

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**



“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL PID PARA EL ARRANQUE Y REGULACIÓN DE VELOCIDAD EN UN MOTOR TRIFÁSICO DE 1HP INTERACTUANDO PLC – LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME – UNA – PUNO.”

TESIS

PRESENTADA POR:

PAÚL AMÉRICO PAREDES LUQUE

OLGER EDMUNDO MAMANI BARRIOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA

PUNO-PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

“DISEÑO Y SIMULACION DE UN PROTOTIPO DE CONTROL PID PARA EL ARRANQUE Y REGULACION DE VELOCIDAD EN UN MOTOR TRIFASICO DE 1HP INTERACTUANDO PLC – LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE LA EPIME – UNA – PUNO.”

TESIS PRESENTADO POR:

PAREDES LUQUE PAUL AMERICO

MAMANI BARRIOS OLGER EDMUNDO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20-12-2018

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE

:


M.Sc. MARIO MAMANI PAMPA

PRIMER MIEMBRO

:


M.Sc. JOSE ANTONIO VARGAS MARON

SEGUNDO MIEMBRO

:


M.S.c. HENRY SHUTA LLOCLLA

DIRECTOR / ASESOR

:


M.Sc. LEONARDO PAYE COLQUEHUANCA

Área : Electricidad

Tema: Controladores PID para el arranque y regulación de un motor trifásico

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, por las enseñanzas impartidas y experiencias volcadas en mi formación y en el desarrollo académico y técnico de los cursos, así como también en la dedicación de brindarnos los conocimientos adecuados y fundamentales para nuestra realización como profesionales competentes e íntegros para servir a la sociedad.

Un agradecimiento especial a los jurados revisores de la presente tesis

M.S.c. MARIO MAMANI PAMPA

M.S.c. JOSE ANTONIO VARGAS MARON

M.S.c. HENRRY SHUTA LLOCLLA

Y considerar también un agradecimiento especial a nuestro director de tesis

M.S.c. LEONARDO PAYE COLQUEHUANCA

DEDICATORIA

Se la dedico al forjador de mi camino, a mi padre celestial, el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo al creador, de mis padres y de las personas que más amo, con mi más sincere amor.

OLGER EDMUNDO MAMANI BARRIOS

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes incluido este, me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelados sueños.

PAÚL AMÉRICO PAREDES LUQUE

ÍNDICE

RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	12
CAPÍTULO I.....	13
1. INTRODUCCIÓN	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	16
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.3.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	17
1.3.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	17
1.3.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL	18
1.3.4. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	18
1.3.5. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL.....	18
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
CAPÍTULO II:	20
REVISION LITERARIA	20
2.1. SUSTENTO TEORICO	20
SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO (SISTEMAS NO REALIMENTADOS) ..	22
SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO (SISTEMAS DE CONTROL	
REALIMENTADO.....	23
FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS.....	24

CONCEPTOS SOBRE VARIABLES COMPLEJAS	25
CONTROLADORES PID	25
REGLAS DE ZIEGLER - NICHOLS PARA LA SINTONÍA DE CONTROLADORES PID.	26
SISTEMA DE ELEMENTOS ACTUADORES Y SENSORES.....	30
ACTUADORES.....	30
MOTOR DE INDUCCION TRIFÁSICA.....	31
ARRANQUE DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICA.....	32
VARIADORES DE VELOCIDAD.....	33
PRINCIPALES FUNCIONES DE LOS ARRANCADORES Y VARIADORES DE VELOCIDAD ELECTRÓNICOS	34
SOFTWARE PARA DISEÑO Y PROCESAMIENTO DE DATOS	37
2.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	46
HIPÓTESIS GENERAL	46
HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	47
VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES	47
CAPITULO III.....	48
3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	48
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.....	48
3.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN	49
3.4 MATERIAL EXPERIMENTAL.....	49
3.4.1 SOFTWARE PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS	49
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN	49
3.6 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	53
3.7 PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO	54
3.7.1 ETAPA DISEÑO DEL MODULO.....	55
3.7.2 ETAPA DE ADQUISION DE DATOS.....	56

3.7.3 ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	68
CAPITULO IV.....	75
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	75
4.1 SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO PARA EL ARRANQUE Y VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO DE 1 HP, APLICANDO CONTROLADORES PID.....	75
4.1.1 MODELAMIENTO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	77
4.2. MODELAMIENTO DE CONTROLADORES PID Y ANALISIS DE RESULTADOS ...	80
CAPITULO V.....	83
CONCLUSIONES DEL DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE PID PARA EL ARRANQUE Y VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO DE 1 HP.....	83
CAPITULO VI.....	84
RECOMENDACIONES.....	84
CAPITULO VII.....	85
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXOS.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 : Gradiente de Velocidad de un fluido en movimiento	22
Figura N° 2.2: Lazo de Control.....	23
Figura N° 2.3: Diagrama de bloques de un sistema de control de velocidad en ralentí en lazo cerrado.....	23
Figura N° 2.4: (a) Respuesta típica del sistema de control de velocidad en ralentí en lazo abierto. (b) Respuesta típica del sistema de control de velocidad en ralentí en lazo cerrado.....	24
Figura N° 2.5: Plano complejo s.	25
Figura N° 2.6: Control PID de una planta.....	27
Figura N° 2.7: Respuesta a un escalón unitario de una planta	28
Figura N°2.8: Curva de respuesta en forma de S	28
Figura N°2.9: Curva a 90ª en una tubería.	32
Figura N°2.10: Principio de funcionamiento de la regulación de velocidad.....	35
Figura N° 2.11: Componentes de un sistema de control.	37
Figura N° 2.12: Pantalla principal RSLinx	39
Figura N° 2.13: Configuración de drivers RSLinx	39
Figura N°2.14: Configuración de comunicación RSLinx - plc.....	40
Figura N° 2.15: Configuración de comunicación RSLinx - plc.....	41
Figura N°2.16: Configuración de emulación - plc	41
Figura N°2.18: Vista principal del RSLogix 500.....	43
Figura N° 2.19: Arbol de proyecto RSLogix 500	44
Figura N° 2.20: Arbol de proyecto RSLogix 500	45
Figura N°3.1: Conexionado del Sensor a entradas analógicas.....	52
Figura N°3.2: Transferir valor numérico del Sensor a entrada analógica	52
Figura N° 3.3: Conexionado del Salidas analógicas hacia cargas.....	53
Figura N° 3.4: Transferir instrucción a la salida analógica.....	53

Figura N°3.5: Análisis de regresión.....	57
Figura N° 3.6: Ecuación del Transductor.....	58
Figura N° 3.7: Ecuación Característica P vs D.....	67
Figura N° 3.8: Ecuación Característica D vs Q.....	67
Figura N° 3.9: Simple PID.....	70
Figura N° 3.10: Panel de control HMI.....	71
Figura N° 3.11: Programación Graft Set.....	72
Figura N° 3.12: Panel HMI Servo válvula.....	73
Figura N° 3.13: Diagrama de Bloques Servo válvula.....	73
Figura N° 3.14: HMI Medidor de Presión.....	74
Figura N° 3.15: Diagrama de Bloques Medidor de Presión.....	74
Figura N° 4.1: Diagrama de Bloques del Sistema a Controlar.....	76
Figura N°4.2: Proceso de F.T: Transductor.....	77
Figura N°4.3: Proceso de F.T: Transductor.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

TablaN°2.1: Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).	29
TablaN°2.2: Variables Dependientes e independientes	47
Tabla N°3.1 : Equipos e Instrumentos del sistema de adquisición de datos	50
TablaN°3.4: Calibración del Transductor	57
TablaN°3.5: Datos Registrados en el día 12 de octubre del 2018.....	59
TablaN°3.6: Datos Registrados en el día 15 de Octubre del 2018.....	60
TablaN°3.7: Datos Registrados en el día 16 de Octubre del 2018.....	62

INDICE DE ACRONIMOS

Hz	:	Hertz
T	:	Temperatura
ω	:	Frecuencia angular
mm	:	Milímetros
mm/s	:	Milímetros por segundo
HP	:	Caballos fuerza
RPM	:	Revoluciones por minuto
V	:	Voltios
μ F	:	Microfaradios
ISO	:	Organización internacional de estándares
ADC	:	Convertidor analógico digital

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se basa en el diseño y simulación de un prototipo de control PID para pruebas de arranque y velocidad de un motor, que nos permita hacer el control correcto de los parámetros de arranque y operación de un motor eléctrico, que se realizara en el laboratorio de Control y Automatización de la EPIME UNA - PUNO. El sistema básicamente consta de un sensor ultrasónico PLC, un convertidor de señales analógico digital PLC Allen Bradley MICROLOGIX 1400, un variador de velocidad SINAMICS V20, una electrobomba, un recinto para simular el llenado de agua, además se empleó el uso del Software LabVIEW y software RSLOGIX500. El sistema de adquisición de datos hace posible que obtengamos las medidas de los parámetros referenciales, con este proceso se realiza el control sintonizado PID y así, se logra controlar dichos parámetros aun con presencia de perturbaciones en el sistema.

APLICACIONES PRÁCTICAS

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

- Transportadoras. Controlan y sincronizan la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta, para dosificar, para evitar ruidos y golpes en transporte de botellas y envases, para arrancar suavemente y evitar la caída del producto que se transporta, etc.
- Bombas y ventiladores centrífugos. Controlan el caudal, uso en sistemas de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran ahorro de energía porque el consumo varía con el cubo de la velocidad, o sea que, para la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la nominal.

- Bombas de desplazamiento positivo. Control de caudal y dosificación con precisión, controlando la velocidad. Por ejemplo, en bombas de tornillo, bombas de engranajes. Para transporte de pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, chocolates, miel, barro, etc.
- Ascensores y elevadores. Para arranque y parada suaves manteniendo el par del motor constante, y diferentes velocidades para aplicaciones distintas.
- Extrusoras. Se obtiene una gran variación de velocidades y control total del par del motor.
- Centrífugas. Se consigue un arranque suave evitando picos de corriente y velocidades de resonancia.
- Prensas mecánicas y balancines. Se consiguen arranques suaves y mediante velocidades bajas en el inicio de la tarea, se evitan los desperdicios de materiales.
- Máquinas textiles. Para distintos tipos de materiales, inclusive para telas que no tienen un tejido simétrico se pueden obtener velocidades del tipo random para conseguir telas especiales.
- Compresores de aire. Se obtienen arranques suaves con máximo par y menor consumo de energía en el arranque.

Palabras clave: PLC, Adquisición de datos, Software LabVIEW-RSLogix500, PID, Señal analógica, Señal digital, Variador de Velocidad, Sensor.

ABSTRACT

The present thesis work is based on the design and implementation of a module that allows us to do the correct control of the start and operation parameters of an electric motor, this will be implemented in the Control and Automation laboratory of the EPIME UNA - PUNO. The system basically consists of an PLC ultrasonic sensor, an Allen Bradley MICROLOGIX PLC 1400 analog digital signal converter, a SINAMICS V20 speed variator, a electric pump, an enclosure to simulate water filling, and the use of LabVIEW Software and RSLOGIX500 software. The data acquisition system makes it possible for us to obtain the measurements of the referential parameters, with this process the PID tuned control is carried out and thus, it is possible to control said parameters even with the presence of disturbances in the system.

Keywords: PLC, Data Acquisition, LabVIEW-RSLogix500 Software, PID, Analog Signal, Digital Signal, Speed Variator, Sensor.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo diseñar y simular un “PROTOTIPO DE CONTROL PID PARA EL ARRANQUE Y REGULACIÓN DE VELOCIDAD EN UN MOTOR TRIFÁSICO DE 1HP INTERACTUANDO PLC – LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME – UNA – PUNO”. El cual ayudará a los estudiantes de la EPIME a analizar parámetros tanto en arranque de un motor, y la velocidad que este motor genera analizando resultados y obteniendo conclusiones exactas que en el futuro servirá en el campo industrial o de investigación.

Un sistema de control automático se encarga de mantener el valor de una variable de proceso controlada (sintonía) lo más cercano posible al valor de referencia necesaria (set point) para el correcto desempeño de un determinado proceso industrial. En nuestro caso parámetro de referencia es la altura del nivel de agua en el tanque de almacenamiento; este parámetro se debe obtener a partir de un sistema de elementos actuadores y sensores; el sistema consiste básicamente en una fuente de potencia (electrobomba), un sistema de tuberías y accesorios de conexiones, un actuador (Variador de frecuencia) y un sensor ultrasónico el cual nos indica la altura del nivel de agua.

Una de las principales motivaciones del presente trabajo de investigación “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL PID PARA EL ARRANQUE Y REGULACIÓN DE VELOCIDAD EN UN MOTOR TRIFÁSICO DE 1HP INTERACTUANDO PLC – LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME – UNA – PUNO.” es fomentar la automatización de los procesos tradicionales que se desarrollan en los procesos

productivos económicos de la región, demostrando que es posible lograr procesos productivos eficientes utilizando la tecnología apropiada y buscando realizar una inversión óptima. Una importante parte de la población de la región Puno aun desarrolla sus procesos constructivos o de fabricación de manera artesanal de la misma manera en que se aprendió, por lo tanto, es necesario mejorar estos procesos productivos con tecnología al alcance de todos; soportada por profesionales de la región capaces de desarrollar e implementar soluciones de acuerdo a las exigencias del proceso y de la región.

Los capítulos que se desarrollaran en la presente tesis son:

CAPITULO I. Se desarrolla el planteamiento del problema, antecedentes, objetivos e hipótesis de la investigación.

CAPITULO II. Se desarrolla toda la información teórica necesaria para la ejecución de la presente tesis.

CAPITULO III. Se desarrolla el tipo de metodología de investigación utilizado en la ejecución de la presente tesis.

CAPITULO IV. Aquí se desarrolla el análisis de resultados provenientes de las pruebas y mediciones realizadas en nuestro sistema.

CAPITULO V. Conclusiones del DISEÑO Y SIMULACIÓN de un prototipo de PID para el arranque y velocidad de un motor TRIFÁSICO DE 1 HP

CAPITULO VI. Recomendaciones

CAPITULO VII. Bibliografía.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La presente investigación tiene como objetivo realizar la simulación de un “PROTOTIPO DE CONTROL PID PARA EL ARRANQUE Y REGULACIÓN DE VELOCIDAD EN UN MOTOR TRIFÁSICO DE 1 HP INTERACTUANDO PLC – LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME – UNA – PUNO”. El cual ayudará a los estudiantes de la EPIME a analizar parámetros tanto en arranque de un motor, y la velocidad que este motor genera analizando resultados y obteniendo conclusiones exactas que en el futuro servirá en el campo industrial o de investigación.

En la actualidad el análisis de los parámetros de arranque y funcionamiento de un motor eléctrico trifásico mediante la plataforma PLC – LABVIEW no es muy utilizada, ya que esta plataforma es relativamente nueva, pero es de gran utilidad para realizar este tipo de análisis ya que nos permite tener un control en línea de dichos parámetros y así poder optimizar el funcionamiento del motor eléctrico trifásico.

El poco conocimiento de esta herramienta y sus aplicaciones, las cuales tienen un amplio campo de trabajo, se traduce en una limitante para los estudiantes que quieran investigar el tema.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La presente investigación tiene como objetivo realizar una simulación de un “PROTOTIPO DE CONTROL PID PARA EL ARRANQUE Y REGULACIÓN DE VELOCIDAD EN UN MOTOR TRIFÁSICO DE 1 HP INTERACTUANDO PLC –

LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME – UNA – PUNO”. El cual ayudará a los estudiantes de la EPIME a analizar parámetros tanto en arranque de un motor, y la velocidad que este motor genera analizando resultados y obteniendo conclusiones exactas que en el futuro servirá en el campo industrial o de investigación.

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿En qué medida se logra optimizar el arranque de un motor eléctrico trifásico utilizando el prototipo diseñado para el laboratorio de control y automatización?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

A.- La presente investigación tiene como objetivo realizar una simulación de un “PROTOTIPO DE CONTROL PID PARA EL ARRANQUE Y REGULACIÓN DE VELOCIDAD EN UN MOTOR TRIFÁSICO DE 1 HP INTERACTUANDO PLC – LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME – UNA – PUNO”. Ya que la población estudiantil de la EPIME no cuenta con el PROTOTIPO para poder analizar parámetros tanto en arranque de un motor, y la velocidad que este motor genera analizando resultados y obteniendo conclusiones exactas que en el futuro servirá en el campo industrial o de investigación

B.- ¿En qué medida el “DISEÑO Y SIMULACION DE UN PROTOTIPO DE CONTROL PID PARA EL ARRANQUE Y REGULACION DE VELOCIDAD EN UN MOTOR TRIFASICO DE 1 HP INTERACTUANDO PLC – LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME – UNA – PUNO?” determinara los parámetros óptimos para el correcto comportamiento y funcionamiento de un motor eléctrico trifásico.

C.- ¿En qué medida la variación de la velocidad del prototipo diseñado permite obtener el rendimiento del motor eléctrico?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Las justificaciones del problema fueron los siguientes:

1.3.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La justificación del presente trabajo es que se pueda tener el control automático, monitoreo y determinación de los parámetros óptimos de funcionamiento del motor eléctrico mediante el enlace de la plataforma PLC - LABVIEW, ya que actualmente se tiene poco conocimiento sobre esta herramienta en este campo de aplicación.

La presente tesis pretende ampliar los conocimientos de cómo aplicar un sistema de control automático y aplicarlo a las diferentes áreas donde sea idónea su aplicación, este tema es muy importante y no se profundiza en la EPIME, a partir de esta investigación se motivará a los estudiantes para que estudien otras técnicas semejantes o más desarrolladas en esta área.

Los estudiantes de la EPIME. Podrán hacer uso del software y ampliar sus conocimientos en adquisición de datos y analizar los parámetros que se desea controlar de una manera eficiente.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La justificación metodológica del presente trabajo es que se pueda tener el control automático, monitoreo y determinación de los parámetros óptimos de funcionamiento del motor eléctrico mediante el enlace de la plataforma PLC - LABVIEW, ya que

actualmente se tiene poco conocimiento sobre esta herramienta en este campo de aplicación.

1.3.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

El presente trabajo de investigación cumplirá el importante papel de proyección de la EPIME – UNA – PUNO hacia la población estudiantil brindando información de mucha importancia la cual se convertirá en una guía para elaborar e implementar otras aplicaciones relacionadas con el enlace de la plataforma PLC – LABVIEW en el campo del control y la automatización.

1.3.4. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Con este tipo de prototipo lo que se busca es una mayor eficiencia en el trabajo industrial ya que será automatizado todo el sistema y reducirá costos a largo y corto plazo.

1.3.5. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL.

Al implementar el proyecto en zonas usadas como recicladores de basura, ayudaríamos a sensibilizar a la población al de no votar la basura en cualquier zona, usar contenedores apropiados y con ello lograríamos la recuperación ambiental afectada.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Los objetivos que se plantearon fueron los siguientes:

1.4.1. OBJETIVO GENERAL.

Se realizara un simulación de un prototipo de control automático para pruebas de arranque y regulación de velocidad de un motor trifásico mediante el enlace de la plataforma PLC – LABVIEW para el laboratorio de control y automatización de la

EPIME – UNA – PUNO que determine los parámetros óptimos de arranque y funcionamiento del motor eléctrico trifásico

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la simulación de un prototipo de control automático para pruebas de arranque y regulación de velocidad de un motor trifásico mediante el enlace de la plataforma PLC –LABVIEW para el laboratorio de control y automatización de la EPIME – UNA – PUNO que determine los parámetros óptimos de arranque y funcionamiento del motor eléctrico Trifásico.
- Determinar la correcta variación de la velocidad del prototipo diseñado que permita obtener el rendimiento óptimo del motor eléctrico.
- Determinar los parámetros óptimos de arranque y funcionamiento del motor eléctrico trifásico.
- Se podrá realiza análisis de desempeño en tiempo real con gráficas de Pareto, las cuales ayudan al estudiante de la EPIME a acotar la causa principal de las fallas en las máquinas en una planta.
- Se podrá determinar varios parámetros utilizando dispositivos como instrumentos de proceso, controladores lógicos programables (PLCs), sensores inteligentes, o controladores de una iteración.

CAPÍTULO II:

REVISION LITERARIA

2.1. SUSTENTO TEORICO

2.1.1. FUNDAMENTOS DE SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO

La teoría de control moderna se basa en el análisis en el dominio temporal de los sistemas de ecuaciones diferenciales. La teoría de control moderna simplificó el diseño de los sistemas de control porque se basa en un modelo del sistema real que se quiere controlar. Sin embargo, la estabilidad del sistema depende del error entre el sistema real y su modelo. Esto significa que cuando el controlador diseñado basado en un modelo se aplica al sistema real, éste puede no ser estable. Para evitar esta situación, se diseña el sistema de control definiendo en primer lugar el rango de posibles errores y después diseñando el controlador de forma que, si el error del sistema está en dicho rango, el sistema de control diseñado permanezca estable. El método de diseño basado en este principio se denomina teoría de control robusto. Esta teoría incorpora tanto la aproximación de respuesta en frecuencia como la del dominio temporal. Esta teoría es matemáticamente muy compleja. (Katsuhiko, 2010, pág. 1).

Antes de analizar los sistemas de control, deben definirse ciertos términos básicos.

2.1.2. VARIABLE CONTROLADA Y SEÑAL DE CONTROL O VARIABLE MANIPULADA

La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La señal de control o variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.

Plantas. Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular.

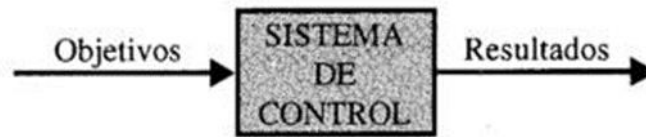
Procesos. El Diccionario Merriam-Webster define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado.

Sistemas. Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no está necesariamente limitado a los sistemas físicos.

Perturbaciones. Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y es una entrada.

Control realimentado. El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia. Aquí sólo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles, ya que las perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema. (Katsuhiko, 2010, pág. 3) .

Figura N° 2.1 : Gradiente de Velocidad de un fluido en movimiento



Fuente: (Mott, 2006, pág. 27).

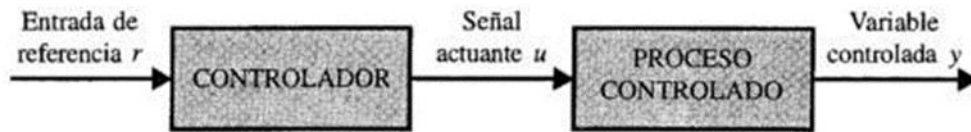
SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO (SISTEMAS NO REALIMENTADOS)

El sistema de control de velocidad en ralentí o el sistema de control de la rueda de impresión ilustrados en las figuras 02 y 03 respectivamente, son sistemas no complejos que se denominan sistemas de control en lazo abierto. No es difícil ver que estos sistemas no pueden satisfacer requerimientos de desempeño críticos. Por ejemplo, si el ángulo del acelerador α es colocado en cierto valor inicial que corresponde a determinada velocidad de la máquina, cuando se aplica un par de carga, no existe forma de prevenir una caída en la velocidad del motor. La única forma de hacer que el sistema trabaje es tener algunos medios para ajustar α en respuesta al cambio en el par de carga con el fin de mantener ω en el nivel deseado. De forma similar, no existe garantía de que la margarita se detenga en la posición deseada una vez que se ha dado el comando. La lavadora eléctrica convencional es otro ejemplo de un sistema de control en lazo abierto porque, generalmente, el tiempo de lavado es determinado por el juicio o estimación del operador humano.

El elemento de un sistema de control en lazo abierto se puede dividir en dos partes: el controlador y el proceso controlado, como se muestra en la figura 02. Una señal de entrada o comando r se aplica al controlador, cuya señal actúa como señal actuante u ; la señal actuante controla el proceso controlado de tal forma que la variable controlada y se

desempeño de acuerdo con estándares preestablecidos. En los casos simples, el controlador puede ser un amplificador, unión mecánica, filtro, u otro elemento de control. En los casos más complejos, el controlador puede ser una computadora tal como un microprocesador. Debido a la simplicidad y economía de los sistemas de control en lazo abierto, se les encuentra en muchas aplicaciones no críticas. (Kuo, 1996, pág. 9).

Figura N° 2.2: Lazo de Control



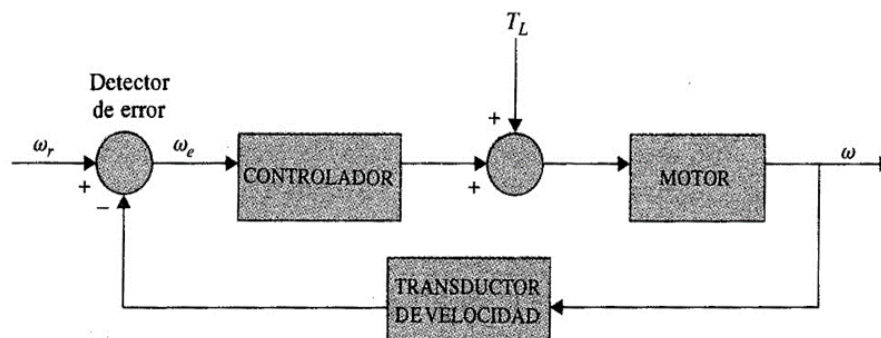
Fuente: (Mott, 2006, pág. 27).

SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO (SISTEMAS DE CONTROL REALIMENTADO).

Un sistema de control en lazo cerrado de la velocidad en ralenti se presenta en la

Fig. 21. La entrada de referencia ω proporciona la velocidad en ralenti deseada. La velocidad del motor en ralenti debe estar de acuerdo con el valor de la referencia ω y cualquier diferencia tal como la producida por el par de carga, es detectada por el transductor de velocidad y el detector de error. (Kuo, 1996, pág. 9)

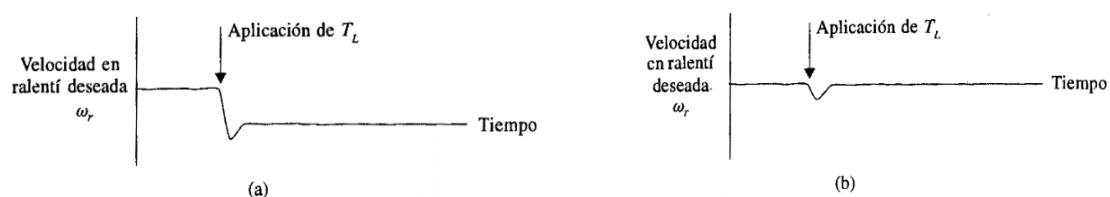
Figura N° 2.3: Diagrama de bloques de un sistema de control de velocidad en ralenti en lazo cerrado.



Fuente: Kuo, 1996, pág. 10.

El controlador sobre la diferencia y producirá una señal para ajustar el Angulo α del acelerador para corregir el error. La **Fig. 22(a)** compara los desempeños tipos de los sistemas de control de velocidad en ralentí en lazo abierto lazo cerrado. En la **Fig. 22(b)** la velocidad de ralentí del sistema en lazo cerrado se recupera rápidamente a su valor preestablecido después de la aplicación de T_L . El objetivo del sistema de control de velocidad en ralentí ilustrado, conocido como **sistema regulador**, es mantener la salida del sistema en el nivel preestablecido.

Figura N° 2.4: (a) Respuesta típica del sistema de control de velocidad en ralentí en lazo abierto. (b) Respuesta típica del sistema de control de velocidad en ralentí en lazo cerrado.



Fuente: Kuo, 1996, pág. 10.

FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS.

Los estudios de los sistemas de control dependen fuertemente del uso y aplicación de las matemáticas. Uno de los propósitos principales de los estudios de sistemas de control, es desarrollar un conjunto de herramientas analíticas, de tal forma que el diseñador pueda llegar a diseños razonablemente predecibles y confiables, sin depender por completo de la experimentación o de una extensa simulación en computadora. (Kuo, 1996, pág. 21)

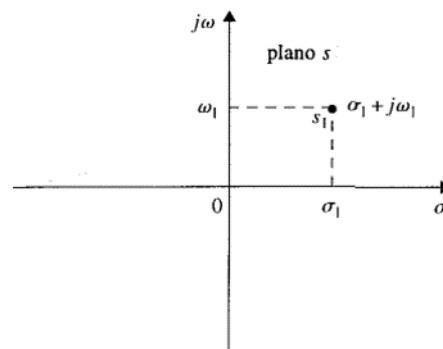
CONCEPTOS SOBRE VARIABLES COMPLEJAS

A) Variable compleja

Una variable compleja s tiene dos componentes: una componente real σ y una imaginaria ω . En forma gráfica, la componente real de s está representada por el eje σ en la dirección horizontal y la componente imaginaria se mide a lo largo del eje vertical $j\omega$, en el plano complejo s , la Fig. 05 ilustra el plano complejo s , en donde cualquier punto arbitrario 1 está definido por las coordenadas $\sigma = \sigma_1$, y $\omega = \omega_1$, o simplemente

. (Kuo, 1996, pág. 22.)

Figura N° 2.5: Plano complejo s .



Fuente: Kuo, 1996, pág. 22

CONTROLADORES PID

Como casi todos los controladores PID se ajustan en el sitio, en la literatura se han propuesto muchos tipos diferentes de reglas de sintonización, que permiten llevar a cabo una sintonización delicada y fina de los controladores PID en el sitio. Asimismo, se han desarrollado métodos auto- máticos de sintonización y algunos de los controladores PID poseen capacidad de sintonización automática en línea. Actualmente se usan en la industria formas modificadas del control PID, tales como el control I-PD y el control PID

con dos grados de libertad. Es posible obtener muchos métodos prácticos para una conmutación sin choque (desde la operación manual hasta la operación automática) y una programación del aumento. (Katsuhiko, 2010, pág. 567)

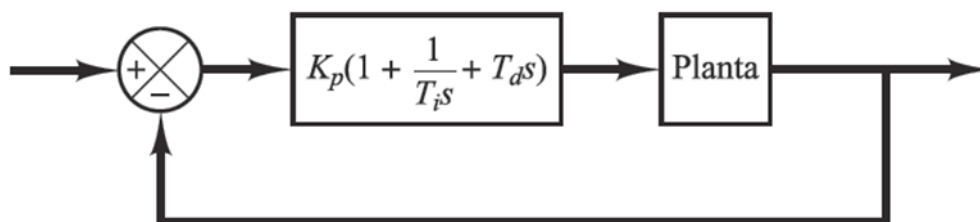
REGLAS DE ZIEGLER - NICHOLS PARA LA SINTONÍA DE CONTROLADORES PID.

Control PID de plantas. Un control PID de una planta. Si se puede obtener un modelo matemático de la planta, es posible aplicar diversas técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones del transitorio y del estado estacionario del sistema en lazo cerrado. Sin embargo, si la planta es tan complicada que no es fácil obtener su modelo matemático, tampoco es posible un método analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, se debe recurrir a procedimientos experimentales para la sintonía de los controladores PID.

El proceso de seleccionar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de comportamiento dadas se conoce como sintonía del controlador. Ziegler y Nichols sugirieron reglas para sintonizar los controladores PID (esto significa dar valores a K_p , T_i y T_d) basándose en las respuestas escalón experimentales o en el valor de K_p que produce estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional. Las reglas de Ziegler-Nichols, que se presentan a continuación, son muy convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas. (Por supuesto, estas reglas se pueden aplicar al diseño de sistemas con modelos matemáticos conocidos.) Tales reglas sugieren un conjunto de valores de K_p , T_i y T_d que darán una operación estable del sistema. No obstante, el sistema resultante puede presentar una gran sobre elongación en su respuesta escalón de forma que resulte no aceptable. En tales casos se necesitará una serie de ajustes finos hasta que se obtenga el resultado deseado. De

hecho, las reglas de sintonía de Ziegler-Nichols dan una estimación razonable de los parámetros del controlador y proporcionan un punto de partida para una sintonía fina, en lugar de dar los parámetros K_p , T_i y T_d en un único intento)

Figura N° 2.6: Control PID de una planta



Fuente: Katsuhiko, 2010, pág. 568.

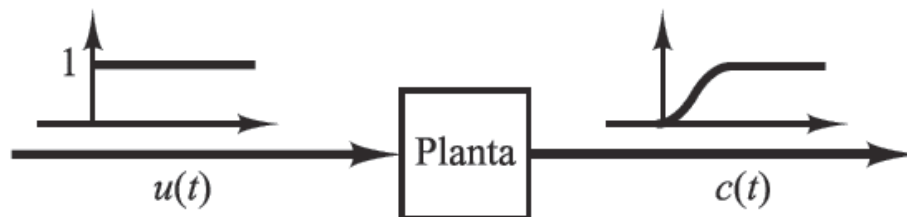
Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID. Ziegler y Nichols propusieron reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , basándose en las características de respuesta transitoria de una planta dada. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o sintonía de controladores PID la pueden realizar los ingenieros mediante experimentos sobre la planta. (Después de la propuesta inicial de Ziegler- Nichols han aparecido numerosas reglas de sintonía de controladores PID. Estas reglas están disponibles tanto en publicaciones técnicas como de los fabricantes de estos controladores.)

Hay dos métodos denominados reglas de sintonía de Ziegler-Nichols: el primero y el segundo método. A continuación se hace una breve presentación de estos dos métodos.

Primer método. En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental, tal como se muestra en la Figura 8-2. Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S. Este método se puede aplicar si la

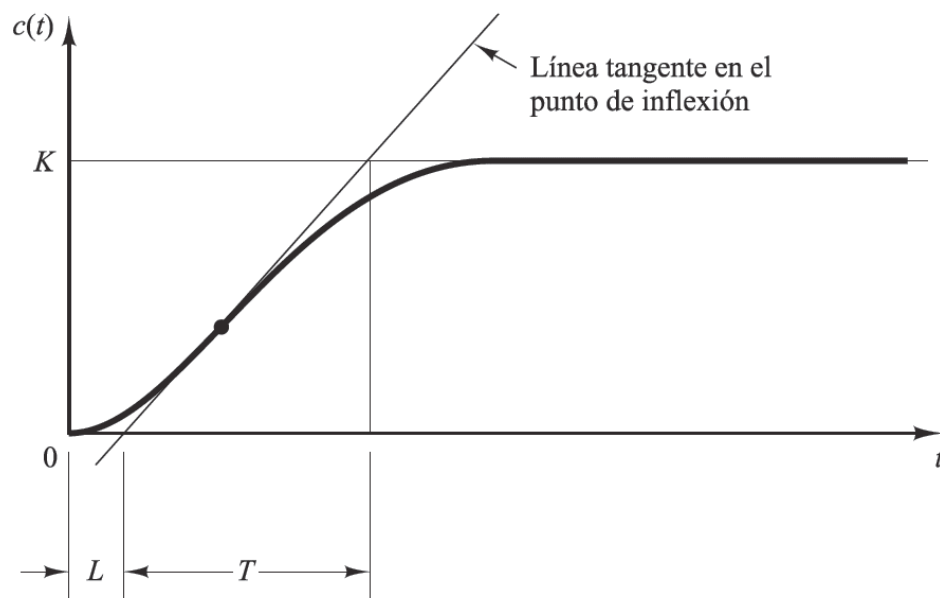
respuesta muestra una curva con forma de S. Tales curvas de respuesta escalón se pueden generar experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta.

Figura N° 2.7: Respuesta a un escalón unitario de una planta



Fuente: Katsuhiko, 2010, pág. 569.

Figura N°2.8: Curva de respuesta en forma de S



Fuente: Katsuhiko, 2010, pág. 569.

La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y con la línea $c(t) = K$.

TablaN°2.1: Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Fuente: Katsuhiko, 2010, pág. 570.

La función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo del modo siguiente:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \quad \dots (2.1)$$

Ziegler y Nichols sugirieron establecer los valores de K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que se muestra en el TablaN° 01.

Obsérvese que el controlador PID sintonizado mediante el primer método de las reglas de Ziegler-Nichols produce

$$\begin{aligned}
 G_c(s) &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_d s \right) \\
 &= 1.2 \frac{T}{L} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right) \\
 &= 0.6T \frac{\left(s + \frac{1}{L} \right)^2}{s}
 \end{aligned}$$

Por tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y un cero doble en $s = -1/L$.

SISTEMA DE ELEMENTOS ACTUADORES Y SENSORES.

Los motores eléctricos son máquinas que convierten la energía eléctrica en energía mecánica rotacional. Existen tres tipos de motores eléctricos: asíncrono o de inducción, síncrono y de corriente continua. Todas ellas también presentan la propiedad de ser reversibles funcionando como generadores de energía eléctrica. En los motores asíncronos trifásicos, el devanado del estator se alimenta con corriente alterna trifásica desde la red, y por inducción en el rotor.

El rendimiento de las máquinas eléctricas es muy alto, pero presenta pérdidas que lo hacen calentarse. Este suceso es muy importante ya que el aislamiento se deteriora con la temperatura, y con esto la duración de la vida útil de la máquina. Si mejoramos el sistema de enfriamiento de la máquina, podemos mejorar su rendimiento y con ello la potencia.

ACTUADORES.

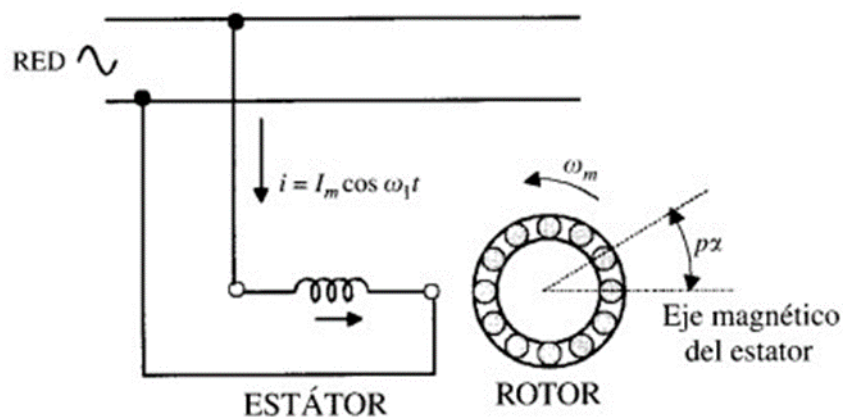
El agua que es suministrada desde el acueducto público u otra fuente, es retenida en un tanque de almacenamiento; de donde, a través de un sistema de bombas, será impulsada a un recipiente a presión (de dimensiones y características calculadas en función de la red), y que posee volúmenes variables de agua y aire. Al aumentar la presión del agua, la

bolsa se expande en el interior del depósito hasta llegar a presión que se ha predefinido en el interruptor de mando por el usuario (ésta es presión en la cual el sistema que se está alimentando de agua, trabaja en las condiciones requeridas). Al disminuir la presión del sistema debido a que en algún punto de la red se ha abierto una válvula y hay consumo de agua, se activará nuevamente la bomba centrífuga hasta alcanzar otra vez la presión predefinida. (Rodríguez, 2014).

MOTOR DE INDUCCION TRIFÁSICA.

(Fraile Mora, 2003) afirma que, Básicamente un motor de inducción trifásico está formado por un rotor en jaula de ardilla análogo al de los motores trifásicos y un estator en el que se dispone un devanado alimentado con c.a. monofásica. Normalmente se construyen con potencias inferiores a un CV y por ello reciben también el nombre de motores fraccionarios. El campo de aplicación está muy restringido y se limita en su mayoría a instalaciones domesticas: lavadoras, ventiladores, tocadiscos, etc. En la figura 09 se muestra el esquema de conexión básico. Al introducir una corriente alterna en el devanado del estator se produce una fuerza magneto motriz en el entrehierro, distribuida senoidal mente en el espacio y de carácter pulsa torio, cuya expresión, de acuerdo con el epígrafe 2.8 del capítulo 2 (expresión 2.47), es la f.m.m. anterior produce un campo magnético proporcional en el entrehierro, el cual induce a su vez corrientes en el rotor, como si fuera el circuito secundario de un transformador, de tal

Figura N°2.9: Curva a 90° en una tubería.



Fuente: Mott, 2006, pág. 303.

ARRANQUE DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICA.

(Fraile Mora, 2003), dice que, Hemos visto en la figura 10, que el motor trifásico no tiene par de arranque y que por tanto no puede iniciar la marcha por sí mismo. Por otro lado, se advierte en la misma figura que si se acciona en rotor y se le impulsa en cualquier sentido, la maquina desarrolla entonces un par interno que acelera el rotor hasta conseguir la velocidad de régimen. Un procedimiento simple seria, si el motor trabajara en vacío, moverlo en cualquier sentido con un par motor exterior; esto se puede realizar en la práctica mediante una polea a la que se arrolla una cuerda, y al tirar de esta se conseguirá el impulso inicial para que arranque la maquina; el sentido de giro

dependerá del sentido de arrollamiento de la cuerda sobre la polea. En motores pequeños trabajando en vacío es suficiente, para arrancar el motor, mover el eje con los dedos de una mano. De cualquier modo, estos procedimientos mecánicos para conseguir el despegue de un motor trifásico no son prácticos y por consiguiente están desechados.

Afortunadamente, se puede conseguir el arranque de un motor trifásico por procedimientos eléctricos. La clave de la solución está en conseguir un campo giratorio único en el momento del arranque. Para ello, y de acuerdo con el teorema de Ferraris, el método más simple sería preparar un devanado bifásico. Un sistema bifásico consiste, como se muestra en la figura 11, en dos devanados estáticos desfasados 90° eléctricos en el espacio que llevan corrientes desfasadas 90° eléctricos en el tiempo.

VARIADORES DE VELOCIDAD.

(Clenet, Arrancadores y variadores de velocidad electrónicos, 2004), menciona que, El arranque directo sobre la red de distribución de los motores asíncronos es la solución más extendida y frecuentemente la más conveniente para una gran variedad de máquinas. Sin embargo, puede presentar inconvenientes que lleguen a ser perjudiciales en ciertas aplicaciones e incluso hasta incompatibles con el funcionamiento deseado de la máquina: corriente de arranque que puede alterar la marcha de otros aparatos conectados en la misma red, sacudidas mecánicas al arrancar, inaceptables para la máquina y para el confort y seguridad de los usuarios, imposibilidad de controlar la aceleración y deceleración, „imposibilidad variar la velocidad.

Los arrancadores y los variadores de velocidad eliminan estos inconvenientes. La tecnología electrónica les ha proporcionado mayor flexibilidad y ha ampliado su campo de aplicación. Pero todavía queda elegir bien. El objetivo de este Cuaderno Técnico es dar a conocer mejor estos dispositivos para facilitar su definición durante el diseño de los equipos y para mejorar y, hasta sustituir, un conjunto motor-dispositivo de mando y de protección)

PRINCIPALES FUNCIONES DE LOS ARRANCADORES Y VARIADORES DE VELOCIDAD ELECTRÓNICOS

Aceleración controlada

La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración lineal o en “S”. Generalmente, esta rampa es controlable y permite por tanto elegir el tiempo de aceleración adecuado para la aplicación. (Clenet, Arrancadores y variadores de velocidad electronicos, 2004)

Variación de velocidad

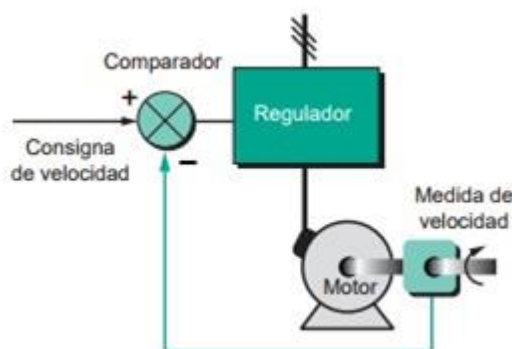
Un variador de velocidad no puede ser al mismo tiempo un regulador. En este caso, es un sistema, rudimentario, que posee un mando controlado mediante las magnitudes eléctricas del motor con amplificación de potencia, pero sin bucle de realimentación: es lo que se llama “en bucle abierto”. La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada (tensión o corriente) llamado consigna o referencia. Para un valor dado de la consigna, esta velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura). El margen de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal. (Clenet, Arrancadores y variadores de velocidad electronicos, 2004)

Regulación de velocidad

Un regulador de velocidad es un dispositivo controlado (figura 1). Posee un sistema de mando con amplificación de potencia y un bucle de alimentación: se denomina, “bucle abierto”.

La velocidad del motor se define mediante una consigna o referencia. El valor de la consigna se compara permanentemente con la señal de alimentación, imagen de la velocidad del motor. Esta señal la suministra un generador tacométrico o un generador de impulsos colocado en un extremo del eje del motor. Si se detecta una desviación como consecuencia de una variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión y/o frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar la velocidad a su valor inicial. Gracias a la regulación, la velocidad es prácticamente insensible a las perturbaciones. La precisión de un regulador se expresa generalmente en % del valor nominal de la magnitud a regular. (Clenet, Arrancadores y variadores de velocidad electronicos, 2004).

Figura N°2.10: Principio de funcionamiento de la regulación de velocidad



Fuente: (Clenet, Arrancadores y variadores de velocidad electronicos, 2004)

La teoría de control moderna se basa en el análisis en el dominio temporal de los sistemas de ecuaciones diferenciales. La teoría de control moderna simplificó el diseño de los sistemas de control porque se basa en un modelo del sistema real que se quiere controlar. Sin embargo, la estabilidad del sistema depende del error entre el sistema real y su modelo. Esto significa que cuando el controlador diseñado basado en un modelo se aplica al sistema real, éste puede no ser estable. Para evitar esta situación, se diseña el sistema de control definiendo en primer lugar el rango de posibles errores y después diseñando el

controlador de forma que, si el error del sistema está en dicho rango, el sistema de control diseñado permanezca estable. El método de diseño basado en este principio se denomina teoría de control robusto. Esta teoría incorpora tanto la aproximación de respuesta en frecuencia como la del dominio temporal. Esta teoría es matemáticamente muy compleja. (Katsuhiko, 2010, pág. 1).

Antes de analizar los sistemas de control, deben definirse ciertos términos básicos.

Variable controlada y señal de control o variable manipulada.

La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La señal de control o variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.

Plantas. Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular.

Procesos. El Diccionario Merriam-Webster define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado.

Sistemas. Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no está necesariamente limitado a los sistemas físicos.

Perturbaciones. Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y es una entrada.

Control realimentado. El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia. Aquí sólo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles, ya que las perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema. (Katsuhiko, 2010, pág. 3).

Figura N° 2.11: Componentes de un sistema de control.



Fuente: Kuo, 1996, pág. 3.

SOFTWARE PARA DISEÑO Y PROCESAMIENTO DE DATOS

A) SOFTWARE LABVIEW

LabVIEW es un entorno de programación gráfica usado por miles de ingenieros e investigadores para desarrollar sistemas sofisticados de medida, pruebas y control usando íconos gráficos e intuitivos y cables que parecen un diagrama de flujo. Ofrece una integración incomparable con miles de dispositivos de hardware y brinda cientos de bibliotecas integradas para análisis avanzado y visualización de datos, todo para crear instrumentación virtual.

Se utilizó para la programación del sistema SCADA de la pileta ornamental, en su plataforma se programó el interfaz con las tarjetas PLC mega y el Micrologix 1200, reconocimiento del transductor de presión, transductores de presión y programación de los servomotores y servo válvulas.

B) SOFTWARE PLC RSLINX CLASSIC

Es el software destinado a realizar la comunicación entre PLC y CPU, se establece a través del protocolo DF1, también ha sido utilizado para el OPC server con el LabVIEW.

Para los Controladores Programables Allen-Bradley, RSLinx™ es una solución general de comunicaciones en la fábrica para el sistema operativo Microsoft®

Windows NT™. Proporciona al controlador programable Allen-Bradley acceso a una amplia variedad de aplicaciones Rockwell Software y Allen-Bradley, tales como Rslogix500™, Rslogix Emulate™ y RSView™.

RSLinx OEM™ es el motor de comunicaciones para muchos productos de software, así como para productos desarrollados por terceros para usar el

RSLinx. La versión con todas las características de RSLinx realiza comunicaciones DDE a todos los productos que pueden actuar como clientes DDE (mediante el mejor formato DDE entendido por el cliente DDE: AdvanceDDE, CF_Text, XL_Table o FastDDE). (Rockwell Automation, 2015).

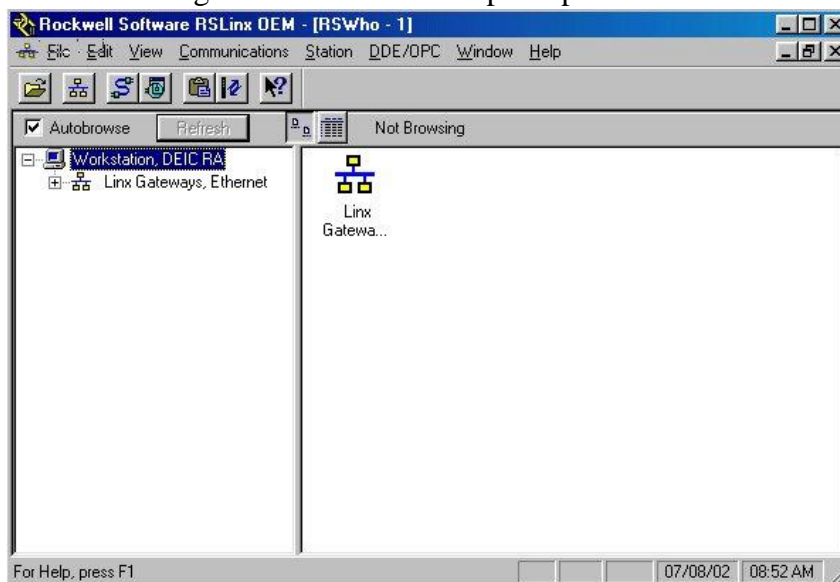
C) CONFIGURACION DE DRIVER DE COMUNICACIONES

Para Adicionar un Driver, seleccione COMMUNICATIONS > Configure Driver o dé click en el icono:



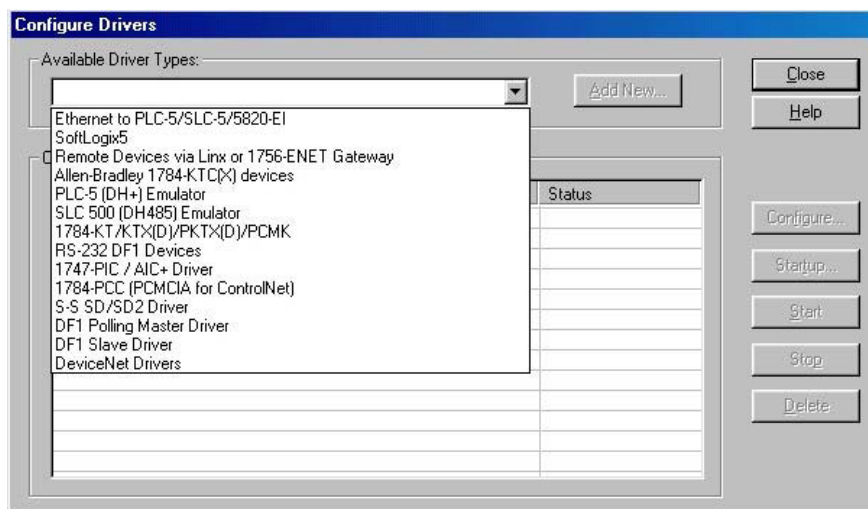
Seleccione el Driver deseado de entre los tipos de Drivers disponibles, dependiendo de los módulos de interconexión que utilizará para la conexión del PLC al PC

Figura N° 2.12: Pantalla principal RSLinx



Fuente: Rockwell Automation, 2015.

Figura N° 2.13: Configuración de drivers RSLinx

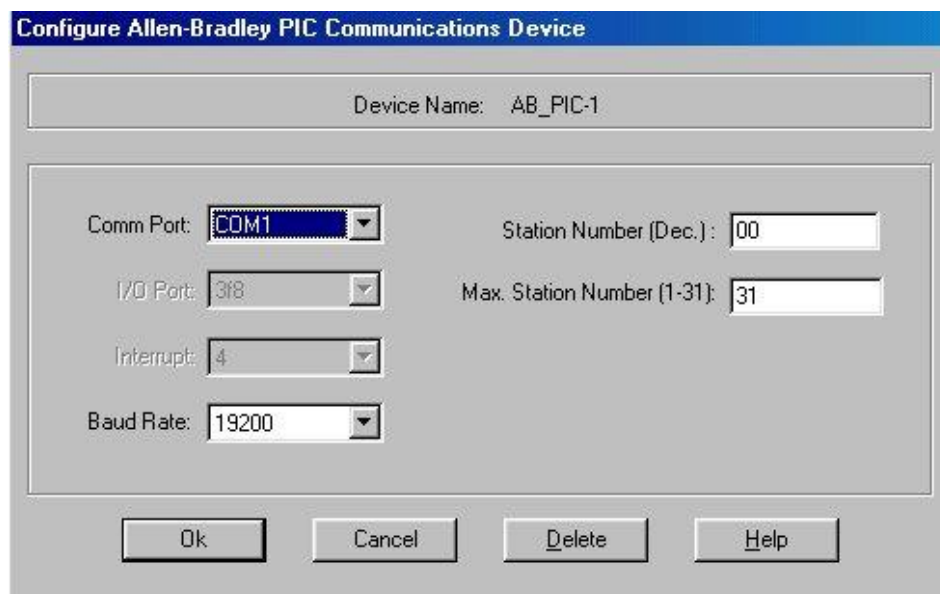


Fuente: Rockwell Automation, 2015.

Allí usted puede observar la lista de todos los drivers creados para conectar los diferentes módulos y opciones de comunicaciones de los PLC's de Allen Bradley.

Para conectar un PLC utilizando el PIC, utilice el driver 1747-PIC + AIC y dé click en **Add New**, para configurar el puerto en el cual conectará el módulo y la velocidad de comunicaciones en la ventana que se muestra a continuación:

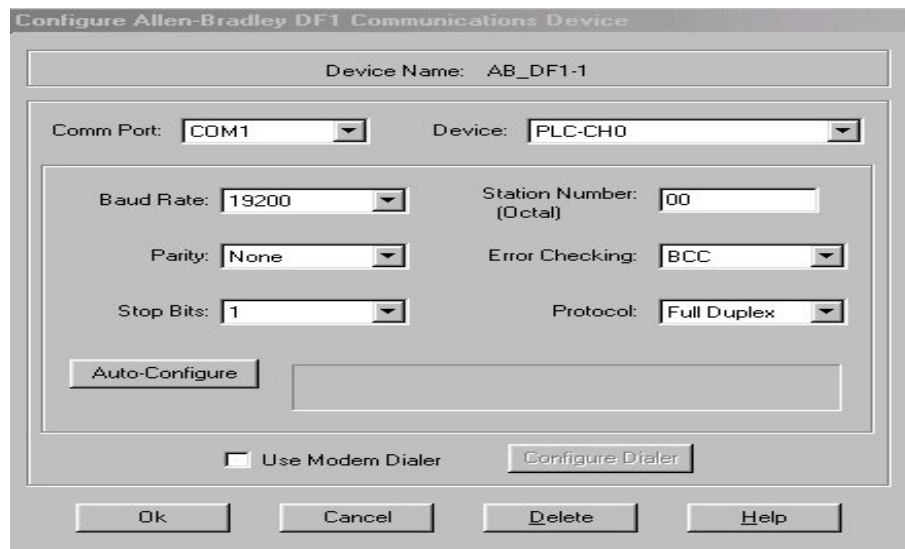
Figura N°2.14: Configuración de comunicación RSLinx - plc



Fuente: Rockwell Automation, 2015.

Para conectar un PLC utilizando un módulo de comunicaciones KF3 o a través de una conexión punto-punto usando el puerto Rs232 del PLC (por ejemplo para un micrologix1000, micrologix1500, un SCL 5/03, 5/04 y 5/05), utilice el driver Rs232 DF1 Devices y dé click en Add New, para configurar el puerto en el cual conectará el módulo y los parámetros del protocolo serial. Si la conexión ha sido correctamente establecida se puede utilizar la opción **Auto Configure**, la cual automáticamente configurará los parámetros de trabajo del protocolo serial.

Figura N° 2.15: Configuración de comunicación RSLinx - plc

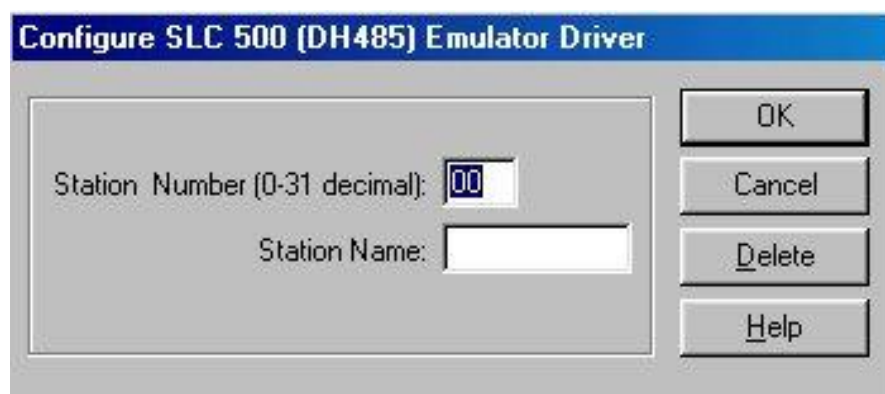


Fuente: Rockwell Automation, 2015.

Si va a realizar una conexión de un PLC a través de un KF3, seleccione en la caja de diálogo **Device** la opción de comunicaciones 1770-KF3/1747-KE, pero sirva a conectar directamente un PLC por medio de su puerto serial, utilice la opción SLC-CH0/Micro/panelView en **Device**.

Finalmente, para realizar una emulación de un PLC se debe utilizar el driver SLC500 (DH485) Emulator, debiéndose configurar solamente el número de la estación y su nombre en la ventana:

Figura N°2.16: Configuración de emulación - plc



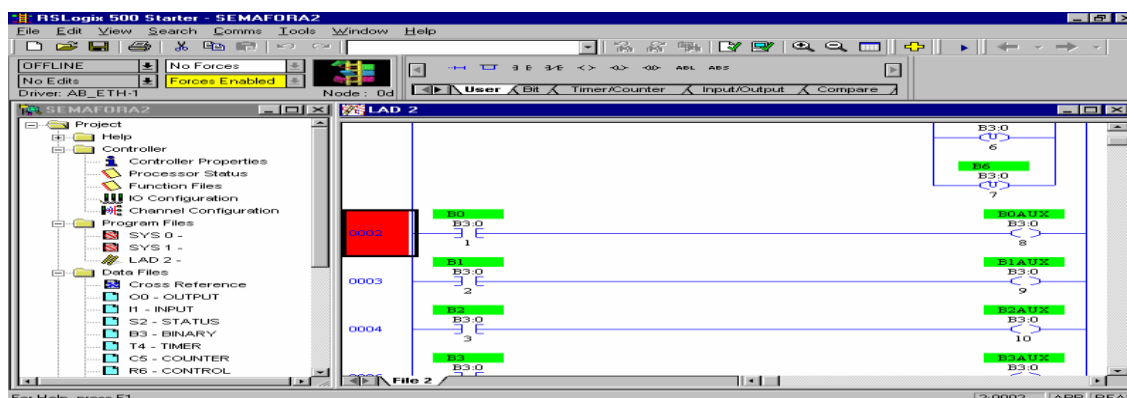
Fuente: Rockwell Automation, 2015.

D) SOFTWARE PLC RSLOGIX500

RSLogix 500 es el software destinado a la creación de los programas de la autómatas en lenguaje de esquema de contactos o también llamado lógica de escalera (Ladder). Este contiene fuente de alimentación integrada, circuitos de entradas, salidas y un procesador. Este programa permite crear los programas de control en lenguaje Ladder del autómatas MicroLogix 1500.

RSLogix 500 es el software destinado a la creación de los programas del autómatas en lenguaje de esquema de contactos o también llamado lógico de escalera (Ladder). Incluye editor de Ladder y verificador de proyectos (creación de una lista de errores) entre otras opciones. Este producto se ha desarrollado para funcionar en los sistemas operativos Windows® (Rockwell Automation, 2009)

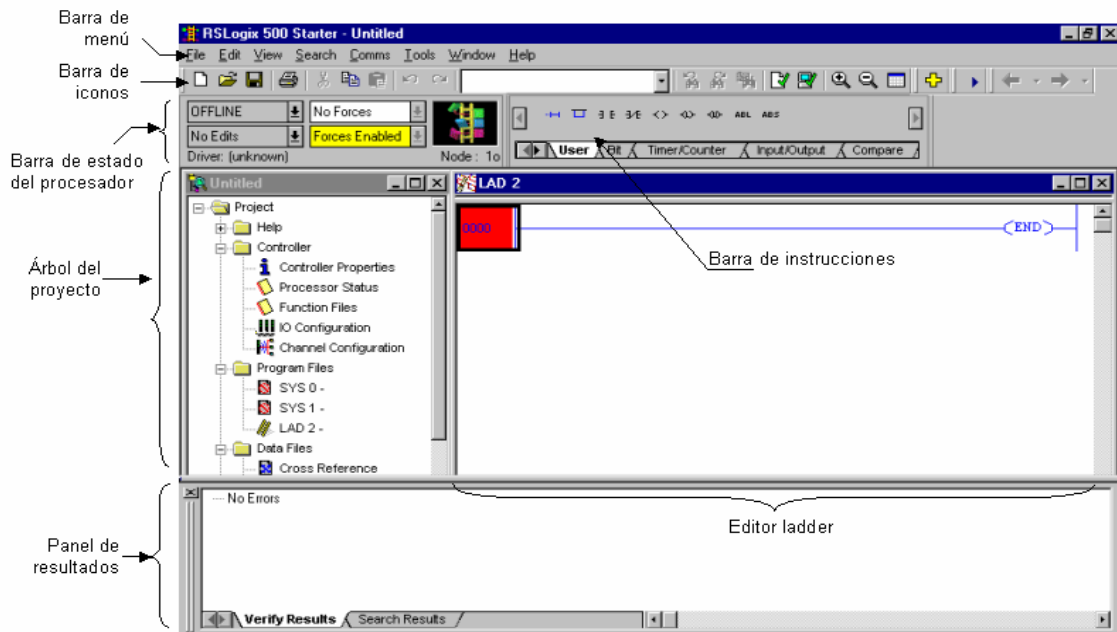
Figura N°2.17: Pantalla principal del RSLogix 500



Fuente: Rockwell Automation, 2009, pág. 1.

Existen diferentes menús de trabajo en el entorno de RSLogix 500, a continuación se hace una pequeña explicación de los mismos.

Figura N°2.18: Vista principal del RSLogix 500



Fuente: Rockwell Automation, 2009, pág. 4.

Barra de menú: permite realizar diferentes funciones como recuperar o guardar programas, opciones de ayuda, etc. Es decir, las funciones elementales de cualquier software actual.

Barra de iconos: engloba las funciones de uso más repetido en el desarrollo de los programas.

Barra de estado del procesador: Nos permite visualizar y modificar el modo de trabajo del procesador (online, offline, program, remote), cargar y/o descargar programas (upload/download program), así como visualizar el controlador utilizado (Ethernet drive en el caso actual).

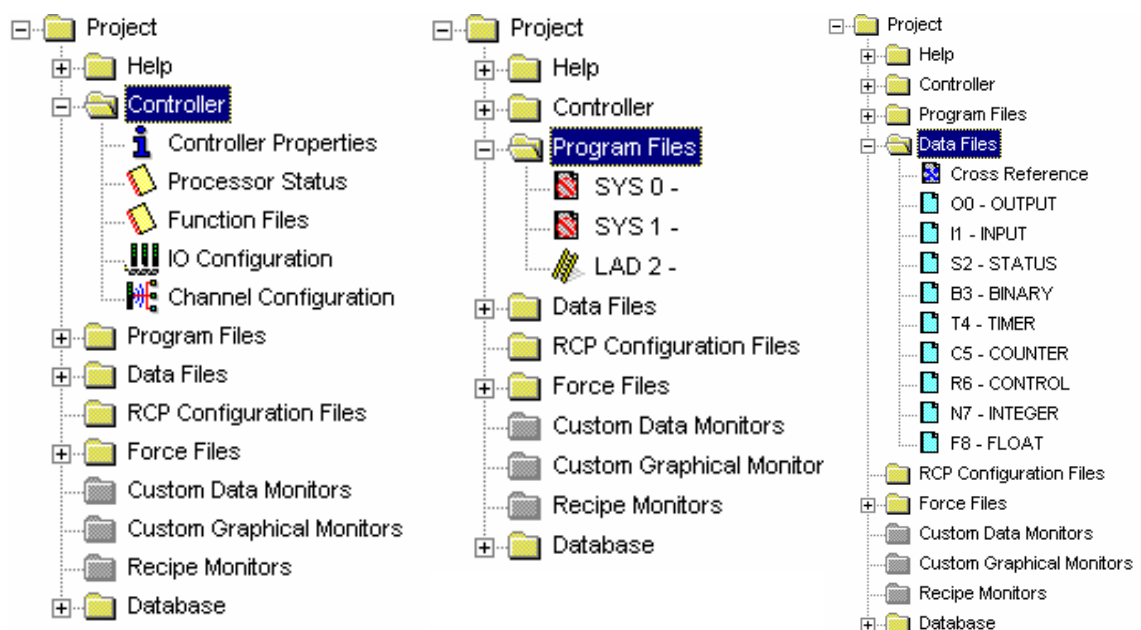
Los modos de trabajo más usuales son:

- **Offline:** Consiste en realizar el programa sobre un ordenador, sin necesidad alguna de acceder al PLC para posteriormente una vez acabado y verificado el programa descargarlo en el procesador. Este hecho dota al programador de gran independencia a la hora de realizar el trabajo.

- **Online:** La programación se realiza directamente sobre la memoria del PLC, de manera que cualquier cambio que se realice sobre el programa afectará directamente al procesador, y con ello a la planta que controla. Este método es de gran utilidad para el programador experto y el personal de mantenimiento ya que permite realizar modificaciones en tiempo real y sin necesidad de parar la producción.

Árbol del proyecto: Contiene todas las carpetas y archivos generados en el proyecto, estos se organizan en carpetas. Las más interesantes para el tipo de prácticas que se realizará son:

Figura N° 2.19: Arbol de proyecto RSLogix 500



Fuente: Rockwell Automation, 2009, pág. 5.

Controller properties: contiene las prestaciones del procesador que se está utilizando, las opciones de seguridad que se quieren establecer para el proyecto y las comunicaciones.

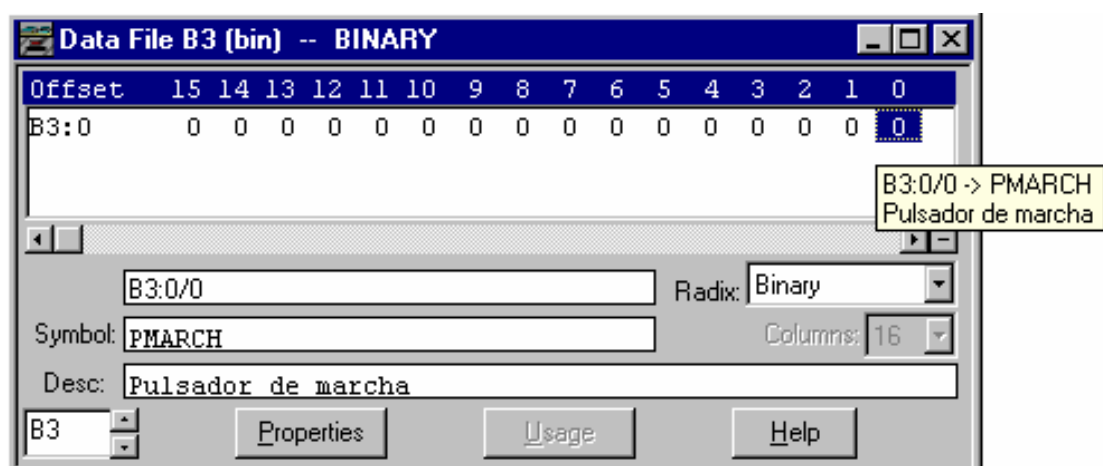
Processor Status: se accede al archivo de estado del procesador
IO Configuration: Se podrán establecer y/o leer las tarjetas que conforman el sistema.

Channel Configuration: Permite configurar los canales de comunicación del procesador
Contiene las distintas rutinas Ladder creadas para el proyecto.

Da acceso a los datos de programa que se van a utilizar así como a las referencias cruzadas (cross references). Podemos configurar y consultar salidas (output), entradas (input), variables binarias (binary), temporizadores (timer), contadores (counter).

Si seleccionamos alguna de las opciones se despliegan diálogos similares al siguiente, en el que se pueden configurar diferentes parámetros según el tipo de elemento.

Figura N° 2.20: Arbol de proyecto RSLogix 500



Fuente: Rockwell Automation, 2009, pág. 6.

Panel de resultados: aparecen los errores de programación que surgen al verificar la corrección del programa realizado (situados en la barra de iconos). Efectuando doble clic sobre el error, automáticamente el cursor se situará sobre la ventana de programa Ladder en la posición donde se ha producido tal error.

También es posible validar el archivo mediante Edit > Verify File o el proyecto completo Edit > Verify Project.

Barra de instrucciones: Esta barra le permitirá, a través de pestañas y botones, acceder de forma rápida a las instrucciones más habituales del lenguaje Ladder. Presionando sobre cada instrucción, ésta se introducirá en el programa Ladder.

Ventana del programa Ladder: Contiene todos los programas y subrutinas Ladder relacionados con el proyecto que se esté realizando. Se puede interaccionar sobre esta ventana escribiendo el programa directamente desde el teclado o ayudándose con el ratón (ya sea arrastrando objetos procedentes de otras ventanas ó seleccionando opciones con el botón derecho del ratón).

2.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Las hipótesis que se plantearon fueron las siguientes.

HIPÓTESIS GENERAL

La solución consiste en diseñar un “PROTOTIPO DE CONTROL PID PARA EL ARRANQUE Y REGULACIÓN DE VELOCIDAD EN UN MOTOR TRIFÁSICO DE 1HP INTERACTUANDO PLC – LABVIEW a partir de ahí hacer pruebas para distintos arranques del motor centrándonos en un problema dado, por ejemplo, en arranque de un motor en parámetros de tiempos distintos obteniendo distintos arranques y así buscar el mejor parámetro para una performance de dicho motor.

Así también buscar la velocidad exacta de acuerdo a parámetros o uso del potenciómetro y evaluar tanto el arranque y la velocidad para dicho problema planteado. Con el diseño de un prototipo de control automático mejorará el arranque y regulación de velocidad de

un motor trifásico mediante el enlace de la plataforma PLC LABVIEW. Aplicando controladores PID incorporado en un PLC Micro Logix 1200 e interactuando con el software Labview-RSlogix500.

HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- ❖ Diseñar un variador de velocidad para un motor de inducción trifásico de bajo costo mediante el uso de componentes disponibles en el mercado nacional. Se propondrá como esquema en la etapa de potencia el uso de un ciclo convertidor implementado con un micro controlador.
- ❖ Desarrollo de la protección eléctrica del motor.
- ❖ Buscar la optimización de recursos y el menor costo de implementación.

VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES

En el siguiente Tabla se muestra la Operacionalización de variables:

Variable	Tipo de variable	Dimensiones	Indicadores
VOLTAJE (Input Variador)	Independiente	Magnitud que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor	Voltios (v)
PRESION	Dependiente	Fuerza ejercida sobre una determinada superficie	Bar

TablaN°2.2: Variables Dependientes e independientes
Elaboración propia

CAPITULO III

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para nuestro proyecto utilizaremos la “Investigación Aplicada”, debido que a partir de los resultados obtenidos en las pruebas experimentales serán definidos los parámetros óptimos de arranque y funcionamiento del motor eléctrico trifásico. El tipo de investigación es de tipo experimental, por ende la variable independiente va medir su efecto en la variable dependiente, por lo cual se realizó pruebas para generar datos a partir del proceso, y entonces se utilizó la información del experimento para establecer nuevas suposiciones que llevan a realizar nuevos experimentos comportándose cíclicamente, las mediciones fueron señal de voltaje, presión, desplazamiento angular de la válvula globo y presión para la adquisición de datos.

El diseño de investigación experimental, debido a que en la determinación del caudal depende del posicionamiento de la válvula, que son valores asignados a una determinada condición de operación, el análisis se debe realizar con los datos adquiridos, en base a estos datos se hace una investigación cuantitativa para interpretar las mediciones realizadas.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

La población y muestra lo conforman los datos adquiridos, por los sensores presión a niveles compatibles con el Micrologix 1200 y PLC mega 2560 respectivamente, los cuales son encargados del control del motor de inducción y de la servo válvula, además de la monitorización, control y adquisición de datos de las variables presión.

3.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

Los datos fueron extraídos del módulo de pileta ornamental que se ubica en el laboratorio de control y automatización. La población viene a ser los datos generados del módulo y se adquiere con el sistema de adquisición de datos que se diseñó, este sistema recopila valores numéricos tomados hasta:

- ✓ Que el controlador obtenga el valor consignado de presión, incrementando la revolución del motor de inducción.
- ✓ Estos datos se encuentran almacenados en archivos “txt o xlms” que genera el software LabVIEW para su posterior análisis.

3.4 MATERIAL EXPERIMENTAL

3.4.1 SOFTWARE PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS

El software especializado proveniente de la empresa National Instruments que utilizamos para el sistema SCADA de este proceso es el labVIEW 14, el cual monitoriza y controla este proceso, en la etapa de adquisición, control de datos y conversión de señales A/D-D/A se utilizó el Micrologix 1200 y PLC mega 2560 con su software de programación como el rslogix 500 respectivamente, luego se extrajo la información de estado de cada variable tanto independiente como dependiente, para su exportación en un archivo “xls” o “txt”, realizando el proceso de datos con el software EXCEL y MATLAB.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN

Para recolectar la información se diseñó un sistema de adquisición de datos el cual consta de los siguientes equipos e instrumentos.

Tabla N°3.1 : Equipos e Instrumentos del sistema de adquisición de datos

	<p>VARIADOR DE VELOCIDAD ATV 12 SCHNEIDER (Schneider, 2009)</p>
	<p>TRANSDUCTOR DE PRESION</p>
	<p>ELECTROBOMBA HIDRONEUMATICA</p>

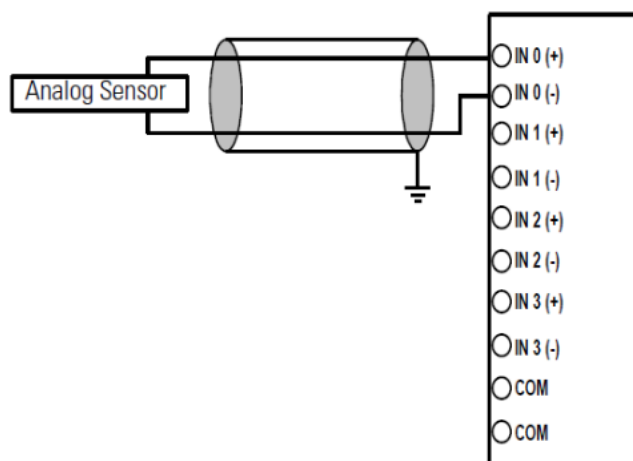
	<p>MULTIMETRO DIGITAL AMPROBE</p>
	<p>SOFTWARE LABVIEW, INSTRUMENTOS VIRTUALES.</p>
	<p>SOFTWARE EXCEL</p>
	<p>SOFTWARE MATLAB&SIMULINK</p>

Elaboración: Propia

a) Proceso de la señal Análoga E/S

Captura de señal análoga de presión y salida análoga del plc (alimentación de voltaje del variador). Para obtener la señal análoga de transductor de presión se configura el módulo de expansión analógica del plc, ubicamos el switch de locación en reconocimiento de voltaje y realizamos el conexionado del transductor de la siguiente manera.

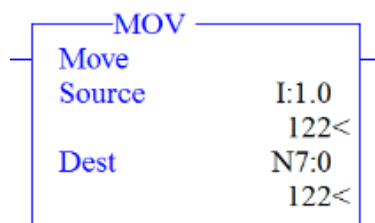
Figura N°3.1: Conexionado del Sensor a entradas analógicas



Fuente: (Micrologix-1762-IF04, 2005, p. 10)

Para reconocer la señal en el lenguaje ladder utilizamos la instrucción MOV, que hace que el procesador copie el valor del parámetro fuente a la localidad del parámetro destino.

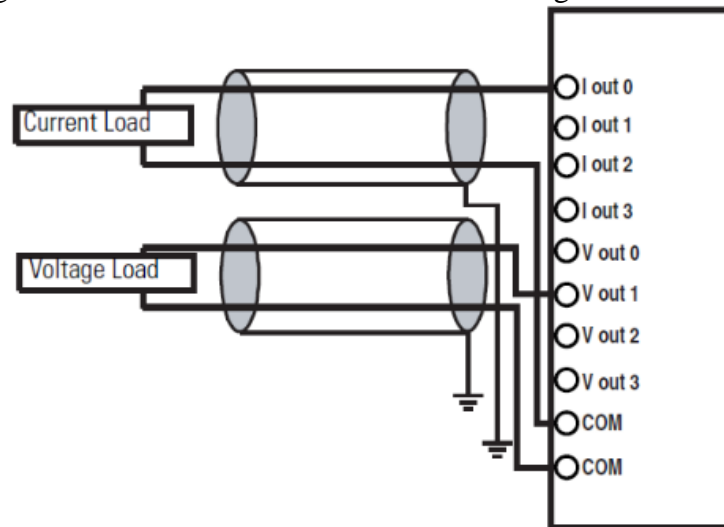
Figura N°3.2: Transferir valor numérico del Sensor a entrada analógica



Fuente: (Rockwell Automation, 2002, p. 205)

El conexionado de la salida del módulo de expansión es de la siguiente manera.

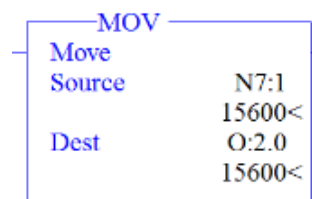
Figura N° 3.3: Conexión de las Salidas analógicas hacia cargas



Fuente: (Micrologix-1762-OF4, 2005, p. 10)

Para la salida utilizamos la misma instrucción para lograr controlar el voltaje de salida que controla al variador de frecuencia.

Figura N° 3.4: Transferir instrucción a la salida analógica



Fuente: (Rockwell Automation, 2002,p. 205)

3.6 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Los datos adquiridos fueron procesados y analizados con la ayuda del software LabVIEW, Excel y Matlab. En el Excel, se copian todos los datos adquiridos del sistema de adquisición de datos, en el análisis de caracterización de la ecuación de transferencia también nos apoyamos del software Matlab, el uso de las hojas de cálculo para realizar el procesamiento y análisis de los datos adquiridos.

3.7 PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO

Se describe el diseño y construcción del módulo de una pileta ornamental de laboratorio, para el control por computador de la altura de los chorros de agua, utilizando el Micrologix 1200, dos tarjetas PLC Mega 2560, 11 servomotores de 11 Kg-f.m adaptados a válvulas globo, 11 transductores de presión, 06 servomotores de 5 Kg-f.m, 01 transductor de presión, 01 variador de frecuencia y una electrobomba hidroneumática, todo controlado en plataforma labVIEW.

Se analizarán y se justificará todos los elementos electrónicos, los algoritmos y las estrategias de control propuestas para el desarrollo del proyecto, conformado de tres partes medulares, las cuales se explican a continuación:

- ✓ **Etapa de diseño del módulo:** Se hacen todos los diseños de la pileta ornamental, en el soporte, cañerías y/o tuberías, cálculo de potencia de cada servomotor.
- ✓ **Etapa de adquisición de datos:** Es la encargada de adecuar las señales otorgadas por los sensores de presión, a niveles compatibles con el Micrologix 1200 y las tarjetas PLC mega 2560, los cuales son encargados del control de la electrobomba, servo válvula y servomotores.
- ✓ **Etapa de control:** Esta es la encargada de darle el carácter autómatas al sistema, calculando la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso, logrando así, una rápida estabilidad y respuesta al estado estacionario del sistema, en este caso se trata de un control PID aplicado a la electrobomba y servo válvula como estrategia de control, el cual se desarrolla más adelante.

Para energizar los devanados del motor de Inducción trifásico por medio de un variador de velocidad y un contactor encargado a su vez de controlar el sentido del giro y la

velocidad del motor de la electrobomba. Para energizar la servo válvula y servomotores se utiliza una fuente DC de 10 A. el mismo también alimenta todos los sensores.

3.7.1 ETAPA DISEÑO DEL MODULO.

El modelo de la pileta fue implementado en plancha acrílica y triplay, para las conexiones hidráulicas se utilizó cañería de cobre 5/16" y 3/16", accesorios como: T, acoples de bronce, uniones rectas, reductores, niples, servo válvula, válvulas check.

Todo el sistema fue montado sobre una estructura en hierro de perfil tipo L de 1 1/2" x 1 1/2" x 1 1/8".

Para el acondicionamiento de las servo válvulas, se utilizó válvulas globo de 1/2", servomotores de 11 Kg-f.m, los cuales se acoplaron mediante juntas, bridas, pernos, engranes y un soporte metálico que recubre todo el contorno de la válvula y servomotor.

Para el accionamiento de las boquillas móviles se utilizó acero inox de 1.5 mm, varillas y pernos, todo el sistema móvil es accionado por 06 servomotores.

Se cuenta con 02 tableros de control y mando, compartido ambos, estos permiten el alojamiento y protección de todos los elementos de mando y potencia.

Para mayor detalle ver (ANEXO N° 04)

A) Cálculo de las pérdidas de carga en tuberías y accesorios

Una de las ecuaciones más utilizadas en hidráulica es la ecuación de Darcy- Weisbach que permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería.

B) Pérdidas de cargas locales y longitudes equivalentes

Son las que tienen lugar a las salidas y entradas de tuberías, accesorios como tees, codos, nipples, etc., válvulas, boquillas pulverizadores, etc.

Estas pérdidas se deben a que las características físicas de cada accesorio producen cambios en el flujo, propiciando así la formación de remolinos en el interior de estos accesorios.

C) Pérdidas de carga totales

La suma de todas las pérdidas de carga en un sistema de tuberías, es decir, la suma de las pérdidas "por fricción" en los tramos rectos y la suma de las pérdidas locales, se conoce como "pérdidas de carga totales". A continuación podemos observar las pérdidas ubicadas en el trayecto de cañería de cobre.

3.7.2 ETAPA DE ADQUISICION DE DATOS

La etapa de adquisición de datos es una de las más importantes en un sistema automático, puesto que, de ésta depende en gran medida que nuestro controlador funcione adecuadamente.

I. ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA PRESIÓN

A) CALIBRACION DEL TRANSDUCTOR DE PRESION

Para obtener datos exactos en la adquisición de los datos, requerimos que nuestros sensores captadores de la información estén calibrados, para lo cual tomaremos lecturas de un manómetro de burdon como patrón, y por otro lado tenemos la alimentación a nuestro transductor de presión con 5v, procedemos a tomar lecturas de presión y voltaje generado en la señal de salida del transductor, se describe en la siguiente tabla.

Tabla N°3.4: Calibración del Transductor

CALIBRACION DEL TRANSDUCTOR DE PRESION	
P(bar)	Volts (Sensor)
3.1	1.5464
2.68	1.34391
2.2	1.21827
1.99	1.14519
1.6	1.03846
1.4	0.960577
1.2	0.899679
0.98	0.832372
0.75	0.766026
0.5	0.705749
0.25	0.640705
0	0.490064

Elaboración: Propia

En donde aplicando nuestra estadística de regresión que podemos apreciar en la tabla.

Figura N°3.5: Análisis de regresión

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99723374
Coefficiente de determinación R ²	0.99447513
R ² ajustado	0.99392265
Error típico	0.07538495
Observaciones	12

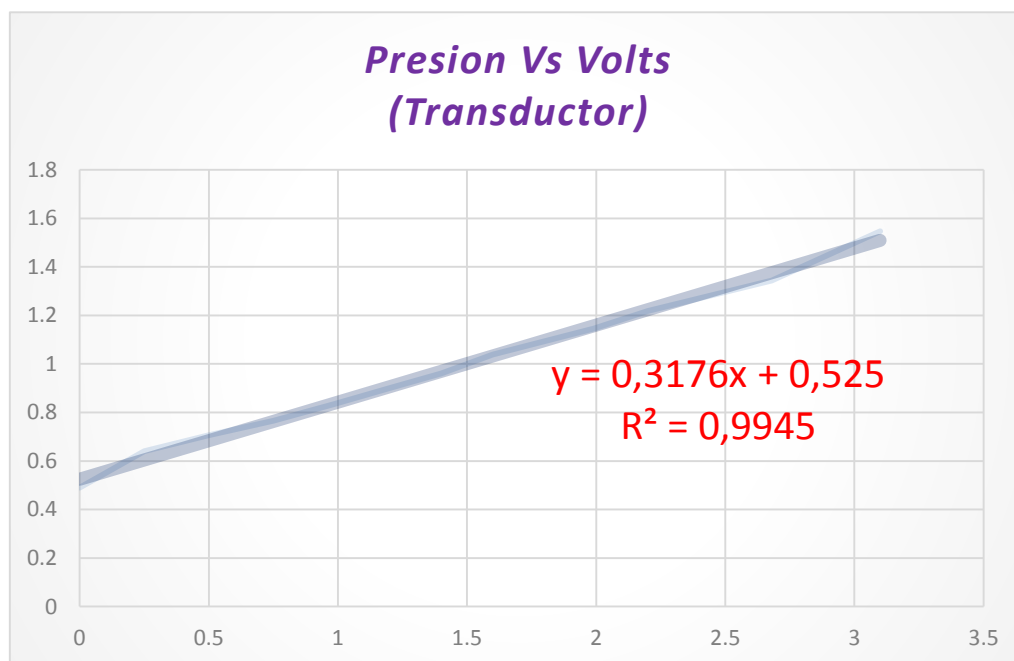
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	10.22919609	10.2291961	1799.99871	1.2697E-12
Residuos	10	0.056828908	0.00568289		
Total	11	10.286025			

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-1.63649047	0.074524263	-21.9591632	8.5917E-10	-1.80254087	-1.470440059	-1.802540872	-1.470440059
Variable X 1	3.1316671	0.073814128	42.4263917	1.2697E-12	2.96719897	3.296135223	2.967198971	3.296135223

Elaboración: Propia

Observamos que R^2 es 0.9945 lo cual valida nuestra función lineal del transductor.

Figura N° 3.6: Ecuación del Transductor



Elaboración: Propia

Se recomienda realizar los procedimientos de calibración en cada puesta en marcha del equipo.

B) ADQUISICIÓN DE DATOS DEL TRANSDUCTOR DE PRESION

A continuación se muestra la adquisición de datos de presión manométrica a través del transductor de presión, los datos fueron extraídos por el programa LabVIEW y exportados a un archivo txt, para su procesamiento con Excel y Matlab.

TablaN°3.5: Datos Registrados en el día 12 de octubre del 2018

TRANSDUCTOR DE PRESION			
P(bar)IN Transductor	Volts OUT Transductor	Time (c/300ms)	Volts Variador
2.804	1.355	33375900	5.022
2.802	1.354	33376200	5.022
2.802	1.354	33376500	5.022
2.82	1.363	33376800	5.022
2.814	1.36	33377100	5.022
2.814	1.36	33377400	5.022
2.832	1.369	33377700	5.022
2.838	1.372	33378000	5.022
2.849	1.377	33378300	5.022
2.849	1.377	33378600	5.022
2.858	1.381	33378900	5.022
2.869	1.387	33379200	5.022
2.879	1.391	33379500	5.022
2.879	1.391	33379800	5.022
2.894	1.399	33380100	5.022
2.904	1.404	33380400	5.022
2.903	1.403	33380700	5.022
2.903	1.403	33381000	5.022
2.915	1.409	33381300	5.022
2.92	1.412	33381600	5.022
2.92	1.412	33381900	5.022
2.932	1.417	33382200	5.022
2.941	1.421	33382500	5.022
2.945	1.423	33382800	5.022
2.945	1.423	33383100	5.022
2.957	1.429	33383400	5.022
2.957	1.429	33383700	5.022
2.968	1.435	33384000	5.022
2.977	1.439	33384300	5.022
2.981	1.441	33384600	5.022
2.981	1.441	33384900	5.022

Elaboración: Propia

II. ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SISTEMA ELECTROBOMBA ALTIVAR

12

A continuación se muestra la adquisición de datos de voltaje de ingreso al variador a través de la salida analógica del PLC, por otro lado tenemos la presión resultante a la

salida de la bomba es censada por el transductor de presión, todos los datos fueron extraídos por el programa labVIEW y exportados a un archivo txt, para su procesamiento con Excel.

TablaN°3.6: Datos Registrados en el día 15 de Octubre del 2018

ELECTROBOMBA-VARIADOR		
P(bar) OUT Transductor	Time (c/300ms)	Set Point IN
0.025	0	5
0.025	0.3	5
0.174	0.6	5
0.389	0.9	5
0.389	1.2	5
0.646	1.5	5
0.957	1.8	5
1.311	2.1	5
1.311	2.4	5
1.703	2.7	5
2.144	3	5
2.144	3.3	5
2.454	3.6	5
2.622	3.9	5
2.622	4.2	5
2.669	4.5	5
2.675	4.8	5
2.674	5.1	5
2.674	5.4	5
2.677	5.7	5
2.674	6	5
2.674	6.3	5
2.678	6.6	5
2.684	6.9	5
2.683	7.2	5
2.683	7.5	5
2.68	7.8	5
2.68	8.1	5
2.682	8.4	5
2.69	8.7	5
2.684	9	5
2.684	9.3	5
2.692	9.6	5
2.69	9.9	5

2.69	10.2	5
2.691	10.5	5
2.689	10.8	5
2.692	11.1	5
2.686	11.4	5
2.686	11.7	5
2.692	12	5
2.691	12.3	5
2.691	12.6	5
2.692	12.9	5
2.687	13.2	5
2.687	13.5	5
2.695	13.8	5
2.695	14.1	5
2.695	14.4	5
2.695	14.7	5
2.695	15	5
2.691	15.3	5
2.691	15.6	5
2.695	15.9	5
2.695	16.2	5
2.698	16.5	5
2.698	16.8	5
2.694	17.1	5
2.694	17.4	5
2.696	17.7	5
2.695	18	5
2.696	18.3	5
2.696	18.6	5
2.696	18.9	5
2.696	19.2	5
2.696	19.5	5
2.692	19.8	5
2.702	20.1	5
2.696	20.4	5

Elaboración: Propia

III. ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SISTEMA SERVO VÁLVULA TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

A continuación se muestra la adquisición de datos del sistema servo válvula se posiciona de su mínima apertura a su máxima a través de la salida PWM del PLC, por otro lado

tenemos el caudal resultante a la salida de la servo válvula es censada, todos los datos fueron extraídos por el programa labVIEW y exportados a un archivo txt, para su procesamiento con Excel y Matlab.

TablaN°3.7: Datos Registrados en el día 16 de Octubre del 2018

SERVOVALVULA-TRANSDUCTOR		
Ø° Angular	P (bar)	Time (c/82ms)
0	0	2457873
0	0	2457955
0	0	2458037
0	0	2458119
0	0	2458201
0	0	2458283
0	0	2458364
0	0	2458447
0	0	2458528
0	0	2458610
0	0	2458692
0	0	2458774
0	0	2458856
0	0	2458938
0	0	2459020
0	0	2459102
0	0	2459184
0	0	2459266
0	0	2459348
0	0	2459429
0	0	2459511
0	0	2459593
0	0	2459675
0	0	2459757
0	0	2459839
0	0	2459921
0	0	2460003
0	0	2460085
0	0	2460167
0	0	2460249
0	0	2460331
0	0	2460413
0	0	2460494
0	0	2460576

0	0	2460658
0	0	2460740
0	0	2460822
0	0	2460904
0	0	2460986
0	0	2461068
0	0	2461150
0	0	2461232
0	0	2461314
0	0	2461396
0	0	2461477
0	0	2461559
0	0	2461641
0	0	2461723
0	0	2461805
0	0	2461887
0	0	2461969
0	0	2462051
0	0	2462133
0	0	2462215
0	0	2462297
0	0	2462379
0	0	2462460
0	0	2462542
0	0	2462624
0	0	2462706
0	0	2462788
0	0	2462871
0	0	2462953
0	0	2463035
0	0	2463117
0	0	2463199
0	0	2463281
0	0	2463363
0	0	2463444
0	0	2463526
0	0	2463608
0	0	2463690
0	0	2463772
0	0	2463854
0	0	2463936
0	0	2464018
0	0	2464100
0	0	2464182
0.248	0	2464264

0.248	0	2464346
0.248	0	2464428
0.248	0	2464510
0.248	0	2464591
0.248	0	2464673
0.248	0	2464755
0.248	0	2464837
0.248	0	2464919
0.248	0	2465001
0.248	0	2465083
0.248	0	2465165
0.248	0	2465247
0.248	0	2465329
0.248	0	2465411
0.248	0	2465493
0.248	0	2465574
1.033	0	2465656
1.821	0	2465738
1.821	0	2465820
1.821	0	2465902
2.612	0	2465984
2.612	0	2466066
2.612	0	2466148
2.612	0	2466230
3.407	0	2466312
3.407	0	2466394
3.407	0	2466476
5.004	0	2466558
5.004	0	2466639
5.004	0	2466721
5.805	0	2466803
6.608	0	2466885
7.412	0	2466967
8.217	0	2467049
9.023	0	2467131
9.023	0	2467213
10.609	0	2467295
11.401	0	2467377
12.981	0	2467459
12.981	0	2467540
12.981	0	2467622
12.981	0	2467704
12.981	0	2467786
12.981	0	2467868
12.981	0	2467950

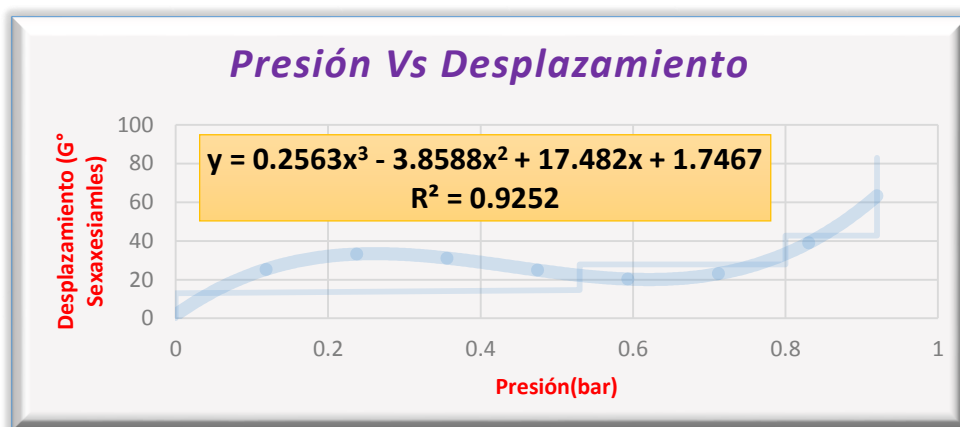
12.981	0	2468032
14.553	0.53	2468114
16.116	0.53	2468196
16.116	0.53	2468278
16.892	0.53	2468360
17.665	0.53	2468442
17.665	0.53	2468524
18.434	0.53	2468605
19.199	0.53	2468687
19.959	0.53	2468769
19.959	0.53	2468851
20.715	0.53	2468933
21.465	0.53	2469015
22.407	0.53	2469097
23.157	0.53	2469179
23.157	0.53	2469261
23.9	0.53	2469343
24.637	0.53	2469425
25.368	0.53	2469507
27.068	0.53	2469588
27.787	0.53	2469670
27.787	0.53	2469752
27.787	0.53	2469834
27.787	0.53	2469916
27.787	0.53	2469998
27.787	0.53	2470080
27.787	0.8	2470162
27.787	0.8	2470244
27.787	0.8	2470326
27.787	0.8	2470408
27.787	0.8	2470489
27.787	0.8	2470571
27.787	0.8	2470653
27.787	0.8	2470735
28.497	0.8	2470817
28.497	0.8	2470899
30.196	0.8	2470981
31.901	0.8	2471063
33.607	0.8	2471145
33.607	0.8	2471227
33.607	0.8	2471309
34.642	0.8	2471391
35.313	0.8	2471473
36.356	0.8	2471554
37.82	0.8	2471637

39.551	0.8	2471718
39.991	0.8	2471800
41.09	0.8	2471882
41.09	0.8	2471964
42.825	0.8	2472046
42.825	0.8	2472128
42.825	0.92	2472210
42.825	0.92	2472292
42.825	0.92	2472374
46.618	0.92	2472456
48.366	0.92	2472538
50.091	0.92	2472620
51.801	0.92	2472702
55.216	0.92	2472783
55.713	0.92	2472865
56.826	0.92	2472947
59.241	0.92	2473029
61.457	0.92	2473111
63.237	0.92	2473193
66.098	0.92	2473275
68.201	0.92	2473357
69.229	0.92	2473439
72.422	0.92	2473521
74.67	0.92	2473602
76.413	0.92	2473685
77.179	0.92	2473766
77.95	0.92	2473848
78.727	0.92	2473930
79.51	0.92	2474012
82.131	0.92	2474098
82.907	0.92	2474180

A) CARACTERIZACION DEL SISTEMA SERVOVALVULA-TRANSDUCTOR

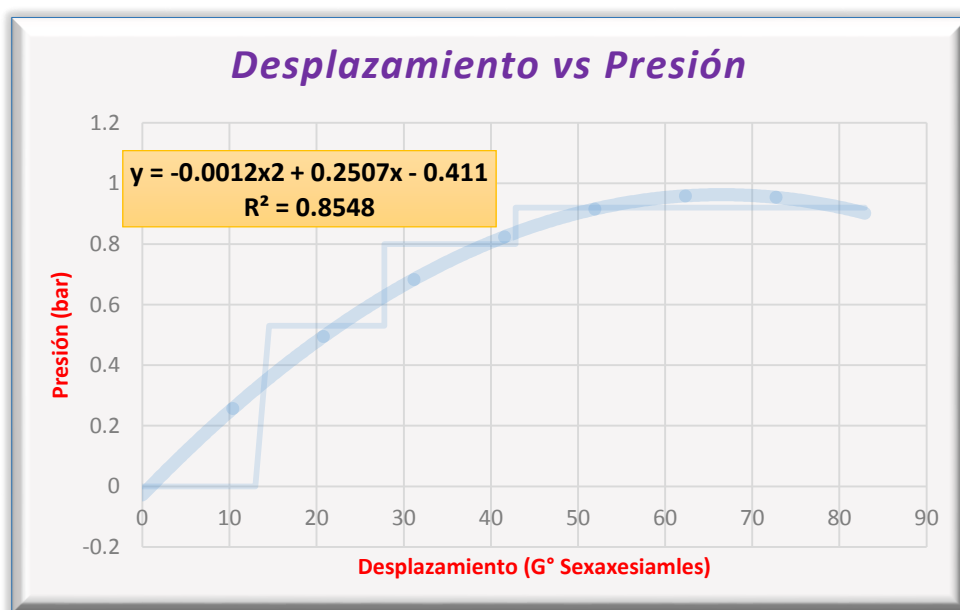
Para poder encontrar la relación de desplazamiento angular de la servo válvula y la presión a la salida de la servo válvula. Se desarrolló una ecuación característica, que se representa en las siguientes gráficas.

Figura N° 3.7: Ecuación Característica P vs D



Elaboración: Propia

Figura N° 3.8: Ecuación Característica D vs Q



Elaboración: Propia

Del análisis de regresión estadística podemos observar que los valores de R^2 son de 0.92 y 0.85 respectivamente, lo cual es aceptable el nivel de correlación con los datos y la ecuación.

3.7.3 ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

En la parte de control del sistema de bombeo se utilizó un controlador lógico programable modular más conocido como PLC, de la marca Allen – Bradley – Micrologix 1200, con sus respectivos módulos de expansión que para nuestro proyecto se utilizó dos módulos de expansión, uno de entradas analógicas 1762-IF4 y la otra de salidas analógicas 1762 – OF4, un variador de velocidad de la marca Schneider – ATV 12, un termo magnético para la protección del circuito de control, una fuente estabilizada de corriente continua 5 V. Para la alimentación de los dispositivos del circuito de control o mando con sus respectivos dispositivos de protección.

A) SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES PID

El control PID, utiliza un sistema de adquisición de datos, que permitió recopilar datos reales de la planta y con ello poder controlar y supervisar mediante un software Scada (labVIEW) en una PC, donde se diseña el controlador PID, y los elementos de supervisión HMI (Interfaz – hombre - máquina), con las herramientas virtuales del propio software.

a) **Software LabVIEW.** Este software nos permite el control, supervisión y adquisición de datos más propiedad de diseñar nuestros propios sistemas (estructura del control PID) mediante modelos matemáticos.

b) **Tarjetas de Adquisición.** Se utilizó el PLC Mega 2560 y Micrologix 1200 ya que puede adquirir y controlar datos, estos dispositivos son uno de los elementos que conforma el control PID. Este PID será un componente del sistema, siendo en este caso

el controlador del sistema está conformado por una PC, el software labVIEW y las tarjetas de adquisición, en donde la PC sirva como un HMI con el sistema, donde fue instalado el software labVIEW, en ella se diseñó la estructura del controlador PID, y las tarjetas de adquisición se encargarán de recibir señales del sistema PC y reenviar datos procesados PC – Sistema.

B) SELECCIÓN DEL ACTUADOR DEL SISTEMA

El actuador está conformado por un Variador de frecuencia y una electrobomba. El variador de frecuencia recibe señales análogas y las convierte en frecuencia esta va a los bornes del motor eléctrico de la electrobomba, donde se acciona de acuerdo a la señal de frecuencia que reciba.

Para esta selección del actuador del sistema se consideró el factor energético en el uso y operación del actuador, para ello se utiliza un variador de frecuencia para controlar la frecuencia y el flujo en la electrobomba, ya que los variadores de frecuencia sacan partido de las leyes de proporcionalidad para lograr la principal ventaja del uso de variadores que es el ahorro de electricidad, un variador de frecuencia es el sistema de control de energía óptima para controlar sistemas de bombeo.

C) DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PID EN EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Para el diseño de la estructura PID en el software de simulación se utilizó el software labVIEW, donde se da a conocer la herramienta de programación, se aboca principalmente a diseñar la estructura PID, y simular su funcionamiento con un prototipo de pruebas.

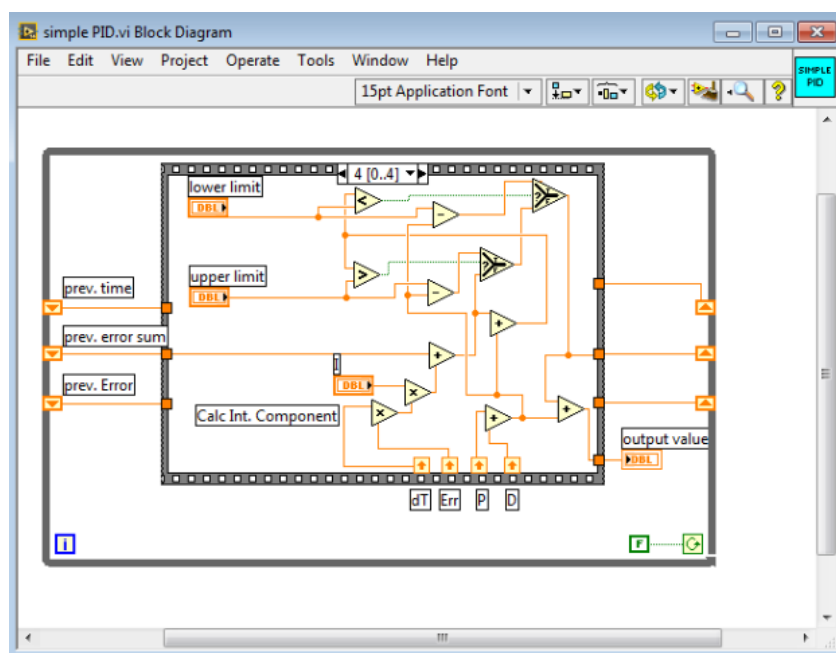
D) DISEÑO DEL DIAGRAMA DE BLOQUE DE LA ESTRUCTURA PID

1. VARIADOR DE FRECUENCIA-ELECTROBOMBA HIDRONEUMÁTICA

Para el diseño de la estructura PID en el diagrama de bloque, se diseña un toolkit personalizado, es decir se creará una estructura adecuada para el caso, donde la función de las estructuras será interconectar un conjunto de terminales, nodos y líneas de unión que se localizan en su interior.

Para diseñar la estructura PID, primero se hizo la identificación de los parámetros de entrada y de salida experimentalmente, de acuerdo a estos resultados se diseñó el controlador PID virtual, utilizando herramientas matemáticas virtuales, cabe indicar que la estructura fue ejecutado el subdiagrama CASE STRUCTURE, y los parámetros de señal de entrada y salida fueron conectados la estructura principal WHILE LOOP. La estructura del PID, se complementa con herramientas de adquisición y control que serán los periféricos de la estructura PID, el diagrama de bloque con sus periféricos para el diseño de un HMI queda de la siguiente forma:

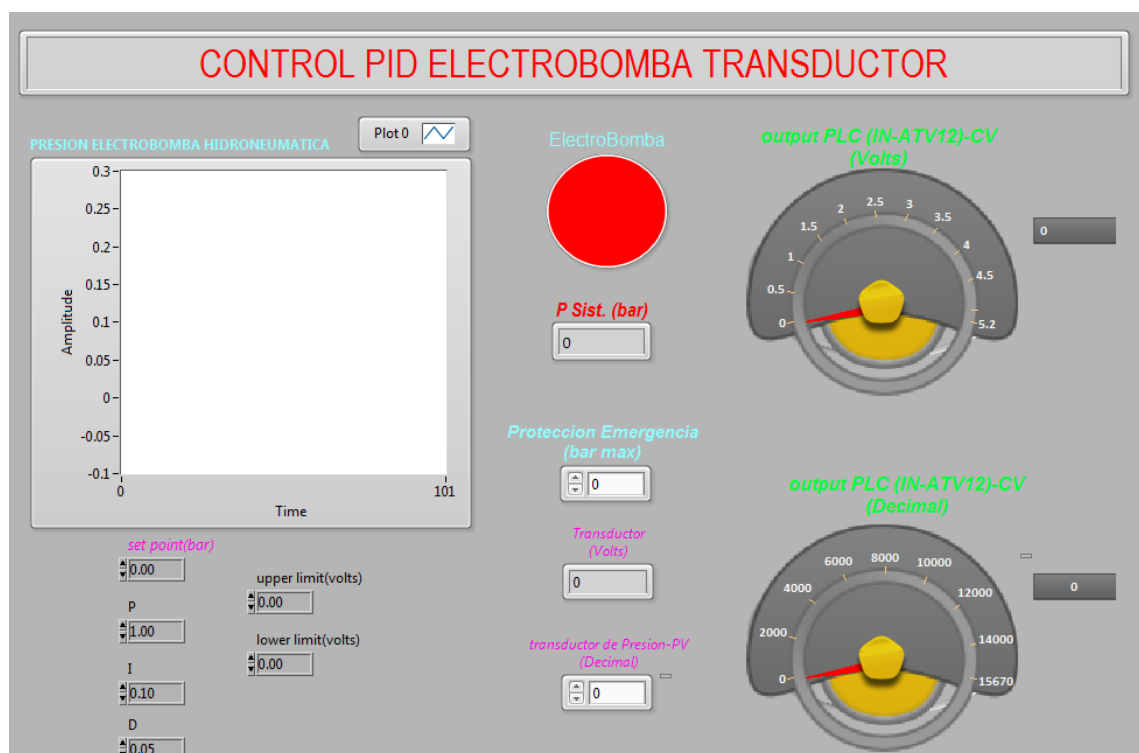
Figura N° 3.9: Simple PID



Fuente: (National Instruments, 2014)

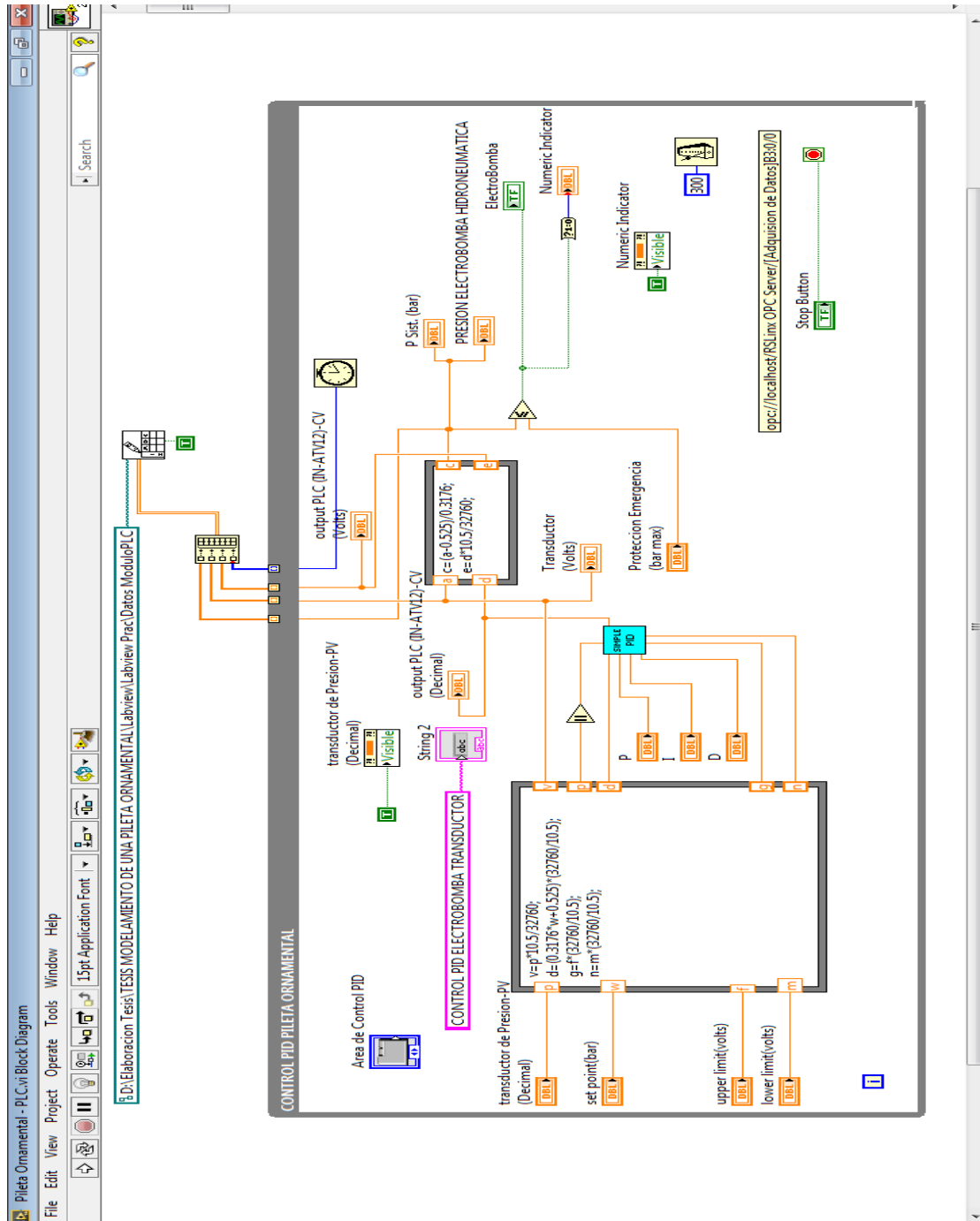
El software labVIEW permite crear herramientas, o pantallas graficas gracias a los DCS, y a los Tolkits, en esta ocasión se presenta el diseño del HMI, para controlar y supervisar nuestro proyecto. Una vez diseñado la estructura de control del HMI y programación del proceso del sistema de bombeo lo resumiremos como una herramienta SCADA, siendo su nueva forma la siguiente:

Figura N° 3.10: Panel de control HMI



Fuente: (National Instruments, 2014)/Los autores

Figura N° 3.11: Programación Graft Set



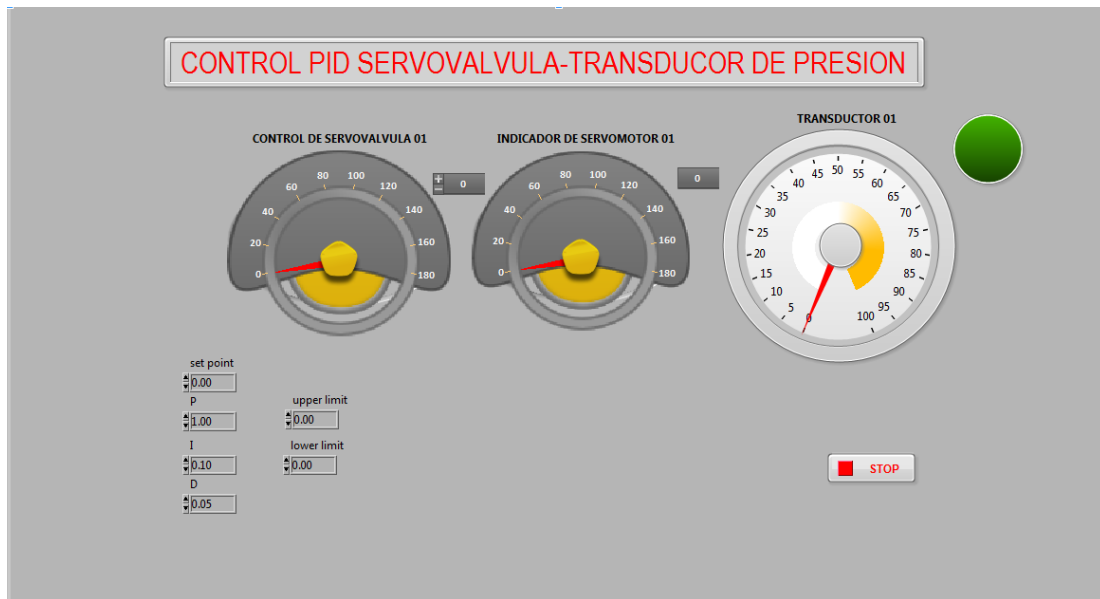
Fuente: (National Instruments, 2014) Propia

2. SERVOVALVULA-TRANSDUCTOR DE PRESION

A) SERVOVALVULA

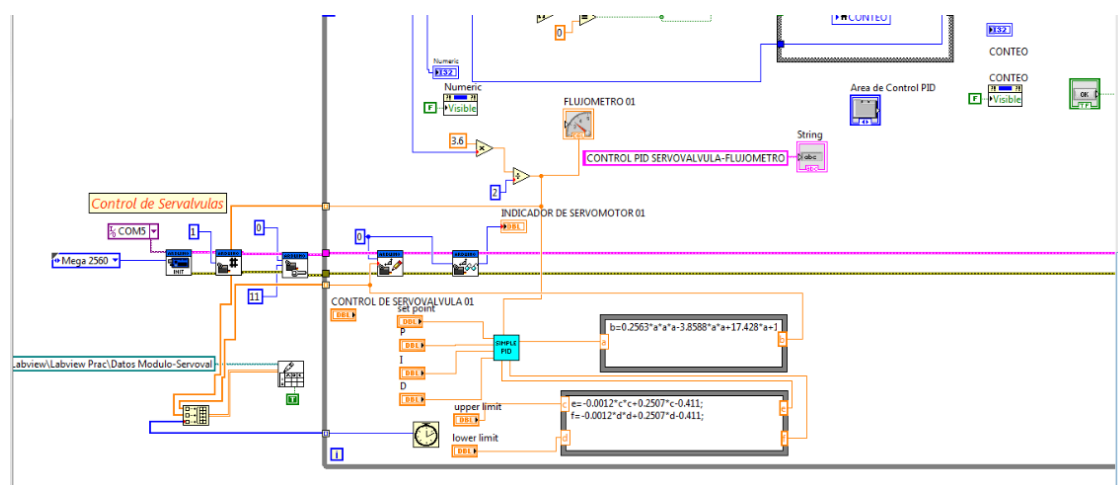
Para el control de la servo válvula, se diseñó el panel de control y diagrama de bloques aplicando controladores PID para su regulación.

Figura N° 3.12: Panel HMI Servo válvula



Fuente: (National Instruments, 2014) Propia

Figura N° 3.13: Diagrama de Bloques Servo válvula



Fuente: (National Instruments, 2014)/Los autores

B) TRANSDUCTOR DE PRESION

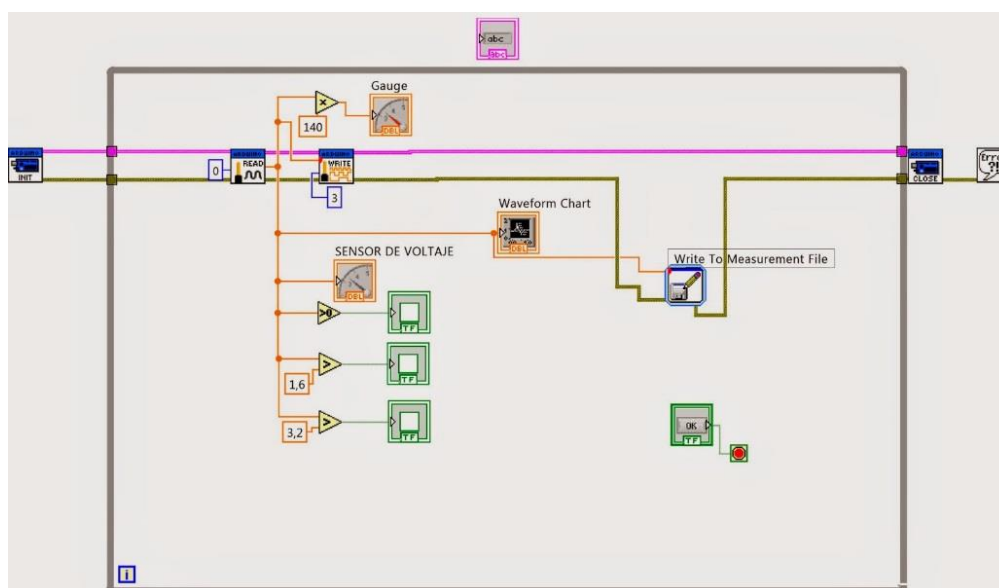
En la plataforma del labVIEW programaremos la lectura del transductor de presión.

Figura N° 3.14: HMI Medidor de Presión



Fuente: (Peña Gil, 2014)

Figura N° 3.15: Diagrama de Bloques Medidor de Presión



Fuente: (Peña Gil, 2014)

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO PARA EL ARRANQUE Y VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO DE 1 HP, APLICANDO CONTROLADORES PID.

Un controlador PID (Controlador Proporcional, Integral y Derivativo) es un mecanismo de control simultaneo por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial. Este calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado.

El algoritmo del control PID consiste de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional depende del error actual. El Integral depende de los errores pasados y el Derivativo es una predicción de los errores futuros. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso por medio de un elemento de control como la posición de una válvula de control o la potencia suministrada a un calentador.

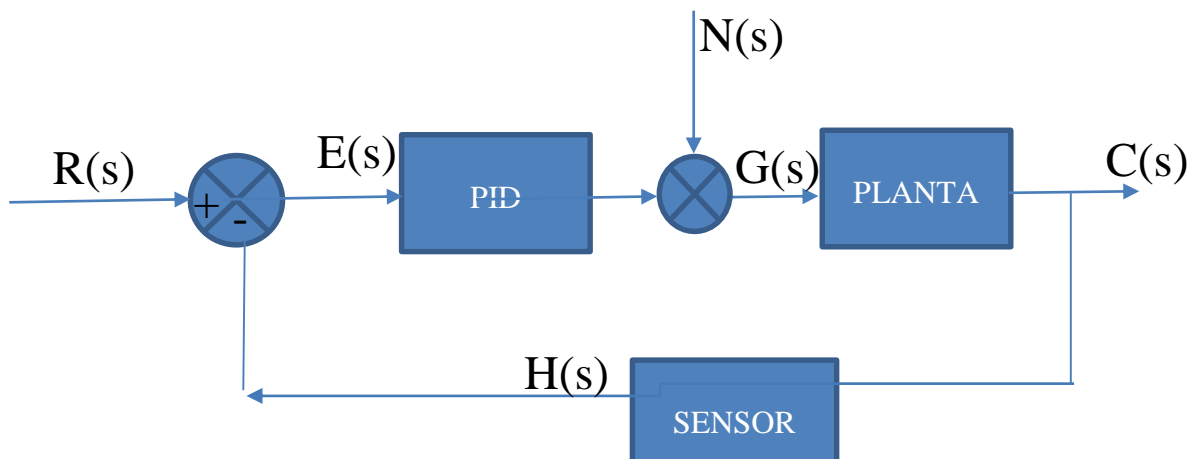
Cuando no se tiene conocimiento del proceso, históricamente se ha considerado que el controlador PID es el controlador más adecuado. Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer una acción de control diseñado para los requerimientos del proceso en específico. La respuesta del controlador puede describirse en términos de la respuesta del control ante un error, el grado el cual el controlador sobrepasa el punto de ajuste, y el grado de oscilación del sistema. Nótese que el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo.

Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente

comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control. El modelamiento del proceso completo, consiste en la caracterización de los subsistemas y la obtención de sus respectivas función de transferencia, para luego obtener la función de transferencia en malla cerrada. En la siguiente figura se aprecia el diagrama esquemático del proceso completo del controlador de presión y el diagrama de bloques del sistema de control donde se incluyen los subsistemas.

Para lograr el modelamiento de la pileta ornamental aplicaremos controladores PID de acuerdo al siguiente diagrama de control.

Figura N° 4.1: Diagrama de Bloques del Sistema a Controlar



Elaboración: Propia

Descripción.

$G(s)$: planta (electrobomba)

$H(s)$: sensor (transductor de presión)

$N(S)$: perturbación, (válvula globo, servo válvulas).

$E(s)$: error.

$R(s)$: señal de referencia.

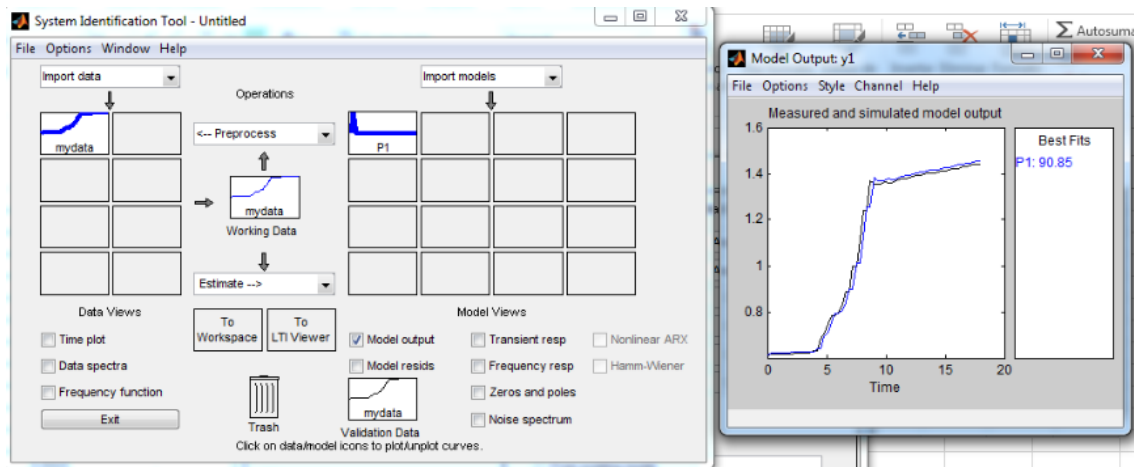
$C(s)$: salida del proceso (variable)

4.1.1 MODELAMIENTO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. FUNCION DE TRANSFERENCIA DEL TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

Se produjo la adquisición de los datos de entrada y salida del transductor por medio del labVIEW, el cual lo exporta a un archivo txt y su proceso en Excel, se muestra los datos extraídos, se introdujeron los datos al matlab con el comando “ident” el cual tiene un entorno para el desarrollo de la función de transferencia, los datos se muestran voltaje (TablaN° 07). Donde la entrada de datos es la presión y salida el voltaje analógico en el terminal del transductor de corriente directa como podemos apreciar a continuación.

Figura N°4.2: Proceso de F.T: Transductor



Fuente: (Mathworks, 2010)/Propia

Se puede apreciar que la curva tiene un grado de aceptación del 90.85, razón por la cual nuestra función de transferencia es de la siguiente:

$$G(s) = \frac{98.98}{s+150.3} \dots\dots\dots (4.1)$$

B. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA ELECTROBOMBA-VARIADOR DE VELOCIDAD

Se realizó el modelamiento matemático de la planta (electrobomba-variador de frecuencia), para lo cual se utilizó el primer método de zeigler nichols, donde se evalúa en lazo abierto, el cual parametriza la función de transferencia de acuerdo a una entrada unitaria y la variable de proceso, obteniendo así la denominada curva de reacción del proceso.

$$G(s) = \frac{Ke^{-LS}}{TS+1} \dots\dots\dots(4.2)$$

Donde:

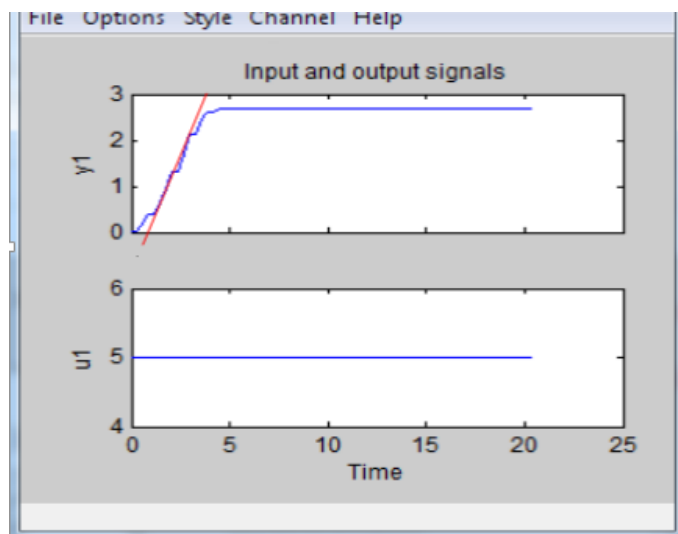
K: ganancia.

L: tiempo de retardo.

T: constante de tiempo.

Luego obtenemos con la ayuda del procesamiento en Matlab obtenemos la función de transferencia, el cual se muestra a continuación.

Figura N°4.3: Proceso de F.T: Transductor



Fuente: (Mathworks, 2010)/Propia

Para obtener la ecuación de transferencia aplicamos el método de determinación de la función de transferencia experimental aplicando la curva de reacción del proceso en respuesta al escalón unitario para sistemas de primer orden con retardo de la siguiente forma.

Función de transferencia de la planta.

$$G_{motor-variador} = \frac{0.78048e^{-1.22S}}{1.271S+1} \dots\dots\dots(4.3)$$

C. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA SERVOVALVULA-TRANSDUCTOR

Para este caso (véase Tabla09), se relacionaron las variables, (Desplazamiento angular vs presión), lo que consistía en variar el desplazamiento y medir el caudal a la salida de la servo válvula “estando funcionando la electrobomba a una presión determinada”, lo que indica que la servo válvula controla el flujo. La caracterización se inicia con 0 grados hasta 82.9 grados, con un flujo de 0 hasta 1 bar Se realizó el modelamiento matemático de la planta (electrobomba-variador de frecuencia). Obtenemos de la misma forma la función de transferencia del proceso servo válvula y transductor, donde se evalúa en lazo abierto, de acuerdo a una entrada unitaria y la variable de proceso es el caudal censado por el transductor, obteniendo así la denominada curva de reacción del proceso.

Función de transferencia de la planta.

$$G_{servoval-Transductor} = \frac{0.3472e^{-20.1S}}{5.963S+1} \dots\dots\dots(4.4)$$

4.2. MODELAMIENTO DE CONTROLADORES PID Y ANALISIS DE RESULTADOS

Para el diseño del controlador PID, se utilizó la regla de sintonía de Zieger Nichols basada en la respuesta a escalón unitario aplicado a la planta, aplicaremos la siguiente tabla.

TIPO DE CONTROL	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Descripción:

L: tiempo de retardo

T: constante de tiempo.

K_p : ganancia proporcional.

T_i : tiempo integral.

T_d : tiempo derivativo.

A) VALORES PID ELECTROBOMBA-VARIADOR

Hallando los valores K , T y L obtenemos.

$$K = 0.5404$$

$$L = 1.52$$

$$T = 1.071$$

Hallando los valores K_p , T_i y T_d obtenemos.

$$K_p = 6.845$$

$$T_i = 13.04$$

$$T_d = 8.76$$

Parámetros PID diseñados para esta planta son las siguientes.

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$$G_c(s) = 0.745 \left(1 + \frac{1}{14.04 s} + 0.64 s \right)$$

B) VALORES PID SERVOVALVULA-TRANSDUCTOR

Hallando los valores K , T y L obtenemos.

$$K = 0.3422L = 20.1 T = 5.963$$

Hallando los valores Kp , Ti y Td obtenemos.

$$Kp = 6.845$$

$$Ti = 13.04$$

$$Td = 8.76$$

Parámetros PID diseñados para esta planta son las siguientes.

$$G_c(s) = Kp \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_d s \right)$$

$$G_c(s) = 0.356 \left(1 + \frac{1}{40.2 S} + 10.05 S \right)$$

Para la presentación y análisis de resultados se hizo mediciones en el banco de pruebas construido para el laboratorio de control y automatización de la EPIME., los puntos en donde se hicieron las mediciones se indican en la figura.

Las condiciones de medición fueron las siguientes:

- ✓ Medición de presión necesaria para la formación de la figura programada.
- ✓ Posicionamiento angular de la servo válvula.
- ✓ Control de Presión requerida por el sistema.

A continuación se muestra las figuras de agua formadas con el control de la electrobomba y servo válvula.

CAPITULO V

CONCLUSIONES DEL DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE PID PARA EL ARRANQUE Y VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO DE 1 HP

Primera- Se obtuvo resultados óptimos y claros que nos ayudaran a tener parámetros exactos, para distintos problemas de la industrial y mejorar la vida útil del motor y tener un mejor trabajo de dicho motor.

Segundo- Realizado las simulaciones respectivas, efectivamente observamos que Existe reducción de consumo de energía eléctrica, cumpliéndose el objetivo de esta tesis, Además:

Tercero- Se reduce considerablemente en un 28% a 33% en el pago de la planilla a la Empresa eléctrica.

Cuarto- Reducción de gastos en accesorios móviles adjuntos, por ejemplo, bandas, Rodamientos, lubricantes, otros.

Quinto- Mejor control operativo, mejorando la rentabilidad y la productividad de los Procesos.

Sexto- Maximiza la calidad de terminado de sus productos.

Séptimo- Ahorro en mantenimiento (el motor trabaja siempre en las condiciones Óptimas de funcionamiento).

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

Primera: Para nuestro proyecto se recomienda utilizar la “Investigación Aplicada”, debido que a partir de los resultados obtenidos en las pruebas experimentales serán definidos los parámetros óptimos de arranque y funcionamiento del motor eléctrico trifásico.

Segunda: Leer la guía de explotación del variador y/o sistemas de control antes de poner en tensión al variador y/o sistemas de control, para evitar configuraciones erróneas en la programación.

Tercera: Tomar en cuenta la configuración del menú de control del variador de cada motor, para verificar si los datos ingresados concuerdan con los datos de placa del motor.

Cuarta: El variador y sistema de control se debe mantener en una zona que cuente con una ventilación apropiada de tal manera que los SCRs no se sobrecaliente debido a la potencia que disipan.

Quinta: Utilizar las herramientas adecuadas (herramientas con aislante eléctrico), y tener cuidado de no tocar las placas impresas ya que se puede ocasionar daños en el módulo.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- Arduino. (26 de Noviembre de 2015). *farnell*. Obtenido de <http://www.farnell.com/datasheets/810077.pdf>
- Arduino IDE 1.0.5. (26 de Noviembre de 2015). *Software Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/OldSoftwareReleases>
- Balcázar A., N. (30 de Junio de 2009). *SlideShare*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/nestorbalcazar/flujo-en-tuberas>
- Barcelona Tourist . (16 de Octubre de 2005). *Tourist Guide Barcelona*. Obtenido de <http://www.barcelona-tourist-guide.com/es/albums-es/magic-fountains-montjuic/index.html>
- Basulto Casas, A. (08 de Enero de 2013). *EcuRed*. Obtenido de http://www.ecured.cu/Parque_de_las_aguas
- Blog de Grupo Europa Viajes. (13 de Enero de 2013). *Sala Vip de Grupo Europa*. Obtenido de <http://blog.grupoeuropa.com/index.php/los-10-mejores-hoteles-de-las-vegas>
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica De Fluidos* (Primera ed.). (P. E. Roig Vázquez, Ed., & V. Campos Olgún, Trad.) Santa Fé, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- control-accesos. (23 de Abril de 2008). *Blog de control de accesos*. Obtenido de <http://control-accesos.es/scada/%C2%BFque-es-un-sistema-scada>

- Electónica y Automatización Pictronics. (Mayo de 2010). *Pictronics*. Obtenido de <http://www.pictronics.com.br/artigos-tecnicos/43-eletronica-e-automacao/89-como-funciona-um-servo-motor.html>
- empresa Plana. (Abril de 1990). *Bus Plana*. Obtenido de <http://www.busplana.com/new2013/excursiones-ficha.php?id=36>
- Empresa Tour Latino Travel. (08 de Noviembre de 2015). *Latino Travel*. Obtenido de <http://latinotravel.com.pe/paseo-por-el-parque-de-las-aguas/>
- Enciclopedia libre Wikipedia. (4 de Noviembre de 2015). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Malec%C3%B3n_del_Salado
- Enciclopedia libre Wikipedia. (23 de Noviembre de 2015). *Wikipedia*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Bellagio_\(hotel_y_casino\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Bellagio_(hotel_y_casino))
- Facultad de Ingeniería Química. (2011). *Dinámica de Fluidos*. Callao: Universidad Nacional del Callao.
- Fernández Figueroa, F. J. (2012). *GUÍA GENERAL PARA EL CÁLCULO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS HIDRONEUMÁTICAS*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- FUTABA S3003. (06 de Diciembre de 2015). *El Servomotor*. Obtenido de <http://www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>
- Geronimo80. (21 de Enero de 2015). *Tripadvisor*. Obtenido de https://www.tripadvisor.es/LocationPhotoDirectLink-g295424-d1936354-i121370063-Dubai_Fountains-Dubai_Emirate_of_Dubai.html

- Guías meteorológica Masmar. (19 de Octubre de 2013). *Guías Masmar*. Obtenido de <http://guias.masmar.net/Apuntes-N%C3%A1uticos/Meteorolog%C3%ADa/La-presi%C3%B3n-atmosf%C9rica2>
- Katsuhiko, O. (2010). *Ingeniería de Control Moderna* (Quinta ed.). (M. Matín Romo, Ed., S. Dormido Canto, & R. Dormido Canto, Trads.) Madrid, España: PEARSON EDUCATION S.A.
- Keyce, J. (30 de Diciembre de 2014). *D24am*. Obtenido de <http://blogs.d24am.com/somosconscientes/2014/12/30/alternativas-para-substituir-os-impactos-ambientais-nas-queimas-de-fogos-de-artificios/>
- Kuo, B. C. (1996). *Sistemas de Control Automático* (Séptima ed.). (G. Aranda Pérez, Trad.) Juárez, México: PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA S.A.
- Martínez, F. (03 de Ferero de 2015). *OpenWebinars*. Obtenido de <https://openwebinars.net/tutorial-arduino-ide-arduino/>
- Mathworks. (16 de Marzo de 2010). *The Language of Technical Computing*. Obtenido de <http://www.mathworks.com/products/matlab/?requestedDomain=www.mathworks.com>
- Méndez Enriquez, E. (21 de Mayo de 2014). *Sabores de Mexico y el Mundo*. Obtenido de <http://lossaboresdemexico.com/hotel-bellagio-el-fin-y-el-inicio-de-una-era-en-las-vegas/>
- Micrologix-1762-IF04. (12 de Abril de 2005). *rockwellautomation*. Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in012_-es-p.pdf

Micrologix-1762-OF4. (12 de 2005). *rockwellautomation*. Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in016_-en-p.pdf

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos* (Sexta ed.). (J. Enríquez Brito, Trad.) Juárez, México: PRENTICE-HALL INC.

National Instruments. (Enero de 2014). *Labview*. Obtenido de <http://www.ni.com/labview/esa/>

organización Hotel en Lima. (Enero de 2012). *Hotel en Lima*. Obtenido de <http://www.hotelenlima.org/circuito-magico-del-agua-en-lima/#comments-read>

Peña Gil, J. C. (26 de Abril de 2014). *blogspot*. Obtenido de <http://juankpena.blogspot.pe/>

Pérez, L. E. (26 de Noviembre de 2014). *SCADA systems in the industrial automation*. Obtenido de https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&sqi=2&ved=0ahUKEwjJ6qra6L_KAhVH6SYKHe6NDtsQFgggMAE&url=http%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F5280242.pdf&usg=AFQjCNFMrYH9JQy2LGNN57sjFjKbvaf7zA&sig2=yuMD

Ramirez, Y. (14 de Diciembre de 2010). *Servomotores*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores2.shtml>

Ramirez, Y., Lema, M., & Idroyo, M. (12 de Abril de 2010). *Monografias*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores.shtml>

- Retto, J. (1 de Julio de 2011). *Picture's Guayaquil*. Obtenido de <https://jenniferretto.wordpress.com/picture%C2%B4s-guayaquil/>
- Rockwell Automation. (2002). *Manual de Programacion Micrologox 1200*. EE.UU.: SGI-1.1 de Allen-Bradley,.
- rockwell Automation. (Agosto de 2009). *InfoPlc*. Obtenido de http://www.infopl.net/files/descargas/rockwell/infoPLC_net_cap8_RSLogix_IntroduccionRSLOGIX.pdf
- Rockwell Automation. (Octubre de 2015). *RSLinx® Classic Getting Results Guide. LINX-GR0010-EN-E*. Canada: 5 Rockwell Automation, Inc. All rights reserved.
- Rodriguez Anile, E. (20 de junio de 2010). *Pinterest*. Obtenido de <https://www.pinterest.com/pin/123075002288479822/>
- Rodruiguez, C. (14 de Setiembre de 2014). *SlideShare*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/CarlaRodriguez1/instalacin-bomba-hidroneumatica>
- Romero, C. (15 de Marzo de 2005). *Unet*. Obtenido de http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-47.htm
- Ruiz Gutiérrez, J. M. (Agosto de 2007). *ArduinoBot*. Obtenido de <http://arduinobot.pbworks.com/f/Manual+Programacion+Arduino.pdf>
- Schneider. (14 de Agosto de 2009). *schneider-electric*. Obtenido de <http://www.schneider-electric.com.ar/documents/local/manual-de-usuario-atv12.pdf>

streeter, V. L., Wylie, E. B., & Bedford, K. W. (2000). *Mecanica de fluidos* (Novena ed.).

(J. G. Saldarriaga V., Trad.) Santa fé, Bogotá, Colombia: Emma Ariza H.

Tours de Dubai. (15 de Enero de 2014). *See Dubai Tours*. Obtenido de

<http://seedubaitours.com/dubai-fountain/>

Tower Pro. (12 de Octubre de 2015). *Electronicos caldas*. Obtenido de

<http://www.servodatabase.com/servo/towerpro/mg996r>

Turismo Destino Infinito. (16 de Junio de 2015). *Destino Infinito*. Obtenido de

<http://destinoinfinito.com/fuente-de-dubai/>

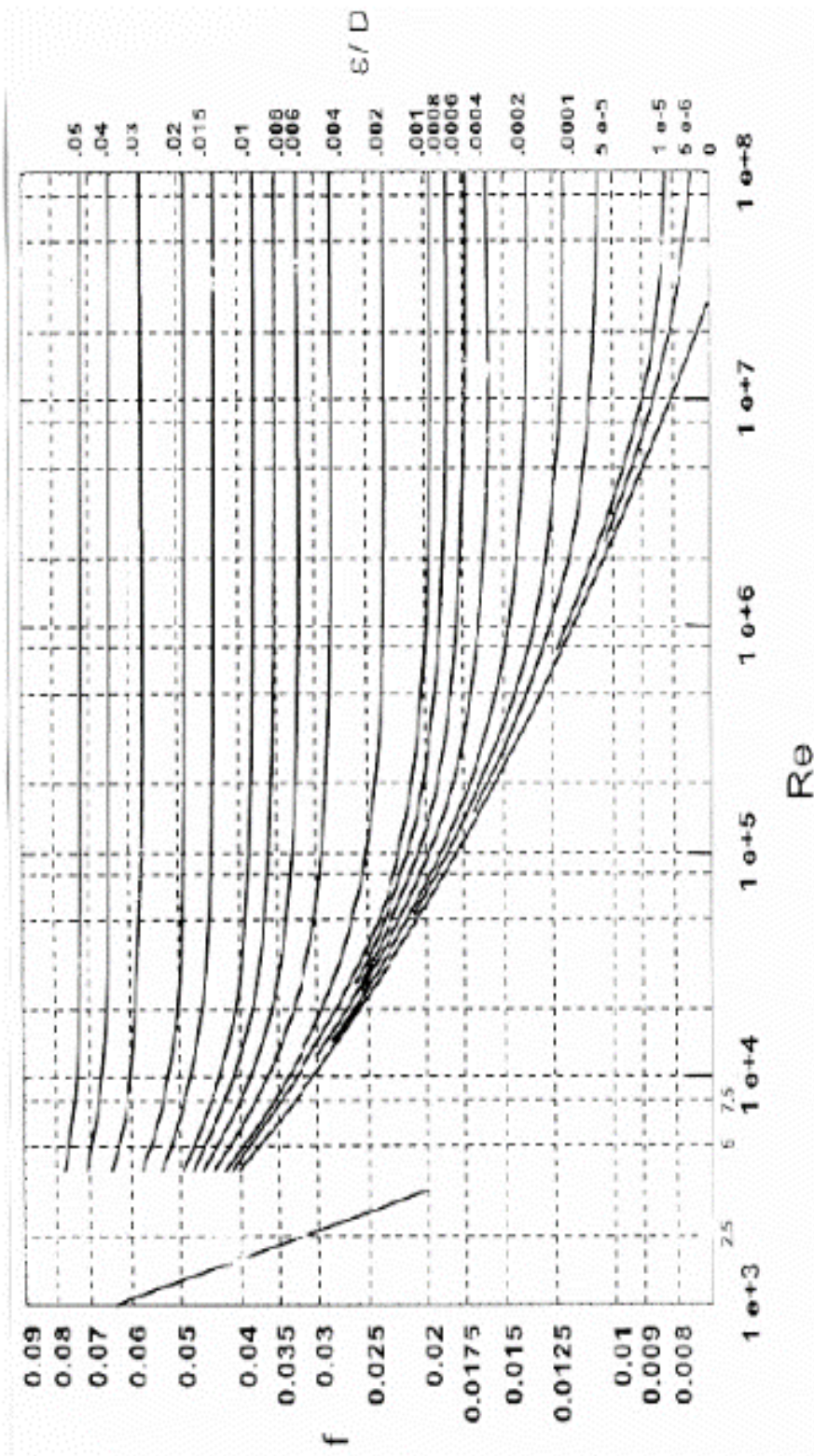
Ubdeb, F. (10 de Abril de 2015). *Un buen día en Barcelo*. Obtenido de

<http://unbuendiaenbarcelona.com/fuente-magica-de-monjuic/>

Villajulca, J. C. (02 de Diciembre de 2009). *Instrumentacion y control net*. Obtenido de

http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/automatizacion/cursos-sistemas-scada/item/146-que-es-scada.html?_html=

ANEXOS
ANEXO N° 01
DIAGRAMA DE MOODY



ANEXO N° 02

COEFICIENTES K PARA DIFERENTES ACCESORIOS

N° de diámetros (L/D) y coeficientes K para diferentes accesorios

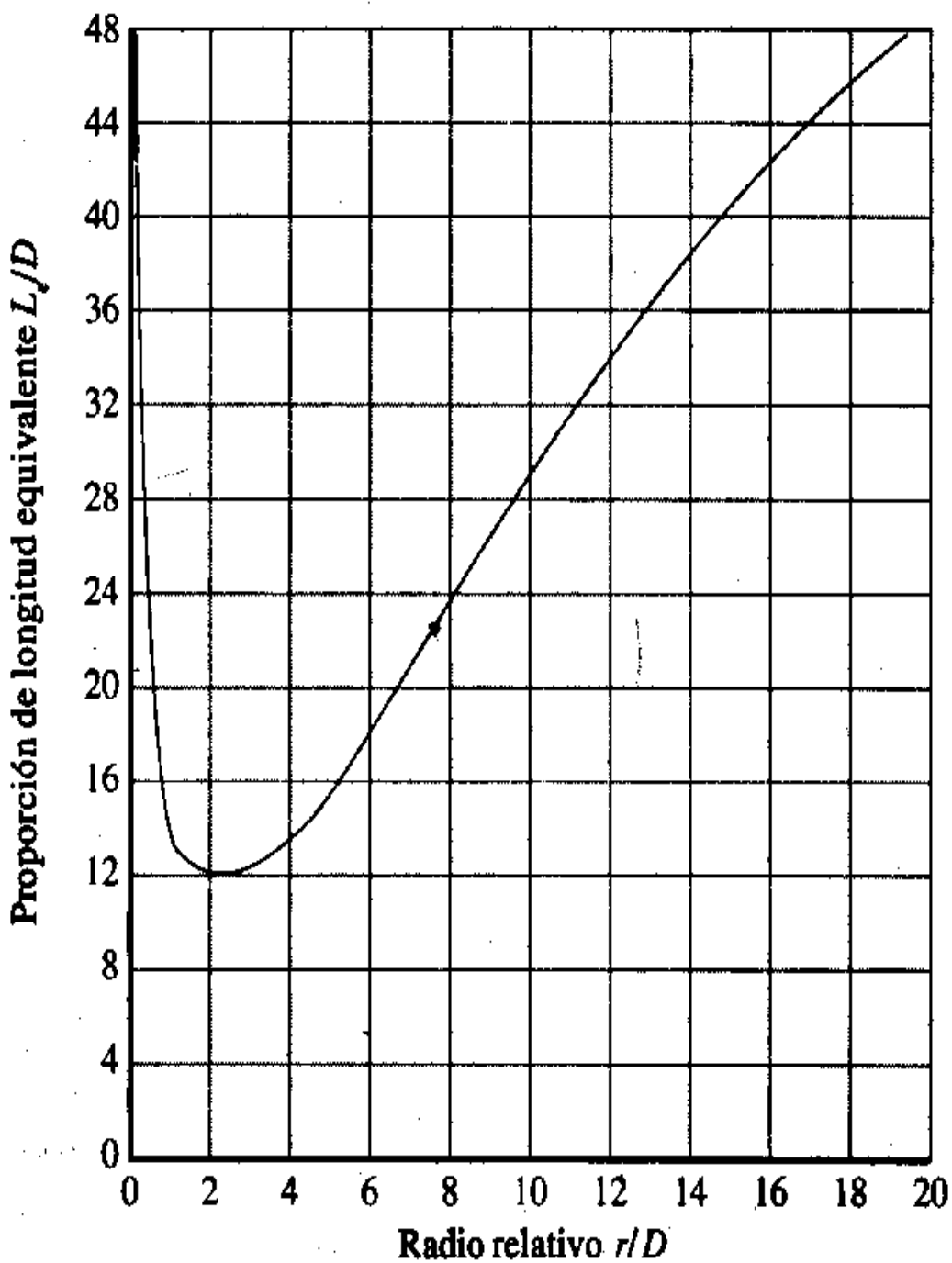
Accesorios	Diámetro nominal (en pulgadas)											
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24
	Valores de K											
L/D												
Válv.de compuerta(abierta)	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1
Válv.de globo(abierta)	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1
Válv.de retención horizontal(check)	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2
Válv.de retención horizontal oscilatoria(check)	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75	0.7	0.65	0.6
Válv.de pie de disco(de huso)con colador	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0
Válv.de pie de disco con bisagra	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9
90°	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
45°	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
90° radio largo	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
180°	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85	0.75	0.7	0.65	0.6
Curvas de 90°	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24
T en línea (con circulación por derivación)	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9	0.84	0.78	0.72

Adaptación de: Cameron Hydraulic data

Longitud equivalente = L/D x D

ANEXO N° 03

COEDICIENTE DE CURVATURA



ANEXO N° 04

Diagrama unifilar del prototipo PID

