

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
BACHILLERATO EN LA CARRERA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**CONTROL DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE
MONITOREO PROGRAMABLE EN EL PROCESO
DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE ENJUAGUE DE
ENVASES PARA LA EMPRESA FLORIDA
BEBIDAS S.A, HEREDIA 2021**

Sustentante:

Bryan Brenes Sánchez

Tutor:

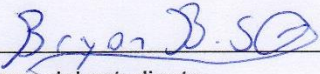
Ing. Mauricio Armas Sandí

Julio,2021

DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Bryan Brenes Sánchez, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 1-1623-0692 egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: CONTROL DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO PROGRAMABLE EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE ENJUAGUE DE ENVASES PARA LA EMPRESA FLORIDA BEBIDAS S.A, HEREDIA 2021, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de Heredia, a los 2 días del mes de septiembre del año dos mil veintiuno.


Firma del estudiante
Cédula: 1-1623-0692

CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA



Heredia, Costa Rica.
Teléfono: (506) 2437-6700
www.fifco.com
FIFCO Sostenible

06 de setiembre del 2021

Señores (as)
Universidad Hispanoamericana

Yo Greivin Chaves Rojas, cédula 2 0547 0963, Jefe de Automatización de Planta Refrescos (FIFCO), con cédula jurídica 3101295868, hago constar por este medio que el proyecto titulado: **CONTROL DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO PROGRAMABLE EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LINEAS DE PRODUCCIÓN DE ENJUAGUE DE ENVASASES, HEREDIA 2021**: fue desarrollado satisfactoriamente en Planta Refrescos por el estudiante Bryan Brenes Sánchez, cédula 1 1623 0692 ya que cumplió ampliamente los requerimientos planteados inicialmente, mismo que nos facilita generar ahorro en el uso adecuado del agua y tener un gran impacto en la sostenibilidad del medio ambiente.

Atentamente:

Greivin Chaves Rojas



Greivin Chaves Rojas.
Jefe de Automatización
Planta Refrescos

Tel. (506) 2437-6367
greivin.chaves@fifco.com

CONTRATO DE CONFIDENCIALIDAD DE LA EMPRESA

Convenio de Confidencialidad

Entiendo y acepto que por mi condición de Practicante y/o Pasante, estoy obligado a guardar como confidencial aquella información que FLORIDA ponga a mi disposición para realizar mi práctica profesional, y a la cual tenga yo acceso en virtud de mi practica y/ pasantía. Igualmente, manifiesto que entiendo que si dicha información se hiciera pública pudiera causar un daño a FLORIDA. Es en tal condición que me comprometo a:

1. Que toda información de cualquier naturaleza (escrita o verbal), en cualquier forma o medio, que contenga o consista en planes y negocios, material técnico, operacional, administrativo, económico, estratégico, naturaleza financiera, valoraciones, propiedad intelectual de cualquier tipo (todo esto Información Confidencial), será considerada estrictamente confidencial y consecuentemente no podrá ser revelada sin autorización previa por escrito de FLORIDA, a ninguna persona interna no autorizada o externa a FLORIDA. Toda Información Confidencial en mi poder deberá ser cuidadosamente custodiada. No usaré ninguna Información Confidencial para ningún otro propósito que no sea en relación con mi puesto de trabajo.


2. Las obligaciones aquí estipuladas para mantener la confidencialidad de la Información Confidencial irán más allá de la finalización de mis labores con mercadeo y/o del contrato establecido entre mi persona y FLORIDA. Sin embargo, en la medida que cualquier información parte de la Información Confidencial:

- a. Sea ahora o se convierta de dominio público (excepto por medio de revelación no autorizada);
- b. Sea suministrada por una tercera parte; o
- c. Sea requerida de mi por una institución reguladora o un organismo que legalmente puede demandar la revelación de dicha información;

Entonces en esa medida únicamente la obligación de no revelar información confidencial no aplicará.

3. Si me fuere requerido por FLORIDA, en cualquier momento y por cualquier razón, devolveré y/o destruiré toda la Información Confidencial u otra información o análisis que sean un resultado directo o derivado de la Información Confidencial en mi poder, incluyendo copias, en cualquier forma que se tengan, y aseguraré que la Información Confidencial que se mantenga por mi parte en cualquier medio electrónico será completamente removida.

Firmo a las 8:00 am horas del día 17 de Febrero 2020, haciendo constar que he leído, entiendo y acepto los términos expuestos en esta carta de confidencialidad.


FIRMA: _____
NOMBRE: Bryan Brancas Sánchez
N° de Cédula: 116230692

CARTA DEL TUTOR



CARTA DEL TUTOR

San José, 29 de SETIEMBRE del 2021

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante BRYAN BRENES SANCHEZ, cédula de identidad número 1-16230692, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "CONTROL DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO PROGRAMABLE EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE ENJUAGUE DE ENVASES PARA LA EMPRESA FLORIDA BEBIDAS S.A, HEREDIA 202", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	10
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	20
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	30
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	20
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	20
Total:		100	100

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Mauricio Daniel Armas Sandí
Cédula de identidad: 01-1361-0843
Carné colegio profesional: IEL-22359

CARTA DEL LECTOR



CARTA DEL LECTOR

San José, 08 de diciembre, del 2021

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Bryan Brenes Sánchez, cédula de identidad número 1-1623-0692, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **"CONTROL DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO PROGRAMABLE EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE ENJUAGUE DE ENVASES PARA LA EMPRESA FLORIDA BEBIDAS S.A., HEREDIA 2021."**, el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

Daniel Valverde
Ramírez

Firmado digitalmente por
Daniel Valverde Ramírez
Fecha: 2021.12.08
18:34:44 -05'00'

Ing. Daniel Valverde Ramírez
Cédula de identidad: 3-03490012
Carné colegio profesional: IEL-10109

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LICENCIA TFG FINAL

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 10 de diciembre de 2021

Señores:

Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Bryan Brenes Sánchez con número de identificación 1-1623-0692 autor (a) del trabajo de graduación titulado CONTROL DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE ENJUAGUE DE ENVASES PARA LA EMPRESA FLORIDA BEBIDAS S.A, HEREDIA 2021 presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica; Si autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,


Firma y Documento de Identidad

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN JURADA	II
CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA	III
CONTRATO DE CONFIDENCIALIDAD DE LA EMPRESA	IV
CARTA DEL TUTOR.....	V
CARTA DEL LECTOR.....	VI
CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LICENCIA TFG FINAL	VII
ABREVIATURAS.....	XV
DEDICATORIA.....	XVII
AGRADECIMIENTO.....	XVIII
RESUMEN	XIX
CAPÍTULO I	1
PROBLEMA DEL PROYECTO.....	1
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL PROYECTO	2
1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa.	2
1.1.2 Justificación del problema	4
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	8
1.3.1 Objetivo General.....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	9
1.4.1 Alcances.....	9
1.4.2 Limitaciones.....	11

CAPÍTULO II	13
MARCO TEORICO.....	13
2.1 TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR	14
2.1.1 Proceso de limpieza de envases a nivel industrial.....	14
2.1.2 Desinfectante oxonia en sistemas de saneamiento.....	16
2.1.3 Sistema de almacenamiento de aguas residuales.....	17
2.1.4 Parámetros que miden la composición del agua.....	20
2.1.5 Sistema purificador de agua	24
2.2 CONTEXTO TEÓRICO	26
➤ Dispositivos utilizados en la empresa.....	26
2.2.1 PLC Allen Bradley SLC500	26
2.2.2 Pantalla Táctil HMI	28
2.2.3 Electroválvulas	29
2.2.4 Contactor electromecánico	30
2.2.5 Disyuntor eléctrico	31
2.2.6 Bomba Centrífuga.....	31
2.2.7 Sensor de conductividad eléctrica	32
2.2.8 Sensor de nivel por presión hidráulica	34
2.2.9 Protocolo Ethernet IP.....	35
2.2.10 Rslogix 500.....	36
2.2.11 Factory Talk View Studio.....	37
➤ Dispositivos por implementar en el prototipo	38
2.2.12 Microcontroladores.....	38
2.2.13 Circuito sensor de nivel	43
2.2.14 Convertidor digital – analógico (DAC).....	44
2.2.15 Sensor ultrasónico HC-SR04	47
2.2.16 Sensor detector de fluido K-0135	48
2.2.17 Relevadores	50
2.2.18 Bomba hidráulica de limpiaparabrisas	51
2.2.19 Electroválvulas de corriente continua.....	52
2.2.20 Comunicación serial.....	53

2.2.21 LabVIEW.....	55
2.2.22 Toolkit LINX /LabVIEW MakerHub	57
2.2.23 Módulo DSC (Dataloggin and Supervisory Control)	58
CAPÍTULO III	59
MARCO METODOLÓGICO	59
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	60
3.1.1 Enfoque de la Investigación	60
3.1.2 Finalidad de la Investigación.....	61
3.1.3 Dimensión Temporal	63
3.1.4 Marco de la Investigación.....	65
3.1.5 Carácter de la Investigación.....	65
3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN	69
3.2.1 Fuentes Primarias.....	69
3.2.2 Fuentes Secundarias	70
3.2.3 Sujetos de Información	71
3.3 TÉCNICAS Y HERRAMINETAS	72
3.3.1 Observación.....	73
3.3.2 Entrevista	73
3.4 VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	75
3.4.1 Definición de variables.....	75
3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	77
CAPÍTULO IV	81
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	81
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	82
4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS	84
4.2.1 Observación.....	85
4.2.2 Entrevista	88
4.3 PROYECCIÓN DEL PROYECTO.....	91
4.3.1 Propuesta del proyecto.....	91
4.3.2 Diseño del proyecto.....	94

CAPÍTULO V	95
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO	95
5.1 ASPECTOS DE DISEÑO	96
5.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	98
5.2.1 Etapa de comunicación	100
5.2.2 Etapa de sensado.....	109
5.2.3 Etapa de control.....	124
5.2.4 Etapa de monitoreo	130
5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO.....	136
5.3.1 Medición y análisis de parámetros de la composición del agua	137
5.3.2 Escalado de datos en dispositivos de sensado	141
5.3.3 Implementación del prototipo.....	154
5.4 ANÁLISIS DE COSTOS	159
CAPÍTULO VI.....	169
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	169
6.1 CONCLUSIONES.....	170
6.2 RECOMENDACIONES.....	172
BIBLIOGRAFÍA	173
GLOSARIO	177
ANEXO	179
Lista de anexos.....	180

Índice de Figuras

Figura 1. Planta distribuidora de refrescos Florida Bebidas S.A	3
Figura 2. Diagrama Causa - Efecto del proyecto.	6
Figura 3: Vista externa de los espacios libres de contaminación para producción de bebidas o alimentos.....	16
Figura 4: Depósito Almacenador de aguas residuales.....	18
Figura 5: Escala de niveles de PH reconocidos con ejemplos y efectos sobre el medio.	21

Figura 6: Comparación entre los procesos de ósmosis y osmosis inversa.	25
Figura 7: Controlador Lógico Programable.	27
Figura 8: Pantalla Táctil de Interfaz HMI Panel View Plus 700.	28
Figura 9: Válvula Solenoide.	29
Figura 10: Contactor Electromecánico.	30
Figura 11: Ejemplo de bomba centrífuga.	32
Figura 12: Conductímetro Endress Hauser.	33
Figura 13: Transductor de nivel por presión hidrostática.	34
Figura 14: Diagrama básico de un sistema enrutador Ethernet/IP.	36
Figura 15: Ventana principal Rslogix 500.	37
Figura 16: Ejemplo de interfaz gráfica de usuario creado en Factory Talk View Machine.	38
Figura 17: Arquitectura interna de un microcontrolador.	39
Figura 18: Arduino MEGA 2560.	42
Figura 19: Diagrama sensor de nivel ULN 2003.	43
Figura 20: Circuito convertidor Digital - Analógico DAC.	46
Figura 21: Sensor ultrasónico HC-SR04.	47
Figura 22: Diagrama de funcionamiento del sensor ultrasónico.	48
Figura 23: Sensor detector de fluidos.	49
Figura 24: Módulo relés de cuatro canales.	51
Figura 25: Bomba hidráulica limpiaparabrisas.	52
Figura 26: Estructura general de transmisión de datos en el puerto serie.	54
Figura 27: Vista del panel Frontal (izquierda) y el diagrama de bloques (derecha) de la plataforma LabVIEW.	57
Figura 28: Logo LINX.	58
Figura 29: Cronograma del proyecto propuesto en la empresa.	78
Figura 30: Cronograma de la implementación del prototipo.	79
Figura 31: Interfaz HMI del proceso actual.	84
Figura 32: Diagrama de bloques del prototipo.	94
Figura 33: Diagrama eléctrico del prototipo.	99
Figura 34: Búsqueda del firmware de MakerHub.	102
Figura 35: Ventana de LINX Firmware Wizard.	102
Figura 36: Selección del puerto COM.	103
Figura 37: Selección de firmware.	103
Figura 38: Proceso de carga del programa a la tarjeta Arduino.	104
Figura 39: Diagrama de flujo de comunicación serial.	106
Figura 40: Bloques de control básicos de la herramienta LINX.	108
Figura 41: Circuito sensor de nivel.	109
Figura 42: Método de instalación del circuito sensor de nivel.	111
Figura 43: Hardware del circuito sensor de nivel.	112
Figura 44: Diagrama de flujo del circuito sensor de nivel.	113
Figura 45: Código en lenguaje gráfico del circuito sensor de nivel.	114
Figura 46: Circuito de pruebas del sensor de nivel.	115

Figura 47: Hardware sensor HC-SR04.	116
Figura 48: Diagrama de flujo del sensor HC-SR04.	117
Figura 49: Código en lenguaje gráfico del sensor HC-SR04.	118
Figura 50: Circuito de prueba del sensor HC-SR04.	119
Figura 51: Hardware del sensor detector de fluido.	120
Figura 52: Diagrama de flujo del sensor detector de conductividad.	121
Figura 53: Programación gráfica del sensor detector de conductividad.	122
Figura 54: Circuito de prueba del sensor detector de conductividad.	123
Figura 55: Hardware control de electroválvulas.	126
Figura 56: Software para la activación de electroválvulas.	127
Figura 57: Hardware control de electrobombas.	129
Figura 58: Software de prueba control de electrobombas.	130
Figura 59: Ventana de herramientas del módulo DSC.	132
Figura 60: Ventana editor de símbolo módulo DSC.	133
Figura 61: Ejemplo de panel de control de monitoreo en LabVIEW.	134
Figura 62: Modificación del panel de control de la Figura 61, utilizando el módulo DSC.	135
Figura 63: Hardware para el escalado del circuito sensor de nivel.	143
Figura 64: Hardware para el escalado del sensor ultrasónico.	146
Figura 65: Código de prueba para el escalado del sensor ultrasónico.	147
Figura 66: Circuito de prueba para escalado sensor de conductividad.	152
Figura 67: Software gráfico de prueba del sensor detector de conductividad.	152
Figura 68: Interfaz HMI implementado en el prototipo.	158
Figura 69: Implementación del circuito de control del prototipo.	158

Índice de Tablas

Tabla 1: Diferencias entre Microcontroladores y Microprocesadores.	39
Tabla 2: Datos Técnicos del Arduino Mega 2560.	43
Tabla 3: Sujetos de información.	71
Tabla 4: Definición de variables.	76
Tabla 5: Diseño de la investigación.	80
Tabla 6: Medición de parámetros de composición del agua de proceso y recuperada.	138
Tabla 7: Valores de voltaje obtenidos del circuito sensor de nivel.	144
Tabla 8: Tabla de escalado porcentual del circuito sensor de nivel.	144
Tabla 9: Escalado de distancia medida y porcentaje de nivel Tanque Recuperador.	148
Tabla 10: Escalado de distancia y porcentaje de nivel Tanque Proc. Purificador.	149
Tabla 11: Escalado de voltaje analógico a conductividad eléctrica.	153
Tabla 12: Análisis de costos de materiales en el prototipo.	159
Tabla 13: Análisis de costos de materiales en la empresa.	160
Tabla 14: Costo de implementación del dispositivo.	160
Tabla 15: Costo total del proyecto con dispositivos de la empresa.	161

Tabla 16: Costo total del proyecto con dispositivos del prototipo.....	161
Tabla 17: Análisis de soluciones y costos del proyecto.	162
Tabla 18: Análisis de ahorro de agua.....	166
Tabla 19: Análisis de costo-beneficio.....	167

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Voltaje analógico contra valor porcentual de Nivel.....	145
Gráfico 2: Relación entre distancia medida y porcentaje de nivel de agua del Tanque Recuperador.....	149
Gráfico 3: Relación entre distancia medida y porcentaje de nivel de agua del Tanque Proc. Purificador.....	150
Gráfico 4: Relación de voltaje medido ajustado a un escalado de conductividad eléctrica.	153

ABREVIATURAS

μs: microsegundos.

μS: MicroSiemens

AC (*Altern Current*): Corriente Alterna.

Bit: Dígito binario.

Byte: Valor de cifras digitales asignado a un conjunto o cadena de 8 bits.

DC (*Direct Current*): Corriente directa.

DOS (*Disk Operating System*): Sistema Operativo de Disco.

FDI (*Full-Duplex Interface*): Comunicación bidireccional de transmisión y recepción simultánea.

FIFCO: Florida Ice and Farm Company.

GUI (*Graphic User Interface*): Interfaz Gráfica de Usuario.

HMI (*Human-Machine Interface*): Interfaz Humano Máquina.

mg: miligramo

PCB (*Printed Circuit Board*): Placa de Circuito Impreso

pH: Potencial de Hidrógeno.

PLC (*Programmable Logic Controller*): Controlador Lógico Programable.

ppm: Partes por millón

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

RO (*Reverse Osmosis*): Ósmosis Inversa.

S: Siemens

STD: Sólidos Totales Disueltos.

Word (*Palabra*): Combinación de varias cifras que se interpretan para expresar una cierta cantidad.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis, en primer lugar, a Dios por darme la inteligencia, cualidades y fortaleza necesaria para desarrollar el proyecto al proponer las soluciones necesarias que solventaron las necesidades de la empresa.

También dedico este trabajo a mis padres, Marcos Brenes Elizondo y Grace Sánchez Espinoza, por su apoyo incondicional para emprender el camino en la carrera universitaria y la motivación necesaria para llegar a concluirla.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ing. Greivin Chávez Rojas por darme la oportunidad de realizar la investigación del proyecto en las instalaciones de la empresa, y también, por su asesoría sobre las condiciones y requerimientos del sistema recuperador de aguas residuales, que fueron imprescindibles para proponer la solución de la problemática.

Al profesor tutor, Ing. Mauricio Armas Sandí por toda su ayuda durante la realización de esta investigación.

RESUMEN

En la actualidad los avances tecnológicos en la industria han permitido que, en determinados procesos de producción, sean cada vez más rentable el implementar sistemas automatizados de control digital, con la finalidad de poder destacar en aspectos específicos industriales como lo son: la reducción de costos, la calidad de los productos, el aprovechamiento de subproductos, tiempos de respuesta, entre otros.

Un caso más importante del crecimiento de dichos avances, se evidencia en las industrias de alimentos y bebidas, específicamente en el método que utilizan para descontaminar los envases (de plástico o vidrio) que posteriormente contendrán el producto para cumplir con las normas de higiene que protegen la salud integral de los consumidores.

Uno de los métodos más utilizados para desinfectar los envases de bebidas, consiste en someterlo un proceso dentro de una cabina libre de contaminación de superficie rectangular denominada cuarto aséptico, que divide dicho proceso en tres partes: esterilización, enjuague y llenado. La esterilización se encarga de depositar un ácido desinfectante en el envase, luego el enjuague procede a dispersar la cantidad remanente del químico al inyectar agua natural en su interior, posteriormente se realiza el secado del envase, y, por último, el mismo es llenado y taponeado con el producto destinado a comercializar.

Durante el proceso previamente explicado, en ciertas ocasiones, se presenta el inconveniente de que el agua utilizada en el proceso de enjuague es desperdiciada en su mayoría, debido a que el depósito encargado de almacenar el agua residual de los cuartos asépticos no poseen un sistema capaz de reutilizar dicho líquido cuyo porcentaje de %ppm (partes por millón) de desinfectante se mantiene considerablemente bajo, entonces simplemente éste forma parte de otro conjunto de aguas residuales que entran a una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Por lo tanto, el desarrollo del presente trabajo surge a partir de la necesidad de la empresa distribuidora La Florida, de implementar un sistema encargado de controlar el transporte de las aguas residuales del tanque recuperador hacia otros depósitos de almacenaje encargados de asegurar que dichas aguas puedan ser tratadas y reutilizadas para otras aplicaciones internas de la empresa, con la finalidad de aprovechar la mayoría del agua residual utilizada en el proceso previo de enjuague y al mismo tiempo, contribuir con reducción el impacto ambiental que conlleva su inadecuado tratamiento.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL PROYECTO

1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa.

Florida Ice and Farm Company (FIFCO) nació en 1908, en La Florida de Siquirres, provincia de Limón, Costa Rica. Fue fundada por cuatro hermanos de origen jamaicano de apellidos Lindo Morales, como una empresa dedicada a la agricultura y la fabricación de hielo.

En sus orígenes, la compañía fue cervecera, pero en los años 90 diversificó su portafolio de bebidas y en la actualidad, cuenta con más de 2.700 productos, entre ellos, cerveza, vino, licores, bebidas alcohólicas saborizadas, así como leche y derivados, frijoles, conservas, salsa de tomate y productos de panadería. En total, tiene más de 5.700 colaboradores y 2.400 accionistas, de los cuales ninguno posee más del 10% de las acciones totales de la compañía. (“Costa Rica: Florida Bebidas obtiene marca país”, Revista Summa 2015).

En la década de 1990, FIFCO inició su participación en el negocio inmobiliario orientado al turismo, en la provincia de Guanacaste, con Reserva Conchal y Papagayo. En 2006, continuó diversificándose con la compra de Industrias Alimenticias Kern’s, en Guatemala.

Durante el 2015, las unidades de negocio que conforman FIFCO confirmaron su compromiso con la excelencia en la ejecución, la innovación, el bienestar integral de los colaboradores y el desarrollo sostenible.

La planta de Florida Bebidas S.A se ubica en la provincia de Heredia, específicamente a un kilómetro y medio de San Joaquín camino hacia Alajuela en la ruta 3, y posee la misión de brindar una mejor calidad de vida a sus consumidores mediante sus bebidas, con el talento y pasión de sus colaboradores.

Con el fin de otorgar una mejor estructura a la organización, FIFCO se convirtió en una empresa poseedora de acciones (“holding Company”) sin operaciones propias y se crearon tres subsidiarias principales: Florida Bebidas, Florida Inmobiliaria y Florida Capitales.

El desarrollo e implementación del proyecto de control automatizado tendrá su ubicación en las instalaciones de la subsidiaria de Florida Bebidas S.A, y de una forma más específica, en el depósito principal de aguas residuales del proceso de enjuague de envases de refrescos.

Figura 1. Planta distribuidora de refrescos Florida Bebidas S.A



Fuente: elaborado por el autor

1.1.2 Justificación del problema

En las primeras décadas del presente siglo XXI, los grandes avances tecnológicos han permitido un crecimiento notorio en las actividades industriales de producción, esto se refleja de forma en el aumento en la demanda de ciertos productos que pretenden satisfacer las necesidades internas o externas de una economía globalizada y consumista.

A raíz de todas estas actividades empresariales que generan innumerables ganancias, presenta el principal inconveniente de generar un impacto negativo a nivel social y ambiental. Este problema surge a partir de que la cantidad de desperdicios de materia prima (ya sea sólida, líquida o gaseosa) no recibe un tratamiento adecuado para una correcta reutilización, en determinadas actividades de la organización.

Al considerar dicha problemática medio ambiental, diversas organizaciones en el mundo se comprometieron a desarrollar una forma de lograr que las actividades empresariales pueden ser lo más sosteniblemente posible, para permitir un equilibrio entre el aspecto social, económico y ambiental de la organización. Con esta idea planteada, surge el concepto denominado “sostenibilidad empresarial”, cuyo significado involucra el compromiso tanto de la empresa, como de sus colaboradores, en brindar balance entre sus actividades integrales y la protección de la integridad natural en su entorno.

Según Romero (2018), una compañía es sostenible, “cuando se logra crear una cualidad o ventaja económica, medioambiental y social. Una empresa que posee estas características aporta en el incremento del bienestar y progreso de las generaciones presentes y futuras en el entorno que se desenvuelven, en otras palabras, realizan

acciones constructivas que motivan a los colaboradores en mejorar el estilo de vida de las sociedades que la rodean y al medio ambiente”. Además, también afirma que:

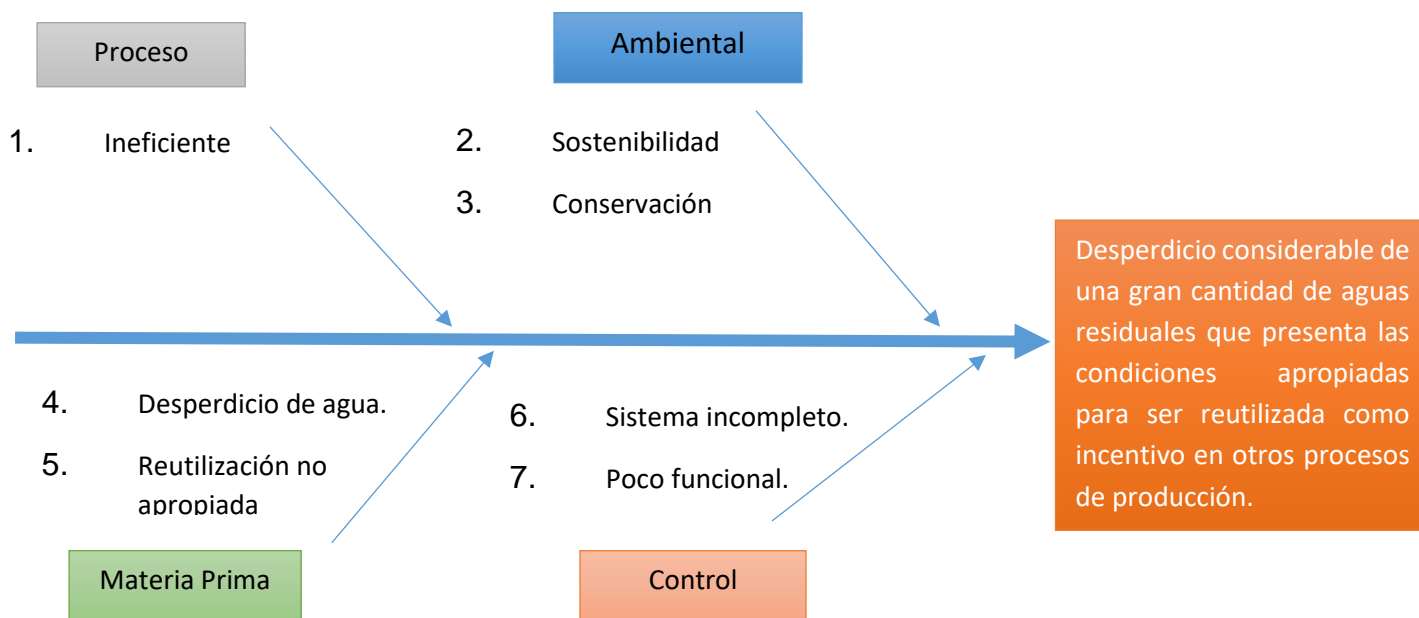
“Las empresas que invierten en tecnologías y prácticas comerciales respetuosas del medio ambiente tienen mayores posibilidades de garantizar su permanencia en el mercado y de mejorar su posicionamiento”. (Ruiz-Healy Times, publicación 8 de noviembre del 2018, por Verónica Romero.)

Con base en lo mencionado anteriormente, uno de los aportes más influyentes de la tecnología en el desarrollo sostenible de una empresa, es el método apropiado de reutilizar los recursos hídricos drenados en determinadas líneas de producción, para que luego, éstos puedan ser nuevamente utilizados otros procesos específicos que contribuyen con el mejoramiento continuo de un determinado proceso.

Por lo tanto, este proyecto tiene como razón principal de ofrecer la solución de un sistema capaz controlar el transporte adecuado del agua residual, al darle un énfasis a la forma de implementar dicho sistema dentro de un procedimiento de purificación, para que el recurso hídrico pueda ser redistribuido en distintas zonas de la planta, permitiendo así su respectiva reutilización en otras actividades de producción.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Figura 2. Diagrama Causa - Efecto del proyecto.



Fuente: elaborado por el autor.

Como se puede observar en el diagrama de causa – efecto, surge el problema en la empresa sobre la necesidad de implementar un sistema capaz de controlar la recuperación de las aguas sobrantes del proceso de enjuague de envases, a través de una automatización del proceso que permita su respectiva redistribución en hacia otras líneas de producción de bebidas.

1. **Proceso:** La implementación utilizada actualmente para poder automatizar la recuperación de dichas aguas residuales, no posee el equipo apropiado que garantice que el sistema se pueda controlar de forma autónoma, sin mencionar que su única forma para desechar el agua funciona por el accionamiento de una única bomba que se activa manualmente.

2. **Materia Prima:** El excedente de agua que se malgasta de forma desproporcionada, puede que reúna todas las condiciones casi ideales para poder ser reutilizada en otros procesos de producción interna de la planta.

3. **Ambiental:** En la actualidad existen normas y reglamentos que rigen el consumo de materia prima de una empresa, una de ellas consiste el valor de consumo máximo de agua que permite la sostenibilidad de la organización sin tener un impacto negativo en el medio ambiente. El hecho de que cierto desperdicio del agua provoque que dicho valor se aproxime al valor máximo permitido, se puede considerar como un indicador que puede traer consecuencias a nivel ambiental.

4. **Control:** El sistema de control encargado de automatizar el proceso, actualmente se encuentra bastante incompleto, cuya funcionalidad no satisface el objetivo de recuperar el agua desechada, para que ésta pueda recibir posteriormente un tratamiento adecuado.

Con base en lo anteriormente explicado, se puede plantear la siguiente pregunta:

¿Cuál será la alternativa más apropiada para desarrollar un sistema electrónico que permita controlar y monitorear el proceso de recuperar la gran cantidad de agua proveniente de los procesos de enjuague de envases, de tal forma que se garantice un adecuado tratamiento del líquido y mejore el desarrollo sostenible a nivel de producción y ambiental de la planta Florida Bebidas, al convertir el recurso hídrico residual en materia prima dispuesta a ser utilizada en otros procesos de producción?

1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECIFICOS

1.3.1 Objetivo General

- Desarrollar un sistema de control y monitoreo programable mediante un controlador lógico programable SLC500 Allen Bradley, con el fin de monitorear el proceso de recuperación de aguas residuales en líneas de producción de enjuague de envases de refrescos, para la empresa Florida Bebidas S.A.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer los requerimientos mínimos del proyecto mediante el uso de entrevistas, con respecto a las necesidades mencionadas en el problema planteado por la empresa.
- Determinar los parámetros físicos que controlan la calidad del agua mediante el uso de herramientas de medición, para evidenciar el potencial de reutilizar el agua de los recipientes de enjuague de acuerdo con los estándares preestablecidos en la planta.
- Desarrollar el código de programación de los sistemas de medición y monitoreo de las condiciones del agua, mediante el uso de las plataformas Arduino y Labview de acuerdo con los niveles de la correcta recuperación y reutilización segura del fluido.
- Analizar la relación costo-beneficio de la propuesta de diseño del sistema mediante el uso de hojas de cálculo Excel, según las cifras obtenidas con respecto a los montos actuales de la empresa.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances

- El desarrollo del presente proyecto se realiza en las instalaciones localizadas en el cantón Flores, Heredia.
- Para cumplir con el propósito de reutilizar el agua recuperada del depósito, ésta se enviará a un sistema purificador de aguas, mediante la instalación de un nuevo tramo de tubería (proporcionado por la empresa).
- El controlador lógico que será usado para desarrollar el sistema Recuperador es el Allen Bradley SLC500, el mismo se encargará de funciones varias. Este dispositivo se utilizará sólo en la implementación física real propuesta, más no, en el prototipo.
- Para la obtención de los parámetros encargados de medir la composición del agua de los recipientes de las líneas de enjuague, el sistema desarrollado en planta contará con sensores de conductividad (conductímetro) para determinar si el agua condiciones apropiados para ser recuperada y reutilizada (no presente en el prototipo y es proporcionado por la empresa).
- Para que el sistema se le otorgue la función de monitorear y registrar los datos enviados de las líneas de enjuague y del tanque recuperador, se contará con un módulo de interfaz HMI Panel View Plus 700 junto con la aplicación Factory Talk View Studio (para la implementación real), disponible en las instalaciones de la empresa.
- El sistema físico desarrollado en planta contará con un protocolo de mensajería (desarrollado por la empresa), que alerte al control automatizado del depósito recuperador, el momento que el agua presente condiciones desfavorables para

reutilización; para que luego los PLC encargado de cada línea, activen las válvulas de desvío hace su respectivo desagüe local y envíe un mensaje de advertencia al sistema de control del depósito, para que el sistema lo registre en la base de datos de la interfaz HMI.

- El desarrollo del prototipo utilizará la tarjeta microcontroladora de diversas aplicaciones como lo es Arduino, para la lectura de señales de entrada (sensores) y control de salidas (actuadores) de dispositivos que simulen a tiempo real el funcionamiento del sistema que se implementará en planta.
- El desarrollo de la programación del prototipo a escala, se utilizará las aplicaciones de Labview y el IDE Arduino para crear la interfaz HMI (interfaz gráfica de usuario), encargado del monitoreo de estados de los recipientes de enjuague y mediciones de parámetros que controlan la calidad del agua enviada al depósito recuperador.

1.4.2 Limitaciones

- Debido a que la empresa pretende no realizar ningún cambio en los tramos de tuberías de drenaje o de bombeo de agua residual de enjuague utilizados en planta, el proyecto se encuentra enfocado únicamente en recuperar y reutilizar las aguas de los depósitos de enjuague de las líneas de producción 1 y 9 de la planta de refrescos
- Para la eventual implementación real, los módulos de mensajería deben ser los que se encuentran disponibles en planta y de la misma marca (Allen Bradley), con la condición de que el sustentante realice la labor de incluir los datos pertinentes al proyecto, sin afectar los demás sistemas de mensajería en operación de planta.
- Para evitar inconvenientes en el sistema físico real, la interfaz HMI de monitoreo se utilizará el panel de control junto con el computador industrial ubicado en las cercanías del Tanque Recuperador, debido a que contiene las herramientas necesarias de adaptación del nuevo sistema a implementar.
- Debido a que la mayoría de los dispositivos y elementos de control se encuentran actualmente implementados en el sistema actual, en el análisis de costos de la implementación del sistema a desarrollar en la empresa, se tomará en cuenta sólo aquellos materiales adicionales necesarios para llevar a cabo el proyecto y que no estén actualmente implementados en el sistema.
- Debido a la actual pandemia, la empresa toma la decisión de no implementar este prototipo en sus instalaciones por motivos varios, entre ellos costos de implementación, reducción de tiempos de producción, disminución en demanda de mercados y limitado horario de acceso a instalaciones. No obstante, se espera que

el proyecto pueda ser implementado cuando la jefatura determine un mejoramiento de las condiciones internas en la planta.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR

2.1.1 Proceso de limpieza de envases a nivel industrial

En la actualidad existen bastantes métodos y técnicas que permiten la desinfección de recipientes de distintos materiales, sin embargo, el enfoque principal que se le otorga en el proceso de fabricación de productos embotellados (bebidas o alimentos), es el proceso distinguido en la descontaminación de sus envases, que se puede subdividir en 5 partes:

1. Esterilización.

Este paso consiste en depositar un ácido desinfectante en el interior del envase, su composición química permite eliminar eficazmente todo tipo de gérmenes, incluyendo esporas y virus. Existen muchas clases de ácidos destinados para tal uso, pero se puede destacar el desinfectante más utilizado en la planta de producción, conocido comúnmente con el nombre de oxonia, el cual, el concepto y gestión del mismo se mencionarán más adelante.

2. Enjuagado.

Como su nombre lo indica, este proceso consiste en inyectar agua de proceso en el interior del envase para disolver y desplazar el desinfectante, para que garantizar que dicho envase se encuentre sin residuos para el siguiente paso del proceso.

3. Secado.

El interior del envase es sometido a un flujo de aire presurizado de altas temperaturas, para eliminar el exceso de humedad y cualquier otro residuo sólido remanente.

4. Llenado.

El envase o conjunto de envases proceden a ser llenados con el producto destinado a comercializar, asegurando que todos reciban la cantidad adecuada.

5. Sellado.

Los envases son sellados mediante la colocación de sus respectivos tapones de plástico, para mantener el producto en óptimas condiciones de consumo y evitar derrames de este.

Todos los pasos mencionados anteriormente, constituyen la estructura base de una línea de producción de bebidas o alimentos implementados de forma estandarizada en la industria actual. Además de que, la actividad de producción se debe realizar en zonas o espacios aislados libres de toda clase de contaminación de virus o bacterias (figura 3), para garantizar la protección de la salud de los consumidores.

Se debe mencionar, que el enfoque del presente proyecto se centra en asegurar la recuperación y reutilización de las aguas residuales en los depósitos designados al proceso de enjuague de envases, por lo que se requiere optar una mayor comprensión tanto de la composición del fluido, como el funcionamiento del sistema recuperador actual con la finalidad de corregir fallos o eventos indeseables que no cumplen con los requisitos preestablecidos.

Figura 3: Vista externa de los espacios libres de contaminación para producción de bebidas o alimentos.



Fuente: krones.com

2.1.2 Desinfectante oxonia en sistemas de saneamiento

La oxonia, conocido también como ácido peroxiacético, es un desinfectante líquido no espumante, con la función principal de servir como un potente oxidante para la eliminación de diversas clases de microorganismos (en su mayoría bacterias coliformes) y otros compuestos químicos que pueden contaminar en el interior de envases de las plantas embotelladoras.

Debido al incremento exponencial del consumo de bebidas embotelladas en la economía actual, surge la necesidad primordial de evitar riesgos de contaminación alimentaria a causa de ciertos factores externos al embotellamiento mismo que puede contaminar el producto terminado.

Por esta razón, la oxonia permite solventar ese problema al actuar como un potente desinfectante que resuelve eficazmente los problemas de contaminación microbiológica en determinados puntos de la industria, en este caso la desinfección de envases y la línea de embotellado.

2.1.3 Sistema de almacenamiento de aguas residuales

Como se mencionó anteriormente, el propósito principal un espacio de descontaminación es permitir un total aislamiento del exterior, para permitir desarrollar técnicas de eliminación de todo tipo de virus y bacterias en determinados materiales.

Cuando se incluye el proceso de desinfección de envases de bebidas o alimentos, se deduce que dicho proceso (como todo proceso de producción a nivel industrial), debe generar en cierto modo algún tipo de residuo remanente generado durante su respectiva función de limpieza.

En el caso específico, serían las aguas residuales que disuelven los restos de oxonia que surgen al momento de realizar el enjuague de los envases, que luego, ingresan por una serie de conductos o tuberías al ser impulsados por la acción de una turbina hacia un contenedor destinado para almacenamiento temporal del mismo.

Según la “ley para la Gestión Integral de Residuos N°8839”, en el artículo 38 que habla sobre las obligaciones de los generadores de desecho, entre los puntos más importantes afirman que todo generador de residuos o desechos están obligados a:

1. Reducir la generación de residuos y cuando esta generación no pueda ser evitada, minimizar la cantidad y toxicidad de los residuos a ser generados.
2. Separar los residuos desde la fuente, clasificarlos y entregarlos a un gestor autorizado o a un sistema municipal, con el fin de facilitar su valorización.

3. Gestionar los residuos en forma tal que estos no pongan en peligro la salud o el ambiente, o signifiquen una molestia por malos olores, ruido o impactos visuales, entre otros.

Con todo las obligaciones y responsabilidades que los productores se encuentran obligados a cumplir, se puede afirmar, que todas organizaciones productoras deben fomentar cualquier alternativa que permita reducir y reutilizar toda clase de residuo generado, para permitir en primer lugar una correcta gestión de residuos y, en segundo lugar, una mayor protección al medio ambiente con énfasis en el desarrollo sostenible de las actividades industriales.

Al centrarse en el tema sobre el almacenamiento de residuos de agua-oxonia, generalmente consiste en alojar los desperdicios en un contenedor o tanque de forma cilíndrica fabricado de un material metálico que soporta la corrosión, con una apertura tubular para la entrada del residuo y otra más conectada a un sistema de bombeo para su salida al exterior. En la figura 4, se puede observar un ejemplo de un contenedor de residuos de oxonia.

Figura 4: Depósito Almacenador de aguas residuales.



Fuente: Elaborado por el autor.

La capacidad de almacenamiento del contenedor depende de que tan a menudo se realiza la limpieza de envases, sin embargo, ésta cifra tiende a aumentar cuando varias líneas de producción se encuentran activas al mismo tiempo.

En ocasiones, puede darse el caso cuando las concentraciones de oxonia se encuentran en una considerable cantidad de ppm (partes por millón), disueltas en el agua que superan un máximo establecido, dicha condición sucede cuando en determinadas zonas de producción se realiza un protocolo estándar de higienización en las instalaciones de la planta.

Este evento causa el incremento de la concentración de oxonia en el agua, involucra un riesgo perjudicial a nivel de producción ya que en el proceso de purificación puede generar una reacción química que ejerce un daño en el proceso de filtrado del sistema purificador de agua de proceso.

Sin embargo, afortunadamente la cantidad de oxonia aumenta en proporción con la disminución de la acidez del agua y, por ende, un incremento de su conductividad eléctrica. Esto permite que el ingreso de agua con oxonia se pueda controlar mediante el uso de sensores que miden la conductividad del agua y sólo permitir su almacenamiento cuando sus niveles de conducción se mantengan en un rango establecido.

2.1.4 Parámetros que miden la composición del agua

El análisis de la composición del agua es imprescindible en la fabricación de bebidas embotelladas y alimentos, dado que el líquido se considera de consumo diario y es muy susceptible a cambios en su composición, debido a que funciona como un medio óptimo en el alojamiento de todo tipo de virus y bacterias que amenazan la salud de los consumidores.

Por esta razón entre muchas otras, toda industria productora tiene que realizar un protocolo de análisis del agua utilizado en el proceso de fabricación, mediante la medición de ciertos parámetros que se pueden subdividir en 2 tipos: químicos y físicos.

Esta investigación se centrará únicamente en aquellos parámetros que se pueden medir con instrumentos de medición y que se consideran importantes en el proceso posterior de purificación del agua.

2.1.4.1 Parámetros químicos

- **pH**

El pH (que significa potencial de iones de hidrógeno), es una prueba que se realiza para conocer la calidad del agua e indica el nivel de acidez o alcalinidad de esta. Normalmente, estas mediciones se ejecutan en una escala de 0 a 14, siendo 7 la medida neutra. A partir de 8 puntos se consideran alcalinos y por debajo, se afirman que son ácidos.

Según los expertos en análisis, el pH recomendado para el agua potable debería situarse en un rango de 6.5 y 9.5. La escala de pH es de tipo logarítmica, lo que

significa que, por cada cambio unitario en su grado representa una modificación de 10 veces su valor de acidez.

Figura 5: Escala de niveles de PH reconocidos con ejemplos y efectos sobre el medio.

Efectos en el medio ambiente	Valores del PH	Ejemplos
Ácido ↑ Mueren todos los peces (4.2) Mueren los huevos de rana, renacuajos, cangrejos de río y efímeras (5.5)	pH = 0	Ácido de baterías
	pH = 1	Ácido sulfúrico
	pH = 2	Jugo de limón, vinagre
	pH = 3	Jugo de naranja, bebida gaseosa
	pH = 4	Lluvia ácida (4.2-4.4) Lago ácido (4.5)
Neutro ↕ Comienzan a morir las truchas arco iris	pH = 5	Bananas (5.0-5.3) Lluvia limpia (5.6)
	pH = 6	Lago saludable (6.5)
Básico ↓	pH = 7	Leche (6.5-6.8) Agua pura
	pH = 8	Agua de mar, huevos
	pH = 9	Bicarbonato de soda
	pH = 10	Leche de magnesia
	pH = 11	Amoniaco
	pH = 12	Agua jabonosa
	pH = 13	Blanqueador
	pH = 14	Limpiador líquido para desagües

Fuente: purewater.com

- **Alcalinidad**

“La alcalinidad es la medida de la capacidad para neutralizar ácidos. A diferencia del pH, que indica si una solución es un ácido o una base, la alcalinidad expresa cuánto ácido puede absorber una solución sin cambiar el pH”. (Thanna, 2020).

En otras palabras, es la capacidad amortiguadora de una solución, también conocida como capacidad buffer del agua, que consiste en una medida de la cantidad de carbonatos y bicarbonatos concentradas en partes por millón (ppm) por cada litro de agua en la muestra. Su unidad de medida puede ser ppm/L o mg/L.

- **Dureza**

Se define la dureza del agua, como la concentración de compuestos minerales, principalmente con la presencia de calcio y manganeso en el líquido. La dureza puede ser originada por formaciones geológicas, por el cual, las aguas subterráneas los atraviesan en zonas acuíferas carbonatadas presentan un incremento de la cantidad disuelta de esos compuestos en el líquido, en situaciones previas a la captación o muestreo de este. La unidad de medida de la dureza del agua corresponde a los grados hidrométricos franceses (°HF) o los miligramos por litro de carbonato de calcio (mg/L CaCO_3).

- **Sólidos Totales Disueltos (STD)**

El nivel de sólidos disueltos, también designado comúnmente como el total de sólidos disueltos (STD), es una manera de medir el nivel de sustancias orgánicas e inorgánicas en el agua. Su unidad de medida puede ser el mg/L (miligramos por litro) o ppm.

“El total de sólidos disueltos es una medida de la cantidad de material disuelto en el agua. Este material puede incluir lo siguiente: carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, fosfato, nitrato, calcio, magnesio, sodio, iones orgánicos y otros iones. Los cambios en concentraciones del TDS pueden ser dañinos debido a que la densidad del agua determina el flujo del agua hacia y desde las células de un organismo”. (Murphy, 2007).

Las cantidades excesivas de algunos de los compuestos disueltos en agua pueden causar la corrosión u otros problemas en sistemas de distribución del agua. Un

ejemplo claro está en aumento, que daña las tuberías, los calentadores de agua y los electrodomésticos.

2.1.4.2 Parámetros físicos

- **Turbidez**

Mide la dificultad del agua para transmitir o permitir el paso de la luz en proporción inversa a la cantidad de sólidos insolubles en suspensión o coloidales, que se presentan principalmente en aguas superficiales. No posee unidades de medida, se medición se realizan mediante aparatos con sensores fotoeléctricos.

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica, se encarga de medir la capacidad del agua u otro material, en facilitar el paso de una corriente de electrones a través de dos electrodos separados a cierta distancia. Su unidad de medida es el Siemens (S), sin embargo, al ser un valor muy grande se utiliza el término microSiemens (μS). El agua pura prácticamente no conduce la electricidad; por lo tanto, la conductividad que se puede medir será consecuencia de las impurezas presentes en el agua. Por esta razón, es un parámetro físico bastante eficaz para medir la calidad de un agua, pero deben darse tres condiciones fundamentales para que sea representativa:

1. No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables.
2. Las mediciones se realicen a la misma temperatura.
3. La composición del agua se mantenga relativamente constante.

2.1.5 Sistema purificador de agua

Debido a que el tanque o depósito del sistema recuperador solamente tiene la función de asegurar temporalmente las aguas residuales, que cumplen con los requisitos apropiados para ser reutilizados. El fluido recuperado debe trasladarse hacia otro tanque de mayor capacidad, que éste mismo cuente con un sistema purificador de aguas diseñado para generar agua de proceso, utilizado para realizar nuevamente actividades de producción de refrescos en otras líneas de producción distribuidas en planta.

Por tal motivo, el sistema purificador dónde se enviará en agua recuperado tendrá acceso al tanque almacenador de agua proveniente de pozo subterráneos (Tanque Cilindrocónico 1 y 2), mediante la instalación de un nuevo tramo de tubería conectado a la tubería principal de agua de pozo, protegido por una válvula check o antirretorno como medida de protección del tramo de tubería procedente del sistema recuperador.

El sistema purificador implementado en planta utiliza la técnica denominada ósmosis inversa, para realizar el proceso de acondicionamiento del agua, la definición y funcionamiento del mismo se explicará en la siguiente sección.

2.1.5.1 Purificación por ósmosis inversa

El término de *ósmosis*, se refiere comúnmente al proceso de hacer pasar un líquido solvente (como el agua), a través de una membrana semipermeable, para permitir que el solvente pase de una solución diluida a una concentrada (con mayor cantidad de minerales), hasta que las concentraciones de ambos se equilibren en ambos lados de la

membrana. La presión de empuje que se requiere para éste proceso se conoce como presión osmótica.

Al comprender lo explicado anteriormente, se puede decir que la ósmosis inversa (*RO*: *reverse osmosis*, en inglés) realiza la acción opuesta, es decir, éste se encarga de ejercer una fuerza de empuje superior a la osmótica debido a la reducción del caudal a través de la membrana semipermeable. De ésta forma, permite separar las sustancias de mayor concentración de minerales bases en un lado de la membrana y en el otro lado permitir extraer un solvente puro con porcentaje bajo de sólidos disueltos. El caudal necesario para realizar el empuje a través de la membrana es generado por una bomba hidráulica.

En la Figura 8, *Diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa*, se puede observar la comparación del funcionamiento de los procesos de ósmosis y ósmosis inversa.

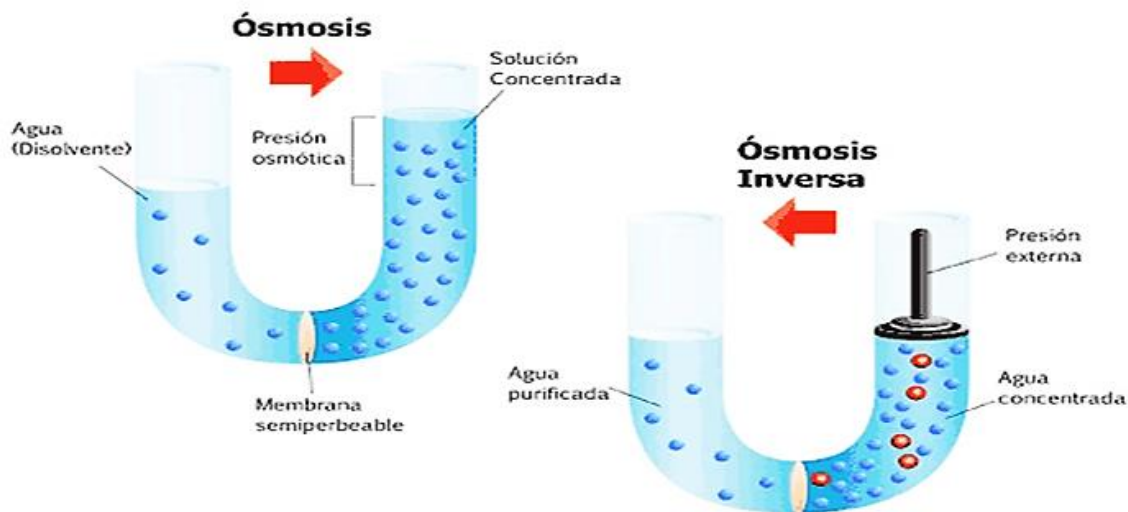


Figura 6: Comparación entre los procesos de ósmosis y osmosis inversa.

Fuente: carbotecnia.info.

2.2 CONTEXTO TEÓRICO

➤ Dispositivos utilizados en la empresa

2.2.1 PLC Allen Bradley SLC500

Según H.D Vallejo (2012) el término PLC (Programmable Logic Controller, o Controlador Lógico Programable) se refiere a: “automatismos “normalizados” que poseen una unidad central de proceso, que es el corazón del PLC y que recibe datos de dispositivos conectados a las entradas de dicho PLC (sensores), procesa dichos datos en función del programa contenido en la CPU y arroja los resultados a las salidas del PLC, donde hay actuadores (relés, contactores, sistemas de arranque, etc.).” (p.3).

En otras palabras, se pueden definir como dispositivos electrónicos o computadoras digitales de tipo industrial que permiten la automatización, especialmente de procesos electromecánicos, neumáticos e hidráulicos, debido a que controlan tiempos de ejecución y regulan secuencias de accionamiento.

En el diseño del proyecto se utilizará un PLC de la marca Allen Bradley, específicamente el modelo SLC 500, dado que actualmente son muy utilizados en proyectos donde se necesitan buena calidad a un bajo costo, además de contar con protocolo de mensajería para la comunicación con otros controladores lógicos activos en la planta.

La cantidad de entradas o salidas (analógicas/digitales), dependen del número de módulos que se acoplan al CPU de la unidad, junto con su respectiva fuente de alimentación. La documentación relacionada al uso de PLC's de la familia SLC500 se encuentra en el anexo 1 (Manual de usuario PLC_SLC500.pdf)

Figura 7: Controlador Lógico Programable.



Fuente: Elaborado por el autor.

Entre sus principales características este controlador lógico se encuentra los siguientes:

- Puerto de comunicación RS-232/422/423 incorporado.
- Conjunto de instrucciones avanzadas incluyendo manejo de archivos, secuenciador, diagnóstico, registro de desplazamiento, E/S inmediato e instrucciones de control de programas.
- Dispone de un puerto de comunicación operador-maquina (HMI) y un puerto adicional, que permite una opción económica que facilita su programación a través de un computador personal.
- No requiere de configuraciones previas de puertos de comunicación FDI (Full-Dúplex Interface).
- Posee un puerto de comunicación vía cable Ethernet con un sistema de enrutamiento por dirección IP para intercambio de datos entre dispositivos.

2.2.2 Pantalla Táctil HMI

El monitor HMI (Human Machine Interface) interfaz humano máquina, consiste en un monitor táctil de 7" pulgadas distribuido por la compañía Allen-Bradley by Rockwell Automation, que dispone de funciones de teclado numérico y auxiliares (flechas direccionales, teclas F1-F10, entre otros), incorporando todas las funciones de verificación y muestreo de datos en un computador industrial mediante un conjunto de módulos lógicos Windows CE que proporcionan un acceso al escritorio local.

Estos equipos permiten controlar y enviar datos a la maquinaria de una planta bajo supervisión y configuración de profesionales de la producción industrial, además de permitir el monitoreo de parámetros digitales o analógicos del estado de los sensores o actuadores conectados al PLC, a través del envío de datos vía comunicación Ethernet o serial RS-232.

Las aplicaciones utilizadas para programar su respectiva interfaz gráfica de usuario (GUI), se realiza mediante el software Factory Talk View Machine, cuya definición y características se explicarán más adelante. La documentación técnica relacionada con esta pantalla HMI se encuentra en el anexo dos (Terminales PanelView Plus 7.pdf).

Figura 8: Pantalla Táctil de Interfaz HMI Panel View Plus 700.



Fuente: Elaborado por el autor.

2.2.3 Electroválvulas

Serrano, 2010. *Una electroválvula o válvula de solenoide es un dispositivo electromecánico que controla el caudal de un fluido dentro de una línea de suministro o conducto, la cual, mediante una bobina, que recibe o interrumpe su energía eléctrica, activa un mecanismo de cierre o apertura de las vías de la válvula; de este modo una señal eléctrica puede ser trasformada en una señal neumática o hidráulica.* (p.153)

Al circular una corriente eléctrica en el devanado del actuador éste genera un campo magnético que atrae un pistón o émbolo producto de la fuerza magnética inducida, de esta forma se logra desplazar una pieza que permite la apertura o cierre del paso de gases o líquidos a través de la válvula. Cuando el flujo de corriente desaparece lo hace también el campo magnético, provocando que la válvula vuelva nuevamente a su posición neutral (NO *normalmente abierto*, o NC *normalmente cerrado*).

Para la implementación del dispositivo en el sistema recuperador de aguas de la planta Florida Bebidas S.A, se utilizarán dos electroválvulas de tipo NC para las tuberías de entrada y salida del Tanque Recuperador, el cual, la bobina es alimentada con una tensión nominal de 24 VDC.

Figura 9: Válvula Solenoide.



Fuente: utecsa.cl

2.2.4 Contactor electromecánico

El contactor electromecánico se define *“como un elemento conductor que tiene por objetivo establecer o interrumpir la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción”*. (Trancoso, 2016).

Se puede afirmar que los contactores electromecánicos ofrecen una alternativa económica y segura para el accionamiento de elementos en las etapas de potencia, ya que este dispositivo tiene la capacidad de interrumpir o permitir el paso de corriente eléctrica (generalmente trifásica) mediante la aplicación de un voltaje de DC o AC en los terminales de una bobina, que actúa como un electroimán y realiza un movimiento mecánico que cierra los contactos principales.

Las aplicaciones de los contactores se limitan al accionamiento de sistemas de control de bombas hidráulicas, bandas transportadoras, motores en torneras de precisión, entre otros.

Figura 10: Contactor Electromecánico



Fuente: capris.cr

2.2.5 Disyuntor eléctrico

Un disyuntor eléctrico es un dispositivo electromecánico de protección de líneas, encargado de interrumpir o cortar el paso de corriente eléctrica hacia una carga cuando el consumo nominal sobrepase un determinado valor máximo, con el fin de prevenir daños importantes tanto en la carga como en la instalación eléctrica.

Los disyuntores eléctricos se pueden dividir en dos categorías principales:

- **Magnéticos:** Protegen la instalación eléctrica mediante el uso campos magnéticos generados por un electroimán incorporado, ante una eventual variación en el campo magnético debido a una corriente inestable, el disyuntor corta el suministro de energía hacia la carga.
- **Térmicos:** Están compuestas por láminas bimetálicas que al ser sometidas al paso de corriente eléctrica aumentan su temperatura, si la corriente resulta en un valor de consumo alta dichas láminas se deforman para accionar un mecanismo que corta el flujo de corriente eléctrica

2.2.6 Bomba Centrífuga

Una bomba centrífuga es una máquina eléctrica rotatoria (generalmente de alimentación de corriente alterna trifásica), encargada de transformar la energía mecánica del eje de una turbina o impulsor en energía cinética o presión de fluido hidráulico.

Su funcionamiento se basa en la generación de un vacío en el centro del eje impulsor que succiona o aspira el fluido conectado en la salida de un tanque o depósito, para luego direccionarlo mediante un conjunto de paletas o alabes se encarguen de conducir el fluido

hacia una salida o tubo de impulsión. En otras palabras, genera el caudal (velocidad de flujo) necesario para superar la presión ejercida por la resistencia del flujo hacia la carga.

El motor utiliza una tensión de 240 v de corriente alterna trifásica, el cual debe contar con distintos elementos de protección de sobrecarga y de accionamiento para asegurar mayor la eficiencia y vida útil de la máquina.

Figura 11: Ejemplo de bomba centrífuga.



Fuente: csisa.com

2.2.7 Sensor de conductividad eléctrica

El sensor de conductividad o conductímetro es un dispositivo electrónico utilizado para medir la cantidad o concentración de iones disueltos (minerales o sales base), en sustancias acuosas, es decir, mide la cantidad de corriente eléctrica que un fluido es capaz de transportar, su unidad de medida es el microsiemens por metro ($\mu\text{S}/\text{m}$).

Los sensores de conductividad poseen aplicaciones cruciales en monitorización y tratamiento de aguas residuales en industrias de refrescos y alimentos, principalmente cuando se pretende determinar su condición antes, durante y después de protocolos de saneamiento, utilizando un rango amplio de medición. La selección del sensor depende

tanto de la aplicación como de su respectivo rango de conductividad (éste último cuando se requieren mediciones más precisas).

El conductímetro que se utilizará en el desarrollo del proyecto es un Endress Hauser CLD134, ya que cumple con los requisitos que satisface una correcta comprobación en la composición del agua. El sensor cuenta con una sonda diseñada para medir valores amplios de conductividad entre 100 a 20000 uS/m y un sensor de temperatura que soporta rangos de entre 10 a 125 °C, el cual este último parámetro ayuda a obtener valores más precisos de conductividad.

Además, el dispositivo cuenta con una pantalla LCD incorporada para realizar comprobaciones en las cercanías del tanque, así también, como puertos de salida que entregan valores de corriente analógica entre 4 y 20 mA que conectarse a un puerto analógico del PLC para realizar lecturas de forma remota en una interfaz de monitoreo HMI. El dispositivo requiere una tensión de alimentación de 24 VDC.

Figura 12: Conductímetro Endress Hauser.



Fuente: es.endress.com

2.2.8 Sensor de nivel por presión hidráulica

Debido a la necesidad fundamental de determinar la cantidad de material (en general, líquido) contenida en un tanques o recipientes, se crearon los populares sensores de nivel. El sensor o transductor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del líquido dentro de un contenedor, con la finalidad de dar seguimiento al contenido para evitar sobrellenado o niveles por debajo del mínimo.

También existen sensores de nivel que son continuos, lo que significa que éstos utilizan una sonda especial que convierte la presión mecánica ocasionada por el agua, en señales eléctricas analógicas que son proporcionales a la cantidad de líquido del tanque.

Este último mencionado, es precisamente el que se implementará en el proyecto, ya que se ubica en la parte inferior a un costado del tanque y su valor de presión del fluido aumenta en proporción con el incremento un corriente de 4 a 20 mA en su salida analógica.

Figura 13: Transductor de nivel por presión hidrostática.



Fuente: Elaborado por el autor.

2.2.9 Protocolo Ethernet IP

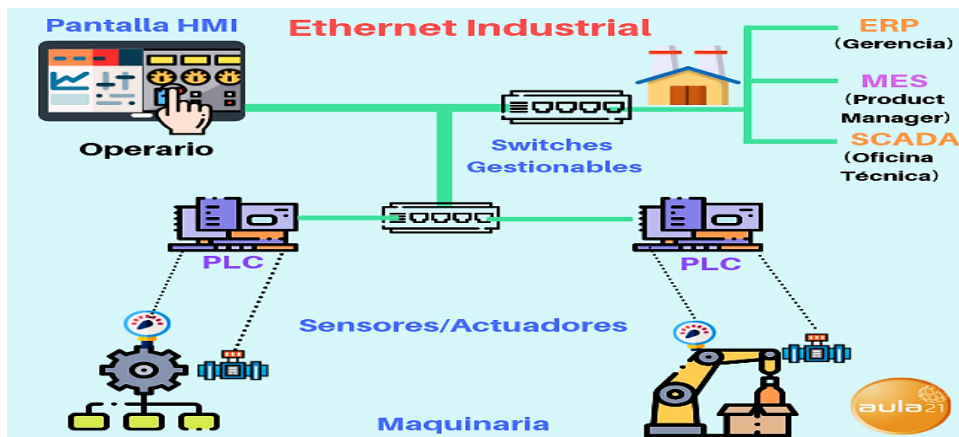
Según el Centro de Formación Técnica para la Industria (2007), afirma:

“La definición de protocolo Ethernet/IP (Ethernet Industrial Protocol) es la de un estándar de comunicación de red capaz de manejar grandes cantidades de datos a velocidades de 10 Mbps o 100 Mbps, y hasta 1500 bytes por paquete. La especificación utiliza un protocolo abierto en la capa de aplicación. En la industria es especialmente popular para aplicaciones de control. Así pues, este tipo de red es fácil de configurar, operar, mantener y ampliar. A su vez, permite la mezcla de productos de 10 Mbps y 100 Mbps, y es compatible con la mayoría de los conmutadores Ethernet”.

Se constituye como el protocolo de comunicación de mayor aplicación en sistemas de control automatizado. Las aplicaciones de control en que se destaca ésta tecnología son: dispositivos microcontroladores, ordenadores portátiles, controladores lógicos programables (PLC), adaptadores de entrada o salida, entre otros.

El Ethernet/IP es suministrado principalmente por la compañía Rockwell Automotion, por lo que se convierte en el único protocolo Ethernet industrial basado completamente en estándares Ethernet de enlaces de datos y capas físicas de red, sin mencionar que es la red preferida para establecer comunicación entre PLC de la marca Allen Bradley mediante el uso de switch enrutadores.

Figura 14: Diagrama básico de un sistema enrutador Ethernet/IP.



Fuente: cursoaula21.com

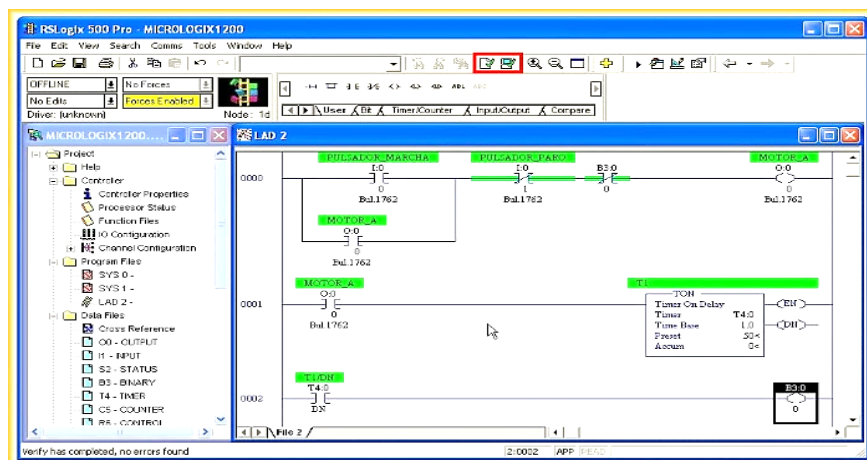
2.2.10 Rslogix 500

El entorno de desarrollo Rslogix 500, es una plataforma de programación de lógica escalera diseñado para sistemas operativos de Microsoft Windows, en apoyo con las familias de procesadores en modelos de PLC Allen Bradley SLC 500 y Micrologix.

El paquete que ofrece dicho programa es totalmente compatible para la programación de controladores en sistemas de automatización basados en DOS Rockwell Software, por lo que el mantenimiento de plataformas de hardware es una labor sencilla y económica.

Además, actualmente Rslogix 500 fue actualizada y expandida para ofrecer un programa encargado de simular los sistemas control, denominado Rslogix 500 Emulate, que permite mejorar los procesos de validación de programas de usuario en el desarrollo de proyectos de automatización.

Figura 15: Ventana principal Rslogix 500.



Fuente: plc-hmi-scadas.com

2.2.11 Factory Talk View Studio

Es un software de desarrollo gráfico diseñado para crear interfaces HMI para la monitorización, registro y control de procesos en sistemas de control asociados con lógica de programación de controladores y procesadores de las familias de PLC Allen Bradley SLC 500 y Micrologix. La arquitectura distribuida y escalable acepta aplicaciones de servidores distribuidos multiusuario, con lo que le ofrece control y acceso máximos a la información.

Como un componente básico de la disposición de la percepción de *Rockwell Automation*, *FactoryTalk View Machine Edition* ofrece el diseño sin igual, la administración de clientes en tiempo de ejecución, el dialecto y el tiempo más rápido intercambio de nombramiento a través de un entorno de mejora típico.

Figura 16: Ejemplo de interfaz gráfica de usuario creado en Factory Talk View Machine.



Fuente: news.thomasnet.com

➤ Dispositivos por implementar en el prototipo

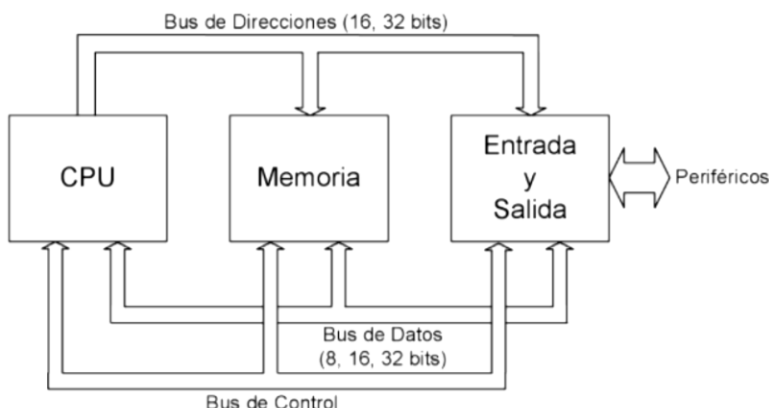
2.2.12 Microcontroladores

Un microcontrolador consiste en un circuito integrado o chip que reúne todas las capacidades de almacenamiento, procesamiento y control de datos que permiten realizar tareas específicas de acuerdo con el hardware implementado.

Según los autores Pérez & Areny (2007) describen el término microcontrolador como: “...un circuito integrado programable compuesto de una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria RAM Y ROM, puertos de entrada y salida y diversos módulos para el control de periféricos; tales partes se encuentran interconectadas entre sí mediante líneas eléctricas denominadas buses para llevar a cabo la aplicación para la cual fueron programados”. (p.11).

En la tabla 1, se observa un resumen comparativo que establecen las principales diferencias entre microcontroladores y microprocesadores. En la figura 16 se ilustra su estructura interna básica.

Figura 17: Arquitectura interna de un microcontrolador.



Fuente: (Pérez & Areny, 2007).

Tabla 1: Diferencias entre Microcontroladores y Microprocesadores.

Propiedad	Microcontroladores	Microprocesadores
CPU	Encargado de ejecutar el direccionamiento de las instrucciones precargadas	Mayor potencia de procesamiento de datos de cálculo y algoritmo preestablecido.
Memoria ROM y RAM	Los incluyen dentro de un solo circuito integrado	Son dispositivos externos que lo complementan para su óptimo funcionamiento
Velocidad de operación	En rango de los MHz	En rango de los GHz
Tamaño	Al incluir todo el hardware necesario dentro de un solo chip posee un tamaño reducido.	Por la inmensa cantidad de funciones que debe realizar lo convierte en un circuito bastante engorroso.
Costo	Bajo, fácil adquisición	Alto, por su complicada producción
Tiempo de desarrollo	Rápido, de acuerdo con su función específica.	Lento, su diseño y producción requiere bastante tiempo.
Interferencias	Por su alta nivel de integración, son menos susceptibles al ruido.	Debido a su tamaño y cableado externo es más propenso al ruido

Fuente: Elaborado por el autor

A diferencia del microprocesador, el microcontrolador no requiere de elementos de expansión memoria o dispositivos adicionales para ejercer sus operaciones debido a que el hardware ya viene implementado dentro de un solo chip encapsulado.

En un microcontrolador se debe especificar su funcionamiento por medio de un software de desarrollo encargado de generar las instrucciones que el circuito integrado de realizar. Las instrucciones, posteriormente, se guardan dentro de la memoria interna (ROM) del microcontrolador y un elemento interno llamado CPU (Control Processing Unit, por sus siglas en inglés) se encarga de procesar en secuencia cada una de las instrucciones del programa.

Actualmente, en el mercado existen diversos equipos y herramientas disponibles que permiten trabajar con microcontroladores, como lo son Arduino, PIC, Raspberry PI, entre otros; los cuales se debe escoger al dispositivo que se adapte de la mejor forma al sistema que se desea desarrollar, ya que tales dispositivos presentan diferencias en sus diseños o prestaciones.

Para el desarrollo del prototipo se optó por utilizar Arduino, el cual, debido varias características como la facilidad de implementar módulos y sensores, la disponibilidad de puertos de E/S (entradas y salidas), la capacidad de suministrar alimentación desde la placa de desarrollo, así también como el entorno programación y el costo de la tarjeta, hacen al Arduino ideal para llevar a cabo este prototipo.

2.2.12.1 Arduino

Arduino es una tarjeta o placa de hardware y software libre conocido comúnmente como opensource, utilizado para la implementación de proyectos y facilitar la programación y desarrollo de sistemas relacionados a su entorno; el cual cuenta con un microcontrolador reprogramable que dispone de una serie de pines hembra E/S (unidas a las patillas de entrada / salida del microcontrolador) que permiten conectar de forma sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores (Artero, 2013).

En otras palabras, Arduino es un entorno de desarrollo integral (IDE) de código libre que dispone de una placa con todas las herramientas necesarias, para el funcionamiento de un microcontrolador y establecer comunicación con un ordenador o computador a través de un puerto serial USB.

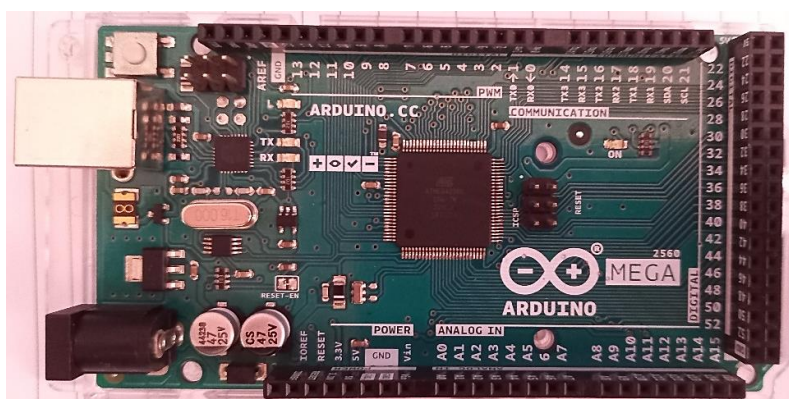
Existen varios modelos de tarjetas microcontroladoras Arduino, los cuales cada una de ellas difieren en características de diseño y capacidad de manejar memoria interna o puertos de E/S, de acuerdo con las aplicaciones según sean las necesidades.

En su mayoría, las tarjetas disponen de un circuito microcontrolador central de 8 bits; el cual su programación se realiza a lenguaje de alto nivel, y se encarga de realizar todos los procesos lógicos y cálculos, además de controlar y gestionar los recursos de los dispositivos externos conectados a la misma.

2.2.12.2 Arduino MEGA 2560

El Arduino Mega es una multiplataforma computacional de código abierto (open-source), basada en una tarjeta con entradas y salidas (E/S) analógicas o digitales conectadas a un microcontrolador interno de montaje superficial. El dispositivo se puede programar mediante un software de lenguaje de alto nivel y compilador diseñados con el objetivo de desarrollar proyectos de una forma más centralizada y concisa.

Figura 18: Arduino MEGA 2560.



Fuente: Elaborado por el autor

“El Arduino Mega 2560 es una placa microcontrolador basada en el microprocesador Atmega2560. Tiene 54 entradas/salidas digitales (15 pueden utilizarse para salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie por hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, entrada de corriente, conector ICSP y botón de reset. Mega es compatible con la mayoría de los shield diseñados para Arduino Duemilanove o Diecimila” (Arduino, 2017). La hoja de datos del Atmega2560 se puede localizar en el anexo 3 (03. Atmega2560).

Tabla 2: Datos Técnicos del Arduino Mega 2560.

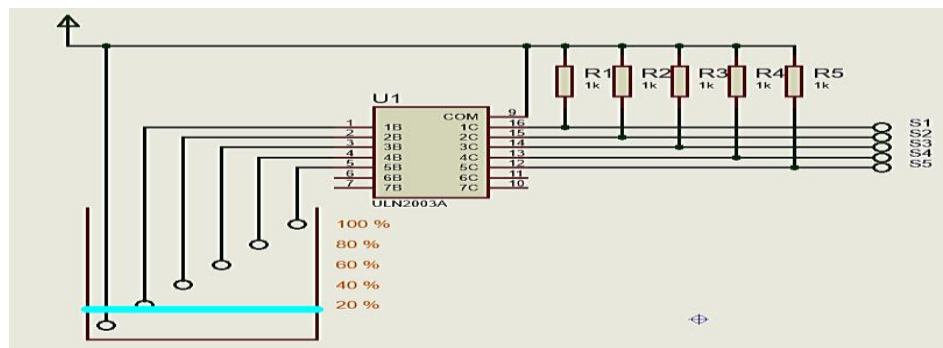
Arduino Mega	
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5v
Voltaje de entrada (recomendado)	7 - 12v
Límite de voltaje	6 - 20v
Puertos digitales E/S	54
Puertos Analógicos	16
Corriente DC de salida (pines digitales)	40 mA
Memoria FLASH	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Reloj (oscilador)	16 MHz

Fuente: Elaborado por el autor.

2.2.13 Circuito sensor de nivel

Es un circuito que dispone de un conjunto de probadores o sondas localizadas en distintos puntos de un tanque, que se encargan de enviar una señal eléctrica de detección hacia las entradas de un driver amplificador, para que, luego éste genere una señal digital de activación que pueda ser interpretado de forma rápida en una entrada de lectura en un dispositivo controlador.

Figura 19: Diagrama sensor de nivel ULN 2003.



Fuente: Elaborado por el autor.

Como se puede observar en la figura 19, el dispositivo driver es el circuito integrado ULN 2003, el cual, en su interior dispone de un arreglo de 7 puertas inversoras implementadas con transistores NPN en configuración Darlington (alta ganancia); lo que le permite controlar dispositivos de salida de alta demanda de corriente mediante una baja intensidad aplicada en la entrada de esta. La salida es capaz de cambiar de un estado digital Alto (nivel lógico 1) a uno Bajo (nivel lógico 0) cuando se le aplica una tensión de estado Alto en su entrada respectiva.

En la realización del presente proyecto el circuito mostrado, se utilizará para determinar el nivel de agua en los respectivos depósitos de enjuague (simulados en el prototipo), el cual, cada una de sus salidas estará conectado a un circuito conversor digital – analógico (DAC) con el fin de obtener una salida de voltaje proporcional al porcentaje de nivel en el tanque, y que además, permitir una medición más versátil al aplicarlo en uno de los terminales de lectura analógica disponible en la tarjeta controladora. La explicación del dispositivo DAC (convertidor digital – analógico) se mencionará a continuación.

2.2.14 Convertidor digital – analógico (DAC)

“En esencia, la conversión D/A es el proceso de tomar un valor representado en código digital (como binario o BCD) y convertirlo en un voltaje o corriente proporcional al valor digital”. (R. Tocci, N. Widmer, G.L. Moss, 2007. (p.721).

En relación a lo anteriormente mencionado, en el sentido estricto de la palabra, la salida de un DAC (*Digital – Analogic Converter*, por sus siglas en inglés) no es una cantidad analógica convencional (no es variable con el tiempo) ya que sólo puede utilizar valores de voltaje o corriente específicos en intervalos discretos, de acuerdo al número de

entradas disponibles. Por ejemplo, si se cuenta con una entrada de 4 bits (dígitos binarios), el dispositivo solo podrá generar una salida de 16 niveles de voltaje distintos.

No obstante, el número de entradas de un convertidor DAC determina el rendimiento o precisión del dispositivo. La precisión, en el sentido de la electrónica digital, se puede traducir con el término de *resolución*, que se define como:

“...el cambio más pequeño (voltaje o corriente) que puede ocurrir en la salida analógica como resultado de un cambio en la entrada digital.” (R. Tocci, N. Widmer y G.L. Moss, 2007. (p.724).

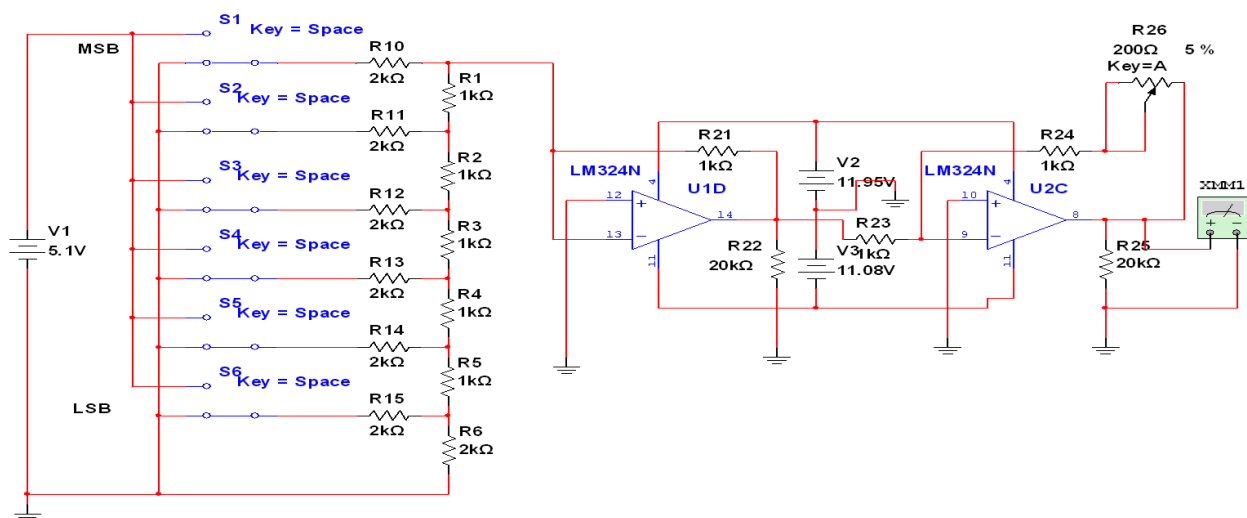
En otras palabras, la resolución de un convertidor DAC es proporcional al aumento de la cantidad de dígitos binarios que el dispositivo sea capaz de leer en su entrada, por ejemplo, (en comparación con el ejemplo de una entrada de 4 bits mencionado anteriormente), si se cuenta ahora con una tensión de referencia de 15v de alimentación conectados un dispositivo DAC de 8 bits obtiene una resolución de 0,0588v ($2^8 = 256$) por cada incremento en la escala de conteo binario (0 a 255).

En base a lo explicado, el circuito convertidor DAC que será implementado en el proyecto se observa en la figura 20. El circuito consiste en un arreglo de resistores conectados en una red de tipo escalera **R/2R**, este sistema en particular posee la ventaja de ofrecer cierta facilidad de diseño ya que utiliza valores de resistencia que se encuentran muy cerca del valor deseado, sin mencionar que son valores de uso comercial bastante accesibles.

El convertidor posee una entrada de 6 bits (niveles de 0 a 63), con un voltaje de referencia de 5v para una resolución de 78,125 mV (milivoltios) aproximadamente por cada incremento en la cuenta binaria, ver figura 20. No obstante, debido a que la entrada del DAC (implementado en el prototipo) se encuentra conectado en los terminales de salida del driver ULN 2003 (explicado en la sección anterior), las salidas digitales activa cada uno de las entradas del convertidor en secuencia y de forma ascendente.

Esto provoca que en el voltaje de salida analógico tenga un valor del doble de voltaje por cada aumento en el nivel del tanque recuperador, lo que reduce sin duda la resolución del dispositivo. Sin embargo, a pesar de dicha desventaja, el convertidor aún cumple con su objetivo de generar una señal de voltaje proporcional al nivel de agua, que puede medirse eficazmente en cualquier puerto de entrada de lectura analógica con el fin de controlar el nivel de llenado en los depósitos de enjuague implementado en el prototipo.

Figura 20: Circuito convertidor Digital - Analógico DAC.



Fuente: Elaborado por el autor.

2.2.15 Sensor ultrasónico HC-SR04

El sensor HC-SR04 es un sensor de distancia de bajo costo que utiliza ultrasonido para determinar la distancia de un objeto en un rango de 2 a 450 cm. Destaca por su pequeño tamaño, bajo consumo energético, buena precisión y excelente precio.

Figura 21: Sensor ultrasónico HC-SR04



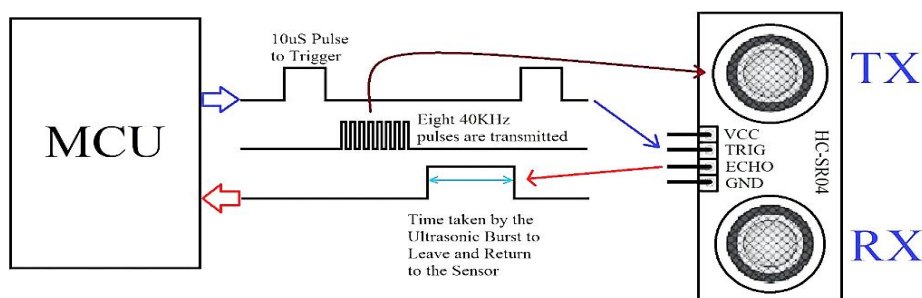
Fuente: Elaborado por el autor.

El módulo posee 4 terminales, dos se utilizan para alimentación del dispositivo (+5v y GND) y los dos restantes son utilizados para la lectura de datos que se denominan: trigger (disparo o transmisión) y echo (eco o recepción). El sensor posee de igual forma dos transductores: un emisor y un receptor piezoeléctricos.

El funcionamiento del módulo consiste en que el microcontrolador emite un pulso de estado lógico Alto en el terminal de disparo con duración de 10 μ s (microsegundos), para que el piezoeléctrico emisor emita pulsos ultrasónicos de alta frecuencia (40 KHz); las ondas de sonido viajan en el aire y rebotan al encontrar un objeto, el sonido de rebote es detectado por el receptor piezoeléctrico.

Luego el pin ECHO cambia a Alto (5V) por un tiempo igual al que demoró la onda desde que fue emitida hasta que fue detectada; el tiempo del pulso ECO es medido por el microcontrolador para que éste último se encargue de generar el algoritmo de cálculo que determina la distancia entre el sensor y el objeto

Figura 22: Diagrama de funcionamiento del sensor ultrasónico.



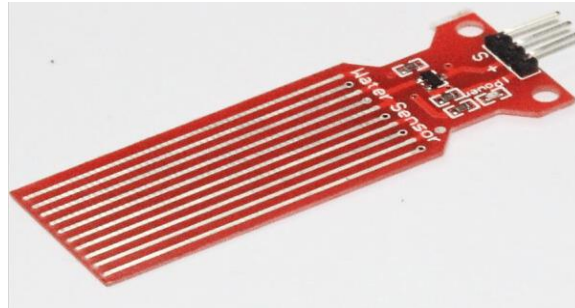
Fuente: puntoflotnate.net

El desarrollo del prototipo implementará el sensor ultrasónico como instrumento lector de nivel tanto del Tanque Recuperador, como el Tanque del Proceso Purificador de aguas; debido a que cuenta con el rango de distancia y precisión adecuado para ser controlado y visualizado mediante una interfaz de monitoreo que simule a tiempo real los procesos llenado y vaciado del depósito.

2.2.16 Sensor detector de fluido K-0135

Es un módulo electrónico que consta de unas láminas conductoras impresas en un PCB (placa de circuito impreso) conectados a un circuito amplificador formado principalmente por un transistor, es capaz de generar una señal de tensión analógica de 0 a 5v en la salida.

Figura 23: Sensor detector de fluidos.



Fuente: scidle.com

Debido a que por naturaleza el agua no conduce electricidad, para hacer que ésta pueda conducir, se requiere de la presencia de minerales u otros compuestos disueltos en ella. Entonces, si agrega ciertos elementos que faciliten el flujo de electricidad en el fluido, esta cambiará su resistencia. Dicho cambio de resistencia es detectado entre las láminas del sensor que excita la base del transistor interno, que, a su vez, provoca el aumento el voltaje en la salida del módulo. Ese cambio de voltaje, también, puede interpretarse como una modificación de la conductividad del agua.

En relación con lo mencionado anteriormente, el desarrollo del prototipo se utilizará el sensor detector de agua como un dispositivo que se encargue de medir los cambios en la resistencia del agua, para determinar parámetros de conductividad del fluido de forma versátil y económica; ya que la mayoría de los sensores de conductividad disponibles en el mercado actual poseen un costo bastante elevado para aplicarlo en el prototipo, sin mencionar que sus aplicaciones se limitan para uso en laboratorios de análisis de fluidos y entre otras actividades industriales.

2.2.17 Relevadores

Los relés o relevadores son dispositivos que funcionan como un interruptor controlado por un circuito de baja potencia en el que, por medio de una bobina o electroimán se accionan uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar circuitos independientes.

Estos dispositivos poseen la principal ventaja de conmutar circuitos de alto consumo de corriente y tensión, mediante una cantidad relativamente pequeña de señal eléctrica suministrada en la salida de cualquier dispositivo controlador.

En el mercado actual se pueden encontrar variedad de relevadores, que difieren en cuanto a características de alimentación y de diseño, de acuerdo con la cantidad de corriente que consume la carga que se requiere accionar y también, dependiendo del número de contactos disponibles en el dispositivo (NO: normalmente abierto, NC: normalmente cerrado). Estas propiedades se deben tomar en cuenta para elegir el que mejor se adapte a la aplicación requerida.

Para controlar cargas que consuman una corriente considerable cuando se utilizan placas de desarrollo como Arduino, una de las mejores formas de controlar estas es emplear un módulo de relés (Figura 22), ya que su diseño y estructura está ideado para trabajar conjuntamente con estos.

Figura 24: Módulo relés de cuatro canales.



Fuente: altronics.cl

Dicho módulo está compuesto por cuatro relés cuya tensión para la conmutación es de 5V en la bobina de este (lo que entrega el Arduino en sus pines de salida); y las salidas de los relés pueden ser sometidas a tensiones de hasta 230V AC y corrientes máximas de 10A.

2.2.18 Bomba hidráulica de limpiaparabrisas

Consiste en una bomba de escala menor que, habitualmente, es utilizado para generar el caudal (velocidad) de fluido necesario para expulsar agua en el sistema de limpieza de parabrisas en vehículos automotores.

Su principio de funcionamiento es bastante similar al de la bomba hidráulica mencionada en la sección 2.2.6, con la principal diferencia de que requiere una alimentación de voltaje más bajo de unos 12v CC (corriente continua), además de que su consumo de corriente es mucho menor y el método que utiliza para generar el movimiento giratorio es mediante la excitación de un bobinado en el rotor, cuyo campo magnético, interactúa con otro generado por un imán permanente alrededor del mismo. Las fuerzas de atracción y repulsión de ambos campos ocasionan el giro de la máquina.

En el desarrollo del prototipo se utilizarán esta clase de bombas hidráulicas para generar el flujo de agua que se envía desde los recipientes de enjuague al tanque recuperador, y a su vez, desde este último hacia el depósito de entrada del sistema purificador de aguas.

Figura 25: Bomba hidráulica limpiaparabrisas.



Fuente: mundobomba.net

2.2.19 Electroválvulas de corriente continua

Como su nombre lo indica, estos dispositivos consisten en válvulas solenoides que poseen un principio de funcionamiento similar al mencionado en la sección 2.2.3 (electroimán que acciona un mecanismo de apertura o cierre de un determinado flujo). La bobina del electroimán requiere de una tensión nominal de 12v.

Las electroválvulas de corriente continua se dividen en dos categorías principales:

- Válvula simple o unidireccional: El flujo de aire o agua se realiza en un solo sentido, el mecanismo puede estar normalmente abierto NO o normalmente cerrado NC.
- Direccionales: El accionamiento de este ejerce la función de desviar el flujo aire o fluido hacia distintos tramos de tuberías o conductos. Existen varias clases de válvulas direccionales (dependiendo del número de entradas salidas y orificios de retorno),

pero los más comunes son las que cuentan con un mecanismo de selección de tramos con una entrada principal con dos salidas.

2.2.20 Comunicación serial

La comunicación serial es un protocolo de comunicación entre dispositivos que se incluye de manera estándar en prácticamente cualquier computadora o dispositivo que sea capaz de recibir o transmitir series de datos binarios.

“La función principal de un puerto serial, es la de empaquetar y desempacar paquetes de datos binarios seriales. Como resultado, la serialización significa convertir un dato paralelo (byte) a un conjunto de pulsos seriales que puedan ser recibidos y enviados por una línea de transmisión”. (Puerto Serial Protocolo – Teorías, 2019).

Entre las características más importantes de la comunicación serial se encuentran cuatro principales:

- **Velocidad de Transmisión:** Indica el número de bits (datos binarios) que se transmiten por segundo, la unidad de medida son los baudios (baud).

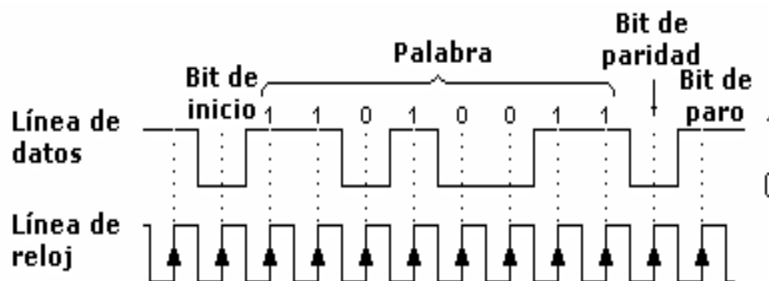
La velocidad de transmisión también se encuentra ligado a los ciclos de reloj (frecuencia Hz de transmisión). Las velocidades más comunes utilizados son de 4800, 9600 y 115200.

- **Bits de datos:** Se refiere a la cantidad o conjunto de bits (palabra) que se transmiten o cadena de datos (paquetes) que incluyen bits adicionales de inicio/paro y paridad.
- **Bits de inicio/paro:** El bit de inicio es el que indica con un estado Alto (5v) la apertura de la transmisión de datos. En cambio, el bit de paro es usado para indicar

el fin de la comunicación de un solo paquete. El bit de paro también funciona para otorgar un margen de tolerancia de las frecuencias de reloj entre los dispositivos conectados al puerto, con el fin de evitar percance de sincronismo durante el intercambio de datos.

- **Bit de Paridad:** Es una forma sencilla de verificar si hay errores en la transmisión serial. Por ejemplo, dependiendo si fijan los últimos 3 bits pares o impares, esto permite al dispositivo receptor conocer de antemano el estado de los bits, esto serviría para determinar si hay ruido en que afecte de forma negativa la transmisión de datos o si los relojes de los dispositivos no están sincronizados.

Figura 26: Estructura general de transmisión de datos en el puerto serie.



Fuente: digitalprojectsindustrial.blogspot.com

En cuanto a las características del protocolo serial basado en su modo de funcionamiento, los hay de tres tipos:

- **Simplex:** El sistema es unidireccional cuenta con una sola línea de transmisión, por lo que un elemento sólo puede transmitir, mientras que el otro sólo puede recibir datos.
- **Half Dúplex:** Los dispositivos conectados pueden transmitir o recibir datos mediante dos líneas de comunicación (Tx: transmisión, Rx: recepción), pero no lo pueden realizar de forma simultánea.

- **Full Dúplex:** Los dispositivos pueden transmitir y recibir datos de forma simultánea mediante dos líneas de transmisión (Tx) y dos líneas de recepción (Rx), o bien mediante dos líneas que se deben sincronizar para determinar tiempos de transmisión o de recepción.

2.2.21 LabVIEW

LabVIEW es un entorno de desarrollo o plataforma para diseñar sistemas, mediante un lenguaje programación visual gráfico. Recomendado para sistemas de hardware o software de pruebas, control y diseño, simulado o en tiempo real y embebido, pues acelera la productividad.

“Con un tipo de programación gráfica que facilita al usuario la visualización, creación y codificación de sistemas de ingeniería, LabVIEW es una fuente de ayuda para que los ingenieros puedan convertir sus ideas en realidad, reduciendo tiempos de pruebas y ofreciendo análisis de información basado en datos recolectados”. (National Instruments, 2016).

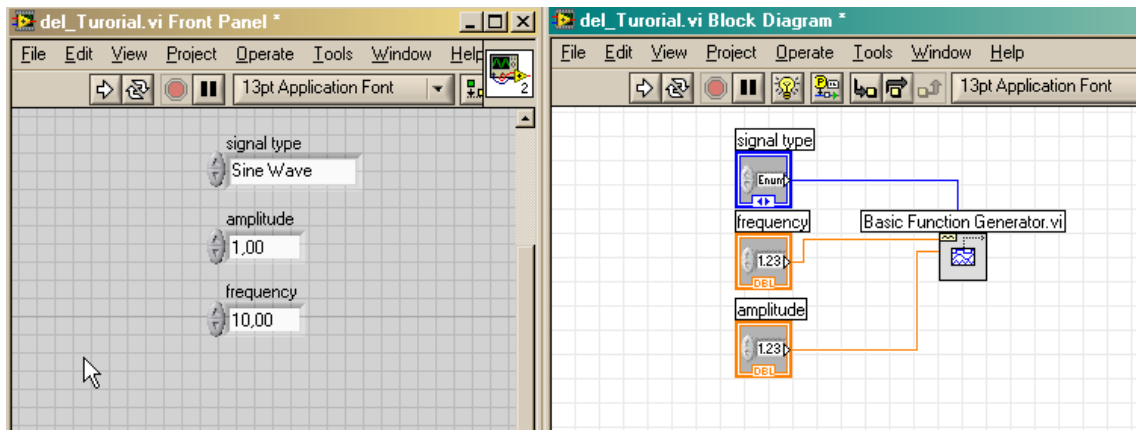
Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VI's, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no solo al control de cualquier clase de dispositivo electrónico de electrónica sino también a su programación embebida, comunicaciones, matemáticas, etc. Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo y el permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo.

Debido a que Labview es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que más bien se dibujan para facilitar su comprensión. Por lo tanto, el programa se debe trabajar mediante el uso de dos ventanas principales.

- **Panel Frontal:** Es la interfaz con el usuario. Se utiliza para interactuar con el programa en ejecución, donde se puede visualizar todos los datos en tiempo real pertinentes a valores cuantificables obtenidos del sistema mediante el uso de indicadores, al mismo tiempo que el usuario tiene la disponibilidad de modificar parámetros de ajuste con el uso de controles.
- **Diagrama de bloques:** Es la parte del programa donde se desarrolla el algoritmo. Es decir, donde se define la razón y funcionalidad del programa; aquí se coloca un conjunto de íconos que realizan una determinada función y se interconectan con el código que controla el funcionamiento del programa.

En la actualidad, Labview dispone de múltiples herramientas (denominados como toolkits) que permite agilizar la programación de ciertas funciones de control de dispositivos, como, por ejemplo, el caso de establecer una interfaz de comunicación con la tarjeta controladora Arduino, donde mediante un firmware (programa de control de hardware) se puede realizar la programación de lectura de entradas (analógicas o digitales) y activación de salidas. Todo desde el entorno gráfico de la plataforma en tiempo real.

Figura 27: Vista del panel Frontal (izquierda) y el diagrama de bloques (derecha) de la plataforma LabVIEW.



Fuente: cnx.org

2.2.22 Toolkit LINX /LabVIEW MakerHub

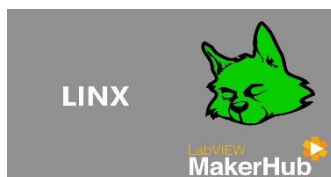
El toolkit LINX es una herramienta de fuente abierta diseñada para facilitar el uso y desarrollo de aplicaciones embebidas usando LabVIEW.

“LINX incluye VI’s ejemplares sobre los sensores embebidos más comunes, así como aplicaciones de programación de hardware para tener acceso a periféricos como Entradas/Salidas digitales, Entradas/Salidas analógicas, PWM, I2C, SPI y UART”. (National Instruments, 2016).

En otras palabras, la herramienta LINX permite la manipulación de tarjetas microcontroladoras como Arduino mediante un software precargado, el cual, ofrece una alternativa versátil para gestionar el control y visualización de datos con los que se está trabajando. De esta forma, el acceso al hardware o periféricos externos conectados a la tarjeta controladora se puede conseguir mediante el uso de íconos o bloques destinados

a utilizarse dentro de la plataforma LabVIEW, con el fin de crear aplicaciones de control o instrumentación de manera rápida y eficiente.

Figura 28: Logo LINX.



Fuente: National Instruments (2016).

2.2.23 Módulo DSC (Dataloggin and Supervisory Control)

“El Módulo de registro de datos y control de supervisión (DSC) es un complemento del software LabVIEW, que permite desarrollar sistemas HMI/SCADA o aplicaciones de registro de datos recopilados de varios canales.” (National Instruments, 2016).

Debido a la utilización de las funciones de éste módulo, se puede desarrollar un sistema de control y monitoreo de manera interactiva con el usuario, es decir, toda información referente a cualquier eventualidad que suceda durante la ejecución de la interfaz HMI (lectura de datos, accionamiento de actuadores, avisos u alarmas) serán monitoreados a tiempo real, y a su vez, podrán ser almacenados en un registro de datos activado momentáneamente por algún evento ocurrido. Además, permite que la interfaz sea más comprensible al incluir íconos o símbolos de los elementos que componen el sistema de control.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Enfoque de la Investigación

El enfoque de investigación, es la aproximación o perspectiva que ayuda al investigador a determinar su objeto de estudio. El enfoque de toda investigación que utiliza el método científico se clasifica dos, los cuales son:

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis.”
(Sampieri 2014, p.4).

Por otro lado, un enfoque cualitativo se define como:

“...cuando se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos, los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, prime ro, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y

responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien “circular” en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio.” (Sampieri 2014, p.7).

Con lo explicado anteriormente, el enfoque principal del proyecto será de tipo cuantitativo; debido a que, a partir del problema principal se plantea una interrogante o pregunta que, posteriormente, genera una hipótesis y un conjunto de variables. Luego se comprueban la validez de esas variables mediante mediciones y técnicas de análisis estadístico con el objetivo de monitorear el funcionamiento y realizar una toma de decisiones en base a los resultados adquiridos.

3.1.2 Finalidad de la Investigación

La finalidad de la investigación corresponde al método utilizado para recopilar información. Según Muñoz se refiere a una investigación teórica o básica donde:

“Son trabajos cuyo método de investigación se concentra exclusivamente en la recopilación de datos de fuentes documentales, ya sea de libros, textos, sitios Web o cualquier otro tipo de documentos gráficos, icnográficos y electrónicos. Su único propósito es obtener antecedentes documentales para profundizar en teorías, leyes, conceptos y aportaciones ya existentes y asentados en documentos sobre el tema que es objeto de estudio, para luego complementar, refutar o derivar, en su caso, nuevos conocimientos”. (Muñoz 2011, p.14).

Esto significa, que sólo posee el objetivo de adquirir información de fuentes existentes para formar una nueva base de conocimiento o teorías propias sobre un asunto o situación específica.

Otro aspecto importante sobre una finalidad de investigación, es conocer si posee las capacidades de ser aplicadas para brindar algún incentivo o beneficio, el autor Muñoz describe una investigación aplicada o práctica como:

“Son las investigaciones cuya recopilación de información se realiza dentro del ambiente específico donde se presenta el hecho o fenómeno de estudio. En la realización de estas tesis, se utilizan los métodos de investigación específicos para la disciplina de estudios y también se diseñan ciertas técnicas e instrumentos para recabar información en el medio donde interactúa el fenómeno bajo estudio. Para la tabulación y el análisis de la información obtenida, se utilizan métodos y técnicas estadístico-matemáticos que ayudan a concentrar, interpretar y obtener conclusiones formales, científicamente comprobadas”. (Muñoz 2011, p.14).

El aspecto práctico se encarga recopilar información mediante un conjunto de herramientas de recolección, sobre un fenómeno de estudio, para luego analizar todos esos datos con métodos estadísticos con el propósito de descifrar y obtener resultados que se puedan justificar mediante el método científico.

Finalmente, la finalidad combinada de aspectos teóricos y prácticos Muñoz lo define como:

“Son tesis en cuyo método de recopilación y análisis de datos se conjunta la investigación documental con la de campo, con la finalidad de profundizar en el estudio del tema propuesto para tratar de cubrir todos los posibles ángulos de una exploración. Al aplicar ambos métodos se pretende consolidar los datos y los resultados obtenidos”. (Muñoz 2011, p.14).

Con base en lo mencionado, el desarrollo de esta investigación posee una finalidad combinada, ya que realiza el estudio de los antecedentes relacionados con la perspectiva teórica de sistemas de recuperación de fuentes de agua de uso industrial, así también, como el uso de sistemas de control electromecánicos y las distintas técnicas o herramientas utilizadas para la automatización y monitoreo de parámetros destinados a recopilación y control estadístico.

3.1.3 Dimensión Temporal

La dimensión o periodo temporal corresponde al lapso de tiempo seleccionado para realizar y desarrollar la investigación. La clasificación de la dimensión temporal se puede dividir en dos tipos: Transversal y Longitudinal. Según el autor Hernández Sampieri, define una investigación transversal como:

“Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia

e interrelación en un momento dado. Es como “tomar una fotografía” de algo que sucede.”
(Sampieri 2014, p.154).

Por otro lado, Sampieri establece una investigación de diseño longitudinal como:

“En ocasiones, el interés del investigador es analizar cambios al paso del tiempo en determinadas categorías, conceptos, sucesos, variables, contextos o comunidades, o bien, de las relaciones entre éstas. Aún más, a veces ambos tipos de cambios. Entonces disponemos de los diseños longitudinales, los cuales recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. Tales puntos o periodos generalmente se especifican de antemano.”
(Sampieri 2014, p.159).

En resumen, a partir de las dos referencias mencionadas, se puede afirmar que un diseño de tipo transversal recolecta y analiza una o varias variables acerca de un fenómeno de estudio ocurrido en un momento único en el tiempo. En cambio, un diseño longitudinal pretende realizar la misma recolección y análisis de variables, pero, en distintos periodos de tiempo, esto resulta que el desarrollo de la investigación obtenga una perspectiva mucho más extensa ya que se desea documentar la evolución de un problema con el paso de los años.

El desarrollo de este proyecto tendrá un alcance o dimensión de tipo transversal, debido a que el diseño e implementación del mismo, está definido para el segundo semestre del año 2021.

3.1.4 Marco de la Investigación

El marco de la investigación es la referencia o conocimiento previo que determina aporte principal del estudio o proyecto, los cuales se pueden clasificar en tres niveles distintos:

1. **Mega:** A nivel mega, es referente a la industria en general, específicamente las industrias productoras de bebidas y alimentos, que utilizan recursos hídricos para elaborar sus productos.
2. **Macro:** En el nivel macro, corresponde a la empresa u organización específica donde se desarrollará el proyecto a implementar, para este proyecto se asienta en las instalaciones de la planta Florida Bebidas S.A, perteneciente a la compañía internacional FIFCO.
3. **Micro:** Consiste en el proceso específico que es el objeto de estudio de la investigación, en este caso corresponde en el sistema recuperación de aguas residuales en los procesos de enjuague de envases, que posteriormente, permite el aporte de materia prima adicional en la producción de bebidas en la planta de Florida Bebidas S.A.

3.1.5 Carácter de la Investigación

El carácter de la investigación es uno de los aspectos de mayor importancia cuando se realiza el estudio de un problema o necesidad, pues depende la estrategia de investigación. Así, el diseño, los procedimientos y otros componentes del proceso serán distintos en estudios con alcance exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. (Hernández Sampieri, 2014).

El autor Sampieri, se refiere a un carácter de alcance exploratorio cuando:

“...el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan sólo hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si deseamos indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas. (Hernández Sampieri 2014, p.91).

Esto significa, que un alcance de tipo exploratorio se centra en asuntos poco estudiados donde casi no existe información convincente sobre un determinado objeto de estudio. Aquellos temas que albergan un conjunto de subtemas que conllevan al estudio de fenómenos desconocidos con poca información o referencias documentadas, son de carácter exploratorio.

El siguiente aspecto por considerar corresponde a un alcance descriptivo, el cual, Sampieri lo describe como los que:

“...buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.” (Hernández Sampieri 2014, p.92).

Los alcances descriptivos son muy útiles cuando se pretende estudiar procesos u objetos que tengan la disponibilidad de extraer variables, que puedan ser medidas y analizadas de forma cuantitativa, para determinar el comportamiento o dimensión de un problema.

Otro carácter de investigación muy interesante es el correlacional, (Hernández Sampieri, 2014), lo define como los estudios que:

“...tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables. (p.93).

Los estudios de tipo correlacional pretenden determinar la asociación entre dos o más variables cuantificables, con la finalidad de identificar patrones o indicadores que permitan organizarlos por categorías o niveles.

El siguiente es el carácter de tipo explicativo se afirma como aquel:

“...van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables.” (Hernández Sampieri 2014, p.95).

Esto significa que todo estudio explicativo pretende establecer las causas-efectos de ciertos sucesos que se estudian y analizan.

Por último, todo proceso investigación que posee un alcance de tipo experimental, tiene el objetivo de:

“...reproducir un fenómeno dentro de un ambiente específico de pruebas e ir modificando diferentes elementos para observar qué sucede con el fenómeno. Desde luego, todo esto

se realiza mediante un método formal de investigación con manipulación de variables experimentales en condiciones rigurosamente controladas para simular las posibles condiciones a las que se enfrentará el objeto de estudio.” (Muñoz 2011, p.23).

Con lo explicado anteriormente, la investigación del problema principal del proyecto posee un carácter de tipo descriptivo, debido a busca medir y recoger datos o parámetros que puedan ser sometidos a un análisis para determinar las condiciones de calidad del agua en la industria donde se fabrican alimentos o bebidas, y más específicamente, la que se va a medir y analizar las variables de calidad del agua en sistemas de recuperadores de control automatizado, proveniente de procesos de enjuague de envases o recipientes.

De igual forma, la investigación también posee un carácter o alcance de tipo experimental, dado que el diseño del sistema a implementar será sometido a un periodo o lapso de pruebas mediante simulaciones controladas, para detectar posibles condiciones o fallos de la lógica del controlador y estados de señales de entrada/salida aplicados en el sistema de recuperador de agua, con la finalidad realizar todos los ajustes o modificaciones necesarias para garantizar que, el agua reúna todas condiciones óptimas para su proceso posterior de purificación, de tal forma que no represente un peligro potencial de contaminación que afecte otras zonas de producción en la fábrica.

3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información son el conjunto de referencias, datos y documentos que contienen la información útil e importante para la adquisición de conocimiento necesario para la investigación. Para permitir la validación de resultados de todo proyecto de investigación, es requerido que la revisión y comparación de distintas fuentes de búsqueda sean las adecuadas para garantizar la fiabilidad del estudio.

Según como lo establece Muñoz: *“Las fuentes de información documental son los registros de conocimientos recopilados a través de escritos formales, libros, revistas, manuscritos, cuadros, figuras, registros audibles en grabaciones fonográficas o magnéticas, y páginas de Internet. Todos estos documentos se utilizan como fuentes de consulta para fundamentar un conocimiento.”* (Muñoz 2011, p.223).

3.2.1 Fuentes Primarias

Las fuentes primarias son todas aquellas datos y documentación que son recopiladas de manera directa al sitio de procedencia donde fue adquirido. Muñoz establece que:

“La investigación que utiliza información de primera mano se vale de aquel material que se recaba directamente donde tienen su origen los datos. Es la información que se toma de la fuente primaria, es decir, del punto mismo donde se origina, ya sea que se trate de un hecho, un fenómeno o una circunstancia que se desea investigar. Dentro de esta categoría entran la experimentación, los autores inéditos, las encuestas, la descripción

de eventos, las noticias periodísticas, la narración de hechos, los reportes de investigaciones, etcétera.” (Muñoz 2011, p.226).

En la realización del proyecto se utilizarán diferentes herramientas de recolección de información, tales como la observación y entrevista dirigidas hacia operarios y jefes de planta encargados de realizar el mantenimiento y control de sistemas electrónicos relacionados con el tratamiento y purificación de aguas residuales. De igual forma, utilizarán referencias bibliográficas que se relacionen con el mismo tema para satisfacer el aspecto teórico de la investigación.

3.2.2 Fuentes Secundarias

Según afirma (Muñoz 2011), una fuente de información secundaria se define como: *“aquella que toma sus contenidos de las fuentes primarias para su interpretación, complemento, corrección o refutación. La investigación que utiliza información de segunda mano tiene la ventaja de que está más documentada, pues toma varias fuentes para complementar y se apoya en la seriedad metodológica. Dentro de esta categoría de fuentes de información encontramos las publicaciones de instituciones, los ensayos, las tesis, las antologías, los artículos colegiados, etcétera.”* (p.226).

Por lo tanto, las fuentes secundarias corresponden a todos aquellos documentos cuyos antecedentes y hechos son generados en derivación de otros principios descritos de forma preliminar o anterioridad. Esto significa que dichas fuentes de información se utilizan para interpretar los datos u hechos expuestos de las fuentes primarias, ya que su información se complementa y valida con otras fuentes de mayor origen o prestación.

Entonces tanto las fuentes de información primarias, como las fuentes secundarias serán consultadas y revisadas, para otorgarle validez y fundamento a la información, mediante la utilización de documentación escrita en libros (físicos o electrónicos), revistas, artículos publicados, ensayos, entre otros.

3.2.3 Sujetos de Información

Los sujetos de información son el conjunto o grupo de personas a quienes se relacionan con la adquisición de información o datos de mayor relevancia para la investigación. Estas personas corresponden a operarios, supervisores, gerentes e ingenieros de planta.

En el desarrollo de la investigación, los sujetos de información corresponden al supervisor e ingeniero industrial del área de mantenimiento de equipo electrónico de control de procesos, así también, el operario con conocimiento sobre sistemas de control automatizado hacia el tratamiento de aguas residuales en procesos industriales. En la *tabla 3: Sujetos de información*, se puede observar los sujetos de información con los cuáles se ejecutarán distintas técnicas de recolección de datos.

Tabla 3: Sujetos de información.

Puesto Laboral	Profesión u Oficio	Experiencia	Relación con el tema
Supervisor en el área de Mantenimiento de Equipos	Ingeniero Industrial	Supervisor en el Mantenimiento de Equipos Industriales y diseño de sistemas de control automatizado.	Persona encargada de evaluar el diseño y la programación del sistema recuperador de aguas residuales.
Técnico Electrónico	Técnico Electricista	Mantenimiento correctivo y preventivo de sistemas de control y programación sistemas electrónicos.	Persona que posee los conocimientos necesarios en el uso de controladores lógicos en procesos de producción

Fuente: Elaborado por el autor.

3.3 TÉCNICAS Y HERRAMINETAS

La recolección de información o datos pertinentes es de suma importancia en todo, dado que permite responder la principal interrogante del estudio en correspondencia con el problema, los objetivos y el diseño de la investigación. Según el autor Arias, establece que todo proceso de captura de información es:

“La aplicación de una técnica que conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material de manera que los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados e interpretados posteriormente. A dicho soporte se le denomina instrumento” (Arias 2012, p.68).

También define un instrumento de recolección como:

“...cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.” (Arias 2012, p.68)

Tales instrumentos pueden ser cuestionarios, hojas de cotejo (check-list), encuestas de respuestas cerradas o abiertas y entrevistas estructuradas o semiestructuradas.

Para la adquisición de información pertinente al proceso de esta investigación, se utilizarán las técnicas de observación y la aplicación de entrevistas, orientadas a las condiciones técnicas, físicas y ambientales del proceso actual a investigar. Dichos métodos se describirán a continuación.

3.3.1 Observación

Según Arias, establece la observación como la:

“...técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza de la sociedad en función de unos objetivos de investigación preestablecidos.” (Arias 2012, p.69).

En otras palabras, la observación permite a la persona encargada de la investigación, la percepción de las condiciones actuales del objeto de estudio, donde se debe estar bastante atentos a cualquier suceso o situación que puede alterar el comportamiento o funcionamiento del fenómeno a estudiar.

La técnica de observación que se utilizará en el desarrollo de esta investigación, corresponde a la observación participativa estructurada, donde se diseñará una hoja de cotejo o check-list, para determinar la presencia o ausencia (total o parcial) de aspectos físicos, técnicos y ambientales, haciendo el uso de una escala de estimación para establecer cómo se manifiesta una situación o evento sobre el sistema actual.

3.3.2 Entrevista

El proceso de la entrevista consiste (según Arias, 2012):

“...más que un simple interrogatorio, es una técnica basada en un diálogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida.” (p.72).

Adicionalmente el autor Gutiérrez sugiere que la entrevista es:

“...una de las técnicas preferidas de los partidarios de la investigación cualitativa, pero también es un procedimiento muy usado por los psiquiatras, psicólogos, periodistas, médicos y otros profesionales, que a la postre es una de las modalidades de la interrogación, o sea el acto de hacer preguntas a alguien con el propósito de obtener un tipo de información específica. A este capítulo de la interrogación pertenecen también además de la entrevista, el cuestionario, que a diferencia de la primera es escrita.” (Gutiérrez 1993, p.258).

La entrevista puede clasificarse en tres tipos: estructurada, semiestructurada y no estructurada.

En el caso de una entrevista semiestructurada, el entrevistador cuenta con una guía prediseñada que contiene las preguntas formuladas en el entrevistado, pero, a diferencia de la estructurada, se cuenta con mayor libertad o flexibilidad de formular preguntas adicionales durante la realización de la entrevista con la finalidad de aclarar temas o puntos clave que son vitales para un entendimiento más concreto del problema.

La clase de entrevista que será implementada en ésta investigación es la de tipo semiestructurada, debido a que ésta su modalidad permite establecer un diálogo de cuestionamientos entablados dirigida hacia a las personas que poseen el conocimiento necesario en el estudio, ya que su experiencia y entendimiento sobre el tema permiten otorgar datos de gran importancia para la investigación del problema, tanto para establecer la situación actual del proceso, como para determinar ciertos aspectos de diseño que se pretenden modificar o desarrollar.

3.4 VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Definición de variables.

Según Tamayo (2003), *“El término variable, en su significado más general, se utiliza para designar cualquier característica de la realidad que pueda ser determinada por observación y que pueda mostrar diferentes valores de Una unidad de observación a otra.”* (p.163).

Por su parte, Hernández Sampieri (2014), establece que una variable consiste en:

“...una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse. Ejemplos de variables son el género, la presión arterial, el atractivo físico, el aprendizaje de conceptos, la religión, la resistencia de un material, la masa, la personalidad autoritaria, la cultura fiscal y la exposición a una campaña de propaganda política. El concepto de variable se aplica a personas u otros seres vivos, objetos, hechos y fenómenos, los cuales adquieren diversos valores respecto de la variable referida. Las variables adquieren valor para la investigación científica cuando llegan a relacionarse con otras variables, es decir, si forman parte de una hipótesis o una teoría. En este caso, se les suele denominar constructos o construcciones hipotéticas.” (p.105).

Tomando como base lo mencionado anteriormente sobre la definición e importancia de las variables de investigación, se deduce que la manera de otorgar una mayor perspectiva del proyecto a realizarse, es mediante tabulación de los principales objetivos previamente planteados (tabla 2), donde se identifica el tipo de variable y definición de cada una de las metas a cumplir.

Tabla 4: Definición de variables.

Objetivo específico	Variable	Definición
Establecer los requerimientos mínimos del proyecto, mediante el uso de entrevistas con respecto a las necesidades mencionadas en el problema planteado por la empresa.	Recolección de información	Hacer el uso de diferentes técnicas de recolección de información, para determinar la importancia de sistema recuperador hacia las necesidades integrales de la empresa.
Determinar los parámetros físicos que controlan la calidad del agua mediante el uso de herramientas de medición, para evidenciar el potencial de reutilizar el agua de los recipientes de enjuague, de acuerdo con los estándares preestablecidos en la planta. .	Datos de medición	Consiste en comparar la condición del agua normal utilizada en proceso, con el que se recupera para determinar las condiciones apropiadas de consumo y calibración de sensores.
Desarrollar el código de programación de los sistemas de medición y monitoreo de las condiciones del agua, mediante el uso de las plataformas Arduino y Labview, de acuerdo con los niveles de la correcta recuperación y reutilización segura del fluido.	Desarrollo del sistema de control	Hacer el uso del respectivo software del controlador, para crear el modelo a escala sobre el funcionamiento lógico del sistema.
Analizar la relación costo-beneficio de la propuesta de diseño del sistema, mediante el uso de hojas de cálculo Excel, según las cifras obtenidas en con respecto a las cifras actuales de la empresa.	Viabilidad del proyecto	Evaluación de la factibilidad-viabilidad de la implementación del proyecto.

Fuente: Elaborado por el autor.

3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

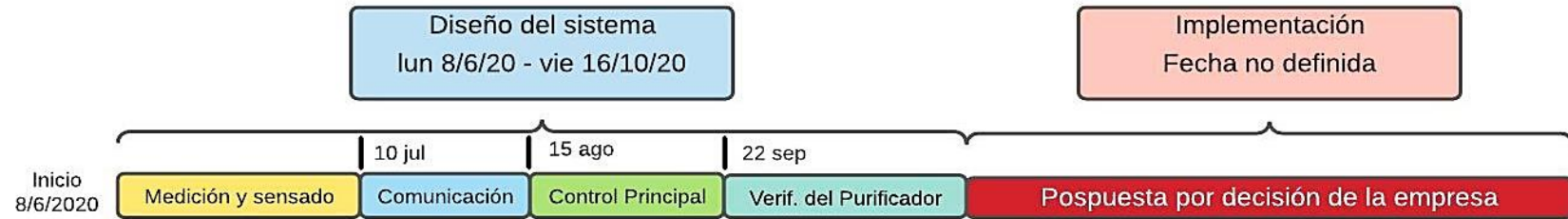
Según el autor (Niño, 2011), afirma que:

“...el diseño se puede interpretar de una de las dos maneras: en un sentido amplio, y en un sentido específico. En el sentido amplio, diseño equivale a la concepción de un plan que cubra todo el proceso de investigación, en sus diversas etapas y actividades comprendidas, desde que se delimita el tema y se formula el problema hasta cuando se determinan las técnicas, instrumentos y criterios de análisis.” (p.53).

De igual forma (Cerdeña, 2000) establece: *“la expresión diseño de investigación sirve para designar el esbozo, esquema, prototipo, modelo o estructura que indica el conjunto de decisiones, pasos, fases y actividades para realizar en el curso de una investigación.”* (p.45). De acuerdo con lo expresado anteriormente, el diseño de la investigación permite cubrir una línea básica del plan general, donde se desarrollan todas las etapas, estrategias y procedimientos necesarios para abordar el estudio del objeto o desarrollo de un proyecto, mediante el uso de distintas técnicas y herramientas por los cuáles se trabajarán dichos procedimientos.

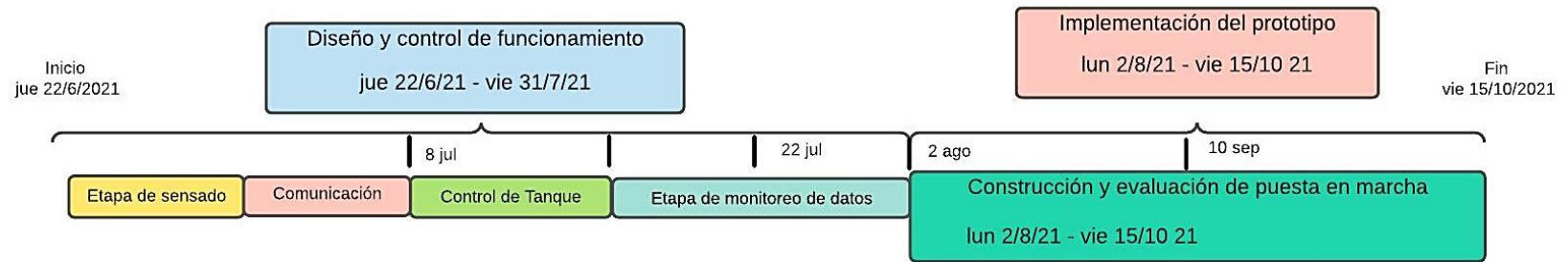
En la siguiente *Figura 22: Cronograma del proyecto propuesto en la empresa*, y en la *Figura 23: Cronograma de la implementación del prototipo*, se observa la línea de tiempo en el que se establece los procedimientos necesarios para el desarrollo e implementación del prototipo. De igual forma en la *tabla 5: Diseño de la investigación*, se logra apreciar la distribución de cada uno de los objetivos junto con sus respectivos tipos de variable y las técnicas o herramientas implementadas.

Figura 29: Cronograma del proyecto propuesto en la empresa.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 30: Cronograma de la implementación del prototipo.



Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 5: Diseño de la investigación.

Pregunta de investigación	Objetivo General	Objetivos específicos	Variabes	Método de Investigación	Técnica o Herramienta
<p>¿Cuál será la alternativa más apropiada para desarrollar un sistema de control que permita controlar y monitorear el proceso de recuperar la gran cantidad de agua proveniente de los procesos de enjuague de envases, de tal forma que se garantice un adecuado tratamiento del líquido y mejore el desarrollo sostenible a nivel de producción y ambiental de la planta Florida Bebidas, al convertir el recurso hídrico residual en materia prima dispuesta a ser utilizada en otros procesos de producción?</p>	<p>Desarrollar un sistema de control y monitoreo programable mediante un controlador lógico programable SLC500 Allen Bradley con el fin de monitorear el proceso de recuperación de aguas residuales en líneas de producción de enjuague de envases de refrescos para la empresa Florida Bebidas S.A</p>	<p>Establecer los requerimientos mínimos del proyecto mediante el uso de entrevistas con respecto a las necesidades mencionadas en el problema planteado por la empresa.</p>	<p>Recolección de información</p>	<p>Experimental</p>	<p>Entrevista y Observación</p>
		<p>Determinar los parámetros físicos que controlan la calidad del agua mediante el uso de herramientas de medición para evidenciar el potencial de reutilizar el agua de los recipientes de enjuague de acuerdo con los estándares preestablecidos en la planta.</p>	<p>Datos de medición</p>	<p>Experimental</p>	<p>Experimental</p>
		<p>Desarrollar el código de programación de los sistemas de medición y monitoreo de las condiciones del agua mediante el uso de las plataformas Arduino y Labview de acuerdo con los niveles de la correcta recuperación y reutilización segura del fluido.</p>	<p>Construcción del sistema de control</p>	<p>Experimental</p>	<p>Tecnológico</p>
		<p>Analizar la relación costo-beneficio de la propuesta de diseño del sistema mediante el uso de hojas de cálculo Excel según las cifras obtenidas en con respecto a las cifras actuales de la empresa.</p>	<p>Viabilidad del proyecto</p>	<p>Aplicado</p>	<p>Sintético</p>

Fuente: Elaborado por el autor.

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El sistema recuperador de aguas residuales utilizado en la empresa distribuidora de refrescos Florida Bebidas, anteriormente, cumplía con la función de recuperar y almacenar el agua en un tanque o depósito, para luego ser utilizado como un medio de lubricación en máquinas para sistemas neumáticos o eléctricos encargados de realizar labores de producción. Sin embargo, debido a un inconveniente de contaminación, el sistema recuperador fue inhabilitado hasta nuevo aviso.

Actualmente el sistema se encuentra sin operación, con sus actuadores totalmente detenidos y con secciones de tuberías desacopladas. Afortunadamente, el sistema pretende ser implementado para llevar un control más riguroso de las aguas residuales, con la principal alternativa de que se pueda trasladar hacia un proceso de purificación por osmosis inversa. Esta acción tiene como finalidad, en asegurar que el agua recuperada se logre reutilizar a nivel de proceso, además de ofrecer una contribución que reafirme el compromiso que tiene la empresa sobre la conservación de los recursos naturales.

Para cumplir con el objetivo de reutilización de las aguas residuales, se debe considerar aspectos importantes como: el sitio o lugar de producción donde se generan las aguas, su composición química y el nivel de calidad del fluido. Si bien es cierto, el sitio donde se genera el fluido es en las cámaras de enjuague de botellas de las líneas de producción 1 y 9; se debe considerar que la composición química es un parámetro que tiene mucha importancia para determinar el nivel de calidad del agua.

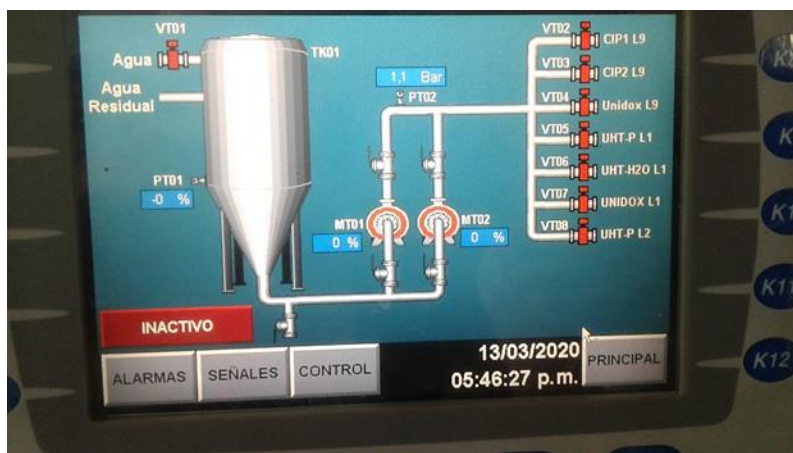
En relación con lo mencionado en el párrafo anterior, el sistema de control tiene la obligación de contar con un medio que permita determinar las condiciones del agua que pretende recuperarse, debido a los parámetros obtenidos durante las mediciones permiten asegurar que sólo se recupere el agua de los depósitos que presenten valores estables en su composición, de tal forma, que no represente ningún peligro para el sistema purificador o en otros procesos de producción.

Desafortunadamente, el sistema actual no se encuentra diseñado para llevar a cabo la función de controlar las condiciones de calidad del agua que ingresan al tanque, sin mencionar que no posee ningún medio para percatarse de los estados que se encuentran las líneas de producción que envían dichas aguas residuales al sistema recuperador. Además, este sistema de control requiere de una serie de modificaciones técnicas en la instalación eléctrica y la distribución de tuberías para permitir el cumplimiento de la propuesta del proyecto.

El sitio donde se encuentra el panel de control, el tanque y la bomba, posee un área de trabajo de aproximadamente 20 m^2 en un acceso hacia al exterior bajo techo en la intemperie. Si bien, el panel dispone de protecciones térmicas y eléctricas apropiadas, además de contar con un controlador PLC y demás dispositivos de accionamiento mecánico como contactores y relés; en contraparte, como se mencionó antes, la inactividad del sistema hace que los elementos conectados al dispositivo lógico sean ineficientes debido a la ausencia de elementos auxiliares, necesarios para implementar el nuevo sistema de control.

Otro aspecto a considerar, es el método que dispone el sistema para monitorear los estados de cada sensor o actuador conectado al controlador. El sistema actual puede que disponga una interfaz gráfica HMI para encargarse de tal labor, sin embargo, como se dijo anteriormente, el sistema no dispone de las herramientas adicionales para cumplir con las expectativas del proyecto; por lo que requiere ser sometido a ciertas mejoras o modificaciones para adaptarlo a las necesidades del proceso. En la figura 24, se observa el monitor HMI disponible en el gabinete de control.

Figura 31: Interfaz HMI del proceso actual.



Fuente: Elaborado por el autor.

4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Para permitir el cumplimiento con el enfoque principal de la investigación orientado hacia una problemática de proceso a nivel industrial, las herramientas de recolección utilizadas sobre tal evento de estudio corresponden a la técnica de observación, para determinar aspectos de perspectiva de condición y funcionamiento del sistema actual para conocer sus propiedades técnicas y condiciones adicionales que se requieren mejorar; de igual

forma se realizara una entrevista semiestructurada hacia el personal encargado de supervisar el proceso a implementar, ya que por su conocimiento del tema permitirá un entendimiento más profundo del problema de estudio.

4.2.1 Observación

El proceso de observación realizado en las instalaciones de la planta Florida Bebidas S.A, de forma más específica, en el depósito de aguas residuales en la zona de centralizado de químicos, se optó por crear una hoja de cotejo o check-list, para evaluar las condiciones de ciertas características físicas y funcionales del sitio donde se desarrolla el problema de estudio, el documento puede localizarse en el anexo 4 (*04.Checklist_observación.pdf*).

Para empezar, las observaciones con respecto al espacio físico del lugar, resultaron ser bastantes satisfactorios, dado que la zona recibe la incidencia de la luz solar que proporciona una elevada percepción visual, sin embargo, hay que mencionar que al momento de revisar el gabinete de control la calidad de la iluminación se reduce considerablemente, al momento de realizar alguna labor de mantenimiento del sistema. También al ser un lugar cercano a la intemperie, la ventilación es lo suficientemente buena para mantener el equipo de control en óptimas condiciones.

De igual forma, se realizó una inspección de la instalación eléctrica del gabinete, se cuenta con una alimentación de corriente alterna trifásica de 240v y una monofásica para alimentar la fuente de alimentación que entrega 24 VDC, además de disponer con dispositivos de protección como disyuntores termomagnéticos y fusibles de línea para evitar sobrecargas, así también, como una conexión a tierra.

Adicionalmente, el sistema cuenta con dispositivos de accionamiento mecánico y control electrónico que puede ser reutilizado para reducir los costos de materiales, tales dispositivos corresponden al controlador lógico PLC así también como contactores electromecánicos de 24v DC y relés de estado sólido.

Los aspectos de funcionalidad del equipo actual, en su mayoría, se encuentran fuera de servicio, debido a que los encargados de mantenimiento lo deshabilitaron de su proceso después de detectar ciertas fallas, dicho error de proceso se debió a un tema de contaminación (justificado anteriormente). A pesar de esto, las condiciones de los dispositivos actuales son aceptables para ser utilizados en la implementación del proyecto, aunque también se destaca el hecho de no contar con otros dispositivos para cumplir con el requisito de reutilizar las aguas residuales.

Los transductores o sensores que utilizan son de los habituales para sistemas de almacenamiento de líquidos, tales dispositivos, por ejemplo, corresponden a sensores analógicos de nivel por presión hidrostática que entregan una señal de corriente proporcional a la presión que genera la cantidad de agua en el depósito.

Adicionalmente, se requiere que el sistema nuevo pueda restringir el ingreso del agua hacia el depósito mediante un subproceso de sensado, que se encargue de condicionar la recuperación del agua de las cámaras de enjuague, mediante parámetros de medición que aseguren que el agua se mantenga en un determinado rango de valores ajustados, de acuerdo con los límites de establecidos por las condiciones del agua.

En lo que respecta a las características físicas del depósito o tanque de agua, consiste en una estructura cilíndrica con una capacidad de almacenamiento de unos 12 m^3 (12000 L) de agua. La entrada del depósito se encuentra conectada a una distribución local de tuberías que lo conectan con los contenedores de las cámaras de enjuague en las líneas 1 y 9 respectivamente y en la salida, prácticamente se encuentra sin ninguna utilidad debido a que su sistema de tuberías se encuentra desarmada y el agua que ingresa termina siendo expulsada en el drenaje más cercano.

La instrumentación utilizada para la visualización de parámetros de sensores y estados de los actuadores, posee un entorno gráfico muy reconocido para el control de procesos industriales, sin embargo, no cuenta con un monitoreo adecuado para acceder a las mediciones de la calidad del agua, debido a que no se encuentra en comunicación con los procesos de producción de enjuague de botellas, por lo que, el sistema recuperador no puede percatarse de los cambios eventuales de la composición del agua, que suceden durante las actividades de producción de refrescos.

Por ésta razón, surge la necesidad de optar por un sistema que sea capaz de monitorear parámetros de estado y medición de sensores que miden la calidad del agua recuperada, así como, los estados de dispositivos de control que se adapten a las necesidades de la lógica de programación, con la finalidad de aprovechar la mayor parte de los recursos hídricos en procesos de enjuague.

Esto con el fin de evitar percances de contaminación que significan una condición de peligro tanto para la empresa como hacia los consumidores; ofreciendo a la distribuidora de refrescos un mejor control de aguas residuales que logre cumplir con el compromiso

de sostenibilidad medioambiental de la organización y permita la adquisición de materia prima adicional para purificarse y reutilizarse en otras zonas de producción.

4.2.2 Entrevista

La entrevista realizada para el desarrollo del presente proyecto, consiste en un cuestionario de diez preguntas dirigidas al ingeniero industrial y supervisor de mantenimiento de equipos de control automatizado de la distribuidora Florida Bebidas, quién debido a su conocimiento y experiencia en sistemas de control de almacenaje y distribución de aguas residuales, permite brindar un entendimiento más profundo del propósito y funcionalidad del proceso a implementar. La entrevista desarrollada puede localizarse en el anexo 5 (*05.Cuestionario_entrevista.pdf*). La información de mayor relevancia se explicará a continuación.

El proceso de recuperación actual posee muy poca o casi nada de funcionalidad, debido a que no se encuentra activo. Esto genera uno de los principales problemas de estudio que es el desperdicio de agua, al considerar el hecho de no ofrecer un buen aprovechamiento de los recursos hídricos, lo convierte en un problema serio que afecta no solamente a la empresa, sino nivel de conservación ambiental.

Todo esto se demuestra mediante la afectación de un indicador conocido como "*indicador de consumo hídrico*", que se define como un parámetro estandarizado internacionalmente encargado de establecer un valor máximo permitido del consumo anual de agua, que toda actividad de producción industrial está en obligación de cumplir para evitar fuertes sanciones de agencias que velan por la protección de los recursos naturales.

De acuerdo con la mencionado anteriormente, la empresa se encuentra comprometida a establecer estrategias que permitan un buen aprovechamiento de los recursos hídricos, el cual, uno de ellos es mediante el desarrollo de este proyecto, de tal forma que garantice una solución funcional para reutilizar agua de proceso y reducir el impacto ambiental.

El siguiente aspecto por considerar en todo proceso que involucre reutilizar agua de proceso, es asegurar su calidad óptima para un consumo apropiado, debido a que en ciertas ocasiones la composición del líquido puede que no contenga las condiciones físicas o químicas para ser aplicado a un proceso de osmosis inversa de purificación, dichas condiciones son provocados principalmente por cambios de producto o procedimientos de limpieza en líneas de producción.

Por lo tanto, conocer las condiciones del agua recuperada es de suma importancia, ya que permite un mejor control que restringe el paso de agua contaminada y protege la integridad de otros procesos externos de saneamiento y producción.

Adicional a esto, otra forma de controlar la calidad del agua es estableciendo una red de comunicación entre los controladores de las líneas de producción involucradas con el controlador principal del proceso de recuperación, ya que permite que los dispositivos interactúen para mantener informado sobre los estados de los procedimientos externos de enjuague, al ofrecer una realimentación de información que facilite la selección de calidad del líquido.

Además, la principal opción para medir la condición del agua, es mediante el uso de un sensor de conductividad de líquidos en la entrada del depósito de almacenaje, ya que un cambio en la cantidad de impurezas en el agua altera de forma proporcional su capacidad de conducir electrones, por lo tanto, conocer éste parámetro es vital en el proceso de recuperación.

En lo que respecta a la interfaz de monitoreo, como el sistema a implementar se controla tanto la calidad en la composición del agua, como el proceso general de llenado y vaciado del depósito; es importante utilizar una interfaz gráfica que permita a los operarios verificar mediciones y estados de los sensores o actuadores que constituyen la estructura del sistema, con la finalidad de facilitar los procesos de calibración de sensores y simular accionamientos de dispositivos para la detección de fallas durante los protocolos de mantenimiento de máquinas y equipos.

En resumen, con la información obtenida, es evidente que las necesidades de la distribuidora Florida Bebidas de adquirir un sistema recuperador de aguas residuales proveniente de los procesos de enjuague, es muy significativo tanto para mantener un margen positivo en el indicador de consumo hídrico de la empresa, como para incentivar la sostenibilidad en la conservación de recursos ambientales. Todo esto mediante un sistema de control que permita automatizar la reutilización del líquido para reducir los costos de mantenimiento, que provoca el accionamiento manual de las máquinas involucradas en el proceso.

4.3 PROYECCIÓN DEL PROYECTO

4.3.1 Propuesta del proyecto

El diagrama de bloques del sistema de control se observa en la figura 32, de la sección 4.3.2 en el diseño del prototipo.

Se puede apreciar que el sistema se encuentra seccionado en distintas etapas que representan el conjunto de dispositivos o elementos necesarios, para desarrollar el proceso de recuperación y reutilización de aguas de enjuague en la planta distribuidora Florida Bebidas, de acuerdo con las deficiencias principales que fueron aclaradas en el análisis previo del proceso actual.

El diagrama de bloques se divide en cuatro etapas:

1. Etapa de sensado.
2. Etapa de control principal.
3. Etapa de comunicación.
4. Etapa de monitoreo.

La primera etapa del sistema, que corresponde al *sensado o medición*, se encargará de convertir parámetros físicos en señales eléctricas para determinar las variables cuantificables que sean significativas, con tal, de que la recuperación de agua se realice de forma segura y controlada, guardando la integridad de los demás elementos externos al sistema recuperador (enjugadoras de líneas de producción y sistema purificador de agua). Se implementarán tanto entradas analógicas, como digitales.

En el puerto de entradas analógicas del microcontrolador, serán utilizados para determinar los niveles de agua disponibles en los depósitos de enjuague de las líneas de producción 1 y 9, así también, como los parámetros de conductividad de ambas líneas que establecen la magnitud de la composición del agua que se pretende reutilizar, éste último es obtenido mediante un sensor detector de fluido implementado en el prototipo.

Por su parte, (como se observa en la figura 32) las entradas digitales tendrán la función de realizar la lectura de los estados de producción de las líneas de producción y del Tanque Recuperador. De igual forma, se implementarán sensores de distancia ultrasónicos que determinen el nivel de líquido disponible tanto en el Tanque Recuperador como el Tanque del Proceso Purificador.

Posteriormente, las señales analógicas y digitales generadas por estos dispositivos son procesadas el microcontrolador Arduino en la siguiente *etapa de control principal*, el cual, ejecutará una serie de instrucciones de (acuerdo a su algoritmo), para emitir una respuesta en su respectivo puerto de salidas hacia los actuadores, los cuales, se subdividen en: motores hidráulicos, electroválvulas e indicadores de producción.

La activación o desactivación de las salidas deben ser controladas de tal forma que permitan un control riguroso tanto de la composición de agua recuperada (para evitar percances de contaminación), como el proceso automático de llenado y vaciado del Tanque Recuperador. Además de poseer la capacidad de gestionar el envío del agua de éste último hacia el depósito pretratamiento (Proceso Purificador), para que, luego el agua recuperada ingrese a un proceso de saneamiento por ósmosis inversa junto con el agua de proceso proveniente de un pozo subterráneo y, de ésta forma, se pueda cumplir

con el objetivo de reutilizar el fluido en otras actividades de producción distribuidas en planta.

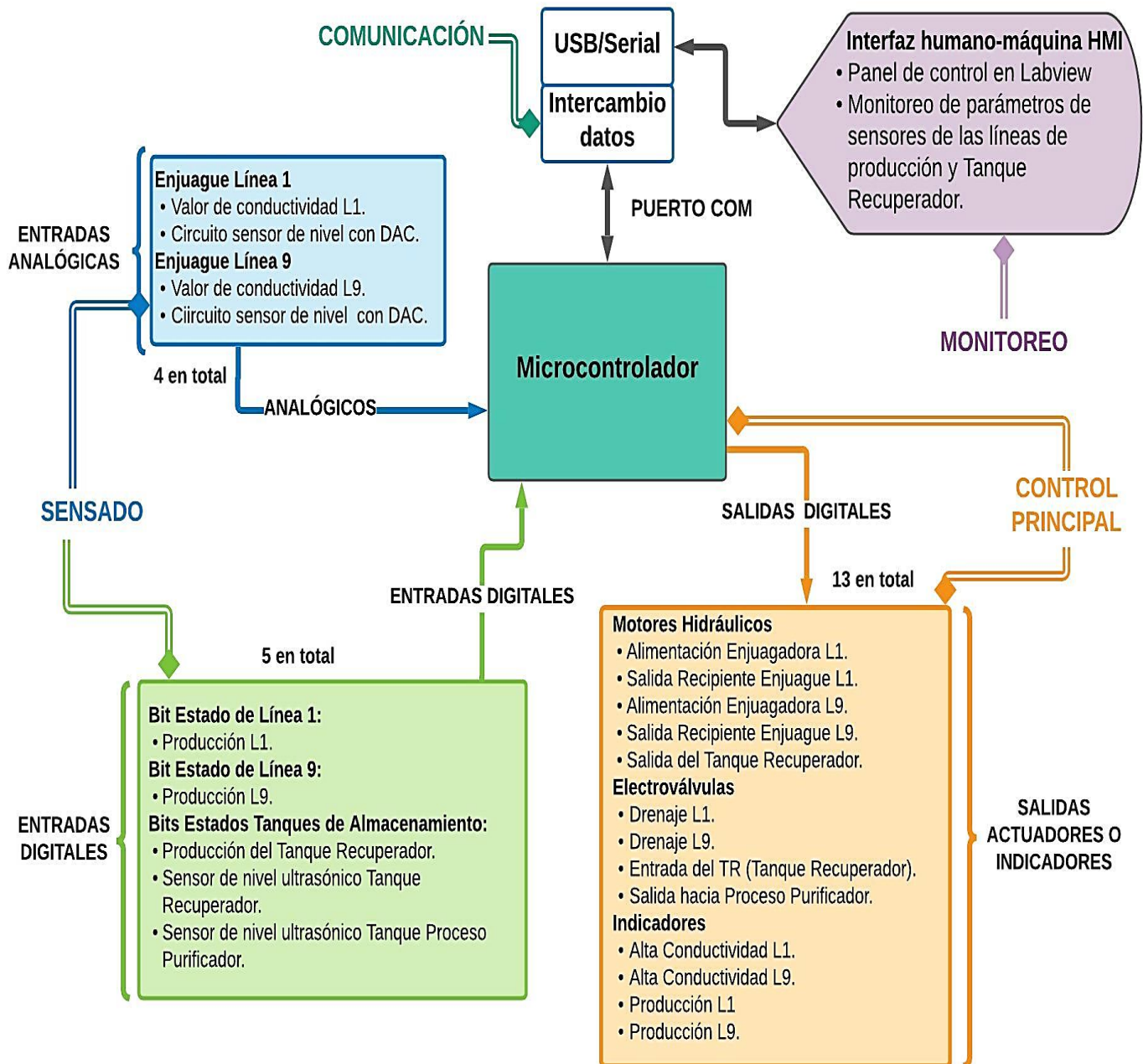
Luego la *etapa de comunicación* posee la función de establecer un sistema de interconexión entre la tarjeta Arduino y el VI de LabVIEW, mediante el uso de bloques de apertura (inicialización) y cierre de comunicación serial USB. Con el propósito de establecer un sistema de intercambio de datos entre la interfaz HMI y el microcontrolador que facilite el monitoreo de las lecturas analógicas o digitales que interactúan con sus respectivos controles o indicadores disponibles en el panel de control de la plataforma.

Por último, la *etapa de monitoreo* se encargará de registrar cada uno de los parámetros de niveles de agua, conductividad eléctrica y estados de activación de los elementos o dispositivos que forman el sistema de control de recuperación de aguas en líneas de producción de enjuague de botellas, mediante una interfaz HMI.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se diseñará un sistema de control automático que cumpla con las necesidades y requerimientos de recuperación de aguas residuales de buena calidad; para que los problemas de desperdicio puedan ser reducidos y mejore el aprovechamiento de los recursos disponibles en la planta de la empresa distribuidora Florida Bebidas S.A.

4.3.2 Diseño del proyecto

Figura 32: Diagrama de bloques del prototipo.



Fuente: Elaborado por el autor.

CAPÍTULO V

DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 ASPECTOS DE DISEÑO

En los capítulos anteriores, se explica tanto los aspectos teóricos de sistemas de enjuague en cámaras asépticas, como la problemática actual de la poca funcionalidad del control implementado de recuperación de aguas, que se ve reflejado en el desperdicio desmedido del recurso hídrico y la imagen negativa que éste representa al no cumplir con los requerimientos de sostenibilidad ambiental.

Por esta razón, ante la información documentada, se pretende proponer el diseño de un sistema capaz de gestionar el proceso de recuperación de aguas de las cámaras de enjuague, de tal forma que permita un control más riguroso de su calidad y que también, tenga la función de mantener un control inteligente del nivel de agua tanto en el Tanque Recuperador, como los depósitos de enjuague de la líneas de producción; esto se hace para mantener un flujo de agua constante que, posteriormente, pueda ser sometido a un proceso externo de saneamiento y pueda ser reutilizado para otros procesos de producción de la planta.

Para empezar con el diseño del proyecto, es fundamental determinar el dispositivo controlador encargado de captar, acoplar y procesar las señales de entrada proveniente de los dispositivos de sensado, además de realizar la función de generar una acción o respuesta en sus respectivas salidas ante posibles cambios de magnitud u estados en respectivas las entradas.

Para el caso del sistema de control planteado, en el prototipo se utilizará el antes descrito, tarjeta microcontroladora Arduino, más específicamente el modelo MEGA 2560. La principal razón de su elección fue principalmente a su capacidad de manejar un mayor

número de puertos de E/S tanto analógicos como digitales, la facilidad que ofrece en cuanto a la compatibilidad con la mayoría de sensores y periféricos disponibles en el mercado, su bajo costo, sin mencionar, que la tarjeta puede ser manipulado desde un entorno gráfico de desarrollo de interfaz HMI (LabVIEW), lo cual, le otorga al dispositivo la función de controlar sistemas automatizados o de instrumentación, que requieran interactuar con unidades de monitoreo y registros de datos.

De igual forma el microcontrolador ejerce la función de controlar automáticamente tanto el llenado, como vaciado de los depósitos de enjuague de las líneas de producción y el Tanque Principal Recuperador; además de comprobar el nivel de fluido en el tanque del proceso purificador, para asegurar un adecuado transporte del agua recuperada hacia dicho proceso. Adicionalmente, la tarjeta controladora verificará los estados de actividad de las líneas de producción y del tanque principal, con el fin habilitar el envío de agua desde los depósitos de enjuague cuando, por lo menos, una de las dos líneas se encuentre en producción.

Por otra parte, para cumplir con el requerimiento de visualizar tanto los estados de producción como los parámetros de nivel y composición del agua, la tarjeta microcontroladora entrará en comunicación con una interfaz HMI diseñada para que el control del sistema recuperador, se realice de forma más interactiva con el usuario, es decir, que incluya cada uno de los elementos o dispositivos del sistema representados mediante íconos que monitorean estados de funcionamiento y mediciones de magnitudes físicas, con el fin de regular las condiciones de operación del sistema.

Además, la interfaz HMI cuenta con la función de avisar al usuario situaciones o eventos de alarma que suceden cuando el agua que se está recuperando represente algún peligro de contaminación, lo cual, dicha situación puede justificar ciertos eventos de inhabilitación de envío de agua en una o ambas líneas de producción, que sucedan durante el proceso de recuperación.

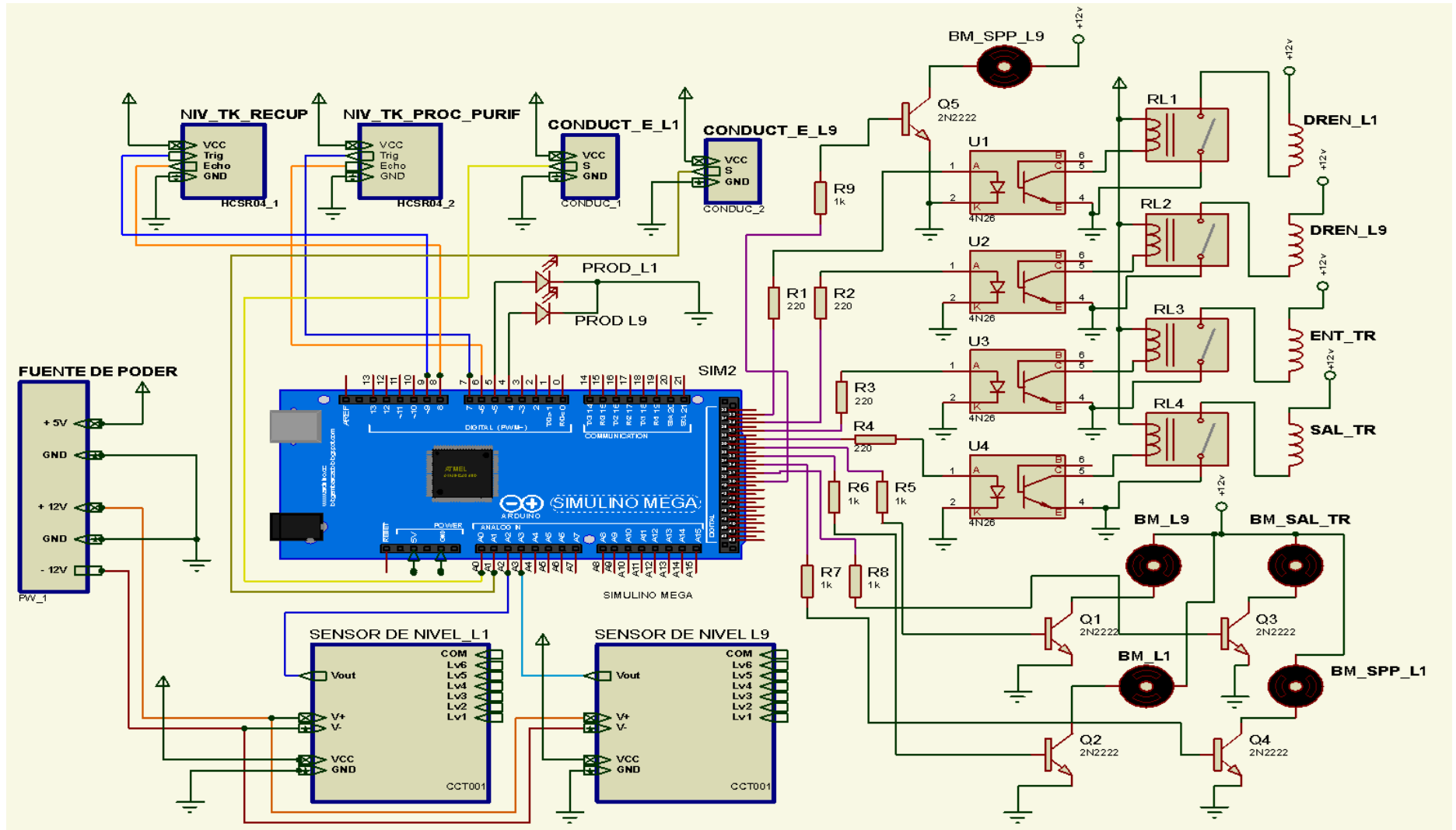
5.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

En el siguiente apartado, se detalla el proceso de diseño y construcción del prototipo del proyecto, por lo cual se analizan las características y funcionamiento de cada una de las partes del mismo, así también, como las razones de su selección para ser implementados en el proyecto.

En la figura 33, se observa el diagrama eléctrico del prototipo, el cual contiene cada uno de los dispositivos y elementos que constituyen el hardware necesario tanto para la detección de magnitudes físicas (sensores o transductores), como etapas finales de accionamiento (actuadores). De igual forma se logra apreciar el dispositivo microcontrolador encargado de gestionar el manejo de entradas y salidas (analógicas o digitales), con el fin de componer un sistema de control que cumpla la función de recuperar, almacenar y reutilizar las aguas residuales de los procesos de enjuague.

La construcción del prototipo se desarrollará mediante una serie de etapas de comunicación, sensado, control y monitoreo, los cuales en el aspecto individual poseen características de diseño y funcionamiento distintos; sin embargo, al acoplarse de forma conjunta componen el prototipo creado; tales etapas se presentan a continuación.

Figura 33: Diagrama eléctrico del prototipo.



Fuente: Elaborado por el autor.

5.2.1 Etapa de comunicación

En la etapa de comunicación se configuran los elementos necesarios para establecer el intercambio de datos entre el microcontrolador y el panel de monitoreo de la interfaz HMI. Esto le permitirá al usuario u operario, conocer los estados o parámetros de funcionamiento del sistema recuperador de aguas residuales, con el fin de facilitar los procedimientos de detección de fallas y mantenimiento preventivo del sistema, así como realizar el ajuste correctivo de los parámetros desde dicha interfaz.

Para el desarrollo del prototipo, la implementación incorpora dos procedimientos importantes para adaptar las funciones de lectura y control del hardware de la tarjeta Arduino, a los requerimientos de comunicación con la interfaz virtual de LabVIEW; uno de ellos corresponde en primer lugar al proceso de configuración del microcontrolador mediante herramientas disponibles del entorno gráfico y el segundo consiste en el proceso de establecer la comunicación serial con la tarjeta, mediante bloques de programación de la interfaz. Ambos procedimientos usados tanto para el intercambio de información y el control de dispositivos, se exponen a continuación.

5.2.1.1 Configuración de la tarjeta Arduino

Para establecer el control de información de sensores y manejo de actuadores en la tarjeta Arduino desde el entorno gráfico de LabVIEW, se debe configurar dicha placa microcontroladora mediante el uso de la librería de MakerHub previamente instalado en el VI.

Para adquirir la herramienta MakerHub es necesario proceder con la descargar de la aplicación del *VI Package Manager* usando el siguiente enlace <https://drive.google.com/file/d/12pToLz93sZgdUL7neyVqfbvVN7MnHs2Y/view>.

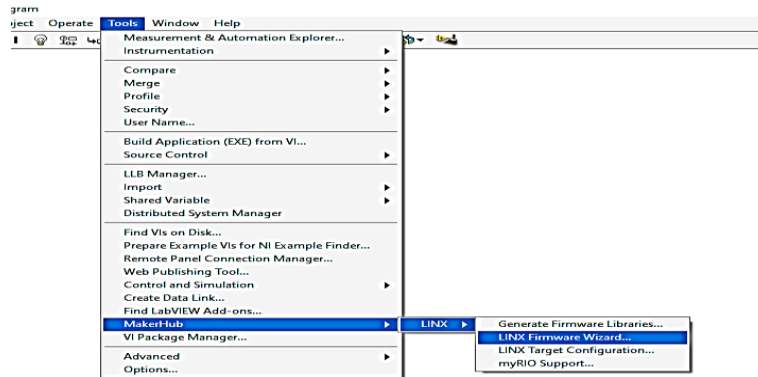
Es recomendable instalar la versión más reciente del programa para evitar percances de compatibilidad. Luego, se procede con la instalación de la aplicación siguiendo los pasos correspondientes, esperar a que termine de cargar los archivos y finalizar el proceso mediante un reinicio en el ordenador.

Una vez instalado el VI Package Manager, se abre la aplicación y en la ventana principal se utiliza el gestor de búsqueda y se digita la palabra “*LINX*”, se presiona el ícono de “Buscar “. Entre las opciones mostradas seleccionar “*Diligent LINX*” y en la esquina superior derecha de la ventana se oprime el botón de instalar (Install). Se espera unos cuantos minutos hasta que termine la instalación del toolkit. Después, nuevamente en la ventana del gestor se busca la otra herramienta denominada “*MakerHub Toolbox*”, se oprime el ícono de instalar, se espera a que cargue los archivos en la plataforma Labview y para finalizar se debe reiniciar el ordenador.

Luego de verificar la ubicación de la librería en la ventana de diagramas de bloques del VI de LabVIEW, se procede a realizar los siguientes pasos:

1. Conectar la tarjeta Arduino al puerto USB del ordenador.
2. En la parte superior de la ventana de diagrama de bloques en la pestaña **>Tools** seleccionar en la lista la opción **> MakerHub > LINX> Linx Firmware Wizard**, como se observa en la figura 34.

Figura 34: Búsqueda del firmware de MakerHub.



Fuente Elaborado por el autor.

- Se abrirá una ventana de configuración (figura 35). Aquí se selecciona la familia del dispositivo controlador que se está utilizando (Arduino), el modelo de la tarjeta (UNO. MEGA, entre otros) y el medio o método de carga del programa (en este caso *Serial/USB*). Una vez elegido las condiciones se presiona el botón **Next** (siguiente).

Figura 35: Ventana de LINX Firmware Wizard



Fuente: Elaborado por el autor.

4. En la siguiente ventana (figura 36), se procede seleccionar el puerto COM donde se encuentra conectada la tarjeta controladora (en este caso es el puerto COM10, pero esto depende del modelo de Arduino). Presionar nuevamente el botón **Next**.

Figura 36: Selección del puerto COM.



Fuente: Elaborado por el autor.

5. La siguiente ventana (figura 37) se utiliza para confirmar los ajustes realizados. Aquí se selecciona si cargar el firmware a la tarjeta Arduino o seleccionar otro código guardado en el ordenador (por default se mantiene la opción de firmware). Presionar **Next**.

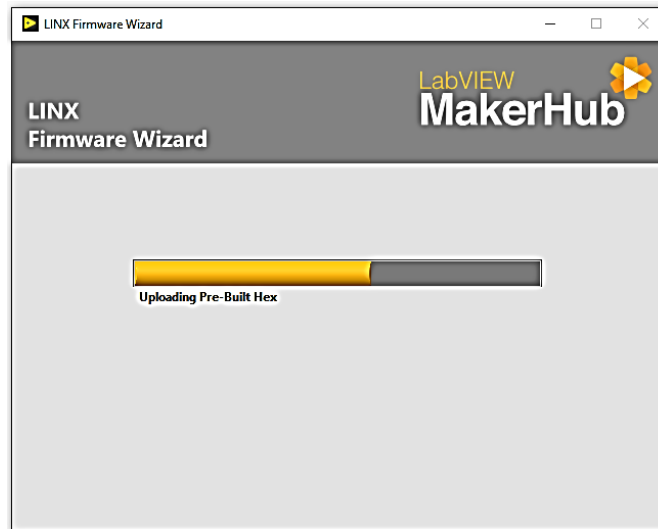
Figura 37: Selección de firmware.



Fuente: Elaborado por el autor.

6. Se espera a que termine de cargar el programa en la tarjeta Arduino (figura 38). No desconectar el dispositivo durante la ejecución del proceso.

Figura 38: Proceso de carga del programa a la tarjeta Arduino.



Fuente: Elaborado por el autor.

7. Una vez que concluya el proceso de carga, la herramienta ofrece como medida opcional, un VI de prueba (botón **Launch Example**) de comunicación para comprobar el hardware de la tarjeta. Después de verificar que todo se encuentre en orden, se presiona el botón **Finish** para cerrar la ventana.

Luego de cumplir con los pasos de configuración anteriores, la placa Arduino ya dispone del programa necesario para ser manipulado desde la plataforma LabVIEW, e iniciar la comunicación con la interfaz HMI necesaria para realizar el intercambio de información de parámetros de medición y su interacción con los demás dispositivos que constituyen la implementación del prototipo. Las herramientas necesarias para llevar a cabo la manipulación de la placa Arduino se explicarán seguidamente.

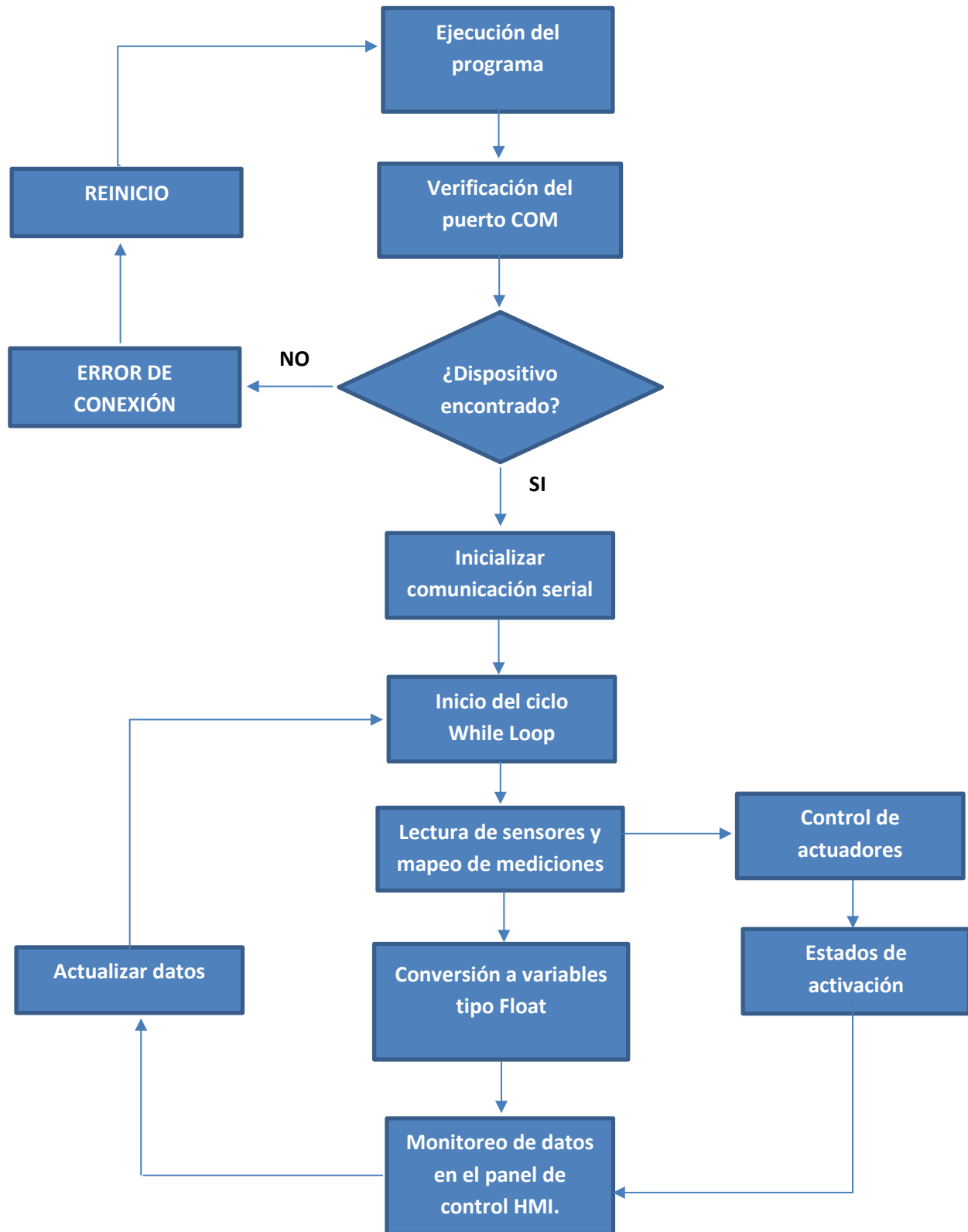
5.2.1.2 Comunicación serial en el VI de LabVIEW

Para cumplir con el objetivo de crear un sistema de monitoreo de mediciones de la calidad del agua y control del sistema de recuperación encargado de gestionar el almacenamiento, transporte y reutilización del fluido proveniente de los procesos de enjuague de botellas (generados durante la producción de refrescos); es necesario que la tarjeta controladora establezca una comunicación con el panel de control de la interfaz HMI, mediante el uso de bloques o íconos especiales, pertinentes a la herramienta LINX.

A nivel de software, el proceso de comunicación entre el panel de control de LabVIEW y la tarjeta Arduino, se plantea el diagrama de flujo de la figura 39. Se puede observar que el sistema, al ser ejecutado, primero verifica en puerto donde se encuentra conectado el dispositivo controlador, si el puerto no detecta ningún dispositivo, se detiene la ejecución del programa y se despliega un mensaje de advertencia en la interfaz, para luego reiniciar a sus condiciones iniciales.

Al ejecutar nuevamente el programa en el panel de control y se detecta la conexión de la tarjeta controladora en el puerto seleccionado, se habilita el proceso de inicialización de la comunicación serial, se establece tanto la velocidad de transmisión (baudios/seg) de los datos como los estados iniciales de configuración del hardware (E/S analógicas o digitales), los cuales, son fundamentales para un correcto funcionamiento de los sistemas de control y monitoreo.

Figura 39: Diagrama de flujo de comunicación serial.



Fuente: Elaborado por el autor.

Posteriormente, en el ciclo se realiza el proceso de lectura de sensores tanto analógicos como digitales, para después realizar el mapeo o escalado correspondiente a los márgenes del sistema; luego los valores obtenidos de las mediciones que se encuentran en formato float (con punto decimal), determinan la activación de los actuadores encargados de llevar a cabo el proceso de recuperación de aguas residuales; las condiciones de funcionamiento de cada dispositivo sensor u actuador involucrados en proceso, son monitoreados a tiempo real en el panel de control HMI y finalmente se actualiza la información para reiniciar nuevamente el ciclo.

Las herramientas básicas encargadas de controlar la comunicación entre el VI de LabVIEW y la tarjeta microcontroladora se observa en la figura 40, los cuáles, consisten en bloques que requieren ser cableados entre sí para habilitar la función respectiva de cada uno. El primer bloque (figura 40 (a)), corresponde al de apertura de comunicación serial (Open.vi), posee una función de setup, por lo que sólo se ejecuta una vez al inicio del programa, y requiere como parámetros tanto el número del puerto serial (Serial port) del dispositivo conectado y la velocidad en baudios (Baud Rate).

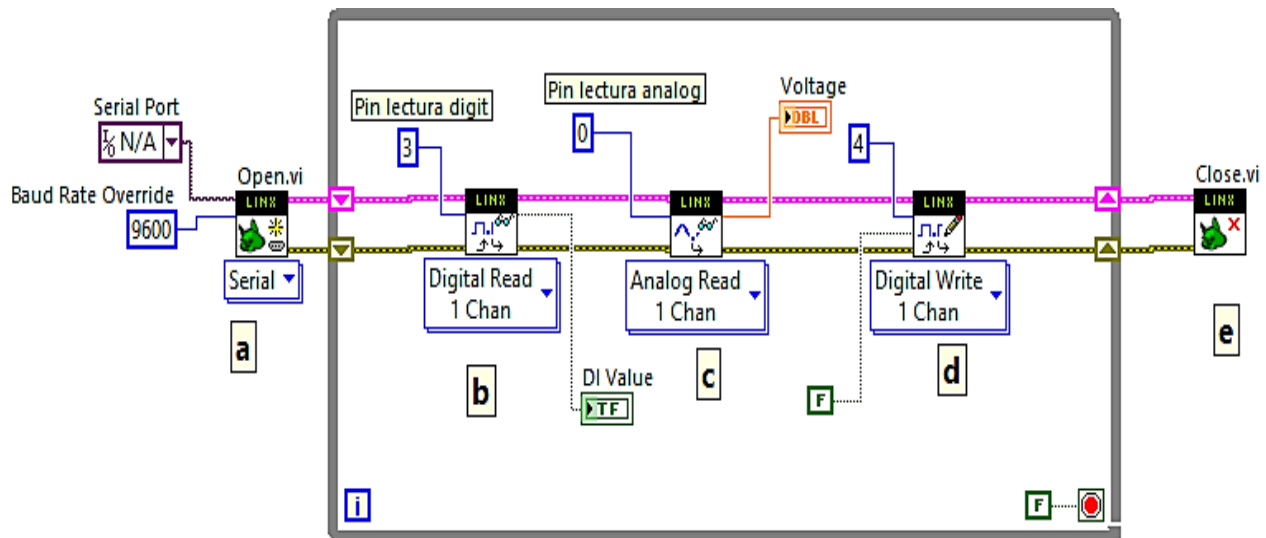
En siguiente bloque de la figura 40 (b) se encarga de la captura de estados lógicos de las entradas digitales en la placa Arduino y emitir salidas de acuerdo al valor lógico leído dentro del software, puede ser configurado de tal forma que realice la lectura de sólo un pin, o de un conjunto de N pines digitales, sólo que este último requiere que la numeración de pines se encuentre dentro de un arreglo o vector de tipo numérico.

El mismo caso sucede con el bloque 40 (d), sólo que, en lugar de leer, realiza la acción de enviar (desde LabVIEW) un valor lógico de estado Ato o Bajo a los pines de salida digital de la placa controladora, con el fin de activar o desactivar dispositivos actuadores conectados al mismo.

El bloque 40 (c) posee la función de capturar, en este caso, los valores de voltaje de uno o varios pines del puerto analógico de la placa Arduino, este bloque posee un terminal indicador numérico de tipo float donde se obtiene el valor o conjunto de valores (arreglo) de voltajes leídos, que facilita en gran medida el proceso de mapeo de las señales a cifras equivalentes a las magnitudes físicas que se están midiendo.

Por último, el bloque 40 (e), se encarga de cerrar la comunicación serial entre la interfaz y la tarjeta controladora, como medida de prevención que evita errores de comunicación en futuras ejecuciones del programa. Este bloque, al igual que el 40 (a), debe ser ejecutado una vez y se debe ubicar afuera de la ventana bucle.

Figura 40: Bloques de control básicos de la herramienta LINX.



Fuente: Elaborado por el autor.

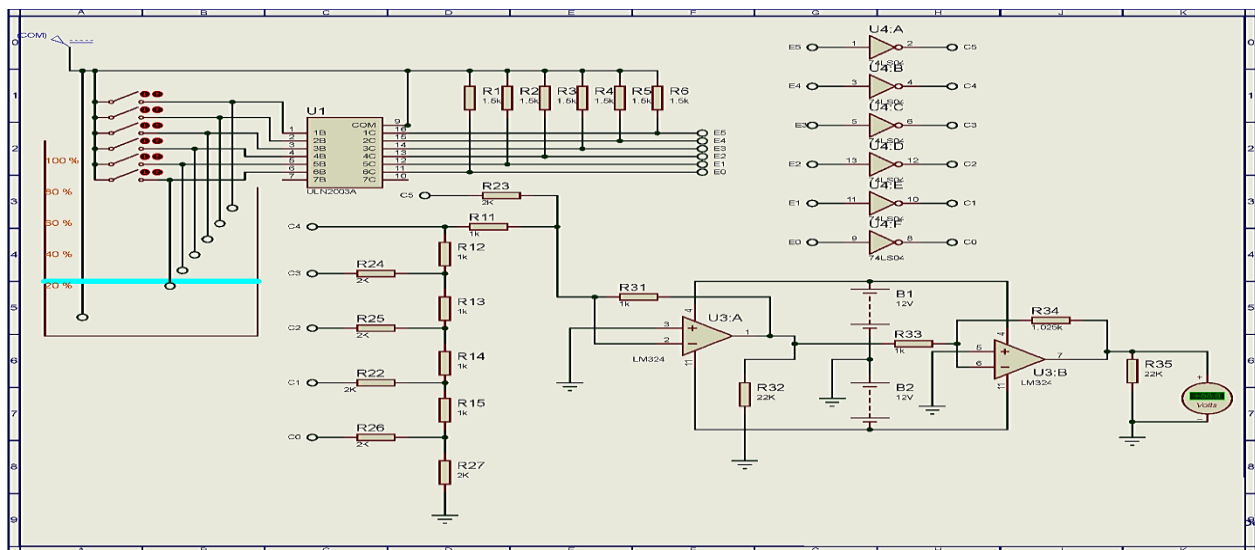
5.2.2 Etapa de sensado

La etapa de sensado se encarga de medir las principales variables físicas del entorno que afectan directamente al sistema recuperador de aguas residuales, como lo son los niveles de agua contenidas en los tanques o depósitos involucrados en el proceso de recuperación y reutilización de dichas aguas de enjuague, al igual que la magnitud de conductividad eléctrica del fluido que controla la calidad del agua recuperada. A continuación, se expone como son medidas estas variables y el elemento utilizado para tal fin.

5.2.2.1 Circuito sensor de nivel

El circuito sensor nivel permite determinar el porcentaje de nivel de agua almacenada en los respectivos contenedores agua residual de enjuague, ya que el diseño mostrado en la figura 41, se cuenta con una serie de elementos electrónicos acoplados encargados de convertir los valores discretos de nivel de agua en una señal analógica.

Figura 41: Circuito sensor de nivel.



Fuente: Elaborado por el autor.

Como se observa en la figura anterior, el circuito consiste en acoplar la salida digital de valores discretos del nivel de agua proporcionado por el circuito integrado ULN 2003 (el cual su constitución interna y funcionamiento se explicó anteriormente en la sección 2.2.13), en la entrada de una red escalera de resistores pertinentes a un circuito convertidor digital-analógico (DAC, de la sección 2.2.14). La hoja de datos del circuito integrado ULN2003 se localiza en el anexo 6 (06. *ULN2003*).

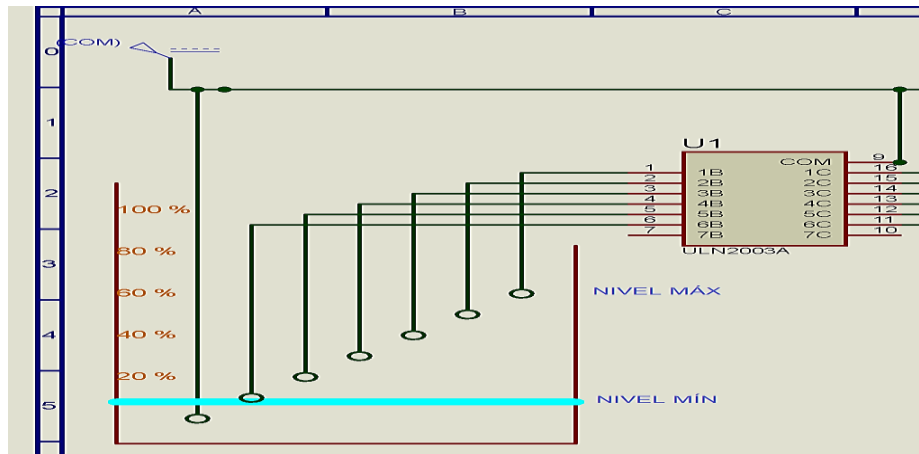
Adicionalmente, debido a que las salidas del driver ULN2003 son activas en estado lógico Bajo (0 lógico), el circuito sensor posee un circuito integrado 74LS04 que dispone de 6 inversores encargados de realizar el cambio de estado lógico Bajo a estado Alto (1 lógico) para acoplar las señales del driver a las entradas del dispositivo DAC.

Dicho circuito sensor de nivel es colocado en las cercanías de los contenedores de agua residual de enjuague de las líneas de producción 1 y 9, los cuáles cada uno dispone de un conjunto de sondas de acero inoxidable de longitudes distintas instaladas en el interior del depósito correspondiente y conectadas en las entradas del driver ULN2003, se debe asegurar que, por lo menos, una sonda se encuentre siempre en contacto con el agua. Estas sondas tendrán la función activar la conducción de cada salida del driver.

Cuando la sonda de mayor longitud (conectada a una alimentación de 5V) entre en contacto eléctrico con las restantes de menor longitud (ver Figura 42), el incremento ascendente del agua provoca un mayor número de salidas activas en el driver, y esto tendrá una respuesta directamente proporcional a la cantidad de entradas activas en el convertidor DAC, y, por ende, se obtiene un voltaje analógico de mayor magnitud en la salida de dicho convertidor. En el caso contrario, si el nivel del agua disminuye en

depósito, menor serán la cantidad de sondas que entre en contacto con el agua, por lo que hay menos salidas activas tanto en el driver como en las entradas del convertidor DAC, provocando, a su vez, un valor bajo de voltaje analógico en la salida del circuito sensor de nivel.

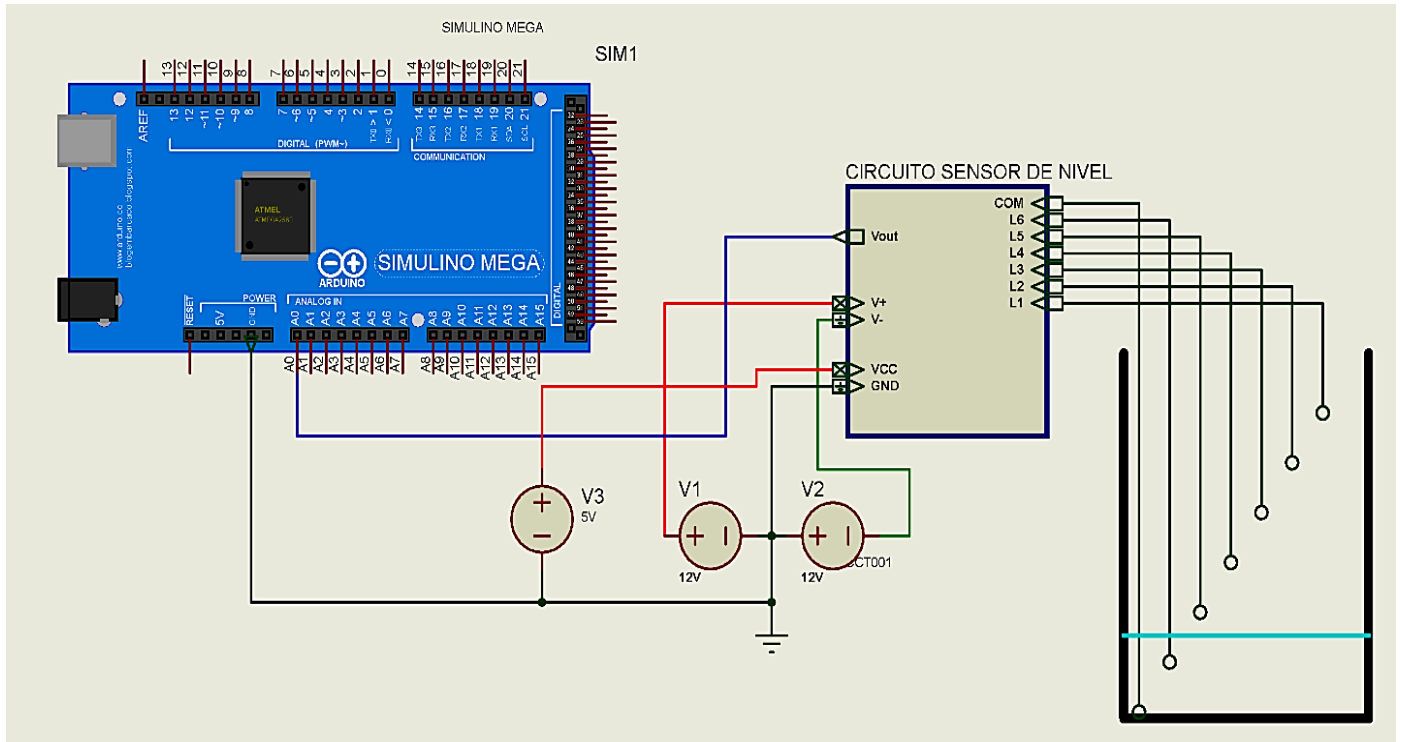
Figura 42: Método de instalación del circuito sensor de nivel.



Fuente: Elaborado por el autor.

El hardware necesario para la implementación del circuito sensor de nivel en el prototipo a escala se muestra en la figura 43; el sensor utiliza un terminal para el suministro de voltaje de alimentación para el circuito driver y el circuito inversor, el cual será conectado a una fuente de poder externa de 5V y su respectivo pin de tierra se conecta en el pin GND tanto de la fuente como del Arduino. Adicionalmente, el circuito convertidor digital-analógico requiere de una fuente de alimentación simétrica (entrega voltajes positivos y negativos con respecto a tierra) de +- 12v de la misma fuente externa. El terminal denominado *Vout* del sensor será conectado en la entrada analógica del microcontrolador la cual suministra el valor de voltaje sentido por el nivel de agua.

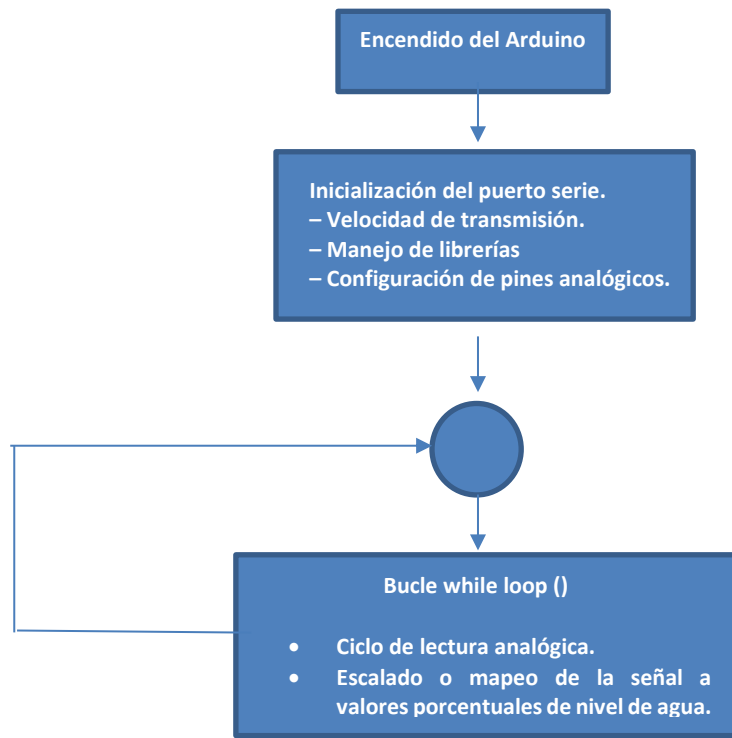
Figura 43: Hardware del circuito sensor de nivel.



Fuente: Elaborado por el autor.

Previamente al desarrollo del software de programación para obtener las lecturas del circuito sensor de nivel, se planteó el diagrama de flujo correspondiente a esta parte del proceso, este se puede observar en la figura 44; donde de forma inicial se empieza con la configuración del puerto de comunicación serial, donde se define la velocidad de transmisión de los datos (baud/s), las librerías o herramientas a utilizar, así como la configuración del pin necesario para la lectura analógica de la salida del sensor.

Figura 44: Diagrama de flujo del circuito sensor de nivel.



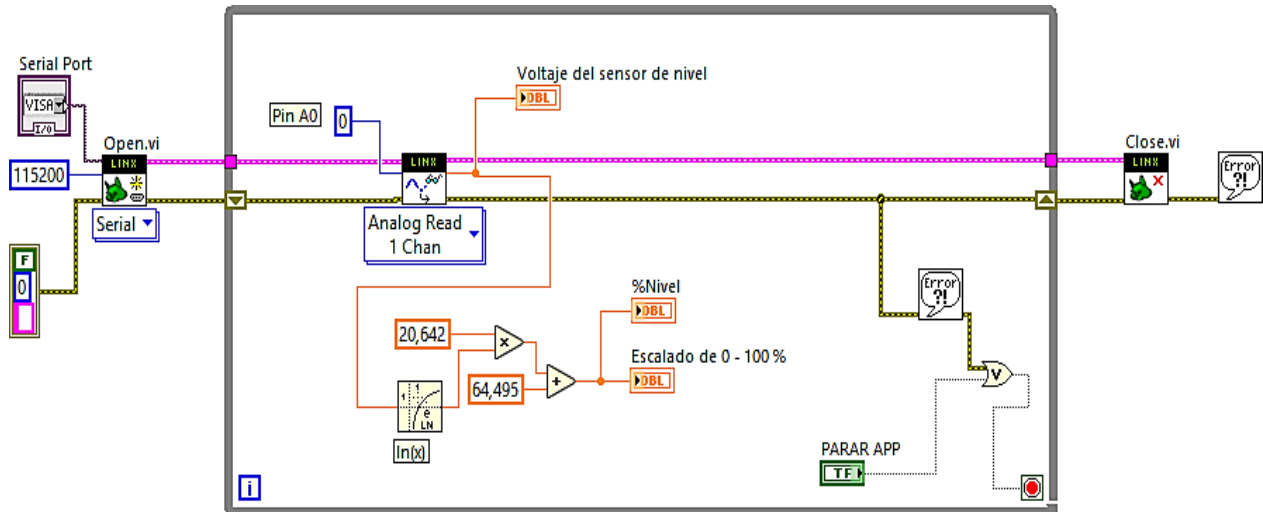
Fuente: Elaborado por el autor.

Al utilizar la herramienta de bucle while, dentro de ésta subrutina se realiza el proceso de lectura del voltaje analógico, el cual el microcontrolador se encarga de transformar dicha magnitud leída en una cadena binaria de 6 bits; posteriormente este valor será convertido a su equivalente numérico entero o de tipo flotante (con decimales) para que luego el valor pueda ser escalado o mapeado a intervalos porcentuales de 0 a 100, y se pueda visualizar dicho porcentaje mediante la interfaz HMI y repetir el ciclo nuevamente.

En la figura 45, se observa el código fuente de lenguaje gráfico implementado para realizar las pruebas de lectura analógica y escalado del voltaje obtenido del circuito sensor de nivel. Se detalla la configuración a nivel gráfico del puerto serie y las variables

que almacenan las lecturas de voltaje y escalado de la información obtenida, mediante el uso del toolkit o herramienta LINX de la librería MakerHub previamente instalada dentro del entorno de programación gráfica.

Figura 45: Código en lenguaje gráfico del circuito sensor de nivel.



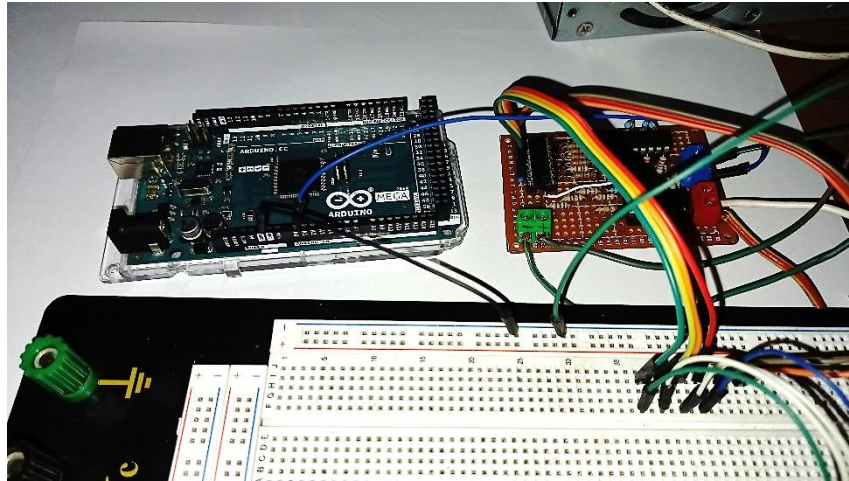
Fuente: Elaborado por el autor

Para efectos de evaluar el funcionamiento del circuito, previo a su implementación en el prototipo a escala, se realizó un circuito de pruebas en protoboard, el cual se realizó la comprobación de cada valor discreto de voltaje de salida en relación con el incremento de entradas activas en estado lógico Alto del dispositivo. En la figura 46 se observa el circuito desarrollado.

Se debe mencionar que, por motivos de facilitar la manipulación del circuito, el mismo se debe construir en una placa PCB universal mediante la técnica de soldadura blanda,

con el propósito de que evitar percances de conexiones defectuosas y ruido durante las pruebas.

Figura 46: Circuito de pruebas del sensor de nivel



Fuente: Elaborado por el autor.

5.2.2.2 Sensor ultrasónico HC-SR04

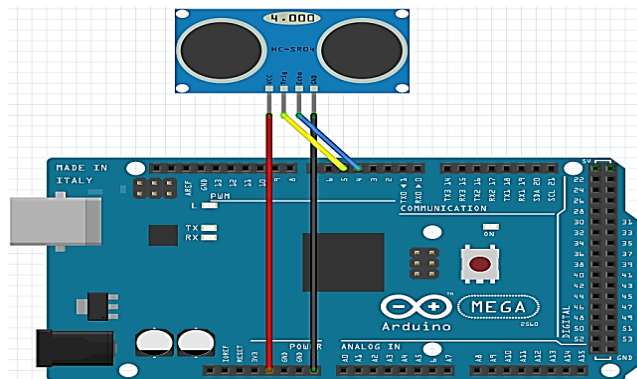
Este sensor permite realizar mediciones de distancia entre el mismo con un objeto más cercano de composición sólida o líquida. Para la implementación del prototipo el sensor ultrasónico tendrá la función de medir la distancia entre el extremo superior del tanque recuperador y el agua almacenada en su interior; con el propósito determinar, mediante un algoritmo desarrollado en el programa, el nivel porcentual de llenado del Tanque Recuperador de aguas residuales. De igual forma se utilizará otro sensor ultrasónico que realice la misma función para el Tanque del Proceso Purificador de aguas.

El sensor utiliza una alimentación de una fuente de voltaje DC en rango de 3.3 a 5V para habilitar el envío pulsos de señales digitales cuyo tiempo de duración determina la distancia total entre el sensor y el objeto; por lo cual es ideal para implementar con las

entradas de lectura digital de un microcontrolador como Arduino. Tales lecturas pueden ser mapeadas o escaladas mediante software de programación para establecer el valor numérico de nivel de agua en el depósito correspondiente. La hoja de datos del sensor HC-SR04 se localiza en el anexo 7 (07. HC-SR04)

La implementación de hardware del sensor ultrasónico se observa en la figura 47. El sensor cuenta con 4 pines disponibles: el primer terminal VCC es la alimentación positiva del dispositivo el cual debe ser energizado con 5V DC de la tarjeta Arduino, los siguientes dos pines de nominación *Trig* y *Echo* se deben conectar en dos terminales digitales de la tarjeta controladora, y el último pin restante GND se conecta a tierra del circuito.

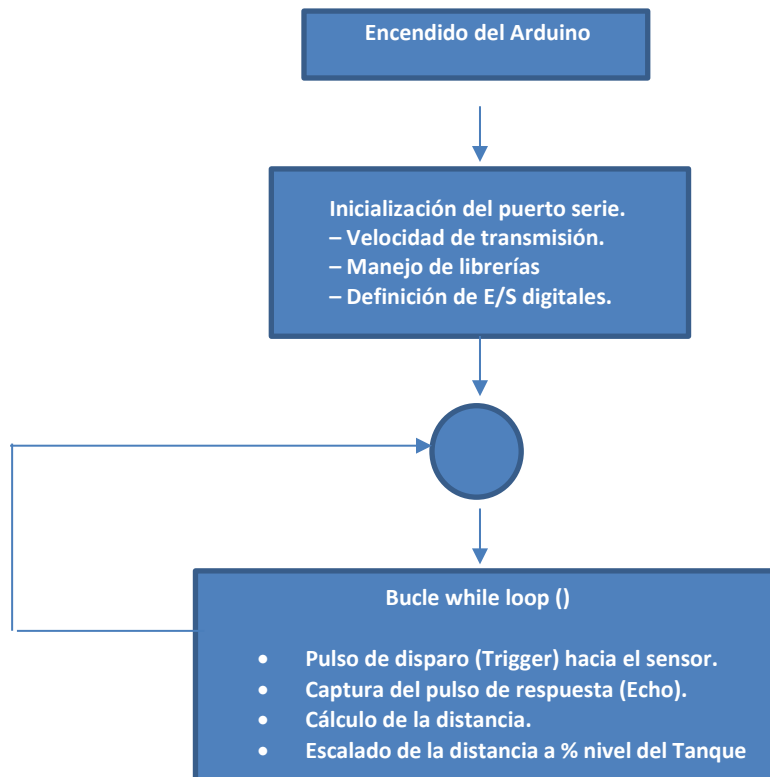
Figura 47: Hardware sensor HC-SR04.



Fuente: Elaborado por el autor.

En la programación del microcontrolador para la implementación del sensor ultrasónico se presenta el siguiente diagrama de flujo (figura 48). Inicialmente en la etapa de configuración se inicializa el puerto serial y se definen las variables que almacenan el tiempo de duración del pulso de entrada, así como el valor de la distancia en centímetros calculado en el software.

Figura 48: Diagrama de flujo del sensor HC-SR04.



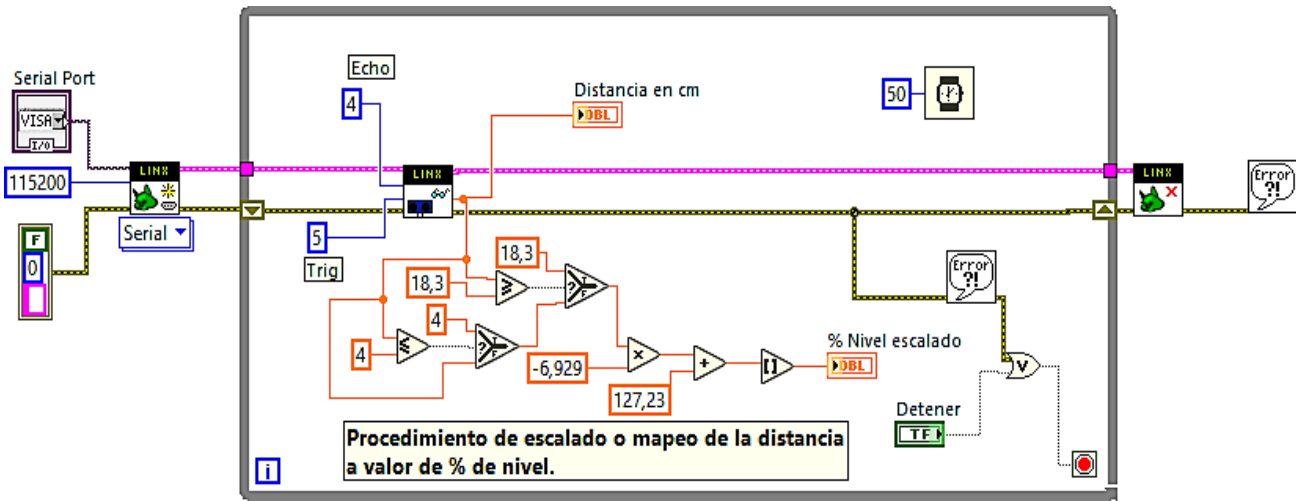
Fuente: Elaborado por el autor.

En lo que respecta al ciclo while loop, corresponde a un bucle donde el microcontrolador emite un pulso aproximado de 10 μ s para que el pin de respuesta del sensor (Echo) genere un pulso en estado lógico Alto, el periodo o tiempo de duración del dicho pulso es leído nuevamente por el microcontrolador para realizar el cálculo de la distancia. Posteriormente, la información de la distancia es escalada para obtener su equivalente porcentual de nivel de llenado del tanque.

El código fuente desarrollado en la plataforma LabVIEW para el sensor ultrasónico se muestra en la figura 49, donde se observa los diferentes bloques encargados de inicializar

la comunicación con el Arduino a través del puerto serial, así como el bloque o ícono encargado tanto de emitir el pulso de activación como capturar la lectura de la señal digital del sensor, para después realizar el cálculo de la distancia, y posteriormente se desarrolla el algoritmo para determinar el valor escalado del nivel.

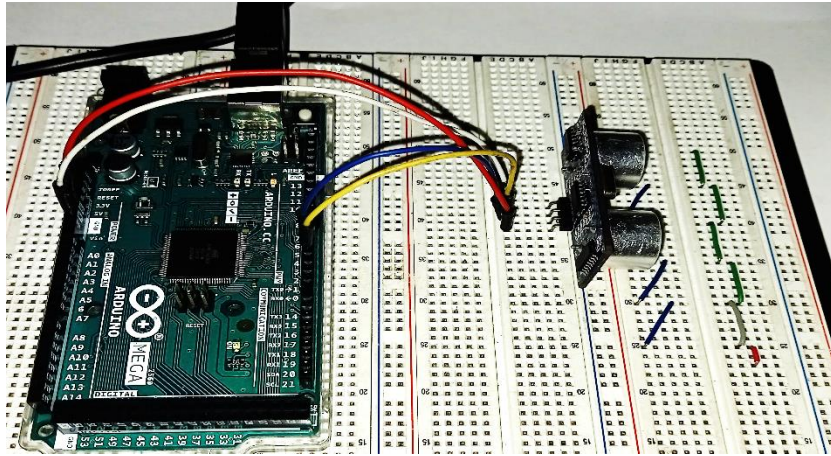
Figura 49: Código en lenguaje gráfico del sensor HC-SR04.



Fuente: Elaborado por el autor.

Para la comprobación del funcionamiento del sensor, se realizó el respectivo circuito de pruebas de la figura 50, para así analizar los resultados obtenidos y proceder con los ajustes y calibración del dispositivo. Al ser un sensor destinado a medir el nivel de agua de un Tanque éste requiere ajustarse de tal forma que conforme aumente el nivel del fluido la distancia entre este y el sensor tienda a disminuir; por tal motivo, durante las pruebas se obtuvieron los resultados en la tabla 7, donde se compara la distancia medida con el valor aproximado porcentual de nivel de agua en el depósito.

Figura 50: Circuito de prueba del sensor HC-SR04.



Fuente: Elaborado por el autor.

5.2.2.3 Sensor detector de conductividad eléctrica

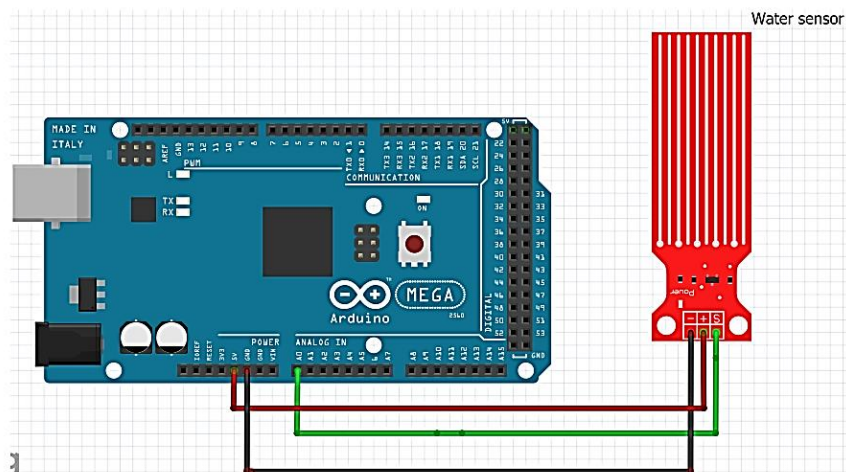
El sensor detector de fluido explicado en la sección 2.2.16, además de contar con las características de sensar fugas en ambientes húmedos y realizar labores de detección de precipitaciones, también posee la función de medir de manera indirecta el estado de conductividad del agua u otros fluidos cuando el mismo se sumerge y entre en contacto constante durante la medición. La hoja de datos del sensor detector de fluido K-0135 se puede localizar en el anexo 8 (08. K-0135).

Por tal razón, en la implementación del prototipo, el sensor detector tendrá la función de medir las condiciones de las aguas de enjuague generadas en las líneas de producción 1 y 9, con el fin de determinar su valor de conductividad en relación al voltaje analógico generado en la salida del sensor.

El sensor requiere de una alimentación de voltaje DC de 5v para un correcto funcionamiento de generar una señal de voltaje en rango de 0 a 4.5v aproximadamente. Por lo tanto, puede ser implementado de forma sencilla en cualquiera de los pines de lectura analógica disponibles en la tarjeta Arduino, los valores de voltaje leídos también requieren ser mapeados dentro de un rango de cifras de conductividad permitidas mediante un algoritmo desarrollado a nivel de software.

La implementación de hardware del sensor detector de conductividad se encuentra en la figura 51. El procedimiento de conexión es sencillo ya que el dispositivo cuenta con sólo 3 terminales: el terminal de símbolo '+' se debe conectar al pin de alimentación de 5V de la tarjeta Arduino, de igual forma el pin negativo se debe conectar a la tierra GND de la tarjeta, y por último el terminal de nominación 'S' es la señal de voltaje que se debe conectar a uno de los pines del puerto de entrada analógico de la placa controladora.

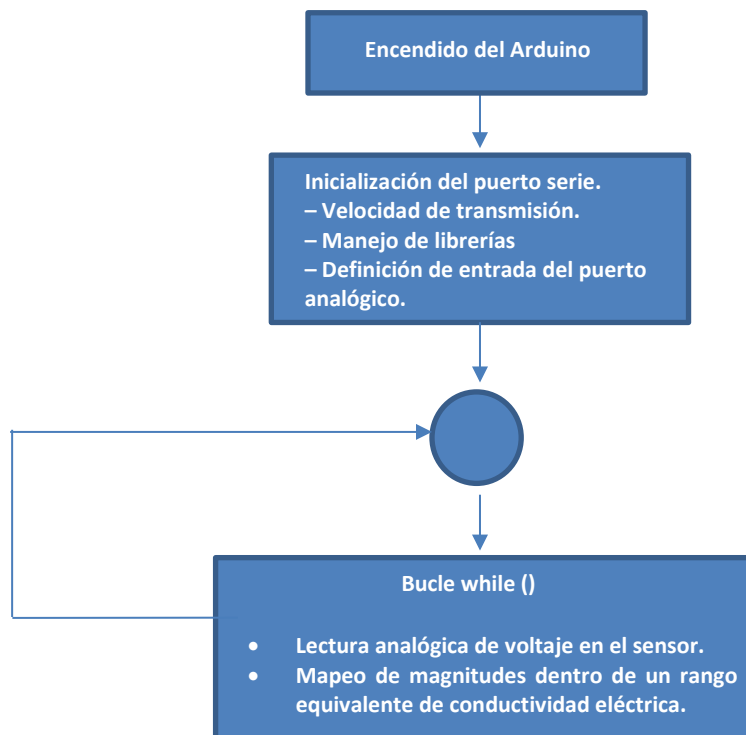
Figura 51: Hardware del sensor detector de fluido.



Fuente: Elaborado por el autor.

En la programación del sensor detector de conductividad se resume en el siguiente diagrama de flujo en la figura 52. Se observa que posee una estructura similar al mostrado en la sección 5.2.1.1, dado que se trata de un caso de lectura de voltaje analógico; sin embargo, la función que cumple en la implementación es diferente debido a que el mapeo del voltaje leído se determina de acuerdo a una escala de valores de conductividad previamente establecida.

Figura 52: Diagrama de flujo del sensor detector de conductividad.

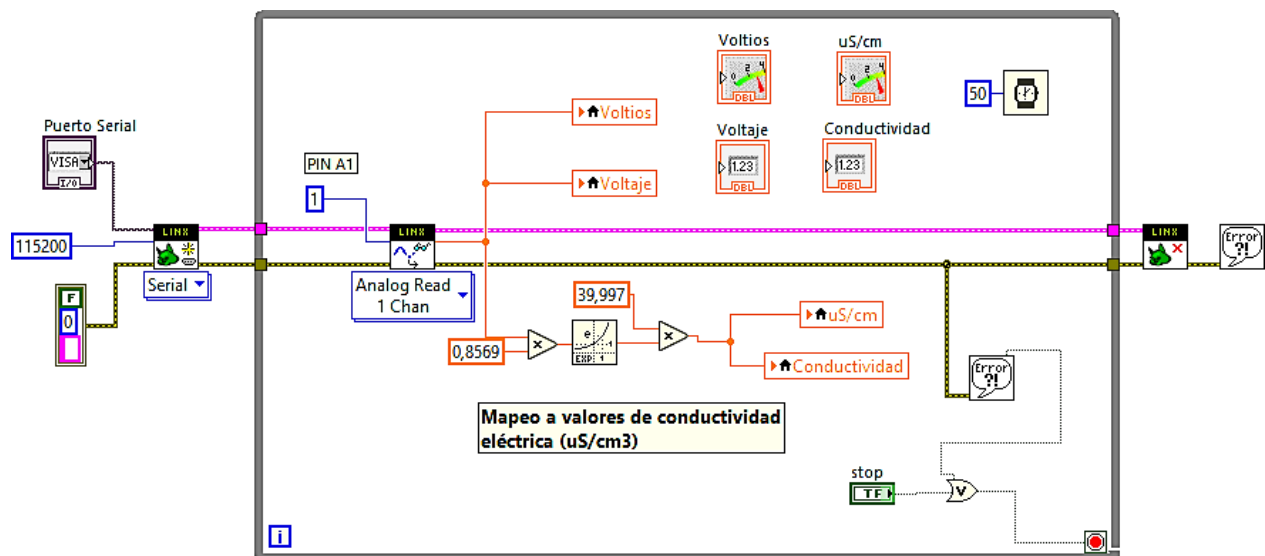


Fuente: Elaborado por el autor.

En la configuración del dispositivo se inicializa el puerto serial y se establece el pin de entrada analógica para la obtención de las lecturas. Posteriormente en el ciclo while el valor de voltaje sensado es convertido a un valor numérico para adaptarlo al proceso de mapeo de la señal y, posteriormente se establece dentro de una escala de valores de conductividad equivalente.

En lo que respecta al código de lenguaje gráfico utilizado para la comprobación del funcionamiento del sensor, se observa en la figura 53. Nuevamente se configura la comunicación serial a través de íconos de apertura y cierre, el proceso de captura de información y mapeo de datos se ejecuta dentro del bloque grande while loop. No se debe olvidar agregar un botón de paro que condicione la ejecución del loop para permitir al usuario detener la ejecución del código.

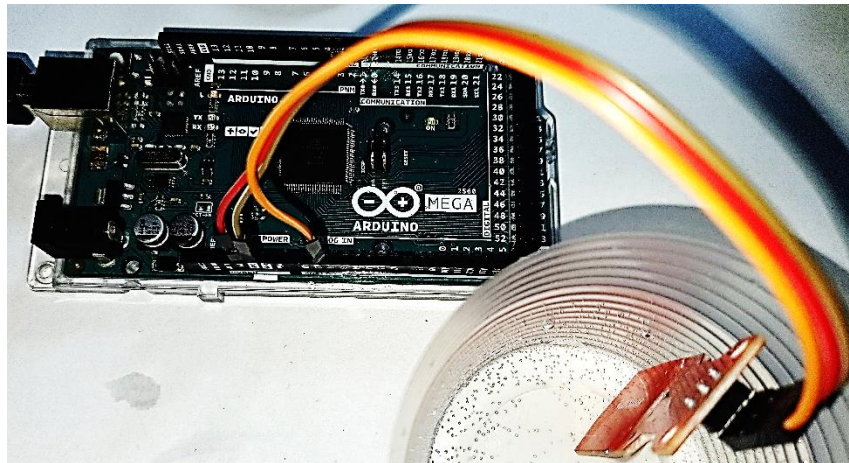
Figura 53: Programación gráfica del sensor detector de conductividad.



Fuente: Elaborado por el autor.

Para comprobar el funcionamiento del sensor, se construyó el circuito de prueba mostrado en la figura 54. Es necesario contar con un recipiente pequeño con una muestra de agua convencional y comprobar el voltaje obtenido en los indicadores numéricos del panel de control de LabVIEW al momento de sumergir el sensor detector en el fluido. Posteriormente, para cumplir con el propósito de establecer su valor de conductividad eléctrica, se debe realizar un mapeo de valores de voltaje que se consideren aceptables para determinar una expresión matemática que sustente el rango de conducción permitida en sistemas de mayor escala. Se tabularon los resultados para realizar dicho cálculo en la tabla 8.

Figura 54: Circuito de prueba del sensor detector de conductividad.



Fuente: Elaborado por el autor.

5.2.3 Etapa de control

La finalidad de la etapa de control es realizar el manejo de los elementos actuadores que se encargan de la regulación del sistema recuperador de aguas residuales de los procesos de enjuague, que, de acuerdo a los requerimientos del sistema, controlan tanto el almacenamiento y traslado del fluido en tanques determinados, para cumplir con el propósito de enviar el agua de calidad aceptable a un proceso externo de purificación y pueda ser reutilizada en otros procesos de producción a nivel de planta.

Se puede decir, que ésta etapa posee una dependencia de las condiciones de determinadas en las otras dos etapas expuestas anteriormente, ya que estos son los que determinan que los elementos de control implementados (bombas, electroválvulas) ejecuten las acciones determinadas de acuerdo a los comandos enviados por la interfaz HMI y a los parámetros de medición en la lectura de sensores.

De la misma manera, al momento de ocurrir eventos no deseados donde los datos obtenidos en los sensores se encuentren en un rango anormal que compromete el rendimiento óptimo del sistema de recuperador, se activará un protocolo que habilita o deshabilita determinados actuadores, con tal de evitar percances de alto riesgo y daños a los dispositivos u elementos del sistema.

5.2.3.1 Control de paso del agua recuperada y drenaje en las líneas de enjuague.

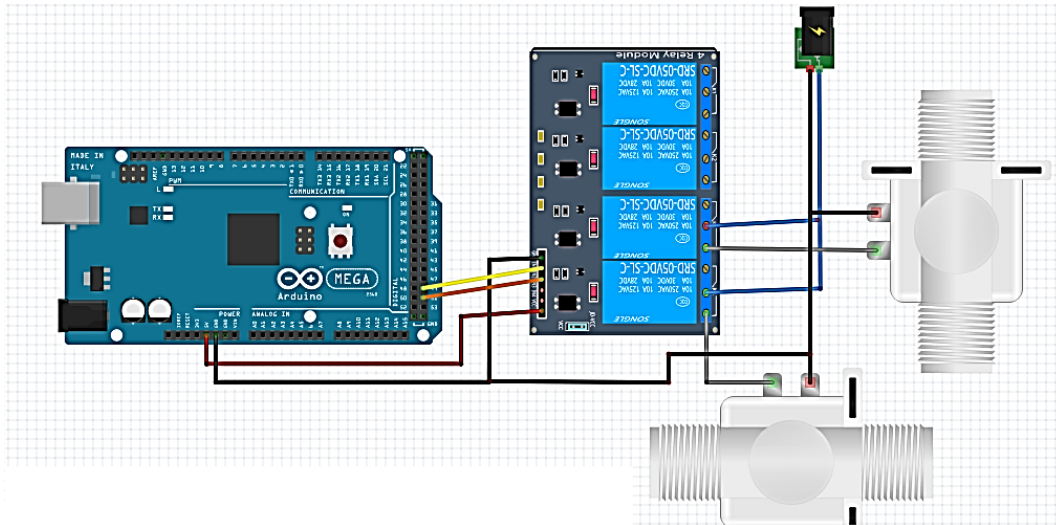
Para controlar la acción de permitir el paso del agua residual hacia el tanque recuperador y el depósito del sistema purificador, o restringir el acceso hacia dichos depósitos, cuando la composición del agua recuperada es inapropiada o se presenten situaciones de desbordamiento en los depósitos; se implementó un conjunto de electroválvulas de tipo NC cuya bobina de cada uno es energizada con 12V DC.

En total se necesitan 4 electroválvulas para realizar tanto el proceso de control de calidad del agua recuperada, como el llenado o vaciado en el tanque recuperador, realizado en el prototipo a escala. En los depósitos de agua residual de enjuague en las líneas de producción 1 y 9, contarán con una electroválvula encargado de drenar el agua de su depósito correspondiente al momento que (durante la producción de refrescos) se detecte una condición anormal de alta conductividad del agua no apta para consumo. Por su parte, en el Tanque Recuperador dispone de dos electroválvulas: la primera se ubica en la entrada del depósito y la otra se localiza en la salida del mismo; ambas trabajan en conjunto para controlar el nivel de llenado del tanque.

Debido a que la electroválvula requiere 12V DC, es necesario alimentar dicho actuador mediante una fuente de poder externa que sustente la demanda de corriente del elemento. Para controlar la activación de cada electroválvula a través del microcontrolador, es utilizado un módulo de relevadores electromagnéticos de 5V el cual es conmutado por medio de la activación de los pines digitales de la tarjeta Arduino, esto permite activar y desactivar el circuito que alimenta los solenoides de las electroválvulas.

En la siguiente figura, se observa el hardware necesario para el control de las electroválvulas de paso y drenaje, controlados por el microcontrolador y conmutados mediante un módulo de relés el cual su terminal central (común) es alimentado por una fuente externa de 12V y el contacto NO es conectado en serie con el solenoide.

Figura 55: Hardware control de electroválvulas.

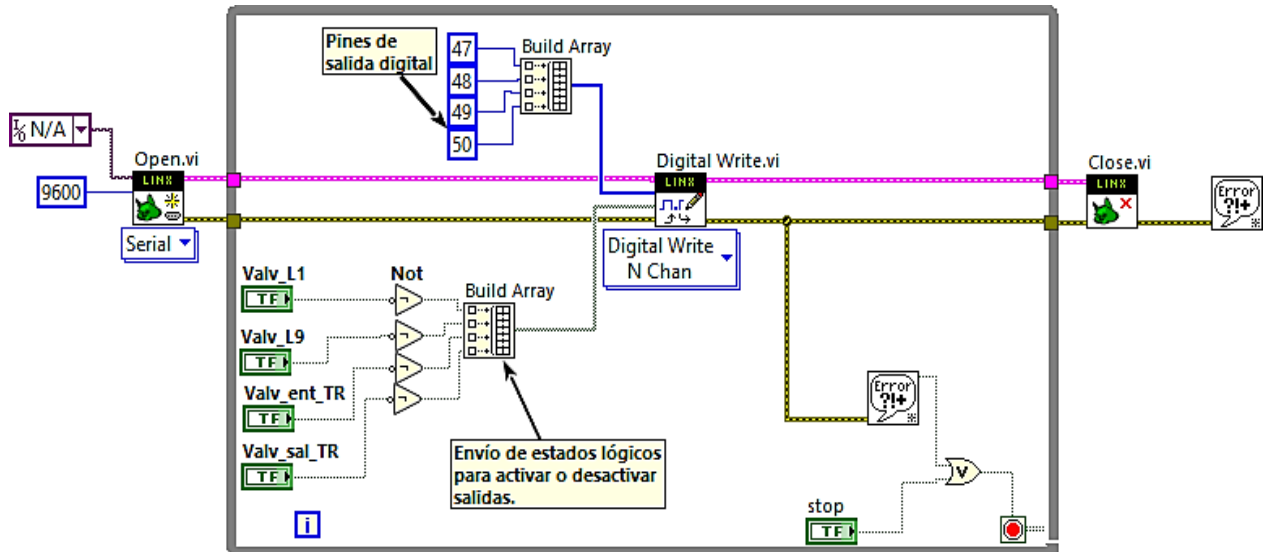


Fuente: Elaborado por el autor.

El software que controla la conmutación de electroválvulas se observa en la figura 56. Se deduce que para activar o desactivar la válvula solamente se necesita cambiar el estado lógico de las salidas del microcontrolador, la cual conmuta el relé correspondiente y permite el paso de corriente eléctrica en la bobina del solenoide para accionar el mecanismo de apertura o cierre de la válvula.

Se debe mencionar que el módulo de relés implementado, es necesario tomar en cuenta que su terminal NO (normalmente abierto) es activado cuando una señal digital de estado Bajo (lo mismo a 0V) es aplicado a su respectiva entrada y para desactivarlo se alimenta con un estado Alto (señal de 5V) proveniente de un determinado pin del microcontrolador.

Figura 56: Software para la activación de electroválvulas.



Fuente: Elaborado por el autor.

Como se puede observar, se requiere agregar bloques inversores en las salidas de las señales digitales, debido a que las entradas en el módulo de relés son activas con un voltaje de 0V.

5.2.3.2 Control de electrobombas hidráulicas

Debido a que el tipo de motor utilizado en el prototipo es de corriente directa (DC) de 12V con un consumo nominal de corriente de 1.3 amperios (al igual que la electroválvula), el motor de la bomba hidráulica del prototipo requiere de una fuente de poder externa, además, tomando en cuenta que se implementa un total de 5 electrobombas, dicha fuente de poder debe suministrar al menos una corriente de 8A para satisfacer las necesidades de consumo de dichos actuadores.

Como se mencionó antes, el prototipo requiere un total de cinco electrobombas implementados para cumplir con el abastecimiento de agua necesario para crear un sistema funcional a escala de control de recuperación de aguas residuales en cámaras de enjuague de botellas.

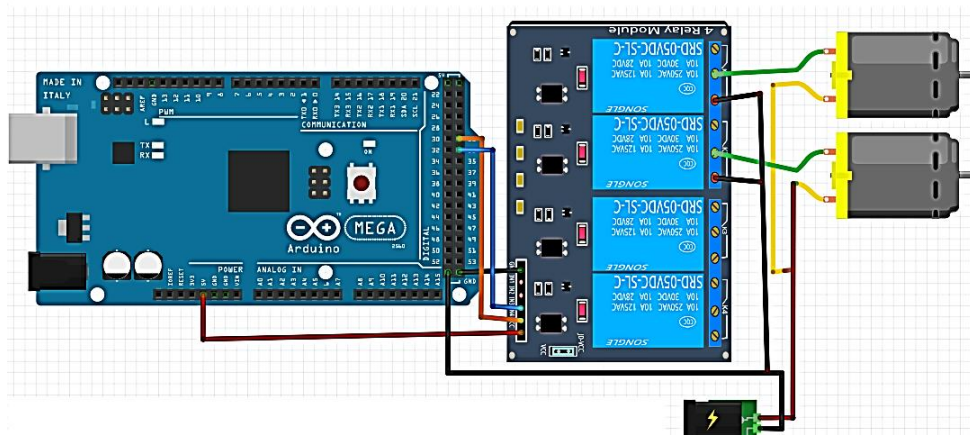
Por lo tanto, en los depósitos de aguas residuales de enjuague tanto en la línea de producción 1, como en la línea 9 se implementan 2 electrobombas; la primera, cuya tubería de salida se encuentra acoplada a la entrada del contenedor residual de enjuague, tendrá la función de suministrar agua hacia dicho contenedor como un medio para iniciar el llenado del mismo. Una vez que el depósito de enjuague alcance un nivel apropiado de agua, se procede con la activación de la siguiente electrobomba de salida, el cual posee la función de transportar el agua residual desde el proceso de enjuague hacia el Tanque Recuperador.

Por su parte, en la salida de dicho Tanque Recuperador se ubica otra electrobomba encargada de trasladar nuevamente el agua recuperada hacia un acople especial con la tubería principal de agua proveniente de un pozo subterráneo. Ambos flujos se combinan e ingresan a un tanque de almacenamiento de aguas diseñado para, posteriormente, someter el fluido a un proceso especial de purificación y distribuir el agua en otras actividades de producción en la planta.

Desde el microcontrolador se puede controlar el accionamiento de cada electrobomba a través del módulo de relés explicado en la sección anterior. Al enviar una señal proveniente de los pines digitales del Arduino, se produce la conmutación del relé correspondiente en la entrada del módulo que cierra los contactos NO para permitir el

paso de corriente eléctrica hacia el devanado del motor de la bomba, y de esta manera, la corriente induce una fuerza electromotriz para comenzar la puesta en marcha de la máquina. El hardware del circuito mencionado puede observarse en la siguiente figura.

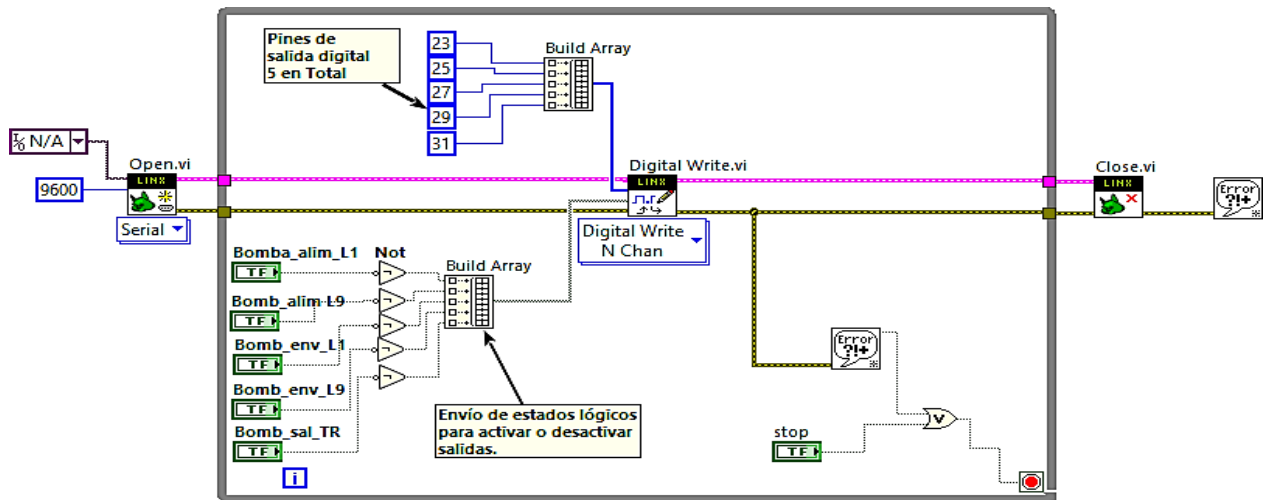
Figura 57: Hardware control de electrobombas.



Fuente: Elaborado por el autor.

A nivel de software, el código gráfico de prueba para accionar las electrobombas (figura 58) posee una disposición y conexiones muy similares al mostrado anteriormente en el control de electroválvulas. Sin embargo, desde luego, se debe tomar en cuenta que la activación tanto de las bombas hidráulicas como las válvulas, no se realizará manualmente, sino que deben ser activadas de manera automática de acuerdo a las condiciones de calidad del agua, producción de líneas y niveles de fluido en los depósitos involucrados en el proceso de recuperación de aguas.

Figura 58: Software de prueba control de electrobombas.



Fuente: Elaborado por el autor.

La explicación del funcionamiento para llevar a cabo el sistema automático de envío y control de calidad del agua recuperada en los procesos de enjuague, se mencionarán en la sección de implementación del dispositivo.

5.2.4 Etapa de monitoreo

El desarrollo de la etapa de monitoreo se centra en crear una interfaz HMI (*Human-Machine Interface*), que realice la función de mostrar en pantalla los elementos, dispositivos y parámetros de medición que componen cada una de las principales partes del sistema recuperador de aguas residuales del proceso de enjuague de botellas, implementados en el prototipo.

Debido a que la aplicación de dicha interfaz se basa en la obtención de datos de sensores y control de actuadores de un sistema basado en una implementación real a nivel industrial, el prototipo planteado se requiere de herramientas versátiles de

personalización del panel de control HMI con tal de mejorar la representación del proyecto, que facilite la comprensión del funcionamiento del sistema de recuperación de aguas residuales.

Una de las herramientas mencionadas corresponde al módulo DSC (*Dataloggin and Supervisory Control*), para crear la representación gráfica del sistema de control del prototipo y la otra son los bloques indicadores de tipo numéricos que muestran los datos de sensores (conductividad, niveles de agua) y estados de actuadores (valores lógicos de activación). Dichas herramientas se explicarán seguidamente.

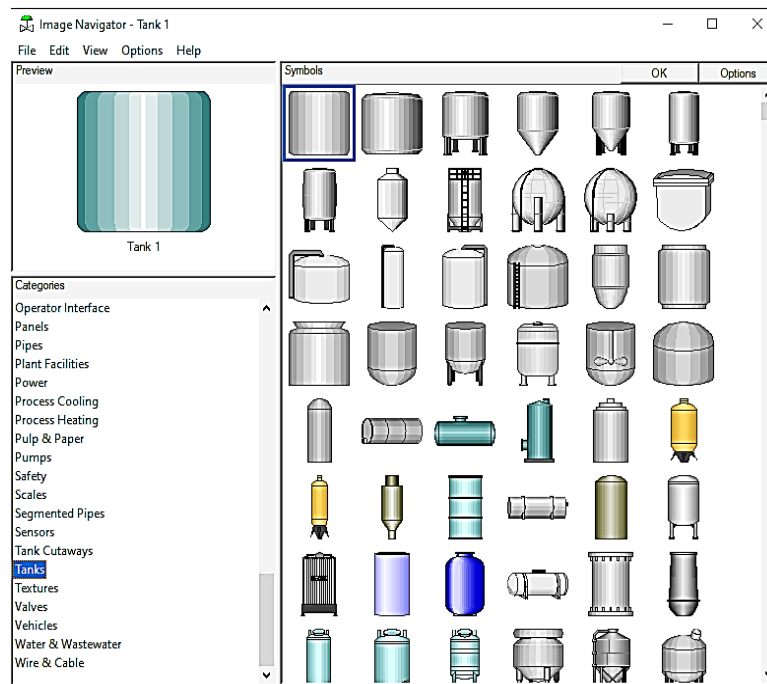
5.2.4.1 Módulo DSC

El módulo DSC consiste en un subprograma que contiene un desglose de múltiples ilustraciones o íconos que representan elementos y aparatos utilizados habitualmente en sistemas de control en procesos industriales (estructuras, simbología, bombas hidráulicas, tanques, sensores, tuberías, válvulas, entre otros), como un medio que permite desarrollar interfaces HMI de obtención de datos operativos con el fin de optimizar sus funciones internas.

En otras palabras, permite crear sistemas de control supervisado de adquisición de datos (SCADA), que monitorean parámetros de medición y estados de actuadores que conforman un sistema de control automático. En la siguiente figura, se observa la vista de la ventana principal del módulo DSC, donde en la columna izquierda dispone de una lista de diferentes categorías de sistemas de control y en la ventana derecha se contempla los dispositivos u elementos disponibles en la categoría seleccionada; que

luego el usuario puede agregar en el diseño del panel de control del proyecto desarrollado en LabVIEW.

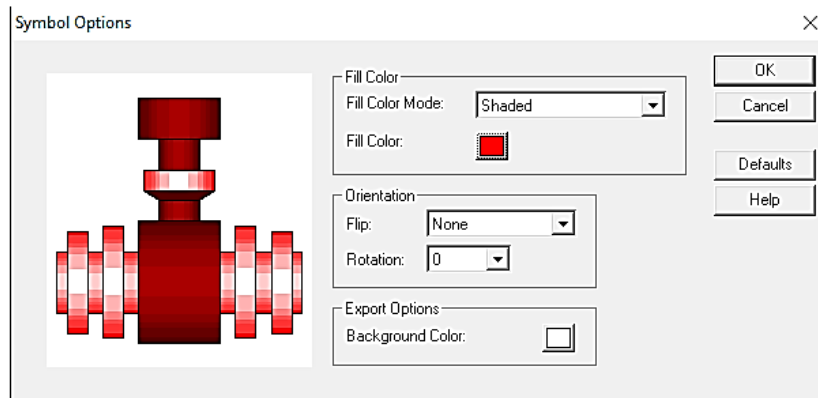
Figura 59: Ventana de herramientas del módulo DSC.



Fuente: Elaborado por el autor.

El módulo DSC, también cuenta con la característica de modificar el tamaño, orientación, textura y color del elemento seleccionado mediante la ventana editora de símbolo mostrada en la Figura 60. Una vez que se realiza los ajustes necesarios, sólo basta con arrastrar el ícono hacia la ventana del panel de control de LabVIEW e incluirlo en el diseño de la interfaz HMI.

Figura 60: Ventana editor de símbolo módulo DSC.



Fuente: Elaborado por el autor.

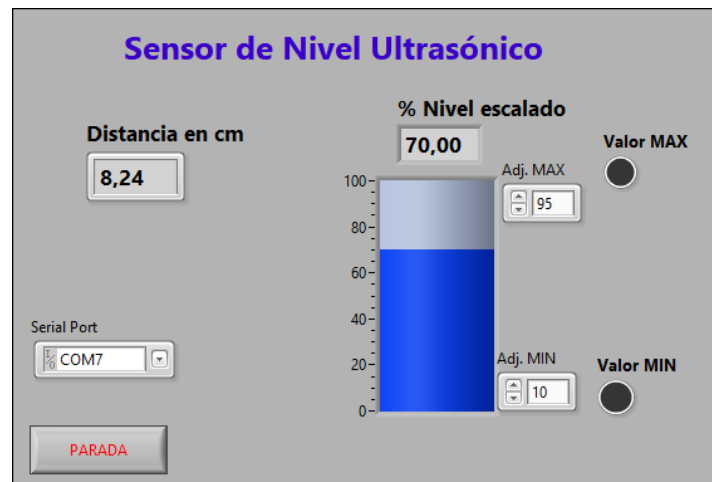
5.2.4.2 Bloques de monitoreo de datos en LabVIEW.

Los bloques monitoreo o indicadores, son las variables que la plataforma Labview utiliza para recibir la información proveniente de los íconos de lectura analógica o digital y enviar en formato de tipo numérico (entero o float) o String (cadena de texto) hacia la ventana del panel de control de la interfaz HMI.

Dichos indicadores constituyen un elemento fundamental en el desarrollo del prototipo del proyecto, ya que es el principal medio donde el usuario u operario puede observar el funcionamiento de las distintas partes u elementos del sistema control del proceso de recuperación. Esta característica posee la ventaja de facilitar los procedimientos de detección de fallas durante las labores de mantenimiento, así como permitir el ajuste de valores mínimos o máximos de parámetros límites con tal de asegurar que el sistema trabaje dentro de rangos preestablecidos.

Un ejemplo de la implementación de indicadores para el monitoreo de datos tanto de sensores como actuadores, se observa en la figura 61. Se logra apreciar, que el panel de control es utilizado (en éste caso) para medir el valor de distancia sensado del sensor ultrasónico HC-SR04 en un indicador numérico con valores decimales y, de igual forma mostrar su equivalente escalado a cifras porcentajes de nivel, cuya modificación interactúa y cambia la cifra mostrada en el ícono de Tanque.

Figura 61: Ejemplo de panel de control de monitoreo en LabVIEW.



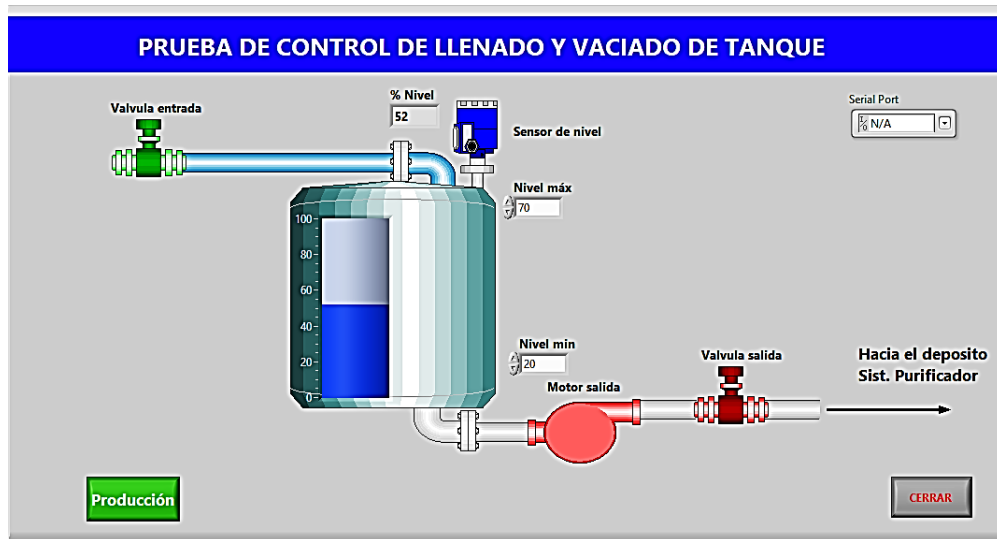
Fuente: Elaborado por el autor.

Además, dicha interfaz también posee la función de contar con íconos numéricos de control encargados de limitar el rango de nivel en el tanque, dispuestos para que el usuario logre modificar tanto el valor máximo como el mínimo, durante la ejecución de la interfaz, para que luego a nivel de software, se comparan las lecturas de nivel que realizan la acción de activar indicadores de tipo booleano (digital) cuando el nivel sobrepase el valor máximo o es inferior al valor mínimo.

Al tomar en cuenta lo anteriormente explicado, se puede afirmar que tanto el módulo DSC como los elementos de lectura de datos poseen las características adecuadas para ser implementadas en el prototipo, dado que, si se combinan sus funcionalidades, se puede diseñar y programar interfaces gráficas más elaboradas donde la demanda del sistema exige un control más riguroso o eficiente para mejoramiento de ciertos procesos industriales.

Al aplicar dicho principio, se puede modificar el panel de control de la figura 61 mediante la inclusión de íconos que representen las principales partes que conforman el sistema que se requiere automatizar, sin omitir la visualización de datos de sensores en los indicadores de lectura. En la siguiente figura se puede observar la modificación del panel de control de la figura anterior, cuando se incluyen íconos pertinentes al módulo DSC.

Figura 62: Modificación del panel de control de la figura 61, utilizando el módulo DSC.



Fuente: Elaborado por el autor.

Como se observa en la figura anterior, los íconos del módulo DSC también se puede utilizar como indicadores de estado de la activación y/o desactivación de los dispositivos actuadores implementados en un sistema de control, tal sería el caso de las electroválvulas de entrada y salida del tanque, así como la bomba hidráulica de salida. Cuando el actuador designado se encuentra activo, su respectivo ícono de la interfaz cambia a un color verde, y si se encuentra inactivo se mantiene en rojo indicando su cambio de estado en el monitor del panel de control.

5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO

El propósito principal del proyecto es crear un sistema de monitoreo de parámetros y control del proceso de recuperación de aguas residuales provenientes del enjuague de envases en líneas de producción de refrescos, por lo que es importante considerar los características o condiciones que dicho sistema debe ser capaz de manejar, con tal se asegurar que el fluido transportado no represente ningún peligro de afectar otros procesos externos al sistema recuperador.

Entre las principales características sobre la implementación del proyecto se encuentran: mediciones de parámetros que determinan la calidad del agua recuperada, el mapeo u escalado de datos de medición en los dispositivos de sensado y la manera adecuada de funcionamiento que el sistema recuperador debe operar, para establecer un control automático de traslado y almacenamiento de las aguas residuales. Tales condiciones mencionadas se presentan a continuación.

5.3.1 Medición y análisis de parámetros de la composición del agua

Para averiguar que el agua residual de los procesos de enjuague de envases tenga la composición química adecuada que asegure la integridad del sistema recuperador y evite percances de contaminación en sistemas externos; se debe tomar muestras del agua residual de enjuague generada durante la producción de bebidas y compararla con los parámetros permitidos del agua de proceso utilizado en el proceso purificador por ósmosis inversa.

El primer parámetro medido fue la conductividad eléctrica con un conductímetro calibrado, tomando las lecturas con el equipo directamente en la muestra; luego se procedió a medir el pH del agua con un pH-metro calibrado con buffer de 4, 7 y 10, antes de la medición de las muestras; después se determina el parámetro de alcalinidad del agua, utilizando valoraciones de ácido-base; el siguiente parámetro corresponde a la dureza total sobre la concentración de minerales de calcio o magnesio; posteriormente, se midió la cantidad de ppm de (partes por millón) de STD (Sólidos Totales Disueltos), el cual se encuentra ligado al parámetro de la dureza del agua; después se determinó la cantidad de cloruros o cloro totales disueltas; y por último se determina el nivel de Turbidez de las muestras planteadas.

Se debe mencionar que, las mediciones realizadas se llevaron a cabo bajo la supervisión constante de un personal calificado del departamento de saneamiento de aguas en un laboratorio especial dentro de las instalaciones de la planta distribuidora Florida Bebidas S.A. Además, los valores obtenidos se tomaron de muestras de agua con temperatura media de 30°C.

Los resultados obtenidos en las mediciones se observan en la siguiente tabla. Donde se resalta la comparación entre las muestras del agua residual de enjuague con el agua de proceso, además de mostrar la unidad de medida de cada parámetro.

Tabla 6: Medición de parámetros de composición del agua de proceso y recuperada.

Comparación de medidas					
Parámetro	Agua de proceso	Agua recuperada	Unidad	Valor recomendado	Valor máximo
Conductividad	246,7	234,3	μS/cm	400	750
pH	6,52	6,22	---	6,5	8,5
Alcalinidad	85,3	72,5	ppm/L	>30	<200
Dureza Total	84,8	80,2	mq/L $CaCO_3$	400	500
STD	125,6	121,2	ppm	300	600
Cloro Total	15	10	mg/L	>25	<250
Turbidez	0,06	0,05	---	1	5
Temperatura	30	30	°C	N/A	N/A

Fuente: Elaborado por el autor

Según los resultados, en el primer caso se determinó la conductividad eléctrica de las muestras de agua de proceso y el agua recuperada. En el análisis, la muestra que presentó una cantidad menor de conductividad corresponde al agua residual recuperada de los depósitos de enjuague, con 234.3 μS/cm y el agua de proceso o de producción es ligeramente mayor. Sin embargo, en ambos casos los valores se encuentran dentro de los parámetros establecidos, dado que se encuentran por debajo de los 400 μS/cm. Esto evidencia que el agua recuperada posee la condición bastante buena para consumo, según el parámetro de conductividad eléctrica.

Para el caso el valor de pH, éste es una cifra importante, dependiendo de su valor, determina si la muestra carece de nutrientes o presenta niveles de toxicidad. Se observa que el valor de pH del agua de proceso posee un valor muy cercano al nivel recomendado (6.52), pero el agua residual cuenta con un nivel de 6.22, lo cual no se aleja mucho del valor permitido. Sin embargo, la razón del por qué el agua recuperada es un poco más ácida, es debido a que, durante el proceso de enjuague de botellas, el agua que se deposita en el depósito posee un ligero arrastre de desinfectante oxonia en su composición que tiende a disminuir su valor de pH en un rango de entre 6 a 6.2.

A pesar de ésta deficiencia, considerando que el proceso purificador por ósmosis inversa también realiza la reducción del pH durante la extracción de minerales, se puede afirmar, que la inclusión del agua residual en dicho proceso no representa ningún peligro alguno en el sistema purificador, ya que su concentración de minerales es baja.

En lo que respecta a la Alcalinidad, su valor determina la capacidad del fluido en mantener del fluido en mantener un nivel constante de pH cuando este recibe soluciones ácidas. El agua residual obtuvo una cifra de 72.5 ppm/L (partes por millón por cada litro), que es menor al agua de proceso con 85,3 ppm/L. Debido a que ambas muestras de alcalinidad se encuentran por encima de 30 ppm/L y muy por debajo de los 200 ppm/L, se puede evidenciar que la consistencia de minerales presentes en el agua recuperada es adecuada, ya que no es tan baja como para ser propenso a la contaminación que reduce sus niveles de pH, ni tampoco presentan una cifra alta como para provocar percances de precipitación (cuerpos sólidos de carbonatos) en las tuberías.

La dureza total (presencia de carbonatos de calcio) del agua, los resultados obtenidos de las muestras, tanto del agua recuperada como el agua de proceso, obtuvieron resultados ligeramente similares al de alcalinidad. En el caso del agua residual o recuperada resultó tener una cifra de 80.2 mg/L de carbonatos de calcio, que es menor en comparación con el de producción (84.8 mg/L). Según lo reglamentado por el departamento de saneamiento, la dureza total del agua debe estar en rango de 250 a 400 mg/L, con un máximo permitido de 500 mg/L. Con base en este hecho, se puede decir que el resultado es favorable, ya que el valor obtenido del agua residual se encuentra por debajo de la concentración recomendada.

El STD indica cuantas partes por millón (ppm) de minerales como sodio, calcio, magnesio, sulfatos, iones inorgánicos, entre otros, se encuentran disueltas en el agua. El valor resultante de la muestra del agua recuperada es 121.2 ppm, en comparación con los 125.6 ppm del agua de proceso, ambas poseen cifras cercanas y según lo reglamentado, se encuentran muy por debajo tanto del límite recomendado, como el máximo permitido. Por lo tanto, se deduce que el agua recuperada tiene poca probabilidad de generar percances de calcificación (cuerpos formados a base de calcio) u oxidación en tuberías o tanques del sistema de recuperación de aguas residuales.

Por su parte, el análisis de los cloruros o cloro total resulta de suma importancia porque todas las fuentes de agua contienen este componente y se debe verificar su concentración dado a que puede perjudicar la salud. En éste caso, la muestra de agua recuperada presentó una concentración de 10 mg/L, que es menor a los 15 mg/L del agua de proceso. Según lo establecido por el departamento, el nivel de cloro no debe sobrepasar los 25 mg/L para ser admisible en el proceso purificador, ni mucho menos ser

superior a los 250 mg/L para no afectar la salud del consumidor. En vista a esto, la concentración de cloro presente en el agua residual es idóneo para ser sometido al proceso purificador, ya que se encuentre por debajo de la cifra permitida.

De acuerdo con el análisis realizado, se puede afirmar que las condiciones químicas de las aguas residuales provenientes de las líneas de enjuague de envases, presentan una composición relativamente aceptable para no solamente recuperación o almacenamiento, sino que también, cuenta con la disponibilidad de ser trasladada a un proceso de purificación de ósmosis inversa junto con el agua de proceso. Esto con el fin, de que se le otorgue al fluido la característica de reutilización como materia prima adicional que reduzca en gran medida el desperdicio del agua y contaminación generados por el sistema actual.

5.3.2 Escalado de datos en dispositivos de sensado

Una vez analizado los parámetros de las condiciones del agua que se pretende recuperar y almacenar, ya se cuenta con el conocimiento necesario para adaptar las funcionalidades de los dispositivos sensores a los requerimientos del prototipo a implementar, los cuales constituyen principalmente dos procedimientos: el escalado porcentual de los niveles de agua en los depósitos tanto de enjuague como el recuperador y del proceso purificador; así como la cifra de conductividad eléctrica que mide la calidad del agua presente en los contenedores de enjuague. Cada una de las partes que componen el proceso de escalado de sensores, se explicarán seguidamente.

5.3.2.1 Escalado a porcentajes de nivel de agua.

El proceso de escalado de nivel de agua, consiste en convertir las magnitudes analógicas o digitales de transductores en una cifra numérica equivalente de porcentajes de nivel, con tal que el operario o personal puede interpretar más fácilmente para el reconocimiento y verificación, de estados de operación de los tanques tanto en líneas de enjuague como el sistema recuperador y del proceso purificador.

- **Circuito sensor de nivel analógico**

Se iniciará con el escalado o mapeo del circuito sensor de nivel en los depósitos de agua residual de enjuague. Como se explicó anteriormente, dicho circuito consta de un driver amplificador y un convertidor DAC encargados de transferir cada activación de las sondas que entran en contacto con el agua, en una señal de voltaje analógico, que luego será leído en uno de los pines de lectura en la tarjeta Arduino.

Para llevar a cabo las pruebas, se debe contar con el hardware de circuito sensor de nivel conectado y energizado de manera adecuada a una fuente de poder externa (figura 43, sección 5.2.2.1), y comenzar las lecturas de voltaje mediante el uso de un multímetro digital, como se observa en la siguiente figura.

Figura 63: Hardware para el escalado del circuito sensor de nivel.



Fuente: Elaborado por el autor.

Como se puede apreciar, el circuito sensor requiere de un recipiente cilíndrico (previamente construido) donde se depositará en agua residual de enjuague en el prototipo, y, además en la parte superior del mismo se instala un conjunto de sondas de material conductor (acero inoxidable), para realizar la detección de los distintos niveles de agua, medidos durante las pruebas.

Se procede a llenar el depósito hasta que la última sonda de menor longitud (nivel máximo) entre en contacto con el agua. Se verifica que todo esté bien conectado y se enciende la fuente poder, luego se procede a introducir las sondas conductoras de manera pausada en el interior del tanque. Observar los cambios de voltaje en el multímetro y tomar los datos medidos conforme aumenten el número de sondas en contacto con el fluido. Los valores de voltaje medidos se observan en la siguiente tabla.

Tabla 7: Valores de voltaje obtenidos del circuito sensor de nivel.

Nivel	Voltaje
1	0,084
2	0,243
3	0,561
4	1,197
5	2,454
6	4,960

Fuente: Elaborado por el autor.

Al analizar la tabla, se observa que se tomaron seis muestras de voltaje debido a que el circuito sensor cuenta con sólo seis sondas de testeo de nivel. Esto significa, que, para determinar el equivalente porcentual de cada uno, se debe subdividir la capacidad del depósito en seis niveles de lectura, donde la última sonda (nivel máximo) represente un porcentaje del 100% y la primera corresponde a la sexta parte del mismo, es decir, un 16,67% aproximadamente. Al respetar dicha relación, se obtiene como resultado el desglose en la siguiente tabla.

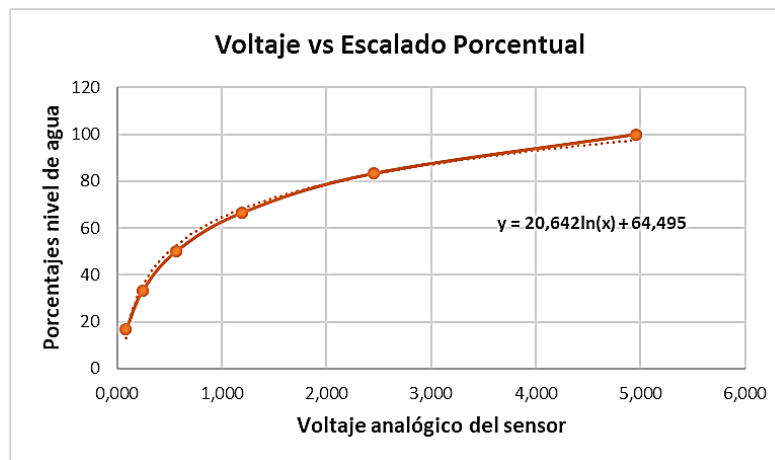
Tabla 8: Tabla de escalado porcentual del circuito sensor de *nivel*

Nivel	Voltaje	% equivalente
1	0,084	16,667
2	0,243	33,334
3	0,561	50
4	1,197	66,668
5	2,454	83,335
6	4,960	100

Fuente: Elaborado por el autor.

Para implementar el resultado del escalado dentro de la plataforma Labview, es necesario obtener la ecuación de la línea de tendencia entre el voltaje analógico y porcentaje de nivel. Para determinarlo, se optó por utilizar la herramienta que despliega el gráfico de dispersión de la función, generada en Microsoft Excel. En el Gráfico 1 se observa el comportamiento resultante junto con la ecuación de línea.

Gráfico 1: Voltaje analógico contra valor porcentual de Nivel.



Fuente: Elaborado por el autor.

Como se observa en el gráfico, la relación entre el voltaje y el porcentaje de nivel, tiende a ser un incremento proporcional de tipo logarítmico, lo cual, hace sentido, dado que las diferencias de voltaje entre cada nivel testeado son sumamente grandes con respecto a lo anterior y no necesariamente poseen un comportamiento a escala lineal. Además, tiende a aumentar en función al porcentaje de nivel (Eje Y).

- **Sensor de nivel ultrasónico HC-SR04**

Para el caso de la medición del nivel de agua en los tanques Recuperador y Purificador, se utiliza el sensor de distancia ultrasónico HC-SR04, ya que en ésta aplicación se requiere conocer con mayor precisión los porcentajes de nivel de ambos tanques, sin mencionar que el sensor ultrasónico posee un tamaño reducido y requiere menos hardware para implementarlo. Al realizar el escalado, es necesario colocar el sensor en la parte superior del tanque respectivo, se inserta a través de dos orificios de tal forma que los piezoeléctricos apunten en el interior del tanque hacia el fondo, como se observa en la siguiente figura.

Figura 64: Hardware para el escalado del sensor ultrasónico



Fuente: Elaborado por el autor.

Como se trata de un sensor de distancia que entrega pulsos digitales, es necesario ejecutar el código del IDE de Arduino mostrado en la siguiente figura 65, para determinar los valores de distancia durante la prueba.

Figura 65: Código de prueba para el escalado del sensor ultrasónico.

```

1 #define P_echo 4
2 #define P_trig 5
3 int duracion;
4 float distancia;
5
6 void setup() {
7   Serial.begin(9600); // inicializa el monitor serial
8   pinMode(P_echo,INPUT); // entrada del echo
9   pinMode(P_trig,OUTPUT); // Salida del disparo del sensor
10 }
11
12 void loop() {
13   digitalWrite(P_trig,LOW); //mantiene el terminal de disparo en nivel bajo por 2 microsegundos.
14   delayMicroseconds(2);
15   digitalWrite(P_trig,HIGH); //disparo del trig por 10 microseg (según la hoja de datos del sensor).
16   delayMicroseconds(10);
17   digitalWrite(P_trig,LOW); // el disparo se coloca nuevamente en nivel bajo.
18
19   duracion= pulseIn(P_echo,HIGH); //captura el pulso de duración generado por el terminal Echo.
20   distancia= ((duracion/2.0) /29.0) - 0.2; //ecuacion clásica para convertir el tiempo en distancia.
21
22   Serial.print(distancia, 2);
23   Serial.println(" cm.");
24   delay(300);
25 }

```

Fuente: Elaborado por el autor.

En primer lugar, se debe obtener el valor aproximado de distancia cuando el tanque está vacío y lleno. Al ejecutar el código, en monitor serial se observa una distancia media de 17.35 cm en tanque vacío, sin embargo, como el sensor solo es capaz de medir a partir de los 2.5 cm, entonces se le debe restar este valor a la distancia en vacío, lo cual se obtiene un valor de 14.85 cm. Al hacer esto se elimina el valor de offset del sensor, de tal forma que cuando el nivel de agua sea el máximo, el sensor detectará una distancia alrededor de los 2.5 cm.

Como se requiere obtener un equivalente porcentual de 0 a 100% sobre el nivel de llenado, se hace la división de la distancia total del contenedor vacío (con offset) entre 10, lo que resulta en 1.485 cm. Esto significa que, por cada 1.485 cm de distancia restados al total, representa un aumento del 10% en el nivel de agua. Para facilitar la comprensión, la siguiente tabla contiene los valores de nivel equivalentes en función a la distancia medida.

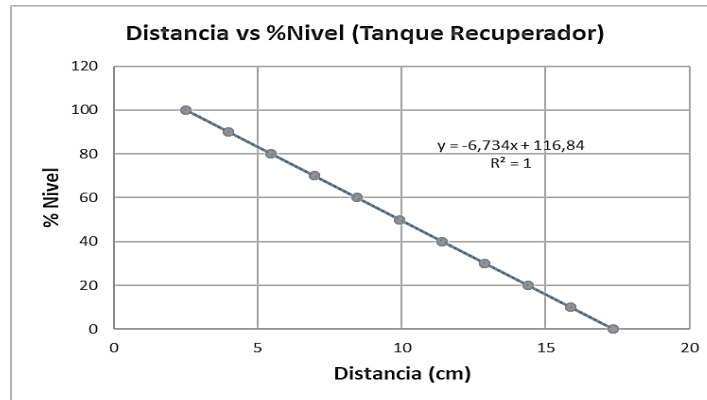
Tabla 9: Escalado de distancia medida y porcentaje de nivel Tanque Recuperador.

Distancia (cm)	% nivel
2,5	100
3,985	90
5,47	80
6,955	70
8,44	60
9,925	50
11,41	40
12,895	30
14,38	20
15,865	10
17,35	0

Fuente: Elaborado por el autor.

Para la implementación del sensor en Labview, la ecuación resultante se muestra en el siguiente gráfico. Como se logra apreciar la función obtenida es de tipo lineal, debido a que tanto las cifras de las variables de distancia como de porcentajes de nivel difieren de forma igualitaria por cada aumento o descenso de magnitud (diferencia de 1.485 en distancia y 10% en nivel). Además, el aumento de nivel posee una relación inversamente proporcional a la distancia medida.

Gráfico 2: Relación entre distancia medida y porcentaje de nivel de agua del Tanque Recuperador.



Fuente: Elaborado por el autor.

En lo que respecta al sensor de nivel ultrasónico para el tanque del proceso purificador, el procedimiento de cálculo de escalado es similar al del tanque recuperador. Sólo se requiere como parámetro la medida del tanque cuando está vacío. En éste caso, se cuenta con tanque de mayor longitud, de 24.53 cm, al quitar el offset, se obtiene un ajuste de distancia de 22.03 cm. Al dividir dicho resultado entre 10, equivale a 2.2 cm por cada 10% de incremento de nivel. La tabla corresponde a la siguiente.

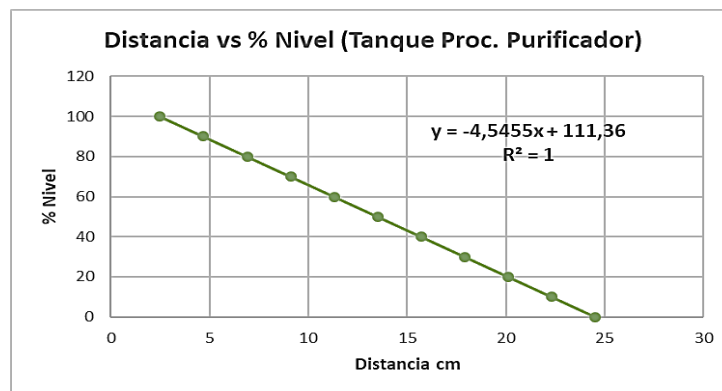
Tabla 10: Escalado de distancia y porcentaje de nivel Tanque Proc. Purificador.

Distancia (cm)	% nivel
2,5	100
4,7	90
6,9	80
9,1	70
11,3	60
13,5	50
15,7	40
17,9	30
20,1	20
22,3	10
24,5	0

Fuente: Elaborado por el autor.

En el gráfico 3, se observa que el comportamiento del escalado sigue siendo lineal, pero el cambio de altura del tanque modificó de manera notable la ecuación de la recta. Esto evidencia que el mapeo de distancia del sensor ultrasónico a valores de nivel de llenado o cualquier otro parámetro que mide cantidad de líquidos, depende de las dimensiones del contenedor o depósito implementado para tal fin.

Gráfico 3: Relación entre distancia medida y porcentaje de nivel de agua del Tanque Proc. Purificador.



Fuente: Elaborado por el autor.

5.3.2.2 Escalado a parámetros de conductividad eléctrica

De acuerdo con el análisis sobre la composición del agua de la sección 5.3.1, el parámetro que más influye, cuando se altera las condiciones físicas o químicas del agua, corresponde a el valor de conductividad eléctrica. Esto se debe a que, la conductividad se encuentra estrechamente relacionado tanto a los niveles de pH como la alcalinidad, dureza y STD; por ejemplo, si la conductividad tiende a incrementar en cierta situación, se traduce en un incremento de los compuestos inorgánicos disueltos en el fluido, lo cual, induce a una reducción de la acidez (líquido más alcalino) y, desde luego a una mayor acumulación de compuestos sólidos en la solución (STD).

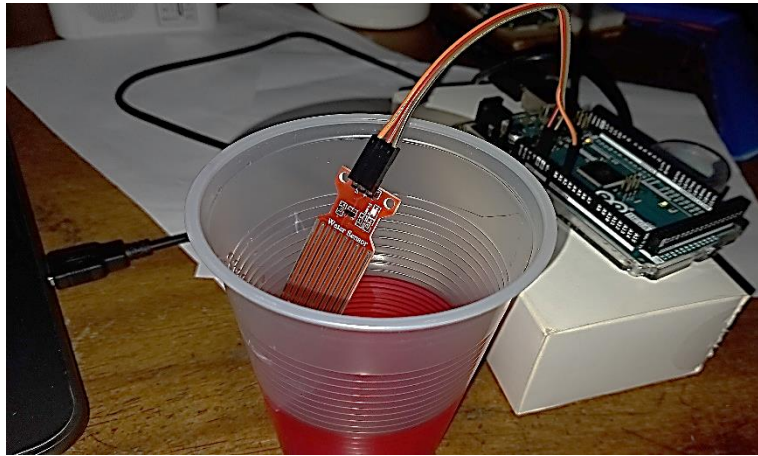
Aunque esto no necesariamente significa que la conductividad es el único parámetro capaz de establecer si un determinado fluido es apto para consumo o reutilización, si se puede afirmar que dicha medida es la que más se implementa, comúnmente, en numerosas plantas de producción de alimentos o bebidas, donde se requiere controlar la calidad de ciertos líquidos, con tal de que los cambios en la composición química del fluido no afecten de manera negativa otros procesos de producción.

Para cumplir con el objetivo de controlar la calidad de las aguas residuales provenientes de los depósitos en líneas de enjuague, en el prototipo, la conductividad eléctrica se determinará mediante la implementación del sensor detector de fluido. El valor de voltaje analógico de 0 a 5V entregado por el mismo debe ser escalado en un rango de conductividad de entre 20 a 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Sin embargo, debido a que en este caso no se puede establecer cifras en intervalos subdivididos como los casos de los sensores de nivel, el muestreo de datos se tiene que realizar mediante el método experimental. Esto significa que, el dispositivo debe energizarse y conectarse a la tarjeta Arduino, para luego, mediante un software de prueba, comenzar a interactuar con el sensor al introducirlo en una muestra de líquido para obtener los datos de voltaje analógico, que posteriormente, serán escalados dentro del rango de conductividad preestablecido.

Es importante asegurar que los valores de voltajes leídos por el sensor no se encuentren fuera de rango de la cifra de conductividad durante las mediciones. En la siguiente figura (figura 65), se muestra el armado del circuito de prueba.

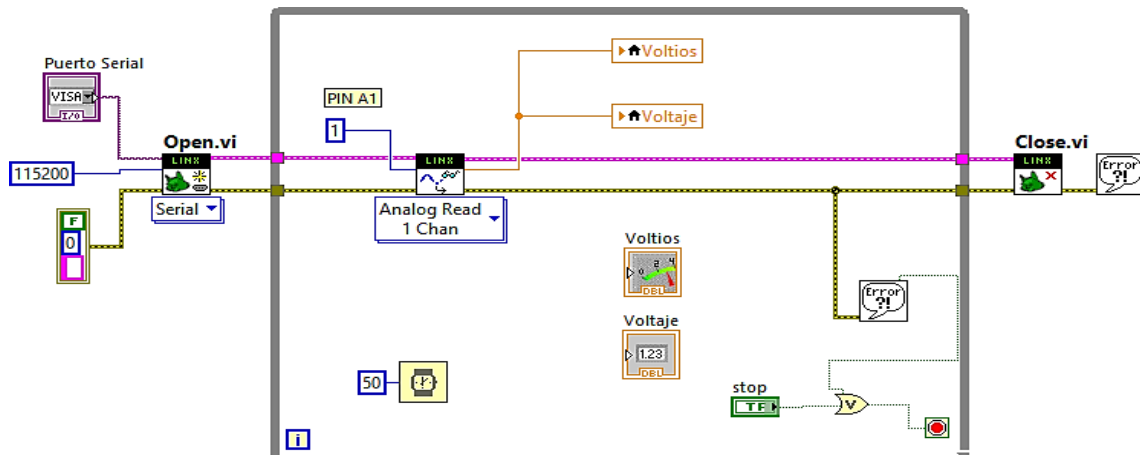
Figura 66: Circuito de prueba para escalado sensor de conductividad.



Fuente: Elaborado por el autor.

Como se trata de una lectura analógica de voltaje, el software de prueba del sensor se puede implementar a través del lenguaje gráfico de Labview. En la figura 67, se observa el diagrama de bloques necesario para capturar las lecturas del transductor implementado en el prototipo.

Figura 67: Software gráfico de prueba del sensor detector de conductividad.



Fuente: Elaborado por el autor.

Luego de realizar la recolección de datos de voltaje, se realiza el ajuste necesario para escalar la magnitud de tensión leída con su equivalencia dentro del rango de conductividad eléctrica. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de dicho proceso.

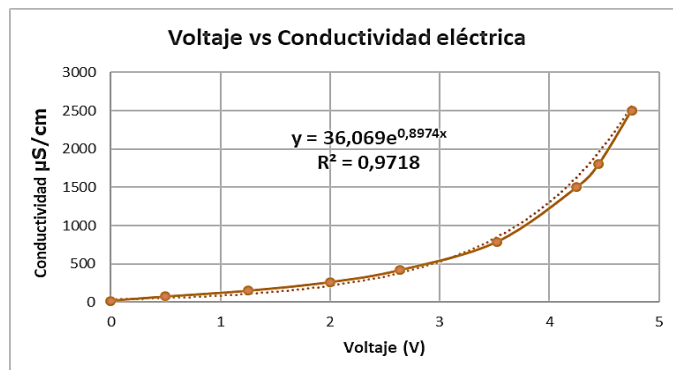
Tabla 11: Escalado de voltaje analógico a conductividad eléctrica.

Voltaje (V)	Conductividad (uS/cm)
0	20
0,5	75
1,25	150
2	262
2,64	420
3,52	786
4,25	1500
4,45	1800
4,75	2500

Fuente: Elaborado por el autor.

La ecuación resultante de los datos mostrados en la tabla anterior se observa en el Gráfico 4. Al inspeccionar la línea de tendencia, se puede deducir que la función generada es de tipo exponencial que, al contrario de la logarítmica, la gráfica tiende a subir de forma abrupta con el incremento del voltaje (Eje X).

Gráfico 4: Relación de voltaje medido ajustado a un escalado de conductividad eléctrica.



Fuente: Elaborado por el autor.

5.3.3 Implementación del prototipo

En el siguiente apartado se explicará cada aspecto lógico sobre el funcionamiento del dispositivo, donde según se planteó de manera gráfica en la figura 32, tanto el proceso de construcción como ejecución del proyecto se realizó de acuerdo a las distintas etapas de comunicación, sensado, control y monitoreo del sistema recuperador de aguas residuales de enjuague, con los cuales de una forma unificada componen la creación del dispositivo de control planteado.

Se debe mencionar, que el prototipo desarrollado se basa en la implementación real de un sistema de control a nivel industrial, de manera que todos los parámetros detectados por sensores y control de actuadores utilizados en el modelo, son capaces de interpretar las principales funcionalidades del proyecto a gran escala. Esto se hace, con el fin de fortalecer la credibilidad de la investigación realizada, de acuerdo a los requerimientos del sistema recuperador que se planeaba implementar en las instalaciones de la empresa Florida Bebidas S.A.

La puesta en marcha del prototipo comienza desde los depósitos de aguas residuales de enjuague ubicados en las líneas de producción 1 y 9. Al ejecutar la interfaz HMI mostrada en la figura 68, en el panel se debe accionar el botón indicador de activación del Tanque Recuperador al cambiar de estado inactivo (rojo) a estado de producción (verde), para habilitar el ingreso de agua residual hacia dicho tanque.

Al momento de que cualesquiera de las dos líneas de producción se encuentren activas (elaborando refrescos), los dispositivos de sensado de nivel de agua y conductividad eléctrica de la línea respectiva, comienzan a enviar datos de lectura al Arduino. A su vez

el depósito de enjuague correspondiente, empieza a recibir agua residual por medio de la activación de una electrobomba de entrada.

Conforme se llena el depósito, al momento de que el sensor de nivel interpreta un valor máximo, el microcontrolador desactiva de forma inmediata la bomba de entrada y activa la bomba de envío que traslada el agua hacia el Tanque Recuperador. Durante el traslado de dicha agua residual el depósito comienza a vaciarse y cuando el nivel se encuentre por debajo del mínimo ajustado, nuevamente se activa la bomba de entrada y se desactiva la de envío, para volver a llenar dicho depósito y reanudar el ciclo.

Desde la perspectiva del Tanque Recuperador, el solenoide de la válvula de entrada se abre para permitir el ingreso de las aguas residuales, cuando por lo menos una de las líneas de producción esté en estado de envío, de lo contrario restringe el paso del fluido hacia dicho tanque. El sensor ultrasónico incorporado en la parte superior, mide la distancia total entre el mismo y el agua contenida en el tanque, los pulsos digitales son leídos en las entradas de Arduino y a nivel de software son escalados a valores de porcentajes.

Cuando en nivel sobrepase un valor límite ajustado, el controlador genera una señal digital que activa simultáneamente la electrobomba y válvula de salida del tanque, para enviar el fluido hacia una tubería principal que transporta el agua hacia el proceso purificador de aguas. Durante el traslado del fluido, si el caudal de vaciado es mayor al de llenado, el nivel del TR (Tanque Recuperador) tiende a disminuir rápidamente hasta que alcance el límite inferior, en dicho evento, se tiene que desactivar la electrobomba

de salida para evitar funcionamiento al vacío del motor y esperar hasta que el tanque se llene nuevamente.

La fase final del proceso, se encuentra Tanque del Proceso Purificador. En su interior, tanto el agua recuperada (residual), como el agua de proceso recibirán un tratamiento por ósmosis inversa para cumplir con el objetivo de reutilización del fluido. Sin embargo, dicho ingreso de aguas residuales se tiene que condicionar, con tal de no afectar o dañar ciertos elementos del sistema purificador. Por tal razón, en el prototipo se utiliza otro sensor ultrasónico como indicador de estado de alarma, que avise al proceso recuperador el nivel de agua del depósito principal de tratamiento de aguas.

De acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior, para lograr aumentar la seguridad del sistema purificador, en el proceso recuperador implementa un protocolo encargado de deshabilitar la electrobomba y válvula de salida en el Tanque Recuperador, cuando el nivel de agua del Tanque Purificador se encuentre fuera del rango (70 a 95%). Dicho evento se visualiza también el panel de control HMI. De esta forma, se evita percances de desborde cuando el nivel se encuentre por encima del 95%, y, a su vez, situaciones inseguras de concentración de agua residual en el tanque, que suceden cuando el nivel agua de proceso (pozo) esté por debajo del 70%.

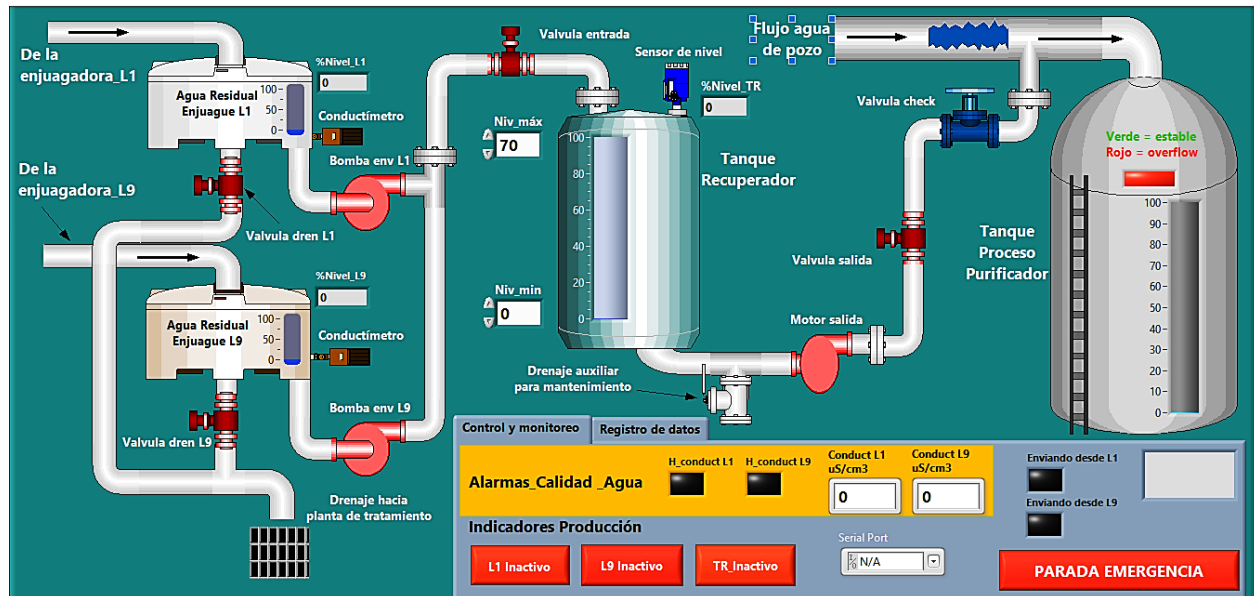
Otro aspecto fundamental que contribuye a mejorar la seguridad del sistema purificador, es el control de los niveles de conductividad del agua, que permiten mantener las condiciones químicas del fluido en cifras seguras para reutilización o consumo. Dicho control se realiza en los depósitos de enjuague ubicado en cada línea de producción; si durante la producción de refrescos, las láminas del sensor detectan altos valores de

conductividad (encima del límite permitido) en su respectivo depósito, el software enviará una señal de alarma al microcontrolador para deshabilitar la bomba de envío y accionar la válvula de drenaje en la parte inferior, para dirigir el fluido contaminante a otro proceso externo. El envío de agua se reanuda cuando la conductividad vuelva a estar en cifras normales.

Mediante la puesta en marcha del prototipo de control encargado de gestionar la calidad y recuperación de aguas residuales en procesos de enjuague de envases, utilizando la comunicación serial entre Arduino y la interfaz HMI, se obtuvo un monitoreo continuo de parámetros de medición de sensores y estados de actuadores, que aportan en mejorar tanto la comprensión del funcionamiento del sistema como el control sistemático de los elementos que constituyen dicho sistema, e interactúan con el usuario u operario del personal de mantenimiento en planta, al momento de indicar situaciones de alarma en eventos no deseados.

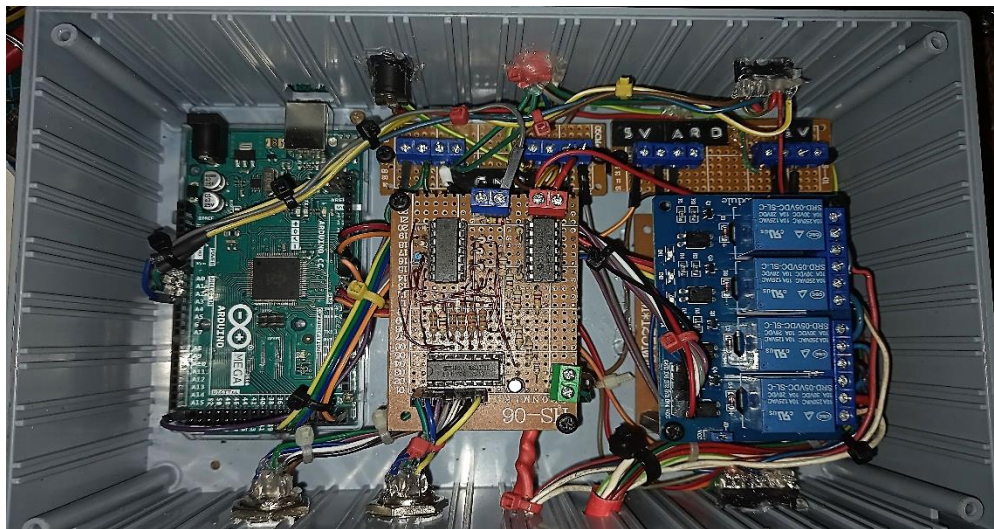
El montaje final del prototipo planteado, así como el diseño final de la interfaz HMI se pueden visualizar en las siguientes figuras.

Figura 68: Interfaz HMI implementado en el prototipo.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 69: Implementación del circuito de control del prototipo.



Fuente: Elaborado por el autor.

5.4 ANÁLISIS DE COSTOS

En la tabla 12, puede observarse el desglose de la inversión económica realizada para la compra de los elementos necesarios, para construir el prototipo del dispositivo de control. El cálculo realizado en dólares del día 15 de agosto del 2021, es referencia al Banco Central de Costa Rica.

Tabla 12: Análisis de costos de materiales en el prototipo.

Cant	Activo	Costo Unitario o por metro	Costo Total
1	Arduino Mega 2560	\$46,86	\$46,86
1	Fuente de poder DC	\$34,06	\$34,06
4	LED	\$0,32	\$1,29
2	Sensor de agua	\$1,61	\$3,21
2	Sensor ultrasónico HC-SR04	\$5,10	\$10,20
1	Módulo relés 4Ch	\$9,96	\$9,96
1	Módulo relés 8Ch	\$15,42	\$15,42
4	Electroválvula	\$2,97	\$11,89
5	Electrobomba	\$9,64	\$48,20
2	CI ULN2003	\$1,12	\$2,25
2	CI 74LS04	\$1,09	\$2,19
2	LM324N	\$0,48	\$0,96
4	Base de integrado 14 pines	\$0,32	\$1,29
2	Base de integrado 16 pines	\$0,40	\$0,80
2	Placa PCB universal 7x9 cm	\$1,21	\$2,41
25	Resistencias	\$0,02	\$0,57
6	Terminal 2 contactos	\$0,48	\$2,89
1	Terminal 40 pines macho	\$1,93	\$1,93
2	Cables tipo jumper	\$2,01	\$4,02
5	Cable para control 18 AWG	\$0,88	\$4,42
1,5	Tubo PVC 4"	\$3,78	\$5,66
1,5	Tubo PVC 3"	\$3,13	\$4,70
2	Tapones 4"	\$1,21	\$2,41
6	Tapones 3"	\$0,88	\$5,30
2	Manguera transparente de 1/8 "	\$2,41	\$4,82
2	Manguera transparente de 3/16 "	\$2,01	\$4,02
1	Base de maqueta	\$8,36	\$8,36
1	Alambre acero inox. 3mm	\$5,30	\$5,30
Total			\$245,40

Fuente: Elaborado por el autor.

De igual manera, en la tabla 13 se muestra la lista de equipos y materiales adicionales, necesarios para adaptar las funcionalidades de los dispositivos de control del sistema actual, a los requerimientos del sistema nuevo que se pretendía implementar a nivel de planta en las instalaciones de la empresa.

Tabla 13: Análisis de costos de materiales en la empresa.

Nota: Estos costos no aplican para el prototipo.

Cantidad	Activo	Precio unitario ó por metro	Costo Total
2	Conductímetro Endress + Hausser Smartec (SAP)	\$2.180,00	\$4.360,00
1	Cotizacion Tuberia desde tanque recuperador a Cilindroconicos	\$3.915,00	\$3.915,00
1	Cotizacion Conexión electrica desde Tanque recuperador a Cilindroconicos	\$390,63	\$390,63
2	Relé de dos contactos 24 VDC	\$17,85	\$35,70
400	Cable TSJ 5 x 16mm	\$0,75	\$300,00
Total			\$9.001,33

Fuente: Elaborado por el autor.

Seguidamente, se deben contemplar los gastos pertinentes al diseño y programación del dispositivo, los cuales para realizar el cálculo de cada monto se debe tomar en cuenta el costo por hora de acuerdo al monto establecido de horas profesionales, según lo que dicta el Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. En la siguiente tabla 14, se observa el costo para realizar la implementación del dispositivo.

Tabla 14: Costo de implementación del dispositivo.

Nota: No aplicados en el prototipo

Actividad	Costo por hora	Cantidad de horas	Total
Diseño del dispositivo	\$41,00 **	15	\$615,00
Programación del dispositivo	\$41,00 **	3	\$123,00
Construcción del dispositivo	\$41,00 **	40	\$1.640,00
Ejecución y pruebas	\$41,00 **	2	\$82,00
Total			\$2.460,00

Fuente: Elaborado por el autor.

*Nota (**): Horas profesionales según el colegio de Ingenieros y Arquitectos, de acuerdo al cálculo en dólares realizado el 16/8/2021.*

Una vez que se conoce el monto requerido de la inversión, tanto en la parte de los materiales, así como del diseño del dispositivo, se procede a realizar la siguiente tabla en la cual se muestra el monto total necesario, para llevar a cabo cada una de las etapas que gestionan el control y monitoreo del sistema recuperador de aguas residuales de enjuague de envases, en la empresa distribuidora Florida Bebidas S.A.

Tabla 15: Costo total del proyecto con dispositivos de la empresa.

Descripción	Costo
Costo de materiales	\$9.001,33
Costo de la implementación	\$2.460,00
Imprevistos 10%	\$1.146,13
Total	\$12.607,46

Fuente: Elaborado por el autor.

Por su parte con la implementación del prototipo basado en el microcontrolador Arduino, los costos totales resultantes, se observa en la siguiente tabla.

Tabla 16: Costo total del proyecto con dispositivos del prototipo.

Descripción	Costo
Costo de materiales	\$245,40
Costo de implementación	\$150,42
Imprevistos 10%	\$39,58
Total	\$435,40

Fuente: Elaborado por el autor.

Al establecer una comparación de funciones y capacidades de un control automático de recuperación de aguas residuales a nivel industrial, en la tabla 17 se observa un análisis de las distintas soluciones o alternativas tecnológicas que pueden solventar el problema planteado.

Tabla 17: Análisis de soluciones y costos del proyecto.

Fundamentos del dispositivo de control	Solución 1	Solución 2	Solución 3
	Arduino (prototipo)	Raspberry Pi 4	PLC's (empresa)
Nivel de programación	Bajo/Alto	Bajo/Alto	Alto
Manejo de periféricos	Extenso	Limitado	Limitado por modelo
Lectura digital	Si	Si	Si
Lectura analógica	Si	No, requiere módulos	Requiere rack de expansión
Control automático	Si	Si	Si
Instalación circuito de control	Ligeramente moderado	Moderado	Robusto
Instalación circuito de potencia	Moderado	Moderado	Robusto
Mantenimiento de dispositivos	Muy poco	Poco	Regular
Estandarización	No	N/A	Si
Nivel de aplicación	Específico a una tarea	Multitasking (registro de datos)	Exclusivamente industrial
Comunicación serial	Si	Si	Si
Entorno de desarrollo	Libre (open-source)	Por sistema operativo	Estándar por licencia
Preferencia en sistemas industriales	Pocas veces	Eventualmente implementado	Mayormente utilizado
Asesoramiento	Accesible	Accesible	Poco encontrado o especial
Nivel de confiabilidad (condiciones de media tensión)	Media	Media	Alta
Desarrollo de interfaz HMI	Ordenador o aplicación remota	Requiere pantalla táctil o monitor	Pantalla de computador industrial
Costo Total	\$435,40	\$740,20	\$12.607,46

Fuente: Elaborado por el autor.

La diferencia de costos entre el prototipo desarrollado con la tarjeta Arduino (\$435,00) o Raspberry PI (\$740,00) y el desarrollado con base a un controlador lógico programable (\$12.610,00) son bastantes exorbitantes. Sin embargo, estas diferencias tan significativas tienen su explicación.

En primer lugar, se tiene que considerar el hecho que la tarjeta Arduino, a pesar de ser un microcontrolador muy versátil con una gran capacidad de manejo de periféricos y un desarrollo de programación de software libre con una amplia gama asesoramiento para controlar sistemas automatizados; su principal desventaja es que no cuenta con la estandarización necesaria para ser aplicados de forma segura en sistemas industriales de alta demanda, lo que implica que el dispositivo no garantiza una larga duración de funcionamiento.

Esto significa, en otras palabras, que no dispone de alguna clase de certificación internacional que lo haga apta para ejercer su funcionamiento en determinadas aplicaciones de control industrial. Aunque esto no necesariamente significa, que Arduino sea incapaz ejercer la labor de controlar un proceso industrial, se puede afirmar que su implementación es limitada a pruebas en prototipos de menor escala, o bien, en sistemas de control de tareas muy específicas donde no se requiere demasiados elementos para gestionar un proceso.

Por su parte el Raspberry Pi 4, se trata de una tarjeta ordenadora, es decir, es un dispositivo descrito como un computador que dispone de un microprocesador que requiere de elementos externos de almacenamiento para administrar un sistema operativo previamente instalado, el cual, realiza la función de ejecutar múltiples tareas de ejecución de programas de interfaces de usuario, bases de datos, gestión de directorios, entre otros. A diferencia de Arduino, éste no cuenta con terminales de lectura analógica, por lo que, si la aplicación lo requiere, se tendría que conseguir módulos adicionales, o bien, establecer una comunicación con una tarjeta microcontroladora (como Arduino) para obtener dicha función, lo cual, involucra un costo adicional.

De acuerdo a los \$12.610,00 aproximados para implementar el proyecto con PLC's ofrece una aplicación más centrada a un ambiente robusto de control industrial. La marca reconocida de Allen Bradley utilizada en la mayoría de los procesos de producción en la planta Florida Bebidas S.A, ofrece la ventaja de tener más confiabilidad al ser un dispositivo estandarizado internacionalmente y diseñado para cumplir con ciertas características técnicas que garantizan una mayor durabilidad. Sin mencionar, que cuenta con un lenguaje de programación propio reconocido de forma estándar en sistemas de control automatizados.

Además, debido a que actualmente tanto el proceso de enjuague de envases en las líneas de producción 1 y 9, así como el panel de control del sistema recuperador son controlados mediante PLC's que operan de forma independiente, la implementación de un microcontrolador como Arduino junto con la tarjeta Raspberry Pi en dicho sistema automatizado no sería una opción adecuada; dado que al disponer en su mayoría de controladores lógicos, hace que sea más viable aprovechar las características de cada uno y adaptar sus funcionalidades internas a los requerimientos del proyecto implementado.

En síntesis, el microcontrolador Arduino se utilizó para desarrollar un prototipo basado en los principales aspectos de funcionamiento del sistema de control y monitoreo del proceso de recuperación de aguas residuales de enjuague de envases, como un medio que fomente la credibilidad y viabilidad necesaria para que la empresa Florida Bebidas decida implementar en sus instalaciones, al hacer uso de controladores lógicos programables aplicados bajo el mismo principio demostrado en el prototipo.

Anteriormente, cuando el sistema recuperador realizaba únicamente la tarea de recuperar las aguas residuales proveniente los procesos de enjuague, el agua almacenada en el tanque principal se utilizaba como un complemento de refrigerante en aparatos neumáticos o eléctricos. Sin embargo, la desactivación de dicho sistema provocó que absolutamente toda el agua residual generada se desperdiciara de manera desmedida, lo cual significa, que el fluido no tiene ninguna alternativa de reutilización.

Al implementar el proyecto, se procedió a determinar el beneficio que tendría en el sistema recuperador. Según los resultados obtenidos, la inclusión del nuevo sistema permite que se aproveche un determinado porcentaje del agua generado en los procesos de enjuague para otras aplicaciones a nivel de proceso, como una alternativa que beneficie la conservación de los recursos disponibles en la planta.

De acuerdo con la información proporcionada por la fábrica de refrescos Florida Bebidas, en la línea de producción 1 posee un caudal de envío de 5250 litros de agua por hora y en la línea de producción 9 se genera unos 7452 litros por hora, ya que éste último es capaz de enjuagar una mayor cantidad de botellas; con la implementación del proyecto, durante la producción de refrescos se puede aprovechar parte de las aguas residuales de enjuague, siendo recuperadas y reutilizadas mediante un proceso externo de purificación. En la siguiente tabla se puede observar la ganancia de ahorro de agua con el desarrollo del dispositivo de control.

Tabla 18: Análisis de ahorro de agua.

Línea en operación	Cantidad total de agua residual de enjuague (sin la implementación del dispositivo)	Cantidad total de agua residual Recuperada y reutilizada con la implementación del proyecto.	Pocentaje de ahorro
Línea 1	5250 Litros/hora	1848 Litros/hora	35,00%
Línea 9	7452 Litros/hora	2623 Litros/hora	35,00%
Ambas Líneas	12702 Litros/hora	4471 Litros/hora	35,00%

Fuente: Elaborado por el autor.

Aunque las aguas utilizadas en los procesos de enjuague de envases provienen de un manantial subterráneo que es propiedad de la empresa, esto significa que no tienen que adquirirlo mediante el pago de cierto servicio externo de otras organizaciones (Servicios Públicos); sin embargo, este hecho no quita que se obtenga un beneficio económico.

En el caso que los porcentajes de ahorro de agua adquiridos con la implementación del proyecto tengan un valor monetario, en la tabla 18 se muestra un desglose de la ganancia diaria y mensual que se adquiere con un 35% de ahorro de agua residual de enjuague, considerando que el costo del metro cúbico del agua es de ₡1500 a nivel empresarial (₡1.5 el litro ó \$0.0024 el litro), según la última actualización propuesta por la ARESEP (Rigen a partir del 01/072021 al 30/09/2021), y, al considerar que, cada una de las líneas

de producción opera en promedio 21 horas diarias distribuidas en 22 días hábiles por mes, se obtiene los resultados en la siguiente tabla.

Tabla 19: Análisis de costo-beneficio.

Cantidad de agua ahorrada litros/hora	Costo del agua por litro	Ganancia diaria	Ganancia mensual	Tiempo para recuperar inversión
1848 (Línea 1)	\$0,0024	\$93,14	\$2.049,06	6 meses
2623 (Línea 9)	\$0,0024	\$132,20	\$2.908,38	4,5 meses
4471 (Ambas)	\$0,0024	\$225,34	\$4.957,44	2,5 meses

Fuente: Elaborado por el autor.

Por lo anteriormente expuesto, queda evidenciado que desde el punto de vista económico la implementación del proyecto en la empresa, se considera completamente viable y es evidente la necesidad de ciertos elementos adicionales de aplicación industrial que aumentan los costos del proyecto (mediante PLC's); dicho impedimento no es un obstáculo; esto implica que si se toma como referencia el agua residual ahorrada en la línea de producción 1 se tendría una ganancia de \$2049 mensuales, el cual hace que la inversión sea recuperable en 6 meses.

Otro aspecto de beneficio que se debe tomar en cuenta, es que el dispositivo desarrollado ofrece una contribución positiva a nivel de marca que favorece la reputación de la empresa. Debido a que en la actualidad varias industrias alimentarias buscan estrategias de negocio que reflejen su compromiso de sostenibilidad, esto hace que inviertan en tecnologías o prácticas que ayuden a regular sus actividades integrales hacia un enfoque de conservar sus recursos y asegurar un mejor aprovechamiento de los mismos.

Por tal motivo, la implementación del nuevo sistema puede traer beneficios a la empresa Florida Bebidas S.A, tales como: reducción de gastos ligados con minimización de desechos generados por el desperdicio de recursos (como el agua y la electricidad), ofrecer una mayor oportunidad de negocio con la aplicación del proyecto como alternativa para la conservación de los recursos naturales y además, puede atraer nuevos inversores interesados en organizaciones ecológicas y sostenibles, trayendo consigo beneficios económicos hacia la empresa.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Mediante la recolección de información realizada pertinente a las características e irregularidades con la que cuenta el sistema recuperador de aguas residuales en líneas de producción de enjuague, para lo cual se emplearon métodos de observación y entrevista sobre las condiciones del proceso, fue posible conocer los aspectos operativos de esta, para sí determinar las características del procedimiento actual; a la vez que se definieron los puntos débiles del sistema; donde se demostró la necesidad de la empresa de implementar un dispositivo de control y monitoreo que gestione la calidad de los fluidos residuales de enjuague que garantice un correcto aprovechamiento de los mismos.
- Se determinaron los diferentes tipos de parámetros físicos y químicos más utilizados para la realización de los protocolos de análisis sobre la composición del agua recuperada y su comparativa con el agua de proceso, los cuales, mediante la aplicación del método experimental, se logró plantear las principales medidas necesarias que ejercen la función de controlar la calidad del agua que se almacena; con el fin de identificar el parámetro el que más influye sobre el control de calidad del fluido recuperado.
- Se estableció que el parámetro de medición adecuado para llevar a cabo el control de calidad de las aguas residuales, corresponde a la conductividad eléctrica; debido a que dicho parámetro se relaciona de forma directa o inversa tanto la cantidad de soluciones disueltas (STD) como en los niveles de base o acidez del agua (pH); sin mencionar, que se considera de mayor implementación en las industrias alimentarias

para ejercer el control de calidad de sus productos, por lo también se afirma como una medida estandarizada con certificación internacional.

- Se desarrolló el software de programación referente a las mediciones que controlan tanto el proceso de recuperación como la calidad del agua de enjuague implementados en el prototipo; mediante el uso de las plataformas Arduino y Labview, lográndose crear un sistema de control automático monitoreado a través de una interfaz HMI, que realice la función de gestionar el proceso concreto de recuperar, almacenar y reutilizar las aguas residuales de enjuague, cuyo principio de funcionamiento se aplica para una implementación a mayor escala de control industrial.
- Se efectuó un análisis de costo-beneficio que conlleva a desarrollar un sistema electrónico de control y monitoreo del proceso de recuperación de aguas residuales de enjuague, aplicadas a las líneas de producción 1 y 9 en la empresa Florida Bebidas S.A, para lo cual se determinó que es más rentable implementar el proyecto mediante el uso de materiales y equipo estándar de control industrial puesto que es lo que más dispone el sistema recuperador actualmente, lo que ayuda en gran parte a disminuir costos; además junto con los pocos materiales adicionales que requiere el proyecto nuevo, permiten una mejora en el aprovechamiento de los recursos y una disminución en los gastos provocados por la ineficiencia del proceso anterior.

6.2 RECOMENDACIONES

- Dentro de los alcances del proyecto se centra exclusivamente en recuperar y reutilizar las aguas residuales de enjuague provenientes de dos líneas de producción de refrescos (Línea 1 y Línea 9), por tanto, se puede expandir las capacidades del sistema hacia otros procesos de producción distribuidos en planta, para poder aprovechar otros recursos y mejorar el rendimiento del proceso recuperador.
- Para la realización de futuros proyectos que involucre un proceso para reutilizar aguas residuales en líneas de producción, se recomienda realizar un análisis que determine la cantidad de metros cúbicos totales para obtener un valor promedio de la capacidad de agua que deba almacenar el depósito, tal caso sería si se requiere aprovechar una mayor cantidad de agua en más sectores de producción, así como agregar otros dispositivos de sensado para mantener su control de calidad.
- De igual forma, para una eventual recuperación de las aguas residuales en otras líneas de producción, sería en primer lugar verificar que las demás líneas de producción cuenten con los módulos de comunicación necesarios para formar parte del protocolo de mensajería con el sistema recuperador, y, en segundo lugar, los que no disponen de dichos módulos, evaluar si requieren uno de acuerdo a las condiciones del sistema recuperador.
- Otro aspecto importante a considerar en el dispositivo de control es la inclusión de la función de ventanas emergentes que contienen subprogramas que informen al operario las condiciones de operación de las demás líneas de producción, como un punto a favor de mejorar la representación e interacción con la interfaz HMI.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias Bibliográficas

Referencias obtenidas de libros:

- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. 6ta. Edición (6ta ed). Caracas: Editorial Episteme.
- CERDA, Hugo (2000). Los elementos de la investigación. Cómo reconocerlos, diseñarlos y construirlos. Bogotá: Editorial El Búho.
- Crittenden, John C. (2012). MHW's Water Treatment Principles and Design. 3 ed. MHW Editorial. p 1335-1343.
- Muñoz, C. (2011). Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis (2da ed). México DF: Prentice Hall.
- Niño, V. M. (2011). Metodología de la Investigación Diseño y ejecución. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Pérez, F. E. V., & Areny, R. P. (2007). Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC. Barcelona: Marcombo.
- R. J. Tocci, N. Widmer, G. L. Moss (2007). Sistemas Digitales Principios y Aplicaciones. Décima Edición. Editorial Pearson Prentice Hall.
- Sampieri, R. H. (2014). Metodología de la investigación (6ta ed). México: McGraw-Hill.
- Serrano, A. (2010). Neumática práctica. Madrid: Editorial Paraninfo.
- Tamayo, M. T. (2003). El proceso de la investigación científica. México DF: Limusa S.A.
- Vallejo H.D. (octubre-noviembre 2012). PLC y Autómatas Programables. *Revista Club Saber Electrónica No.91. Editorial Quarks*, p. 3-4

Referencias obtenidas de internet

- Arduino. (2017). *Arduino Mega 2560 Rev3*. Recuperado el 14 de julio del 2021, a partir de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>.
- Costa Rica (2015): *Florida Bebidas obtiene marca país*. IDP Revista de Internet. Summa. Recuperado el 16 de junio del 2021, de <https://revistasumma.com/costa-rica-florida-bebidas-obtiene-marca-pais/>
- Estrada Marmolejo, R (2019). *Puerto Serial Protocolo – Teorías*. Recuperado el 2 de junio del 2021 a partir de: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/puerto-serial/>
- Murphy, S. (23 de abril 2007). *Información general sobre sólidos*. Ciudad Boulder USGS Monitoreo de calidad del agua. Recuperado de <http://bcn.boulder.co.us/basin/data/NEW/info/TDS.html>
- National Instruments. (2016). *National Instruments Corporation*. Obtenido de National Instruments Corporation: [http:// https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html](http://https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html)
- Centro de Formación Técnica para la Industria (2017). *¿Qué es el protocolo Ethernet Industrial?* Recuperado de <https://www.cursosaula21.com/que-es-ethernet-industrial/>
- Romero, V. (8 de noviembre 2018). *¿Por qué es importante la sostenibilidad empresarial?* IDP. Revista de internet, Ruiz-Healy Times. Recuperado el 20 de junio del 2021, a partir de <https://www.ruizhealytimes.com/economia-y-negocios/por-que-es-importante-la-sostenibilidad-empresarial>
- Thanna, M.K (3 de septiembre 2020). *¿Por qué es importante medir la alcalinidad del agua?* Recuperado en el artículo de la página: <https://hannainst.com.mx/boletines/por-que-medir-la-alcalinidad-en-el-agua-potable/>

- Trancoso, J. (2016). Contactores y Relés. Recuperado de:
<https://pydtecnico.jimdofree.com/instalaciones/contactores-y-reles/>

GLOSARIO

Código: conjunto de instrucciones que hace en un sistema determinado pueda desarrollar un acumulado organizado de datos (Información) y ejecución de programas.

Control electrónico: Sistema electrónico capaz de medir y controlar procesos determinados.

Hidrostática: condición física en sistema hidráulicos relacionada a los fluidos cuando se encuentran en estado de reposo.

Módulo: en programación, consiste en el acto de utilizar un conjunto de bloques o herramientas para reducir un problema grande en otros más pequeños y resolverlos uno a uno con el fin alcanzar un objetivo específico

Ósmosis Inversa: Proceso purificador que consiste en la extracción de minerales de un líquido a través de una membrana especial, con tal de reducir su concentración, para utilizarlo como recurso en la elaboración de productos en procesos de producción.

Programación: en ingeniería, es el uso de lenguajes informáticos para imprimir en un sistema computacional funciones y procesos deseados.

Sistema Recuperador: Sistema encargado de rescatar y almacenar ciertos materiales de composición similar, provenientes de algún proceso o zona designada.

Transductor: Dispositivo sensor encargado de convertir una magnitud física determinada, en señales o variables eléctricas.

Ultrasónico: señal de sonido cuya frecuencia se encuentra por encima del umbral de adición del oído humano.

ANEXO

Lista de anexos

En el CD se encuentra una carpeta llamada “Anexos” en la cual pueden ser localizados los documentos de apoyo utilizados para el desarrollo de esta investigación.

01. Manual de usuario PLC_SLC500. pdf
02. Terminales Panel View Plus 700. pdf
03. Atmega 2560. pdf
04. Checklist observación. pdf
05. Entrevista cuestionario. pdf
06. ULN2003. pdf
07. HC-SR04. pdf
08. K-0135. pdf
09. Cronograma de diseño de la investigación. Mpp
010. Código Fuente del prototipo.