



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO MÓDULO DE
CONEXIÓN ENTRE UN SIMULADOR VIRTUAL DE PROCESOS
INDUSTRIALES Y UN PROGRAMADOR LÓGICO CONTROLABLE EN
EL LABORATORIO DE PLC DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS
ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.**

AUTOR: GÓMEZ ESPÍN, ADRIÁN FERNANDO

DIRECTOR: ING. FREIRE LLERENA, WASHINGTON RODRIGO

LATACUNGA

2019



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO MÓDULO DE CONEXIÓN ENTRE UN SIMULADOR VIRTUAL DE PROCESOS INDUSTRIALES Y UN PROGRAMADOR LÓGICO CONTROLABLE EN EL LABORATORIO DE PLC DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.”*** fue realizado por el señor **Gómez Espín, Adrián Fernando** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 07 de febrero del 2019



Ing. Freire Llerena Washington Rodrigo

C.C.: 1801910884





**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Gómez Espín, Adrián Fernando**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación ***“Diseño e implementación de un prototipo módulo de conexión entre un simulador virtual de procesos industriales y un programador lógico controlable en el Laboratorio de PLC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.”*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 07 de febrero del 2019

A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal line. The signature is cursive and appears to read 'Gómez Espín Adrián Fernando'.

Gómez Espín Adrián Fernando

C.C.: 0503138455



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Gómez Espín, Adrián Fernando** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**Diseño e Implementación de un prototipo módulo de conexión entre un simulador virtual de procesos industriales y un programador lógico controlable en el laboratorio de PLC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 07 de febrero del 2019

Gómez Espín Adrián Fernando

C.C.: 0503138455



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación es dedicado primeramente a Dios y a la Virgencita del Quince por permitirme estar vivo y bendecirme día a día para poder cumplir con este objetivo.

A mis padres Francisco G. y Estela E. por su apoyo incondicional, que a pesar de los obstáculos y adversidades que se presentaron durante este proceso nunca dejaron de confiar en mí y me enseñaron que con esfuerzo, dedicación y sacrificio todo lo planteado es posible.

A mi hermano Genaro por sus consejos y tiempo dedicado, por enseñarme que un tropezón no es caída.

Adrián Fernando



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Washington Freire por ser un excelente profesional y un magnifico ser humano, por todos los consejos brindados, por al apoyo permanente y por la oportunidad que me brindó para poder culminar esta etapa de mi vida.

Al Ing. Freddy Salazar por brindarme la ayuda necesaria cuando siempre lo requería y ser guía para que este proyecto se lleve a cabo.

A aquellas personas docentes, amigos y conocidos que fueron parte de esta transición y nunca dejaron de creer en mí, por su apoyo y por su tiempo entregado gratitud eterna.

A Francisco y Estela que a pesar de no tenerlos juntos me dejaron la mejor herencia, la educación.

Adrián Fernando

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Justificación e importancia	2

1.4.	Objetivos	3
1.4.1.	Objetivo General.....	3
1.4.2.	Objetivos Específicos	3

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes Investigativos.....	4
2.2.	Fundamentación teórica	4
2.2.1.	Antecedentes de la investigación	5
2.3.	Fundamentación Conceptual.....	7
2.3.1.	Procesos Industriales.	7
a)	Procesos autorregulados	8
b)	Procesos no autorregulados.....	8
2.3.2.	Procesos industriales reales, implementación física.....	8
a)	Tipos de procesos industriales con implementación física	9
2.3.3.	Sistemas Híbridos para procesos Industriales.....	10
a)	Enfoque en el modelado y análisis de sistemas híbridos	11
2.3.4.	Simulación de sistemas para procesos industriales	12
a)	Tipos de Simulación	13

b)	Ventajas de la simulación.....	14
c)	Simulación de procesos en la industria	15
2.3.5.	Software de simulación para procesos industriales	24
a)	Tipos de Software para la Simulación	25
b)	Software de simulacion utilizados con más frecuencia	26
2.3.6.	Tarjeta de adquisición de datos	27
a)	Tipos de adquisición de datos	28
b)	Tipos de tarjetas de adquisición de datos	30
2.3.7.	Acondicionamientos de señales	32
2.3.8.	Controlador Lógico Programable (PLC).....	34
2.4.	Fundamentación Legal	36
2.5.	Sistemas de variables	37
2.6.	Hipótesis.....	38
2.7.	Cuadro de operacionalización de variables.....	38

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.	Modalidad de Investigación	41
3.2.	Tipos de Investigación.....	42

3.2.1.	Investigación Exploratoria.....	42
3.2.2.	Investigación Descriptiva	42
3.3.	Diseño de la investigación.....	43
3.4.	Niveles de Investigación.....	43
3.4.1.	Investigación Experimental.....	43
3.4.2.	Investigación Cuantitativa	44
3.5.	Población y muestra.....	44
3.5.1.	Población.....	44
3.5.2.	Muestra.....	44
3.6.	Técnicas de recolección de datos	45
3.6.1.	Observación Experimental.....	45
3.7.	Instrumentos.....	47
3.8.	Técnicas de comprobación de hipótesis	47

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.	Análisis de resultados de la investigación	48
4.1.1.	Enfoques y Análisis de Sistemas Híbridos	49

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1.	Tema de la propuesta	52
5.2.	Datos Informativos	52
5.2.1.	Beneficiarios	52
5.3.	Objetivos	52
5.3.1.	Objetivo General.....	52
5.3.2.	Objetivos Específicos	53
5.4.	Antecedentes de la propuesta.....	53
5.5.	Justificación de la propuesta	54
5.6.	Fundamentación de la propuesta	54
5.7.	Diseño de la propuesta	54
5.7.1.	Resumen	54
5.7.2.	Arquitectura de la propuesta.....	55
5.8.	Criterios de selección de circuitos eléctricos	55
5.8.1.	Circuito de acondicionamiento PLC - ARDUINO	55
5.8.2.	Circuito de acondicionamiento ARDUINO – PLC	60
5.9.	Enlace del Software LabVIEW y Arduino.	64
5.10.	Programación de la tarjeta Arduino.	69

5.10.1.	Selección de la tarjeta electrónica programable Arduino.....	70
5.10.2.	Programación en código abierto para Arduino DUE	70
5.11.	Diseño HMI en el Software LabVIEW de procesos industriales.	72
5.11.1.	HMI de los procesos diseñados.....	72
5.11.2.	Simulación de los procesos diseñados.....	73
a)	Simulación de la planta de Nivel	73
5.12.	Diseño del HMI del menú principal.....	75
5.13.	Análisis de resultados	79
5.13.1.	Tiempo de conexión	79
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES	87
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
	ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Interpretación de entidades	12
Tabla 2 Etapas para la simulación de procesos	17
Tabla 3 Operacionalización de la variable independiente.....	39
Tabla 4 Operacionalización de la variable dependiente	40
Tabla 5 Datos técnicos de una planta física de procesos industriales.....	45
Tabla 6 Parámetros en un sistema híbrido de procesos industriales.....	49
Tabla 7 Características técnicas entre Arduino DUE y Arduino MEGA	70
Tabla 8 Variables de ingeniería escaladas (0 – 100 %) (0 – 10 V).....	80
Tabla 9 Valores medidos y calculados a 50 por ciento.....	82
Tabla 10 Valores medidos y calculados a 70 por ciento.....	83
Tabla 11 Valores medidos y calculados a 80 por ciento.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mezclado de dos sustancias químicas.	11
Figura 2 Curva de un sistema en evento discreto.	13
Figura 3 Evolución de un sistema continuo.	13
Figura 4 Diagrama en LabVIEW del proceso de fabricación de papel Kraft.....	25
Figura 5 Partes de un sistema DAQ.....	27
Figura 6 Sistema de conexión Wireless (Termocupla).....	28
Figura 7 Sistema de adquisición de datos con puerto en serie.	29
Figura 8 Módulo de adquisición de datos con Puerto USB, OMB-DAQ-3000. .	29
Figura 9 Registrador de datos, para humedad y temperatura.....	30
Figura 10 Tarjeta de adquisición de datos con entradas y salidas digitales.....	31
Figura 11 Tarjeta de adquisición de datos con entradas y salidas análogas ...	32
Figura 12 Arquitectura Básica de un Sistema de Adquisición de Datos.....	34
Figura 13 Diagrama generalizado de un PLC.....	34
Figura 14 Partes constitutivas externas de un PLC generalizado.	36
Figura 15 Estructura Interna de un PLC.....	36
Figura 16 Estructura y elementos del sistema implementado.	55
Figura 17 Diag. De volt. del circuito de acondicionamiento PLC - Arduino.	56
Figura 18 Circuito de acondicionamiento PLC - ARDUINO.....	57
Figura 19 Circuito inversor de voltaje con ganancia 1.....	58
Figura 20 Circuito seguidor de voltaje.....	58
Figura 21 Circuito de protección y filtro pasabajo de ingreso al Arduino.....	59

Figura 22	Diad. de volt. del circuito de acondicionamiento Arduino –PLC	60
Figura 23	Circuito Inversor para el circuito acondicionador Arduino – PLC	61
Figura 24	Conexión a Vcc positivo del circuito inversor	62
Figura 25	Circuito de acondicionamiento Arduino – PLC.....	63
Figura 26	Circuito de protección y filtro pasabajo de ingreso al PLC.	64
Figura 27	Creación de un nuevo ModBus y asignación de un nuevo canal.	65
Figura 28	Selección del protocolo de comunicación en KepServer EX 5.....	66
Figura 29	Configuración del protocolo de conexión ModBus RTU	66
Figura 30	Creación de un nuevo dispositivo de conexión (Arduino).....	67
Figura 31	Identificador esclavo del dispositivo creado (Arduino).....	67
Figura 32	Asignación de Tag's para la conexión LabVIEW – ARDUINO	68
Figura 33	Propiedades de las Tag's creadas.	68
Figura 34	Ingreso al icono de verificación Quik Client	69
Figura 35	Verificación de la conexión de las Tag's con Arduino.	69
Figura 36	Importación y gestión de librerías de Arduino	71
Figura 37	Explorador de librerías de Arduino	71
Figura 38	HMI de los Procesos de Presión y Caudal.	73
Figura 39	HMI del proceso de una planta de nivel.	74
Figura 40	Programación en diagramas de bloques del VI proceso de nivel.....	75
Figura 41	Diagrama del flujo del HMI del sistema simulado.....	76
Figura 42	Ventana de selección de eventos a efectuar “Event Structure”	77
Figura 43	Ventanas de eventos específicos “Value Change”	78
Figura 44	Icono “Open VI Reference” del VI del proceso simulado.....	78

Figura 45 Ventanas de partida y retroceso del menú.....	79
Figura 46 Ondas de variables generadas en tiempos no estimados.....	80
Figura 47 Valores calculados en la simulación a un CV 50%.....	81
Figura 48 Valores medidos en el prototipo	81
Figura 49 Valores calculados en la simulación a un CV 70 %	83
Figura 50 Valores calculados en la simulación a un CV 80 %.....	83

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo de titulación consistió en vincular un software de simulación de procesos LabVIEW y una tarjeta electrónica programable Arduino mediante un protocolo de comunicación ModBus creada en KepServer, esta interacción de Software y Hardware requirió de variables de I/O análogas y digitales que fueron manipuladas para el control y monitoreo de procesos industriales simulados mediante HMI y programados en diagramas de bloques en el software LabVIEW, el ente físico para la conexión fue el diseño e implementación de circuitos eléctricos que permitieron acceder a los voltajes deseados de variables análogas en el Arduino y PLC, como circuitos de acondicionamiento, inversores de voltaje, seguidores de voltaje y circuitos de protección, al unir dichos circuito se obtuvo el prototipo de conexión el cual servirá para la verificación de la programación del PLC indistintamente de que clase o tipo sea éste, para la vinculación de los elementos solo se trabajará con señales de voltaje de entrada al PLC de 0 a 10 V las señales de entrada digitales al PLC son tipo sourcing pues generan voltaje, las Tag's utilizadas fueron creadas en el OPC ModBus , y las variables de control, proceso y SetPoint pueden ser monitoreadas en la simulación y medidas en las salidas indicadas en el circuito incorporado.

PALABRAS CLAVES:

- **PROTOTIPO DE CONEXIÓN**
- **PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN**
- **VARIABLES ANÁLOGAS Y DIGITALES**
- **PROCESOS INDUSTRIALES**

ABSTRACT

The development of this project consisted of linking a LabVIEW process simulation software and an Arduino programmable electronic card through a ModBus communication protocol created in KepServer, this Software and Hardware interaction required analog and digital I / O variables that were manipulated for the control and monitoring of industrial processes simulated by HMI and programmed in block diagrams in the LabVIEW simulation software, the physical entity for the connection was the design and implementation of electrical circuits that allowed access to the desired voltages of analogous variables in the Arduino and PLC, as conditioning circuits, voltage inverters, voltage trackers and protection circuits, when these circuits were joined, the connection prototype was obtained which will serve to verify the programming of the PLC, regardless of which class or type this is. , for the linking of the elements only tr it will lower with input voltage signals to the PLC from 0 to 10 V the digital input signals to the PLC are sourcing type because they generate voltage, the Tag's used were created in the OPC ModBus, and the control variables, process and SetPoint can be monitored in the simulation and measurements in the outputs indicated in the incorporated circuit.

KEYWORDS:

- **PROTECTION OF CONNECTION**
- **COMMUNICATION PROTOCOL**
- **ANALOGUE AND DIGITAL VARIABLES**
- **INDUSTRIAL PROCESSES**

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

A nivel global se usan equipos virtuales de apoyo para docencia, los cuales mejoran la comprensión de quienes utilizan dichos equipos, aquellos conllevan programas de modelación y simulación como herramienta de análisis para solucionar problemas de ingeniería, los cuales también benefician y ahorran costos, en el desarrollo de prototipos y en el tiempo de la elaboración de procesos.

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga el laboratorio de PLC posee módulos didácticos donde se realiza prácticas de procesos industriales mediante controles neumáticos, hidráulicos o programables, son útiles pero en una cantidad mínima para la demanda de estudiantes que lo utilizan, se ha llegado a casos que los manipuladores deben turnarse para realizar prácticas o experimentos con un limitante de tiempo, llegando a no desarrollar capacidades necesarias y suficientes para la programación del control con PLC.

1.2. Antecedentes

El laboratorio de PLC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga dispone de módulos para la elaboración de procesos industriales que abarca métodos de control neumático e hidráulico utilizados en prácticas y/o experimentos, también para procesos que necesitan el uso de Controladores Programables Lógicos para su ejecución; igualmente existen otros dos módulos para control de prácticas

básicas que se implementan en el desarrollo de la asignatura de Control Neumático y PLC.

Sin embargo, la cantidad de equipos no satisface con la carga horaria que tiene el laboratorio, debido a la demanda de prácticas que los estudiantes buscan realizar ya sea por abordar o solucionar problemas de procesos industriales para la adquisición de conocimientos o resolución de algún problema. Estos módulos previamente se desarrollaron en Proyectos de titulación de Ingeniería Electromecánica.

1.3. Justificación e importancia

Cualquier entidad que realice procesos industriales posee una simulación del mismo el cual permite identificar factores, variables y condiciones que pueden influir en su funcionamiento real, el laboratorio de PLC de la Universidad de las fuerzas Armadas Espe extensión Latacunga, requiere de un prototipo módulo de conexión entre simulador y PLC, que brinde la capacidad de analizar, detallar, optimizar y manipular individualmente al estudiante para que pueda realizar prácticas de cualquier proceso que sea solicitado.

La implementación de un prototipo de módulo de conexión entre un simulador virtual de procesos industriales y un PLC, beneficiará de manera íntegra a estudiantes en el desarrollo y uso de prototipos para el laboratorio mejorando la calidad de aprendizaje, aclara el entendimiento de cómo opera el sistema, disminuye costos asociados con la experimentación en el sistema real y disminuye el riesgo de error en sistemas que se vayan a practicar en el laboratorio.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e Implementar un prototipo de módulo de conexión entre un simulador de procesos industriales y un Programador Lógico Programable en el laboratorio de PLC de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Extensión Latacunga.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar procesos industriales que permitan programar PLC.
- Simular y modelar procesos industriales de control de empresas regionales.
- Acondicionar, procesar y programar señales de entradas y salidas ya sean análogas/digitales de los diferentes procesos industriales de control.
- Implementar un sistema de conexión para enlazar PLC con la simulación de procesos industriales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Investigativos

Las empresas tecnológicas que utilizan procesos industriales se han ido modificando en función a la necesidad que requieren, ya sea en la parte de automatización, control o monitoreo, mediante la utilización de nuevas tecnologías (PC's, PLC's, microcontroladores, dispositivos de control, etc.) aumentando la eficiencia y productividad de las líneas de producción. En la actualidad la simulación de dichos procesos refuerza los beneficios antes mencionados, pues permiten analizar características de los elementos que lo conforman para poder así garantizar el correcto funcionamiento de los procesos y sus mecanismos. La creación de enlaces de conexión beneficia a instituciones que desarrollan estos procesos de forma productiva o de enseñanza, adoptando nuevas habilidades y hábitos para la utilización de nuevos prototipos que ayuden en la optimización de procesos industriales en sus condiciones de operación no física si no simulada.

2.2. Fundamentación teórica

Existe una gran variedad de software/hardware que permiten las simulaciones de cualquier tipo de procesos como: comerciales, empresariales, químicos, físicos, tecnológicos, industriales, etc., que proponen optimizar el análisis del proceso para la mejoría de producción o aprendizaje de quienes estén expuestos a esta tecnología.

Simular virtualmente aquellos procesos responde a necesidades demandadas en la automatización industrial como en el análisis de características limitadas que no se puedan observar de forma física en una planta, o en casos de instrucción para mejorar la calidad de entendimiento de usuarios u operadores que realicen la simulación de algún proyecto.

Los procesos industriales son automatizados de forma física con la ayuda de Programadores Lógicos Programables (PLC), los cuales tienen la finalidad de optimizar productividad, disminuir tiempo en mano de obra, costos y disminuir espacio de trabajo; dicha automatización se realiza con su respectiva programación y también a su debido tipo de PLC. Automatizar de forma física procesos anhelados requiere de un espacio considerable en cuanto se refiere al ámbito de aprendizaje y también de un tiempo limitado para su ejecución. Dado este tipo de inconvenientes lo que se pretende es realizar un prototipo de conexión entre las diferentes herramientas computacionales de simulación virtual con un PLC, el cual sea capaz de permitir dicho enlace tomando en cuenta variables, especificaciones y señales eléctricas de entrada/salida ya sea este una tarjeta electrónica programable con microcontrolador que sea capaz de exteriorizar aquellas variables con sus debidos acondicionamientos, para comprobar la programación y permita visualizar el estado de las variables de cada elemento involucrado en el proceso.

2.2.1. Antecedentes de la investigación

Con respecto a la tesis “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO HARDWARE/SOFTWARE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS

INDUSTRIALES EN LA HARINERA CASTELLANA” (2016). Previo a la obtención del título de Ingeniero Informático el autor: José Antonio de la Torre las Heras, desarrolla; un prototipo de automatización de uno de los procesos industriales de la “Harinera Castellana” realiza la creación de subproyectos como los son una Printed Circuit Board (PCB) también un hardware que diseña una plataforma sobre la que más tarde, en el proyecto de desarrollo del firmware se programará, y luego el software de gestión será el encargado de proveer una interfaz al operario apoyándose en el firmware y el hardware existente. (De la torre Heras, 2016). Este proyecto ayuda a la comprensión de prototipos funcionales para procesos automatizados de industrias que lo requieran.

Con respecto a la tesis “DESARROLLO DE UN SIMULADOR DE PROCESOS INDUSTRIALES BAJO LA CONFIGURACIÓN HARDWARE-IN-THE-LOOP PARA LA PRÁCTICA-ENSEÑANZA DE CONTROL LÓGICO Y REGULATORIO MEDIANTE UN PLC” (2015). Previo a la obtención del título de Magister en Ingeniería – Automatización Industrial el autor Daniel Humberto D’Arthenay Bermúdez, desarrolla: la implementación de una herramienta de simulación de tiempo real que permite una conexión de elementos físicos (reales), con aquellos elementos constituidos en la simulación; es decir un hardware in-the-loop, que requiere simular un proceso de esterilización por vapor de agua y un tanque de reacción con agitación continua, el componente real es un PLC que permite el control del proceso y el componente de simulación virtual son los procesos simulados mediante el software Easy Java Simulations. (D'Arthenay Bermúdez, 2015). Este proyecto sirve de apoyo a aquellos procesos de automatización industrial que requieren ser simulados, facilitando una mejor comprensión de funcionamiento del proceso y un mejor control sobre la planta.

Con respecto a la tesis “DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SIMULADOR DE AUTOMATIZACION DE PROCESOS INDUSTRIALES COMPATIBLE CON LOS PLCS SIEMENES Y ALLEN BRADLEY PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES DE COMUNICACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE EXTENSION LATACUNGA” (2016). Previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico e instrumentación los autores Oscar Fabricio Bayas Sánchez y Henry Paúl Cocha Apupalo, desarrollan: un simulador virtual de procesos utilizando el software Labview para realizar prácticas sobre programación compatibles a los PLCS utilizados que para este caso son Siemens y Allen Bradley. (Bayas Sánchez & Cocha Apupalo, 2016). Este proyecto facilita a los estudiantes a desarrollar habilidades de control de procesos automatizados y comunicaciones industriales.

2.3. Fundamentación Conceptual

2.3.1. Procesos Industriales.

En los diferentes procesos industriales intervienen variables y magnitudes físicas como: temperatura, presión, humedad y señales eléctricas; estas variables forman parte de alguna manera de los procesos de control y usan instrumentos analógicos y digitales, de lectura momentánea o registradores que se deben ajustar y calibrar para el registro de las variables de un proceso. Esta es una actividad que resulta más o menos cotidiana dentro de la industria y que requiere del conocimiento de los elementos que lo intervienen en un proceso de control usado en la industria y de sus elementos, como son los instrumentos de medición. (Harper, 2013, págs. 19-20)

a) Procesos autorregulados

Proceso en el cual se parte de un estado estacionario y una perturbación obliga a que cambie su estado inicial pero después de un intervalo de tiempo llega a estabilizarse de nuevo; ejemplo: Proceso de intercambio de calor.

b) Procesos no autorregulados

Este proceso refiere lo contrario al regulado, puesto que comienza en un estado estacionario y cuando se genera una perturbación luego de un tiempo no llega a ser permanente; ejemplo: Proceso de Nivel en un recipiente.

2.3.2. Procesos industriales reales, implementación física

Los procesos industriales deben contribuir al desarrollo sostenible, puesto que es el tipo de desarrollo orientado a garantizar la satisfacción de las necesidades fundamentales de la población y elevar su calidad de vida, a través del manejo racional de los recursos naturales, propiciando su conservación, recuperación, mejoramiento y uso adecuado, de tal manera que esta generación y las futuras tengan posibilidad de utilizarlos y disfrutarlos, sobre bases éticas y de equidad, garantizando la vida en todas sus manifestaciones. (Pérez & Meza, 2013)

Efectuar la implementación de plantas físicas para procesos industriales abarca un gran número de etapas de elaboración y automatización, el cual debe seguir un patrón de actividades para llegar al objetivo planteado según el proceso considerado, así también deben cumplir con normas y especificaciones establecidas por la empresa o

entidad, como: impactos ambientales, ubicación de trabajo, sostenibilidad del diseño final, factores económico, etc., y lo más significativo satisfacer las necesidades de producción y aplicación solicitada.

Las aplicaciones industriales refieren un amplio sector de atención, pues se puede considerar como aplicación cualquier automatización de un proceso de verificación. Esto significa que, cada una de las funciones del proceso, demanda de una aplicación concreta y adaptada a la fase del proceso industrial en la que va a ser utilizada, por lo que las aplicaciones que podemos encontrar van a ser casi innumerables. (INFAIMON, 2017)

a) Tipos de procesos industriales con implementación física

Procesos por lotes: define a aquellos procesos que contienen modelos de cumplimiento que ayuda y mejora al tiempo de producción.

Procesos por flujo continuo: este tipo de procesos lo fomentan aquellas entidades industriales que producen un sin número de productos en un tiempo ilimitado, es decir su línea de producción trabaja constantemente en un solo objetivo y en un solo elemento, elevando la producción y reduciendo costos de paros.

Procesos por trabajo: involucra en realizar actividades por gestión, la finalidad del objetivo solo debe estar centrado y basado a un solo producto o proyecto, llegando a un mejoramiento de la calidad de producto y de tiempo de producción.

Producción en masa: aquel proceso más utilizado a nivel mundial en la industria puesto que examina múltiples métodos de elaboración de diferentes productos, es decir tiene una fabricación en serie con un tiempo límite de inicio y fin de ciclo.

2.3.3. Sistemas Híbridos para procesos Industriales

En la actualidad los sistemas híbridos comprenden un amplio campo en los procesos industriales, muchos de ellos están formados por una parte continua y una parte discontinua/discreta, son sistemas dinámicos que combinan metodologías en cada etapa del proceso industrial, es necesario tener un control de subsistemas que se pueden generar, así como también diferentes tipos de modos de operación, transiciones y cambios en el tiempo y bajo ciertas condiciones de forma dinámica.

La mayoría de industrias tienen procesos que pueden ser del tipo continuo, tipo discreto y los que combinan ambos aspectos. Éstos últimos dan lugar a lo que se conoce como sistemas dinámicos híbridos. Durante su operación, siempre será importante el poder realizar un análisis y evaluación del desempeño de los procesos actuales para verificar si éstos cumplen las especificaciones de acuerdo a lo planeado. (Jiménez, 2006).

Si bien existen muchas formas de describir diferentes subsistemas por separado, se necesita un modelo único para comprender las relaciones causa-efecto y optimizar el diseño del proceso o sistema en forma global. Un buen modelo debe poseer al menos tres características: aproximarse cualitativa y cuantitativamente al comportamiento observado del sistema real; ser simple, de modo que se pueda realizar análisis, simulación y diseño en tiempos breves; y adecuarse al propósito para el que será empleado. (Grupo Editorial EMB, 2018)

a) Enfoque en el modelado y análisis de sistemas híbridos

En términos generales, los enfoques difieren en lo relativo al énfasis en las dinámicas continuas y discretas o en la complejidad de las mismas, y en cuanto a si enfatizan los resultados de análisis y síntesis, sólo el análisis o únicamente la simulación. (Jiménez, 2006)

En la Figura 3 se puede observar un proceso de mezclado de sustancias donde se interpretará las entidades discretas y continuas.

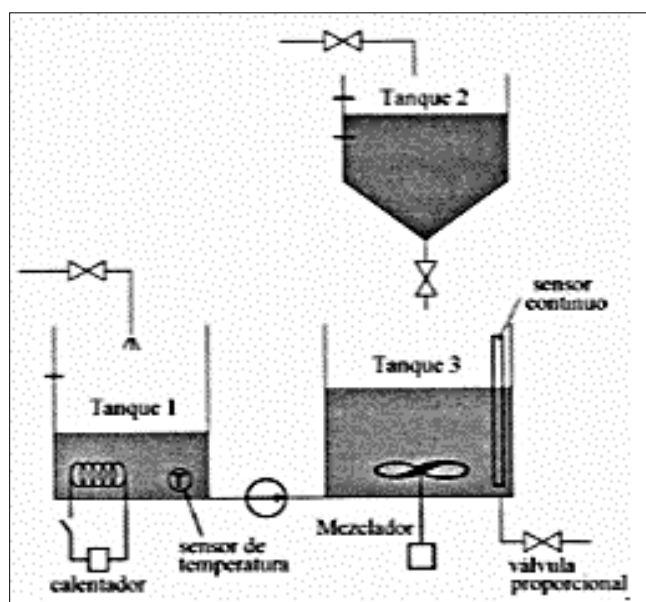


Figura 1. Mezclado de dos sustancias químicas.

Fuente: (Jiménez, 2006)

La Tabla 1 representa el tipo de entidades que ocurre durante el proceso de mezclado de sustancias de la Figura 3, tomando en cuenta cada uno de los elementos que participan.

Tabla 1*Interpretación de entidades*

ENTIDADES DISCRETAS	ENTIDADES CONTINUAS
Estado de la bomba del tanque 1 (encendida o apagada).	El flujo q_A del tanque 1.
Estado de la válvula de salida del tanque 2 (encendida o apagada).	El flujo q_B del tanque 2.
Estado de la válvula de salida del tanque 3 (encendida o apagada).	Calentador (comportamiento de la temperatura)

Fuente: (Jiménez, 2006)

2.3.4. Simulación de sistemas para procesos industriales

Existen diversas áreas en las cuales la simulación virtualizada de procesos abarca una de las herramientas más utilizadas en ingeniería industrial, representa aquel proceso real mediante otro más simple y sencillo que se entiende de mejor manera, puesto que existen procedimientos de procesos complicados los cuales requieren ser deducidos íntegramente.

La simulación se define como “una herramienta de trabajo que nació lentamente, en paralelo con la aparición del ordenador, y que de a poco se ha impuesto gracias a la calidad de velocidad y capacidad que los ordenadores han ido ofreciendo a la industria”. (Creus, 2007, pág. 11)

a) Tipos de Simulación

Modelación de sistemas en eventos discretos: En la (Figura 3) se representa el estado de un sistema donde las variables del mismo cambian en un intervalo mínimo del tiempo y permanecen constantes el resto del tiempo

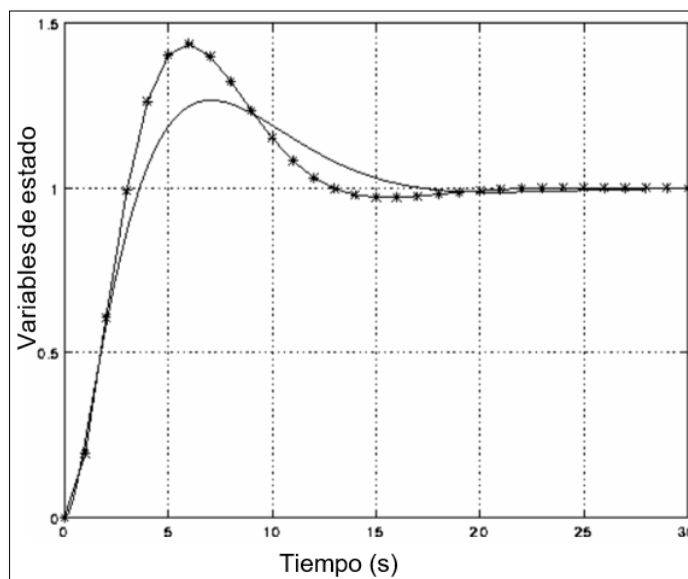


Figura 2. Curva de un sistema en evento discreto.

Fuente: (Puche, 2005)

Modelación de sistemas en eventos continuos: En esta representación las variables de estado interfieren de manera continua en el tiempo es decir a lo largo de todo el proceso.

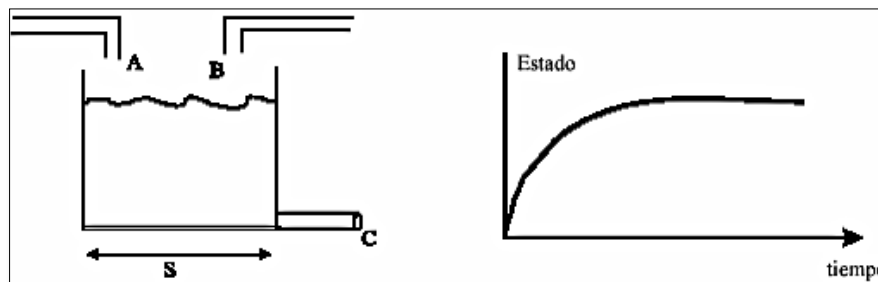


Figura 3 Evolución de un sistema continuo.

Fuente: (Puche, 2005)

Modelación Discreta – Continua (Combinada): Las variables del sistema se intercambian de manera combinada es decir algunas instantáneamente y otras continuamente con respecto al tiempo, pero de forma separada.

b) Ventajas de la simulación

Experimentación económica: Analizar procesos de forma virtual posee grandes ventajas como por ejemplo la parte económica, ya que se realiza de una forma más rápida y precisa al proceso real, por ende, con una adecuada manipulación se puede aumentar o reducir el tiempo de producción de forma virtual y así también observar de una manera más factible el proceso del sistema que se necesite en la industria.

Extrapolación: Aquellos intervalos o condiciones de operación demandan tener su adecuado modelamiento matemático para que éstos puedan ser sondeados a la mayor perfección, lo que en la parte real (física) sería prácticamente improbable de que se lo pueda realizar.

Estudio de conmutabilidad y valoración de métodos de actuación: La manipulación es el factor más favorable al realizar la simulación de algún proceso, se puede diagnosticar cualquier evento que intervenga, así también se puede caracterizar al proceso introduciendo o impidiendo acontecimientos que permitan valorar la operación antes de llevarlo a la práctica.

Repetición de experimentos: Se puede modificar las veces que sean necesarias parámetros de operación es decir modelar matemáticamente según el proceso lo requiere para su mejor ejecución.

Control del cálculo: Los diferentes tipos de procesos y sistemas pueden ser simulados utilizando diferentes tipos de software, para representar operaciones reales en lazo abierto y lazo cerrado.

Ensayo de sensibilidad: Ejecutar pruebas de valoración es de gran importancia para poder acoger la mejor opción de operabilidad del sistema de forma real.

Se puede ensayar la sensibilidad de parámetros de costes y los parámetros básicos del sistema; por ejemplo, un incremento de un 10 por ciento en la velocidad de alimentación podrá tener, según los casos, un efecto mínimo o un efecto muy importante sobre el funcionamiento de la instalación. (Himmelblau & Bischoff, 2004, pág. 4)

Estudio de estabilidad del proceso: Perturbaciones son a las que están expuestas diariamente la operación de los sistemas, por lo que es necesario examinar la estabilidad de éstos permanentemente.

c) **Simulación de procesos en la industria**

El ámbito industrial posee un sinnúmero de procesos que necesitan ser analizados continuamente para mantener o mejorar la producción de la industria, para ello en los últimos años se ha optado por la simulación de éstas aplicaciones industriales; entidades de gran trayectoria y países altamente desarrollados aplican este tipo de estudio para considerar fallos que puede existir en la puesta en marcha de los sistemas físicos ya que con la simulación se puede pronosticar condiciones adversas del medio donde funcionará, mejorando la competitividad de éstos.

En teoría, cualquier sistema de procesos puede ser modelado en un computador; sólo es necesario del ingenio humano, conjuntamente de las herramientas para el control y monitoreo que plasmen el pensamiento en un modelo computarizado. (VIRTUAL PRO, 2009)

El alcance de la simulación de los procesos industriales crece de una forma incontrolable pues no parece llegar a sus límites, son aplicadas en diferentes áreas ya sea en forma productiva, educativa, deportiva, tecnológica, etc. concurriendo de una forma pública o privada, para esto es necesario conocer las etapas adecuadas para realizar una recomendable simulación que permita conocer una validación con el fin de procesar una simulación apta para el sistema requerido , como se presenta a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2
Etapas para la simulación de procesos

Etapas	Nombre componente	Definición y características
1. Definición del sistema.	Objetivos de la simulación	<p>En este aspecto las secuencias características que se debe seguir es tomar en cuenta los resultados y el tiempo en cuanto se demorará en alcanzar dichos resultados, es decir la simulación, mediante recursos a utilizar los cuales son:</p> <p>a. Mano de Obra: Personal calificado en ejecución de simulaciones. b. Financiero: Presupuesto de elementos involucrados en el sistema de simulación (proceso industrial). c. Tecnológico: Software de desarrollo de simulación. d. Disponibilidad: Tiempo del personal involucrado en el sistema a simular.</p>
	Las variables de interés.	<p>Son aquellos dispositivos que conceptualizan y son indispensables para el funcionamiento del sistema.</p>
	a) De decisión	<p>Examinan el comportamiento del sistema en cualquier tiempo relevante o no el mismo.</p>
	b) De respuesta	<p>Se refiere a las variables cuya modelación va involucrada en el proceso.</p>
	c) Exógenas	<p>Se involucran en el sistema y afectan en su comportamiento.</p>
Medidas de desempeño	<p>Consideran cual es el mejor ambiente en el cual el sistema se puede desempeñar de mejor manera.</p>	



CONTINÚA

2. Plan General del proyecto.

Programas a utilizar en el desarrollo de la simulación.	El software que se manipulará dependerá del proceso de simulación y el área de trabajo al cual estén enfocados; por lo tanto, deberá cumplir con parámetros específicos para cada proceso que se anhele implantar.
Número de personas.	<p>a) Profesional en Simulación y Estadística</p> <p>b) Personas que recopilaran los datos base del estudio</p> <p>c) Personal involucrado en el proceso productivo que pueden apoyar con su conocimiento la simulación.</p>
Costo del proceso.	<p>a) Costo de dispositivos (hardware y software) comprendidos en el funcionamiento de la simulación.</p> <p>b) Inversión en herramientas informáticas, si es necesario.</p>
Tiempo de las fases del proceso de simulación.	Concreta el tiempo en que se puede alcanzar o ejecutar cada una de las etapas de la simulación y así poder examinarlas.
Resultados de cada etapa.	Mediante el análisis de las etapas se establecerá que tipo de resultados entregará cada una, para así poder obtener un mejor comportamiento en la ejecución de la simulación.



CONTINÚA

3. Recolección de datos.

Longitud de corrida	<p>Dependen de los siguientes parámetros:</p> <p>a) El tiempo del ciclo productivo b) Determinar si se tomarán uno (1) o varios ciclos productivos para la definición de la longitud de corrida c) Definir si la corrida se hará por un pedido o cantidad específica de productos requerida.</p>
Definir fuentes de información.	Se detallarán según normas establecidas aquella información que se utilice para modelar e interpretar las etapas y la simulación del proceso, la recolección de dicha información se lo tomara de libros, base de datos, páginas web etc.
Tiempo de inicio de etapa.	Se debe acordar el tiempo necesario y oportuno en el cual se establezca el inicio del proyecto ya que será el más extenso del proceso, comenzando por la recopilación de información.
¿Falta de datos, qué hacer?	<p>Se debe seguir un patrón para un modelo como se menciona a continuación:</p> <p>Datos de ingeniería: son aquellos datos que vienen dados por fabricantes o proveedores.</p> <p>Opiniones de expertos: el conocimiento de expertos es de valiosa ayuda para identificar sucesos que se pueden dar en la simulación.</p> <p>Naturaleza del proceso: debido a que existen distribuciones que se ajustan normalmente a determinados tipos de proceso.</p>

CONTINÚA 

4. Análisis de entrada.

Análisis estadísticos a realizar:	a	Etapa en la cual, se toma en cuenta aquellos datos estadístico e información de sucesos referentes a variables que definan el comportamiento del proceso para llevar a cabo una simulación funcional.
Pruebas de independencia.	de	Mediante esta verificación implanta un patrón de orden entre la combinación de números alternos con el tiempo del suceso (sistema de simulación).
Pruebas de homogeneidad.	de	Establecen si dos grupos de números alternos derivan de una misma localidad.
Pruebas de bondad de ajuste	de	Este modelo verifica aquellas distribuciones observadas de variables de interés con un patrón esperado.
Análisis de regresión.		Este análisis constituye una investigación y modelación entre variables cuantitativas en cualquier etapa del proceso.
Uso de software a utilizar		Dependerá del tipo de simulación que se solicite, y esta abarcará parámetros de programación que demande cada proceso.



CONTINÚA

5. Construcción del modelo.

Clasificación del modelo de acuerdo con su momento de finalización:

Modelo de categoría terminal: Se refiere a un patrón de inicio y finalización que fue establecido por el creador del proyecto el cual acuerda la ejecución con condiciones y parámetros establecidos durante la programación del proyecto de simulación.

Modelo de categoría no terminal: Describe que no existe involucración de cualquier suceso durante cualquier etapa de la operación del proceso.

Conocimientos del sistema a modelar.

El modelamiento del sistema demanda una comprensión, puesto que se desea que la simulación entienda su modelamiento a la parte real de operación.

Lenguaje de simulación.

Es importante conocer el tipo de lenguaje a utilizar en la programación para evitar fallos en la sintaxis.

Componentes del sistema a modelar

Interpretan lugares fijos dentro del sistema, en donde se puede tomar decisiones para mejorar su operación.

- Elementos estáticos.

Son denominados también como entidades, en donde los modelos tienen la capacidad de procesar cualquier tipo de variable o elemento del sistema.

- Elementos dinámicos.

Como su nombre lo indica establece la llegada de variables al sistema que pueden ser individuales o en grupos.

- Los arribos.

Aquel proceso ordenado que detalla las operaciones que se suministran en cualquier etapa y a cualquier tiempo del proceso, así también como los recursos de operación del proceso.

- La secuencia lógica.



CONTINÚA

6. Validación.

Opinión de expertos en el sistema.	Es de gran ayuda las opiniones de quien se encuentra en una constante relación con el sistema ya que conoce de las características de operación que posee.
Opinión de expertos en la simulación.	La confiabilidad de expertos en el tema de simulación brinda ventajas en el modelamiento del sistema, así como también da a conocer falencias que puede existir en el manejo de información.
Evaluación estadística con un determinado nivel de error.	Efectuar pruebas al sistema de una forma estadística ayuda significativamente en la manipulación de variables simuladas con variables reales para comprender si existen algún tipo de diferencia significativa.
Exactitud en la predicción futura.	Evalúa el funcionamiento del proceso simulado con el proceso real mediante una comparación.
Usar lo que hace fallar el sistema real.	Existen perturbaciones que pueden ser ingresadas manualmente, al realizarlo y no observar ningún cambio se puede decir que el modelamiento no está apto para llevarla a un proceso real, por lo tanto, necesita ser modificado.
Análisis de sensibilidad.	Intenta comparar sucesos que se producen diferentes etapas, pero del proceso real, lo cual beneficia para despejar algún tipo de incertidumbre.
Test de validación.	<p>Test de continuidad: pequeños intervalos cambian continuamente con el tiempo de simulación, los cuales también modifican diminutivamente en los resultados del mismo.</p> <p>Test de consistencia: variables y sucesos que se relación entre sí, en etapas de inicio y finalización deben presentar los mismos resultados a cualquier tiempo.</p>


 CONTINÚA

			<p>Condiciones Absurdas: Se ocasionan cuando algún elemento produce una perturbación al modelo, pero éste no presente ningún cambio en su funcionalidad o resultado.</p>
7. Experimentación.	El plan de experimentación.	de	Se relacionan con los objetivos estipulados en el inicio del proceso de simulación, es decir si es necesario modificaciones para cumplir con lo establecidos se lo debe realizar acorde al funcionamiento del sistema.
	Ajuste del modelo.		Examinar el modelo de simulación en cualquier momento y de forma empírica es necesario para estipular si es conveniente algún ajuste en alguna etapa del proceso tomando en cuenta siempre el número de muestras o replicas en cada intervalo escogido.
8. Interpretación y presentación de resultados.	Resultados experimentos.	de	Esta etapa se describe todos aquellos resultados que se obtuvieron mediante la aplicación de varias hipótesis establecidas como el comportamiento del mismo o alternativas que pudieron ser aplicadas en el proceso.
	Observaciones hechas en el proceso.		Se hace referencia a la ayuda y acciones extras que se implantó en aquellos casos que fueron necesarios, para obtener resultados recomendables hacia el correcto funcionamiento de la simulación.
	Toma de decisiones.		Establece todas aquellas acciones que intervienen luego de haber culminado con la simulación, son importantes para evitar fallos de inicio en simulaciones similares que se pretendan realizar.
	Conclusiones y recomendaciones del proceso.	y del	En esta etapa es primordial acordar conclusiones según los objetivos planteados en un principio y modificaciones dadas en el proceso.


 CONTINÚA

<p>9. Toma de decisiones.</p>	<p>Dados los resultados acordes al análisis realizado en cada etapa, se toma en cuenta aquellos sucesos que fueron complementados en el sistema, tomando en cuenta aspectos de implantación como: mano de obra, capacitación de personal, costos; tiempo de ejecución; etc.</p>
<p>10. Monitoreo y control.</p>	<p>Es necesario realizar un monitoreo al sistema y controlarlo puesto que los sistemas son dinámicos y es posible que con el transcurso del tiempo sea necesario modificar el modelo de simulación, ante los nuevos cambios del sistema real, con el fin de llevar a cabo actualizaciones periódicas que permitan que el modelo siga siendo una representación del sistema. (García, García, & Cárdenas, 2013)</p>

Fuente: (Herrera & Becerra, 2014)

2.3.5. Software de simulación para procesos industriales

Los software de simulación son poderosas herramientas que permiten grandes ventajas a la empresa que lo utiliza, pueden llegar a ser versátiles en todo ámbito, así también incrementan la eficiencia de producción, siempre y cuando se aplique las condiciones de operación que se obtuvo mediante el análisis efectuado por la simulación.

La simulación se puede generar de algunas formas: sobre una hoja de cálculo, ejecutando un programa de computadora escrito en algún lenguaje general, tal como C++, ejecutando un programa de computadora escrito en algún lenguaje especial para la simulación, ejecutando simuladores especialmente contruidos con entradas de información apropiada. (Del Valle, 2018).

En la Figura 4 se muestra una simulación de un proceso industrial en el software LabVIEW.

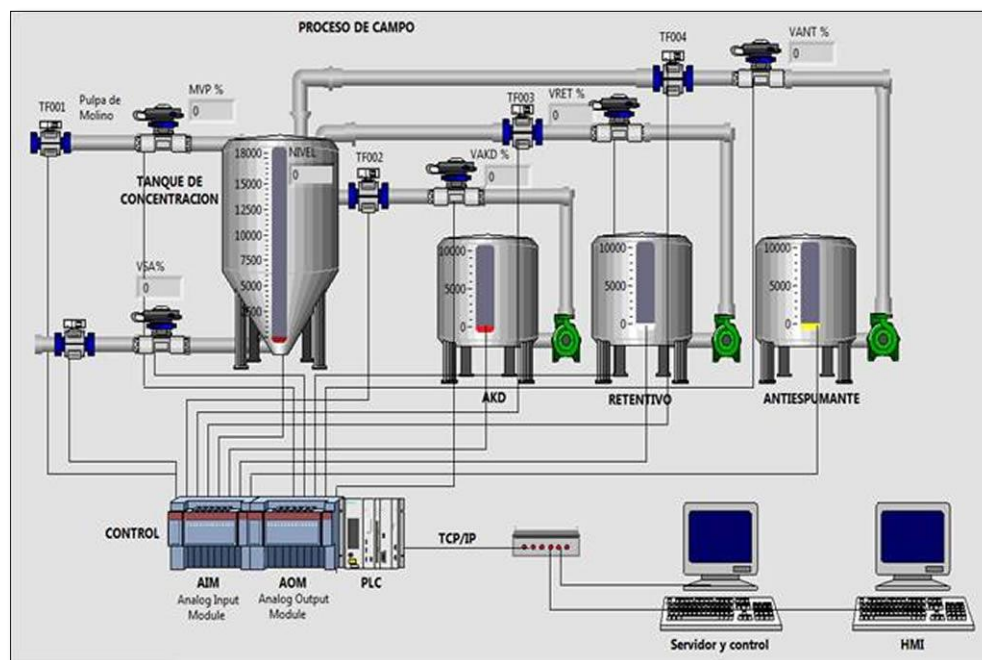


Figura 4 Diagrama en el Software LabVIEW de un proceso industrial de fabricación de papel Kraft.

Fuente: (Flores & Quezada, 2018)

a) Tipos de Software para la Simulación

Simulación escrita en lenguajes generales: Es el más flexible y utilizado por las industrias para sus procesos, también probablemente el mejor método cuando es manipulado en sistemas donde sus etapas implican una gran variedad de procesamientos, datos y variables.

La problemática no es la escritura del código sino pensar que la simulación puede ser un proyecto muy largo. Sin embargo, con una buena librería de simulación y un programa básico, la inversión de tiempo necesaria puede ser reducida al mínimo. (Del Valle, 2018).

Simulación con hojas de cálculo: Es la técnica más sencilla de ejecutar, se lo realiza en hojas de cálculo y se toman en cuenta parámetros de modelado, estas hojas no siempre son utilizadas para simulación puesto que al ser un modelado ofrece datos de modelación de procesos, en algunas ocasiones las hojas son utilizadas mediante un módulo adicional add-in.

Simulación escrita en lenguajes especiales: La existencia de programas de simulación son diversos por lo tanto sus lenguajes de programación también lo son y muchos de ellos son con codificación especial para su ejecución, la desventaja ocurre cuando no existe las librerías adecuadas para programarlo lo que le vuelve un poco dificultoso.

Simuladores de propósito especial: Son los métodos más rígidos del mercado, pues trabajan en campos específicos y normalmente no pueden tratar con todas las tareas, solo aquellas para las que fueron destinados.(Del Valle, 2018).

b) Software utilizados con más frecuencia en procesos industriales simulados

- LabVIEW
- Tia Portal PLCSIM
- Rockwell Automation – RS Logix 500
- FluidSim
- MatLab

2.3.6. Tarjeta de adquisición de datos

La tarjeta de adquisición de datos es un hardware que está constituido por microcontroladores, shields y pines que permiten la conexión, control, calculo y envío de valores entre elementos y dispositivos de un mecanismo o proceso, también posee un software de programación que es manipulado mediante una computadora, permitiendo un enlace entre un sistema virtualizado con el real es decir análogo con digital, permitiendo la medición de variables físicas como: corriente, voltaje, temperatura, caudal, nivel, presión etc.

Adquirir señales o datos es referirse a la toma de muestras de los fenómenos de la naturaleza o de la realidad misma, para la generación de datos que puedan ser objeto de manipulación por computadores u otros sistemas, como el digital. Conocido también con las siglas DAQ, consiste en el proceso de efectuar mediciones a través de computadores de los hechos reales, por ejemplo, los de tipo eléctrico, térmico, sonoro, etcétera. Su labor es recoger un conjunto de señales dispersas en la naturaleza o el entorno físico con el fin de transformarlas en impulsos eléctricos que a la vez son digitalizados de forma que puedan ser procesadas en los ordenares. (JMIndustrial, 2018)

En la Figura 5 se puede observar las partes constituyentes de un sistema DAQ.



Figura 5 Partes de un sistema DAQ

Fuente: (ni, 2018)

a) Tipos de adquisición de datos

Sistema de adquisición de datos Wireless: Emplean transmisores inalámbricos los cuales envían datos a un receptor igual inalámbrico que está conectado a un computador, dichos transmisores están disponibles para diferentes aplicaciones como: humedad, presiones, temperaturas, pH, transductores con salida de voltaje, sensores de pulso de salida de corriente y los receptores pueden conectarse a un puerto Ethernet, a continuación en la Figura 6 se muestra una sistema de conexión de un termopar inalámbrico.



Figura 6 Sistema de conexión Wireless (Termocupla)

Fuente: (academia, 2018)

Sistema de comunicación en serie: Este sistema es apto cuando se requiere de una medición lejana del ordenador, su comunicación es variada se lo puede realizar mediante RS232 y RS485, la diferencia entre los dos es la distancia de comunicación la una sirve para distancias cortas mientras que la otra para distancias extensas, en la Figura 7 se puede observar un sistema de adquisición de datos con un puerto RS485 en serie para distancias largas.



Figura 7 Sistema de adquisición de datos con puerto en serie.
Fuente: (academia, 2018)

Sistema de adquisición de datos USB: Uno de los sistemas más empleados hoy en día utilizados para impresoras computadoras, sistemas de adquisición de datos, transferencia de datos, módems, monitores, etc., sus siglas USB significan: Bus Serie Universal, y tienen varias ventajas acerca de los sistemas anteriores mencionados como: suministrar energía a unidades periféricos así como también proporcionar un mayor ancho de banda de hasta 12 Mbits/s, la Figura 8 que representa un módulo de adquisición de datos con puerto USB y suministros de energía a varios periféricos.



Figura 8 Módulo de adquisición de datos con Puerto USB, OMB-DAQ-3000.
Fuente: (academia, 2018)

Sistema de adquisición de datos Ethernet: El más completo sistema de adquisición de datos, muchos de ellos reúnen muchas ventajas respecto a los anteriores, algunos incorporan servidores web que beneficia al usuario en obtener y presentar de forma rápida los datos adquiridos como se observa en la Figura 9, son los más implementados en el ámbito comercial e industrial por la minoría de cables utilizados para el sistema.



Figura 9 Registrador de datos con interfaz Ethernet, para humedad y temperatura.
Fuente: (academia, 2018)

b) Tipos de tarjetas de adquisición de datos

Tarjetas con entradas y salidas digitales: este tipo de tarjetas tienen complementados varios elementos y dispositivos de gran utilización como: optoacoplados y TTL en versiones USB, PCI O PXI/CompcatPCI su representación se indica en la Figura 10, los canales de E/S digital se basan en relés y pueden disponer de 48 canales.



Figura 10 Tarjeta de adquisición de datos con entradas y salidas digitales

Fuente: (slidedhare, 2018)

- 8 o 16 relés tipo C, corriente hasta 2A/30V
- 8 ENTADAS TTL
- 16 canales de E/S digitales
- 8 entradas optoaisladas
- 2 entradas de interrupción.

Tarjetas con entradas y salidas analógicas: Dichas tarjetas disponen de sistemas flexibles, manejables y extensibles ya que pueden funcionar en sistemas operativos pagados o gratis, en la Figura 11 se observa una tarjeta de adquisición de datos (TAD) con sus correspondientes canales de entradas y salidas análogas. Las características más destacadas se mencionan a continuación.

- Optoaislamiento de todos sus canales con posibilidades de puesta a tierras individuales
- Entradas y salidas digitales

- Formatos PCI O PXI/CompactPCI y con él Me-Synaspace para ethernet/LAN o USB.
- Salidas análogas hasta 16 ranuras o canales
- 16 bits
- Generador de funciones. (No todos los casos)



Figura 11 Tarjeta de adquisición de datos con entradas y salidas análogas

Fuente: (slidedhare, 2018)

2.3.7. Acondicionamientos de señales

La adquisición de datos viene de la mano con el acondicionamiento de señales, de forma clara y precisa se puede entender que después de obtener y presentar los datos electrónicos, éstos deben ser convertidos a una señal que sea de más fácil interpretación y de mejor manipulación para el control de sistemas, este proceso lo lleva a cabo un acondicionador de señales que también puede cumplir con funciones adicionales.

En el proceso de ejecución de convertir dichas señales se lleva a cabo varios sucesos que a continuación se los describe:

Linealización: se aplica para aquellas señales que se proporcionan de forma lineal no completa, un software es el que interpreta la señal no lineal que en muchos casos vienen dado por termopares, la interpretación es tomada en cuenta en la calibración del elemento sensor.

Amplificación: es el proceso de modificar la señal de entrada para digitalización mediante dos eventos:

1. Incrementar el valor de señal a un específico (0 -10) V.
2. Aumentar la capacidad de entrega de energía a una distancia determinada (carga).

Filtrado: es el proceso de manipular (filtrar) una señal para estandarizar frecuencias que serán utilizadas y aptas para el proceso de ciertos circuitos, generadores de ondas, espectros, audio, telecomunicaciones, etc.

Interfaces: Los convertidores de señal transmiten señales de sensores hasta el control de la máquina, utilizando protocolos de comunicación estándar. Las interfaces pueden ser analógicas o digitales. Las interfaces analógicas típicas son señales de tensión (+/- 10 V) o corriente (+/-20 mA), que son fáciles de manipular pero que tienen el inconveniente de que cada señal requiere un cableado independiente. Las interfaces digitales modernas están diseñadas como interfaces de bus basadas en Ethernet (Profinet, Ethercat, Ethernet/IP) y permiten conectar varios componentes con un solo hilo. De este modo se simplifica el cableado y se puede transmitir información adicional como se señala en la Figura 12; por ejemplo, información de diagnóstico de los componentes, que es muy importante para reducir los tiempos de parada y para acelerar el mantenimiento. (HBM, 2018).

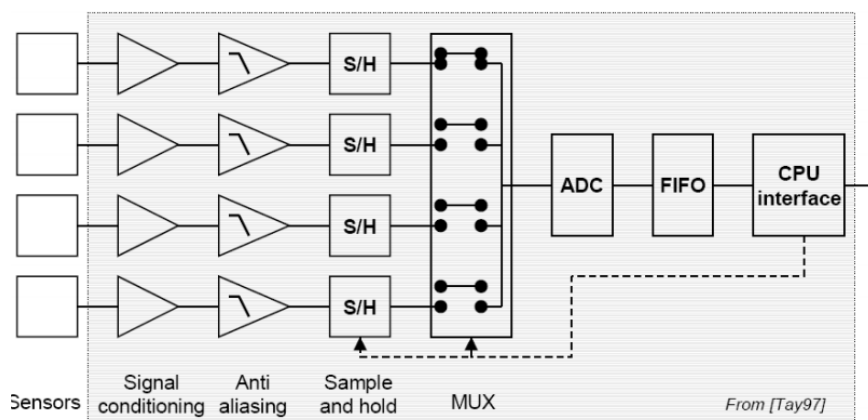


Figura 12 Arquitectura Básica de un Sistema de Adquisición de Datos
Fuente: (ele, 2018)

2.3.8. Controlador Lógico Programable (PLC)

Se constituye de un conjunto de microprocesadores, módulos, tarjetas y pines que cumplen una función específica para el funcionamiento del mismo tal como se muestra en la Figura 13 que indica su diagrama generalizado, dicha función es automatizar procesos electromecánicos mediante la programación de eventos almacenados internamente en una memoria, solucionando problemas específicos de ámbito industrial.

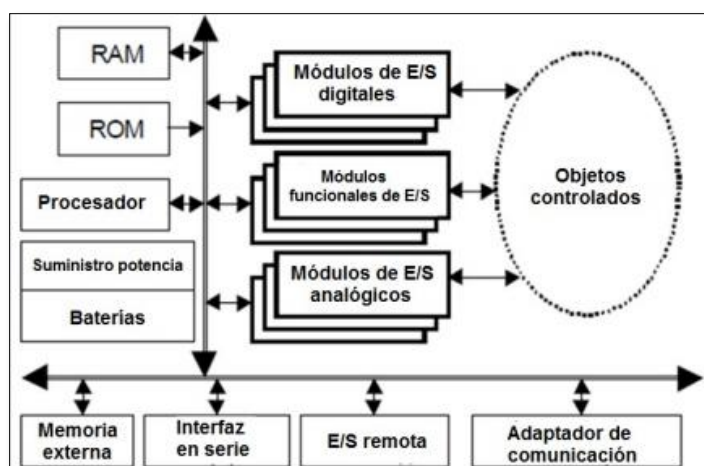


Figura 13 Diagrama generalizado de un PLC
Fuente: (PAC- Performance-centered Adaptive Curriculum for Employment Needs, 2011)

Estructura de un PLC

1. **Toma de tierra:** aterriza al controlador para dar protección.
2. **Terminal de comunicación:** permite la comunicación entre el ordenador y el autómata programable.
3. **Cartucho EEPROM:** es independiente esta memoria almacena información de manera transitorio o permanente.
4. **Bordes de salida:** posee una salida de 24 V en c.c, donde se puede conectar elementos exteriores como captadores pasivos o activos.
5. **Módulo de entrada:** se podrá conectar elementos que manejan ciertos tipos de señales a determinados valores de tensión o corriente que son enviados al CPU para su debida programación.
6. **Panel de leds:** consta de varios indicadores que muestran el funcionamiento del equipo.
7. **Terminales de extensión:** amplían terminales del autómata y son factibles cuando se requiere de ellos.
8. **Pila:** Es el centro de carga del autómata que alimenta la memoria interna.
9. **Módulo de salidas:** activa y desactiva a los actuadores que están conectados.
10. **Borde de alimentación:** Suministra la energía necesaria a la CPU y tarjetas del autómata.

En las Figuras 14 y 15 respectivamente se puede observar la estructura interna y externa de un PLC, junto con los elementos que lo constituyen.

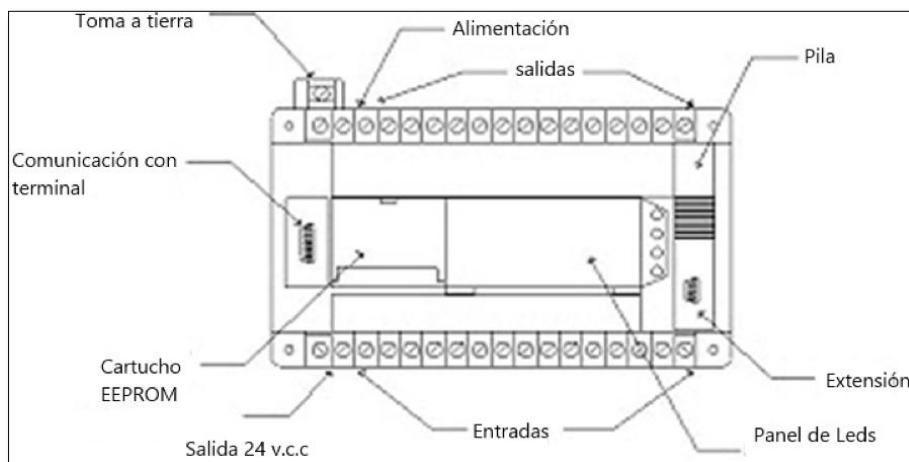


Figura 14 Partes constitutivas externas de un PLC generalizado.
Fuente: (autracen, 2018)

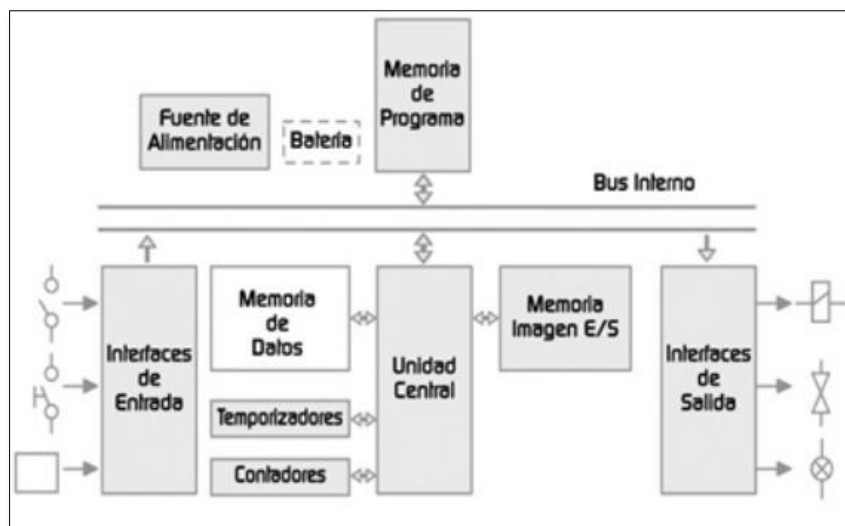


Figura 15 Estructura Interna de un PLC
Fuente: (autracen, 2018)

2.4. Fundamentación Legal

Según la norma ISO 17025, Calidad en Laboratorios de Ensayos Y de Calibración establecida en la república del Ecuador, implanta una guía genérica de referencia para aquellos laboratorios que ejecutan actividades de ensayo o calibración y que tratan señalar:

“Que son técnicamente competentes, demostrando la competencia técnica del personal, instalaciones y condiciones ambientales adecuadas, métodos validados, equipos controlados y patrones confiables con trazabilidad a las Unidades del Sistema Internacional”. (García, 2005)

El presente proyecto investigativo está fundamentado en la elaboración de un prototipo de módulo de conexión eléctrico – electrónico, entre un sistema CAD de procesos industriales virtuales con un PLC físico, para ser utilizado por los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL en el laboratorio de PLC, el módulo será un microcontrolador donde se manipulará niveles de variables de entrada y salida de señales tanto digitales como análogas mediante acondicionamientos físicos en el cual la programación del microcontrolador adecuará dichas variables para ser operadas, las magnitudes eléctricas a utilizar serán bajas tanto en corriente, voltaje y potencia según lo establece las características técnicas de los elementos constituyentes en el proyecto.

2.5. Sistemas de variables

Variable independiente: Diseño e implementación del módulo de conexión entre un simulador virtual de procesos industriales y un programador lógico controlable.

Variable dependiente: Comprobación de la programación de PLC del laboratorio y aumento la capacidad de elaboración de procesos industriales de los estudiantes para el análisis del mismo.

2.6. Hipótesis

Mediante el diseño e implementación del prototipo de módulo de conexión entre un simulador virtual de procesos industriales y un Programador lógico controlable, se comprueba la programación de PLC del laboratorio y se crea enlace entre los elementos constitutivos del proceso real (PLC) con los de la simulación (Software), así también se aumenta la capacidad de elaboración de procesos industriales de los estudiantes para el análisis del mismo.

2.7. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 3
Operacionalización de la variable independiente

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional		Técnicas
		Dimensiones	Indicadores	
Diseño e implementación de un prototipo módulo de conexión entre un simulador virtual de procesos industriales y un programador lógico controlable.	El enlace entre un proceso simulado y un PLC, crea una nueva herramienta de análisis que brinda ayuda a las necesidades de ámbito educativo, productivo, comercial, etc., ya que aporta con cualidades de identificación de problemas de programación y operación del sistema.	Diseño e Implementación del prototipo.	Capacidad de interconectividad de los elementos que constituyen el sistema.	Diseñar Acondicionamiento de señales Pruebas
		Simulación de procesos industriales.	95% de apreciación al entorno real	Modelación Interfaces Gráficas Uso del ordenador

Tabla 4
Operacionalización de la variable dependiente

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional		Técnicas
		Dimensiones	Indicadores	
Comprobación de la programación de PLC del laboratorio y aumento la capacidad de elaboración de procesos industriales de los estudiantes para el análisis del mismo.	La implementación de un módulo de prototipo de conexión, aporta a los estudiantes que cursan la materia de PLC's, a elaborar prácticas de forma individual para el desarrollo de competencias evaluativas entre los mismos, así también refuerza la comprobación de programación de los PLCs utilizados en el sistema	Comprobación de lenguajes de programación de PLC's.	El proceso simulado funciona de acuerdo a la programación del PLC y mediante la conexión del prototipo implementado	<p>Compilación del PLC.</p> <p>Verificación de entradas y salidas del PLC.</p> <p>Interoperabilidad entre elementos del sistema.</p> <p>Ejecución no errónea del proceso simulado.</p>
		Tiempo de elaboración de procesos individuales y espacio de trabajo.	Facilidad de uso de los usuarios	<p>Prácticas de laboratorio.</p> <p>Proyectos evaluativos.</p>

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

La elaboración del proyecto en mención tiene como propósito desarrollar un prototipo que permita el enlace entre un sistema de procesos industriales simulados con un PLC, la estructuración del prototipo conlleva un proceso de diseño que permite acoplar acondicionamientos electrónicos con el software de simulación, tarjeta electrónica programable y elementos necesarios del mismo, así también demanda de un programación adecuada para el control de variables ampliamente utilizadas en los procesos industriales que permita la interacción entre hombre – máquina y así llevar a cabo una operabilidad óptima del proceso.

3.1. Modalidad de Investigación

La modalidad de investigación establece etapas, técnicas, y procedimientos que se emplearán en la elaboración del presente proyecto, además menciona los tipos de investigación y sus respectivos aspectos metodológicos que forman parte para el estudio y por ende para la realización del mismo.

Los aspectos metodológicos pueden ser cuantitativos o cualitativos, dichas características están basadas al proyecto que se va a elaborar y maximiza la objetividad de su realización.

3.2. Tipos de Investigación

3.2.1. Investigación Exploratoria

De acuerdo con (Castillero, 2018) la Investigación Exploratoria es: “tipo de investigación se centra en analizar e investigar aspectos concretos de la realidad que aún no han sido analizados en profundidad. Básicamente se trata de una exploración o primer acercamiento que permite que investigaciones posteriores puedan dirigirse a un análisis de la temática tratada”.

Los resultados obtenidos de este tipo de investigación son patrones significativos que ayudan a generalizar explicaciones completas del tema de investigación y se basan a la investigación exploratoria, puesto que en futuros proyectos se podrían tomar en cuenta información obtenida para plantear proceso de igual similitud en forma real.

3.2.2. Investigación Descriptiva

Según (Castillero, 2018) “El objetivo de este tipo de investigación es únicamente establecer una descripción lo más completa posible de un fenómeno, situación o elemento concreto, sin buscar ni causas ni consecuencias de éste. Mide las características y observa la configuración y los procesos que componen los fenómenos, sin pararse a valorarlos.”

Al almacenar información de sucesos que se puedan generar en el proyecto, se adquirirá valiosa ayuda, pues ésta servirá para valorizar y prevenir inconvenientes que pudieran surgir durante un proceso industrial de manera concreta.

3.3. Diseño de la investigación.

El diseño de investigación constituye el plan general del investigador para obtener respuestas a sus interrogantes o comprobar la hipótesis de investigación. El diseño de investigación desglosa las estrategias básicas que el investigador adopta para generar información exacta e interpretable. (Nicanor Aniorte, 2018)

Para llevar a cabo la finalidad de proyecto de investigación que es comprobar la programación de PLC del laboratorio y aumentar la capacidad de elaboración de procesos industriales de los estudiantes para el análisis del mismo, se seguirá un patrón de diseño que establezca un óptimo funcionamiento del mismo, como diseños estructurales, analíticos, modelación, interfaces gráficas y pruebas mediante el uso de computadoras, fundamentado a la implementación del prototipo de módulo de conexión para el laboratorio de PLCs de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.

3.4. Niveles de Investigación

3.4.1. Investigación Experimental

Para la simulación de procesos industriales, acondicionamientos de señales, programación del PLC, y conexión de dispositivos del sistema se manipulan variables controladas que intervienen en los sucesos que ocurren en todo el funcionamiento del proceso, también pueden existir fenómenos que provoquen perturbaciones que mediante este tipo de investigación se puede llegar a un control que no produzca efecto ninguno.

3.4.2. Investigación Cuantitativa

Este tipo de investigación realiza un estudio analítico y objetivo de parámetros, mediciones y características de forma real, lo cual es muy importante para el proyecto de investigación para acordar una apreciación real del proceso simulado, valorizando la implementación del prototipo mediante experimentos y pruebas para determinar su fiabilidad.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

El conjunto universal de este proyecto son las plantas físicas de procesos industriales existentes en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, principalmente aquellas que realizan procesos industriales de control de caudal, presión, temperatura y nivel que poseen un guía de observación para su correcto funcionamiento, son utilizadas por y para diferentes propósitos con finalidades educativas o de investigación por docentes, estudiantes y personas administrativas de la entidad educativa.

3.5.2. Muestra

Abarca las plantas físicas de procesos industriales que posee el laboratorio de PLC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, de los cuales se obtendrán parámetros eléctricos y electrónicos mediante la utilización de tablas de mediciones, datos, curvas, graficas, etc., que proporcionan los elementos y dispositivos que constituyen la planta física, aquellos parámetros serán de utilidad para la implementación necesaria de

prototipos de conexión entre programadores lógicos controlables y simuladores de procesos virtuales.

3.6. Técnicas de recolección de datos

3.6.1. Observación Experimental

Mediante una verificación con los docentes de la materia, director de proyecto y estudiante autor del proyecto de investigación se realiza un recorrido por el laboratorio de PLC's, donde se observa las plantas físicas con sus respectivas guías de funcionamiento, comprobándose de que no existe el número suficientes de plantas físicas para la elaboración de proyectos, llegando a un acuerdo conveniente que exista prototipos de conexión entre programadores lógicos controlables y simuladores virtuales que agilicen este tipo de proyectos mediante la comprobación individual de PLC's.

En la Tabla 5 se puede observar una ficha técnica de variables físicas que procesa una planta instalada en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica para el control y monitoreo de variables de control como: nivel, caudal, presión y temperatura.

Tabla 5

Datos técnicos de una planta física de procesos industriales.

Parámetro	Valor
Máxima presión de funcionamiento para el sistema de tuberías	50 kPa (0.5 bar)
Suministro de energía para el variador de velocidad	220 VAC

CONTINÚA 

Dimensiones	700 x 700 x 907 mm
Tasa de flujo de la bomba	100 L/min
Volumen máximo del tanque	15 L
Sistema de tubería flexible	Ø = ½ pulgada
Entradas digitales	3
Salidas digitales	1
Entradas analógicas	2
Salidas analógicas	2
Cantidad de tanques	2
Rango de control para la bomba	30...60 Hz
Elemento calefactor	Corriente de 4-20Ma
Rango de medición del sensor de nivel	0...9 L
Señal de salida para el sensor de nivel	Corriente de 4-20Ma
Señal del sensor de flujo	0...1200Hz
Rango de trabajo en lazo cerrado para control de presión	0...30 kPa (0...300 mbar)
Rango de medición del manómetro
Rango de trabajo en lazo cerrado para control de temperatura	0...60° C
Rango de medición del sensor de Temperatura	50°C. . . 150°C

Fuente: (Muñoz & Pérez, 2016, pág. 51)

3.7. Instrumentos

Para la obtención de los parámetros técnicos tanto eléctricos como electrónicos se hace uso de datos que proporcionan tablas de mediciones, graficas, curvas, fichas técnicas, hojas de registro de sensores, dispositivos y elementos varios que intervienen en las plantas de procesos industriales.

3.8. Técnicas de comprobación de hipótesis

- Comprobación de la programación del PLC, mediante la conexión del prototipo con el simulador virtual de procesos industriales y la correcta la ejecución del mismo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

El presente capítulo detalla los resultados obtenidos de una indagación sistemática realizada en los anteriores apartados, mediante los instrumentos de recolección de información se puede optar por la selección de aquellos aportes que ofrezcan la mejor variabilidad y beneficios a sistemas híbridos y caractericen una relación estable entre la teoría y la práctica, aquellos deben estar enfocados a los diferentes requerimientos que integren y establezca el sistema y por ende sus operadores.

La información que proporcionará la investigación predeterminada, será de utilidad para los siguientes capítulos establecidos en la teoría del proyecto, tanto a la propuesta como a las conclusiones a las cuales lleva la indagación realizada.

4.1. Análisis de resultados de la investigación

En la inquisición de los diferentes tipos de sistemas de procesos industriales, se pudo afinar que existen tres, las cuales pueden ser aplicadas a diferentes áreas según las exigencias que se establezca, estos son:

- Sistemas de procesos industriales reales con implantación física.
- Sistemas de procesos industriales híbridos.
- Sistemas de procesos industriales totalmente simulados.

Acorde al tema del proyecto de investigación se toma como referencia a los sistemas de procesos híbridos, pues se realizará el diseño e implementación de un prototipo de

conexión, entre la parte simulada que son los procesos industriales en su respectivo software de simulación y la parte real para este caso el PLC y la tarjeta electrónica programables, se realizará la verificación del sistema híbrido mediante la programación de los mismos.

4.1.1. Enfoques y Análisis de Sistemas Híbridos

Los sistemas híbridos satisfacen las necesidades que demanda el proyecto, porque se vincula directamente con la problemática que posee el laboratorio de PLCs, el cual es no constar con el número de plantas físicas necesarias para la elaboración de procesos industriales en el ámbito educativo; para llevar a cabo la implementación de un sistema híbrido se debe tomar en cuenta diversas cualidades que a continuación se resumen y detallan en la tabla 6.

Tabla 6

Parámetros incluyentes en un sistema híbrido de procesos industriales

Parámetros del sistema	Descripción	Selección y características
Diseño y Selección de Elementos y Dispositivos	Contempla establecer y seguir un cierto número de actividades que implican factores como: lugar, tiempo, y espacio para así llevar a cabo la finalidad del proyecto respondiendo preguntas como: ¿Para Qué?, Con qué? y Cómo? se cumplirá con lo establecido en un sistema de procesos industriales híbridos.	Aquellos factores que implican en la selección de los elementos deben abarcar lo necesario para cumplir con la descripción establecida, por la misma razón se enlista a continuación los elementos que constituyen el sistema híbrido en este caso en prototipo de conexión. Tarjeta de adquisición de datos electrónica programable con plataforma libre y de código abierto fundamentada en hardware y software flexible y fácil de utilizar. (ARDUINO DUE)

CONTINÚA

		<ul style="list-style-type: none"> • PLC's programables con el software de simulación para su debida verificación y ejecución de procesos industriales. • Acondicionamientos de señales para los diferentes circuitos eléctricos y electrónicos tanto para señales digitales y análogas. • Fuentes de Alimentación. • Cables de conexión.
<p>Modelación y Simulación</p>	<p>Compete a los sucesos que se realiza o intervienen en la creación del proceso industrial, para que el operario pueda tener una clara visualización, comunicación y gestión de componentes principales del proceso a efectuar.</p>	<p>El software de modelación para la simulación de los procesos industriales escogido fue LabVIEW 2015.</p> <p>La modelación y simulación se lo realiza en tres etapas la primera mediante la programación vi con diagramas de bloques en el software de simulación de los procesos, la segunda etapa es la programación de la tarjeta electrónica para interpretar los datos de simulación, y la ultima la configuración y programación del PLC escogido.</p>

Mediante lo expuesto en la tabla 6 se analiza y se conforma que el tipo de sistema hibrido que se propone es el apto para poder solucionar los problemas del proyecto de investigación así también que es el adecuado para poder implementar en el laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, ya que consta con las características adecuadas de diseño y parámetros de cumplimiento de sistemas

de procesos industriales, tomando en cuenta que debe ser idóneo para la verificación de programación del PLC seleccionado.

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1. Tema de la propuesta

Diseño e implementación de un prototipo módulo de conexión entre un simulador virtual de procesos industriales y un programador lógico controlable en el laboratorio de PLC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

5.2. Datos Informativos

Nombre de la empresa: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

Dirección: Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Calle Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez, Laboratorio de PLC.

5.2.1. Beneficiarios

Estudiantes que cursen la materia de PLCs, y personas que operen en el laboratorio, en el campo de automatización y control de procesos.

5.3. Objetivos

5.3.1. Objetivo General

Diseñar e Implementar un prototipo módulo de conexión por medio de la estructuración de un circuito electrónico que permita manipular variables de ingeniería de una tarjeta

electrónica programable y de un software de simulación de procesos industriales mediante modelación VI con diagramas de bloques.

5.3.2. Objetivos Específicos

- Vincular el software de simulación LabVIEW con la plataforma de código abierto Arduino para la manipulación de variables análogas y digitales.
- Realizar el acondicionamiento de las señales de voltaje entre PLC y tarjeta electrónica Arduino que permitan la conexión de dispositivos y aplicaciones.
- Desarrollar el HMI respectivo para cada uno de los procesos industriales en el software LabVIEW (Caudal, Temperatura, Presión, Nivel).
- Realizar un menú didáctico en el Software LabVIEW, que permita a los estudiantes interactuar de una forma intuitiva con la simulación de los procesos industriales.

5.4. Antecedentes de la propuesta

Las plantas de procesos industriales existentes en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, fueron anteriormente elaboradas en proyectos de investigación, son manipuladas para docencia y aprendizaje de los estudiantes y su uso lo deteriora, quedando muchas de ellas obsoletas para ser utilizadas, es la razón por la que se necesita de un prototipo que permita simular los procesos industriales de cada planta que permita interactuar con interfaces confiables que permitan analizar el comportamiento del proceso.

5.5. Justificación de la propuesta

La implementación de este tipo de prototipos permite a los estudiantes de las diferentes carreras que abarcan la automatización y control de procesos, a desarrollar prácticas y procesos industriales simulados que faciliten el aprendizaje práctico en la materia de PLC, además brinda la capacidad de generar y medir variables eléctricas y electrónicas de circuitos análogos y digitales que pueden ser visualizados en la simulación de cada proceso, beneficiando en tiempo de práctica y espacio al laboratorio.

5.6. Fundamentación de la propuesta

Los procesos simulados se basan en las plantas físicas existentes en el laboratorio para variables de caudal, nivel, temperatura y presión; el HMI de cada uno permite observar dichos procesos con gráficas de variables de control que permiten verificar la programación del PLC mediante su enlace con el software de simulación LabVIEW por un circuito de acondicionamiento eléctrico – electrónico.

5.7. Diseño de la propuesta

5.7.1. Resumen

En este apartado se indica los pasos del formato del diseño a elaborar en la propuesta.

- Circuitos de acondicionamientos eléctricos-electrónicos.
- Enlace del Software LabVIEW y plataforma libre de código abierto Arduino.
- HMI y simulación en el Software LabVIEW de procesos industriales.

- HMI del Menú de selección de procesos industriales.
- Verificación de la programación del PLC.

5.7.2. Arquitectura de la propuesta

En la Figura 16 se observa los componentes que conforman el sistema tanto en hardware como en software.

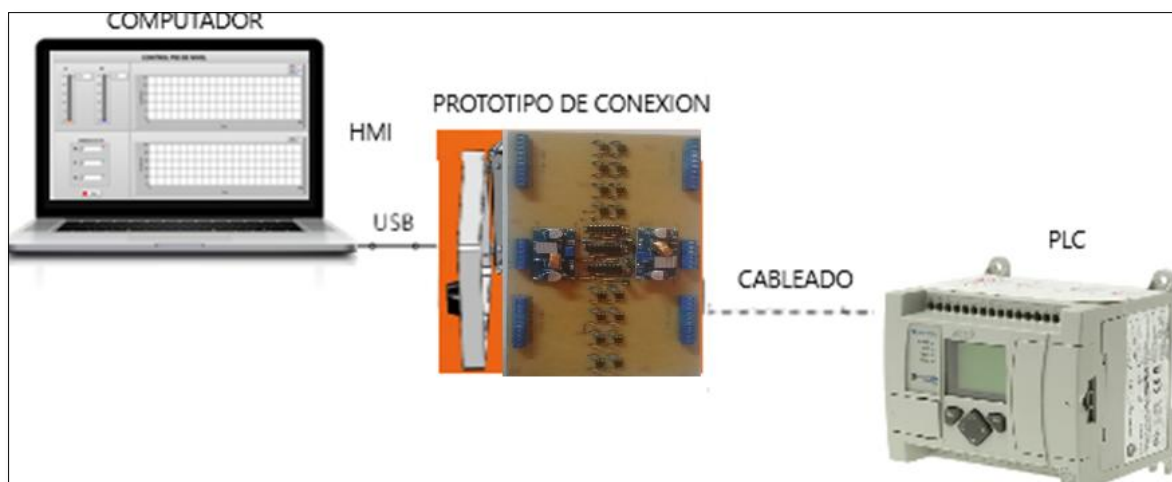


Figura 16 Estructura y elementos del sistema implementado.

5.8. Criterios de selección de circuitos eléctricos

5.8.1. Circuito de acondicionamiento PLC - ARDUINO

Las consideraciones de los elementos que constituyen el circuito de acondicionamiento se lo realizan mediante rangos de salidas analógicas de voltajes del PLC y Arduino que son:

- **PLC:** 0 – 10 V
- **Arduino:** 0 – 3,3 V

Estos valores son utilizados para seleccionar las resistencias convenientes de entrada, salida y ganancia del amplificador utilizado, en este caso es el LM324N que en el ANEXO A se detalla su diagrama y características técnicas de conexión.

Utilizando la Figura 17 que se presenta a continuación se calcula las resistencias antes mencionadas.

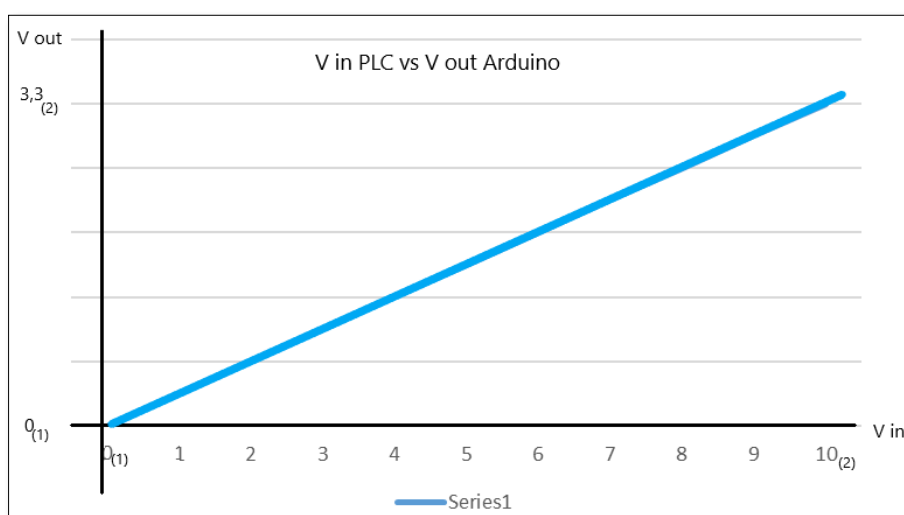


Figura 17 Diagrama de voltaje (V_{in} vs V_{out}) para el circuito de acondicionamiento PLC - Arduino.

Debido a que se obtuvo una línea recta se calcula la pendiente m que es despejada de la siguiente ecuación:

$$V_{out} = m * V_{in} + b \quad (1)$$

Donde:

$$m = \frac{V_{out(2)} - V_{out(1)}}{V_{in(2)} - V_{in(1)}} \quad (2)$$

$$m = \frac{3,3 - 0}{10 - 0}$$

$$m = 0,33$$

A continuación, en la figura 18 se observa el diagrama en el Software Proteus del circuito de acondicionamiento PLC – ARDUINO del cual se determina los valores de resistencias con la ecuación a seguir:

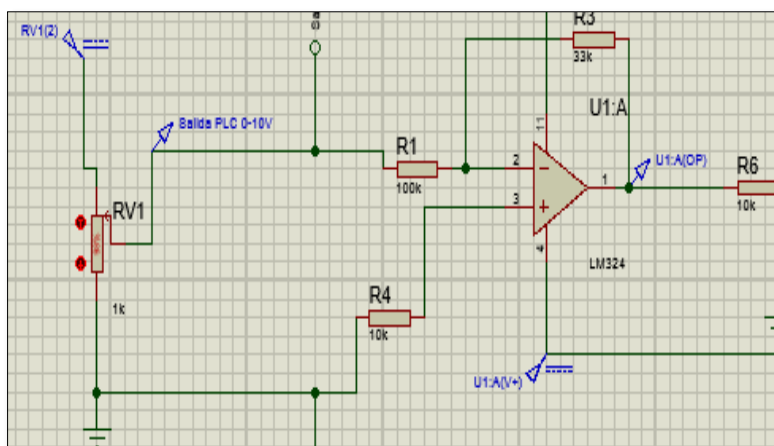


Figura 18 Circuito de acondicionamiento PLC - ARDUINO con Integrados LM324N y sus correspondientes resistencias de entrada, salida y ganancia.

$$m = \frac{R_3}{R_1} \quad (3)$$

$R_1 \geq 10 \text{ K}\Omega$, pues debe ser una impedancia de entrada alta por ende se escoge una $R_1 = 100 \text{ K}\Omega$, y al despejar R_3 de la ecuación (3) se obtiene:

$$R_3 = m * R_1$$

$$R_3 = (0,33)(10 \text{ K}\Omega)$$

$$R_3 = 33\text{ K}\Omega$$

Estos cálculos proporcionan la salida invertida del circuito de acondicionamiento por lo que es necesario realizar un circuito inversor con ganancia 1 como se indica en la Figura 19, donde las resistencias de entrada y salida tienen el mismo valor de impedancia.

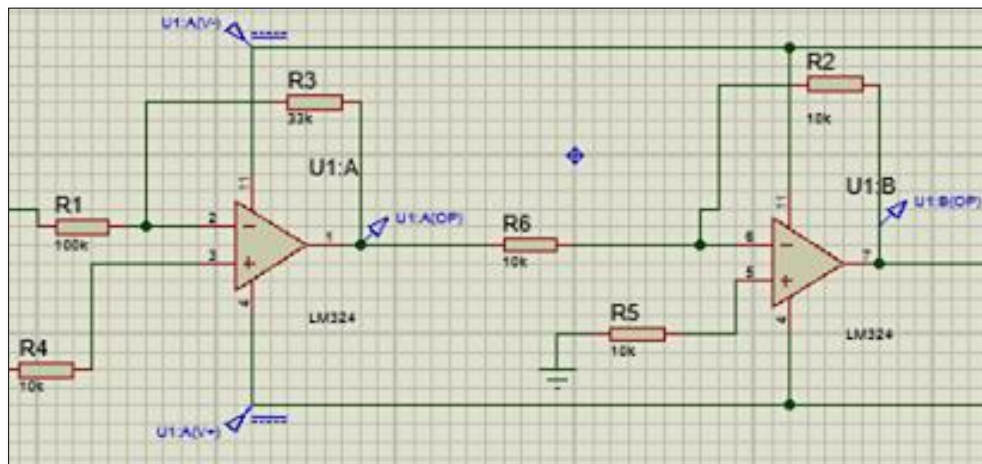


Figura 19 Circuito inversor de voltaje con ganancia 1.

En la siguiente etapa para que no exista el desacoplamiento de impedancias se añade un seguidor de voltaje tal y como se indica en la Figura 20.

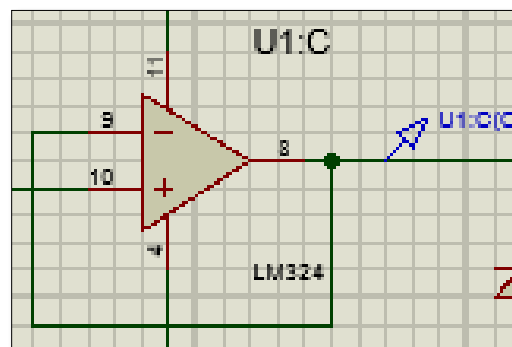


Figura 20 Circuito seguidor de voltaje

La protección de cada circuito anterior se realiza complementando un circuito de protección y filtro pasabajo como se muestra en la figura 21, que para la selección de sus elementos utilizan las siguientes ecuaciones:

$$W_c = \frac{1}{R * C} \quad (4)$$

$$W_c = 2\pi f_c \quad (5)$$

$$f_c = \frac{1}{2.\pi.R.C} \quad (6)$$

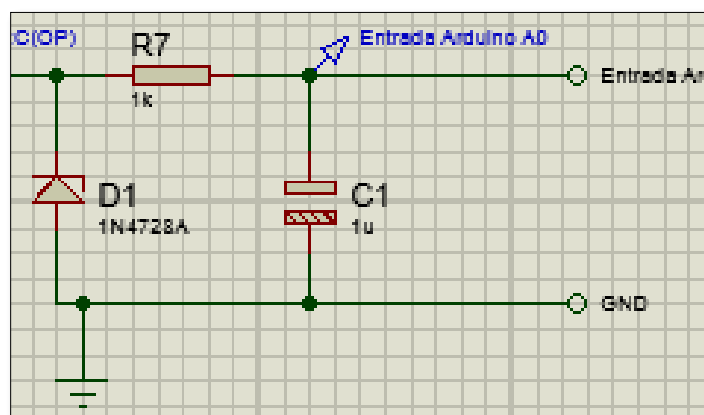


Figura 21 Circuito de protección y filtro pasabajo de ingreso al Arduino.

El diodo Zener **D1 1N4728A** satura al valor de voltaje al cual está diseñado que en este caso es 3.3 V, protegiendo la entrada de la tarjeta electrónica Arduino, de la misma manera el filtro **C1** protege perturbaciones como ruido en alta frecuencia que se puedan generar, con una frecuencia de corte $f_c = 15 \text{ Hz}$ que permita pasar solo C.C.

Los valores de saturaciones del Diodo Zener, resistencia, y filtro capacitor se obtuvo mediante la utilización de Datasheet que se pueden observar en el ANEXO B.

$$C = 10 \text{ uf}, R7 = 1 \text{ k}\Omega, C = 10 \text{ uf}, D1 = a 3,3 \text{ V}, fc = 15 \text{ Hz}$$

5.8.2. Circuito de acondicionamiento ARDUINO – PLC

En esta etapa se experimenta con un proceso más complejo, puesto que al analizar mediante la ecuación de la recta se revela que existe un desplazamiento en el eje x como se muestra en la Figura 22, esto se debe a que los valores de salida de voltaje del Arduino no dieron exactos siendo estos:

- Min: 0,55 V
- Max: 2,76 V

Por lo que se debe transformar de: **0,55 V a 0 V** en su valor mínimo y de **2,76 V a 10 V** en su valor máximo para la entrada del PLC.

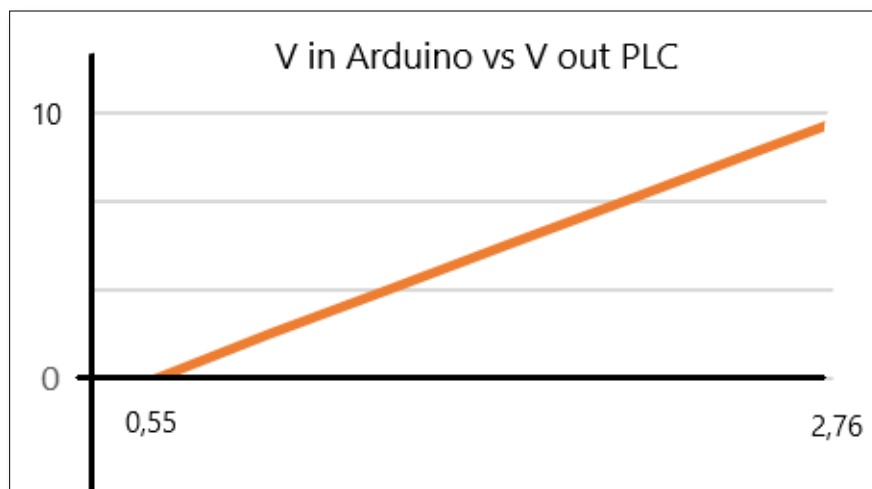


Figura 22 Diagrama de voltaje (Vin vs Vout) para el circuito de acondicionamiento Arduino –PLC

De igual manera al anterior circuito de acondicionamiento se aplica la Ecuación (1) y (2) para poder encontrar la pendiente de la recta desplazada siendo:

$$m_1 = \frac{10 - 0}{2,76 - 0,55}$$

$$m_1 = 4,53$$

Previo a la implementación del circuito de acondicionamiento Arduino – PLC se añade un circuito inversor de voltaje que es utilizado a la entrada del circuito de acondicionamiento como se indica en la Figura 23, lo valores de resistencias son los mismos que se seleccionó en el circuito anterior:

$$R_8 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R_9 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R_{10} = 10 \text{ K}\Omega$$

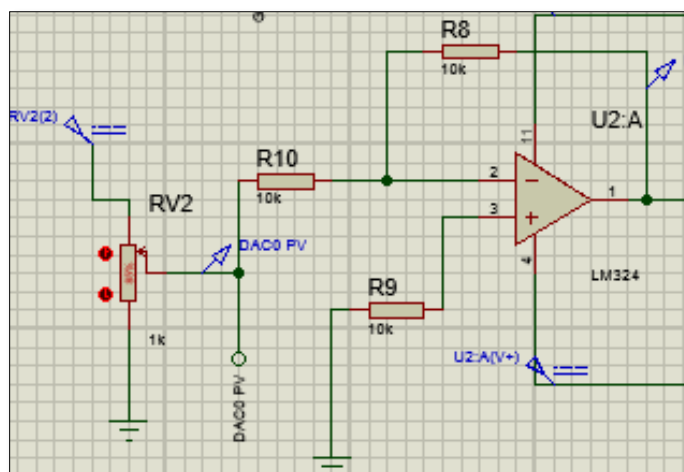


Figura 23 Circuito Inversor de entrada de voltaje para el circuito acondicionador Arduino – PLC

Realizado este circuito se procede al cálculo de las resistencias para el circuito acondicionar usando la Ecuación (3) y con un valor de resistencia $R_{11} = 10\text{ K}\Omega$ se obtiene:

$$R_{12} = 4,53 * 10\text{ K}\Omega$$

$$R_{12} = 45,3\text{ K}\Omega$$

Para hallar el desplazamiento b antes mencionado se utiliza la ecuación (1) y se obtiene:

$$0 = 4.53(0.55) + b$$

$$b = -2,49$$

El signo negativo señala la conexión física a cual se debe conectar, en este caso si es negativo se debe conectar a V_{cc} positivo como se muestra en la Figura 24:

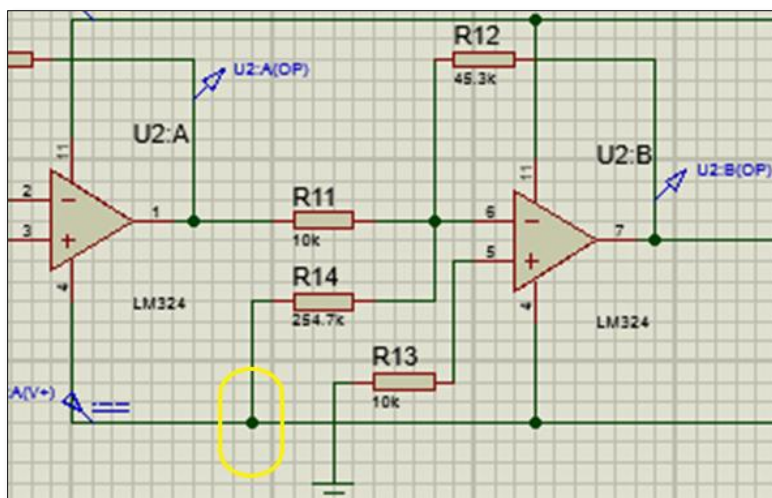


Figura 24 Conexión a V_{cc} positivo del circuito inversor

Para conocer el valor de la resistencia R_{14} se utiliza la siguiente ecuación:

$$b = \frac{R_{12}}{R_{14}} * V_{CC} \quad (7)$$

Se despeja y reemplaza los valores obtenidos y se tiene el valor de R_{14} :

$$R_{14} = \frac{R_{12}}{b} * V_{CC}$$

Donde

$$V_{CC} = 14 V$$

$$R_{14} = 254,7 K\Omega$$

En la Figura 25 se indica la etapa del circuito de acondicionamiento Arduino – PLC con los valores de sus elementos electrónicos.

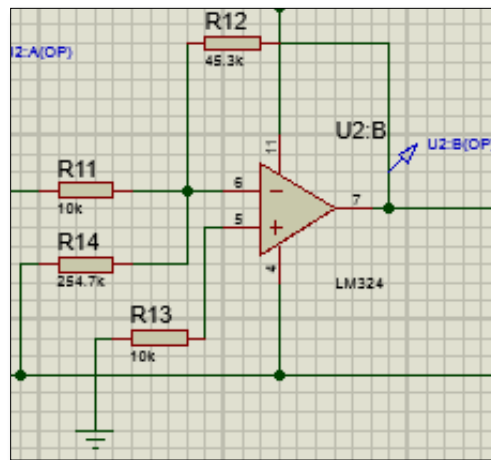


Figura 25 Circuito de acondicionamiento Arduino – PLC.

La etapa siguiente es elaborar un seguidor de voltaje y el circuito de protección mostrada en la Figura 26, pero con un cambio en el **Diodo Zener** que es el **1N4740A** cuyas características se pueden apreciar en el ANEXO C.

$D1 = a 10 V$, de protección de entrada al PLC

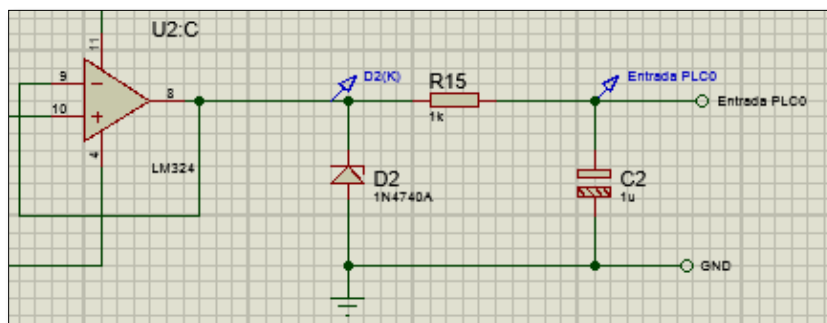


Figura 26 Circuito de protección y filtro pasabajo de ingreso al PLC.

Es importante recalcar que el circuito es alimentado con una fuente de 24 V que pasa por 2 convertidores reguladores de voltaje: **Step Down Lm2596** y **Step Down Mp1584**, ver ANEXO D y E, que alimenta positivamente y negativamente a los demás elementos.

El diseño completo electrónico del prototipo se muestra en el ANEXO F con todos los elementos del circuito eléctricos utilizados.

5.9. Enlace del Software LabVIEW y plataforma libre de código abierto Arduino.

Para realizar el enlace se requiere de un protocolo de comunicación llamado ModBus que se lo crea mediante la instalación y ejecución de un software llamado KepServer, que es un OPC el cual consta de una plataforma que permite la conexión de dispositivos, elementos y aplicaciones de un sistema real o simulado transmitiendo datos de control al usuario.

La versión de la plataforma OPC utilizada es KepServerEX5, se la puede descargar gratuita y fácilmente desde internet, una vez instalado se crea el ModBus, los pasos a seguir se detallan a continuación.

Para crear un nuevo ModBus de conexión entre LabVIEW y Arduino se procede a añadir un nuevo canal y se asigna el nombre deseado tal como se muestra en la Figura 27.

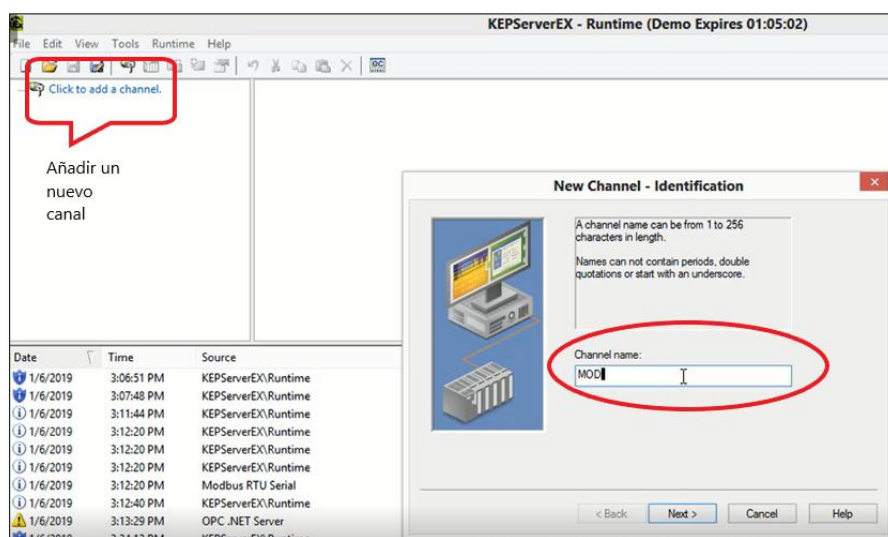


Figura 27 Creación de un nuevo ModBus y asignación de un nuevo canal.

Se hace clic en next y se escoge el protocolo que se quiere utilizar para la conexión en este caso ModBus RTU Serial la Figura 28 indica este paso.

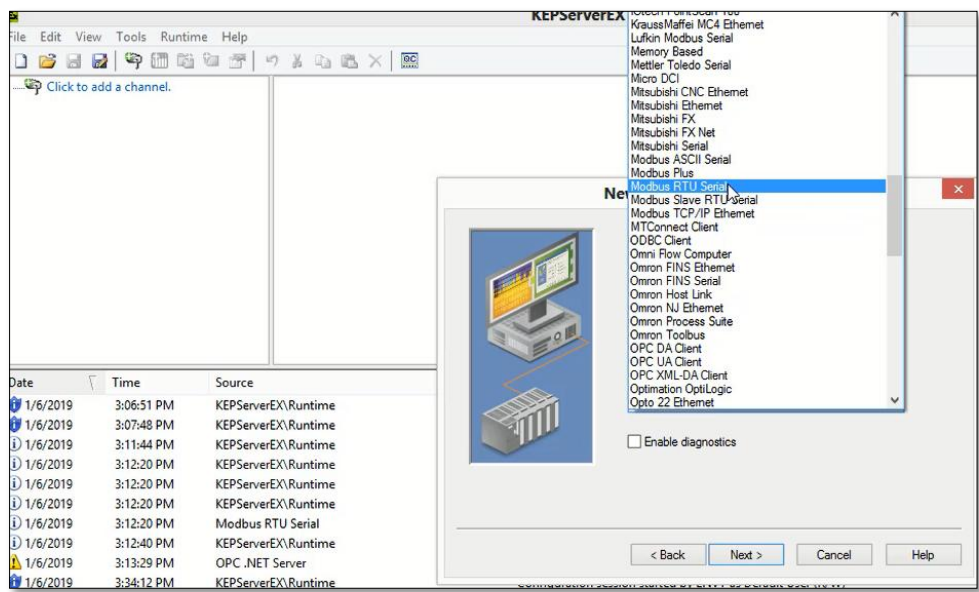


Figura 28 Selección del protocolo de comunicación en KepServer EX 5

La Figura 29 muestra la configuración del puerto en donde se conecta la tarjeta programable Arduino así también el número de unidades por segundo y otros parámetros importantes como números de bits, etc.

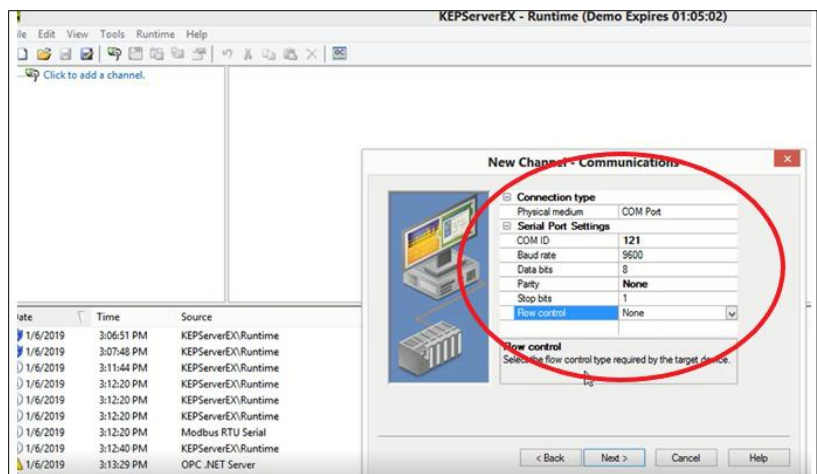


Figura 29 Configuración de los parámetros del protocolo de conexión ModBus RTU

Click en siguiente hasta que se cree el nuevo canal con el nombre antes escrito, lo siguiente a realizar es añadir un dispositivo con el nombre que se desee y se lo observa en la Figura 30.

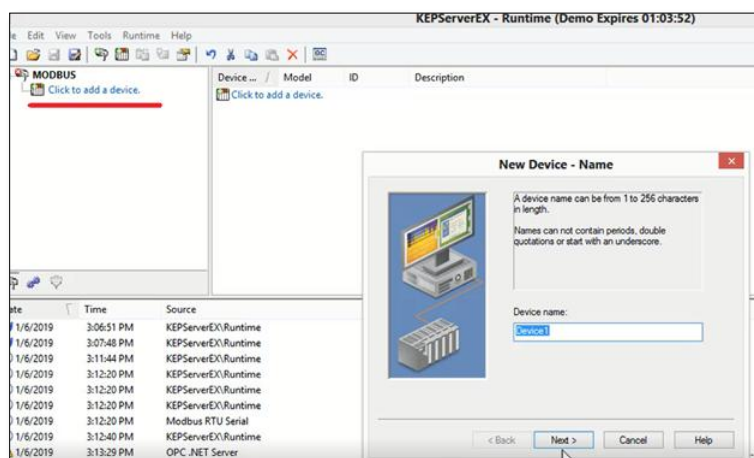


Figura 30 Creación de un nuevo dispositivo de conexión (Arduino).

A continuación, se selecciona el identificador esclavo que se desea comunicar, en este caso Arduino que debe ser el mismo número con el que se programe y guarde en la plataforma de la tarjeta electrónica, como se observa en la Figura 31, se sigue con la instalación hasta que desaparezca la ventana auxiliar.

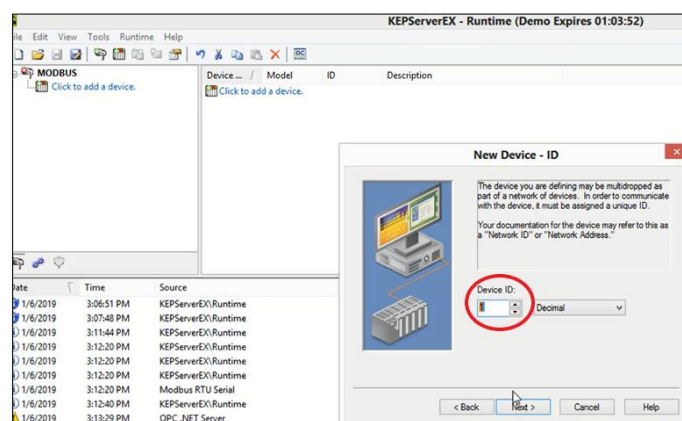


Figura 31 Identificador esclavo del dispositivo creado (Arduino).

Para la creación de las Tag's se hace clic en **add tags** como se indica en la Figura 32 con el nombre que se quiera asignar y las direcciones que vienen establecidas con el protocolo seleccionado, para las entradas analógicas desde 30001 y salidas analógicas desde 40001 en adelante, automáticamente el tipo de dato es reconocido, pero si se requiere se lo puede cambiar, esto se observa en la Figura 33.

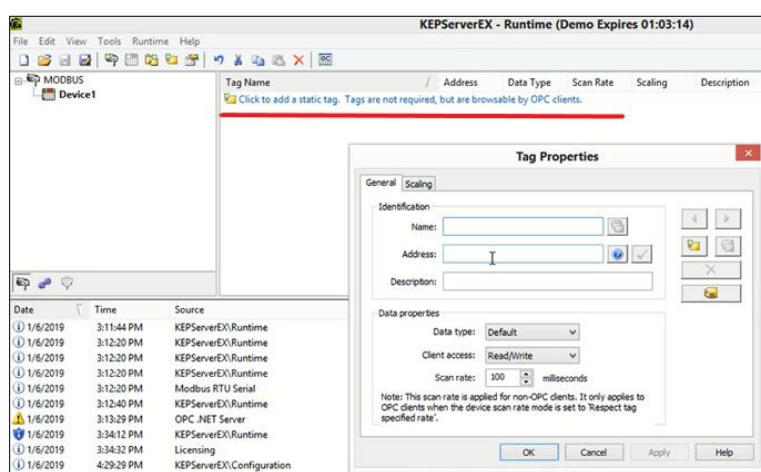


Figura 32 Asignación de Tag's requeridas analógicas y digitales para la conexión LabVIEW – ARDUINO

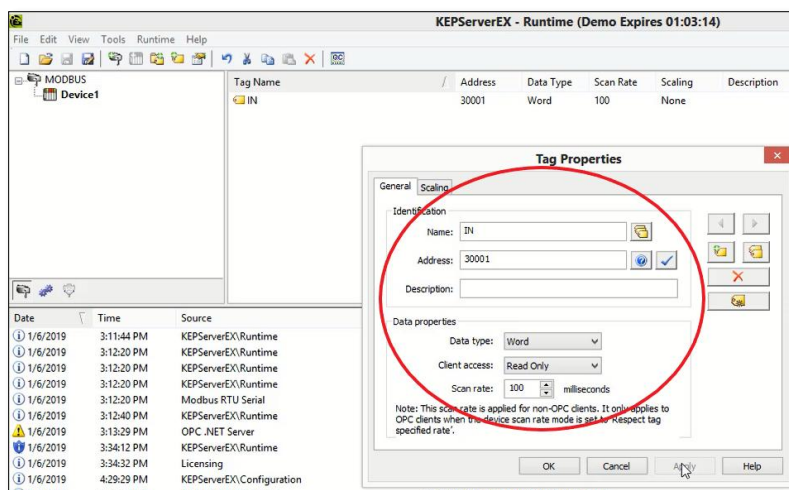


Figura 33 Propiedades de las Tag's creadas.

Una vez asignadas las Tag's analógicas y digitales se procede a verificar si existe comunicación con Arduino, haciendo clic en **Quick Client** como se indica en la Figura 34.

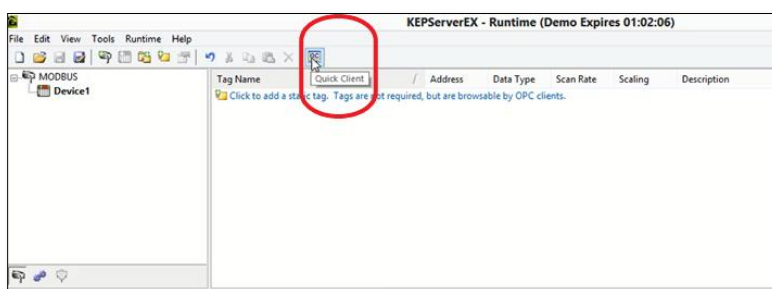


Figura 34 Ingreso al icono de verificación **Quick Client**

Se desplazará una ventana en el cual se observa si la conexión está bien en la Figura 35 se puede observar lo mencionado.

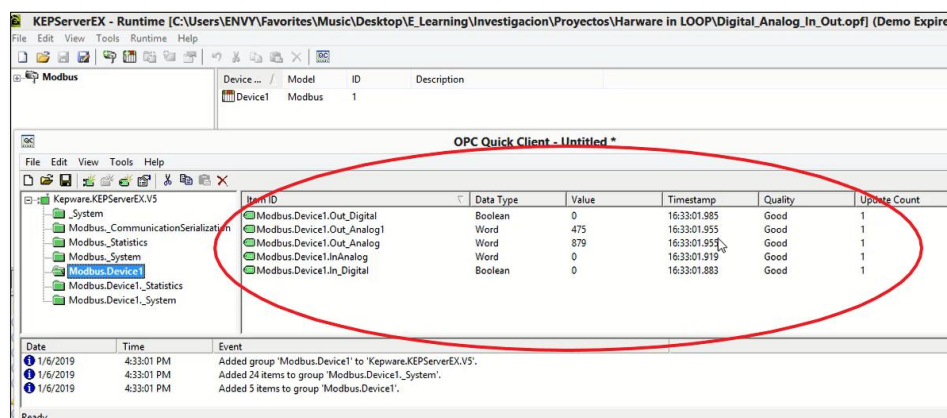


Figura 35 Verificación de la conexión de las Tag's analógicas y digitales con Arduino.

5.10. Programación de la tarjeta Arduino.

La comunicación creada en el apartado anterior recibe y envía datos de información en forma de Bits, se encuentran en un rango de 0 a 1023 por el tipo de tarjeta electrónica programable utilizado, en este caso Arduino Due.

5.10.1. Selección de la tarjeta electrónica programable Arduino

En la Tabla 7 se realiza un cuadro comparativo para la selección de la tarjeta

Tabla 7

Características técnicas entre Arduino DUE y Arduino MEGA

Características	Arduino DUE	Arduino MEGA
Microcontrolador	AT91SAM3X8E	Atmega 2560
Voltaje de operación	3.3 V	5 V
Pines de entrada y salida digitales	54 pines I/O, de los cuales 12 proveen salida PWM.	54
Pines de entrada Análogos	12	16
Pines de salida Análogos	2 (DAC)	0
Velocidad de reloj	84 MHz	16 MHz
Corriente de salida total en los pines I/O	130 mA	40 Ma
Tipos números de entradas USB	Mini (2)	Estándar (1)

Fuente: (MCI Electronics, 2019)

Al analizar la Tabla anterior y por requerimientos del proyecto de titulación se opta por utilizar **Arduino DUE**, posee pines de salida análogos y además no son PWM, esto facilita la comunicación con el Software LabVIEW en la simulación de los procesos, ya que no se debe añadir ningún circuito extra a las salidas análogas, el conversor con la resolución de 10 bits es bidireccional entre 0 y 1023.

5.10.2. Programación en código abierto para Arduino DUE

La programación de la plataforma Arduino requiere de librerías que pueden ser importadas desde su propio entorno como se indica en la Figura 36.

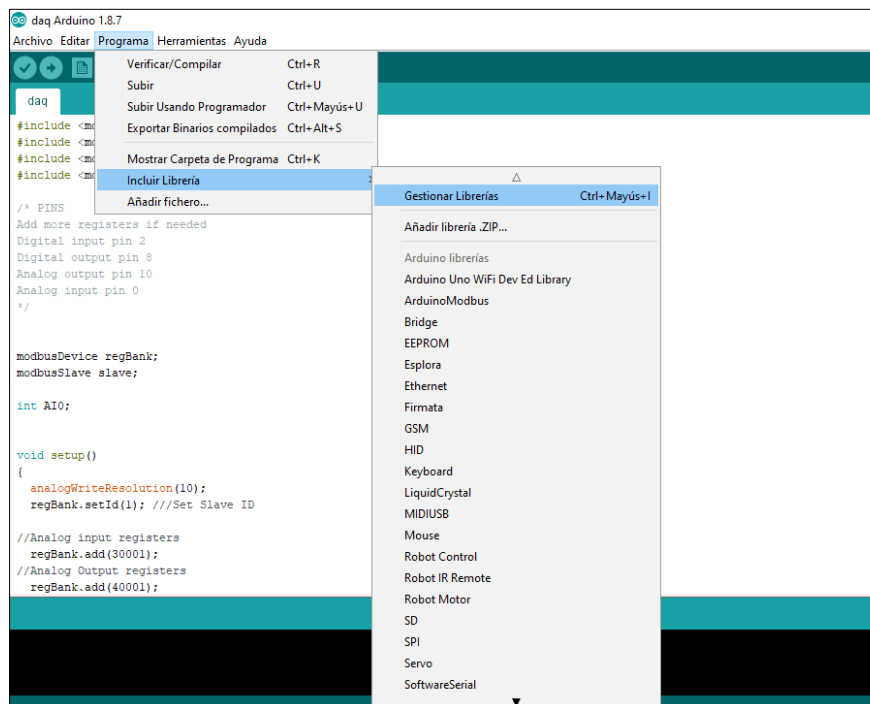


Figura 36 Importación y gestión de librerías de Arduino

En la ventana auxiliar que se abre (Figura 37) se puede buscar las librerías según la necesidad de programación y proceso que se quiera realizar.

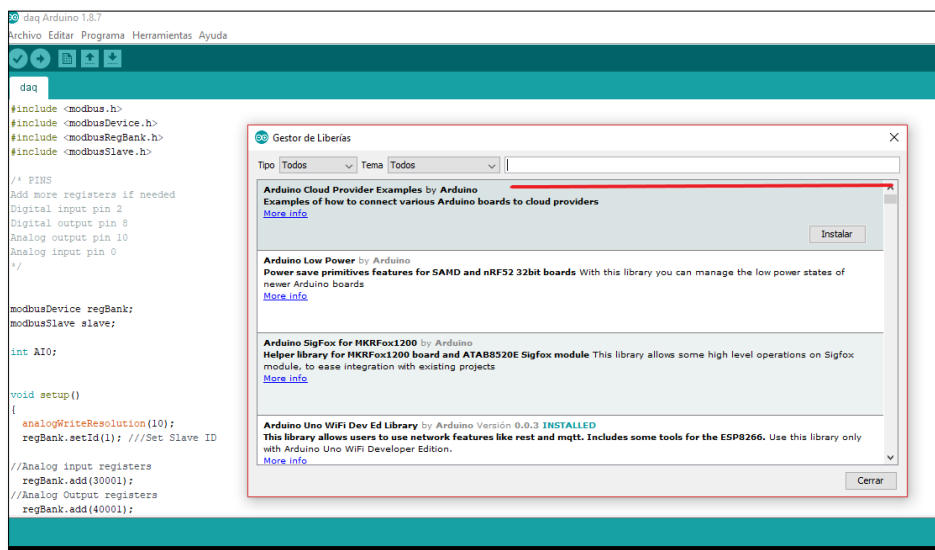


Figura 37 Explorador de librerías de Arduino

Una vez descargadas las librerías necesarias se procede a distanciar por clase, luego a crear variables de entrada y salida análogas con su respectiva resolución, lo siguiente es setear el indicador esclavo en 1 añadiendo su registro y se manda a compilar el esclavo. La codificación de la programación de enlace LabVIEW y Arduino se observa en el ANEXO G.

5.11. Diseño HMI en el Software LabVIEW de procesos industriales.

El software de simulación LabVIEW posee un entorno con módulo DSC en el cual se desarrolla las interfaces gráficas de los procesos simulados, cada uno se programa en diagramas de bloques que permite el control y monitoreo de variables que intervienen como: Set Point (SP), Variable de control (CV), Variable del Proceso (PV) ya sea manual, automático o mediante un PLC que se conecte a la entrada y salida análoga del circuito de acondicionamiento Arduino –PLC.

5.11.1. HMI de los procesos diseñados

En esta etapa se realiza el diseño del HMI de simulación de los procesos industriales correspondientes a las cuatro variables fundamentales (temperatura, nivel, caudal y presión), cada uno de ellos contiene el modelo matemático de la planta y un entorno gráfico en dos dimensiones, también se puede controlar las perturbaciones (cargas) mediante los botones que presenta el software de simulación, finalmente se tiene un control manual de las variables como se muestra en la Figura 38.

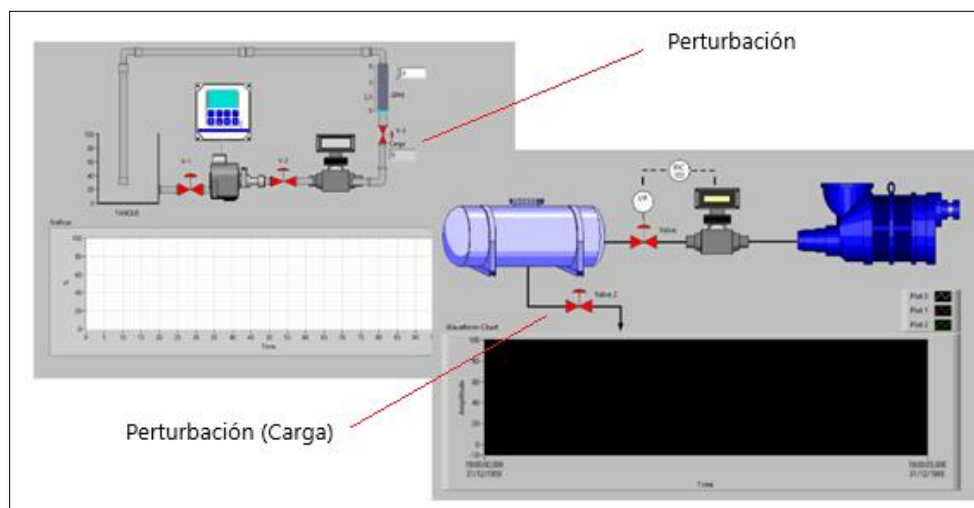


Figura 38 HMI de los Procesos de Presión y Caudal.

Cada HMI utiliza elementos y dispositivos que constituyen el proceso industrial y asemeja a la planta real como son: válvulas, transmisor, contenedores, tuberías, indicadores, bombas, etc., son creadas de la misma manera para los cuatro tipos de procesos, ver ANEXO H.

5.11.2. Simulación de los procesos diseñados

a) Simulación de la planta de Nivel

El HMI diseñado del proceso que se muestra en la Figura 39, corresponde al proceso de nivel que simula su funcionamiento, utilizando un transmisor, controlador y válvula proporcional de nivel, en la parte inferior se muestra un Process Chart donde se observan las señales (SP), (PV) y (CV) que se utilizan para validar el control PID implementado.

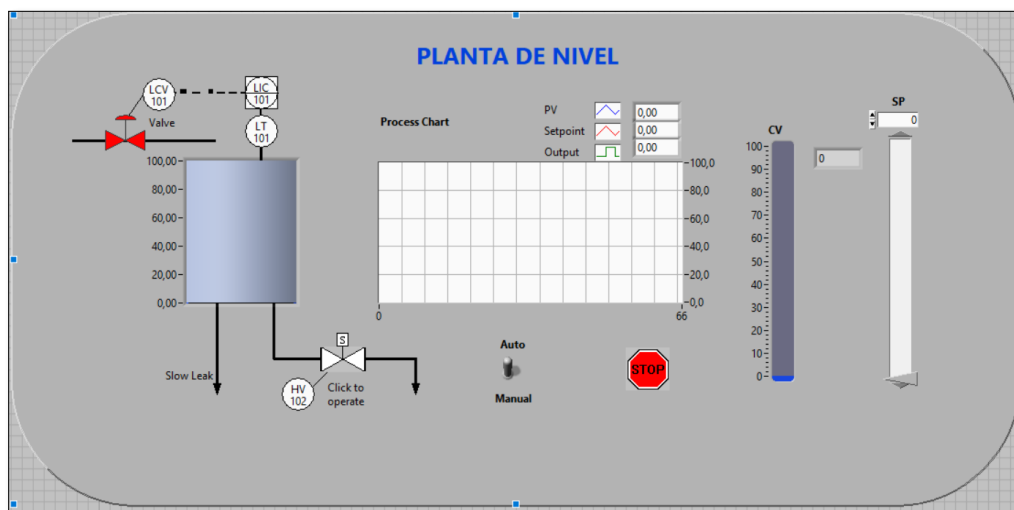


Figura 39 HMI del proceso de una planta de nivel.

En la Figura 40 se indica el Control & Simulation Loop correspondiente al módulo Control & Desing Simulation del software LabVIEW, donde mediante una programación en diagramas de bloques se estructura la simulación, cada bloque de programación tiene su finalidad “Transfer Function” sirve para ingresar la función de transferencia que representa de forma matemática el funcionamiento de la planta de nivel, en conjunto se debe ingresar un retardo dado por el bloque “Transport delay”. De manera que al comunicar la plataforma Arduino con LabVIEW este pueda aceptar las señales analógicas de control para poder interactuar con la planta simulada, de igual manera las variables de ingeniería son escalas en porcentaje de 0 a 100%.

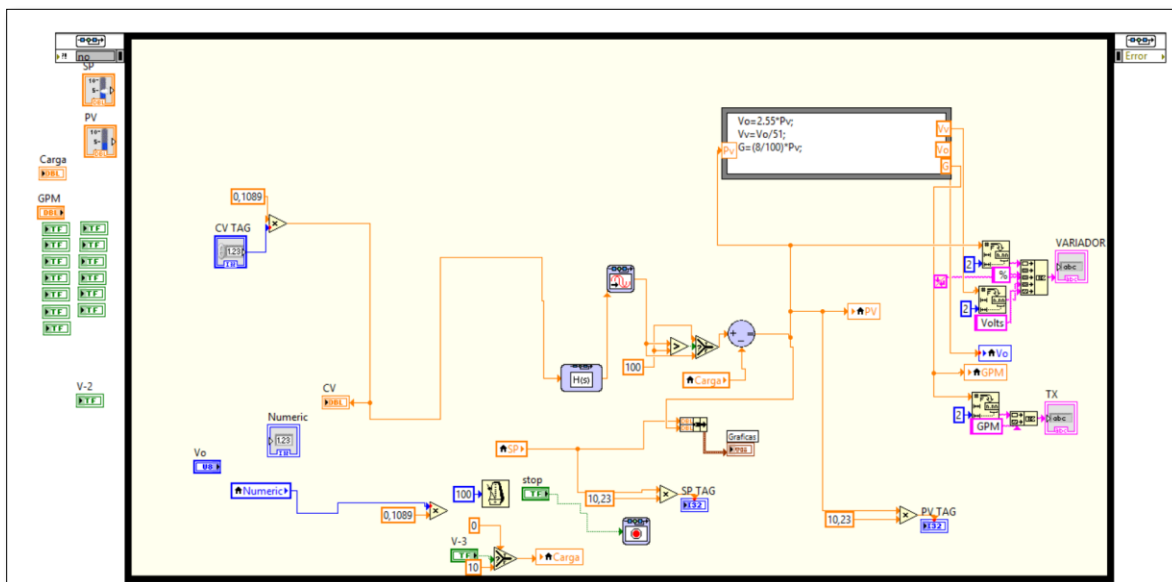


Figura 40 Programación en diagramas de bloques del VI proceso de nivel.

Los tres procesos restantes se arman de la misma manera al anterior, teniendo en cuenta sus respectivos componentes, sucesos, y modelación matemática de la planta física su HMI y diagrama de bloques en VI se los puede observar en el ANEXO I.

5.12. Diseño del HMI del menú principal

El HMI principal está conformado por un menú de cuatro botones, que dan ingreso a cada uno de los procesos industriales como se muestra en la Figura 41.

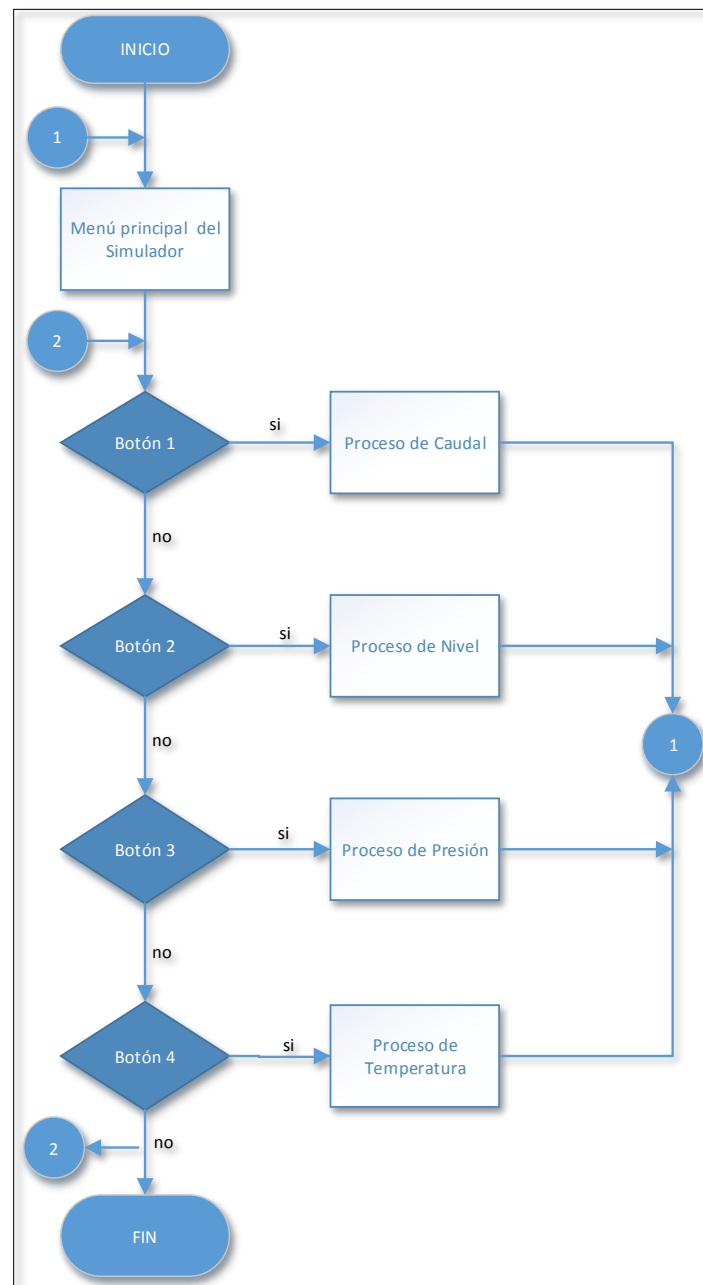


Figura 41 Diagrama del flujo del HMI del sistema simulado.

A continuación, se detalla cómo se desarrolla el HMI del menú principal del sistema simulado.

En el software LabVIEW se selecciona “Event Structure” para especificar los eventos que deben desplegarse de acuerdo a los botones seleccionados en el menú, como se muestra en la Figura 42.

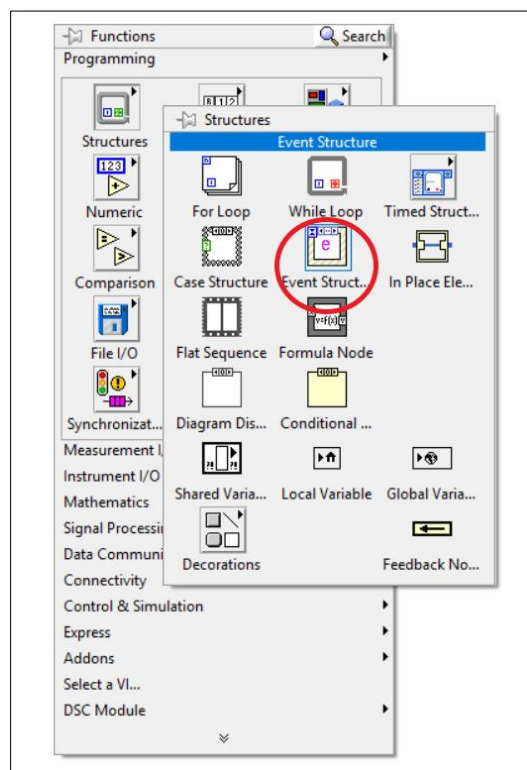


Figura 42 Ventana de selección de eventos a efectuar “Event Structure”

Para agregar un proceso industrial a la etiqueta del selector de eventos, se debe agregar para cada botón del menú un “Value Change” para que pueda reconocer la “Event Structure” cada uno de los HMI diseñados como se muestra en la Figura 43.

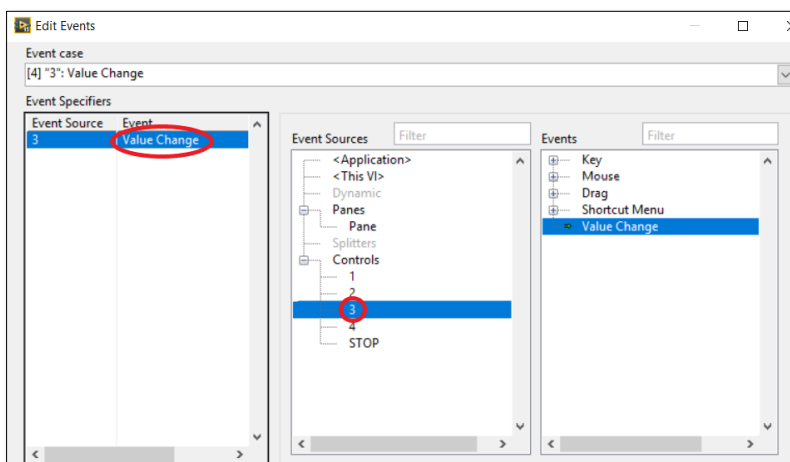


Figura 43 Ventanas de eventos específicos que se desee implantar “Value Change”

Lo siguiente en realizar es configurar para cada evento los VI que deben ejecutarse cuando se presione cada uno de los botones del menú principal, para ello se debe asignar la dirección del VI utilizando un “Open Application Reference” a continuación “Open VI Reference” que busca el VI en la dirección donde fue cargado previamente (Figura 44).

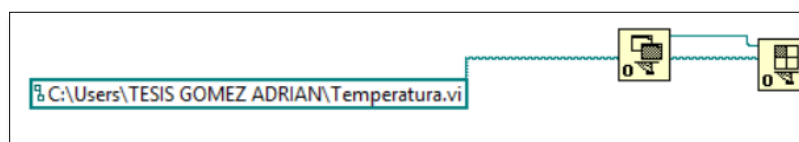


Figura 44 Icono “Open VI Reference” del VI del proceso simulado de temperatura.

El bloque “Invoke Node” permite que el VI seleccionado se active y maximice cuando se haya presionado uno de los botones, “Wait Until Done” permite que el VI se ejecute automáticamente sin la necesidad de utilizar un “Run” de forma manual. “FP. Close” regresa al usuario al menú principal, cuando se haya presionado “Stop” en el VI que se está ejecutando, la Figura 45 indica el evento antes mencionado.

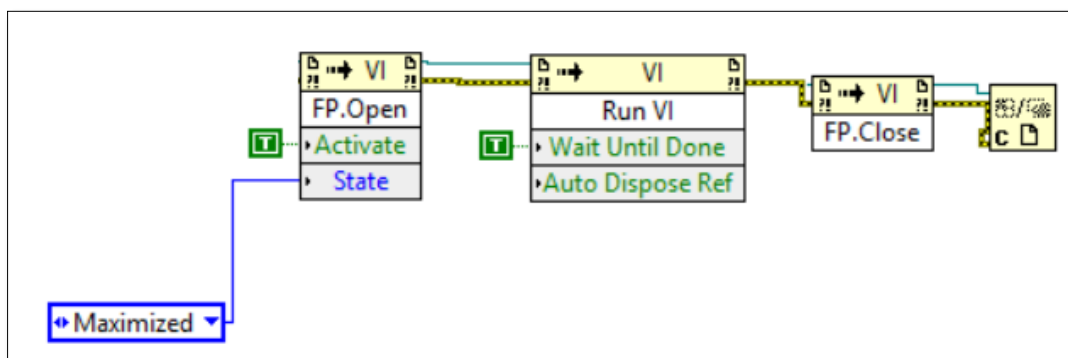


Figura 45 Ventanas de partida y retroceso de los procesos que se desee seleccionar.

Cabe recalcar que la configuración de los eventos para los cuatro procesos industriales, son los mismos teniendo en cuenta que los VI deben estar en la misma dirección del menú principal.

5.13. Análisis de resultados

5.13.1. Tiempo de conexión

Un PLC de forma trabaja a tiempo real y de forma determinada en ciclos constantes y con perturbaciones que se pueden generar en algún momento, el prototipo por su protocolo de conexión no permite que sea así, pues su respuesta varía según el OPC utilizado, por el retardo del bloque Transport Delay de la función de transferencia en Labview, o complejidad del proceso industrial dando que su comunicación no sea instantánea y generando ciclos en tiempos no estimados tal y como se muestra en la Figura 46.

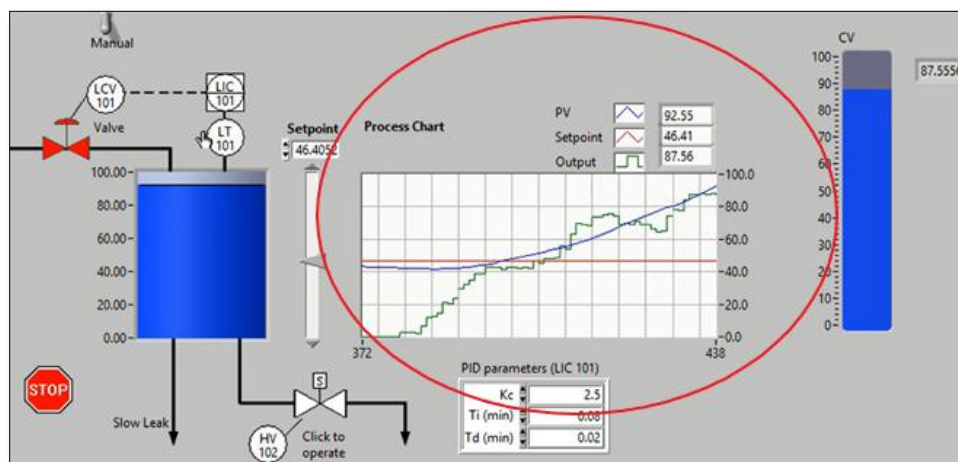


Figura 46 Ondas de variables SP, CV, y PV generadas en tiempos no estimados.

Para el análisis es necesario conocer cuál fue el escalamiento realizado para las variables de ingeniería utilizado en cada proceso, como se indica en la Tabla 8

Tabla 8

Variables de ingeniería escaladas (0 – 100 %) (0 – 10 V).

VARIABLES ESCALADAS	
EQUIVALENTE EN PORCENTAJE (%)	EQUIVALENTE EN VOLTAJE (V)
0	0
50	5
70	7
80	8
100	10

Según lo establecido en la tabla anterior el escalamiento y medida de las variables deberían ser exactas, pero al realizar el cálculo y medición correspondiente en el proceso no fueron así; obteniendo los siguientes valores del proceso simulado a un valor de la variable SP del 50 % como se indican en la Figura 47 y Figura 48.

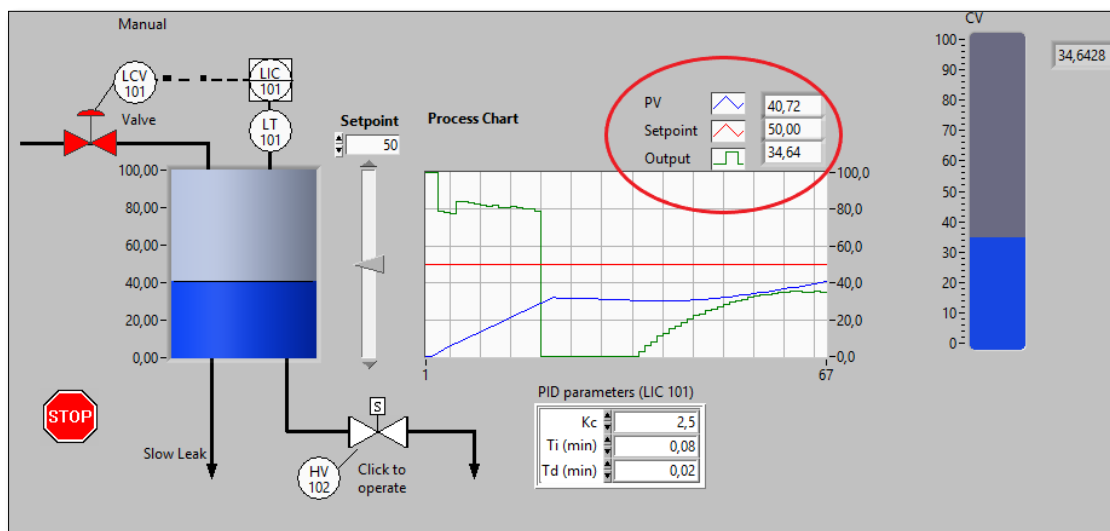


Figura 47 Valores calculados en la simulación de un proceso de nivel a un CV 50%.



Figura 48 Valores medidos en el prototipo

Los valores se estabilizaron a un tiempo estimado de 4 segundos tanto para el PV, CV y SP por el control PID que se realiza en el PLC y estos se indican en la tabla 9.

Tabla 9

Valores medidos y calculados a 50 por ciento.

VARIABLE	VALOR CALCULADO EN SIMULACION (%)	VALOR MEDIDO EN EL PROTOTIPO (V)
SP	50	5.10
CV	47.15	4.1
PV	47.8	4.1

Los valores de voltaje en las salidas análogas del circuito no son exactos a los propuestos anteriormente, pues existe un margen de error en la tolerancia de los potenciómetros lineales, en resistencias y en elementos equivalentes utilizados en cada etapa de la estructura del prototipo. El porcentaje de error en los valores de las variables de salidas de voltaje análogas se calcula como indica en la Ecuación 8:

$$e = \frac{Valor_{medido} - Valor_{real}}{Valor_{medido}} * 100 \quad (8)$$

Tomando los valores de la Tabla 7 a un porcentaje del 50, se obtiene:

$$e = \frac{5.10 - 5}{5} * 100\%$$

$$e = 2\% \text{ de margen de error}$$

A continuación, se realiza un análisis para el 70 y 80 por ciento de señales de SP, PV y CV obteniendo los siguientes valores que se muestran en la Figuras 49 y Figura 50.

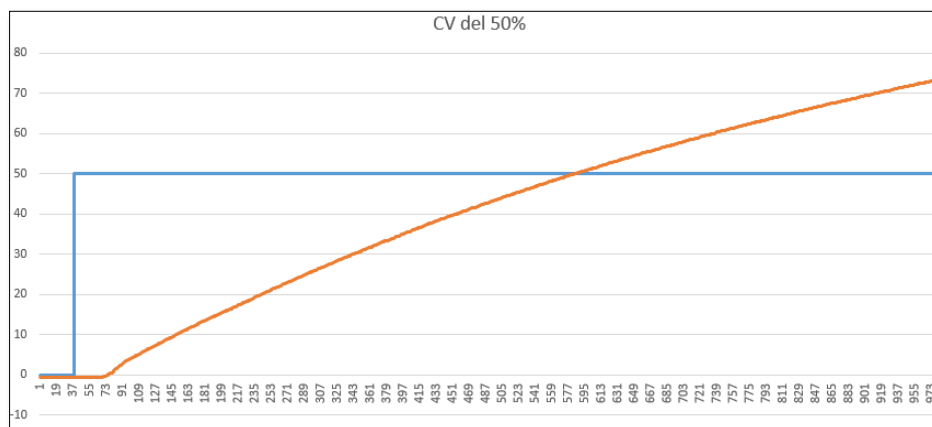


Figura 49 Valores calculados en la simulación a un CV 70 % .

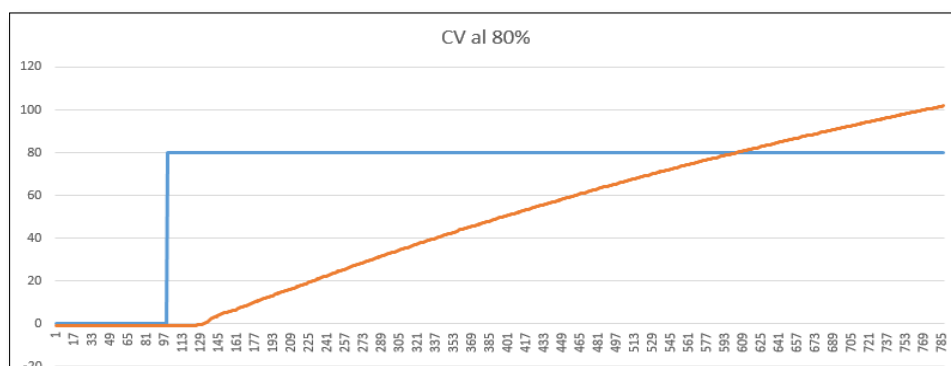


Figura 50 Valores calculados en la simulación a un CV 80 %

En las Tablas 10 y 11 se muestran los valores calculados y medidos a los respectivos porcentajes.

Tabla 10

Valores medidos y calculados a 70 por ciento.

VARIABLE	VALOR CALCULADO EN SIMULACION (%)	VALOR MEDIDO EN EL PROTOTIPO (V)
SP	70	7.01
CV	68.15	6.9
PV	69.8	7.0

Para conocer el margen de error se emplea la Ecuación 8 y se tiene:

$$e = \frac{7.01 - 7}{7} * 100\%$$

e = 0,14% de margen de error

Tabla 11

Valores medidos y calculados a 80 por ciento.

VARIABLE	VALOR CALCULADO EN SIMULACION (%)	VALOR MEDIDO EN EL PROTOTIPO (V)
SP	80	8.21
CV	88.85	8.15
PV	87.8	8.05

De igual manera se reemplaza en la Ecuación 8, del cual se obtiene:

$$e = \frac{8.21 - 8}{8} * 100\%$$

e = 2.65% de margen de error

CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un prototipo de conexión didáctico a nivel software y hardware en base a circuitos electrónicos y a características de elementos integrantes a plantas de procesos industriales del laboratorio que facilita el aprendizaje de los estudiantes y beneficia el tiempo de ejecución de proyectos.
- Las mediciones físicas de las variables de Control, Proceso y SetPoint presentaron variaciones de error al ser comparados con los simulados en LabVIEW tanto en la planta física como en el prototipo debido a tolerancias de las resistencias lineales del circuito electrónico, escalamientos y enlace tardío.
- Se creó un protocolo de comunicación tipo ModBUS en el software KepServer entre LabVIEW y Arduino semejando un proceso industrial real.
- Se desarrollaron Tag's con el protocolo de comunicación adecuado que permite y trabaja con señales de entradas y salidas análogas de 0, 3,3 y 10 V según la programación interna establecida y con señales digitales tipo sourcing para el control del proceso simulado.
- La simulación de cada proceso posee un modelo matemático con una función de transferencia establecida, la modificación del proceso se lo realizó en el HMI mediante la programación de nuevos VI y SubVI que permiten el control de la ventana de simulación con una similitud del 95 por ciento a las plantas físicas que se encuentran en el laboratorio, el 5 por ciento es de error y se refiere a la retardo que existe en el control del proceso con el PLC debido a la compilación de la

programación del mismo, a los retardos establecidos en los VI y también a la versión de LabVIEW.

- Con la implementación del sistema híbrido propuesto se redujo el espacio de trabajo y se aumentará la capacidad de experimentación en el laboratorio ya que el prototipo caracteriza a las plantas físicas que se encuentran en el laboratorio.

RECOMENDACIONES

- Se debe trabajar con señales de entradas análogas al PLC de 0 – 10 V.
- Los tipos de entrada y salida de señales digitales de los PLC's a utilizar en el enlace deben ser módulos de salida discreta tipo relé sourcing.
- Tomar en cuenta las propiedades que deben ser modificadas al implantar un nuevo protocolo de comunicación como: puertos, esclavos, paridad, etc.
- Se recomienda conocer la dirección precisa de las Tag's para que éstas puedan ser leída como el tipo de dato acorde a lo requerido (Char, Byte, Long. Word, ETC), o seleccionar la opción default para que automáticamente se ubique en la dirección y sea leído de forma correcta.
- Se debe realizar una buena configuración del OPC con el simulador y la tarjeta electrónica programable para evitar fallos.
- Es necesario tener el modelo matemático de la planta física, pues optimizará la simulación del proceso cuando sea introducida en la programación VI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

academia. (15 de 11 de 2018). *ACADEMIA*. Obtenido de http://www.academia.edu/22156303/Tarjeta_de_adquisici%C3%B3n_de_datos_DAQ

autracen. (19 de 11 de 2018). *AUTRACEN WALKING THROUGH INDUSTRY 4.0*. Obtenido de <http://www.autracen.com/descubre-la-estructura-interna-plc/>

Bayas Sánchez, O. F., & Cocha Apupalo, H. P. (2016). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR DE AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES COMPATIBLE CON LOSMPLCS SIEMENS Y ALLEN BRADLEY PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES DE COMUNICACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE . Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

Blevins, T. (17 de 07 de 2018). *modelingandcontrol*. Obtenido de On-Demand Tuning: <http://modelingandcontrol.com/2013/04/on-demand-tuning/>

Castillero, O. (21 de 11 de 2018). *psicologiymente*. Obtenido de Psicología y Mente: <https://psicologiymente.com/miscelanea/tipos-de-investigacion>

Creus, A. (2007). *Simulación de procesos por PC*. Marcocombo.

D'Arthenay Bermúdez, D. H. (2015). DESARROLLO DE UN SIMULADOR DE PROCESOS INDUSTRIALES BAJO LA CONFIGURACIÓN HARDWARE-IN-THE-

LOOP PARA LA PRÁCTICA-ENSEÑANZA DE CONTROL LÓGICO Y REGULADORIO MEDIANTE UN PLC. Bogotá, Bogotá, Colombia.

De la torre Heras, J. A. (2016). DISEÑO E IMPLEMENTACION DE PROTOTIPO HARDWARE/SOFTWARE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES EN LA HARINERA CASTELLANA. Castilla, España.

Del Valle, J. (15 de 11 de 2018). *Ingenieria.UNAM*. Obtenido de INTRODUCCION A LA SIMULACION.:

<http://www.ingenieria.unam.mx/javica1/ingsistemas2/Simulacion/IntroSimulacion.htm>

ele. (11 de 19 de 2018). *Circuito de acondicionamiento para sensores*. Obtenido de https://www.ele.uva.es/~lourdes/docencia/Master_IE/Acondicionamiento.pdf

Flores, E., & Quezada, J. (15 de 11 de 2018). *uaeh.edu*. Obtenido de UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tizayuca/n3/p3.html>

García, E., García, H., & Cárdenas, L. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con Promodel*. México: PEARSON.

García, G. (15 de Mayo de 2005). *Ministerio Público Gerencia - General*. Obtenido de GD CONSULTORES: https://www.mpfm.gob.pe/escuela/contenido/actividades/docs/3255_norma_iso_17025._minpub.pdf

Grupo Editorial EMB. (12 de 10 de 2018). *Electro Industria one touch*. Obtenido de Sistemas Híbridos:

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=158&srch=mahla&act=3>

Harper, E. (2013). *El ABC de la Instrumentación en el control de procesos industriales*. México: LIMUSA.

HBM. (19 de 11 de 2018). *Qué es un acondicionador de señal*. Obtenido de <https://www.hbm.com/es/7339/que-es-un-acondicionador-de-senal-funciones/>

Herrera, O., & Becerra, L. (2014). Diseño General de las Etapas de Simulación de Procesos con Énfasis en el Análisis de Entrada. *Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014)*.

Himmelblau, D., & Bischoff, K. (2004). *Análisis y simulación de procesos*. Málaga: Reverté; S. A.

INFAIMON. (30 de Agosto de 2017). *INFAIMON*. Obtenido de <https://blog.infaimon.com/importancia-aplicaciones-industriales-produccion/>

Jiménez, B. (2006). Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. *Modelación y análisis de un sistema híbrido: Un caso de estudio con un sistema de tanques*.

JMIIndustrial. (15 de 11 de 2018). *Tarjetas de adquisición de Datos*. Obtenido de <https://www.jmi.com.mx/literatura/blog/item/7-tarjetas-de-adquisicion-de-datos.html>

MCI Electronics. (20 de Enero de 2019). *ARDUINO.cl*. Obtenido de <https://arduino.cl/arduino-due/>

Muñoz, P., & Pérez, G. (2016). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO COMPACTA PARA LA REGULACION DE VARIABLES DE CONTROL: NIVEL, CAUDAL, PRESIÓN Y TEMPERATURA EN LAZO CERRADO PARA EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEURÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS EXTENSIÓN*. Latacunga.

ni. (11 de 15 de 2018). *NATIONAL INSTRUMENTS*. Obtenido de <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

Nicanor Anierte. (27 de 05 de 2018). *anierte*. Obtenido de Diseño Investigación I: http://www.anierte-nic.net/apunt_metod_investigac4_4.htm

PAC- Performance-centered Adaptive Curriculum for Employment Needs. (2011). *Departamento de Ingeniería eléctrica, electrónica y de control. DIEE*, 8-9.

Pérez, J., & Meza, V. (2013). Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 108-109.

Puche, J. (Junio de 2005). *Guía práctica para la simulación de procesos industriales*. Obtenido de Área de tecnología de Procesos CETEM: <http://www.cetem.es/rs/1235/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/739/fd/1/filename/guia-simulacion-procesos-industriales-cetem.pdf>

slidedhare. (19 de 11 de 2018). *LinkedIn Corporation* © 2018. Obtenido de <https://es.slideshare.net/juandanielhernandezramirez1/tarjeta-de-adquisicin-de-datos>

VIRTUAL PRO. (03 de Junio de 2009). *Revista Virtual Pro*. Obtenido de <https://www.revistavirtualpro.com/noticias/promodel-simulador-de-procesos-industriales>

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

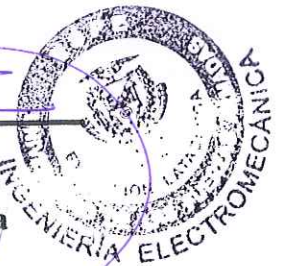
CERTIFICACIÓN

Se certifica que el siguiente proyecto de investigación titulado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO MÓDULO DE CONEXIÓN ENTRE UN SIMULADOR VIRTUAL DE PROCESOS INDUSTRIALES Y UN PROGRAMADOR LÓGICO CONTROLABLE EN EL LABORATORIO DE PLC DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA** el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

En la ciudad de Latacunga, a los 6 días del mes de febrero del 2019
Aprobado por:

Ing. Washington Freire
Director del Proyecto

Ing. Katya Torres
Directora de Carrera



Dr. Rodrigo Vaca
Secretario Académico