802.11 Wi-Fi.



Figura 3.5: Transmisión sin hilos (Wireless)

Es un sistema que se amortiza económicamente teniendo en cuenta el ahorro en el cable, en particular en distancias considerables, entre el transmisor y el receptor. Por ejemplo, una instalación de cableado de 600 m con un coste de 100 euros/m importa 60.000 euros. Otras ventajas, son disponer de transmisores de variables en lugares remotos o peligrosos sin necesidad de cableado, utilizar una tecnología de encriptación, una transmisión segura sin interferencias FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) y la alimentación con pilas de litio de 3,6 V con una vida

útil de 5 años. Los transmisores proporcionan una exactitud del $\pm 0,1\%$ y la distancia de transmisión sin obstáculos es de unos 600 m.

3.3. Medidores de nivel de agua

3.3.1. Instrumentos basados en características eléctricas del líquido

El medidor de nivel conductivo o resistivo (Figura 3.6) consiste en uno o varios electrodos y un circuito electrónico que excita un relé eléctrico o electrónico al ser los electrodos mojados por el líquido. Este debe ser lo suficientemente conductor como para excitar el circuito electrónico, y de este modo el aparato puede discriminar la separación entre el líquido y su vapor, tal como ocurre, por ejemplo, en el nivel de agua de una caldera de vapor. La impedancia mínima es del orden de los 25 MW/cm, y la tensión de alimentación entre los electrodos y el tanque es alterna para evitar fenómenos de oxidación en las sondas, por causa del fenómeno del electrólisis.

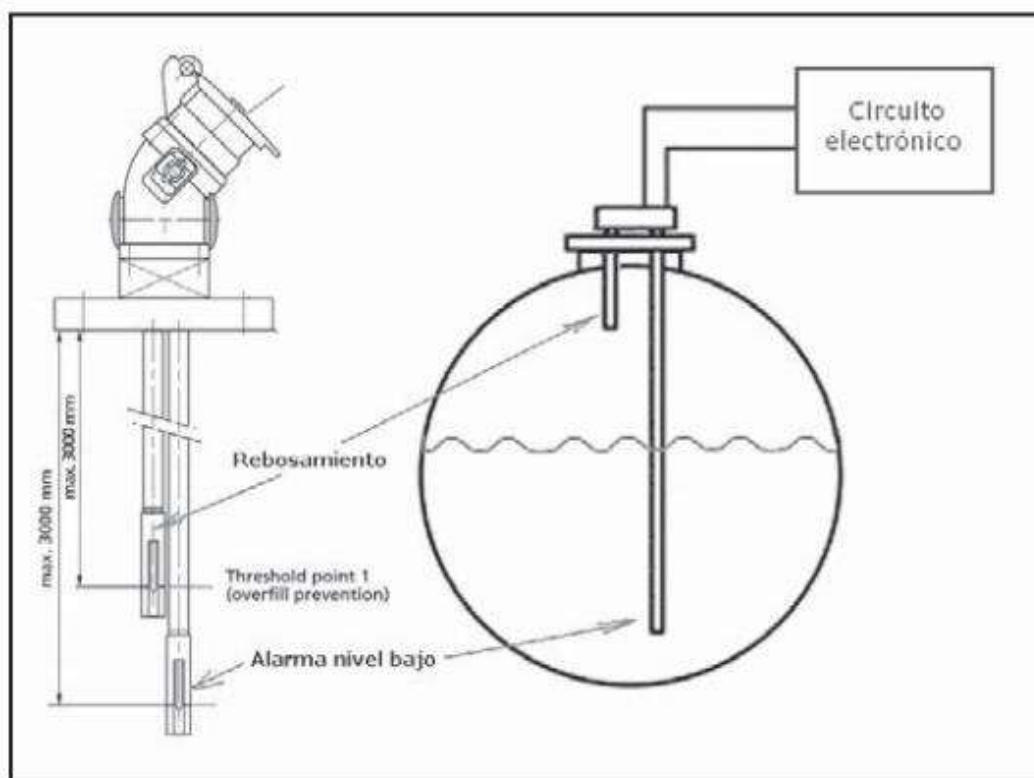


Figura 3.6: Medidor de nivel resistivo/conductivo

El relé electrónico dispone de un temporizador de retardo que impide su enclavamiento ante una ola del nivel del líquido o ante cualquier perturbación momentánea, o bien en su lugar se disponen dos electrodos poco separados enclavados eléctricamente en el circuito. El instrumento se emplea como alarma o control de nivel alto y bajo, y con la sensibilidad ajustable permite detectar la presencia de espuma en el líquido.

El medidor de capacidad (Figura 3.7), conocido también por sensor de nivel de radiofrecuencia (RF) o de admitancia, mide la capacidad del condensador formado por un electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. Trabaja en la gama baja de radiofrecuencia de pocos MHz, midiendo la admitancia de un circuito de corriente alterna, la que varía según el nivel de líquido en el tanque. Para clarificar la descripción del instrumento de capacitancia, los términos admitancia e impedancia de un circuito de c.a. son comparables a los de conductancia y resistencia de un circuito de c.c., es decir, la admitancia es la medida de la conductividad de un circuito de c.a. y es la inversa de la impedancia. La fórmula de la capacitancia del conjunto electrodo-tanque es:

$$C = K \times \frac{A}{D}$$

en la que:

C = capacitancia en picroFaradios (pF)

K = constante dieléctrica del material

A = área efectiva de los conductores

D = distancia entre los conductores

Como el sistema utiliza una señal de radiofrecuencia, debe considerarse adicionalmente la impedancia (Z), que es la oposición al flujo de corriente, según la ecuación:

$$Z = R + \frac{1}{\sqrt{1} \times 2\pi \times f \times C} = \frac{1}{k' \times f \times C}$$

en la que:

R = resistencia en ohms

C = capacitancia en pF

f = frecuencia de medida (radio frecuencia)

En el condensador, la distancia entre el electrodo y las paredes del tanque y el área de los conductores permanecen constantes, de modo que la única variable es el área bañada por el líquido, es decir, el nivel.

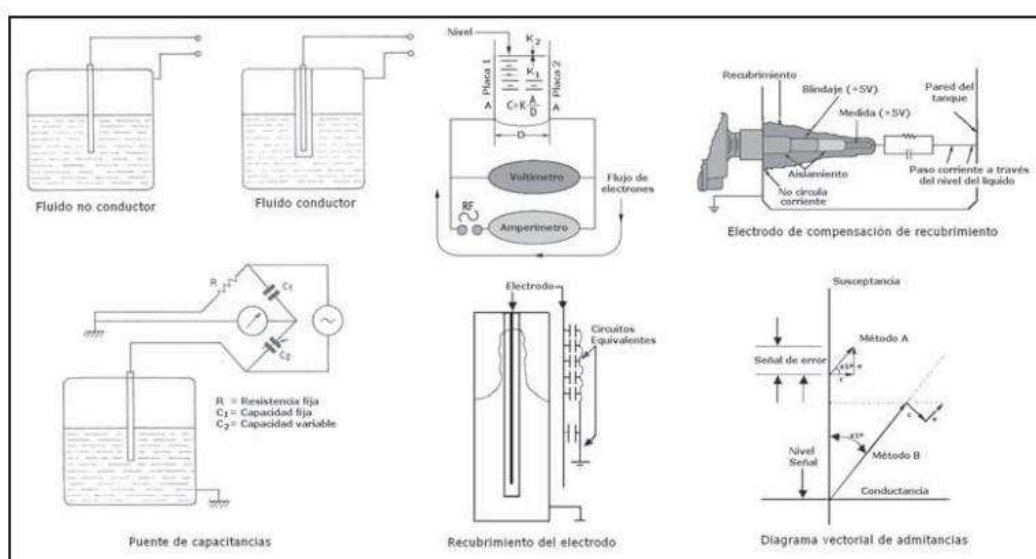


Figura 3.7: Medidor de capacidad. Fuente: OMEGA

La medida de la capacitancia se realiza mediante una señal de radiofrecuencia (RF) aplicada entre el electrodo y la pared del tanque. En aplicaciones de detección de nivel con electrodos horizontales, la señal de radiofrecuencia produce una pequeña corriente que circula a través del líquido hacia la pared del tanque. Si el nivel baja y el electrodo deja de ser mojado por el líquido y es expuesto a los gases o vapores que se encuentran sobre el líquido, baja la constante dieléctrica, con lo que disminuye la capacitancia y se reduce la corriente. El cambio es detectado por un interruptor del circuito interno de nivel que excita un relé, dando la señal de bajo nivel. La detección del nivel suele disponer de temporizadores que filtran las falsas lecturas debidas a olas o rociaduras del líquido.

En el caso de medición continua del nivel, el electrodo es vertical y la señal de salida es analógica. Los cambios de capacitancia, que se producen al variar el nivel, vienen dados por la fórmula:

$$\text{Cambio de capacitancia (pF)} = (K_2 - K_1) \times \frac{A}{D}$$

siendo:

K_2 = constante dieléctrica del gas o vapor existente sobre el líquido

K_1 = constante dieléctrica del líquido

A = área efectiva de los conductores

D = distancia entre los conductores

Cuanta más alta sea la diferencia entre K_2 y K_1 más fácil será la lectura. Si la diferencia es pequeña (0,5 pF) será necesario usar un circuito electrónico de alta sensibilidad.

La constante dieléctrica depende de las condiciones de temperatura, humedad, densidad y tamaño de las partículas existentes en el líquido, de modo que si el cambio de capacitancia es alto, será necesario bajar la sensibilidad para evitar falsas lecturas por haber superado el umbral de capacitancia del sensor. La sensibilidad puede aumentarse alargando la longitud del electrodo, lo que es más práctico, o acercándolo más a las paredes del tanque. En la Tabla 3.1 pueden verse las constantes dieléctricas de diversos tipos de sólidos y líquidos. El electrodo suele ser de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ " o $\frac{1}{2}$ " de diámetro, adecuado para los líquidos no conductores y no corrosivos. Si el fluido es conductor, con una conductividad mínima de 100 microhmios/c.c., el electrodo se recubre con Teflón o Kynar. Si no se recubriera, a medida que el nivel del líquido fuera bajando, el electrodo quedaría mojado dando lugar a una falsa capacitancia y a un error en la lectura. Cuando el tanque no es conductor y no puede captar la corriente de retorno de la señal de radiofrecuencia (RF) se dispone de un segundo electrodo paralelo al electrodo activo. Los líquidos sucios o pegajosos tienen tendencia a recubrir el electrodo con lo que la lectura del nivel sería errónea. Para que el electrodo ignore el efecto del recubrimiento conductor, se añade un segundo elemento al electrodo (blindaje de excitación), alimentado al mismo voltaje y frecuencia que el elemento de medida

(tecnología de escudo perforado) (Figura 3.7). De este modo, al no existir diferencia de potencial entre el blindaje de excitación y la sección de medida, la corriente no puede fluir a través del recubrimiento hacia las paredes del tanque, con lo cual se eliminan las señales erróneas debidas a la circulación de la corriente a través del recubrimiento conductor que envuelve la sonda. El error de recubrimiento se ilustra en la Figura 3.7. La porción sumergida del electrodo genera una capacitancia bastante pura. Virtualmente no existen componentes conductivos ya que el electrodo está aislado. Sin embargo, a causa de que la sección superior del electrodo está revestida con material conductor, éste genera una señal de error que consiste en un componente resistivo (conductancia) y uno capacitivo puro (susceptancia) desfasados 45°. El error de recubrimiento puede eliminarse de dos maneras.

Sólidos		Líquidos					
Constante dieléctrica (K)		Líquido	(°F/°C)	K	Líquido	(°F/°C)	K
Acetic Acid	4.1	Acetone	71/22	21.4	Heptano	68/20	1.9
Asbestos	4.8	Ammonia	-27/-33	22.4	Hexane	68/20	1.9
Asphalt	2.7	Aniline	32/0	7.8	Hydrogen Chloride	87/28	4.6
Bakelite	5.0	Benzene	68/20	2.3	Iodine	224/107	118.0
Calcium Carbonate	9.1	Benzil	202/94	13.0	Kerosene	70/21	1.8
Cellulose	3.9	Butane	30/-1	1.4	Methyl Alcohol	68/20	33.1
Ferrous Oxide	14.2	Carbon Tetrachloride	68/20	2.2	Methyl Ether	78/26	5.0
Glass	3.7	Castor Oil	60/16	4.7	Mineral Oil	80/27	2.1
Lead Oxide	25.9	Chlorine	32/0	2.0	Naphthalene	68/20	2.5
Magnesium Oxide	9.7	Chloroform	32/0	5.5	Octane	68/20	2.0
Naphthalene	2.5	Cumene	68/20	2.4	Pentane	68/20	1.8
Nylon	45.0	Cyclohexane	68/20	2.0	Phenol	118/47	9.9
Paper	2.0	Dimethylheptane	68/20	1.9	Phosgene	32/0	4.7
Phenol	4.3	Dimethylpentane	68/20	1.9	Propane	32/0	1.6
Polyethylene	4.5	Dowtherm	70/21	3.3	Pyridine	68/20	12.5
Polypropylene	1.5	Ethanol	77/25	24.3	Styrene	77/25	2.4
Porcelain	5.7	Ethyl Acetate	68/20	6.4	Sulphur	752/400	3.4
Quartz	4.3	Ethyl Benzene	68/20	2.5	Toluene	68/20	2.4
Rubber (Hard)	3.0	Ethyl Benzene	76/24	3.0	Urethane	74/23	3.2
Sand	3.5	Ethyl Ether	68/20	4.3	Vinyl Ether	68/20	3.9
Sulphur	3.4	Ethylene Chloride	68/20	10.5	Agua	32/0	88.0
Sugar	3.0	Formic Acid	60/16	58.5	Agua	68/20	80.0
Urea	3.5	Freon 12	70/21	2.4	Agua	212/100	46.0
Zinc Sulfide	8.2	Glycol	68/20	41.2	Xylene	68/20	2.4
Teflon	2.0						

Tabla 3.1: Constantes dieléctricas de varios tipos de líquidos

El método A resta la componente capacitiva de la señal total de salida, con lo que la señal de error se cancela. El método B introduce un cambio de fase de 45° a la medida completa, el cual cancela, automáticamente, la parte de la señal debida al error. Este tipo de instrumentos se caracterizan porque la medida del nivel depende principalmente de la constante dieléctrica del material más que de su conductividad. Por este motivo, se pueden usar en la detección de nivel puntual y continúa de materiales conductores y no conductores, tales como agua, espumas, pastas, líquidos viscosos, fangos, etc. y también en la detección de la interface de los líquidos inmiscibles. El circuito electrónico tiene una señal de salida de 4-20 mA c.c. o una señal de salida digital compatible con las comunicaciones HART, FOUNDATION Fieldbus, etc. La exactitud es del $\pm 0,25\%$. El alcance mínimo es de 4 pF y el límite superior del intervalo de medida es de 2.500 pF. En fluidos no conductores, se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores. En fluidos conductores con una conductividad mínima de 100 microhmios/c.c., el electrodo está aislado, usualmente con teflón, interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas. El circuito electrónico (puente de capacidades) alimenta el electrodo a una frecuencia elevada, lo cual disminuye la reactancia capacitiva del conjunto y permite aliviar, en parte, el inconveniente del posible recubrimiento del electrodo por el producto. El montaje del electrodo debe ser tal que no sea afectado por el impacto del líquido que entra en el depósito. La medición de nivel en tanques metálicos de gran diámetro con líquidos de baja constante dieléctrica, tal como el almacenamiento de hidrocarburos, presenta problemas. Se resuelven seleccionando electrodos concéntricos y montándolos en posiciones que queden libres del choque con el fluido durante la carga del tanque (la capacitancia fluctúa). Debido a la influencia de la temperatura, el contenido de humedad, carga estática, composición, conductividad y recubrimiento de los electrodos en la indicación del nivel, el sistema de capacitancia no se utiliza en el inventariado de líquidos en tanques.

El medidor de capacitancia debe calibrarse en campo para el cero y el 100% de la señal. La exactitud es del $\pm 1\%$.

3.3.2. Medidor de nivel de ultrasonidos

El sistema ultrasónico de medición de nivel (Figura 3.8) se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque.

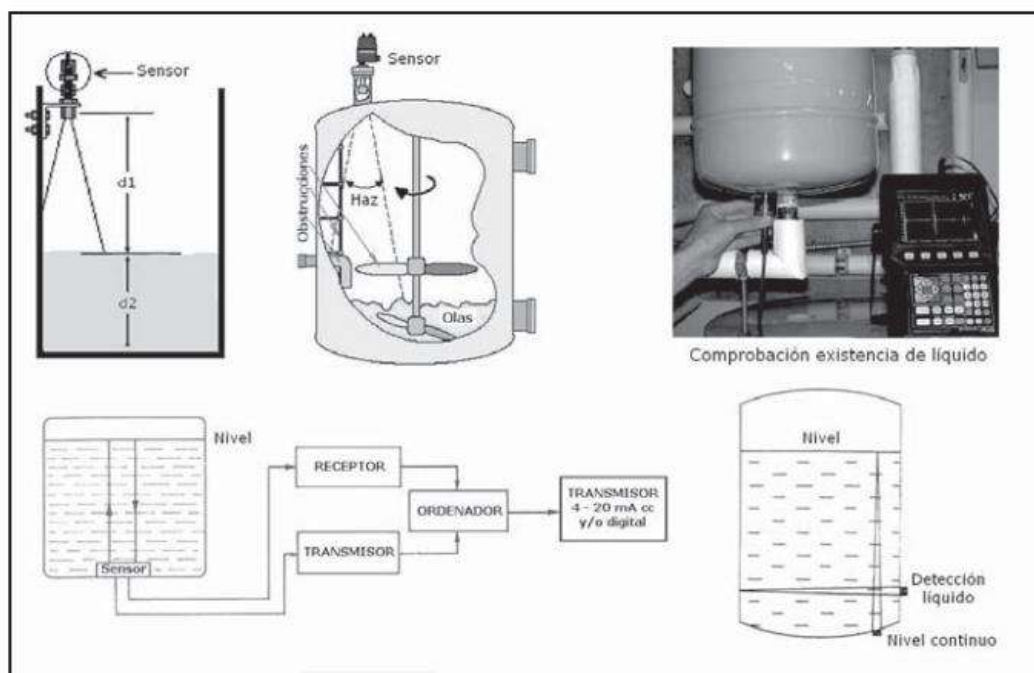


Figura 3.8: Transductor ultrasónico de nivel

Si el sensor se coloca en el fondo del tanque, envía un impulso eléctrico que es convertido mediante un transductor (cristal piezoeléctrico) a un impulso ultrasónico de corta duración, que es transmitido a través de la pared del tanque hacia el líquido. El impulso se refleja en la superficie del líquido y retorna hasta el transductor ultrasónico. El nivel del tanque viene expresado por:

$$h = \frac{v \times t}{2}$$

siendo:

h = nivel del líquido

v = velocidad del sonido en el líquido

t = tiempo de tránsito del sonido

Pero la aplicación típica es situar el emisor en la parte superior del tanque y dirigir el impulso ultrasónico a la superficie del líquido para ser reflejado y retornar al receptor. El transductor del receptor realiza los cálculos para convertir esta distancia en el nivel del líquido en el tanque. La medida del nivel en estas condiciones puede ser afectada por varios factores:

- La velocidad del sonido en el líquido que varía con la temperatura, de modo que un ambiente que pase de 0 °C a 70 °C da lugar a un error del 12% en la medida del nivel. Este efecto puede compensarse mediante un sensor de temperatura.
- La presencia de espuma en la superficie del líquido que absorbe el sonido. La turbulencia extrema en el seno del líquido y el movimiento de la superficie del líquido (olas, etc.), que puede compensarse con un circuito amortiguador o temporizador en el instrumento.
- El material y el estado de las paredes del tanque (paredes gruesas, corrosión, etc.), la curvatura del tanque y las obstrucciones.
- Las burbujas de gas o vapor existentes y los sedimentos en el fondo. El método ultrasónico también es útil para determinar si en un tanque o una tubería hay o no líquido, ya que el tipo de eco es distinto. En otra aplicación, el transductor está montado en la pared del tanque y dirige el impulso hacia arriba en un ángulo determinado y el receptor se encuentre en la misma pared, pero más arriba, con lo que el sistema permite captar la existencia de líquido a una cierta altura del tanque, siendo la aplicación más útil en la detección en el nivel superior y en el fondo del tanque.

Los sensores trabajan a una frecuencia de 20 kHz a 200 kHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión, el medio ambiente de gases o vapores, aumentando o disminuyendo la velocidad del sonido y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido. A frecuencias mayores (unos 50 kHz) las ondas sónicas penetran las capas de aire o vapores del tanque con menor amortiguamiento.

En la Figura 3.8 puede verse el diagrama de bloques de un sistema de medida de ultrasonidos. El sensor emisor dispone de un oscilador excitador para enviar un

impulso ultrasónico a la superficie del fluido y el sensor receptor recibe esta señal reflejada, enviando una señal función del tiempo transcurrido y, por lo tanto, del nivel a un transmisor electrónico analógico dotado de protocolo HART para la obtención de una señal digital. La exactitud de estos instrumentos es de unos ± 5 mm o bien del $\pm 0,25\%$ al $\pm 1\%$. Los instrumentos son adecuados para todos los tipos de tanques y de líquidos o fangos, pudiendo construirse a prueba de explosión. Presentan el inconveniente de ser sensibles a la densidad de los fluidos y de dar señales erróneas si hay obstrucciones en el interior del tanque o bien cuando la superficie del nivel del líquido no es nítida, como es el caso de un líquido que forme espuma, ya que se producen falsos ecos de los ultrasonidos. La utilización del microprocesador permite, a través de un programa, almacenar el perfil ultrasónico del nivel, y así tener en cuenta las características particulares de la superficie del líquido, tal como la espuma, compensando con el software los falsos ecos y las variaciones de velocidad del sonido, con lo cual se mejora la exactitud de la medida. Por otro lado, el ordenador facilita la conversión del nivel a volumen del tanque para usos de inventario y, además, proporciona características de auto comprobación (self-checking) del instrumento.

3.3.3. Medidor de nivel de radar o microondas

El sistema de radar de microondas se basa en la emisión continua de una onda electromagnética, típicamente dentro del intervalo de los rayos X (10 GHz). El sensor está situado en la parte superior del tanque y envía las microondas hacia la superficie del líquido. Una parte de la energía enviada es reflejada en la superficie del líquido y la capta el sensor. El tiempo empleado por las microondas es función del nivel en el tanque.

Una técnica empleada es utilizar una onda continua modulada en alta frecuencia (por encima de los 10 GHz), de modo que se detecta la diferencia de frecuencia entre la señal emitida y el eco recibido. La técnica recibe el nombre de FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave – Onda continua modulada en frecuencia).

La diferencia de frecuencias es proporcional al tiempo empleado por estas señales de transmisión y retorno, es decir, al nivel. Y así:

$$d = \frac{v \times dt}{2}$$

con:

$$v = \frac{c}{\sqrt{e}}$$

siendo:

d = distancia del emisor al líquido

v = señal de velocidad

dt = tiempo de recorrido

c = velocidad de la luz

e = constante dieléctrica

La fórmula anterior indica que la velocidad de la microonda a través del aire (u otro gas o vapor) es igual a la velocidad de la luz dividida por la raíz cuadrada de la constante dieléctrica del gas o vapor. Como la constante dieléctrica de los vapores sobre el líquido es casi la unidad, la variación de la velocidad es despreciable, por lo que puede afirmarse que la espuma es transparente a la señal de radar y, por lo tanto, deja de ser un problema, tal como ocurría en el medidor de nivel de ultrasonidos. Otra ventaja de esta técnica es que las señales de medida del nivel son en FM en lugar de AM, lo que suprime los ruidos parásitos del tanque que se encuentran en la banda de AM.

Si la constante dieléctrica del líquido es baja, pueden presentarse problemas en la medida ya que, en este caso, la energía reflejada es muy pequeña. El agua ($r = 80$) produce una reflexión excelente en la superficie del líquido.



Figura 3.9: Medidor de nivel de radar

Un oscilador de estado sólido genera una frecuencia de barrido de 10 a 11 GHz y enfoca la señal sobre el líquido por medio de una antena. Esta puede ser de disco parabólico, que dirige las señales en una amplia área, o de cono que las confina en un haz más estrecho. Sin embargo, las ondas de radar experimentan las mismas dificultades que los transmisores de ultrasonidos. Sus lecturas pueden ser erróneas debido a las obstrucciones, tuberías internas, formación de depósitos en la antena y múltiples reflexiones dentro del tanque. Se han utilizado técnicas de lógica difusa (fuzzy logic) y algoritmos complejos en el transmisor, por lo que la puesta en marcha es engorrosa y los cambios, en el proceso en el tanque, pueden dar lugar a problemas.

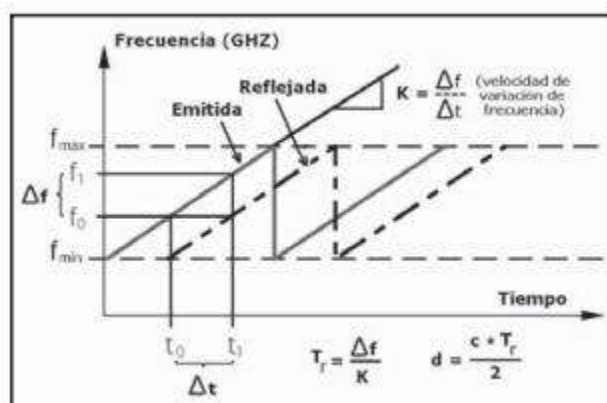


Figura 3.10: Señales en un sistema de radar FMCW

Si K es la relación de variación de frecuencia ($K = \Delta f / \Delta t$), la relación dF/K proporciona el tiempo T_r y, de aquí, la distancia desde el cabezal del sensor a la superficie del líquido en el tanque:

$$d = (c \times T_r) / 2.$$

El movimiento del líquido (olas, etc.) puede hacer aparecer una frecuencia Doppler, lo que puede falsear la medida de la diferencia entre las frecuencias detectadas. Para evitar este tipo de problemas, prácticamente todos los radares de onda continua emiten una onda electromagnética cuya variación de frecuencia va aumentando en un tramo, mientras que en el otro disminuye, consiguiendo así, eliminar el efecto de la frecuencia Doppler, ya que en un tramo estaría sumando y en el otro restando.

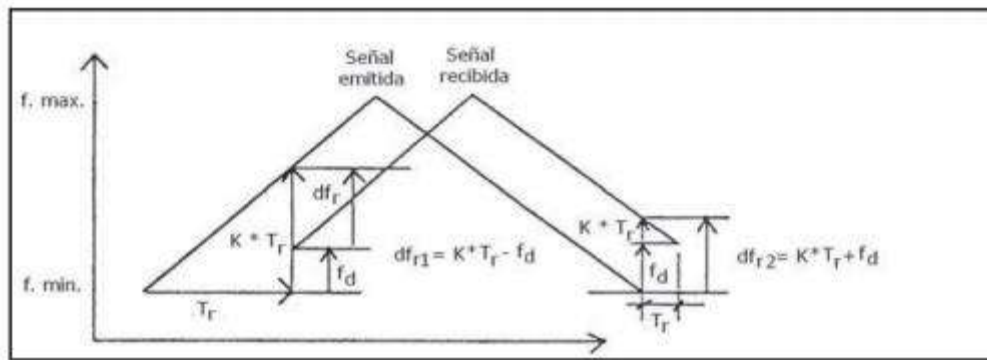


Figura 3.11: Eliminación del efecto por frecuencia Doppler

De este modo, se verifica:

$$df_{r1} = K \times T_r - f_d$$

$$df_{r2} = K \times T_r + f_d$$

$$df_{r1} + df_{r2} = 2K \times T_r$$

Luego:

$$T_r = (df_{r1} + df_{r2}) / 2K$$

Los bancos de filtrado Doppler utilizan esta diferencia en frecuencia entre la señal emitida y la recibida. Para conseguir la exactitud necesaria, únicamente hay que tener en cuenta la deriva de la señal electromagnética, y gracias al uso de muy

altas frecuencias, del orden de gigahertzios, esta exactitud llega a ser del orden de ± 1 mm.

El filtrado de la señal correcta se consigue mediante microprocesadores, realizando una transformada rápida de Fourier de las señales mezcladas, lo que ralentiza el sistema, de modo que se realizan de 1 a 4 mediciones por segundo. Esta velocidad es suficientemente rápida para una medición precisa en el tanque, pero insuficiente en el caso de superficies con turbulencias, factor habitual en muchas aplicaciones de proceso. Como desventajas figuran la dificultad de operar con materiales de baja constante dieléctrica, menor de 2,5, debido a la incapacidad para obtener una señal de retorno al receptor, y el trabajar con haces de gran divergencia. Otro método utilizado es el de radar de onda guiada (GWR – Guide Wave Radar) que dispone de una varilla o un cable para guiar las microondas desde el sensor hasta la superficie del líquido y hasta el fondo del tanque y que soluciona los inconvenientes del sistema anterior FMCW.

Dispone de un reflectómetro en el dominio del tiempo (TDR – Time Domain Reflectometer), técnica utilizada para localizar roturas de cables de gran longitud, que genera más de 200.000 impulsos de energía electromagnética, que atraviesa el fluido y retorna. La constante dieléctrica del fluido da lugar a un cambio en la impedancia y desarrolla una reflexión de la onda. El tiempo de tránsito de los impulsos es una medida del nivel. Con este método se minimiza la degradación de la señal, ya que se enfoca íntegramente la energía a través de la varilla o cable, sin enviarla a través del aire como en el caso del método de FMCW, lo que permite medir niveles de líquidos de baja constante dieléctrica ($K < 1,7$ con relación a $K = 80$ del agua). Asimismo, como los impulsos están guiados, se evitan los efectos de la espuma, las turbulencias y las obstrucciones del tanque y se consigue un rendimiento 20 veces mayor.

El sistema no es influido por la composición del gas o vapor que se encuentra sobre el líquido, ni por la temperatura, ni por la presión, puede trabajar en vacío sin ninguna recalibración y no es afectado por la mayor parte de capas de espuma. A tener en cuenta que la varilla o cable guía pueden ser afectados por la corrosión del líquido o por choques mecánicos con el agitador del tanque. El sistema de

medida del nivel tipo radar es adecuado para asfaltos, parafinas y productos muy densos o viscosos, que no sean homogéneos y sufran estratificaciones. Las características típicas de los medidores de radar son:

- Repetibilidad + 1 mm.
- Exactitud para tanques en general + 5 mm.
- Exactitud para tanques de entrega de productos a facturar + 1 mm.

3.3.4. Medidor de nivel de radiación

El sistema de radiación (medición por rayos gamma) consiste en un emisor de rayos gamma montado verticalmente en un lado del tanque y con un contador Geiger que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua.

Otro tipo de detector consiste en un haz de fibras ópticas que transmiten los fotones luminosos, creados en la estructura cristalina (dotada de materiales dopantes) cuando reciben la radiación gamma, a un tubo fotomultiplicador. Como la transmisión de los rayos es inversamente proporcional a la masa del líquido en el tanque, la radiación captada por el receptor es inversamente proporcional al nivel del líquido, ya que el material absorbe parte de la energía emitida. Los rayos emitidos por la fuente son similares a los rayos X, pero de longitud de onda más corta.

La fuente radiactiva pierde igualmente su radiactividad en función exponencial del tiempo. La vida media (es decir, el tiempo necesario para que el emisor pierda la mitad de su actividad) varía según la fuente empleada. En el cobalto 60 (nivel energético 1,33 MeV) es de 5,3 años, en el cesio 137 (nivel energético 0,56 MeV) es de 33 años y en el americio 241 es de 458 años. La medida continua requiere que la electrónica disponga de compensación automática de la deriva por decaimiento radiactivo de la fuente.

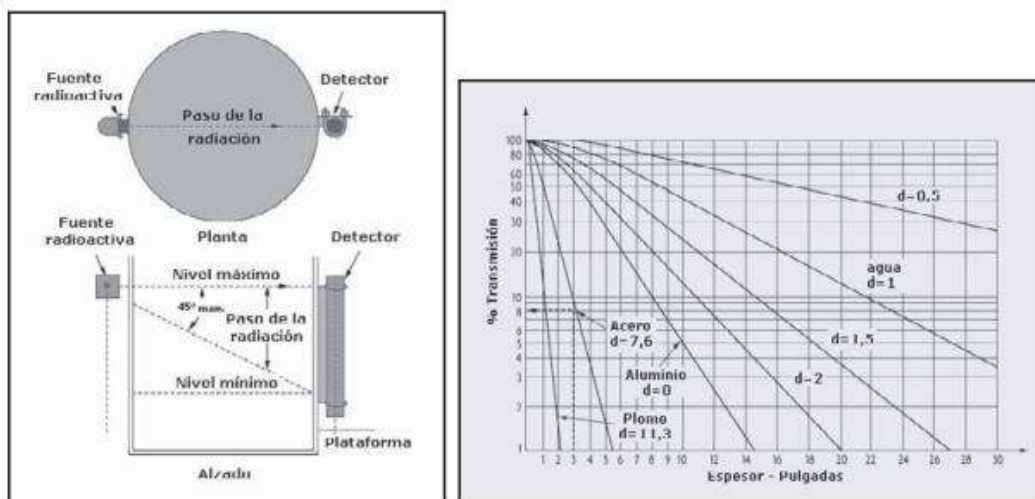


Figura 3.12: Medidor de nivel de radiactivo (rayos y de Cesio 137)

Las paredes del tanque absorben parte de la radiación y al detector sólo llega un pequeño porcentaje. Los detectores son, en general, tubos Geiger o detectores de cámara iónica y utilizan amplificadores de c.c. o de c.a. El instrumento dispone de compensación de temperatura, de linealización de la señal de salida y de reajuste de la pérdida de actividad de la fuente de radiación, extremo este último a tener en cuenta para conservar la misma exactitud de la puesta en marcha. Como desventajas en su aplicación figuran el blindaje de la fuente y el cumplimiento de las leyes sobre protección de radiación, que en nuestro país están reglamentadas por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). La intensidad de la radiación recibida por el detector depende del isótopo del emisor, de la densidad y demás características físicas del fluido, del espesor de las paredes del recipiente, del espesor de los aislamientos y de la distancia emisor/receptor, prefiriéndose el método en el que la fuente de radiación sea de menor actividad. Los microprocesadores han aportado una mayor sensibilidad a este tipo de medida de nivel, permitiendo una mayor duración de aprovechamiento de la fuente y una mayor seguridad para el personal, ya que puede utilizarse la fuente con menores niveles de radiación. El diseño, instalación y mantenimiento de estos medidores debe ajustarse a la normativa, debiendo tener:

- Certificado de aprobación de diseño de prototipo.
- Certificado de control de calidad.

- Certificado de actividad y hermeticidad.
- Señalización exterior en los equipos (norma UNE 23077) y grabado de forma indeleble de la firma comercializadora, la naturaleza y actividad de las fuentes, el fabricante, el modelo, el número de serie, la fecha de fabricación y el contenido radiactivo. Y en el exterior de las fuentes radiactivas, el número de identificación, el símbolo químico y el número másico del radionúclido, como mínimo. Previamente a su instalación, debe ser tramitada la documentación adecuada para obtener la autorización del Consejo de Seguridad Nuclear.

El personal que trabaja con estos medidores debe tener la preparación adecuada y seguir las Normas de seguridad especiales dadas por el fabricante, con la garantía de las correspondientes Autoridades Nucleares. Tendrá la licencia de supervisor u operador de instalaciones radioactivas, concedida por el Consejo de Seguridad Nuclear.

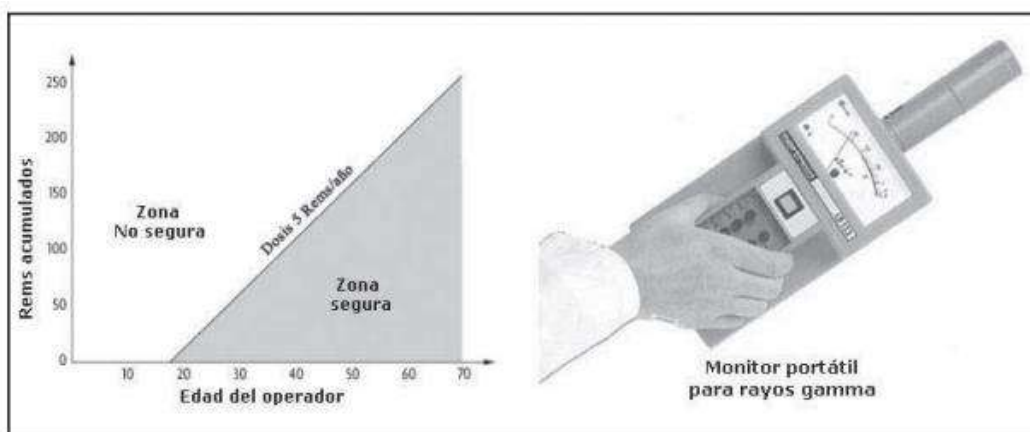


Figura 3.13: Dosis de radiación de Cesio 137 admisible para los operadores

La intensidad de radiación está limitada por la Comisión de Regulación Nuclear (NRC – Nuclear Regulatory Comisión) a 5 miliroentgens/hora a una distancia de 0,3 m (12"). Por ejemplo, una fuente de Cesio 137 de 10 mCi (constante de la fuente $K = 0,6$) se instala en un tanque de agua de alta presión con paredes de 13 mm (0,5"). Deben satisfacerse dos criterios:

1º La intensidad de la radiación que capta el detector debe disminuir el 50% cuando el nivel pasa del 0% al 100%.

2ª La radiación máxima en el detector cuando el tanque está vacío no debe superar el límite de seguridad de 2,4 mR/h pero si que puede exceder de 1 mR/h para poder excitar el detector de cámara iónica. La intensidad de radiación en el aire, cuando no hay tanque entre el emisor y el receptor, considerando que esta distancia es de 1,2 m (48"), vale:

$$Dosis = K \times \frac{mCi}{1000} \times \frac{1}{d^2} = 0,34 \times \frac{10}{1000} \times \frac{1}{1,2^2} = 0,0024 \text{ r/h} = 2,4 \text{ mR/h}$$

siendo:

K = constante específica de radiación gamma (tasa de exposición a 1 m de distancia de una fuente puntual de 1 Ci de actividad nuclear Curie = 0,34 R/h por Ci a 1 m)

mCi = tasa de actividad de 1 miligramo de Radio 226

d = distancia entre el emisor y el receptor

A señalar que la fuente está blindada en todas direcciones excepto hacia el tanque. Cuando el tanque está vacío, el operador recibirá la máxima energía a través de sus paredes, de valor 49% (figura 5.19):

$$0,49 \times 2,4 \text{ mR/h} = 1,176 \text{ mR/h}$$

Que es menor que la dosis segura de radiación (5 mR/h), pero superior a la que necesita el detector (cámara iónica 1 mR/h, interruptor Geiger-Mueller 0,5 mR/h y detector de centelleo 0,1 – 0,2 mR/h). Cuando el tanque está lleno, el grueso de 1,2 m (48") de agua reduce la intensidad de radiación en 3,5% adicional:

$$0,035 \times 2,4 = 0,084 \text{ mR/h}$$

o sea:

$$1,176 - 0,084 = 1,092 \text{ mR/h}$$

Que es superior al 1 mR/h para poder excitar el detector de cámara iónica. La exactitud de la medida es del $\pm 0,5\%$ al $\pm 2\%$. El instrumento puede emplearse para todo tipo de líquidos, ya que no está en contacto con el proceso. Su lectura viene influida por el aire o por los gases disueltos en el líquido. El sistema se emplea en

caso de medida de nivel en tanques de acceso difícil o peligroso. Es ventajoso cuando existen presiones elevadas en el interior del tanque que impiden el empleo de otros sistemas de medición. Hay que señalar que el sistema es caro y que la instalación no debe ofrecer peligro alguno de contaminación radiactiva, siendo necesario señalar debidamente las áreas donde están instalados los instrumentos y realizar inspecciones periódicas de seguridad.

3.3.5. Medidor de nivel láser

En aplicaciones donde las condiciones son muy duras, y donde los instrumentos de nivel convencionales fallan, encuentra su aplicación el medidor láser (y también el de radiación). Tal es el caso de la medición de metal fundido, donde la medida del nivel debe realizarse sin contacto con el líquido y a la mayor distancia posible por existir unas condiciones de calor extremas. El sistema mide el nivel de forma parecida al medidor de nivel de ultrasonidos con la diferencia de que emplea la luz en lugar del sonido. Consiste en un rayo láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) enviado a través de un tubo de acero y dirigido por reflexión en un espejo sobre la superficie del metal fundido. La señal puede ser por impulsos o por onda continua modulada en alta frecuencia. En el primer caso, cada impulso de láser llega hasta el nivel de líquido y regresa al receptor. En forma parecida a la del nivel por radar, la distancia desde el sensor hasta el nivel se calcula por la fórmula:

$$Distancia = \frac{(Velocidad\ de\ la\ luz) \times (tiempo\ transcurrido)}{2}$$

La señal pulsante tiene buena penetración y un gran intervalo de medida, por lo que es la típica usada en aplicaciones industriales. La señal láser de onda continua está modulada en alta frecuencia y cambia de fase al chocar contra el nivel de líquido. Cuando alcanza el receptor, el circuito electrónico calcula la distancia midiendo el desfase entre la onda emitida y la recibida, la frecuencia y la longitud de onda.

El sistema de rayo láser no es influido por los cambios de temperatura y presión, ni por las turbulencias y las capas de gases, ni por los materiales absorbentes del

sonido y, asimismo, tampoco por los de baja constante dieléctrica (como ocurre en el medidor de nivel de radar). Es inmune a reflexiones y ecos provocados por polvo y al movimiento de palas del agitador.

El rayo láser emitido tiene muy poca divergencia por lo que puede dirigirse a través de pequeños espacios u orificios (50 mm diámetro) y es ideal en depósitos con muchas obstrucciones. La velocidad en la toma de datos del nivel puede llegar a ser de 3 lecturas por segundo. La energía del rayo láser está limitada para que no sea necesario llevar gafas de seguridad. Es un instrumento relativamente caro, pero es más económico que el de radiación.

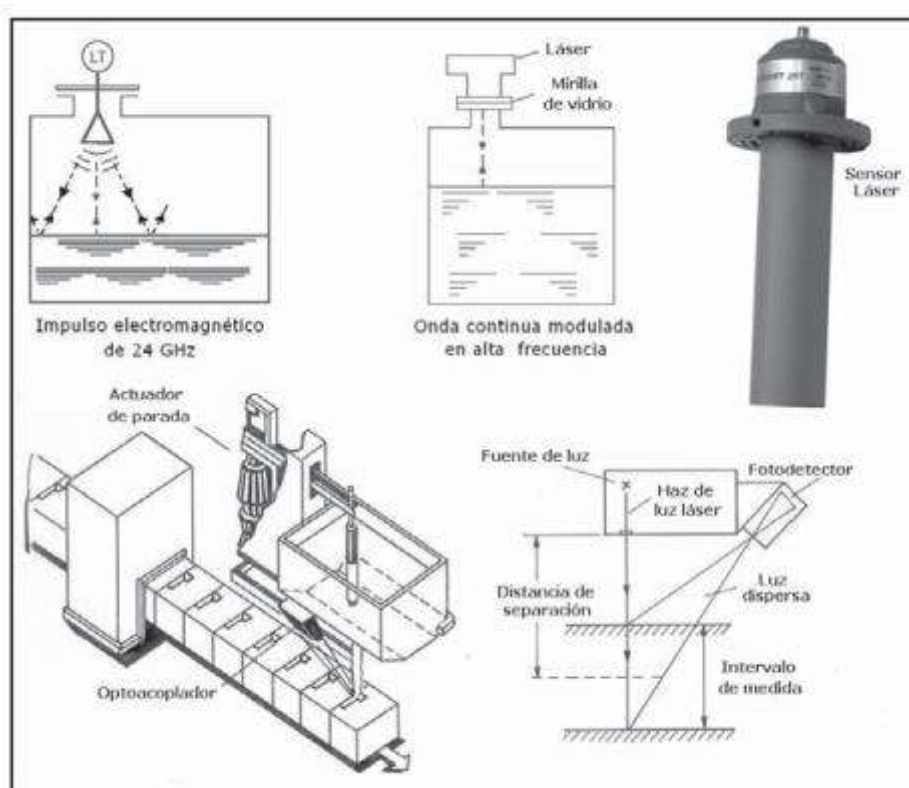


Figura 3.14: Medidor de nivel laser

3.3.6. Otros fenómenos

El detector de nivel óptico opera mediante la transmisión, reflexión o refracción de luz visible, infrarroja o láser, basándose en el principio de diferencia de índices de refracción entre el líquido y el gas o vapor presente en su superficie. El detector de nivel vibratorio consiste en una horquilla que vibra a su frecuencia de resonancia. Cuando la horquilla es mojada por el líquido reduce su frecuencia, con lo que un

circuito electrónico cierra o abre un contacto o excita un microprocesador compatible con salida TTL o un transistor de alta potencia. El detector de nivel térmico o de dispersión térmica consiste en dos sondas de resistencia, una de las cuales se calienta y la otra está a la temperatura del proceso, con lo que proporcionan dos resistencias diferentes. Cuando no hay líquido, la diferencia es mayor y cuando aumenta el nivel y moja las dos sondas, la sonda caliente se refrigera y se reduce la diferencia de temperaturas. Un circuito electrónico convierte la diferencia de resistencias en una señal en voltios de c.c. que excitan un contacto SPDT (conmutador unipolar) o DPDT (conmutador bipolar). El instrumento también puede utilizarse para detectar interfaces de líquidos.



Figura 3.15: Detectores de nivel óptico, vibratorio y térmico.

3.3.7. Medidor másico de nivel

La medición directa del contenido másico mediante presión hidrostática (HTG – Hydrostatic Tank Gauging) precisa de la instalación de una sonda de temperatura y de dos transmisores de presión de muy alta exactitud (P1 y P2), estabilidad y repetitividad, separados entre sí por una distancia fija. En el caso de tanques cerrados a presión, es necesario el uso de un tercer transmisor (P3) para medir la presión en la parte superior del tanque.

Estando los transmisores separados una distancia fija, la lectura de la diferencia de presiones P1 y P2 combinada con la temperatura de almacenamiento señalada por una sonda de resistencia Pt100, permite el cálculo de la densidad estándar del líquido. La masa del líquido se determina multiplicando la presión hidrostática del fondo del tanque por su área. El nivel se determina dividiendo la masa del líquido

por la densidad estándar (volumen estándar) y dividiendo el resultado por el área del tanque.

$$Densidad = \frac{P_{inf} - P_{media}}{h_{mi}}$$

$$Nivel = \frac{P_1 - P_s}{Densidad} + h_1$$

$$Masa = (P_1 - P_s) \times \text{área media del tanque}$$

$$Volumen = \frac{Masa}{Densidad}$$

La temperatura media tomada entre la parte inferior y la media del tanque permite corregir la densidad y el volumen calculados.

Otros factores que influyen son la configuración del tanque, los asentamientos del tanque en el terreno y las variaciones de densidad en las capas del líquido. La exactitud conseguida en el cálculo inventariable del volumen del tanque es de $\pm 0,1\%$, frente al típico $\pm 0,3\%$ conseguido con un medidor de nivel hidrostático clásico. La exactitud en la medida de la masa llega al $\pm 0,01\%$.

El sistema dispone de una unidad de cálculo en línea, situada en campo, hasta una distancia de 150 m del tanque. En ella se efectúan los cálculos de masa, densidad, volumen, nivel, etc. Los transmisores instalados en los tanques están unidos entre sí, y con el módulo de cálculo, mediante un par de hilos que alimentan simultáneamente las comunicaciones digitales. La presión es transmitida con independencia de los posibles cambios en la densidad del producto, de forma que se evitan las recalibraciones por variación de dicha densidad.

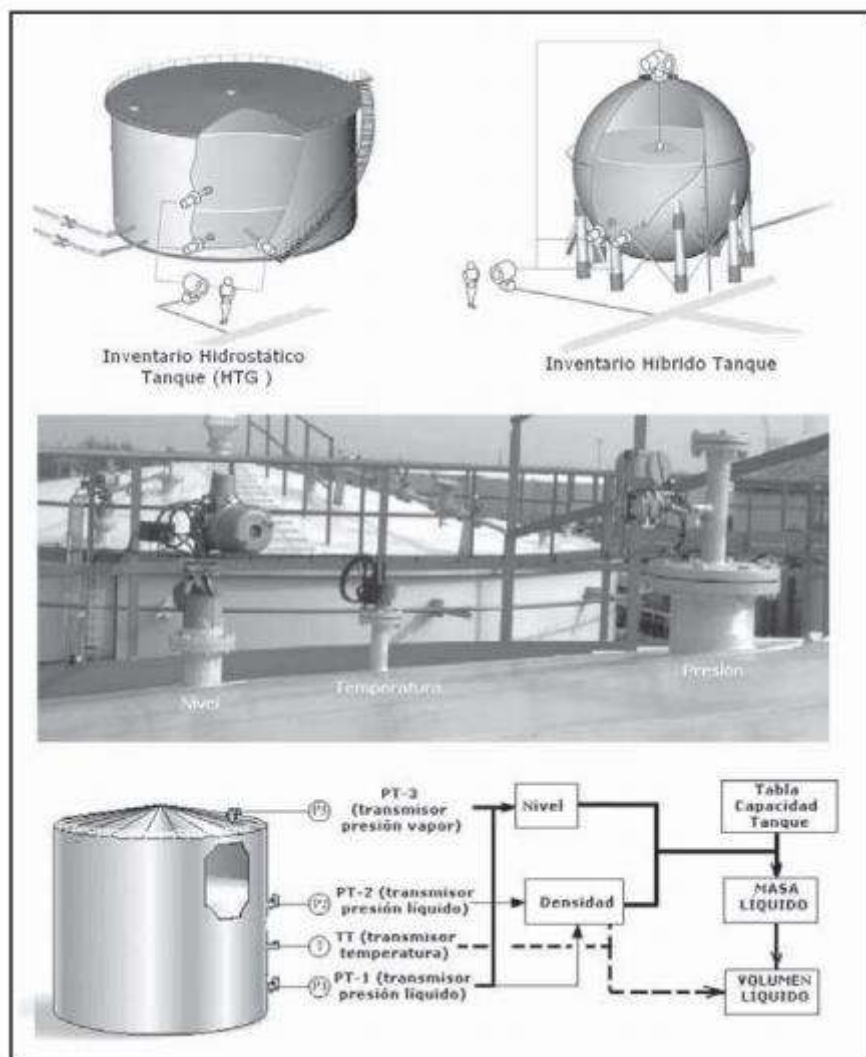


Figura 3.16: Esquema de funcionamiento de un sistema másico de nivel

El sistema híbrido para medida de masa, nivel y densidad, combina la aplicación por radar (que mide muy bien el nivel y el volumen), con el contenido másico por presión hidrostática (HTG – Hydrostatic Tank Gauging) que mide bien la densidad y la masa y utiliza la Tabla de Capacidad del Tanque (TCT – Tank Capacity Table). De este modo, se obtiene una buena medida de densidad, masa, nivel, volumen, temperatura, etc., resultando un sistema muy apropiado para inventarios, balances y trasvases, y para la medida de la densidad en tanques de mezclas (blending en tanques)

3.4. Medidores de caudal de agua

Existen dos tipos de medidores, los volumétricos que determinan el caudal en volumen del fluido, y los de masa que determinan el caudal masa. Se reservan los medidores volumétricos para la medida general de caudal y se destinan los medidores de caudal másico a aquellas aplicaciones en las que la exactitud de la medida es importante, por ejemplo, en las determinaciones finales del caudal del producto para su facturación.

Los principios de medida de los medidores de caudal son:

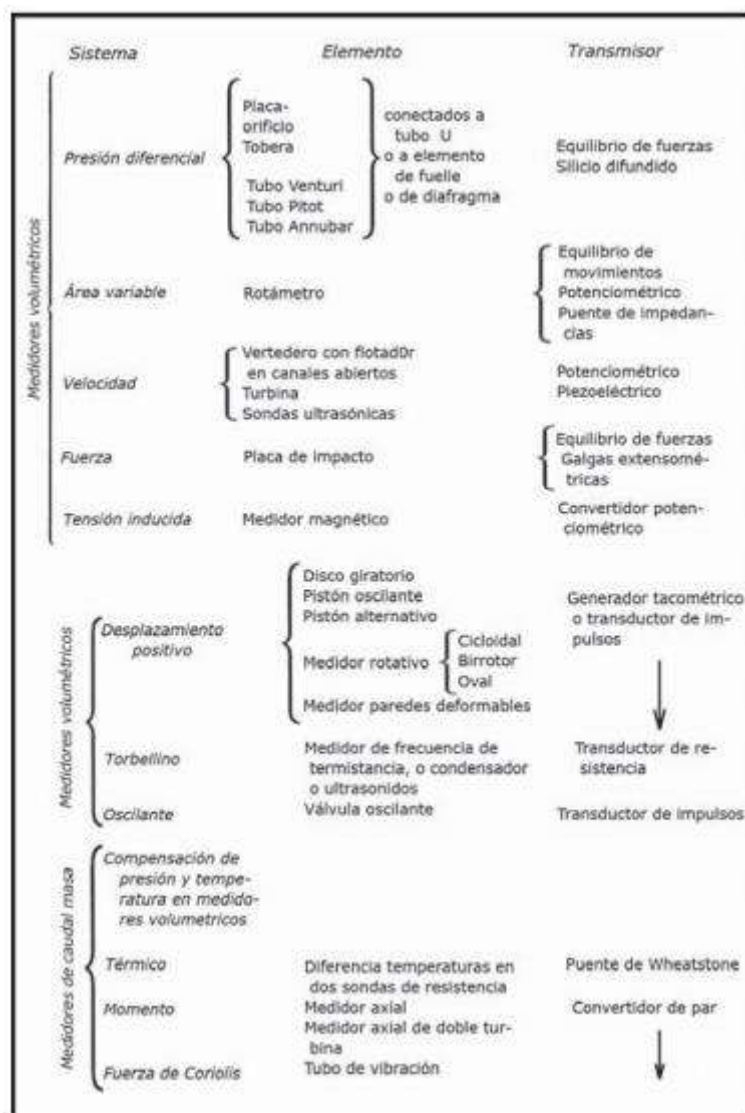


Figura 3.17: principios de medida de los medidores de caudal

3.4.1. Medidores volumétricos

Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen de fluido, bien sea directamente (desplazamiento), bien indirectamente por deducción o inferencia (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino). Es necesario señalar que la medida de caudal volumétrico en la industria se lleva a cabo principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos elementos se encuentran la placa orificio o diafragma, la tobera, el tubo Venturi, el tubo Pitot y el tubo Annubar.

3.4.2. Medidores de caudal masa

Si bien en la industria se utilizan normalmente medidores volumétricos de caudal, con el caudal determinado en las condiciones de servicio, en ocasiones interesa medir el caudal masa, sea inferencialmente por compensación de la presión, la temperatura o la densidad, o bien aprovechando características medibles de la masa con sistemas básicos de medida directa, los instrumentos térmicos, los de momento angular y los de Coriolis.

3.5. Medidores de turbidez de agua

La turbidez es una medida de la falta de transparencia de una muestra de agua debida a la presencia de partículas extrañas. Estas partículas pueden ser plancton, microorganismos, barro, etc.

La medida de la turbidez se efectúa para determinar el grado de penetración de la luz en el agua o a su través y permite interpretar, conjuntamente con la luz solar recibida y la cantidad de oxígeno disuelto, el aumento o disminución del material suspendido en el agua. La turbidez está expresada en unidades arbitrarias llamadas unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Por ejemplo, el agua de uso doméstico, industrial y residual tiene de 0,05 a 40 NTU.

El turbidímetro fue inventado por Jackson. Consiste en un tubo graduado que descansa en un soporte de vidrio, en cuya parte inferior se encuentra una vela encendida (Jackson candle). La muestra del agua se introduce lentamente en el

tubo hasta que a su través deja de verse la llama de la vela. Ha dejado de utilizarse y actualmente la turbidez puede medirse de tres formas en forma continua.

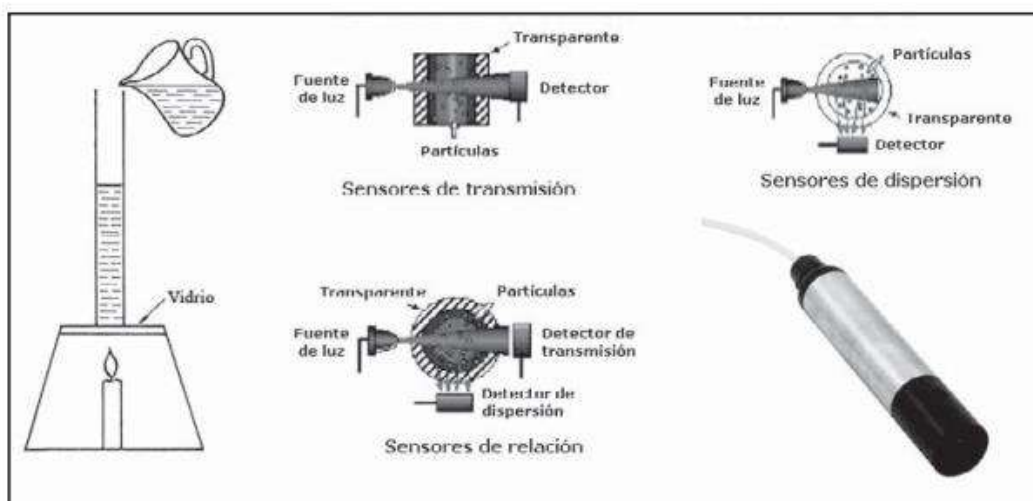


Figura 3.18: Sensores de turbidez de transmisión, reflexión, relación y el turbidímetro Jackson (Jackson Candle)

Sensores de transmisión (luz directa absorbida). La lámpara y la célula están situadas una enfrente de la otra, separadas por un tubo transparente lleno de la muestra de agua. La célula mide la absorción de la luz por los sólidos en suspensión. La señal disminuye con el aumento de la turbidez. La exactitud en la medida es del $\pm 5\%$ al $\pm 10\%$ y el campo de medida es de 0-2400 NTU. Sensores de dispersión (luz reflejada). Es el método más utilizado. Una lámpara emite un rayo de luz blanca, o bien una luz infrarroja, que un sistema de lentes enfoca en la muestra de agua. Una célula fotoeléctrica situada a 90° del haz de luz capta la luz reflejada por las partículas en suspensión. La intensidad de luz detectada es directamente proporcional a la turbidez del agua. El aparato utiliza un detector de luz adicional para corregir las variaciones de intensidad luminosa, los cambios de color y la ligera suciedad de la lente. La señal aumenta con el aumento de la turbidez, lo que es favorable para detectar valores bajos de la turbidez. El campo de medida es de 0 a 1000 NTU y la exactitud es del $\pm 1\%$. El método de medida se encuentra en la norma ISO 7027/EN 27027. Sensores de relación (relación entre la luz absorbida y la reflejada). Combina los dos métodos anteriores y favorece la eliminación de la influencia de los cambios de temperatura, la intensidad de luz de la fuente y aberraciones de la lente [5].

3.6. Otros requerimientos

Los demás requerimientos del sistema pueden enumerarse en:

- Bombas
- Contactores
- Electroválvulas
- HMI
- Interruptores Termomagnéticos
- Pulsadores
- Sensores de posición de las válvulas
- Sensores de presión

CAPÍTULO 4

4.1. ANALISIS DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE LA ESSAP

La planta de distribución utiliza el sistema de abastecimiento por gravedad.

El flujo de agua de aproximadamente 247 m³/h de entrada a la planta de distribución proviene de la planta de bombeo localizada en el Rio Tebikuary sobre la Ruta 8 camino a Villarrica y a 22 km de la ciudad de Coronel Oviedo.

En la Figura 4.1 se puede observar la ubicación geográfica de la planta de distribución y la planta de bombeo.

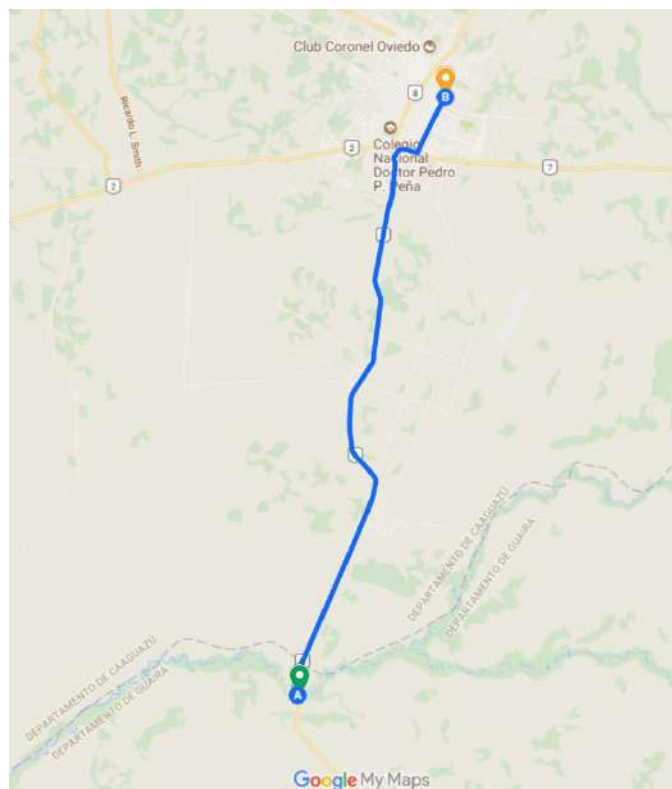


Figura 4.1: Localización de las plantas de distribución y tratamiento

La planta de distribución se encuentra en el punto B, mientras que la de tratamiento y bombeo; en el punto A.

La planta de distribución de la ESSAP actualmente cuenta con dos tanques para el almacenamiento del agua proveniente de la planta de tratamiento. También existe un tanque nuevo, pero aún no se encuentra acoplado al sistema hidráulico.

En la siguiente figura se puede apreciar el tanque elevado de 500.000 litros. (Figura 4.2).



Figura 4.2: Tanque elevado

El segundo tanque que es el reservorio se encuentra ubicado en el fondo del predio tiene una capacidad de 1.400.000 litros y solamente se pueden observar las entradas y salidas del sistema hidráulico porque se encuentra bajo suelo.

La siguiente imagen muestra los orificios por los cuales se sumergen los medidores de nivel. (Ver Figura 4.3). Mientras que las cañerías se muestran en la Figura 4.4.



Figura 4.3: Medidores de nivel del reservorio



Figura 4.4: Cañerías de entrada y salida de agua

El agua del reservorio es transportada al tanque elevado mediante bombas hidráulicas. Las especificaciones técnicas de los motores de las bombas se pueden observar en la placa de la Figura 4.5.



Figura 4.5: Placa de motores

Las especificaciones de las turbinas también se detallan a continuación en la Figura 4.6.



Figura 4.6: Placa de turbinas

Existen tres bombas hidráulicas de los cuales dos son utilizados en condiciones normales para el bombeo del agua al tanque elevado y uno se tiene como reserva. Los motores son alimentados con tensión trifásica con conductor de neutro.

La distancia entre los motores y el tablero de mando y potencia es relativamente corta, unos 5m hasta el primer motor, 6 y 7 metros para el segundo y tercer motor respectivamente.

El caudalímetro no funciona. Se puede observar que no muestra nada en la pantalla del dispositivo (Figura 4.7 – 4.8).



Figura 4.7: Caudalímetro

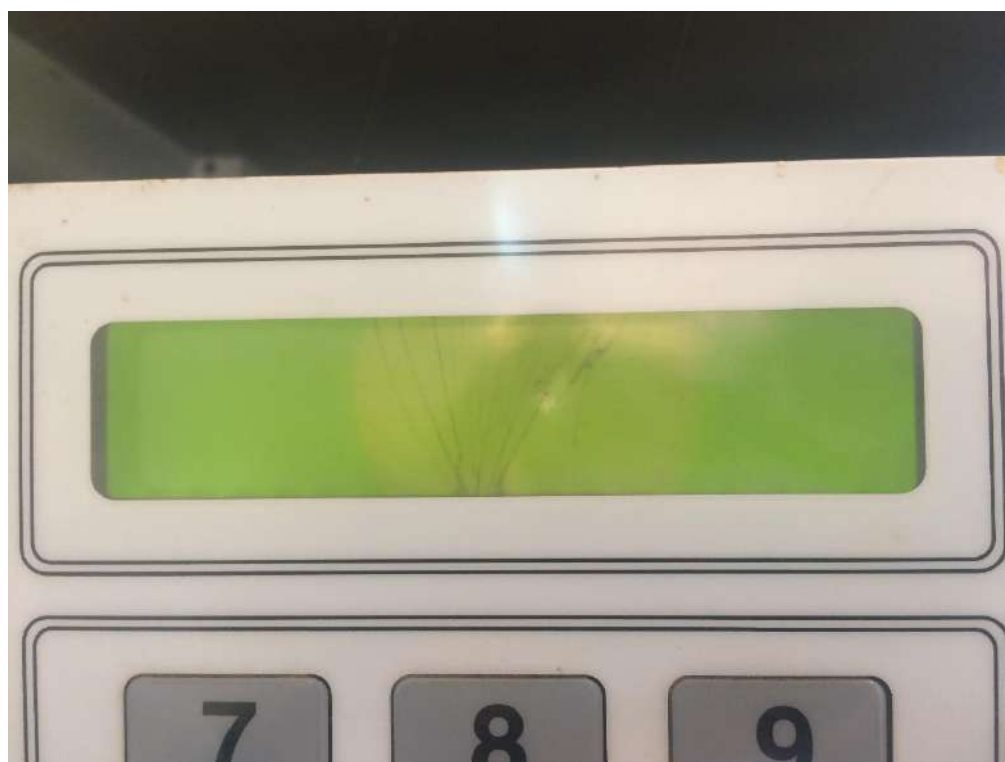


Figura 4.8: Display de Caudalímetro

El sistema de la planta posee las siguientes partes fundamentales:

Ramón López Benítez

Los tanques de agua ya mencionados.

Las Válvulas de apertura y cierre del flujo de agua por las diferentes tuberías del sistema. Estas válvulas sirven, ya sea para cortar el paso del agua al reservorio y distribuir directamente a la ciudad o para cortar el paso del agua a la ciudad, para regular la presión del agua, etc.



Figura 4.9: Válvula manual



Figura 4.10: Válvula manual

Las bombas de agua para bombear el agua del reservorio al tanque elevado. Figura 4.11.



Figura 4.11: Bombas de agua

El tablero banco de capacitores para la compensación de energía reactiva del sistema.



Figura 4.12: Banco de capacitores

Estos elementos mencionados anteriormente son los que conforman el sistema actual de la planta de distribución.

Cada uno de ellos serán explicados a continuación.

El tanque elevado es de 500.000 litros, mientras que el reservorio de 1.400.000 litros.

Cada uno de los tanques posee su medidor de nivel con boyas acopladas a una regla larga de madera con las medidas establecidas.

El tanque elevado se encuentra a una altura de 15 metros al lado Norte de la sala de control.

El tanque reservorio se encuentra al lado Este respecto a la sala de control.

Las cañerías de agua son de 300 mm de diámetro.

Las válvulas y las cañerías son de la marca Barbará (Actualmente Saint Gobain Canalizaçao).

El caudalímetro es de la marca Polysonics, modelo DCT6088 como se puede observar en la Figura 4.13.



Figura 4.13: Caudalímetro Polysonics DCT6088

Este caudalímetro posee las siguientes características:

- Salida analógica: 4-20 mA/RS232
- Alimentación: 110/220 VAC

Dentro del tablero principal se cuenta con un interruptor termomagnético de corte principal de 250 A alimentando a los siguientes elementos (ver Figura 4.14):

- Tres seccionadores fusibles trifásicos (cada fusible de 100A)
- Un Interruptor Termomagnético de 250 A
- Tres protecciones contra sobretensión DPS
- Nueve Transformadores de Corriente de 100/5 A
- Nueve contactores
- Tres temporizadores
- Tres autotransformadores

- Tres Relés térmicos de sobrecarga

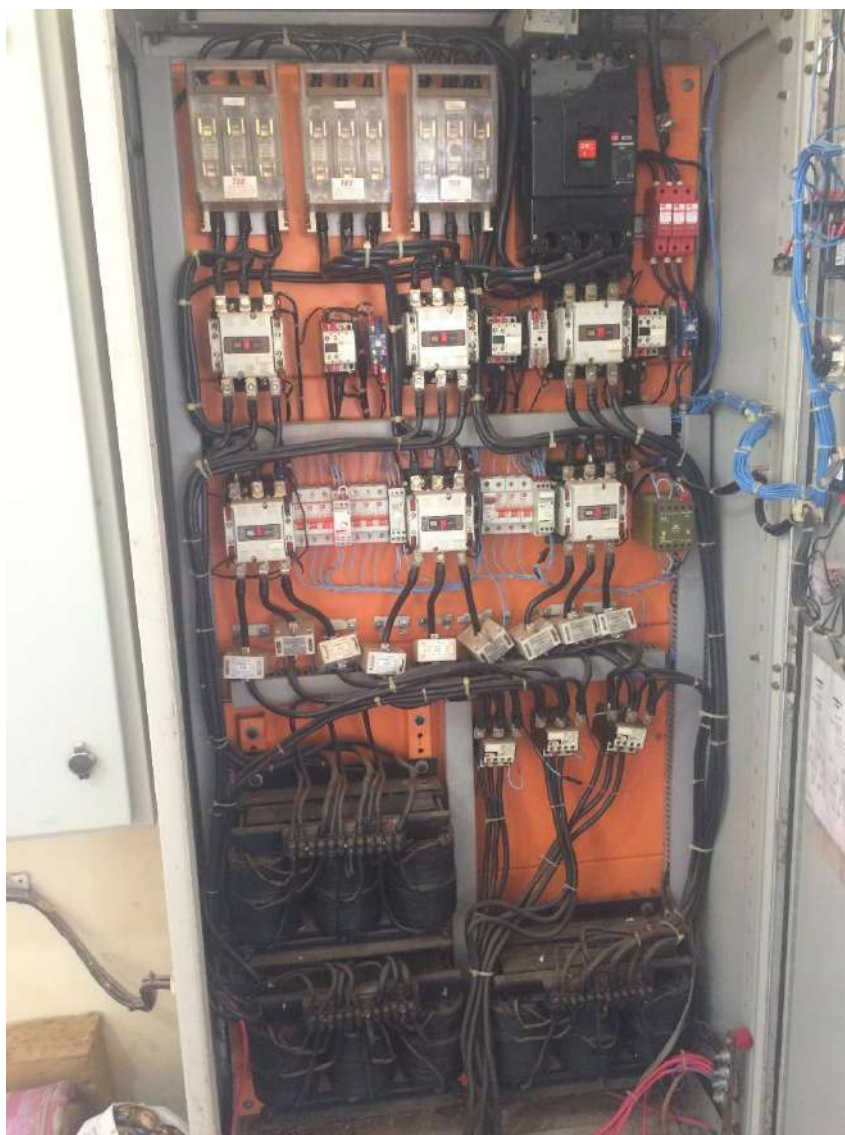


Figura 4.14: Tablero principal de mando y fuerza

El tipo de arranque de los motores es el arranque con autotransformador. En la Figura 4.15 se muestra el esquema eléctrico de potencia y de mando de este tipo de arranque.

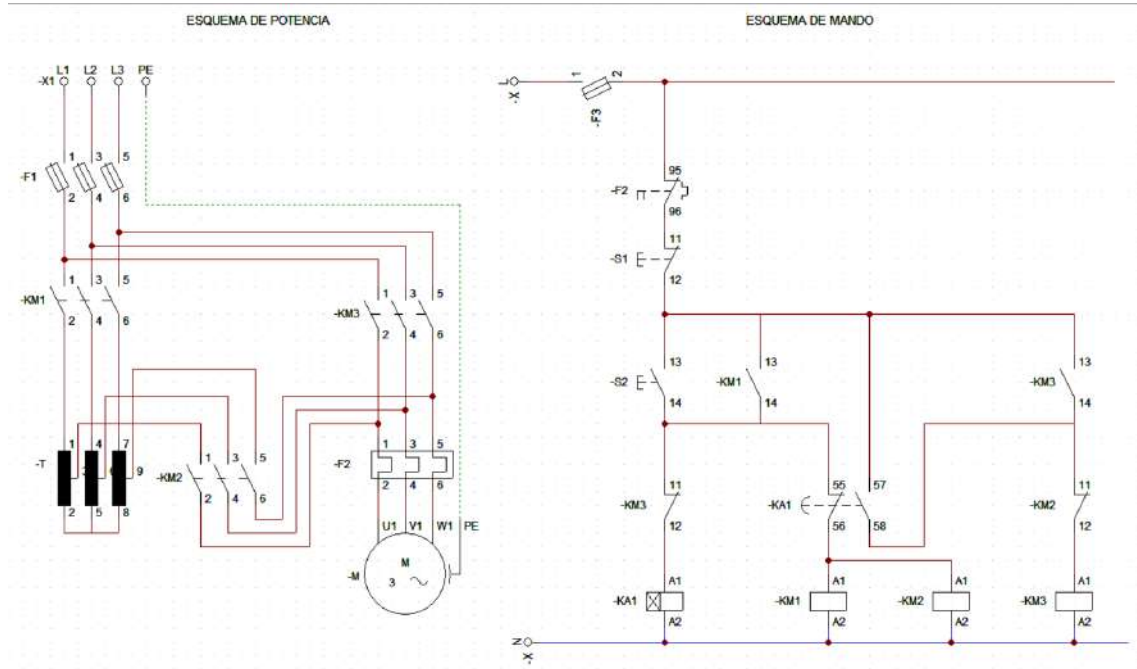


Figura 4.15: Arranque de motores trifásicos con autotransformador

A continuación, se muestran en la Figura 4.16, los esquemas que se encuentran en las puertas de los tableros en la sala de control de la planta.

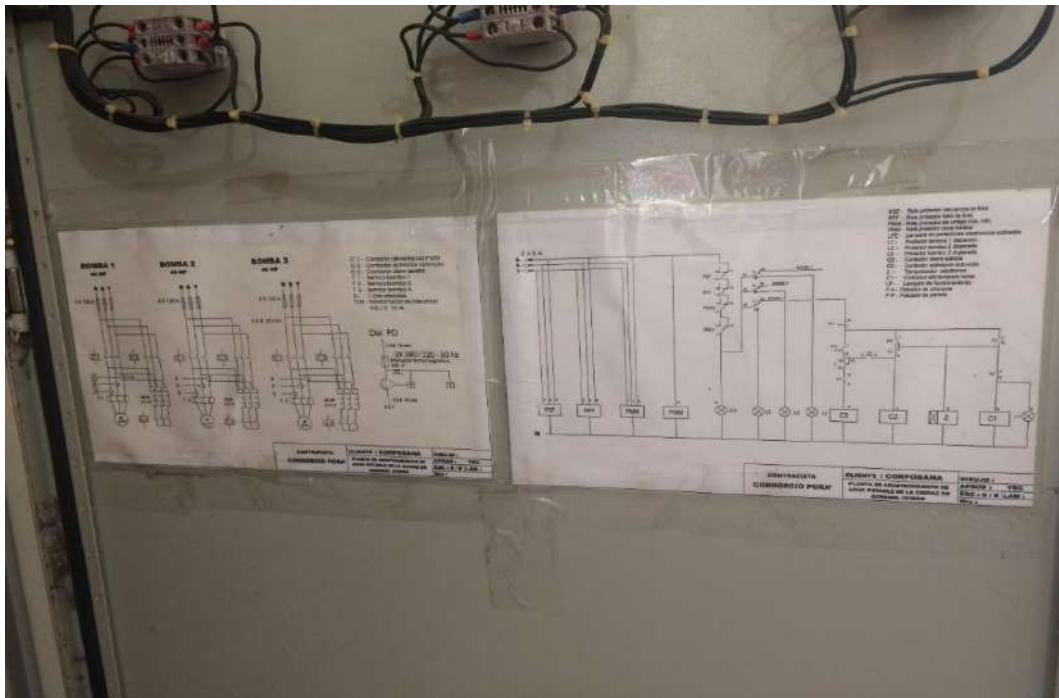


Figura 4.16: Esquemas de conexión

La Planta distribuidora suministra de agua potable a más de 8200 usuarios. Dicha cantidad va aumentando constantemente, lo cual requiere de la optimización del uso del agua.

Se debe cuidar constantemente la cantidad de vueltas de las válvulas porque es un requisito crucial para la administración correcta del agua durante el día.

El operador debe realizar una verificación de los niveles de agua en ambos tanques cada cierto tiempo para asegurar la disponibilidad del agua durante el tiempo de suministro. Uno de los indicadores de nivel se encuentra hacia el fondo del predio, detrás de la pared de la sala de control, lado Este, y el operador no posee una vista directa del indicador desde la sala, el indicador del tanque elevado se encuentra al lado Norte de la sala de control y lo puede observar por la ventana de la sala.



Figura 4.17: Operador de ESSAP observando indicador de nivel del tanque elevado

No poseer una vista directa de los indicadores presenta una dificultad para el operador. Debido a que en caso de inclemencias del tiempo debe exponerse al peligro que representan los fenómenos climáticos para garantizar el servicio.

Además de la dificultad para obtener los niveles de agua, el operador debe estar pendiente de otros elementos del sistema, debe realizar la mayor apertura o cierre de las válvulas de acuerdo al nivel en los tanques y accionar las motobombas cada cierto tiempo para evitar que el tanque elevado quede vacío. También existen otras tareas que debe realizar el operador, tales como llamar por teléfono a la planta de tratamiento de donde se provee de agua potable para avisar sobre la variación del caudal de agua en caso de que no sea suficiente, medir la turbidez del agua y anotar los parámetros cada hora para el registro.

Las válvulas no poseen indicadores de la posición de apertura, por tanto, el operador realiza la mayor o menor apertura de ellas basándose en su intuición en mayor parte. Existe una secuencia de apertura de las válvulas, así como un procedimiento de rutina para el encendido de las motobombas.

Para un mejor entendimiento de todo lo mencionado hasta ahora en el presente apartado. A continuación, se presentará un resumen del funcionamiento de la planta de distribución:

Cada día, incluyendo los siete días de la semana, la ESSAP en Coronel Oviedo empieza a abastecer de agua potable a la ciudad a partir de las 2:30 am, hasta las 22:00 pm, lo último si alcanza la provisión de agua en los tanques.

Al inicializar el servicio, se comienza con la puesta en marcha del motor de bomba 1 a las 2:30am con una vuelta y media de apertura de la válvula de salida, posteriormente se continúa con la apertura con media vuelta cada 15 minutos hasta las 5:00am.

A las 5:00am se llena el Tanque, en ese momento el nivel de agua en el tanque se encuentra a cuatro metros, indicado en el medidor.

En la Figura 4.18 se muestra un esquema con la localización de cada elemento del sistema.

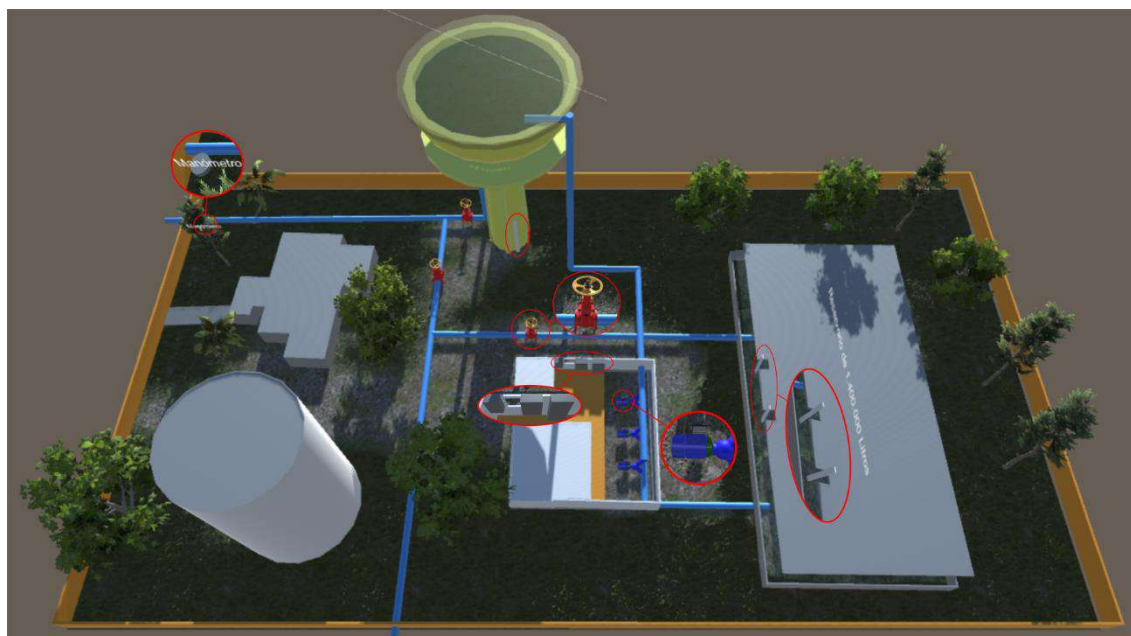


Figura 4.18: Vista de elementos de la planta

En la imagen anterior se pueden observar las válvulas, los motores, los tableros, las barras de medición de los niveles de agua y la ubicación del manómetro.

Cabe aclarar que las trayectorias de las tuberías se han simplificado con el fin de dar un mejor entendimiento del sistema. Existen otros elementos que se han obviado, tales elementos corresponden al sistema hidráulico y están montados en los tramos de las tuberías para facilitar el mantenimiento o para evitar el retorno del agua, que, si bien son importantes, sin ellos se puede representar el principio de funcionamiento de la planta.

A continuación, se muestran las trayectorias que el operador debe recorrer todos los días para realizar el chequeo de las mediciones y la apertura o cierre de las válvulas.

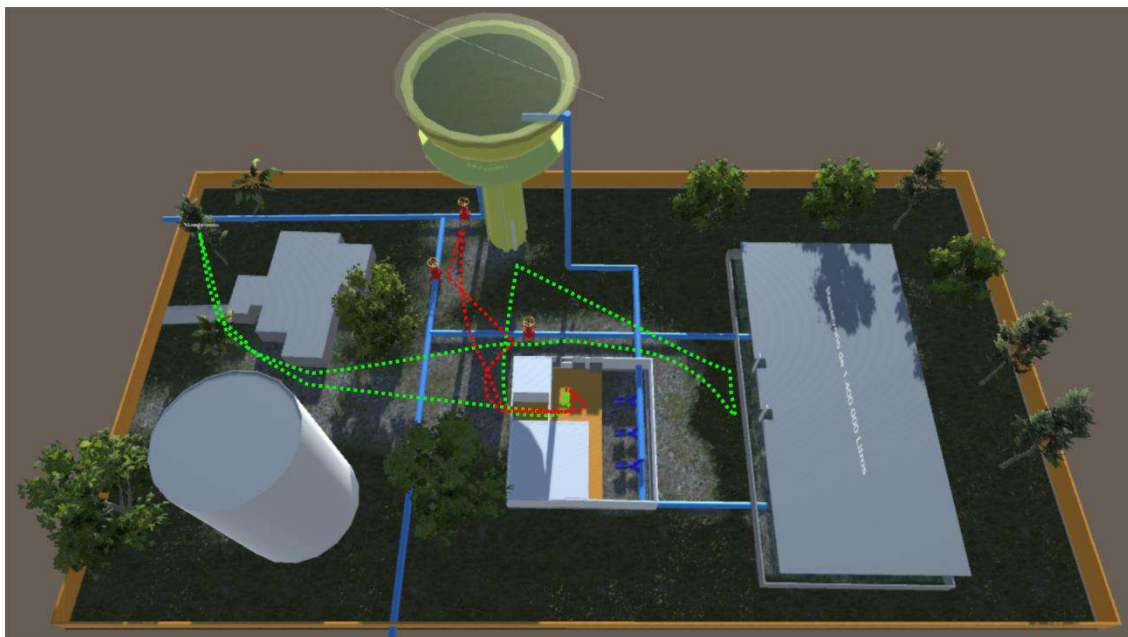


Figura 4.19: Trayectorias del operador

La instalación posee solamente lámparas indicadoras de encendido de los motores de las bombas. No cuenta con alarmas visuales ni sonoras para las demás variables. No existe una alarma de vaciado de los tanques, ni de llenado de los tanques, tampoco una alarma cuando el flujo de agua de salida es superior al flujo de entrada, ninguna alarma para sobrepresión o subpresión.

Actualmente, la planta de distribución no cuenta con un suministro de agua suficiente para el abastecimiento. Debido a que se producen dos cortes de cuatro horas al día en el suministro desde la planta de tratamiento para abastecer a las demás ciudades.

Existe un nuevo tanque cilíndrico metálico en proceso de construcción que poseerá una capacidad de 1.500.000 litros. Se espera que en unos meses ya no exista el problema de insuficiencia de agua.

III. RESUMEN EJECUTIVO

CAPITULO 5

5.1. Descripción del trabajo

El presente proyecto final de grado consiste en la realización del diseño de la automatización del actual sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Coronel Oviedo.

5.1.1. Métodos y Técnicas a utilizar

5.1.1.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación utilizado según el objeto de estudio es la investigación aplicada, y según la extensión un estudio de caso.

5.1.1.2. Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizaron las técnicas de observación y la entrevista. La técnica de observación fue de modalidad no estructurada y tuvo como instrumento el registro descriptivo. Mientras que la entrevista fue con guía de entrevista semi estructurada.

5.1.1.3. Métodos y Análisis de Datos

En el análisis de los datos fueron aplicados tanto el análisis cualitativo para la observación y la entrevista; como el análisis cuantitativo para el análisis de las tasas de fallas existentes en el lugar.

5.1.1.4. Fases Metodológicas

El trabajo se desarrolló abarcando las siguientes fases metodológicas:

Fase I: Relevamiento de datos

En esta fase se procedió a la recolección de datos en el establecimiento de la planta de distribución de la ESSAP a fin de conocer todas las variables dentro del sistema actual por medio de entrevistas a los operadores y observación directa de los

procesos. Se realizaron las consultas pertinentes a la dirección técnica del establecimiento.

Para un mejor aprovechamiento de los recursos financieros se agruparon todos los componentes que pudieron ser reutilizados en el proyecto.

Fase II: Selección de variables

En esta fase se determinaron cuáles son aquellas variables a medir y controlar que forman parte de un sistema de distribución de agua potable. Mediante visitas a la planta de distribución de agua y consultas a los operadores o al administrador. Esas mismas variables mencionadas fueron controladas automáticamente con el nuevo sistema realizado; que fue simulado mediante software y probado físicamente mediante circuitos electrónicos con sensores y actuadores.

Fase III: Análisis de alternativas para la automatización

En esta fase se analizaron las alternativas para la automatización del sistema de distribución de agua potable que mejor se ajustaron a los problemas mencionados al principio en la descripción del problema.

Se agruparon las alternativas con PLC por marca, modelo, precio. De la misma manera se agruparon por otro lado las alternativas con microcontroladores.

Todas las alternativas se analizaron también según su dificultad de incorporación de una interfaz HMI.

Fase IV: Cálculos y diseño de la arquitectura de la red de comunicación

Esta fase consta de varias actividades: se realizaron todos los cálculos necesarios, el modelado matemático de los procesos, se realizó el diseño del circuito de control y de potencia para el sistema, la programación del dispositivo de control central. También el diseño de la red de comunicación entre los dispositivos forma parte de esta fase.

Fase V: Simulación y pruebas de funcionamiento

En esta fase se realizaron: la simulación del nuevo sistema diseñado mediante software de simulación de circuitos electrónicos y las pruebas mediante prototipos a escala del sistema.

Fase VI: Elaboración de la Evaluación Económica

En esta fase se realizaron los estudios económicos de las alternativas disponibles para la automatización del sistema de distribución de agua potable. La relación entre precio y eficiencia, durabilidad, disponibilidad en el mercado, etc., se estudiaron en esta fase.

Se seleccionó la alternativa que fue técnica y económicamente más factible.

5.2. Justificación

Con el proyecto se logrará un mejor confort para el operador de turno permitiéndole observar en tiempo real en una interfaz gráfica de computadora todas las partes del proceso, sus estados y controlar sus diferentes elementos. Se contará con alarmas visuales y acústicas tales como aviso de niveles mínimo-máximo de agua en los tanques, sobrepresión-subpresión en la red de distribución y variación del caudal de llegada. Tales elementos mencionados no existen en la instalación actual, lo que dificulta al operador de turno el registro adecuado de los datos porque debe realizar varios recorridos cada hora para verificar el estado de los medidores; que, por su parte, estos últimos no cuentan con un funcionamiento óptimo por el tiempo de utilización que poseen. Cabe mencionar además que el operador debe arrancar o parar los motores y realizar la apertura o cierre de las válvulas, entre otras operaciones de turno y no puede realizar dichas operaciones al mismo tiempo.

La ausencia de un sistema de control automatizado promueve la aparición de fallas inminentes en el proceso y evita un ahorro económico para la empresa.

El sistema supervisado de forma automática por el controlador central podrá determinar las aperturas de las válvulas con relación a la cantidad de agua disponible y a la presión, también podrá accionar o parar las bombas hidráulicas.

Se implementarán tecnologías que tienen la mejor relación entre confiabilidad/precio y se encuentren disponibles en el mercado, lo que posibilitará a la empresa reducir los inconvenientes a la hora de sustituir alguno de los componentes.

5.3. Finalidad del proyecto

Este proyecto tiene como finalidad diseñar un sistema automatizado de distribución de agua potable y servir como base para futuros proyectos sobre el mismo tema.

5.4. Metas

Mejorar la calidad del servicio de agua potable y reducir los gastos de explotación del servicio.

5.5. Objetivos

5.5.1. Objetivo general

Diseñar la automatización del sistema de distribución de agua potable de la ESSAP en la ciudad de Coronel Oviedo

5.5.2. Objetivos específicos

- Determinar las principales variables a medir y controlar en un sistema de distribución de agua potable.
- Analizar las alternativas de automatización de sistemas de distribución de agua potable.
- Estudiar técnica y económicamente las alternativas de automatización de sistemas de distribución de agua potable y seleccionar una que sea más factible.
- Diseñar el esquema de conexión de los elementos de potencia y control del sistema.
- Determinar la programación adecuada del dispositivo seleccionado para el control del sistema.
- Estudiar el comportamiento de los elementos intercomunicados del sistema según su programación.

5.6. Beneficiarios

Con la utilización de un sistema de control automático y con interfaz SCADA se logrará tener un control centralizado de los diferentes elementos del sistema, lo cual significa que el operador tendrá siempre a mano toda la información sobre el estado de los niveles de agua tanto en el tanque elevado como en el reservorio, el caudal de entrada de agua, el nivel de presión, el estado de las motobombas y el porcentaje de apertura de la válvula de distribución principal. Teniendo todas esas informaciones, le permitirá trabajar más concentrado y tranquilo, podrá actuar sobre el estado de las salidas directamente desde el SCADA sin necesidad de estar saliendo del recinto para mirar los indicadores de nivel, operar las válvulas manualmente o ver la presión de salida.

Al poseer un sistema de control eficaz, mejorará el servicio para los usuarios y disminuirán las quejas mejorando la imagen de la Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay e irá aumentando la cantidad de usuarios cada vez más rápido.

5.7. Producto

Con la realización del proyecto se han obtenido los siguientes productos:

- Sistema de distribución de agua potable automatizado con sistema SCADA mediante Arduino y PC.
- Utilización de Arduino como controlador de procesos industriales. Se presenta como producto porque no es muy conocido en el área industrial, aunque sea muy conocido en el área estudiantil de ingeniería electrónica.
- Utilización de Java como interfaz SCADA para procesos industriales.

5.8. Localización física y cobertura espacial

La ubicación de la planta de distribución agua potable de la ESSAP en Coronel Oviedo se encuentra sobre la ruta Héctor Roque Duarte y Eugenio A. Garay. La figura siguiente muestra un mapa con la ubicación geográfica.

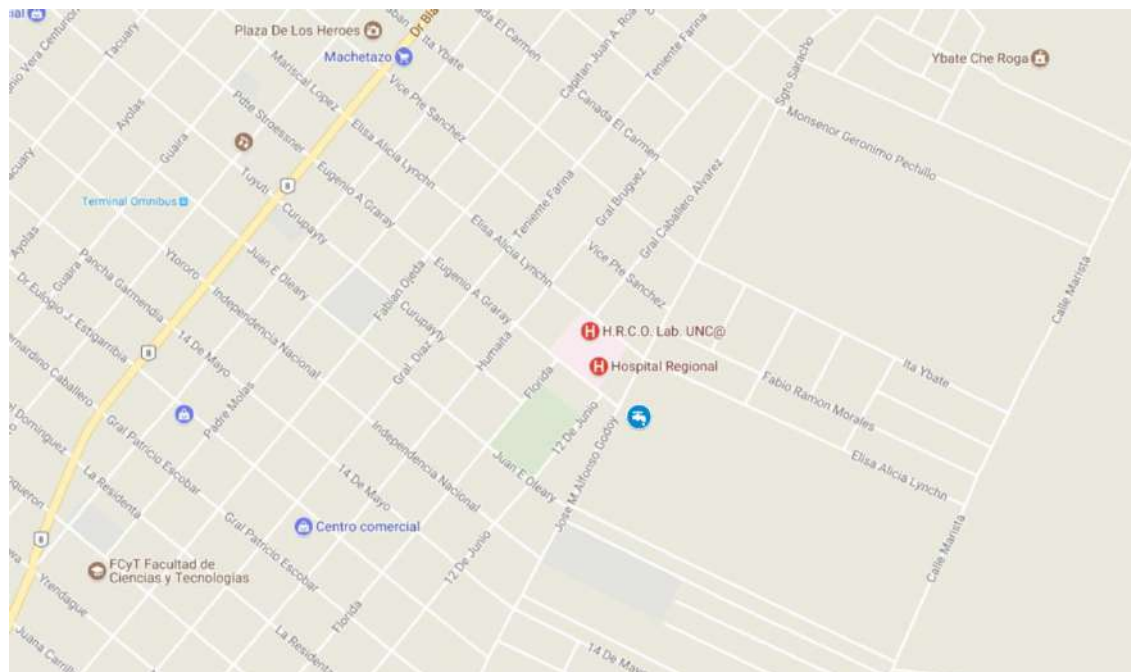


Figura 5.1: Localización de la planta de distribución de la ESSAP

El icono azul con el grifo representa la localización de la planta de distribución de la ESSAP.

5.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas

- Visita técnica a la ESSAP - Coronel Oviedo
- Verificación y clasificación de equipos existentes en la ESSAP- Coronel Oviedo
- Análisis de condiciones actuales
- Bosquejo de las condiciones actuales de las instalaciones eléctricas y de control
- Realización de un listado de las variables requeridas de medición y control
- Programación de la interfaz SCADA y del controlador

5.10. Recursos necesarios

Aquí se presentan los recursos necesarios para la realización de las pruebas y simulaciones del sistema. Todos los materiales fueron necesarios para verificar la funcionalidad del sistema a medida que se avanzaba con la programación del mismo.

5.10.1. Recursos humanos

- Personal operador del sistema

5.10.2. Recursos materiales

- Computadora
- Netbeans (java)
- Microcontrolador y otros dispositivos programables
- Sensores: de nivel de líquido, de presión, de caudal, de turbidez
- Electroválvula
- Servomotor

5.10.3. Recursos financieros

Los recursos financieros utilizados para la realización de este proyecto de fin de grado se muestran en la Tabla 5.1.

Recursos	Costo parcial
Netbeans (java). Incluido en paquete de internet	0 ¢
EPANET	0 ¢
Microcontrolador Arduino UNO o equivalente	100.000 ¢
Sensores: de nivel de líquido, de presión, de caudal, de turbidez	1.000.000 ¢
Electroválvula	100.000 ¢
Servomotor	200.000 ¢
Computadora	0 ¢
COSTO TOTAL (IVA incluido):	1.400.000 ¢

Tabla 5.1: Recursos financieros

5.11. Factibilidad técnica

Las soluciones técnicas presentadas en el Capítulo 6. Todas, son factibles técnicamente. Cada una requiere de un tiempo determinado de implementación, unas son más confiables que otras, ya sea por la marca o por el tiempo que han estado en el mercado como líderes en el área de la automatización y control.

Pero poseen el mismo principio de funcionamiento; leer las entradas, procesarlas y dar un resultado como salida. Y todas están basadas en circuitos integrados,

microprocesadores y memorias RAM. Esas son algunas de las características comunes entre los diferentes controladores PLCs y microcontroladores.

Por tanto, resulta técnicamente factible realizar un sistema de control automatizado con Arduino UNO y PC. Es más, solamente una PC sería más que suficiente y con capacidad de sobra para procesar la información, es mucho más potente que un PLC. El Arduino en tal caso sería el dispositivo adquisidor de datos y a la vez la interfaz de la PC con el exterior.

5.12. Factibilidad económica

Las alternativas presentadas en el Capítulo 6 son solamente algunas, en el mercado existen cientos de opciones, cada una posee sus ventajas y desventajas. En este proyecto se ha seleccionado la alternativa de Arduino con PC por las razones que se explican en el Capítulo 6 y teniendo como principal característica a favor su bajo precio.

El Raspberry Pi con Arduino también sería otra opción económicamente viable. Pero posee ciertos detalles de implementación por los cuales no se la ha seleccionado. En el Capítulo 6 se detallan las ventajas y desventajas de esta alternativa.

El PLC con PC es otra de las alternativas. El elevado precio del PLC, su costo de soporte y programación son razones por las que no ha sido seleccionada.

El PLC con panel HMI es la alternativa más costosa. No ha quedado seleccionada por dicha razón.

Además de los controladores, existen los demás componentes o elementos para el funcionamiento del sistema.

Los sensores y actuadores necesarios también existen de diferentes precios, y la confiabilidad de cada uno es directamente proporcional a su costo.

5.12.1. Beneficios

El sistema se trata de la implementación de nuevas tecnologías para el control de un sistema que hasta el momento se encuentra en funcionamiento, pero de un modo obsoleto considerando los avances tecnológicos de la época.

Con la implementación del nuevo sistema mejorará la calidad del servicio de agua potable. Por lo que más usuarios confiarán y recomendarán la empresa, aumentando así la cantidad de abonados.

Se evitarán pérdidas de agua por rotura de cañerías por tener un sistema capaz de detectar y limitar el flujo anormal de agua.

Un control sobre la presión de agua evitará la sobrepresión en las cañerías que ocurre durante la manipulación manual de las válvulas al no posee una retroalimentación directa de la cantidad de presión de salida.

Disminuirán las averías en los motores de las bombas alternando el funcionamiento de cada motor cada cierto tiempo evitando el sobrecalentamiento de los mismos.

5.12.2. Costos

La Tabla 5.2 muestra la lista de materiales necesarios para el proyecto con sus respectivos costos. La mayoría de los precios presentados fueron obtenidos mediante pedidos de presupuestos en páginas web especializadas en la venta de equipos electrónicos y eléctricos industriales, algunas de ellas son nacionales y otras extranjeras. Se utilizaron presupuestos de Record Electric, Etecnia, 4Matic Valves, IndiaMart, Ebay y otros. Mientras que la Tabla 5.3 presenta el costo de mano de obra calculado en un 30% del costo total de los materiales.

Costo de materiales						
Item	Cant.	Unidad	Nombre	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1	2	u	Sensor ultrasónico Pepperl + Fuchs UB4000-30GM-E5-V15	Con salida 4 - 20 mA	2.100.000 ₺	4.620.000 ₺
2	1	u	Sensor de presión WIKA A-10	Con salida 4 - 20 mA	565.000 ₺	621.500 ₺
3	1	u	AZURE® BUTTERFLY AZURE w/ACTUATOR D	Con SMART CARD para control ajustable de \$1,153.00	40.499.200 ₺	44.549.120 ₺
4	1	u	ABB FSM4000-SE41F	Caudalímetro electromagnético con salida 4 - 20 mA	9.887.500 ₺	10.876.250 ₺
5	1	u	Placa Arduino	Controlador principal	100.000 ₺	110.000 ₺

6	1	u	Driver de potencia para Arduino	Diseñado en el proyecto	150.000 ₺	165.000 ₺
7	1	u	PC, Notebook		1.500.000 ₺	1.650.000 ₺
8	1	u	DOGA DC Geared Motor	9 Nm a 60 Nm 45 rpm	1.800.000 ₺	1.980.000 ₺
9	280	m	Cable 1 mm2	Cables de señal. Impedancia maxima de 700OHM de los tramos.	1.500 ₺	462.000 ₺
10	1	u	Caja metálica externa	Con puerta	300.000 ₺	330.000 ₺
11	100	u	Collarín 3x100mm	Color negro	150 ₺	16.500 ₺
12	5	u	Cable canal 20x10mm 2m	Con adhesivo	9.100 ₺	50.050 ₺
TOTAL:						65.430.420 ₺

Tabla 5.2: Costo de materiales

COSTOS	TOTAL (IVA incluido):
COSTO DE MANO DE OBRA. 30 % DEL COSTO DE MATERIALES.	19.629.126 ₺
COSTO DE INGENIERIA	24.000.000 ₺
TOTAL (IVA incluido):	43.629.126 ₺

Tabla 5.3: Costo de mano de obra

El costo de mano de obra de la Tabla 5.3 se refiere al costo de montaje y puesta en funcionamiento de cada uno de los componentes del proyecto. Mientras que el costo de ingeniería se refiere al salario del ingeniero a cargo del diseño y estudio del proyecto teniendo en cuenta una duración del trabajo de tres meses (ver Tabla 5.4) y considerando un salario de ocho millones de guaraníes. Más detalles acerca del nivel salarial se presentan en el Apéndice A.1.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	
PRIMER MES	Relevamiento y análisis de datos Selección de variables de medición y control
SEGUNDO MES	Diseño de ingeniería Análisis de alternativas para la automatización Cálculos y diseño de la arquitectura de la red de comunicación
TERCER MES	Simulación y pruebas de funcionamiento Diseño del circuito e interfaz de control

Tabla 5.4: Cronograma de actividades

5.12.3. Evaluación económica

5.12.3.1. Pérdidas por roturas de tuberías principales de la red de distribución

Con el sistema actual se tiene una pérdida aproximada de 43.362.000 Gs por año debido a roturas de las tuberías principales de distribución. Ver Apéndice A.2 el detalle de los cálculos realizados para llegar a dicho monto.

Esta cantidad se convierte en beneficio con la implementación del sistema automatizado.

5.12.3.2. Pérdidas por desbordamientos de los tanques

Los desbordamientos de tanques generan un total de pérdidas aproximado de 36.035.000 Gs por año en la planta de distribución. El cálculo de estas pérdidas se detalla en el Apéndice A.3.

Al igual que en el punto anterior, estas pérdidas se convierten en beneficios con la implementación del sistema.

5.12.3.3. Pérdidas por casos de averías de motores

Con la implementación de la alternativa seleccionada se estima un total de ahorro de aproximadamente 3.000.000 Gs por año por la disminución de casos de avería en los motores de las bombas. Ver Apéndice A.4 para el detalle de los cálculos.

5.12.3.4. Pérdidas en consumo de energía eléctrica

Durante los desbordamientos de los tanques. Los motores trabajan la misma cantidad de horas que duran los desbordamientos. Por tanto, existen consumos innecesarios de energía eléctrica. Dichos consumos representan un monto aproximado de 810.000 Gs por año (ver Apéndice A.5). Esta cantidad también se convierte en beneficio luego de la implementación del sistema.

5.12.3.5. Resumen de pérdidas con el sistema actual

A continuación, en la Tabla 5.5 se presenta un resumen de los ahorros financieros que se conseguirán con la implementación del sistema de automatización. Más detalles sobre las pérdidas en la planta se encuentran en el Apéndice A.6.

AHORRO ANUAL	TOTAL
POR DISMINUCIÓN DE ROTURA DE TUBERIAS	43.632.000 ₺
POR ELIMINACIÓN DE DESBORDAMIENTO EN LOS TANQUES	36.035.000 ₺
POR DISMINUCIÓN DE AVERIA DE MOTORES	3.000.000 ₺
POR CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA	810.000 ₺
TOTAL =	83.477.000 ₺

Tabla 5.5: Resumen de pérdidas

5.12.3.6. Determinación del flujo de caja proyectada

AÑO	INVERSIÓN	Costo de Ingeniería	Costos de operación y mantenimiento	TOTAL EGRESOS	INGRESOS POR AHORRO	TOTAL INGRESOS	FLUJO	HISTORIAL DEL VAN
0	85.059.546 ₺	24.000.000 ₺		109.059.546 ₺		0 ₺	-109.059.546 ₺	
1	0 ₺	0 ₺	21.811.909 ₺	21.811.909 ₺	83.477.000 ₺	83.477.000 ₺	61.665.091 ₺	-53.704.886 ₺
2	0 ₺	0 ₺	21.811.909 ₺	21.811.909 ₺	83.477.000 ₺	83.477.000 ₺	61.665.091 ₺	-4.014.887 ₺
3	0 ₺	0 ₺	21.811.909 ₺	21.811.909 ₺	83.477.000 ₺	83.477.000 ₺	61.665.091 ₺	40.590.140 ₺
4	0 ₺	0 ₺	21.811.909 ₺	21.811.909 ₺	83.477.000 ₺	83.477.000 ₺	61.665.091 ₺	80.630.559 ₺
5	0 ₺	0 ₺	21.811.909 ₺	21.811.909 ₺	83.477.000 ₺	83.477.000 ₺	61.665.091 ₺	116.573.484 ₺
6	0 ₺	0 ₺	21.811.909 ₺	21.811.909 ₺	83.477.000 ₺	83.477.000 ₺	61.665.091 ₺	148.838.229 ₺
7	0 ₺	0 ₺	21.811.909 ₺	21.811.909 ₺	83.477.000 ₺	83.477.000 ₺	61.665.091 ₺	177.801.195 ₺
8	0 ₺	0 ₺	21.811.909 ₺	21.811.909 ₺	83.477.000 ₺	83.477.000 ₺	61.665.091 ₺	203.800.267 ₺
9	0 ₺	0 ₺	21.811.909 ₺	21.811.909 ₺	83.477.000 ₺	83.477.000 ₺	61.665.091 ₺	227.138.752 ₺
10	0 ₺	0 ₺	21.811.909 ₺	21.811.909 ₺	83.477.000 ₺	83.477.000 ₺	61.665.091 ₺	248.088.918 ₺

Tabla 5.6: Flujo de caja proyectada

La cantidad total de inversión que corresponde a la suma de 109.059.546 Gs se obtuvo de la suma del costo total de materiales, el costo de la mano de obra y el costo de ingeniería. Por otra parte, el sistema requerirá de mantenimientos preventivos y correctivos, esto último si se diera el caso de averías, para permitir la disponibilidad del sistema en todo momento, los costos de mantenimiento estimados fueron incluidos dentro del costo de operación del sistema, ello se ha calculado al 20% del costo total del proyecto, y corresponde a la suma de 21.811.909 Gs por año. Los detalles acerca de los costos de mantenimiento se explican en el Apéndice A.7.

5.12.3.7. Determinación de la tasa interna de rendimiento (TIR)

Se obtuvo una tasa interna de rendimiento del 56%, lo cual indica cuantitativamente que el proyecto posee una muy buena rentabilidad porque el valor obtenido es superior a seis veces la tasa de interés del 9% aplicado en el estudio financiero del mismo [11] [12].

5.12.3.8. Determinación del valor presente neto (VPN)

El resultado obtenido en el estudio del VPN también arrojó un resultado positivo al final del periodo de estudio, lo que significa que el proyecto es rentable económicamente. El valor de VPN obtenido es de 286.685.899 Gs como se puede observar en la Tabla 5.6 del punto 5.12.3.6.

5.12.3.9. Determinación del periodo de recuperación de la inversión (PRI)

El tiempo necesario para la recuperación del dinero invertido en el proyecto es de 3 años, como se puede observar en la Tabla 5.6 del punto 5.12.3.6, en el cual se aprecia en la columna de Historial del VAN que, se tiene un valor positivo a partir del tercer año. Ver Apéndice A.8.

5.12.3.10. Relación Beneficio - Costo

La Relación Beneficio - Costo (B/C), da un resultado superior a la unidad lo que indica que la inversión en este proyecto es atractiva, porque demuestra que los beneficios son mayores que los costos. Ver Apéndice A.9.

5.12.3.11. Resumen de la evaluación económica del proyecto

RESUMEN FINANCIERO		
INDICADOR	VALOR	VIABLE
TIR	56%	Sí
VPN	286.685.899 ₧	Sí
PRI	3 años	Sí
B/C	2,15	Sí

Tabla 5.7: Resumen financiero

Los precios de materiales y mano de obra incluyen IVA.

Todos los cálculos financieros se calcularon considerando escenarios tanto base como conservador, con una tasa de interés anual del 9%, en base a datos obtenidos del Informe de Política Monetaria del BCP y estudios de actualización de la Tasa Social de Descuento de la Secretaría Nacional de Inversión Pública (SNIP) [12] [11].

IV.INGENIERÍA DE DISEÑO

CAPÍTULO 6

6.1. Análisis de alternativas para la automatización

En la actualidad existen una gama extensa de alternativas para cualquier tipo de automatización. La evolución de los dispositivos electrónicos tales como controladores lógicos programables y dispositivos lógicos programables ha sido notable.

A tal punto de conseguir un mini ordenador del tamaño de una tarjeta de crédito. Esto una década atrás era impensable.

En este capítulo se realizará una comparación teniendo en cuenta diferentes criterios tales como disponibilidad, seguridad, precio, etc.

De acuerdo a los mencionados criterios se evaluará, analizará y se trabajará por cada alternativa disponible.

Se analizarán las diferentes alternativas teniendo en cuenta sus especificaciones técnicas, compatibilidad entre componentes y siguiendo un modelo o representación esquemática del sistema. Véase Figura 6.1.

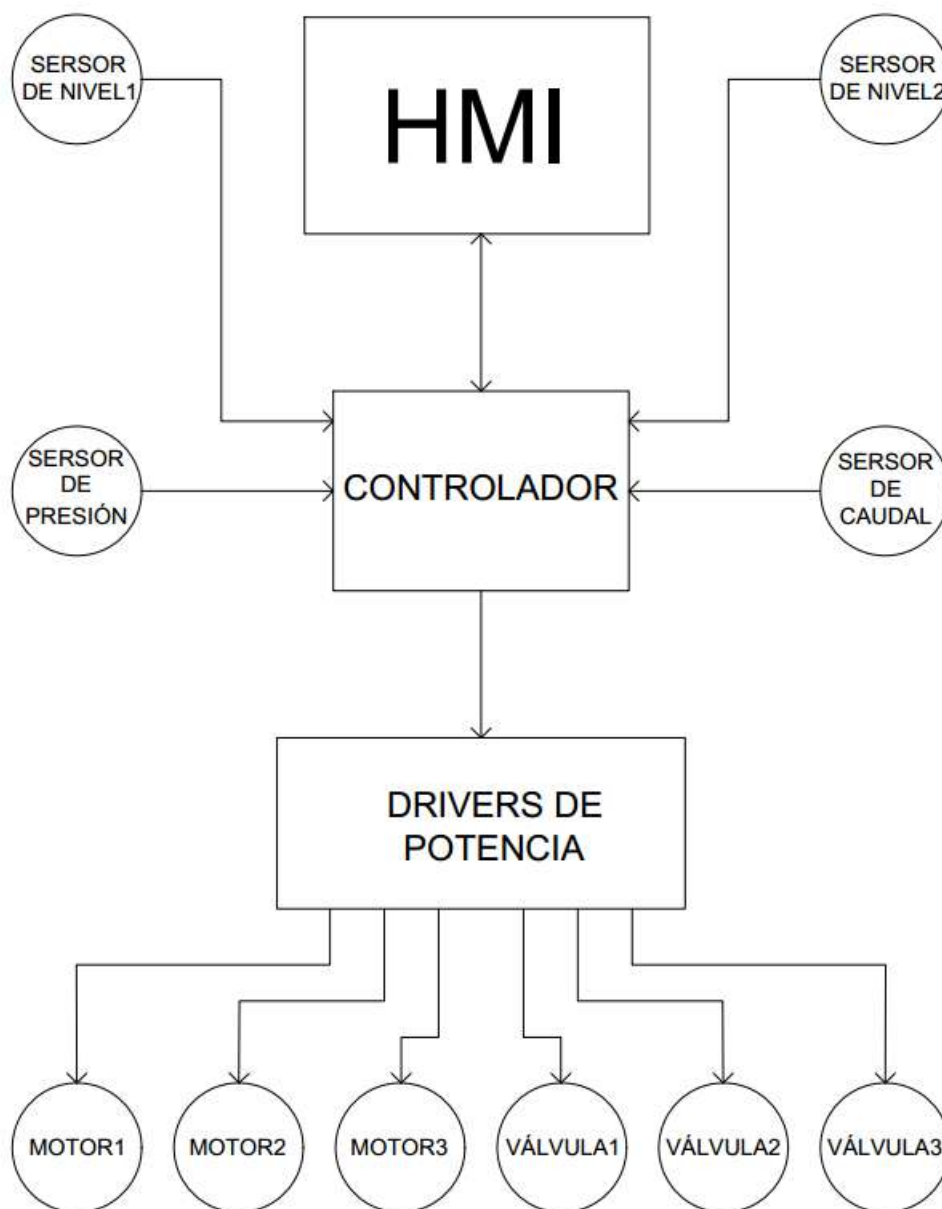


Figura 6.1: Esquema del sistema de control

Al final de este capítulo se realizará una comparación técnica entre las alternativas y se elegirá una de ellas para continuar con el objetivo de este proyecto.

6.1.1. Evaluación de criterios para la selección de alternativas

El equipo PLD deberá permitir la introducción de fórmulas matemáticas, poseer entradas analógicas y digitales, poseer la cantidad de salidas suficiente para controlar todos los actuadores del sistema.

Confiabilidad, durabilidad, soporte y seguridad dentro de un costo aceptable.
Deberá contar con interfaces de comunicación tales como serial y ethernet.
Velocidad de respuesta aceptable y memoria suficiente para permitir su programación adecuada

6.1.2. Clasificación de alternativas disponibles

Descripción de las alternativas disponibles resaltando las cualidades de cada una. Al final de cada opción se representará esquemáticamente la relación entre los componentes aplicado al presente proyecto.

6.1.2.1. Arduino con Computadora

El Arduino es una de las placas de desarrollo que más ha evolucionado en los últimos tiempos, su tamaño, precio y versatilidad hacen que sea una buena opción para este proyecto.

El Arduino está basado en un microcontrolador que posee sus puertos de Entrada/Salida y permite su comunicación con otros dispositivos mediante comunicación serial o alguna tecnología inalámbrica dependiendo del modelo del Arduino.

Existen diversos modelos que van desde el Arduino UNO hasta el Arduino YUN o más avanzado.

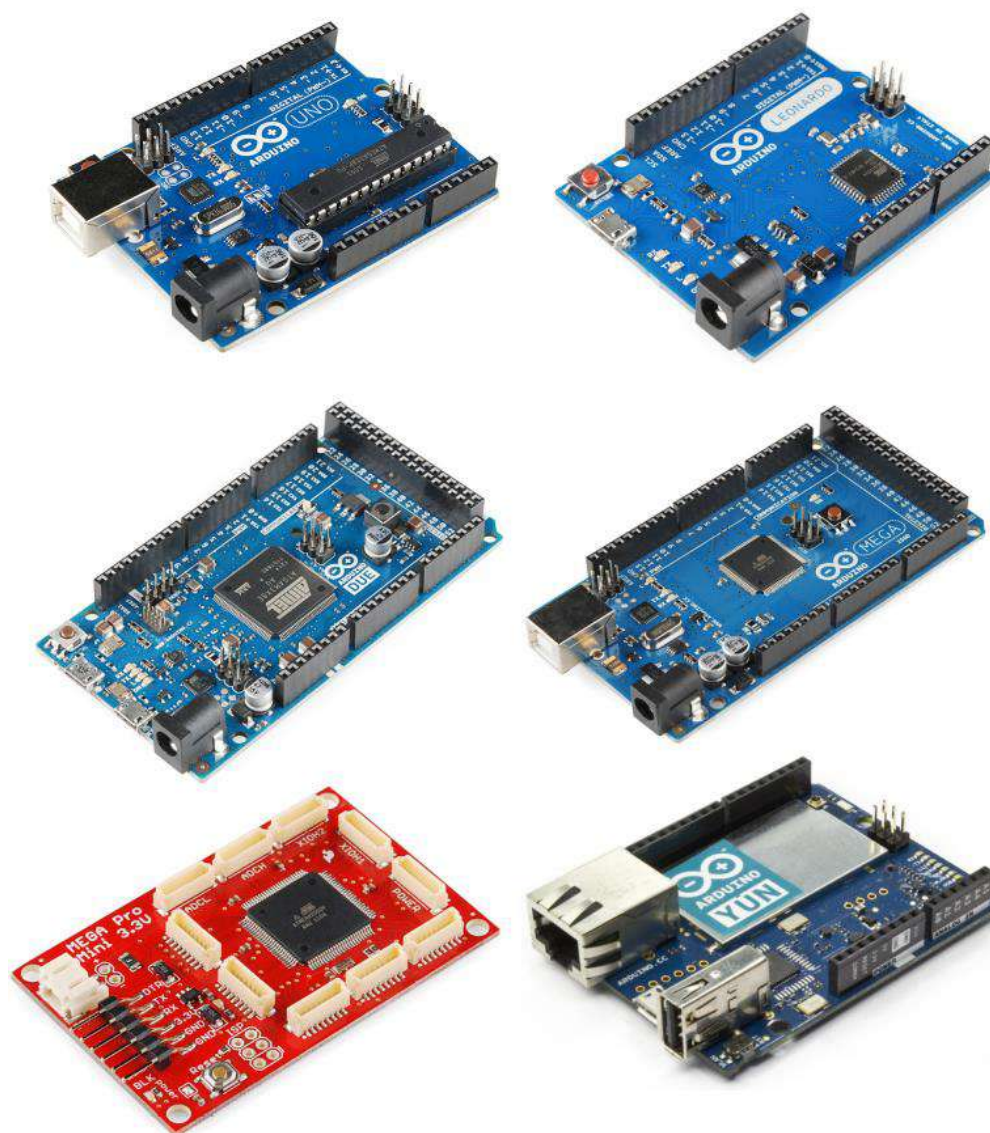


Figura 6.2: Algunos modelos de Arduino

Cada uno de ellos con características muy diferenciadas tales como la cantidad de puertos de Entrada/Salida y la tecnología de comunicación.

En la siguiente figura se puede observar un ejemplo de Arduino como controlador de un proceso.

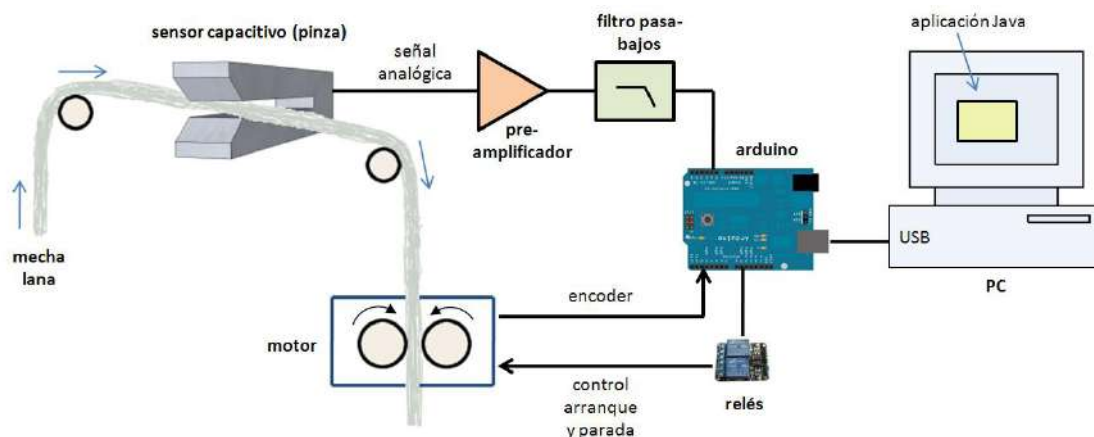


Figura 6.3: Arduino controlando un proceso industrial

Una computadora en su caso puede referirse a todos los dispositivos que posean una programación y permita realizar diversas tareas, pero en este documento se refiere a una computadora de escritorio. La computadora que las personas tienen en su casa para que sus hijos hagan sus tareas o de las que se utilizan en las oficinas.



Figura 6.4: Computadora de escritorio

Es una máquina que básicamente posee los siguientes elementos:

- Placa madre
- Periféricos de Entrada y Salida
- Unidades de Almacenamiento
- Una unidad central de procesamiento o CPU

- Ranuras de expansión en donde van conectadas las tarjetas de red, tarjetas de sonido y tarjetas de video o procesador de gráficos GPU.

Todos los elementos mencionados se encuentran montados dentro de un gabinete que comúnmente se conoce como CPU.

Es uno de los dispositivos más comunes hoy en día.

En este proyecto se utilizará la computadora como una Interfaz HMI (Human Machine Interface) en donde se podrá monitorear, visualizar y controlar el proceso. La placa Arduino al igual que otros dispositivos lógicos programables PLDs posee como componente principal, comúnmente llamado “cerebro”, un circuito integrado denominado microcontrolador. Un microcontrolador es una pequeña computadora encapsulada en un solo chip y con características más limitadas que una computadora convencional.

A continuación, se muestra en la Figura 6.5, una placa Arduino modelo UNO R3. Con las especificaciones de sus pines.

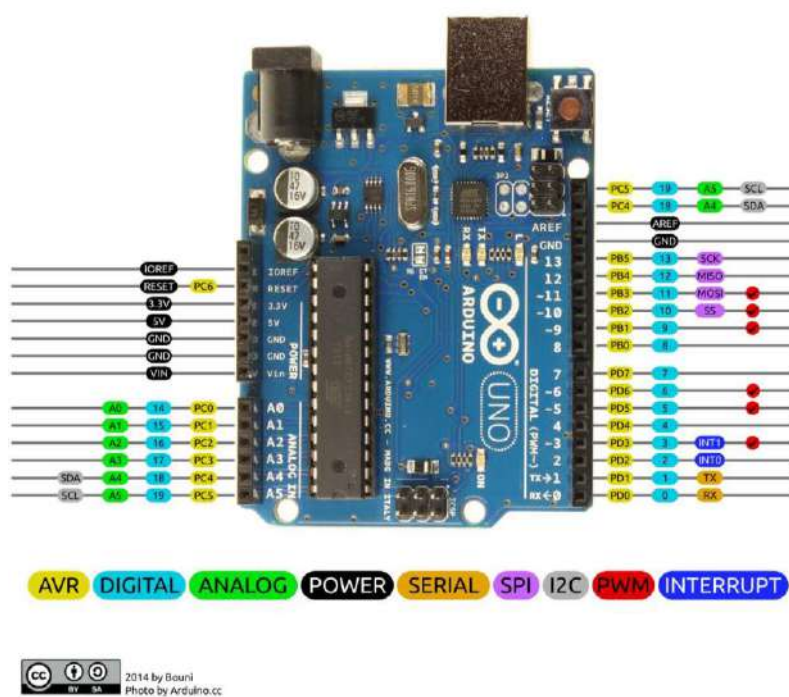


Figura 6.5: Placa Arduino UNO R3

Las especificaciones técnicas de la placa mostrada anteriormente se muestran a continuación.

Microcontrolador:	ATmega328
Tensión de funcionamiento:	5V
Voltaje de entrada (recomendado):	7-12V
Voltaje de entrada (límites):	6-20V
Digital I/O Pins:	19 (de los cuales 6 proporcionan PWM)
Pines de entrada analógica:	6
Corriente continua para las I/O Pins:	40 mA
Corriente continua para Pin 3.3V:	50 mA
Memoria Flash:	32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB utilizado por el gestor de arranque
SRAM:	2 KB (ATmega328)
EEPROM:	1 KB (ATmega328)
Velocidad del reloj:	16 MHz

Tabla 6.1: Especificaciones técnicas del Arduino UNO

El Arduino en sus diferentes modelos puede ser programado mediante un Entorno de Programación llamado Arduino IDE (Integrated Development Environment). Ver Figura 6.6.

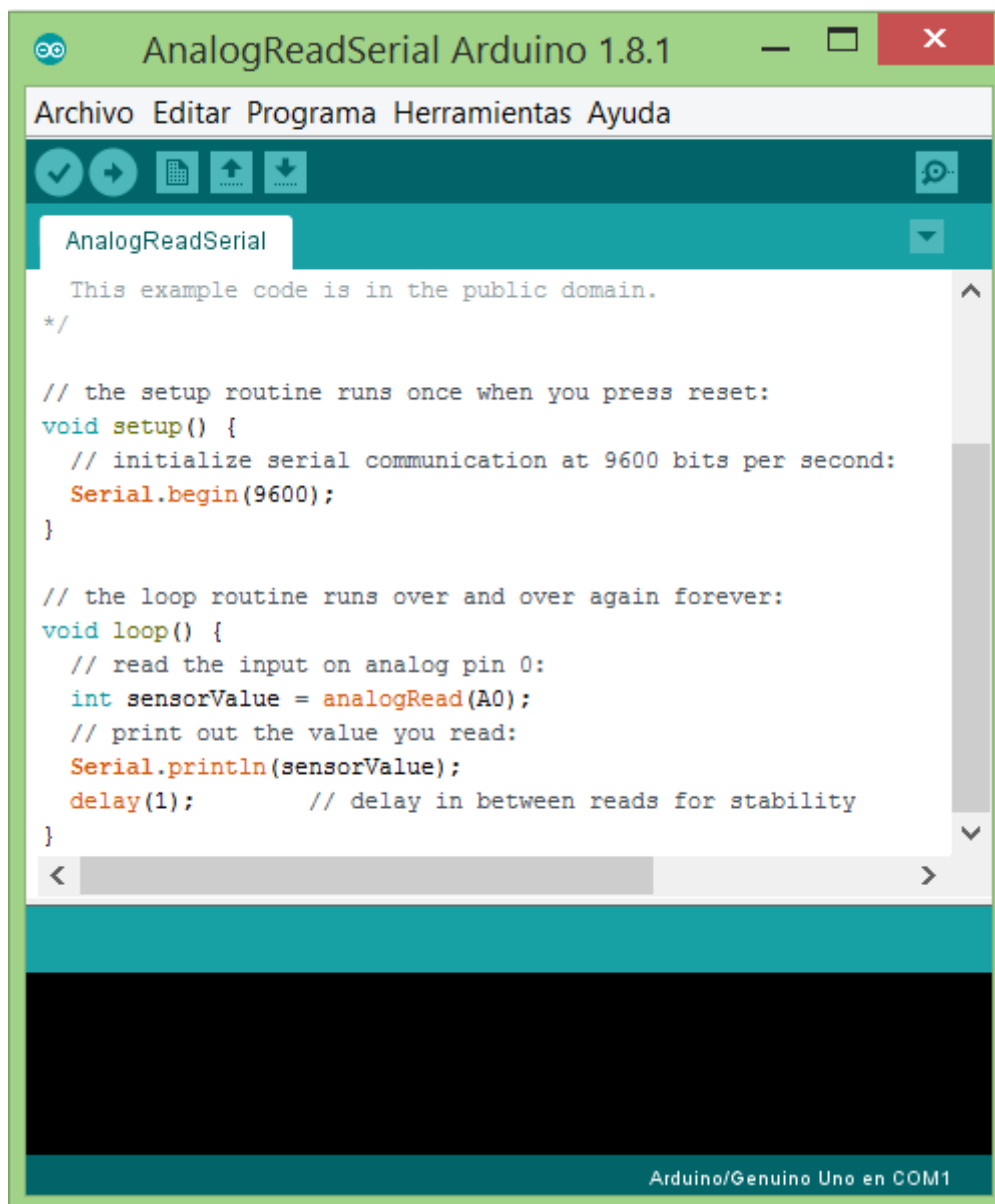


Figura 6.6: Arduino IDE

En esta alternativa se requerirá de una forma de comunicación del Arduino con la PC. El Arduino UNO R3 y todos los modelos de Arduino ya cuentan con puertos de comunicación serial y en caso de que se quiera utilizar otro modo de comunicación, posee módulos llamados Shields que pueden ser: Ethernet Shield, Bluetooth, Wifi, etc.

Los drivers de potencia serán necesarios y servirán de interfaz entre el Arduino y los actuadores debido a que el Arduino no provee la potencia suficiente para arrancar los motores directamente o de alimentar sus respectivos contactores.

Los sensores serán conectados a las entradas analógicas del Arduino, el Atmega328 de la placa ya posee en su interior un convertidor analógico a digital ADC (Analog – Digital Converter) para transformar las señales leídas de los sensores y el microcontrolador pueda procesarlas. Existe la posibilidad de que deban adaptarse los niveles de voltaje de algunos sensores con algún circuito para no quemar la entrada del Arduino.

Como se mostró en el esquema general (Figura 6.1) el controlador necesitará leer mínimamente cuatro sensores: dos sensores de nivel de agua; del tanque elevado y del reservorio, la presión de salida y el caudal de entrada. El Arduino UNO R3 posee en total seis entradas analógicas lo que lo hace una buena alternativa.

La interfaz HMI para la computadora debe diseñarse y programarse conjuntamente con la programación del Arduino y del tipo de protocolo de comunicación que será adoptado. Esta interfaz SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) puede ser realizada en diferentes entornos y lenguajes de programación tales como Java en Netbeans, Java en Eclipse, Lenguaje c en DevCpp c++, Python, Matlab, etc. Pero en este proyecto se optará por el IDE de Netbeans con el lenguaje Java.

En la Figura 6.7 se puede observar el entorno de Netbeans.

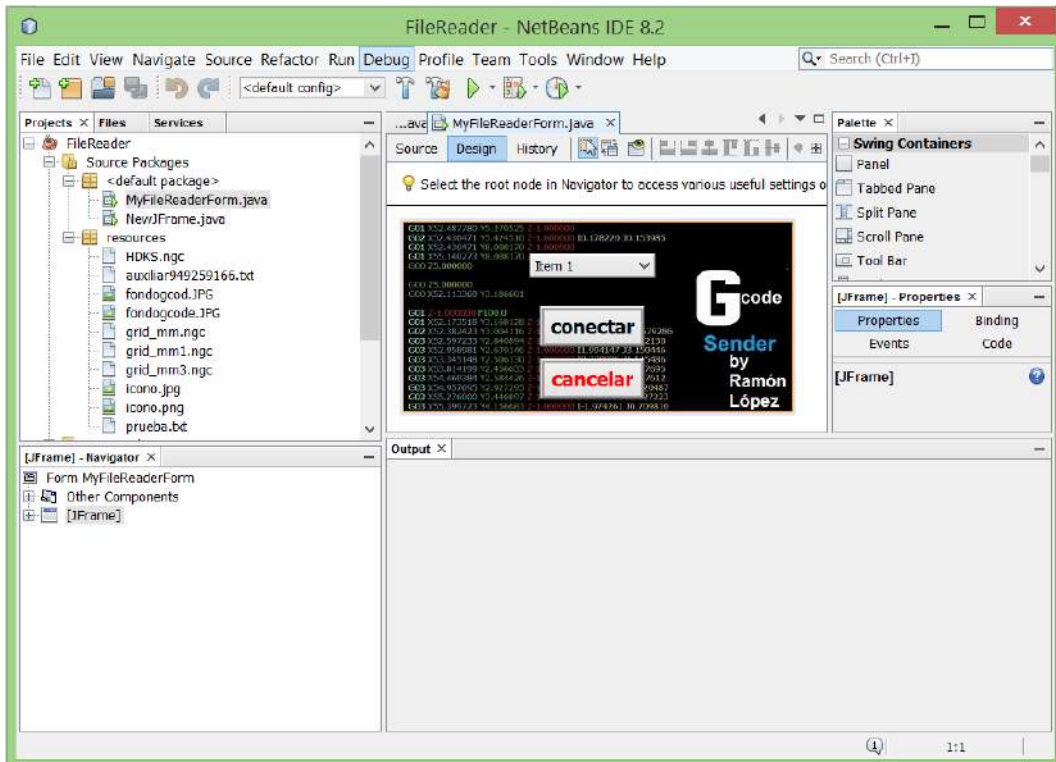


Figura 6.7: Netbeans IDE

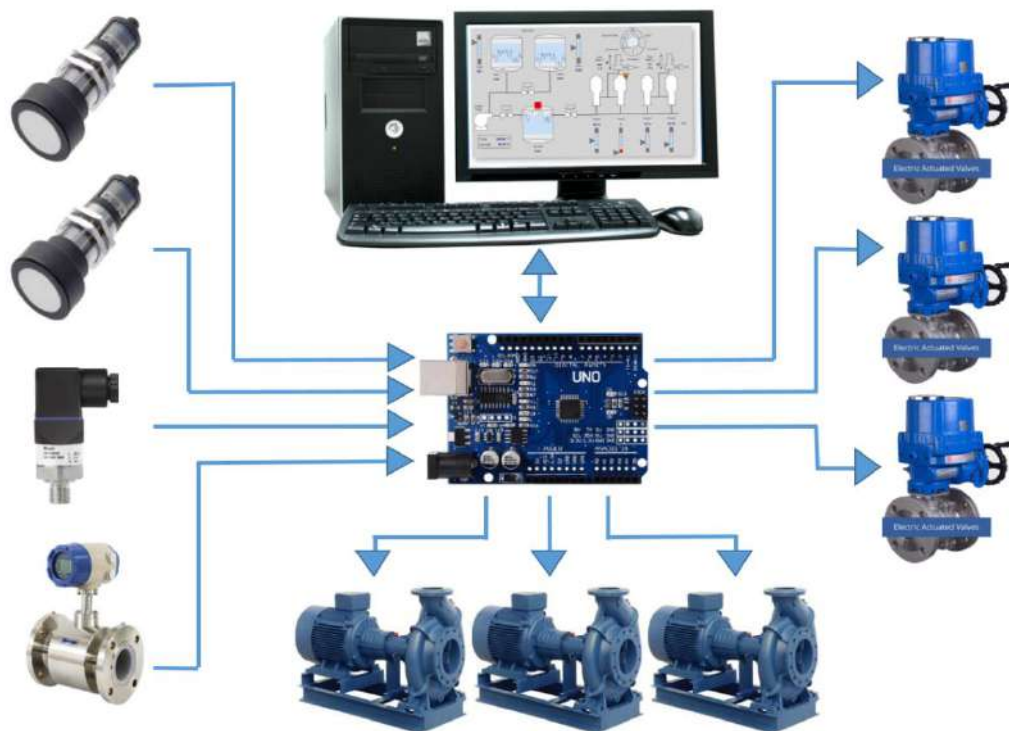


Figura 6.8: Relación entre las partes del sistema

La Figura 6.8 muestra la relación que existe entre los componentes del sistema, por un lado, a la izquierda se encuentran los sensores que serán los encargados de proveer información acerca de las magnitudes del entorno, por el otro lado, a la derecha y parte inferior de la figura se encuentran los actuadores que serán los encargados de actuar sobre las variables medidas por los sensores. Se lo puede observar al Arduino actuando como controlador central del proceso y como servidor de datos para el sistema SCADA.

6.1.2.2. Raspberry pi con Arduino

El Raspberry Pi básicamente se trata de una computadora integrada en una pequeña placa del tamaño de una tarjeta de crédito.

El Raspberry Pi así como el Arduino posee diferentes modelos. Desde los más comunes como el Raspberry Pi 1 hasta los más avanzados como el Raspberry Pi 3 B y los modelos industriales.

En este proyecto se tomará como alternativa la Raspberry Pi 3 B debido a que es el modelo más nuevo, con mayor cantidad de recursos y a la vez el más estable.

En la siguiente figura se puede observar una placa Raspberry Pi 3 B.

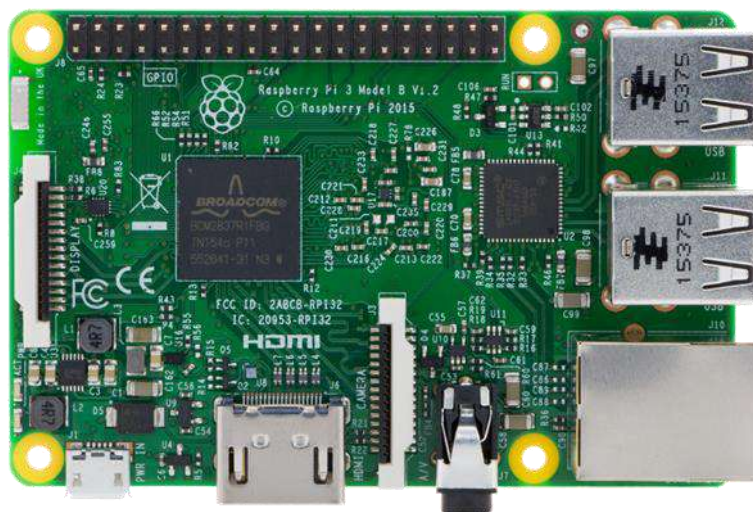


Figura 6.9: Placa Raspberry Pi

Representado en un entorno de trabajo, el Raspberry Pi desempeñaría las funciones de una computadora de escritorio. Por lo tanto, necesitaría de otros componentes para cumplir con dicha función, entre los componentes necesarios se pueden mencionar fuente de alimentación, display o monitor, teclado, mouse. Para

las exigencias del proyecto además de los componentes mencionados se integrarán sensores, actuadores, drivers de potencia, ADC (Convertor Analógico-Digital) y pulsadores. El Raspberry Pi no posee conversores ADC, sus entradas y salidas de propósito general están adheridas directamente al microprocesador con lo que son más susceptibles a daños permanentes; dicho esto es necesario contar con conversores externos. Un dispositivo que cumple estas funciones a bajo costo es el Arduino.

Una representación gráfica de un Raspberry Pi utilizado para la automatización, conjuntamente con un Arduino cumpliendo las funciones de recolector, digitalizador y transmisor de datos, se observa en la figura siguiente.

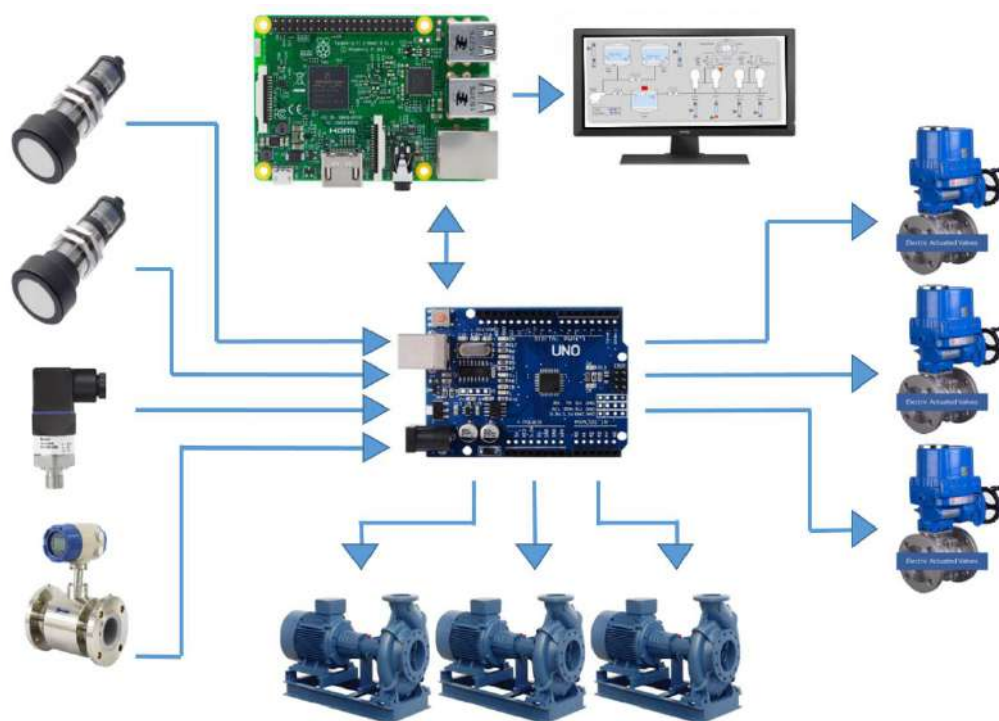


Figura 6.10: Raspberry Pi como SCADA

6.1.2.3. PLC con PC

Un controlador lógico programable, más conocido como PLC se trata de un dispositivo basado en un microprocesador que puede realizar una tarea determinada, activando o desactivando sus salidas de acuerdo a su programación y al estado de sus entradas. La CPU del PLC lee las entradas, las procesa y proporciona una salida.

Existen muchas marcas en el mercado de los PLCs, algunos de los más conocidos son: Siemens, ABB, Omron, Moeller y Telemecanique de Schneider Electric. Debido a cuestiones de disponibilidad en el mercado y por la gama extensa de aplicaciones que ofrece, se optará como una alternativa por el PLC Siemens S7-1200. Ver Figura 6.11.



Figura 6.11: PLC S7 – 1200 CPU 1214C

El PLC S7-1200 ofrece la posibilidad de ser implementada en una gran variedad de aplicaciones de control industrial, incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. Incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Los módulos de comunicación están disponibles para la comunicación en redes RS485 o RS232.

En esta alternativa la PC servirá de HMI y tendrá un software SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) desarrollado conjuntamente con la programación del PLC.

El software de programación del PLC y del sistema SCADA es el TIA Portal V13 (TIA – Totally Integrated Automation) desarrollado por Siemens. Figura 6.12.

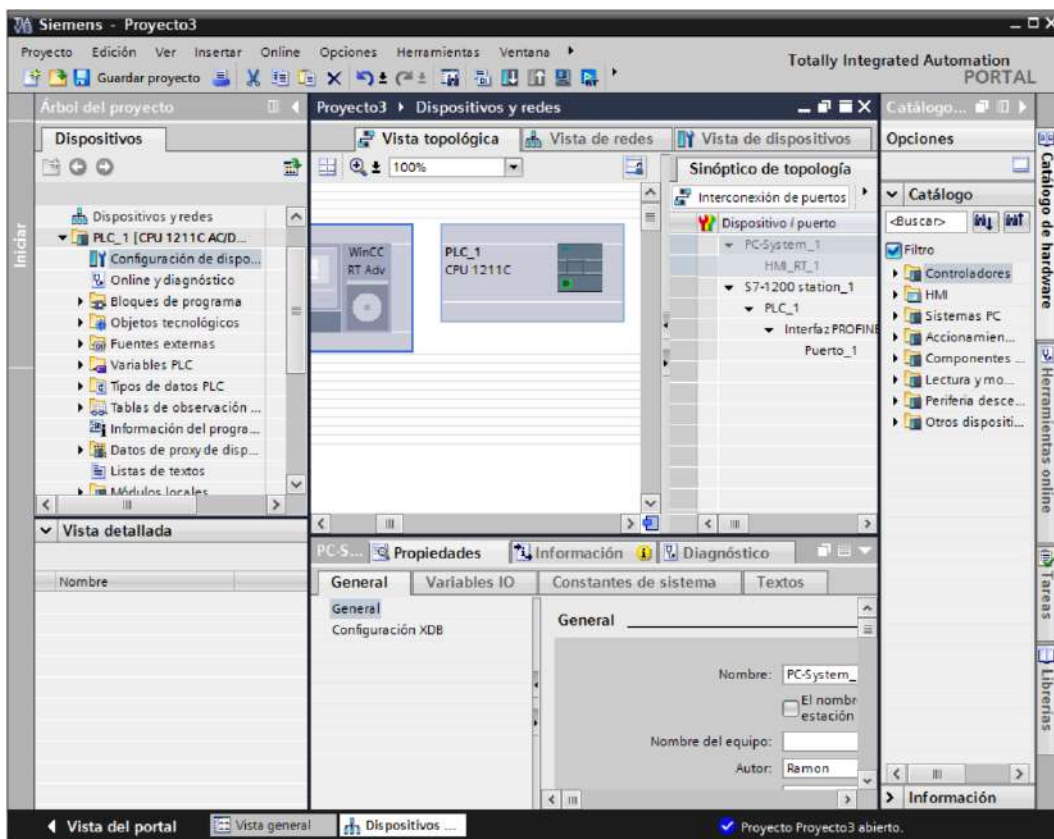


Figura 6.12: TIA Portal V13

A continuación, se muestra un esquema ilustrativo de las relaciones entre los componentes.

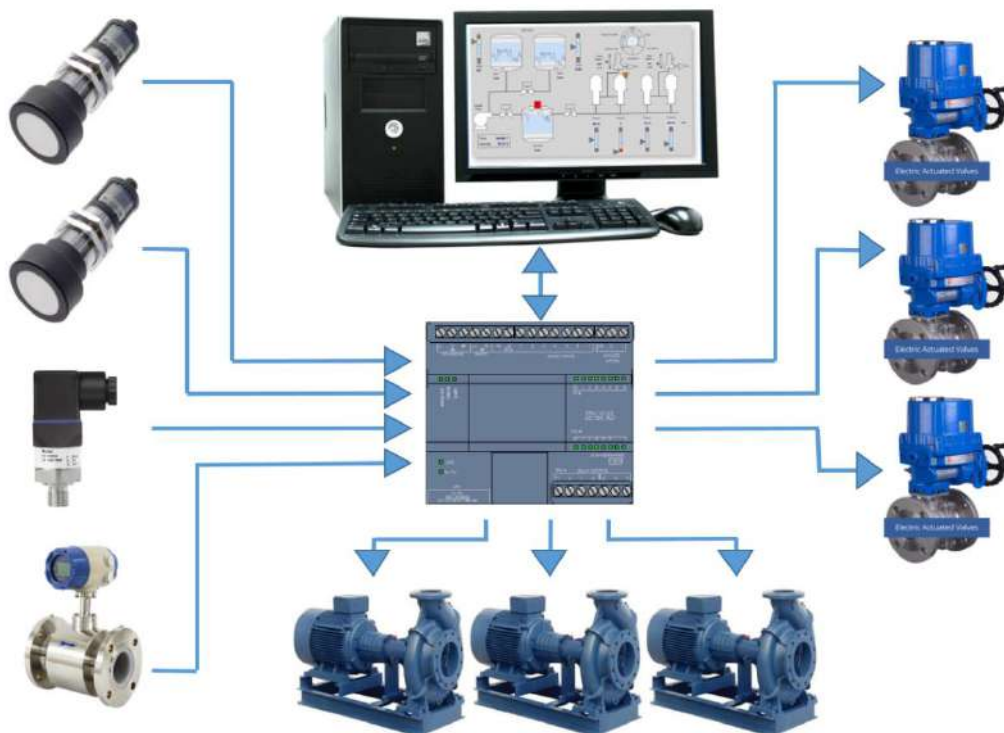


Figura 6.13: PLC S7 – 1200 como controlador del proceso

El PLC posee entradas preparadas para admitir señales analógicas y no necesitará de conversores ADC para la lectura de los sensores, sus salidas también poseen la potencia suficiente para accionar contactores directamente con la tensión de la red eléctrica.

6.1.2.4. PLC con panel HMI

6.1.2.4.1. HMI (visualizadores)

Existen diferentes tipos de visualizadores en el mercado de los cuales los más conocidos y compatibles con los PLC siemens son los propios de la marca. En la siguiente figura se pueden observar los modelos de HMI disponibles de Siemens:

	KTP 400 Basic PN <ul style="list-style-type: none">• Mono (STN, escala de grises)• Pantalla táctil de 4 pulgadas con 4 teclas táctiles• Vertical u horizontal• Tamaño: 3.8"• Resolución: 320 x 240	<ul style="list-style-type: none">• 128 variables• 50 pantallas de proceso• 200 alarmas• 25 curvas• 32 KB memoria de recetas• 5 recetas, 20 registros, 20 entradas
	KTP 600 Basic PN <ul style="list-style-type: none">• Color (TFT, 256 colores) o monocromo (STN, escala de grises)• Pantalla táctil de 6 pulgadas con 6 teclas táctiles• Vertical u horizontal• Tamaño: 5.7"• Resolución: 320 x 240	<ul style="list-style-type: none">• 128 variables• 50 pantallas de proceso• 200 alarmas• 25 curvas• 32 KB memoria de recetas• 5 recetas, 20 registros, 20 entradas
	KTP1000 Basic PN <ul style="list-style-type: none">• Color (TFT, 256 colores)• Pantalla táctil de 10 pulgadas con 8 teclas táctiles• Tamaño: 10.4"• Resolución: 640 x 480	<ul style="list-style-type: none">• 256 variables• 50 pantallas de proceso• 200 alarmas• 25 curvas• 32 KB memoria de recetas• 5 recetas, 20 registros, 20 entradas
	TP1500 Basic PN <ul style="list-style-type: none">• Color (TFT, 256 colores)• Pantalla táctil de 15 pulgadas• Tamaño: 15.1"• Resolución: 1024 x 768	<ul style="list-style-type: none">• 256 variables• 50 pantallas de proceso• 200 alarmas• 25 curvas• 32 KB memoria de recetas (memoria flash integrada)• 5 recetas, 20 registros, 20 entradas

Figura 6.14: HMI SIEMENS

A continuación, en la Figura 6.15 se representa el uso del HMI con el PLC.

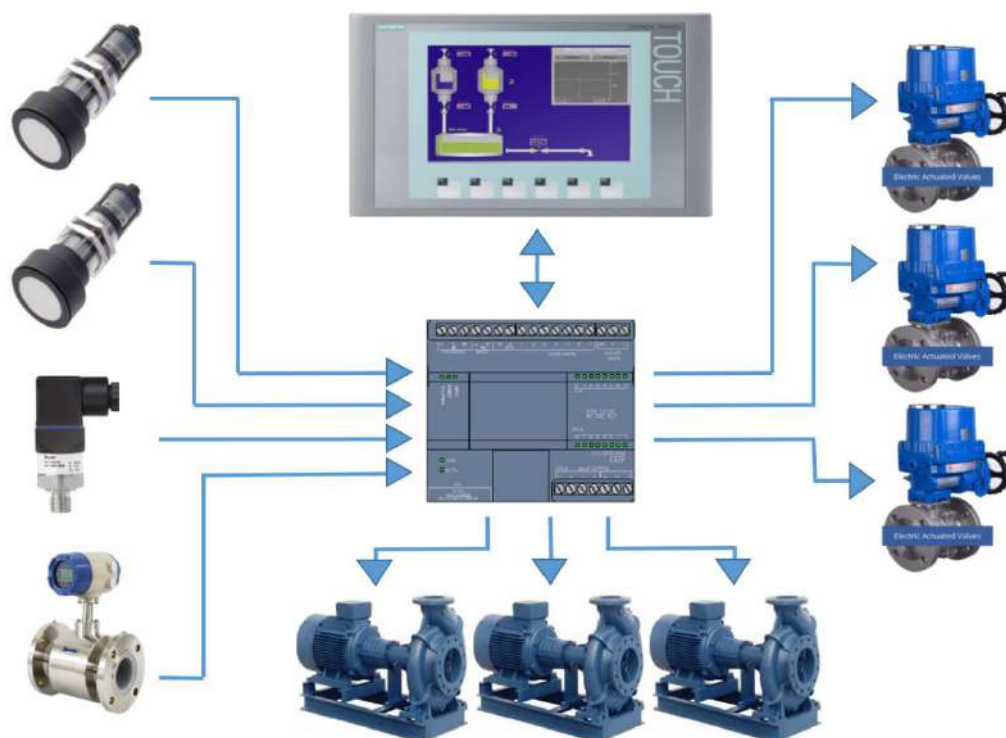


Figura 6.15: Uso de PLC con panel HMI

Los datos recibidos del PLC serán mostrados en pantalla del HMI en tiempo real. En términos de redes de comunicaciones, y basándose en el modelo cliente-servidor, el PLC actuará como Servidor de datos y el HMI como Cliente. El Servidor será el dispositivo Esclavo mientras que el Cliente será el Maestro.

6.1.3. Análisis y comparación técnica de alternativas

A partir de la clasificación de alternativas disponibles se realizará una comparación técnica analizando las ventajas y desventajas de cada una de ellas, además de considerar los criterios ya mencionados para cumplir con los objetivos propuestos en el proyecto. Como resultado de este análisis se optará por una alternativa la cual se desarrollará en el capítulo siguiente.

6.1.3.1. Arduino con Computadora:

Precio muy económico y de fácil implementación. Se necesita solamente del código de programación del Arduino desde el IDE que puede ser instalado en cualquier computadora porque tanto el Hardware como el Software es de código abierto (Open Source) lo que significa que cualquiera puede tener acceso a su uso.

Ventajas resaltantes de la utilización del Arduino como controlador de procesos:

- Precio accesible.
- Programación de fácil entendimiento.
- Estudiantes de todo el mundo lo conocen.
- Soporte online los 365 días del año. Gracias a los foros en internet.
- Tutoriales de programación en muchas páginas webs. Tutoriales de programación en YouTube.
- Fácil implementación.

Desventajas de la utilización del Arduino:

- Requiere de circuitos extras para protección contra sobretensiones, variaciones de tensión.
- Requiere de una buena fuente de alimentación libre de ruidos por poseer componentes sensibles.
- Circuitos extras para adaptaciones de protocolos de comunicación industriales.

Ventajas de uso de una computadora como interfaz HMI:

- Precio accesible.
- La programación de la interfaz puede ser realizada en el lenguaje que se desee y en cualquier sistema operativo.
- Fácil de conseguir en el mercado.

Desventajas del uso de una computadora como interfaz HMI:

- Programación específica. Requiere de conocimientos de lenguajes de programación.

6.1.3.2. Raspberry pi con Arduino

Precio razonable, pero programación complicada y posibles complicaciones en reinicios o cortes de energía. El Raspberry pi 3 B a pesar de ser el modelo de Raspberry más estable tiene fallos y aun no es tan fluido como una computadora de escritorio normal.

Puede ser utilizado en sistemas de control.

Ventajas del uso de Raspberry Pi:

- Precio promedio.
- Implementación relativamente fácil.
- Sistema operativo basado en Linux. (configurable según necesidades del usuario)
- Tamaño reducido.

Desventajas:

- Sistema operativo basado en Linux. Al tratarse de una programación muy específica (requiere manejo avanzado de sistemas informáticos).
- Requiere de circuitos extras para protección contra sobretensiones, variaciones de tensión.
- Requiere de una buena fuente de alimentación libre de ruidos por poseer componentes sensibles.
- Circuitos extras para adaptaciones de protocolos de comunicación industriales.

6.1.3.3. PLC con PC

El PLC ofrece la posibilidad de su aplicación en procesos complejos siempre y cuando el modelo elegido permita su ampliación mediante módulos.

Un PLC de marca confiable tiene un precio bastante elevado en comparación con otros dispositivos que también pueden cumplir la misma función pero con una confiabilidad razonable.

A continuación, se presentan las ventajas y desventajas del uso del PLC de acuerdo con la situación geográfica y la realidad técnico-económica del Paraguay.

Ventajas del uso del PLC:

- Confiabilidad tratándose de un producto que lleva mucho tiempo en el mercado y con años de experiencia en cuestiones de automatización y control.
- Seguridad por las mismas razones mencionadas en el punto anterior.

- Caja o carcasa de fábrica con protecciones con las diferentes certificaciones IP.
- Terminaciones, conectores y puertos con elementos mecánicos de uso industrial resistentes.

Desventajas del uso del PLC:

- Precio elevado.
- Programación compleja. No todos los técnicos entienden su programación y el soporte de fábrica normalmente tarda en responder.
- Software de programación muy pesado. Más de 16 Gb. Es una desventaja con las limitaciones de internet en el país. Además, el software requiere de licencia.

6.1.3.4. PLC con panel HMI

El HMI KTP 600 posee una pantalla táctil de 6" y tiene un precio cercano a los 5000000 Gs que es un precio bastante elevado en comparación con el PLC que es el que realmente va ser el encargado de controlar el proceso.

Se han analizado también los demás modelos de HMI y se llegó a la conclusión de que el modelo inferior al KTP 600 tiene un tamaño demasiado pequeño para su utilización en el proyecto específico y los modelos superiores tienen precios muy elevados.

El HMI es reemplazable por la PC. La única diferencia entre un panel HMI y la pantalla de una computadora de escritorio es el tamaño, por tanto, el espacio ocupado es menor. En panel HMI tiene incorporados sus circuitos y puertos de conexiones en una caja compacta. Mientras que la computadora necesita de su CPU para la visualización del proceso en el monitor.

Ventajas del HMI:

- Tamaño compacto. Utiliza menos espacio.
- Comodidad para interactuar con el proceso por su pantalla táctil.

Desventajas del HMI:

- Precio excesivo. 100 veces el precio del Arduino UNO.
- Programación compleja. Se programa con el mismo software que el PLC elegido.
- Circuito complejo. Basado en microprocesadores, chips de memoria y microcontroladores. Mínima posibilidad de reparación en caso de fallas del hardware.

RESUMEN

Teniendo en cuenta las desventajas más negativas se procederá a la eliminación de las alternativas con las desventajas con mayor influencia en la viabilidad del proyecto. Estas desventajas se obtuvieron tomando en cuenta la condición tecnológica del país, su ubicación geográfica, la ubicación geográfica de los dispositivos necesarios, entre otros criterios que se creyeron convenientes. La Tabla 6.1 presenta un resumen de aquellas desventajas de cada una de las alternativas.

ALTERNATIVA	DESVENTAJAS
ARDUINO-PC	Requiere de circuitos extras para protección contra sobretensiones, variaciones de tensión. Requiere de una buena fuente de alimentación libre de ruidos por poseer componentes sensibles. Circuitos extras para adaptaciones de protocolos de comunicación industriales. Programación específica. Requiere de conocimientos de lenguajes de programación.
RASPBERRY-ARDUINO	Sistema operativo basado en Linux. Al tratarse de una programación muy específica (requiere manejo avanzado de sistemas informáticos). Requiere de circuitos extras para protección contra sobretensiones, variaciones de tensión. Requiere de una buena fuente de alimentación libre de ruidos por poseer componentes sensibles. Circuitos extras para adaptaciones de protocolos de comunicación industriales.

PLC-PC	Precio elevado. Programación compleja. No todos los técnicos entienden su programación y el soporte de fábrica normalmente tarda en responder. Software de programación muy pesado. Más de 16 Gb. Es una desventaja con las limitaciones de internet en el país. Además, el software requiere de licencia.
PLC-HMI	Precio excesivo. 100 veces el precio del Arduino UNO. Programación compleja. Se programa con el mismo software que el PLC elegido. Circuito complejo. Basado en microprocesadores, chips de memoria y microcontroladores. Mínima posibilidad de reparación en caso de fallas del hardware.

Tabla 6.2: Alternativas. Resumen comparativo

Según el análisis y la comparación se llegó a la conclusión de que todas las alternativas requieren de conocimientos de programación. Y según la tabla anterior del resumen de las desventajas, la alternativa que posee las desventajas menos importantes es el Arduino con PC. Es decir, sin demasiadas complicaciones se puede crear un sistema sofisticado con Arduino y una computadora de escritorio. El Arduino con las debidas protecciones tanto a nivel de Hardware como de software puede llegar a ser inclusive mejor que un PLC de fábrica porque primeramente en el Paraguay no se puede acceder fácilmente a estos dispositivos, el costo de mantenimiento de los mismos es costoso por ser dispositivos de uso industrial. El Raspberry a su vez es muy susceptible a daños a causa de poseer sus pines GPIO (Entradas y Salidas de propósito general del Ingles) directamente adheridas a los pines del procesador, sin ninguna protección. Los pares de alternativas PC-PLC y HMI-PLC son muy costosas.

6.2. Análisis para selección de actuador de válvula

En la planta de distribución de la ESSAP existen válvulas de compuerta, las cuales no son apropiadas para operaciones frecuentes y será necesario que sean

reemplazadas las que requieran de control motorizado por válvulas que permitan operaciones continuas sin sufrir desgastes o daños.

Una recomendación es usar válvula mariposa. Por las siguientes características:

- Bajo par de torsión necesario para su operación.
- Control motorizado para válvulas de gran tamaño
- Buen precio para Diámetros > 300mm

En el mercado se encuentran disponibles actuadores fabricados con las más estrictas normas. Todos ellos cuentan con los requisitos necesarios para el proyecto, tales como salida analógica para controladores estándar de 4 – 20 mA; indicadores de posición, entradas analógicas para señales de punto de ajuste, etc. Pero dada la ubicación geográfica y por ende la dificultad de encontrar proveedores; se ha optado por realizar el diseño de control motorizado de una válvula.

Para referencia, a continuación, se citan algunos de los principales fabricantes de actuadores para válvulas y de válvulas motorizadas: AUMA, TECOFI', T.i.S, OMAL, SAFi, FLOMATIC, etc.

6.3. Cálculos y diseño de la arquitectura de la red de comunicación

6.3.1. Elaboración de cálculos matemáticos y modelado del sistema

El sistema requiere de un modelado para definir las fórmulas necesarias a ser programadas en el dispositivo controlador. En función del modelo matemático obtenido será programado el controlador.

A continuación, se presenta el diagrama de bloques del sistema:

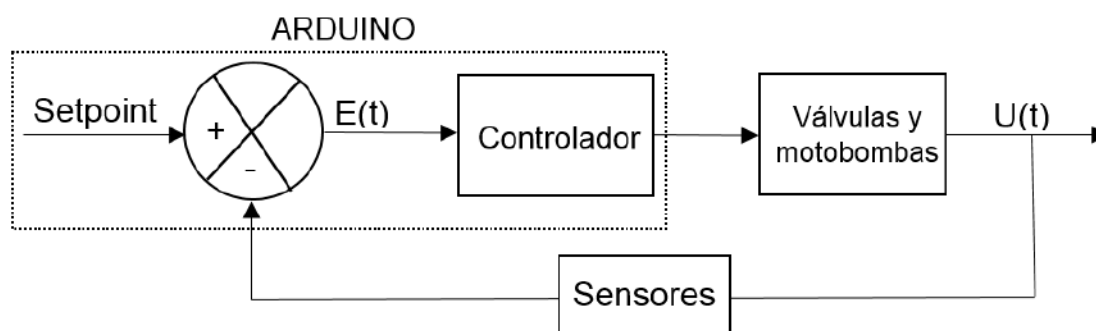


Figura 6.16: Diagrama de bloques del sistema de control

El diagrama anterior muestra una representación del sistema de control de lazo cerrado. Un modo de control en lazo cerrado es el control PID (Proporcional Integral Derivativo). Este método de control será el utilizado en el proyecto para el control de los dispositivos actuadores.

En un controlador PID la salida del controlador es determinada por la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$
$$u(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

En donde:

- U(s)= es la salida del sistema
- Kp= es la ganancia proporcional
- E(t)= offset o error
- Ki= la constante de tiempo integral
- Kd= la constante de tiempo derivativa
- Ti= el tiempo integral o índice de reajuste
- Td= tiempo derivativo o razón de cambio

El Arduino realizará la función de controlador y comparador de las señales de entrada con el punto de ajuste.

El programa de control a ser utilizado será escrito en lenguaje C y cargado al Arduino.

6.3.2. Análisis de los protocolos de comunicación industriales

Análisis de los protocolos de comunicación industriales. Selección del estándar a utilizar.

6.3.2.1. Norma RS-232:

Es un protocolo de comunicación serial que permite la comunicación bidireccional de datos (Full-duplex). Es sensible a interferencias y limita el medio de conexión a 15 metros de longitud debido a que la norma establece una capacitancia máxima

del cable de 2500 pF. Existen dos versiones de esta norma: el DB-9 con 9 pines y el DB-25 con 25 pines.

6.3.2.2. Norma RS-422:

Elimina la sensibilidad a los ruidos. La señal es la diferencia resultante entre dos voltajes por tanto si una interferencia interviene en la red, ambas señales serán afectadas al mismo tiempo y la señal resultante será la misma. Aumento de la longitud máxima del cable al reducir los niveles de voltaje de transmisión de información, hasta 1200 metros. Conexión full-duplex.

6.3.2.3. Norma RS-485:

Mejora del RS-422, permite la comunicación entre los equipos mediante un mismo bus mediante la introducción del Tri-State que establece una alta impedancia en la entrada del equipo y aparece desconectado de la red. Conexión Half-duplex, lo que significa que la información puede fluir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo.

6.3.2.4. USB (Universal Serial Bus):

Es un bus estándar industrial que define los cables, conectores y protocolos usados en un bus para conectar, comunicar y proveer de alimentación eléctrica entre computadoras, periféricos y dispositivos electrónicos. La información puede fluir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo (Half-duplex). La transmisión de información se realiza por medio de dos hilos de cables referenciados a masa (voltaje diferencial).

A continuación, se presenta un resumen de las especificaciones de cada uno de los protocolos de comunicación mencionados:

Parámetros	RS-232	RS-422	RS-485	USB
Modo de trabajo	Unipolar	Diferencial	Diferencial	Diferencial
Número de emisores y receptores	1 emisor	1 emisor	32 emisores	1 hub
	1 receptor	32 receptores	32 receptores	127 dispositivos

Longitud máxima del cable		15 metros	1.200 metros	1.200 metros	5 metros
Velocidad de transmisión máxima		20 kbps	Hasta 10 Mbps	Hasta 10 Mbps	Hasta 10 Gbps(SS+)
Número de líneas		Hasta 25 (datos y control)	Hasta 4 (datos y control por software)	2 (datos y control por software)	Hasta 9 (datos y control por software)
Tipo de cable		Cable específico (hilos tanto como señales)	Par trenzado (2 pares)	Par trenzado (1 par)	Cable normal
Topología que admiten		Punto a punto	Multipunto (punto a punto desde principal a secundarias) Anillo	Punto a punto Multipunto Anillo Bus	Multipunto (punto a punto desde principal a secundarias) Estrella
Simultaneidad en la transmisión		Simplex Half duplex Full duplex	Full duplex	Half duplex	Half duplex Full duplex (3.0)
Tensión de salida del emisor	Sin cargar	+/- 5 V	+/-2 V	+/- 1,5 V	0,3-2,8 V
	Cargado	+/- 15 V	+/- 6 V	+/- 6 V	0-0,3/2,8-3,6 V

Tabla 6.3: Resumen de protocolos de comunicación

6.3.3. Diseño de la arquitectura de comunicación

La red estará basada en la estructura Cliente-Servidor. Con un estándar que permita la conexión punto a punto ya es suficiente para que sea posible el flujo de información del proceso entre el HMI y el controlador. El controlador en este caso, siendo esclavo dentro del sistema, al mismo tiempo será la encargada de proveer los datos para la computadora cliente.

Habiendo considerado los requisitos del párrafo anterior. La conexión entre el Arduino y la computadora se realizará mediante el estándar USB 2.0 que es un estándar adecuado para ser utilizado en el proyecto por las razones que se mencionan a continuación:

- Alta tasa de transferencia de información.
- Cable muy común y fácil de fabricar.
- Inmune a interferencias.
- Fácil implementación.

Mientras que las conexiones de los sensores y actuadores a la placa controladora se realizarán mediante cableado convencional por tratarse de un sistema poco complejo, y utilizar CPs (Tarjetas procesadoras de comunicación) para adecuar los circuitos a un estándar de Bus resultaría más costoso.

Los sensores de uso industrial normalmente vienen con conectores desde m5 a m12. Serán utilizados los mismos conectores y será diseñado un circuito adaptador para utilizar los sensores industriales con el controlador.

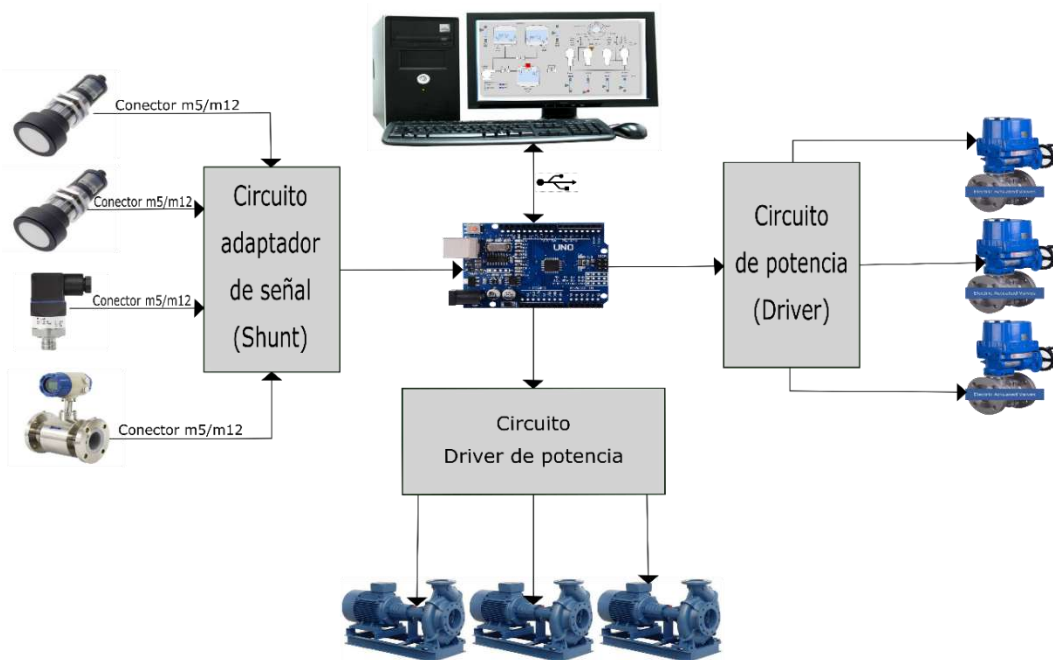


Figura 6.17: Esquema del sistema con circuitos de interface de sensores y actuadores

6.4. Diseño de los circuitos electrónicos

6.4.1.1. Cálculo de resistencias para sensores

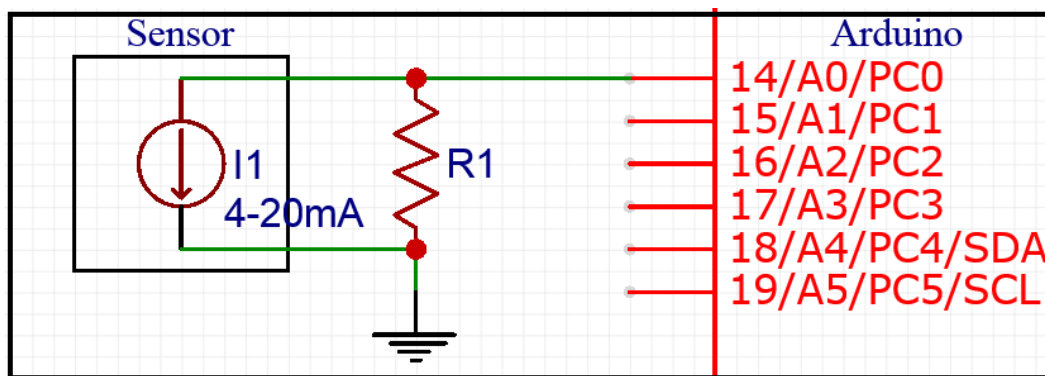


Figura 6.18: Circuito interfaz de lectura de sensores

El valor de la resistencia R1 viene dada por la ecuación de la ley de OHM $R = \frac{V}{I}$.

Para un voltaje de entrada máximo de 5V permitido por el Arduino. Se tiene:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5V}{20 \times 10^{-3}A} = 250 \Omega$$

Por lo tanto, $R1 = 250 \Omega$. Así, se tendrá un voltaje de 5 V para una corriente máxima de 20mA. Para evitar un sobrevoltajes en las entradas del Arduino, se colocarán diodos Zener de 5 V en paralelo con R1.

6.4.1.2. Selección de relés y cálculo de resistencias y transistores para el control de los relés:

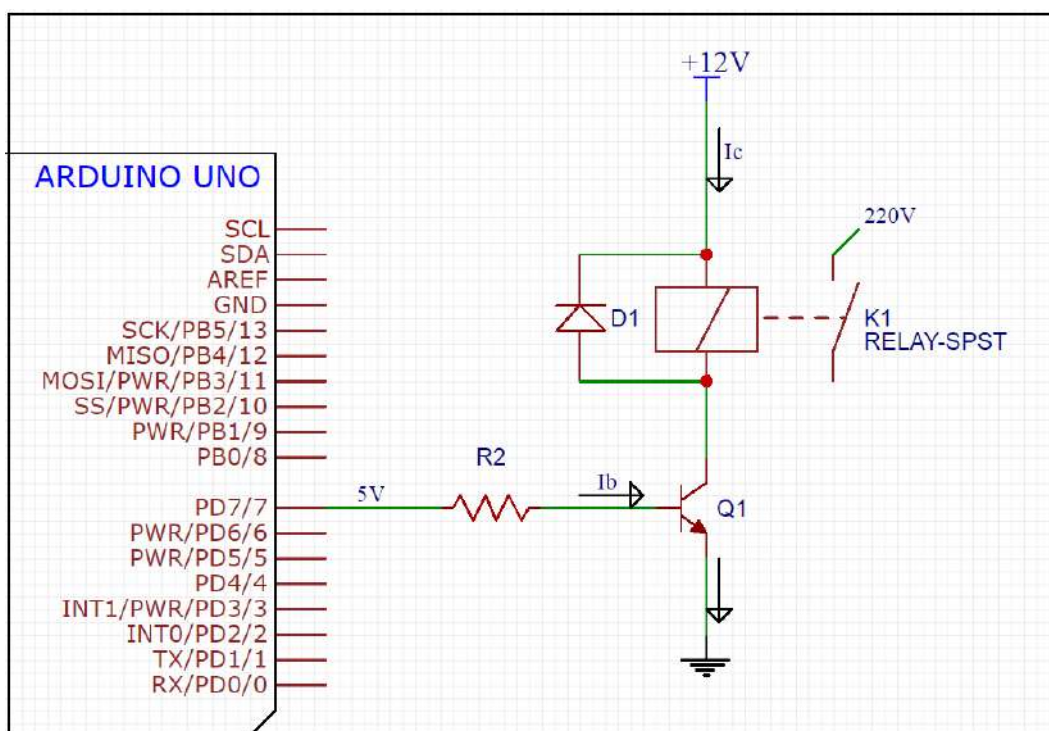


Figura 6.19: Circuito interfaz de control de relés

El Arduino no posee la potencia suficiente para accionar los motores ni para encender las luces de señalización. Por tanto, es necesario diseñar un circuito de interfaz de potencia.

El relé será el encargado de alimentar la bobina del contactor de potencia y del encendido de las luces.

Los contactores de 65 A que son los adecuados para motores de 30 Kw (40HP) que se encuentran en la planta de distribución, en la corriente de llamada consumen una potencia de 160 VA con $\cos\phi=0.75$. Menos de 1 A en corriente alterna. Específicamente:

$$S = V \times I = 160 VA$$

$$P = S \times \cos\phi = V \times I \times \cos\phi = 160 VA \times 0.75 = 120 W$$

Luego,

$$I = \frac{P}{V \times \cos\phi} = \frac{120 W}{220 \times 0.75} = 0.727 A$$

Un relé de 12 voltios estándar soporta una corriente de 5 A a 250 Vac en sus contactos. Por lo que no existe inconveniente en la selección del mismo.

Un relé de 12 V consume una corriente de 80 mA según prácticas de laboratorio. Por tanto, la corriente I_c deberá ser igual o superior para accionar el relé.

Seleccionando un transistor bipolar BC247 NPN, que tiene una corriente de colector $I_c = 100 \text{ mA}$ y una ganancia $\beta = 110$ se tiene que la corriente de base I_b del transistor es:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{100 \times 10^{-3} A}{110} = 909 \times 10^{-6} A = 909 \mu A$$

Luego por la ley de OHM, R_2 será igual a:

$$R_2 = \frac{V}{I} = \frac{4.3 V}{909 \times 10^{-6} A} = 4729.99 \Omega = 4.7 k\Omega$$

El valor de V es de 4.3 V debido a la caída de tensión $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$.

6.1.1.1. Circuito electrónico de potencia:

A continuación, se muestra el circuito de interfaz diseñado para el sistema.

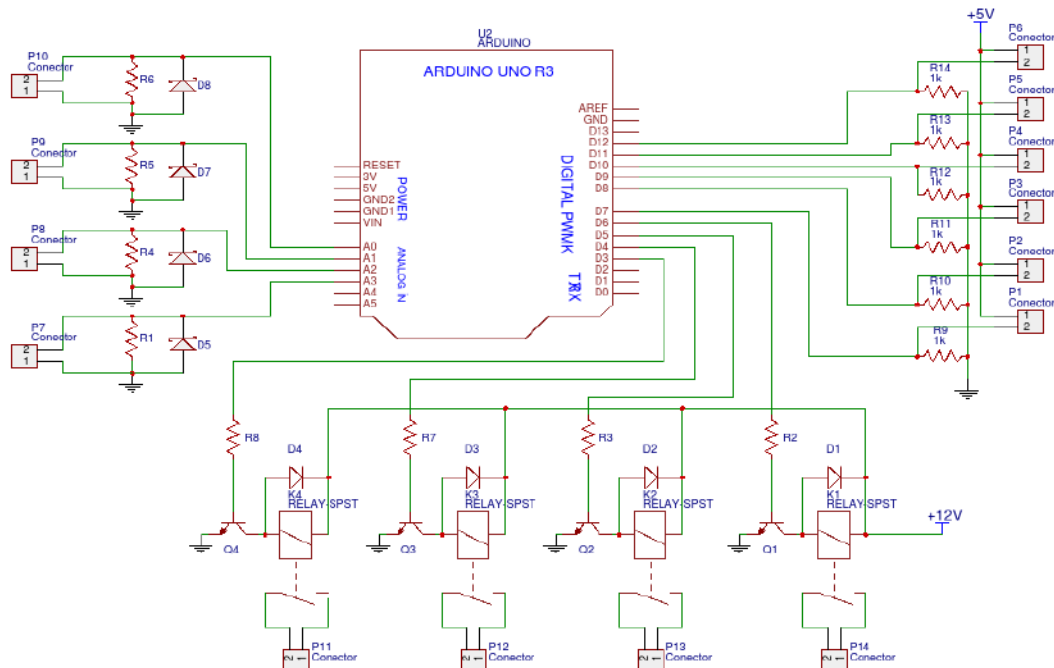


Figura 6.20: Esquema del circuito de interfaz incluido el controlador

En la parte inferior se muestran los relés que tendrán las funciones de encender o apagar los motores de las bombas.

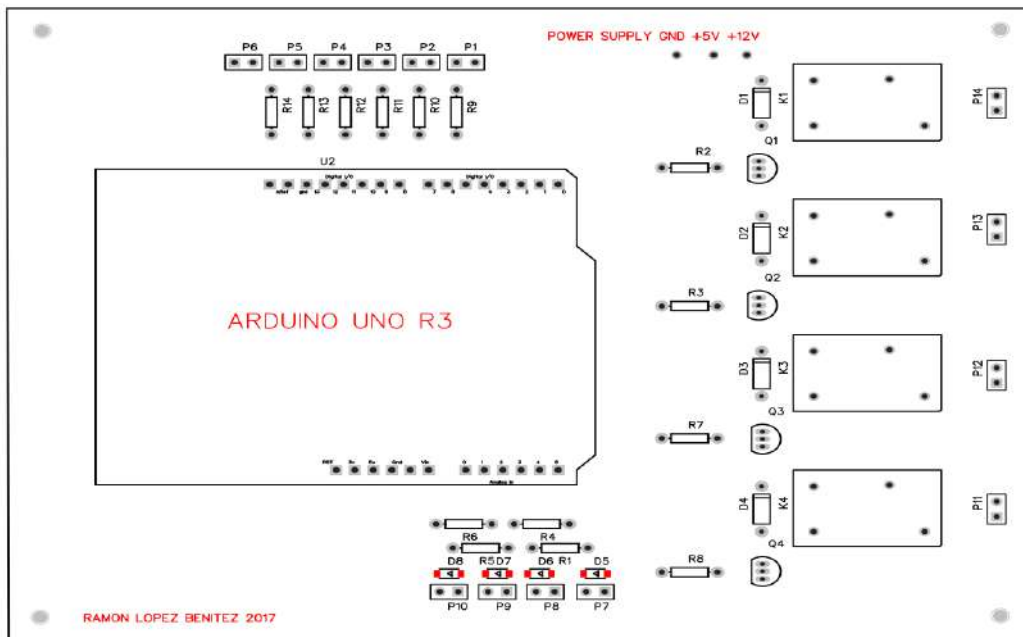


Figura 6.21: Vista superior del PCB con drivers de potencia para el controlador Arduino

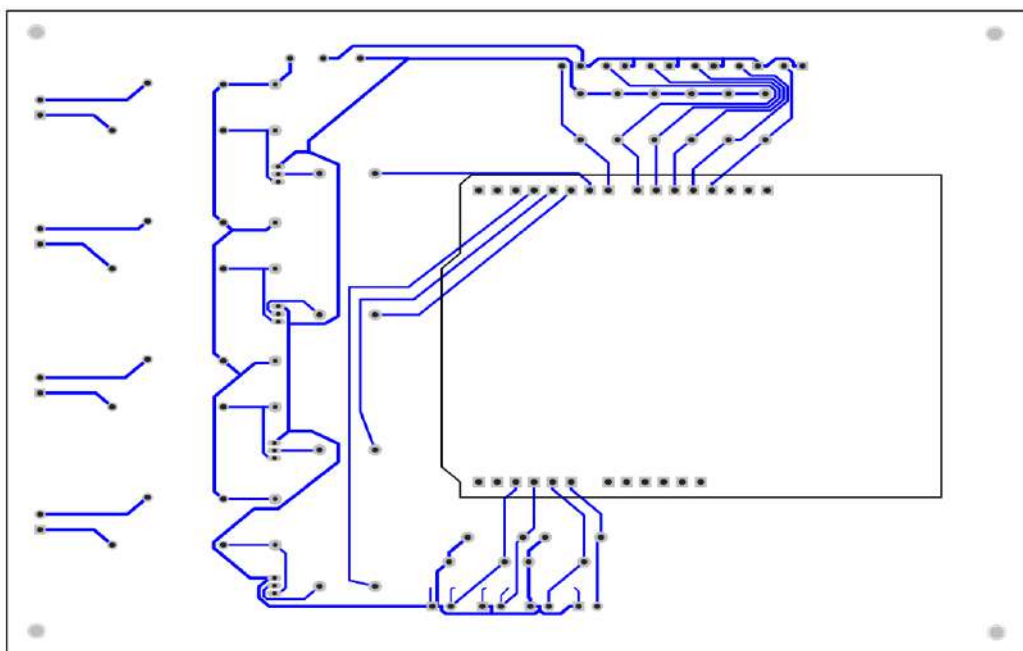


Figura 6.22: Vista inferior del PCB con drivers de potencia para el controlador Arduino

Lista de componentes:

- P1-P14 Bloques conectores 2x1
- R1, R4, R5, R6 Resistencias de 250 Ω
- R2, R3, R7, R8 Resistencias de 4.7 k Ω
- R9-R14 Resistencias Pull Down de 10 k Ω
- D1-D4 Diodos 1N4007
- D5-D8 Diodos Zener 1N4733 de 5.1 V
- K1-K4 Relés SPDT de 12 V 250 V 5 A
- Q1-Q4 Transistores de unión bipolar BC247

6.2. Esquema de Fuerza y Mando

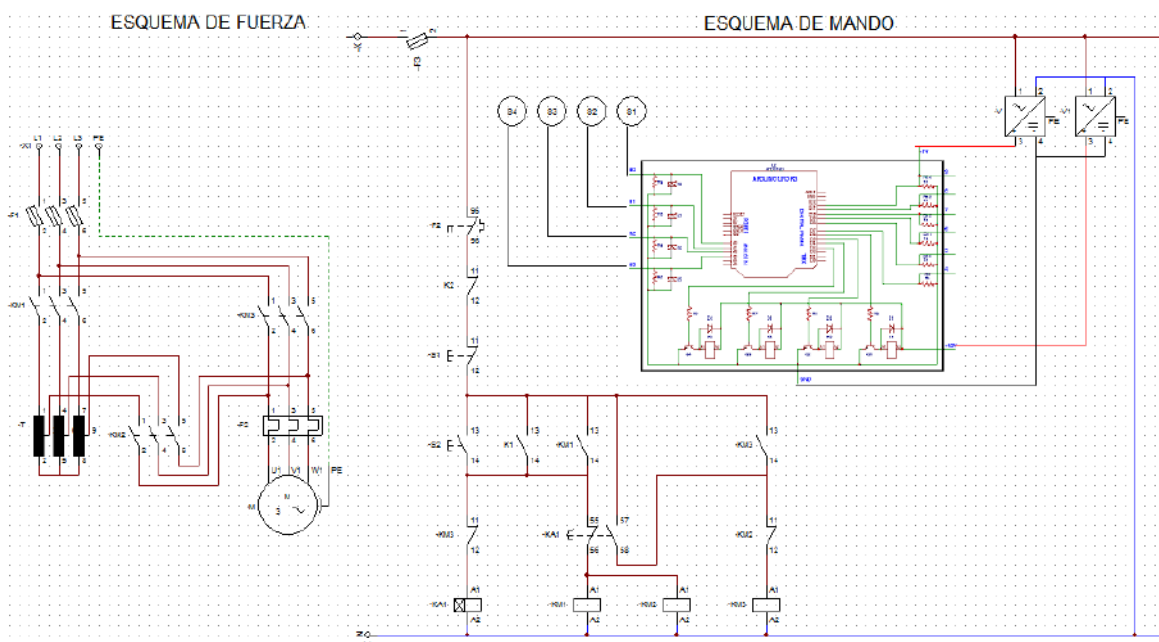


Figura 6.23: Esquema de fuerza y mando del sistema

En la figura anterior se pueden observar los esquemas de fuerza a la izquierda y de mando a la derecha.

Se representan los esquemas para el control de un motor de bomba. Para el control de las demás bombas se utiliza el mismo esquema de conexión tanto para el circuito de fuerza como de mando, con la variación del pin de salida utilizado del controlador que en este caso se utilizan las salidas D5 y D6 para encender y apagar el motor

6.3. Cálculos y diseño de la estructura mecánica de control de apertura de válvulas.

Esta sección consiste en diseñar un mecanismo de control basado en un motor de paso o en un motor trifásico de ac con transmisión a engranajes. Como una alternativa a la compra de válvulas motorizadas de fábrica.

A continuación, se presentan los datos necesarios para el control de una válvula mediante una transmisión a engranajes acoplada a un motor de paso:

Para girar una válvula de mariposa de DN300 se requiere un torque mínimo de 600N.m. Según referencias de válvulas motorizadas [9].

Por tanto, un motor de 40 N.m con una transmisión de 15:1 de relación, ejercería un torque de 600 N.m sobre el eje de la válvula según la siguiente fórmula:

$$r = \frac{Z2}{Z1} = \frac{W1}{W2} = \frac{M2}{M1}$$

Donde:

- r es la relación de transmisión
- W1 es la velocidad angular de entrada
- W2 es la velocidad angular de salida transmitida
- Z1 es el número de dientes del engranaje de entrada.
- Z2 es el número de dientes del engranaje de salida.
- M1 es el par de torsión transmitido del engranaje 1 a velocidad W1
- M2 es el par de torsión transmitido al engranaje 2 a velocidad W2

En el Apéndice B1 se encuentra a detalle otro método de cálculo para la selección del motor.

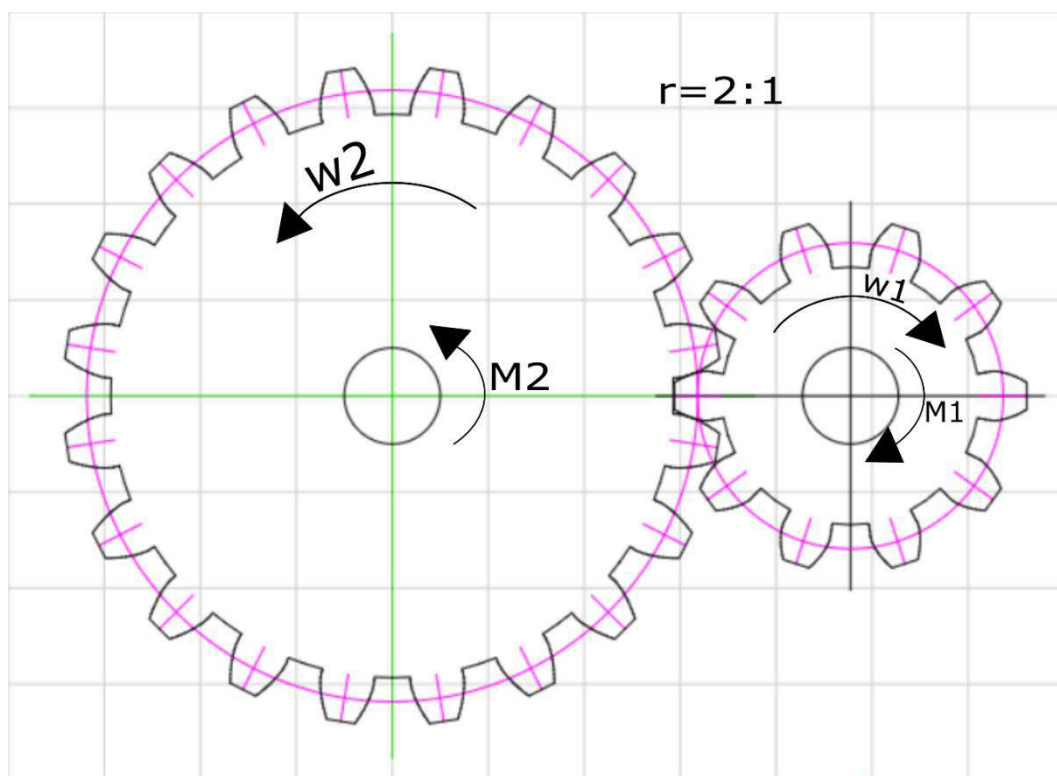


Figura 6.26: Engranajes con una relación de 2:1

La Figura 6.21 muestra una transmisión a engranajes con una relación de 2:1 a modo de ejemplo.

A continuación, se presentan los engranajes diseñados para el proyecto.

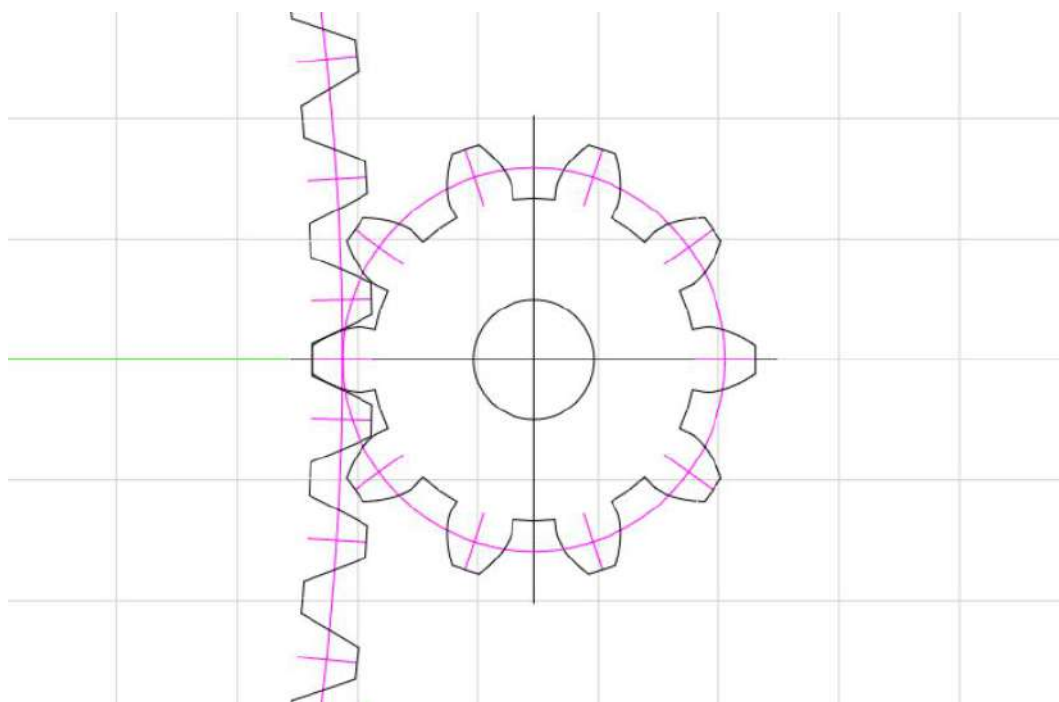


Figura 6.27: Engranajes dos y uno

Datos de engranajes:

- Espacio entre dientes = 10 mm
- Angulo de contacto = 25°
- Cantidad de dientes de engranaje 1 = 10
- Cantidad de dientes de engranaje 2 = 150
- Diámetro de paso de engranaje 1= 33.51 mm
- Diámetro de paso de engranaje 2 = 474.55 mm

El engranaje 2 estará acoplado al eje de la válvula y el engranaje 1 al eje del motor.
La siguiente figura muestra el resultado del diseño en 3D.

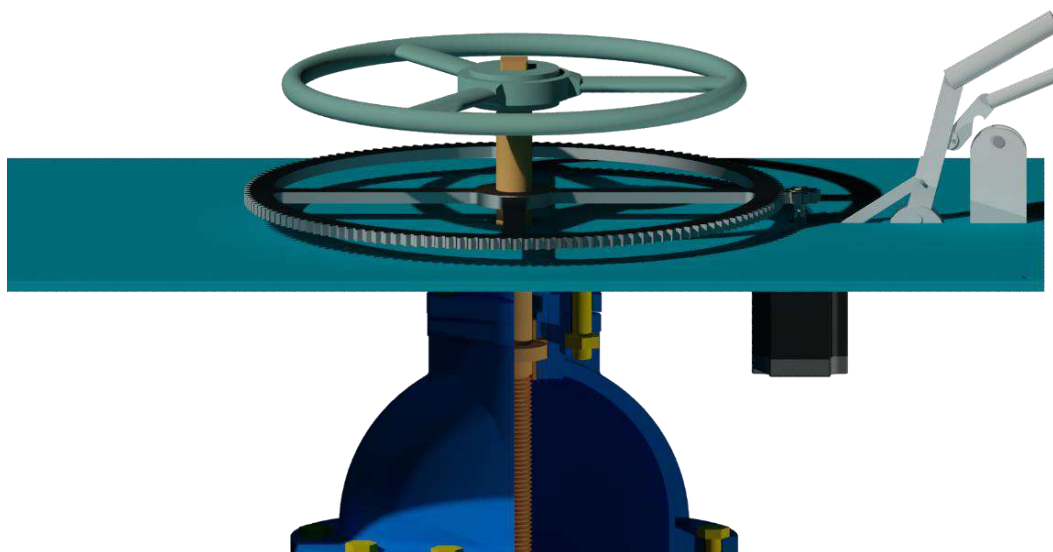


Figura 6.28: Vista realista de la válvula uno motorizada

Es necesario tener en cuenta las revoluciones por minuto del motor para la válvula. Deberá ser de 45 rpm o menos para tener un control estable sobre la válvula. Un motor con un rpm muy grande causará la apertura o cierre demasiado rápido de la válvula, lo que provocaría desastres o fenómenos que se producen en las redes de distribución de agua, tales como golpe de ariete y cavitación.

6.4. Programación del controlador y de la Interfaz gráfica de control

En este punto se presentarán las programaciones tanto de la interfaz gráfica de control o SCADA como la programación del Arduino para el control del proceso de distribución de agua.

6.4.1. Programación de la interfaz SCADA

6.4.1.1. Interfaz de inicio de sesión



Figura 6.29: Ventana de inicio de sesión

Esta parte consiste en el inicio de sesión del operador.

Cada vez que un usuario quiera acceder al sistema SCADA, deberá ingresar un código de acceso. Esta parte puede ser eliminada pero el autor ha pensado que es conveniente presentar esta interfaz como parte del sistema para demostrar que es posible implementar métodos de seguridad al sistema de control en cuestión.

Su programación consiste inicialmente en la importación de la librería JSSC para el uso de los puertos seriales.

Las demás librerías son sugeridas por el propio entorno de Netbeans mientras se va desarrollando el programa con la interfaz gráfica.

Lo siguiente fue crear un formulario. Es decir, una ventana visible para el usuario.

Luego se procedió a agregar los botones, el combobox para desplegar la lista de dispositivos conectados (Items), las cajas de texto y los textos.

Una vez agregados los elementos necesarios al formulario. Se procede a programar cada uno de los botones.

Dentro del combobox. Se puede elegir el dispositivo controlador. Una vez seleccionado el nombre del puerto. Ese nombre es guardado para que pueda ser

utilizado por el siguiente formulario (o ventana) para comunicarse con el controlador.

El botón “CONECTAR” permite al usuario ingresar al sistema SCADA cerrando la ventana actual una vez que se haya elegido el dispositivo controlador y se haya ingresado la clave correcta.

El botón “SALIR”, termina la conexión entre el dispositivo y la interfaz y cierra el programa.

La programación de la interfaz de inicio de sesión se encuentra en el Apéndice B2.

6.4.1.2. Interfaz SCADA

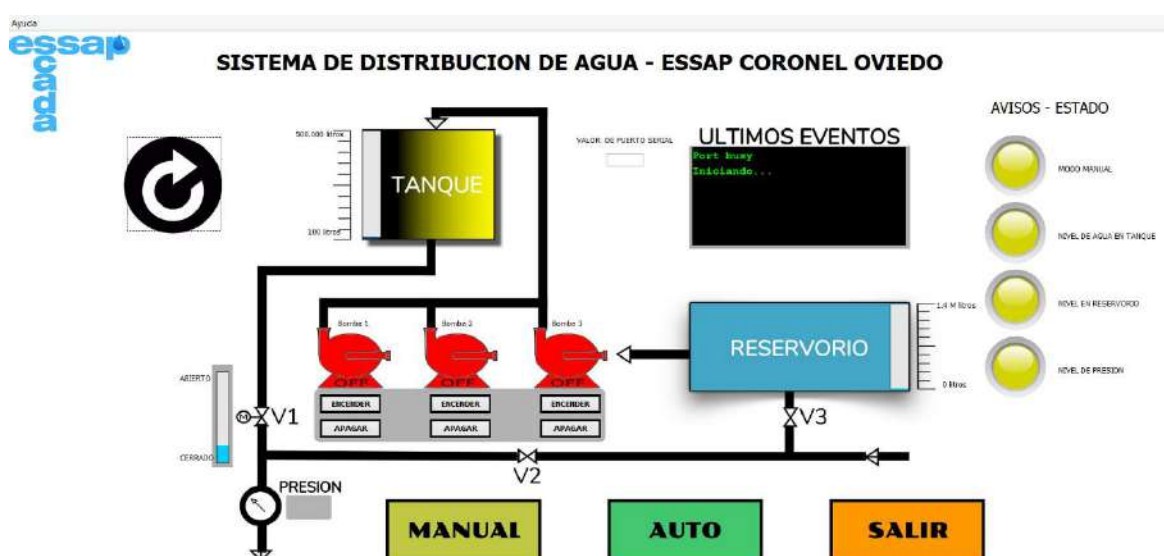


Figura 6.30: Ventana SCADA

Esta interfaz se encarga de leer la información enviada por el controlador conectado al puerto serial de la computadora, de modo inverso también permite enviar información desde la interfaz hacia el controlador por el puerto serial, lo cual permite controlar todo el proceso desde la interfaz. Por esa razón se lo considera como interfaz SCADA, que en conjunto con los demás elementos del sistema conforman un Sistema SCADA.

La información una vez leída, es procesada y mostrada en pantalla. El nivel de agua en cada tanque se representa mediante una barra de progreso vertical que se encuentra ubicada en la parte lateral izquierda del tanque elevado y en la parte lateral derecha del tanque reservorio como se puede observar en la Figura 6.25.

Los botones debajo de las figuras de las motobombas permiten el encendido o apagado de las mismas cuando el sistema se encuentra en modo de funcionamiento manual. De lo contrario, si el sistema se encuentra en modo de funcionamiento automático, los mencionados botones permanecerán inhabilitados hasta que se cambie el modo de funcionamiento del sistema.

El modo de funcionamiento se puede cambiar mediante los botones localizados en la parte inferior de la interfaz. Pulsando el botón automático; el sistema cambia al modo de funcionamiento automático, deshabilitando los botones de operación manual sobre los actuadores del sistema y cambiando los colores y el estado de las luces indicadoras dentro de la interfaz, y, de la misma manera, pulsando sobre el botón manual, regresa al modo de funcionamiento manual, habilitando los botones para operación manual y cambiando nuevamente los colores de las luces. De manera predeterminada, el sistema se inicializa en modo de funcionamiento manual.

En la ventana de ULTIMOS EVENTOS se tiene un registro de todas las operaciones y recientes del sistema. Estos eventos pueden ser archivados en un documento de texto para uso estadístico.

El botón con forma de flecha giratoria circular que se encuentra en la parte superior izquierda de la interfaz sirve para reconectar la Interfaz con el controlador, es decir; refrescar la conexión. Es utilizado en casos eventuales.

El valor de la presión será mostrado en el campo de texto que se encuentra en la parte inferior izquierda de la pantalla. Mientras que el nivel de apertura de la válvula V1 se puede apreciar al lado de la misma.

La programación de la Interfaz SCADA se encuentra en el Apéndice B3.

6.4.1.3. Programación del Controlador

El controlador será el encargado de adquisición de datos de los sensores que conforman el sistema, de convertir sus valores de analógico a digital, de procesarlos, al mismo tiempo de transmitirlos a la interfaz SCADA y de activar o desactivar los actuadores teniendo en cuenta las condiciones de su programación.

En modo manual, el controlador solamente se encargará de leer, convertir y transmitir los datos a la interfaz y actuará como dispositivo esclavo activando las salidas de acuerdo a las órdenes de la Interfaz SCADA. Es decir que el control se realizará pulsando los botones del SCADA o desde el tablero de mando de la sala de control.

En el modo de funcionamiento automático, el controlador tomará el control de todo el sistema, activando los motores para cargar el tanque elevado cuando el nivel sea bajo, ajustando la presión de salida mediante la menor o mayor apertura de la válvula de suministro. Quedando la interfaz SCADA solamente como sistema de supervisión en tiempo real y con posibilidad de cambiar el modo de funcionamiento a manual en caso necesario.

La programación del controlador se encuentra en el Apéndice B4.

6.5. Diagrama de flujo de funcionamiento

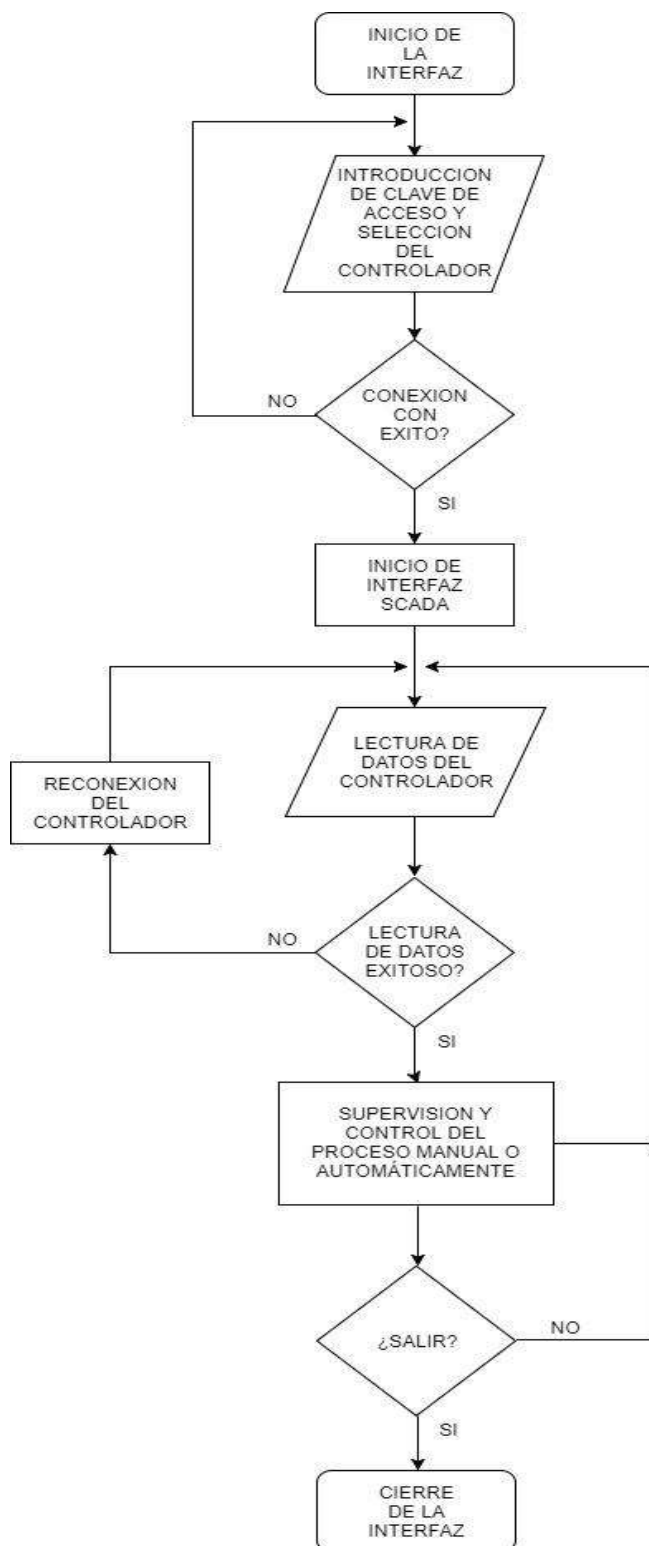


Figura 6.31: Diagrama de flujo del funcionamiento

6.6. Dimensionamiento de sistemas de protección y backup

Los sistemas de respaldo o Backup son elementos muy importantes para un sistema con operación continua, dado que el objetivo principal del presente trabajo no es el diseño de un sistema de protección para elementos de control. Este apartado presenta solamente las alternativas de protección y respaldo para el sistema, y no se encargará de presentar todos los detalles, pero sí los aspectos más importantes.

Para respaldo existen como alternativas:

- Instalación de grupos electrógenos.
- UPS para los sistemas de monitoreo y control.

En cuanto a protección:

- Se deben dimensionar interruptores termomagnéticos para protección individual de los elementos de medición y control.
- Un buen sistema de puesta a tierra para toda la instalación.
- Y el aislamiento de las entradas y salidas del controlador de los elementos periféricos.

V.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la Ingeniería de diseño se obtuvieron los siguientes resultados:

Se analizaron en total cuatro alternativas para automatización de sistemas de distribución de agua de los cuales se seleccionó la alternativa de Arduino con PC por poseer las ventajas de precio, disponibilidad y adaptabilidad tanto a nivel de hardware como de software a casi cualquier sistema de control frente a las otras alternativas. También se analizaron métodos de control de válvulas de apertura ajustable, y por la dificultad de conseguir proveedores, se diseñó un mecanismo simple de control de válvulas mediante un motor y una transmisión a engranajes.

Se estudiaron la factibilidad tanto técnica como económica de cada una de las alternativas, pero debido a la falta de registros en el local, se tuvieron que estimar algunas de las pérdidas económicas del local con el sistema de control actual. Tuvo que realizarse el estudio económico considerando pérdidas mínimas en el local. Aun así, se obtuvieron resultados favorables para un horizonte de tiempo de 10 años.

Finalmente se realizaron las pruebas mediante el software de simulación Isis Proteus 8.1, con una librería de Arduino, simulando la variación de los valores de los sensores y obteniendo una respuesta a tal variación en los pines de salida. De esta forma se logró la transmisión de datos desde el controlador a la Interfaz HMI y viceversa, permitiendo al operador obtener el valor de los sensores y tener control sobre los actuadores del sistema desde la interfaz HMI.

VI.CONCLUSIONES

Al término del presente proyecto, se resaltan las mejoras que podrán obtenerse en la planta de distribución de la ESSAP, con la implementación de un sistema de control automatizado; las cuales son, la mejora en la operatividad del sistema para el operador, comodidad en el registro de los datos mediante la obtención de los niveles de agua, presión y caudal en tiempo real y centralizado, gracias a una interfaz de usuario sencilla.

Con el proyecto se reducirá en porcentaje importante el costo de implementación y mantenimiento. Además de mencionar los ahorros que permitirá conseguir la implementación de un sistema de control automatizado.

Algunas informaciones fueron muy difíciles de conseguir debido a que en la planta de distribución no se lleva un registro de los eventos ocurridos.

Gracias a la realización del trabajo se ha ganado vasta experiencia en el diseño de automatización de procesos industriales y en la gestión de proyectos. Se han conseguido muchos conocimientos de otras áreas de la ingeniería. Tal es el caso del diseño de la estructura de control de la válvula, en donde se tuvo en cuenta desde conceptos de mecánica, electricidad, civil, hidráulica hasta diseño de aplicaciones web para la obtención de una plantilla de engranajes de acuerdo a los parámetros de engranaje necesarios.

VII.RECOMENDACIONES

Se recomienda que la capacidad del reservorio tenga al menos 10 veces la capacidad del tanque elevado para garantizar un servicio continuo durante eventos inesperados. Como en el caso de averías en las cañerías de provisión de agua, o en alguna falla en el suministro de agua desde la planta de tratamiento.

Todos los equipos eléctricos y electrónicos son frágiles frente a una descarga atmosférica, aun bajo las condiciones de protección más rigurosas. Por tanto, es recomendable diseñar un sistema de protección adecuado mediante la instalación de descargadores de al menos tres etapas con un buen sistema de puesta a tierra, para salvaguardar los dispositivos de las descargas atmosféricas. La instalación de transformadores de aislamiento para aislar los dispositivos de control de la red eléctrica principal, podría ser una opción.

En ciertas ocasiones se presentarán situaciones en las que será necesario el control a distancia de la válvula V1 (válvula de salida), debido a un corte del suministro de energía, ya sea por razones climatológicas u otras. Por tanto, será también necesario contar con un banco de baterías de respaldo o de grupos generadores de energía durante esos eventos para alimentar el equipo que comanda dicha válvula y permitir la disponibilidad del sistema durante los cortes en el suministro de energía eléctrica.

En otros estudios se puede investigar la implementación de medidores de caudal y de presión inteligentes con registro o con transmisión inalámbrica en puntos específicos de la ciudad, para contraste de mediciones con el sistema central de distribución de la planta. Así también la instalación de medidores de turbidez de agua (TDS), Ph y de Cloro residual para conocer las condiciones de la calidad del agua en tiempo real, que permita la realización de informes para la administración de la ESSAP.

VIII.BIBLIOGRAFÍA

Referencias del PFG

- [1] K. Ogata, INGENIERIA DE CONTROL MODERNA, Madrid: PEARSON EDUCACION, 2010.
- [2] J. M. Alfonso, ELECTRONICA INDUSTRIAL AVANZADA, Bogota: Centro Nacional de Medios para el aprendizaje, 2008.
- [3] S. M. John Park, Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems, Oxford: ELSEVIER, 2003.
- [4] W. Bolton, Mecatrónica, Segunda ed., Alfaomega, 2001.
- [5] T. J. Maloney, Electrónica Industrial Moderna, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2006.
- [6] A. Creus, INSTRUMENTACION INDUSTRIAL, Mexico: Alfaomega Grupo Editor, 2010.
- [7] Universidad Politécnica de Valencia, Ingeniería hidráulica en los abastecimientos de agua, Valencia, 2003.
- [8] Comisión Nacional del Agua, «Nanacamilpa,» Diciembre 2007. [En línea]. Available:
<http://nanacamilpa.gob.mx/contenidos/nanacamilpa/pdfs/EspecifZTecnicaZMANUALZDEZAGUAZPOTABLEZRedesZdeZdistribucin.pdf>. [Último acceso: 26 Julio 2016].
- [9] G. A. y. C. WELSCH, PRESUPUESTOS: Planificación y Control, México: PEARSON EDUCACION, 2005.
- [10] A. I. VILLARREAL, EVALUACION FINANCIERA DE PROYECTOS DE INVERSION, Bogotá: Norma S.A., 1988.
- [11] SNIP, «ACTUALIZACIÓN DE LA TASA SOCIAL DE DESCUENTO,» Asunción, 2017.
- [12] BCP, «Informe de Política Monetaria,» Asunción, 2017.
- [13] T. C. Systems, «Válvulas de mariposa motorizadas DN250..300,» Honeywell, [En línea]. Available:
https://partners.trendcontrols.com/trendproducts/cd/es/ecatdata/pg_gr-v5422.html. [Último acceso: 20 10 2017].
- [14] Itaipu Binacional, «Estructura Salarial,» 2017. [En línea]. Available:
<http://www.itaipu.gov.py/sites/default/files/PCS%20y%20PCR%20GRUPOS%20y%20CARGOS%20AMPLIOS.pdf>. [Último acceso: 20 Diciembre 2017].
- [15] Itaipu Binacional, «Tabla Salarial,» 2017. [En línea]. Available:
<http://www.itaipu.gov.py/sites/default/files/TABLAS%20SALARIAL%20EN%20GUARANIES%20Y%20REALES-2017.pdf>. [Último acceso: 20 Diciembre 2017].
- [16] U. hora, «Ultima Hora,» 18 Agosto 2015. [En línea]. Available:
<http://www.ultimahora.com/sector-privado-paga-el-doble-que-el-mopc-los-ingenieros-n922757.html>. [Último acceso: 20 Diciembre 2017].

- [17] L. F. A. Loaiza, «Diseño de un sistema de telemetría y telecontrol (SCADA) para la red de distribución de agua potable de la ciudad de Loja,» Loja, 2010.

Otras páginas de internet consultadas



- <https://www.ande.gov.py>
- <https://www.bcp.gov.py>
- <https://www.essap.gov.py>
- <https://www.investopedia.com>
- <https://www.lasc.endress.com>
- <https://www.schneider-electric.es>
- <https://www.siemens.com>
- <http://snip.hacienda.gov.py>

IX.APÉNDICE

Apéndice A: Resumen ejecutivo

Apéndice A.1: Nivel salarial utilizado en costo de ingeniería

La Tabla A.1 muestra la estructura salarial vigente para un ingeniero recién graduado. Esto último se ha obtenido del reglamento específico del proceso selectivo externo del presente año.

 ESTRUCTURA SALARIAL PLAN DE CARGOS Y SALARIOS UNIFICADO - PCS		 ESTRUTURA SALARIAL PLANO DE CARGOS E SALÁRIOS UNIFICADO - PCS	
GRUPO OCUPACIONAL	AMPLITUD SALARIAL	GRUPO OCUPACIONAL	AMPLITUDE SALARIAL
	NÍVEL		NÍVEL
MANUAL/OPERACIONAL	7A - 41C	MANUAL/OPERACIONAL	7A - 41C
ADMINISTRATIVO	18A - 57C	ADMINISTRATIVO	18A - 57C
TÉCNICO	26A - 57C	TÉCNICO	26A - 57C
UNIVERSITARIO	36A - 75C	UNIVERSITARIO	36A - 75C



 ESTRUCTURA SALARIAL PLAN DE CARRERA Y REMUNERACION POR COMPETENCIAS - PCR		 ESTRUTURA SALARIAL PLANO DE CARREIRA E REMUNERAÇÃO POR COMPETENCIAS - PCR	
CARGO AMPLIO	AMPLITUD SALARIAL	CARGO AMPLO	AMPLITUDE SALARIAL
	NÍVEL		NÍVEL
PROFESIONAL DE NIVEL FUNDAMENTAL	7A - 41C	PROFISSIONAL DE NÍVEL FUNDAMENTAL	7A - 41C
PROFESIONAL DE NIVEL SOPORTE	20A - 57C	PROFISSIONAL DE NÍVEL SOPORTE	20A - 57C
PROFESIONAL DE NIVEL TÉCNICO	26A - 59C	PROFISSIONAL DE NÍVEL TÉCNICO	26A - 59C
PROFESIONAL DE NIVEL UNIVERSITARIO	36A - 75C	PROFISSIONAL DE NÍVEL UNIVERSITÁRIO	36A - 75C

Tabla A.1: Estructura salarial 2017

Mientras que en la Tabla A.2 se puede apreciar el monto en guaraníes correspondiente al nivel salarial 36A que es de 11.702.100 Gs [14] [15].



TABLA SALARIAL - MARGEN DERECHA
(En Guaraníes)



TABELA SALARIAL - MARGEM ESQUERDA
(Em Reais)

Referencia: Mayo/2017

NIVEL	SALARIO			NIVEL	SALARIO		
	A	B	C		A	B	C
7	4.267.100	4.317.900	4.369.400	42	14.475.400	14.648.500	14.822.900
8	4.419.700	4.472.300	4.525.600	43	14.998.800	15.177.600	15.358.100
9	4.581.100	4.635.300	4.690.200	44	15.539.900	15.725.000	15.912.200
10	4.747.400	4.803.900	4.861.000	45	16.098.700	16.291.000	16.484.900
11	4.916.700	4.975.800	5.035.100	46	16.681.200	16.879.200	17.080.300
12	5.094.200	5.154.600	5.216.100	47	17.280.700	17.487.000	17.694.700
13	5.277.200	5.340.100	5.403.500	48	17.905.100	18.118.200	18.334.000
14	5.468.100	5.532.700	5.598.700	49	18.549.600	18.770.100	18.993.600
15	5.666.400	5.733.500	5.801.500	50	19.218.800	19.326.900	19.434.400
16	5.888.000	5.937.800	6.008.900	51	19.543.300	19.776.400	20.011.500
17	6.080.600	6.152.900	6.226.500	52	20.248.300	20.489.200	20.733.200
18	6.298.400	6.373.800	6.449.300	53	20.978.400	21.228.300	21.481.900
19	6.528.100	6.606.500	6.685.100	54	21.737.100	21.996.000	22.257.600
20	6.763.400	6.843.700	6.925.000	55	22.517.400	22.786.000	23.058.000
21	7.006.200	7.089.600	7.174.100	56	23.330.300	23.607.900	23.889.100
22	7.260.000	7.346.500	7.433.600	57	24.172.100	24.460.200	24.751.500
23	7.521.700	7.610.900	7.702.000	58	25.044.500	25.343.100	25.645.200
24	7.791.300	7.884.200	7.978.400	59	25.947.100	26.255.900	26.569.200
25	8.073.400	8.168.800	8.266.400	60	26.883.600	27.203.300	27.528.100
26	8.365.400	8.463.900	8.565.300	61	27.852.000	28.184.400	28.520.100
27	8.665.900	8.769.900	8.874.300	62	28.857.400	29.200.700	29.548.400
28	8.978.000	9.084.800	9.193.100	63	29.896.700	30.253.000	30.613.800
29	9.304.400	9.414.700	9.526.600	64	30.975.800	31.344.800	31.718.200
30	9.639.900	9.694.500	9.749.500	65	32.092.800	32.474.700	32.861.900
31	9.803.600	9.921.000	10.038.300	66	33.249.500	33.645.400	34.046.900
32	10.157.800	10.278.200	10.400.900	67	34.449.700	34.860.200	35.276.000
33	10.524.200	10.648.800	10.776.500	68	35.690.000	36.115.200	36.545.400
34	10.901.700	11.031.500	11.163.200	69	36.977.200	37.418.000	37.863.400
35	11.296.900	11.431.500	11.566.900	70	38.312.000	38.767.800	39.230.000
36	11.702.100	11.841.500	11.983.100	71	39.694.500	40.167.100	40.645.300
37	12.126.000	12.270.400	12.416.900	72	41.678.900	42.176.100	42.677.700
38	12.563.700	12.712.800	12.864.500	73	43.763.400	44.284.800	44.811.600
39	13.015.800	13.171.700	13.327.800	74	45.951.500	46.498.800	47.052.300
40	13.486.400	13.647.400	13.809.700	75	48.249.200	48.823.600	49.404.900
41	13.972.100	14.138.800	14.307.000				

Referencia: Noviembre/2011

NIVEL	SALARIO			NIVEL	SALARIO		
	A	B	C		A	B	C
7	1.762,69	1.786,01	1.809,66	42	7.183,75	7.285,50	7.388,70
8	1.833,66	1.858,03	1.882,74	43	7.493,31	7.599,58	7.707,25
9	1.907,83	1.933,28	1.959,05	44	7.816,51	7.927,52	8.040,22
10	1.985,16	2.011,72	2.038,68	45	8.154,52	8.270,21	8.387,53
11	2.066,02	2.093,63	2.121,76	46	8.506,60	8.627,53	8.750,06
12	2.150,36	2.179,28	2.208,57	47	8.874,55	9.000,87	9.128,87
13	2.238,33	2.268,53	2.299,17	48	9.258,74	9.390,55	9.524,31
14	2.330,29	2.361,84	2.393,84	49	9.659,83	9.797,48	9.937,00
15	2.426,26	2.459,24	2.492,64	50	10.078,47	10.222,35	10.368,27
16	2.526,51	2.560,87	2.595,77	51	10.516,26	10.666,11	10.818,16
17	2.631,02	2.666,93	2.703,41	52	10.972,36	11.128,87	11.297,68
18	2.740,30	2.777,81	2.815,77	53	11.448,74	11.612,25	11.778,03
19	2.854,30	2.892,65	2.931,59	54	11.946,37	12.116,88	12.289,83
20	2.970,98	3.009,81	3.049,12	55	12.465,24	12.643,49	12.824,23
21	3.088,87	3.129,36	3.170,44	56	13.007,68	13.193,68	13.382,42
22	3.212,04	3.254,36	3.297,28	57	13.573,92	13.767,99	13.964,94
23	3.340,66	3.384,86	3.429,58	58	14.164,69	14.367,50	14.573,14
24	3.474,95	3.521,00	3.567,64	59	14.781,71	14.993,23	15.207,77
25	3.615,04	3.663,16	3.711,99	60	15.425,41	15.646,36	15.870,47
26	3.761,29	3.811,53	3.862,53	61	16.098,01	16.328,70	16.562,72
27	3.914,07	3.966,52	4.019,59	62	16.800,03	17.040,95	17.285,32
28	4.073,47	4.128,24	4.183,76	63	17.533,11	17.784,48	18.039,60
29	4.239,95	4.297,75	4.356,43	64	18.298,38	18.560,76	18.826,87
30	4.415,95	4.482,08	4.549,35	65	19.096,89	19.370,83	19.648,83
31	4.617,50	4.682,27	4.747,78	66	19.930,79	20.217,01	20.507,28
32	4.814,18	4.881,68	4.950,23	67	20.801,75	21.100,35	21.403,18
33	5.019,69	5.090,09	5.161,61	68	21.710,34	22.022,16	22.338,54
34	5.234,08	5.307,61	5.382,28	69	22.659,27	22.988,83	23.323,12
35	5.457,92	5.534,69	5.612,66	70	23.662,18	24.050,12	24.444,55
36	5.691,70	5.734,14	5.776,89	71	24.845,47	25.251,06	25.663,44
37	5.820,02	5.902,02	5.985,23	72	26.087,78	26.513,67	26.946,64
38	6.069,66	6.155,26	6.242,22	73	27.392,13	27.839,28	28.293,89
39	6.330,19	6.419,65	6.510,56	74	28.761,69	29.231,26	29.708,71
40	6.602,74	6.695,95	6.790,64	75	30.199,73	30.692,82	31.194,07
41	6.886,68	6.984,24	7.083,26				

Tabla A.2: Tabla salarial 2017

Cabe aclarar que este monto solamente se ha utilizado como referencia, y no se lo utiliza como monto salarial final, pues se manejan otras cantidades dependiendo de la empresa y el sector en el cual se presta el servicio.

Según fuentes informativas del año 2015; en el sector privado el salario oscila entre los 7 a 10 millones de guaraníes, mientras que, en el sector público, se manejan desde los 4 a 8 millones de guaraníes [16].

Tras el análisis salarial se concluye con un promedio de 8 millones como sueldo de un ingeniero junior.

Considerando un tiempo aproximado de tres meses de duración del trabajo para la implementación del proyecto. El costo de ingeniería es de 24.000.000 Gs.

Apéndice A.2: Pérdidas por roturas de tuberías principales de la red de distribución

Según la administración de la planta de distribución, se producen 10 casos de roturas de tuberías al año, con una duración promedio de 20 horas cada una.

De estos casos, el 80% de las causas son desconocidas, es decir, pueden deberse a condiciones de funcionamiento del mismo sistema de distribución, mientras que

los demás casos son registrados como causa de accidentes durante obras civiles y viarias. Se puede estimar, por tanto, que con ese 80 % se pierde 1 % del total de agua facturado por año.

Con un caudal de 375 metros cúbicos por hora, que es el caudal de suministro actual en condiciones normales de abastecimiento. Se tiene un total de 2.700.000 metros cúbicos anuales; y el 1 % es igual a 27.000 metros cúbicos

Se llegó a esta conclusión del 1% luego de un análisis exhaustivo, pues, teniendo en cuenta las dimensiones de las tuberías y como variable la distancia desde el caso de rotura de la tubería hasta la planta de distribución, difícilmente se puede calcular la cantidad de pérdidas con exactitud porque no se puede suponer el punto exacto de ocurrencia del evento y no existen datos estadísticos de ello. Pero teniendo como base el flujo de salida de la planta que es de 375m³/h, tomando los 10 casos, con una duración de 20 horas se obtuvo un resultado superior al 2,7% de pérdidas del total de agua disponible, este valor sería exactamente lo que se perdería si el caso de rotura ocurre en un lugar cercano a la planta de distribución, y dado que 2,7% representa el 100% de los 10 casos anuales, el ochenta por ciento sería 2.2%, pero teniendo en cuenta las variables mencionadas, se eligió un valor mínimo de 1%, habiendo a la vez analizado algunos trabajos de tesis realizados [17].

Categoría	Cargo Básico (G.)*	Tarifa (G./m ³)		
		0-15 m ³	16-40m ³	>40m ³
Residencial Subsidiada	3.861	1.124	1.606	1.767
Residencial no Subsidiada	6.756	1.606	1.876	2.188
No Residencial (Comercial - Industrial)	19.305	2.294	2.350	2.727

Figura A.1: Tarifas de Servicios de ESSAP

El costo del agua por m³ como se puede observar en la Figura 5.2 es de 1.606 Gs/m³ por tanto:

Se tiene una pérdida de $27.000 \times 1.606 \text{ Gs} = 43.362.000 \text{ Gs}$ por año.

Apéndice A.3: Pérdidas por desbordamientos de los tanques

Las pérdidas por desbordamiento no son registradas en la planta de distribución. Se estima que en un promedio de 5 veces por mes existen desbordamientos de los tanques por al menos 1 hora hasta su verificación. Los desbordamientos son más frecuentes en días con inclemencias del tiempo.

El caudal total proveído por las bombas para la carga del tanque elevado es de 375 m³/h o 375.000 Litros/h.

Es decir que, si sucede un desbordamiento, se tiene una pérdida de: $375 \text{ m}^3/\text{h} = 375 * 5 \text{ m}^3/\text{mes} = 1.875 \text{ m}^3/\text{mes}$.

Lo que equivale a $1.875 \text{ m}^3 \times 1.606 \text{ Gs} * 12 = 36.035.000 \text{ Gs}$ en pérdidas por año.

Apéndice A.4: Pérdidas por casos de averías de motores

Según fuentes de la ESSAP, al año se presentan 6 o más casos de averías en motores de bombas por sobrecalentamiento o averías a causa de descargas atmosféricas.

Se estima que en el 50% de los casos son causados por el sobrecalentamiento de los motores debido a las condiciones de trabajo ininterrumpidas.

Con un sistema de control riguroso se pueden disminuir estos casos al 10%, teniendo la posibilidad de llegar al 0% de fallas por sobrecalentamiento.

Con esto se lograría ahorrar tanto en costo de mantenimiento como en pérdidas por fuera de servicio. Aunque esto último en casos eventuales porque hay una baja probabilidad de que dos motores se averíen al mismo tiempo, pero no se puede descartar la posibilidad.

El costo por mantenimiento por parte de un técnico es de 200.000 Gs. Rebobinado. 500.000Gs.

Por lo anterior, se estima un total de ahorro de aproximadamente: 3.000.000Gs.

Apéndice A.5: Pérdidas en consumo de energía eléctrica

Durante los desbordamientos de los tanques. Los motores trabajan la misma cantidad de horas que duran los desbordamientos. Por tanto, existen consumos innecesarios de energía eléctrica.

Según el pliego de tarifas número 21 de la ANDE, el costo de energía para la ESSAP es de 300 Gs/Kwh.

Por lo que las pérdidas se pueden contabilizar de la siguiente manera:

$Perdidas = Kwh * horas * costodeenergía = 45kWh * 1h * 300Gs = 13.500 Gs$ durante cada desbordamiento.

En un mes son $13.500 Gs * 5 = 67.500 Gs$ lo que representa 810.000 Gs en pérdidas por año.

Apéndice A.6: Resumen de pérdidas

AÑO	ROTURA DE TUBERIAS	DESBORDAMIENTO EN LOS TANQUES	AVERIA DE MOTORES	ENERGIA ELECTRICA	TOTAL DE PERDIDAS
1	43.632.000 ₡	36.035.000 ₡	3.000.000 ₡	810.000 ₡	83.477.000 ₡
2	43.632.000 ₡	36.035.000 ₡	3.000.000 ₡	810.000 ₡	83.477.000 ₡
3	43.632.000 ₡	36.035.000 ₡	3.000.000 ₡	810.000 ₡	83.477.000 ₡
4	43.632.000 ₡	36.035.000 ₡	3.000.000 ₡	810.000 ₡	83.477.000 ₡
5	43.632.000 ₡	36.035.000 ₡	3.000.000 ₡	810.000 ₡	83.477.000 ₡

6	43.632.000 ₺	36.035.000 ₺	3.000.000 ₺	810.000 ₺	83.477.000 ₺
7	43.632.000 ₺	36.035.000 ₺	3.000.000 ₺	810.000 ₺	83.477.000 ₺
8	43.632.000 ₺	36.035.000 ₺	3.000.000 ₺	810.000 ₺	83.477.000 ₺
9	43.632.000 ₺	36.035.000 ₺	3.000.000 ₺	810.000 ₺	83.477.000 ₺
10	43.632.000 ₺	36.035.000 ₺	3.000.000 ₺	810.000 ₺	83.477.000 ₺
TOTAL:	436.320.000 ₺	360.350.000 ₺	30.000.000 ₺	8.100.000 ₺	834.770.000 ₺

Tabla A.3: Pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ESSAP

En la Tabla A.3 se resume el total de pérdidas que se encontraron en la planta de distribución de agua de la ESSAP durante el análisis de factibilidad económica.

Apéndice A.7: Costos de mantenimiento

Los cálculos de mantenimiento se calcularon en base al 5% del costo total del proyecto. Este monto puede o no ser gastado en su totalidad durante el año. Pues, se ahorrarían los costos por mantenimiento correctivo si es que esto último no fuera necesario.

A continuación se detallan los cálculos para el costo de mantenimiento:

Partiendo del costo del proyecto de 109.059.546 Gs, se tiene como resultado, lo correspondiente al 5%, lo siguiente:

$$\text{Costo de mantenimiento} = 109.059.546 \text{ Gs} * 0.05 = 5.452.977 \text{ Gs}$$

El resultado obtenido corresponde al costo global por mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo durante cada año. Este monto se incluye en el costo de operación de la tabla de flujo de caja del punto 5.12.3.6.

Como recomendación, se puede fijar el mantenimiento preventivo cada mes para garantizar el buen funcionamiento del sistema en todo momento.

Como nota final para esta sección, cabe aclarar que no se han considerado los costos de operación con el sistema de control anterior por cuestiones de falta de información concreta acerca de los mismos. No se manejan gastos mensuales fijos en la planta de distribución.

Apéndice A.8: Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Específicamente, el valor de PRI se puede calcular de la siguiente manera:

$$PRI = \frac{I}{Ct} = \frac{109.059.546 \text{ Gs}}{61.665.090 \text{ Gs}} = 1,76 \text{ años}$$

Donde:

I = Cantidad invertida

Ct = Flujo de efectivo en el tiempo t

Casi finalizando el segundo año ya se recuperaría la totalidad de la inversión si no se tuviera que pagar por la tasa de descuento. Lo que significa que a partir del tercer año ya se obtendrán beneficios económicos.

Apéndice A.9: Relación Beneficio - Costo

Para el cálculo de Beneficio – Costo se utilizó la herramienta VNA de Excel para la adaptación de los costos y beneficios al último año del periodo de estudio, utilizando como parámetros, una tasa de interés anual del 9%. Posteriormente se realizó la relación entre el Beneficio y el Costo obtenidos como resultados del VNA.

Así, la cantidad de Egresos totales acumulada al último año es de 235.388.556 Gs y la cantidad de Ingresos de 535.726.812 Gs. Por lo tanto, la relación B/C resulta:

$$\frac{B}{C} = \frac{535.726.812 \text{ Gs}}{249.040.913 \text{ Gs}} = 2,15$$

Un valor superior a la unidad indica que los beneficios son mayores que los costos. Siendo muy atractiva la inversión en el presente proyecto.

Apéndice B: Ingeniería de diseño

Apéndice B.1: Cálculo para la selección del motor

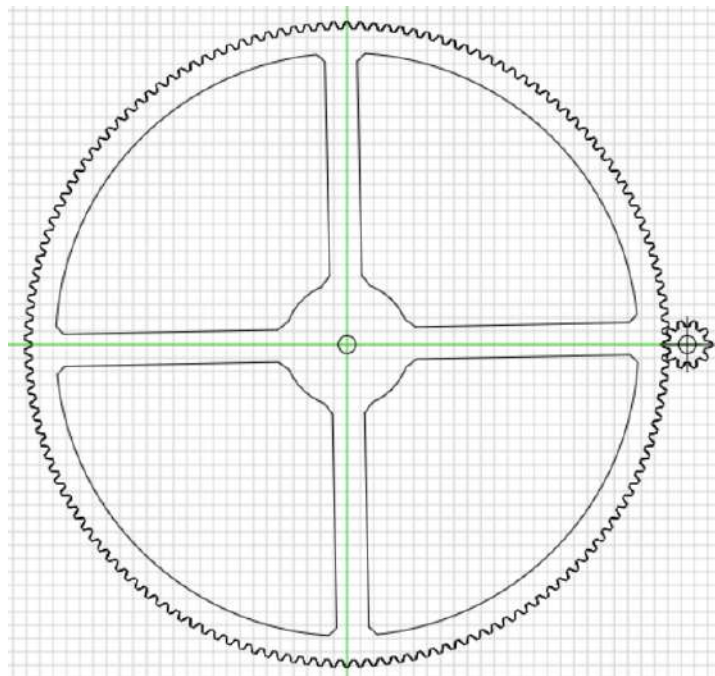


Figura B.1: Engranajes dos(el más grande) y uno

La Figura anterior muestra la relación de tamaño que existe entre los engranajes 1 y 2.

A continuación, se presenta el método de obtención del par necesario para girar la rueda de operación de la válvula. Nótese que esta rueda girará automáticamente cuando el sistema se encuentre trabajando de manera automática.

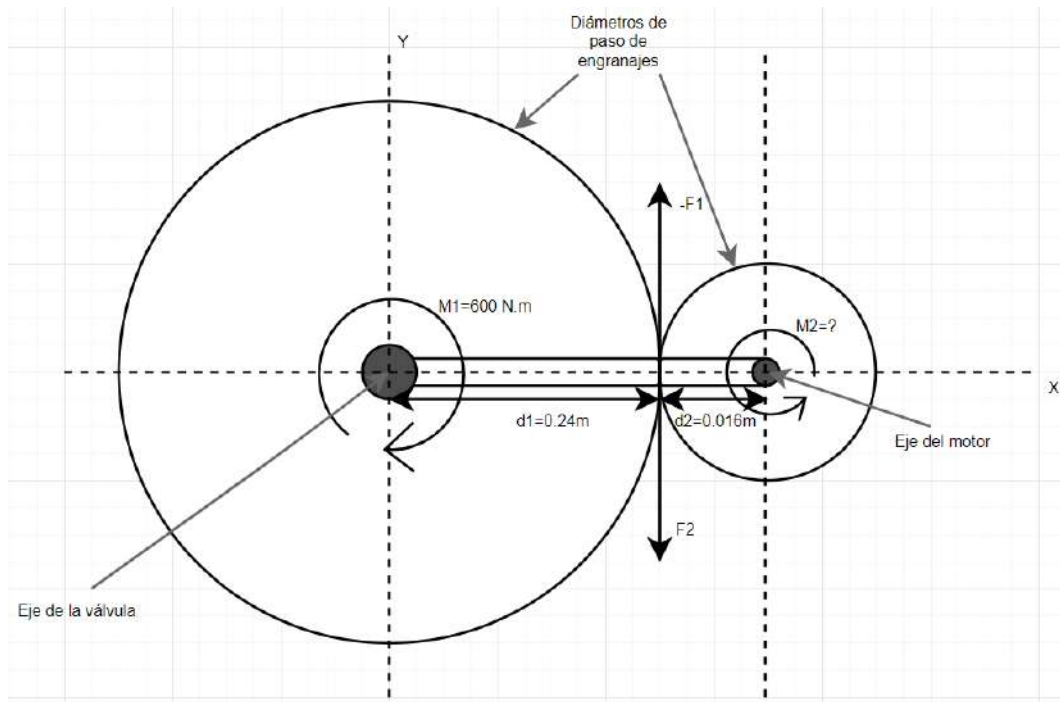


Figura B.2: Diagrama de cuerpo libre

$$M_1 = d_1 \cdot F_1 \text{ y } M_2 = d_2 \cdot F_2$$

$$F_1 = \frac{M_1}{d_1} = \frac{600 \text{ N.m}}{0.24 \text{ m}} = 2500 \text{ N}$$

Esta es la fuerza F_1 necesaria para girar la válvula con un brazo de 0.24 m de longitud; por lo tanto, F_2 debe tener mínimamente esa magnitud de fuerza en sentido opuesto para empezar a girar la válvula. Es decir, $F_2 \geq F_1$, entonces:

$$M_2 = (0.016 \text{ m}) \cdot (2500 \text{ N}) = 40 \text{ N.m}$$

De esta manera se encuentra que el motor deberá tener un par de por lo menos 40 N.m.

Apéndice B.2: Programación de la interfaz de Inicio de Sesión

```
import java.awt.Image; //Librería de desarrollo de interfaces gráficas.
Permite conseguir la ruta para el icono del programa
import java.awt.Toolkit; //Librería de desarrollo de interfaces gráficas.
Permite conseguir la ruta para el icono del programa
import java.awt.event.KeyEvent; //Librería que permite obtener los
eventos de teclado
import jssc.SerialPortList; //Librería para obtener la lista de los
puertos seriales

/*
```

```
* To change this license header, choose License Headers in Project
Properties.
* To change this template file, choose Tools | Templates
* and open the template in the editor.
*/

/**
 *
 * @author Ramon
 */
public class SCADAFORM1 extends javax.swing.JFrame {
    String NoPort = new String(); // Variable que almacena el nombre
del puerto
    public Image conseguirImagen() { //Icono de programa. Este metodo
consigue la imagen, luego hay que llamar a este metodo desde las
propiedades del diseño
        Image retValue = Toolkit.getDefaultToolkit().

getImage(ClassLoader.getResource("resources/scadaicono.png"));
//Ruta del icono
        return retValue;
    }

    public SCADAFORM1 () {
        initComponents();
        setLocationRelativeTo(null); //Fija la ventana en el centro de la
pantalla
    }

    /**
     * This method is called from within the constructor to initialize
the form.
     * WARNING: Do NOT modify this code. The content of this method is
always
     * regenerated by the Form Editor.
     */
    @SuppressWarnings("unchecked")
    // <editor-fold defaultstate="collapsed" desc="Generated Code">
    private void initComponents () {

        jPasswordField1 = new javax.swing.JPasswordField();
        jButton1 = new javax.swing.JButton();
        jComboBox1 = new javax.swing.JComboBox<>();
        jbotonmain = new javax.swing.JButton();
        jLabel1 = new javax.swing.JLabel();
        jLabel2 = new javax.swing.JLabel();
        jLabel3 = new javax.swing.JLabel();
        jLabel4 = new javax.swing.JLabel();
        jLabel5 = new javax.swing.JLabel();

        setDefaultCloseOperation(javax.swing.WindowConstants.EXIT_ON_CLOSE);
        setBackground(new java.awt.Color(255, 255, 255));
        setForeground(new java.awt.Color(204, 204, 204));
        setIconImage(conseguirImagen());
        setUndecorated(true);
        setResizable(false);
    }
}
```

```
addWindowListener(new java.awt.event.WindowAdapter() {
    public void windowOpened(java.awt.event.WindowEvent evt) {
        formWindowOpened(evt);
    }
});
getContentPane().setLayout(new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteLayout());

jPasswordField1.setHorizontalAlignment(javax.swing.JTextField.CENTER);
jPasswordField1.setToolTipText("Introduzca la contraseña del
administrador");

jPasswordField1.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createLineBorder(new
java.awt.Color(0, 0, 0)));
jPasswordField1.addActionListener(new
java.awt.event.ActionListener() {
    public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
        jPasswordField1ActionPerformed(evt);
    }
});
jPasswordField1.addKeyListener(new java.awt.event.KeyAdapter() {
    public void keyTyped(java.awt.event.KeyEvent evt) {
        jPasswordField1KeyTyped(evt);
    }
});
getContentPane().add(jPasswordField1, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(150, 170, 129, 20));

jButton1.setText("SALIR");
jButton1.setFocusable(false);
jButton1.setRequestFocusEnabled(false);
jButton1.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
    public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
        jButton1ActionPerformed(evt);
    }
});
getContentPane().add(jButton1, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(300, 40, 100, 30));

jComboBox1.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new
String[] { "Item 1", "Item 2", "Item 3", "Item 4" }));
jComboBox1.setToolTipText("Seleccionar dispositivo controlador");
getContentPane().add(jComboBox1, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(30, 220, 100, 30));

jbotonmain.setText("CONECTAR");
jbotonmain.setToolTipText("Conectar e Iniciar Sesión");
jbotonmain.setRequestFocusEnabled(false);
jbotonmain.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener()
{
    public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
        jbotonmainActionPerformed(evt);
    }
});
getContentPane().add(jbotonmain, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(300, 220, 100, 30));
```

```
        jLabel1.setText("Contraseña del Administrador");
        getContentPane().add(jLabel1, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(130, 140, -1, -1));

        jLabel2.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 18)); // NOI18N
        jLabel2.setText("ESSAP - SCADA");
        getContentPane().add(jLabel2, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(150, 100, -1, -1));

        jLabel3.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 18)); // NOI18N
        jLabel3.setForeground(new java.awt.Color(255, 0, 0));

jLabel3.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
        getContentPane().add(jLabel3, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(50, 260, 327, 20));

        jLabel4.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/logo -
copia.png"))); // NOI18N
        getContentPane().add(jLabel4, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(20, 30, 200, -1));

        jLabel5.setBackground(new java.awt.Color(255, 255, 255));
        jLabel5.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 14)); // NOI18N

jLabel5.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
        jLabel5.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createLineBorder(new
java.awt.Color(0, 0, 0)));
        jLabel5.setOpaque(true);
        getContentPane().add(jLabel5, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(0, 0, 430, 290));

        pack();
    } // </editor-fold>

    private void jbotonmainActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent
evt) {
        jLabel3.setText(""); // Borra contenido del Label3 cada vez que se
presiona el botonmain
        if
(jComboBox1.getItemCount() != 0 && Integer.parseInt(jPasswordField1.getText())
== 12345) {
            NoPort = jComboBox1.getItemAt(0).toString(); // Obtiene el
nombre del puerto
            OtroJFrame jFrame = new OtroJFrame(NoPort); // Crea el JFrame
            jFrame.setVisible(true); // Muestra el JFrame
            this.dispose(); // Elimina el actual JFrame
        }
        // Muestra aviso de contraseña incorrecta
        if (Integer.parseInt(jPasswordField1.getText()) != 12345) {
            jLabel3.setText("Contraseña incorrecta");
        }
        jPasswordField1.setText(""); // Borra el campo de contraseña
despues de haber comparado su valor
        if (jComboBox1.getSelectedIndex() == -1) {
            jLabel3.setText("Conecte dispositivo y reinicie");
        }
    }
}
```

```
    }
}

private void formWindowOpened(java.awt.event.WindowEvent evt) {
    String[] portNames = SerialPortList.getPortNames(); //Al abrir
la ventana obtiene los nombres de los puertos seriales
    JComboBox1.setModel(new
javax.swing.DefaultComboBoxModel(portNames));
}

private void jButton1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
    // TODO add your handling code here:
    System.exit(0);
}

private void jPasswordField1KeyTyped(java.awt.event.KeyEvent evt) {
    //Se asegura de detectar la tecla enter y descartar todas las demas
teclas tipeadas
    char cTeclaPresionada = evt.getKeyChar();

    //Da click al boton elegido
    if(cTeclaPresionada==KeyEvent.VK_ENTER){
        jbotonmain.doClick();
    }
}

private void
jPasswordField1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    // TODO add your handling code here:
}

/**
 * @param args the command line arguments
 */
public static void main(String args[]) { //Metodo principal
    /* Set the Nimbus look and feel */
    //<editor-fold defaultstate="collapsed" desc=" Look and feel
setting code (optional) ">
    /* If Nimbus (introduced in Java SE 6) is not available, stay
with the default look and feel.
    * For details see
http://download.oracle.com/javase/tutorial/uiswing/lookandfeel/plaf.html
    */
    try {

        javax.swing.UIManager.setLookAndFeel("com.sun.java.swing.plaf.windows.Win
dowsLookAndFeel");
    } catch (ClassNotFoundException ex) {

        java.util.logging.Logger.getLogger(SCADAFORM1.class.getName()).log(java.u
til.logging.Level.SEVERE, null, ex);
    } catch (InstantiationException ex) {

        java.util.logging.Logger.getLogger(SCADAFORM1.class.getName()).log(java.u
til.logging.Level.SEVERE, null, ex);
    }
}
}
```

```
    } catch (IllegalAccessException ex) {

java.util.logging.Logger.getLogger(SCADAFORM1.class.getName()).log(java.u
til.logging.Level.SEVERE, null, ex);
    } catch (javax.swing.UnsupportedLookAndFeelException ex) {

java.util.logging.Logger.getLogger(SCADAFORM1.class.getName()).log(java.u
til.logging.Level.SEVERE, null, ex);
    }
}
//</editor-fold>

/* Create and display the form */
java.awt.EventQueue.invokeLater(new Runnable() {
    public void run() {
        new SCADAFORM1().setVisible(true);
    }
});
}

// Variables declaration - do not modify
private javax.swing.JButton jButton1;
private javax.swing.JComboBox<String> jComboBox1;
private javax.swing.JLabel jLabel1;
private javax.swing.JLabel jLabel2;
private javax.swing.JLabel jLabel3;
private javax.swing.JLabel jLabel4;
private javax.swing.JLabel jLabel5;
private javax.swing.JPasswordField jPasswordField1;
private javax.swing.JButton jbotonmain;
// End of variables declaration
}
```

Apéndice B.3: Programación de la interfaz SCADA

```
import java.awt.Color;
import java.awt.Desktop;
import java.io.File;
import java.io.IOException;
import java.util.logging.Level;
import java.util.logging.Logger;
import jssc.SerialPort;
import jssc.SerialPortEvent;
import jssc.SerialPortEventListener;
import jssc.SerialPortException;
import jssc.SerialPortList;

/*
 * To change this license header, choose License Headers in Project
Properties.
 * To change this template file, choose Tools | Templates
 * and open the template in the editor.
 */

/**
 *
 * @author Ramon
```

```
*/
/*Paso 1- SE IMPLEMENTA SerialPortEventListener para escuchar los eventos
del puerto y se importan las librerías necesarias */
public class OtrojFrame extends javax.swing.JFrame implements
SerialPortEventListener{
    String valor="";
    int cont=0;
    String cont1;
    String cont11;
    int ini=0; //Bandera de inicio

//Paso 2.3 inicio
    static SerialPort serialPort; //Variables para el puerto serial
    String NoPort = new String(); //Variable para almacenar el nombre del
puerto

//Paso 2.3 fin
    public OtrojFrame(String nPort) { //Este es el constructor del JFrame
OtrojFrame creado en la clase SCADAFORM1, noPort es una variable que
contiene el valor del nombre de puerto obtenido en SCADAFORM1
        initComponents();
        NoPort=nPort;
        System.out.print("Este es el puerto "+nPort);
        AbrirPuertoSerie(nPort); // Paso 2.1- Luego se inicializa el
metodo principal OtrojFrame con los valores de nport, se crea el metodo
para recibir el nombre del puerto serial elegido en el otro JFrame y se
abre para la
        setLocationRelativeTo(null); //comunicación
        JTextArea1.append("Iniciando...\n");

    }

/**
 * This method is called from within the constructor to initialize
the form.
 * WARNING: Do NOT modify this code. The content of this method is
always
 * regenerated by the Form Editor.
 */
@SuppressWarnings("unchecked")
// <editor-fold defaultstate="collapsed" desc="Generated Code">
private void initComponents() {

    jPanel1 = new javax.swing.JPanel();
    jLabel1 = new javax.swing.JLabel();
    jButtonOFFM1 = new javax.swing.JButton();
    jTextField1 = new javax.swing.JTextField();
    progressBar2 = new javax.swing.JProgressBar();
    jButtonONM1 = new javax.swing.JButton();
    jButton2 = new javax.swing.JButton();
    jButton3 = new javax.swing.JButton();
    jButton4 = new javax.swing.JButton();
    jButton5 = new javax.swing.JButton();
    jButton6 = new javax.swing.JButton();
    jButton7 = new javax.swing.JButton();
    jLabel2 = new javax.swing.JLabel();
```

```
jTextField2 = new javax.swing.JTextField();
jScrollPane1 = new javax.swing.JScrollPane();
jTextArea1 = new javax.swing.JTextArea();
jButton1 = new javax.swing.JButton();
jProgressBar1 = new javax.swing.JProgressBar();
jLabel10 = new javax.swing.JLabel();
jLabel8 = new javax.swing.JLabel();
jLabel9 = new javax.swing.JLabel();
jLabel11 = new javax.swing.JLabel();
jLabel12 = new javax.swing.JLabel();
jLabel13 = new javax.swing.JLabel();
jLabel14 = new javax.swing.JLabel();
jTextField3 = new javax.swing.JTextField();
jLabel15 = new javax.swing.JLabel();
jLabel16 = new javax.swing.JLabel();
jLabel17 = new javax.swing.JLabel();
jLabel18 = new javax.swing.JLabel();
jLabel19 = new javax.swing.JLabel();
jLabel22 = new javax.swing.JLabel();
jLabel23 = new javax.swing.JLabel();
jLabel24 = new javax.swing.JLabel();
jButton8 = new javax.swing.JButton();
jLabel25 = new javax.swing.JLabel();
jProgressBar3 = new javax.swing.JProgressBar();
jLabel26 = new javax.swing.JLabel();
jLabel27 = new javax.swing.JLabel();
jLabel28 = new javax.swing.JLabel();
jLabel29 = new javax.swing.JLabel();
jLabel30 = new javax.swing.JLabel();
jLabel31 = new javax.swing.JLabel();
jLabel6 = new javax.swing.JLabel();
jMenuBar2 = new javax.swing.JMenuBar();
jMenu2 = new javax.swing.JMenu();

setDefaultCloseOperation(javax.swing.WindowConstants.EXIT_ON_CLOSE);
setBackground(new java.awt.Color(255, 255, 255));
setCursor(new java.awt.Cursor(java.awt.Cursor.DEFAULT_CURSOR));
setIconImages(null);
setUndecorated(true);
setPreferredSize(new java.awt.Dimension(2075, 1000));
setResizable(false);
addWindowListener(new java.awt.event.WindowAdapter() {
    public void windowClosed(java.awt.event.WindowEvent evt) {
        formWindowClosed(evt);
    }
});
getContentPane().setLayout(new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteLayout());

jPanel1.setBackground(new java.awt.Color(255, 255, 255));
jPanel1.setCursor(new
java.awt.Cursor(java.awt.Cursor.DEFAULT_CURSOR));
jPanel1.setLayout(new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteLayout());

jLabel1.setText("VALOR DE PUERTO SERIAL");
```

```
        jPanel1.add(jLabel1, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(930, 170, 160, -1));

        jButtonOFFM1.setBackground(new java.awt.Color(0, 0, 0));
        jButtonOFFM1.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 1, 13)); //
NOI18N
        jButtonOFFM1.setText("APAGAR");
        jButtonOFFM1.setToolTipText("Apagar bomba 1");

jButtonOFFM1.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createBevelBorder(javax.
swing.border.BevelBorder.RAISED));
        jButtonOFFM1.addActionListener(new
java.awt.event.ActionListener() {
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jButtonOFFM1ActionPerformed(evt);
            }
        });
        jPanel1.add(jButtonOFFM1, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(510, 635, 100, 30));
        jPanel1.add(jTextField1, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(980, 200, 60, -1));

        progressBar2.setForeground(new java.awt.Color(0, 153, 255));
        progressBar2.setOrientation(1);
        progressBar2.setToolTipText("");
        progressBar2.setName(""); // NOI18N
        progressBar2.setString("");
        progressBar2.setStringPainted(true);
        progressBar2.setVerifyInputWhenFocusTarget(false);
        progressBar2.addPropertyChangeListener(new
java.beans.PropertyChangeListener() {
            public void propertyChange(java.beans.PropertyChangeEvent
evt) {
                progressBar2PropertyChange(evt);
            }
        });
        jPanel1.add(progressBar2, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(580, 163, 30, 175));

        jButtonONM1.setBackground(new java.awt.Color(0, 0, 0));
        jButtonONM1.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 1, 13)); //
NOI18N
        jButtonONM1.setText("ENCENDER");
        jButtonONM1.setToolTipText("Encender bomba 1");

jButtonONM1.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createBevelBorder(javax.s
wing.border.BevelBorder.RAISED));
        jButtonONM1.setFocusable(false);
        jButtonONM1.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener()
{
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jButtonONM1ActionPerformed(evt);
            }
        });
        jPanel1.add(jButtonONM1, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(510, 595, 100, 30));
```

```
        jButton2.setBackground(new java.awt.Color(0, 0, 0));
        jButton2.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 1, 13)); // NOI18N
        jButton2.setText("ENCENDER");
        jButton2.setToolTipText("Encender bomba 2");

jButton2.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createBevelBorder(javax.swing.
border.BevelBorder.RAISED));
        jButton2.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jButton2ActionPerformed(evt);
            }
        });
        jPanel1.add(jButton2, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(690, 595, 100, 30));

        jButton3.setBackground(new java.awt.Color(0, 0, 0));
        jButton3.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 1, 13)); // NOI18N
        jButton3.setText("APAGAR");
        jButton3.setToolTipText("Apagar bomba 2");

jButton3.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createBevelBorder(javax.swing.
border.BevelBorder.RAISED));
        jButton3.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jButton3ActionPerformed(evt);
            }
        });
        jPanel1.add(jButton3, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(690, 635, 100, 30));

        jButton4.setBackground(new java.awt.Color(0, 0, 0));
        jButton4.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 1, 13)); // NOI18N
        jButton4.setText("ENCENDER");
        jButton4.setToolTipText("Encender bomba 3");

jButton4.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createBevelBorder(javax.swing.
border.BevelBorder.RAISED));
        jButton4.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jButton4ActionPerformed(evt);
            }
        });
        jPanel1.add(jButton4, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(870, 595, 100, 30));

        jButton5.setBackground(new java.awt.Color(0, 0, 0));
        jButton5.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 1, 13)); // NOI18N
        jButton5.setText("APAGAR");
        jButton5.setToolTipText("Apagar bomba 3");

jButton5.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createBevelBorder(javax.swing.
border.BevelBorder.RAISED));
        jButton5.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jButton5ActionPerformed(evt);
            }
        });
    });
```

```
        jPanel1.add(jButton5, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(870, 635, 100, 30));

        jButton6.setBackground(new java.awt.Color(0, 0, 0));
        jButton6.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 1, 13)); // NOI18N
        jButton6.setToolTipText("Activar Modo MANUAL");
        jButton6.setBorder(null);
        jButton6.setBorderPainted(false);
        jButton6.setContentAreaFilled(false);
        jButton6.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jButton6ActionPerformed(evt);
            }
        });
        jPanel1.add(jButton6, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(620, 773, 250, 90));

        jButton7.setBackground(new java.awt.Color(0, 0, 0));
        jButton7.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 1, 13)); // NOI18N
        jButton7.setToolTipText("Activar Modo AUTOMATICO");
        jButton7.setBorder(null);
        jButton7.setBorderPainted(false);
        jButton7.setContentAreaFilled(false);
        jButton7.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jButton7ActionPerformed(evt);
            }
        });
        jPanel1.add(jButton7, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(980, 770, 250, 100));

        jLabel2.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 1, 36)); // NOI18N
        jLabel2.setText("SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA - ESSAP CORONEL
OVIEDO");
        jPanel1.add(jLabel2, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(340, 20, 1220, 60));

        jTextField2.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 18)); //
NOI18N
        jTextField2.setOpaque(false);
        jTextField2.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener()
{
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jTextField2ActionPerformed(evt);
            }
        });
        jPanel1.add(jTextField2, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(467, 765, 50, 30));

        jScrollPane1.setBorder(null);
        jScrollPane1.setAutoScrolls(true);
        jScrollPane1.setOpaque(false);

        jTextArea1.setEditable(false);
        jTextArea1.setBackground(new java.awt.Color(0, 0, 0));
        jTextArea1.setColumns(20);
```

```
        JTextArea1.setFont(new java.awt.Font("Monospaced", 1, 18)); //
NOI18N
        JTextArea1.setForeground(new java.awt.Color(0, 255, 0));
        JTextArea1.setRows(5);
        JTextArea1.setBorder(null);

jTextArea1.setCaretPosition(jTextArea1.getDocument().getLength());
jScrollPane.setViewportView(jTextArea1);

jPanel1.add(jScrollPane, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1120, 190, 350, 160));

jButton1.setBackground(new java.awt.Color(0, 0, 0));
jButton1.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 1, 13)); // NOI18N
jButton1.setBorder(null);
jButton1.setBorderPainted(false);
jButton1.setContentAreaFilled(false);
jButton1.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
    public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
        jButton1ActionPerformed(evt);
    }
});
jPanel1.add(jButton1, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1350, 770, 250, 100));

jProgressBar1.setForeground(new java.awt.Color(0, 204, 204));
jProgressBar1.setMaximum(50);
jProgressBar1.setOrientation(1);
jProgressBar1.setString("");
jProgressBar1.setStringPainted(true);
jPanel1.add(jProgressBar1, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1445, 447, 30, 140));

jLabel10.setText("MODO MANUAL");
jPanel1.add(jLabel10, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1720, 210, 170, 30));

jLabel8.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 24)); // NOI18N
jLabel8.setText("AVISOS - ESTADO");
jPanel1.add(jLabel8, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1610, 110, 200, -1));

jLabel9.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledamarillo.png"
))); // NOI18N
jPanel1.add(jLabel9, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1600, 170, -1, 100));

jLabel11.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledamarillo.png"
))); // NOI18N
jPanel1.add(jLabel11, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1600, 280, -1, -1));

jLabel12.setText("NIVEL DE AGUA EN TANQUE");
jPanel1.add(jLabel12, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1720, 320, 230, 30));
```

```
        jLabel113.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledamarillo.png"
))); // NOI18N
        jLabel113.setText("jLabel113");
        jPanel1.add(jLabel113, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1600, 390, 100, 100));

        jLabel114.setText("NIVEL EN RESERVORIO");
        jPanel1.add(jLabel114, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1720, 430, 220, 30));

        jTextField3.setText("jTextField3");
        jPanel1.add(jTextField3, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(920, 290, -1, -1));

        jLabel115.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledamarillo.png"
))); // NOI18N
        jLabel115.setText("jLabel115");
        jPanel1.add(jLabel115, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1600, 500, 100, -1));

        jLabel116.setText("NIVEL DE PRESION");
        jPanel1.add(jLabel116, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1720, 540, 180, 30));

        jLabel117.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/motoroff.png")))
; // NOI18N
        jPanel1.add(jLabel117, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(505, 480, 140, 110));

        jLabel118.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/motoroff.png")))
; // NOI18N
        jPanel1.add(jLabel118, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(680, 485, 120, -1));

        jLabel119.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/motoroff.png")))
; // NOI18N
        jPanel1.add(jLabel119, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(860, 485, 120, 100));

        jLabel22.setText("Bomba 1");
        jPanel1.add(jLabel22, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(540, 470, -1, -1));

        jLabel23.setText("Bomba 2");
        jPanel1.add(jLabel23, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(710, 470, -1, -1));

        jLabel24.setText("Bomba 3");
        jPanel1.add(jLabel24, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(890, 470, -1, -1));
```

```
        jButton8.setToolTipText("REFRESCAR CONEXION CON CONTROLADOR");
        jButton8.setBorder(null);
        jButton8.setBorderPainted(false);
        jButton8.setContentAreaFilled(false);
        jButton8.setCursor(new
java.awt.Cursor(java.awt.Cursor.HAND_CURSOR));
        jButton8.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jButton8ActionPerformed(evt);
            }
        });
        jPanel11.add(jButton8, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(190, 170, 160, 160));

        jLabel25.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/logo -
copia.png"))); // NOI18N
        jPanel11.add(jLabel25, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(0, 0, 200, 170));

        progressBar3.setBackground(new java.awt.Color(0, 0, 0));
        progressBar3.setForeground(new java.awt.Color(0, 204, 255));
        progressBar3.setOrientation(1);
        progressBar3.setValue(20);

jProgressBar3.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createLineBorder(new
java.awt.Color(0, 0, 0)));
        progressBar3.setString("");
        progressBar3.setStringPainted(true);
        jPanel11.add(progressBar3, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(340, 558, -1, 150));

        jLabel26.setText("ABIERTO");
        jPanel11.add(jLabel26, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(280, 560, -1, -1));

        jLabel27.setText("CERRADO");
        jPanel11.add(jLabel27, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(280, 690, -1, -1));

        jLabel28.setText("500.000 litros");
        jPanel11.add(jLabel28, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(470, 160, -1, -1));

        jLabel29.setText("100 litros");
        jPanel11.add(jLabel29, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(490, 320, -1, -1));

        jLabel30.setText("1.4 M litros");
        jPanel11.add(jLabel30, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1520, 440, -1, -1));

        jLabel31.setText("0 litros");
        jPanel11.add(jLabel31, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(1530, 570, -1, -1));
```

```
        jLabel6.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/difondo.png"))
); // NOI18N
        jLabel6.setText("jLabel4");
        jPanel1.add(jLabel6, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(150, 90, 1470, 810));

        getContentPane().add(jPanel1, new
org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(0, 0, 2020, 1330));
        jPanel1.getAccessibleContext().setAccessibleName("");
        jPanel1.getAccessibleContext().setAccessibleDescription("");

        jMenuBar2.setBackground(new java.awt.Color(153, 153, 153));

        jMenuItem2.setText("Ayuda");
        jMenuItem2.addMouseListener(new java.awt.event.MouseAdapter() {
            public void mousePressed(java.awt.event.MouseEvent evt) {
                jMenuItem2MousePressed(evt);
            }
        });
        jMenuBar2.add(jMenuItem2);

        setJMenuBar(jMenuBar2);

        getAccessibleContext().setAccessibleDescription("");

        pack();
    } // </editor-fold>
    /*Cuando se cierra la ventana tambien se cierra el puerto serial */
    private void formWindowClosed(java.awt.event.WindowEvent evt) {
        try {
            serialPort.closePort();
        }
        catch (SerialPortException ex) {
            System.out.println(ex);
        }
        System.exit(0);
    }

    private void jMenuItem2MousePressed(java.awt.event.MouseEvent evt) {
        try {
            File path = new File
("C:\\Users\\Ramon\\Documents\\NetBeansProjects\\SCADA\\src\\resources\\a
yuda.pdf"); //Ruta de documento de ayuda
            Desktop.getDesktop().open(path);
        } catch (IOException ex) {
            ex.printStackTrace();
        }
    }

    private void jButton8ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
        jTextArea1.append("Reconectando... \n");
        try {
            serialPort.closePort();
        }
        catch (SerialPortException ex) {
```

```
        System.out.println(ex);
    }
    AbrirPuertoSerie(NoPort);//Llama al metodo de apertura de puerto
para reintentar la comuniación con el dispositivo
    System.out.println(NoPort);
}

private void jButton1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
    System.exit(0);//Salir del sistema
}

private void jButton7ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
    jTextArea1.append("Modo Automático ACTIVADO \n");
    jLabel9.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledverde.png")))
;
    jLabel10.setText("MODO AUTOMATICO");
    jButtonONM1.setEnabled(false);//Se desactivan los botones de
accionamiento manual de los motores
    jButtonOFFM1.setEnabled(false);
    jButton2.setEnabled(false);
    jButton3.setEnabled(false);
    jButton4.setEnabled(false);
    jButton5.setEnabled(false);
}

private void jButton6ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
    jTextArea1.append("Modo Manual ACTIVADO \n");
    jLabel9.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledamarillo.png"
)));
    jLabel10.setText("MODO MANUAL");
    jButtonONM1.setEnabled(true);//Se activan los botones de
accionamiento manual de los motores
    jButtonOFFM1.setEnabled(true);
    jButton2.setEnabled(true);
    jButton3.setEnabled(true);
    jButton4.setEnabled(true);
    jButton5.setEnabled(true);
}

private void jButton5ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
    try {
        serialPort.writeString("5");

        jTextArea1.append("Bomba 3 APAGADO \n");
        jLabel19.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/motoroff.png")))
;

    } catch (SerialPortException ex) {

Logger.getLogger(OtroJFrame.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
```

```
    }  
  }  
  
  private void jButton4ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)  
{  
    try {  
      serialPort.writeString("4");  
  
      jTextArea1.append("Bomba 3 ENCENDIDO \n");  
      jLabel19.setIcon(new  
      javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/motoron.png")));  
  
    } catch (SerialPortException ex) {  
      Logger.getLogger(OtrojFrame.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);  
    }  
  }  
  
  private void jButton3ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)  
{  
    try {  
      serialPort.writeString("3");  
  
      jTextArea1.append("Bomba 2 APAGADO \n");  
      jLabel18.setIcon(new  
      javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/motoroff.png"))  
      );  
  
    } catch (SerialPortException ex) {  
      Logger.getLogger(OtrojFrame.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);  
    }  
  }  
  
  private void jButton2ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)  
{  
    try {  
      serialPort.writeString("2");  
  
      jTextArea1.append("Bomba 2 ENCENDIDO \n");  
      jLabel18.setIcon(new  
      javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/motoron.png")));  
  
    } catch (SerialPortException ex) {  
      Logger.getLogger(OtrojFrame.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);  
    }  
  }  
  
  private void jButtonONM1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent  
  evt) {  
    try {  
      serialPort.writeString("1");  
      jTextArea1.append("Bomba 1 ENCENDIDO \n");  
      jLabel17.setIcon(new  
      javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/motoron.png")));  
    }  
  }  
}
```

```
        } catch (SerialPortException ex) {
            //System.out.println(ex);
        }

Logger.getLogger(OtrojFrame.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
    }

    private void
jProgressBar2PropertyChange(java.beans.PropertyChangeEvent evt) {

    }

    private void jButtonOFFM1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent
evt) {
        try {
            serialPort.writeString("0");

            jTextArea1.append("Bomba 1 APAGADO \n");
            jLabel17.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/motoroff.png")))
;

        } catch (SerialPortException ex) {
            jTextArea1.append(SerialPortException.TYPE_PORT_BUSY);
        }

Logger.getLogger(OtrojFrame.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
    }

    private void jTextField2ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent
evt) {
        // TODO add your handling code here:
    }

//Se ha borrado el Main, puesto que el formulario es iniciado desde otra
ventana y adquiere las mismas características de la clase que lo generó

// Variables declaration - do not modify
private javax.swing.JButton jButton1;
private javax.swing.JButton jButton2;
private javax.swing.JButton jButton3;
private javax.swing.JButton jButton4;
private javax.swing.JButton jButton5;
private javax.swing.JButton jButton6;
private javax.swing.JButton jButton7;
private javax.swing.JButton jButton8;
private javax.swing.JButton jButtonOFFM1;
private javax.swing.JButton jButtonONM1;
private javax.swing.JLabel jLabel1;
private javax.swing.JLabel jLabel10;
private javax.swing.JLabel jLabel11;
private javax.swing.JLabel jLabel12;
private javax.swing.JLabel jLabel13;
private javax.swing.JLabel jLabel14;
private javax.swing.JLabel jLabel15;
private javax.swing.JLabel jLabel16;
private javax.swing.JLabel jLabel17;
private javax.swing.JLabel jLabel18;
```

```
private javax.swing.JLabel jLabel19;
private javax.swing.JLabel jLabel2;
private javax.swing.JLabel jLabel22;
private javax.swing.JLabel jLabel23;
private javax.swing.JLabel jLabel24;
private javax.swing.JLabel jLabel25;
private javax.swing.JLabel jLabel26;
private javax.swing.JLabel jLabel27;
private javax.swing.JLabel jLabel28;
private javax.swing.JLabel jLabel29;
private javax.swing.JLabel jLabel30;
private javax.swing.JLabel jLabel31;
private javax.swing.JLabel jLabel6;
private javax.swing.JLabel jLabel8;
private javax.swing.JLabel jLabel9;
private javax.swing.JMenu jMenuItem2;
private javax.swing.JMenuBar jMenuItemBar2;
private javax.swing.JPanel jPanel1;
private javax.swing.JProgressBar progressBar1;
private javax.swing.JProgressBar progressBar2;
private javax.swing.JProgressBar progressBar3;
private javax.swing.JScrollPane jScrollPane1;
private javax.swing.JTextArea jTextArea1;
private javax.swing.JTextField jTextField1;
private javax.swing.JTextField jTextField2;
private javax.swing.JTextField jTextField3;
// End of variables declaration

@Override
public void serialEvent(SerialPortEvent event) {

    if(event.isRXCHAR() && (event.getEventValue(>0)) {
        System.out.println(event.isRXCHAR());
        try {
            //jTextArea1.append(serialPort.readString()); // lee el
            dato del puerto serial y lo va agregando al jTextArea1

            //jTextArea1.setCaretPosition(jTextArea1.getDocument().getLength());
            cont1=serialPort.readString();
            if (cont1.startsWith("a")){
                cont1=cont1.replace("a", "");
                jTextField1.setText(cont1);
                //cont=(Integer.parseInt(jTextField1.getText()));

                progressBar2.setValue(cont+Integer.parseInt(String.valueOf(cont1)));
                System.out.println("estoy aqui"+cont1);
                if(Integer.parseInt(cont1)<=10){
                    jLabel11.setIcon(new
                    javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledrojo.png")));
                    jLabel12.setText("NIVEL BAJO EN TANQUE ELEVADO");
                    progressBar2.setForeground(Color.ORANGE);
                }
            }
            else{
                jLabel11.setIcon(new
                javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledverde.png")))
                ;
                jLabel12.setText("NIVEL NORMAL EN TANQUE ELEVADO");
            }
        }
    }
}
```

```
        progressBar2.setForeground(new java.awt.Color(0,
153, 255));
    }
    }
    if (cont1.startsWith("b")){
        cont1=cont1.replace("b", "");
        jTextField1.setText(cont1);
        //cont=(Integer.parseInt(jTextField1.getText()));

jProgressBar1.setValue(cont+Integer.parseInt(String.valueOf(cont1)));
        System.out.println("estoy aqui"+cont1);
        if(Integer.parseInt(cont1)<=20){
            jLabel13.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledrojo.png")));
            jLabel14.setText("NIVEL BAJO EN RESERVORIO");
            progressBar1.setForeground(Color.ORANGE);
        }
        else{
            jLabel13.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledverde.png")))
;
            jLabel14.setText("NIVEL NORMAL EN RESERVORIO");
            progressBar1.setForeground(new java.awt.Color(0,
204, 204));
        }
    }
    if (cont1.startsWith("c")){
        cont1=cont1.replace("c", "");
        jTextField2.setText(cont1);
        //cont=(Integer.parseInt(jTextField1.getText()));

//jProgressBar1.setValue(cont+Integer.parseInt(String.valueOf(cont1)));
        System.out.println("estoy aqui"+cont1);
        if(Integer.parseInt(cont1)<=20){
            jLabel13.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledrojo.png")));
            jLabel14.setText("NIVEL BAJO EN RESERVORIO");
            //jProgressBar1.setForeground(Color.ORANGE);
        }
        else{
            jLabel13.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledverde.png")))
;
            jLabel14.setText("NIVEL NORMAL EN RESERVORIO");
            //jProgressBar1.setForeground(new java.awt.Color(0,
204, 204));
        }
    }
    if (cont1.startsWith("d")){
        cont1=cont1.replace("d", "");
        jTextField1.setText(cont1);
        //cont=(Integer.parseInt(jTextField1.getText()));

jProgressBar3.setValue(cont+Integer.parseInt(String.valueOf(cont1)));
        System.out.println("estoy aqui"+cont1);
        if(Integer.parseInt(cont1)<=20){
```

```
        jLabel13.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledrojo.png")));
        jLabel14.setText("NIVEL BAJO EN RESERVORIO");
        //jProgressBar3.setForeground(Color.ORANGE);
    }
    else{
        jLabel13.setIcon(new
javax.swing.ImageIcon(getClass().getResource("/resources/ledverde.png")))
;
        jLabel14.setText("NIVEL NORMAL EN RESERVORIO");
        jProgressBar3.setForeground(new java.awt.Color(0,
204, 204));
    }

    /*jTextField1.setText(cont11);
    //cont=(Integer.parseInt(jTextField1.getText()));

jProgressBar2.setValue(cont+Integer.parseInt(String.valueOf(cont11)));
    System.out.println("estoy aqui"+cont1);*/
    if(ini==0){
        jTextArea1.append("Iniciado con EXITO \n");
    }
    jTextArea1.setCaretPosition(jTextArea1.getDocument().getLength());
    }
    ini=1;

    }
    catch (SerialPortException ex) {
        System.out.println("Error in receiving string from COM-
port: " + ex);
    }

    }

}

/*Paso 2.2-METODO PARA DEJAR LISTO EL PUERTO SERIAL PARA LA RECEPCION Y
ENVIO DE DATOS*/
private void AbrirPuertoSerie(String nPort) {
    serialPort = new SerialPort(nPort); // Crea el objeto
    try {
        serialPort.openPort();//Abre el puerto serial
        serialPort.setParams(SerialPort.BAUDRATE_19200, //Configuración
del puerto serial
                            SerialPort.DATABITS_8,
                            SerialPort.STOPBITS_1,
                            SerialPort.PARITY_NONE);//Set params. Also you
can set params by this string: serialPort.setParams(9600, 8, 1, 0);
        serialPort.addEventListener(this,
SerialPort.MASK_RXCHAR);
    }
    catch (SerialPortException ex) {
        System.out.println(ex);
        jTextArea1.append(SerialPortException.TYPE_PORT_BUSY+"\n");
    }
    System.out.println(NoPort);
}
```

```
    System.out.println("estoy en abrir puerto serie");//Mensajes  
mostrados en la consola de desarrollo durante la ejecución del programa  
dentro de Netbeans  
    }  
}
```

Apéndice B.4: Programación del controlador

Programación para comunicación y envío de información a la interfaz SCADA:

```
int inte=1;  
int contador1=0;  
int contador2=0;  
int contador3=0;  
int contador4=0;  
String a="a";  
String b="b";  
String c="c";  
String d="d";  
void setup() {  
    // initialize both serial ports:  
    Serial.begin(19200);  
    pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);  
    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);  
}  
  
void loop() {  
    if (Serial.available()) {  
        inte = Serial.read();  
        if(inte=='1'){  
            digitalWrite(LED_BUILTIN,HIGH);  
            Serial.print("ENCENDIDO");  
            contador1=0;  
        }  
        else if(inte=='0'){  
            digitalWrite(LED_BUILTIN,LOW);  
            Serial.print("APAGADO");  
            contador2=0;  
        }  
        //Serial.print("\n");  
    }  
    if(contador1<200){  
        Serial.print(a+contador1);  
        contador1++;  
    }  
    delay(8);//solamente se puede bajar el tiempo hasta 8 milisegundos,  
luego ya no lee bien el puerto en el SCADA  
    if(contador2<300){  
        Serial.print(b+contador2);  
        // Serial.print(con);  
        contador2++;  
    }  
    delay(8);//solamente se puede bajar el tiempo hasta 8 milisegundos  
    if(contador3<400){  
        Serial.print(c+contador3);  
        // Serial.print(con);
```

```
    contador3++;  
}  
delay(10); //solamente se puede bajar el tiempo hasta 8 milisegundos  
if(contador4<500){  
    Serial.print(d+contador4);  
    // Serial.print(con);  
    contador4++;  
}  
delay(10); //solamente se puede bajar el tiempo hasta 8 milisegundos
```

Programación pseudocódigo del control automatizado del sistema:

```
variable tipo numero entero Motor1;  
variable tipo numero entero Motor2;  
variable tipo numero entero Sensornivel1;  
variable tipo numero entero Sensornivel2;  
variable tipo numero entero Sensorcaudal;  
variable tipo numero entero Sensorpresion;  
variable tipo numero entero Valvula1;  
variable tipo numero entero Valvulaposition;  
variable tipo numero entero varaux=1;  
variable tipo numero entero variableinicio=1;  
variable tipo numero entero variablehabilitacion=0;  
variable tipo numero entero variableauxiliar=0;  
void configuracion{  
    Apagar Motor1;  
    Apagar Motor2;  
    Cerrar Valvula1;  
}  
void bucle repetitivo{  
    Leer Sensornivel1;  
    Leer Sensornivel2;  
    Leer Sensorcaudal;  
    Leer Sensorpresion;  
    Leer Valvulaposition;  
    Enviar valores de sensores a la interfaz SCADA;  
    Mientras (Sensornivel1<=400cm Y variableinicio==1){  
        Encender motor1;  
        Si (Sensornivel2>60cm Y varaux==1){  
            Leer Sensornivel1;  
            Si (Sensornivel1>66cm Y Sensornivel1<=132cm){  
                Abrir Valvula1 hasta 1/6 de su position;  
            }  
            Si (Sensornivel1>132cm Y Sensornivel1<=198cm){  
                Abrir Valvula1 hasta 1/3 de su position;  
            }  
            Si (Sensornivel1>198cm Y Sensornivel1<=264cm){  
                Abrir Valvula1 hasta 1/2 de su position;  
            }  
            Si (Sensornivel1>264cm Y Sensornivel1<=330cm){  
                Abrir Valvula1 hasta 2/3 de su position;  
            }  
            Si (Sensornivel1>330cm Y Sensornivel1<=400cm){  
                variablehabilitacion=1;  
                variableinicio=0;  
            }  
        }  
    }  
}
```

```
Sino {
  Si (Sensornivel2<65cm) {
    varaux=0;
    Sino {
      varaux=1;
    }
  }
}
Leer Sensornivel2;
}
Mientras (Sensornivel2>60cm Y variablehabilitacion==1) { //agua
suficiente en el reservorio
  Leer Sensornivel1;
  Leer Sensornivel2;
  Leer Sensorcaudal;
  Leer Sensorpresion;
  Leer Valvulaposition;
  Si (Sensornivel1<400cm) {
    Si (Sensornivel1<350cm O Sensorcaudal>250m3/h) { //condicion
necesaria para evitar que la bomba se encienda y apague constantemente
una vez que llega al nivel maximo
      Encender Motor1;
      Si (Sensorcaudal>250m3/h) { //si el caudal de salida es
mayor a la de entrada se enciende el motor2
        Encender Motor2;
      }
    }
  }
  Si (Sensornivel1<10cm) {
    Cerrar Valvula1; //Cierra la valvula de salida cuando el agua es
insuficiente
    Aviso de insuficiencia de agua en tanque elevado;
  }
  Enviar valores de sensores a la interfaz SCADA;
}
Si (Sensornivel2<60cm) {
  Aviso de insuficiencia de agua en reservorio;
  variableauxiliar=1;
  variablehabilitacion=0;
}
Si (variableauxiliar==1 Y Sensornivel2<65cm) { //condicion para evitar
el encendido y apagado constante de los motores
  variablehabilitacion=1;
  variableauxiliar=0;
}
Sino{
  variablehabilitacion=1;
}
Si (Sensorcaudal>375m3/h) {
  Hacer {
    Cerrar Valvula1 gradualmente;
    Leer Sensorcaudal;
  } hasta (Sensorcaudal<=375m3/h);
}
```

```
Si (Sensorpresion<1,9 bar Y Sensornivel1>100cm) { //control de presion a
partir de un nivel de un metro
  Aviso de subpresion;
  Si (Sensorcaudal<375m3/h Y Valvulaposicion!=posicionfinal) {//!=
significa distinto de
  Hacer {
  Abrir Valvula1 gradualmente;
  Leer Sensorpresion;
  Leer Valvulaposicion;
  }hasta (Sensorpresion=2 bar O Valvulaposicion==posicionfinal);
  }
}
}
```