



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“ANÁLISIS DE TIEMPO DE RESPUESTA DEL VÁSTAGO DE CILINDRO
HIDRÁULICO APLICANDO EL MÉTODO SECUENCIAL CASCADA Y EL
DIAGRAMA TIEMPO MOVIMIENTO”**

**Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero
Electromecánico**

Autor:

Camacho García Brayan Enrique

Tutor:

Ing. MsC. Moreano Martínez Edwin Homero

Latacunga – Ecuador

Marzo 2022



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Camacho García Brayan Enrique declaro ser autor de la presente propuesta tecnológica: **“ANÁLISIS DE TIEMPO DE RESPUESTA DEL VÁSTAGO DE CILINDRO HIDRÁULICO APLICANDO EL MÉTODO SECUENCIAL CASCADA Y EL DIAGRAMA TIEMPO MOVIMIENTO”**, siendo el Ing. MsC. Moreano Martínez Edwin Homero tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, marzo 2022

.....
Camacho García Brayan Enrique

CC: 185026685-7



AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“ANÁLISIS DE TIEMPO DE RESPUESTA DEL VÁSTAGO DE CILINDRO HIDRÁULICO APLICANDO EL MÉTODO SECUENCIAL CASCADA Y EL DIAGRAMA TIEMPO MOVIMIENTO”, de Camacho García Brayan Enrique, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo 2022

.....
Ing. MsC. Moreano Martínez Edwin Homero

CC: 050260750-0



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: Camacho García Brayan Enrique con el título de Proyecto de titulación: “**ANÁLISIS DE TIEMPO DE RESPUESTA DEL VÁSTAGO DE CILINDRO HIDRÁULICO APLICANDO EL MÉTODO SECUENCIAL CASCADA Y EL DIAGRAMA TIEMPO MOVIMIENTO**” ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, marzo 2022

Para constancia firman:

.....
Lector1 (Presidente)
Ing. MsC. Freire Martínez Luigi Orlando
CC: 050252958-9

.....
Lector 2
Ing. MsC. Corrales Bastidas Byron Paúl
CC: 050234776-8

.....
Lector 3
Ing. MsC. Albarracín Álvarez Mauro Darío
CC: 050311373-0



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi certifico que mediante el proyecto de propuesta tecnológica: “**ANÁLISIS DE TIEMPO DE RESPUESTA DEL VÁSTAGO DE CILINDRO HIDRÁULICO APLICANDO EL MÉTODO SECUENCIAL CASCADA Y EL DIAGRAMA TIEMPO MOVIMIENTO**”, del estudiante: **CAMACHO GARCÍA BRAYAN ENRIQUE** realiza la entrega de instrumentos y equipos hidráulicos y electrohidráulicos, para el Laboratorio de Investigación de Control Hidroneumático de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

De acuerdo a lo anterior se hace constar que el proyecto de propuesta tecnológica se encuentra es las condiciones adecuadas.

Latacunga, marzo 2022

.....
Director de la Carrera
Ing. MsC. Gallardo Molina Cristian Fabián
CC: 050284769-2



AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a mis padres por apoyarme en todo momento, por aconsejarme con infinita sabiduría, por brindarme su confianza incondicional principalmente en el transcurso de mi formación académica.

También agradezco a la distinguida Universidad Técnica de Cotopaxi, a mis docentes, a mi tutor de tesis, por brindarme la oportunidad de compartir conocimientos necesarios para realizar esta propuesta tecnológica.

Adicionalmente, agradezco a todas las personas que me apoyaron en esta etapa de mi vida.

Brayan Camacho



DEDICATORIA

Dedico con mucho amor y cariño el presente proyecto de titulación a mis padres:

Yolanda y Enrique

Por apoyarme incondicionalmente en todo momento, por inculcarme valores para cumplir mis objetivos planteados, por permitirme culminar mis estudios y brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente, por demostrarme que aunque las circunstancias sean desfavorables siempre se podrá salir adelante.

Brayan Camacho

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xx
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN:.....	2
2.1. EL PROBLEMA:.....	3
2.1.1. Situación problemática:.....	3
2.1.2. Formulación del problema:	3
2.1.3. Matriz causa-efecto	3
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN:.....	4
2.2.1. Objeto de estudio.....	4
2.2.2. Campo de acción	4
2.3. BENEFICIARIOS:	4
2.3.1. Beneficiarios directos	4
2.3.2. Beneficiarios indirectos.....	4

2.4. JUSTIFICACIÓN:	4
2.5. HIPÓTESIS:	4
2.6. OBJETIVOS:	5
2.6.1. General:	5
2.6.2. Específicos:	5
2.7. SISTEMA DE TAREAS:	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:	7
3.1. ANTECEDENTES	7
3.2. HIDRÁULICA	8
3.2.1. Características de la hidráulica	8
3.2.2. Transmisión de potencia hidráulica	8
3.2.3. Fluidos hidráulicos	8
3.2.3.1. Transmisión de potencia del fluido hidráulico	9
3.2.3.2. Lubricación de piezas móviles	9
3.2.3.4. Adictivos	10
3.3. SISTEMA HIDRÁULICO	10
3.3.1. Elementos de un sistema hidráulico	11
3.3.2. Motor oleohidráulico	11
3.3.3. Bomba oleohidráulica	13
3.3.4. Grupo hidráulico	14
3.3.4.1. Volumen desplazado o de expulsión	14
3.3.4.2. Revoluciones	15
3.3.4.3. Eficiencia volumétrica (η_V)	15
3.3.4.4. Eficiencia hidráulica – mecánica (η_{hm})	15
3.3.4.5. Eficiencia total	15
3.3.5. Tubería	15
3.3.6. Pérdidas de carga	16

3.3.7. Depósito o tanque hidráulico.....	17
3.3.7.1. Función de los depósitos.....	18
3.3.8. Elementos de mando electrohidráulico	19
3.3.9. Criterios de selección de válvulas	19
3.3.9.1. Válvula limitadora de presión.....	20
3.3.9.2. Válvulas de control direccional	20
3.3.9.3. Válvula de bloqueo.....	21
3.3.9.4. Válvula de cierre.....	21
3.3.10. Actuadores hidráulicos	21
3.3.10.1. Fuerzas del cilindro hidráulico	22
3.3.10.2. Clasificación por su forma constructiva	23
3.4. SISTEMA ELÉCTRICO	23
3.4.1. Componentes de un automatismo	23
3.4.2. Elementos de mando	24
3.4.2.1. Pulsador	24
3.4.3. Sensores.....	24
3.4.3.1. Detectores inductivos	25
3.4.3.2. Elementos sensores de posición	26
3.4.4. Elementos para procesamiento de información	27
3.4.5. Dispositivos de interfaz.....	27
3.4.5.1. Electroválvula biestable.....	27
3.4.5.2. Cilindros hidráulicos.....	28
3.4.6. Elementos auxiliares	28
3.4.6.1. Manómetro o medidor de presión.....	28
3.4.6.2. Distribuidores de aceite	28
3.4.7. Contactor	29
3.4.8. Relé.....	29

3.5. PROTECCIONES	30
3.6. ESQUEMAS HIDRÁULICOS	30
3.6.1. Accionamientos de control.....	30
3.7. TIPOS DE CONTROL	31
3.7.1. Control directo.....	32
3.7.2. Control indirecto	32
3.8. Mando de un cilindro de simple efecto.....	32
3.9. Mando de un cilindro de doble efecto.....	33
3.10. INSTALACIONES	34
3.11. MÉTODOS ELECTROHIDRÁULICOS	34
3.11.1. Método secuencial.....	34
3.11.2. Método cascada.....	35
3.11.2.1. Diseño de circuitos	35
3.11.2.2. Metodología de elección de grupos	36
3.11.2.3. Conexión de grupos en cascada.....	38
3.11.3. Diagrama tiempo-movimiento	38
3.11.3.1. Diagramas espacio-tiempo	38
3.11.3.2. Diagrama espacio-fase.....	39
3.12. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN PARA PLC	40
3.12.1. Diagrama de contactos	41
3.13. SOFTWARE LOGO! SOFT COMFORT	42
3.14. SOFTWARE CADE_SIMU V4.0	43
3.15. PLC S7 1200	43
4. MATERIALES Y MÉTODOS:.....	44
4.1. DECLARACIÓN DE VARIABLES	44
4.1.1. Variable independiente.....	44
4.1.2. Variable dependiente.....	44

4.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	44
4.2.1. Método bibliográfico.....	45
4.2.2. Método descriptivo.....	45
4.3. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	45
4.3.1. Observación.....	46
4.3.2. Simulación.....	46
4.4. PROCEDIMIENTO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS	46
4.4.1. Esquema de conexiones	46
4.4.2. Diagrama de conexiones	47
4.4.3. Programación de los métodos de control electrohidráulicos.....	47
4.4.3.1. Método Secuencial	48
4.4.3.2. Método Cascada	49
4.5.3.3. Método Diagrama Tiempo-Movimiento	52
4.4.4 Distribución F de SNEDECOR.....	55
4.4.5. Distribución T de Student	55
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS:	56
5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	56
5.1.2. Valores promedios de cada método de control	57
5.1.3. Valores de la desviación estándar de cada método de control	57
5.1.3.1 Método Secuencial	58
5.1.3.2. Método Cascada	58
5.1.3.3. Diagrama Tiempo – Movimiento	59
5.2. VALIDACIÓN DE RESULTADOS MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN F- SNEDECOR Y T-STUDENT.....	59
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS	64
6.1. PRESUPUESTO	64
6.1.2. Equipos para uso directo del proyecto	64

6.1.3. Costos indirectos y profesionales	64
6.1.4. Costo total	65
6.2. ANÁLISIS DE IMPACTOS	65
6.2.1. Impacto práctico	65
6.2.2. Impacto tecnológico	65
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:	66
7.1. CONCLUSIONES	66
7.2. RECOMENDACIONES	66
8. BIBLIOGRAFÍA	67
9. ANEXOS:	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Sistema de tareas por objetivo	5
Tabla 3.1 Hidráulica ventajas y desventajas.....	8
Tabla 3.2 Velocidad fluidos hidráulicos en los circuitos.....	9
Tabla 3.3 Equivalencia entre unidades	11
Tabla 3.4 Valores típicos de las características principales de los motores hidráulicos	13
Tabla 3.5 Representación de actuadores.....	13
Tabla 3.6 Tipos de bombas.....	14
Tabla 3.7 Montaje incorrecto y correcto de las mangueras	16
Tabla 3.8 Accesorios más comunes de los empleados en las canalizaciones.....	17
Tabla 3.9 Componentes electromecánicos de mando.....	24
Tabla 3.10 Tipos de pulsadores	24
Tabla 3.11 Estructura general de un transductor basado en un fenómeno eléctrico o magnético	25
Tabla 3.12 Órdenes de mando de la secuencia de inversión exacta A+B+A-B-.....	40
Tabla 3.13 Lenguajes de uso común	41
Tabla 4.1 Variable independiente	44
Tabla 4.2 Variable dependiente	44
Tabla 4.3 Conexión del diagrama de contactos mediante el método secuencial.....	48
Tabla 4.4 Representación simplificada de la secuencia A+B+A-B- mediante el método cascada electrohidráulica.....	51
Tabla 4.5 Parámetros de conexión del diagrama de contactos mediante el método cascada electrohidráulica	51
Tabla 4.6 Parámetros de conexión del diagrama de contactos mediante el método diagrama tiempo movimiento.....	53
Tabla 5.1 Representación descriptiva simplificada	56
Tabla 5.2 Muestra tomadas en cada uno de los métodos de control	57
Tabla 5.3 Valores promedios de los métodos de control electrohidráulicos	57
Tabla 5.4 Valores de la desviación estándar de cada método de control	57
Tabla 6.1 Materiales y suministros	64
Tabla 6.2 Costos de equipos para uso directo del proyecto.....	64
Tabla 6.3 Costes indirectos y profesionales	64
Tabla 6.4 Costo total.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Circuito hidráulico básico	10
Figura 3.2 Esquema de un tanque hidráulico	18
Figura 3.3 Mando de los sistemas electrohidráulicos.....	19
Figura 3.4 Clasificación de las válvulas existentes	20
Figura 3.5 Simbología de la válvula limitadora de presión.....	20
Figura 3.6 Vistas de diferentes posiciones de la corredera en una VCD 4/3 de centros cerrados	21
Figura 3.7 Cilindro hidráulico	22
Figura 3.8 Simbología de un cilindro hidráulico (a), motor hidráulico (b) respectivamente ..	22
Figura 3.10 Componentes de un automatismo	23
Figura 3.11 Sensor inductivo de forma A y tipo enrrasables	26
Figura 3.12 Sensor inductivo de forma C.....	26
Figura 3.13 Final de carrera electromecánico	26
Figura 3.14 Electroválvula 4/3 biestable	27
Figura 3.9 Manómetro	28
Figura 3.15 Principio de funcionamiento y partes fundamentales que conforman un contactor [21].....	29
Figura 3.16 (1) Sin excitación (2) Bobina excitada	30
Figura 3.17 Elementos de un sistema de protección	30
Figura 3.18 Sistemas de control de válvulas	31
Figura 3.19 Control de la electroválvula	31
Figura 3.20 Accionamiento directo de electroválvula de solenoide.....	32
Figura 3.21 Accionamiento indirecto de electroválvula de solenoide.....	32
Figura 3.22 Mando de un cilindro de simple efecto	33
Figura 3.23 Mando de un cilindro de doble efecto.....	34
Figura 3.24 Representación de cilindros con sus respectivos sensores	36
Figura 3.25 Orden de accionamiento o Secuencia de trabajo.....	36
Figura 3.26 Formación de grupos.....	36
Figura 3.27 Selección de grupos y sensores	37
Figura 3.28 Circuito electrohidráulico.....	37

Figura 3.29 Diagrama general conexión cascada	38
Figura 3.30 Representación del diagrama espacio-tiempo	39
Figura 3.31 Representaciones simplificadas de la secuencia A+B+A-B-	39
Figura 3.32 Diagrama espacio-fase y de mando de la secuencia A+B+A-B-	40
Figura 3.33 Elementos de entrada y salida del diagrama de contactos	41
Figura 3.34 Sentido de programación de los bloques de contactos	42
Figura 3.35 Manera correcta e incorrecta de colocar la salida en un bloque de programación	42
Figura 4.1 Diagrama de la estructura de la investigación.....	45
Figura 4.2 Esquema de adquisición de datos.....	46
Figura 4.3 Diagrama de conexiones	47
Figura 4.4 Órdenes de mando de la secuencia A+B+A-B-	48
Figura 4.5 Programación de la secuencia A+B+A-B- mediante el método secuencial.....	49
Figura 4.6 Secuencias de fases de la secuencia A+B+A-B-.....	50
Figura 4.7 Representación gráfica de la secuencia A+B+A-B- mediante el método cascada electrohidráulica.	50
Figura 4.8 Programación de la secuencia A+B+A-B- mediante el método cascada electrohidráulica	52
Figura 4.9 Diagrama espacio-fase y diagrama de mando de la secuencia A+B+A-B-	53
Figura 4.10 Programación de la secuencia A+B+A-B- mediante el método diagrama tiempo- movimiento.....	54
Figura 5.1 Conexiones de los cilindros de doble efecto A y B respectivamente	56
Figura 5.2 Tiempos de respuesta mediante el método secuencial	58
Figura 5.3 Tiempos de respuesta mediante el método cascada	58
Figura 5.4 Tiempos de respuesta mediante el diagrama tiempo-movimiento.....	59
Figura 5.5 Respuesta del vástago de cilindro hidráulico en cada uno de los métodos de control electrohidráulico.	62

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuacion (3.1) Consumo (Q).....	12
Ecuacion (3.2) Velocidad (n).....	12
Ecuacion (3.3) Momento de giro (M).....	12
Ecuacion (3.4) Potencia en Kw	12
Ecuacion (3.5) Potencia en CV.....	12
Ecuacion (3.6) Volumen desplazado o de expulsión.....	15
Ecuacion (3.7) Eficiencia volumétrica (η_V).....	15
Ecuacion (3.8) Eficiencia hidráulica-mecánica (η_{hm})	15
Ecuacion (3.9) Eficiencia total (η_t)	15
Ecuacion (3.10) Compresión (Fc)	22
Ecuacion (3.11) Tracción (Ft)	23



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “ANÁLISIS DE TIEMPO DE RESPUESTA DEL VÁSTAGO DE CILINDRO HIDRÁULICO APLICANDO EL MÉTODO SECUENCIAL CASCADA Y EL DIAGRAMA TIEMPO MOVIMIENTO”

Autor: Camacho García Brayan Enrique

RESUMEN

El presente proyecto de titulación, se sustenta principalmente en analizar el tiempo de respuesta que recorre el vástago del cilindro hidráulico en los siguientes métodos de control electrohidráulicos, método secuencial, cascada y el diagrama tiempo movimiento. La utilización de los métodos mencionados son una tecnología muy empleada en el sector industrial porque permiten agilizar procesos secuenciales.

Se desarrolló una comparación del tiempo de respuesta del vástago en cada uno de los métodos de control electrohidráulicos, mediante la programación de la secuencia de trabajo en el software TIA Portal, adquiriendo resultados de manera precisa, segura y confiable en tiempo real, evitando así recolectar datos manualmente puesto que interviene el error humano.

Los resultados obtenidos me permiten determinar que el método diagrama tiempo-movimiento tiene como tiempo mínimo de respuesta 24,051 segundos comparado con los demás métodos.

Palabras claves: Control Electrohidráulico, Tiempo de Respuesta, Métodos de Control, Vástago de Cilindro.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

SCHOOL OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TOPIC: “HYDRAULIC CYLINDER PISTON ROD RESPONSE TIME ANALYSIS BY APPLYING THE SEQUENTIAL METHOD, CASCADE AND TIME-MOTION DIAGRAM”

Author: Camacho García Brayan Enrique

ABSTRACT

This degree project is mainly based on analyzing the response time of the hydraulic cylinder rod in the following electrohydraulic control methods, sequential method, cascade and time-motion diagram. The use of the mentioned methods is a technology widely used in the industrial sector because they allow speeding up sequential processes.

A comparison of the response time of the rod in each of the electrohydraulic control methods was developed, by programming the sequence of work in the TIA Portal software, acquiring results accurately, safely and reliably in real time, thus avoiding manual data collection since human error is involved.

The results obtained allow me to determine that the time-motion diagram method has a minimum response time of 24.051 seconds compared to the other methods.

Keywords: Electrohydraulic control, response time, control methods, cylinder rod.



AVAL DE TRADUCCIÓN

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título:

Análisis de tiempo de respuesta del vástago de cilindro hidráulico aplicando el método secuencial cascada y el diagrama tiempo movimiento.

Fecha de inicio:

Octubre 2021

Fecha de finalización:

Marzo 2022

Lugar de ejecución:

El proyecto se desarrolla en el Laboratorio de Oleoneumática de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, campus Matriz, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia San Felipe.

Facultad que auspicia:

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería Electromecánica

Equipo de trabajo:**Tutor**

Nombres: Ing. MsC. Edwin Homero Moreano Martínez

Cédula de ciudadanía: 050260750-0

Correo electrónico: edwin.moreano@utc.edu.ec

Dirección: Parroquia San Buenaventura, Latacunga, Cotopaxi

Ponente

Nombres: Brayan Enrique Camacho García

Cédula de ciudadanía: 185026685-7

Correo electrónico: brayan.camacho6857@utc.edu.ec

Dirección: Parroquia Cunchibamba, Ambato, Tungurahua

Área de Conocimiento:

Como referencia a la norma CINE-UNESCO las áreas de conocimiento del proyecto se detallan a continuación:

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0714

Electrónica y automatización

Línea de investigación:

Procesos industriales

Sublíneas de investigación de la Carrera:**Ingeniería en electromecánica**

Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos, y sistemas electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN:

El presente proyecto de titulación se basa en el análisis del tiempo de respuesta del vástago de cilindro hidráulico aplicando métodos de control electrohidráulicos, dichos métodos son muy diversos, debido principalmente al diseño y estructura de funcionamiento en sistemas secuenciales existen metodologías como Intuitivo, Secuencial, Cascada, Paso a Paso, Grafset, entre otros, por lo tanto, los métodos a estudiar son los siguientes, método secuencial, método cascada electrohidráulica y el diagrama tiempo movimiento.

La automatización de los procesos industriales involucra tecnología como la electrohidráulica, requiere la utilización de metodologías capaces de efectuar secuencias de trabajo mediante el uso de estrategias que permitan desarrollar la estructura del mando o control adecuado para cada caso.

Se ha propuesto utilizar distintas tecnologías con el objetivo de obtener de manera detallada y sin errores la información, como es el caso de los PLC's (Controlador Lógico Programable), y el uso de software (TIA Portal) para controlar por medio de la PC, permitiendo de esta manera visualizar, supervisar y controlar los procesos en tiempo real (velocidades, tiempos, ciclos, entre otros).

Para la validación de resultados referente al número de mediciones a realizar se utilizó el método Distribución *T de Student*, esta metodología está diseñada para probar hipótesis en estudios con muestras pequeñas (menores de 30).

La interacción hombre – máquina en el marco de la metodología de enseñanza es una solución viable en las universidades, permitiendo gestionar las novedades relacionadas con la automatización de procesos industriales, ya que proporciona herramientas y evalúa de manera útil los esfuerzos para eliminar las barreras que dificultan la interacción entre las personas y las nuevas tecnologías.

2.1. EL PROBLEMA:

2.1.1. Situación problemática:

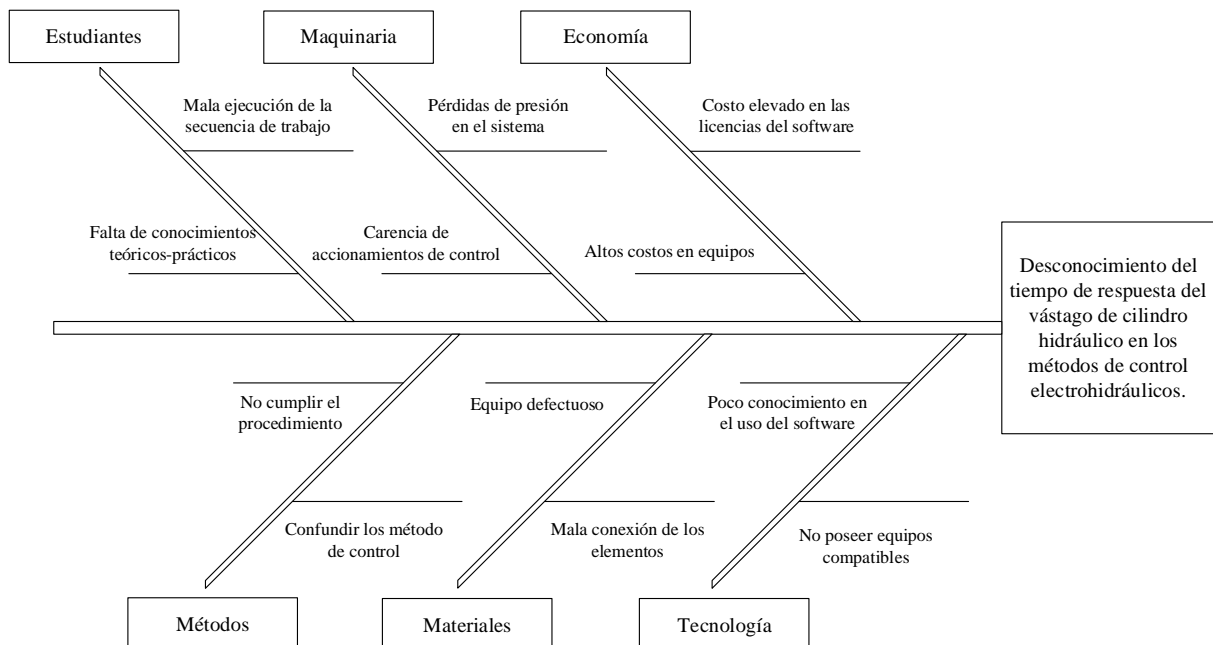
Ciertos automatismos no disponen de flujo de información desde la parte operativa al mando, generando órdenes en forma independiente de las acciones de la parte operativa y por supuesto sin garantía de cumplimiento. Actualmente se utilizan mecanismos para optimizar el funcionamiento de la maquinaria dentro de la industria, también encontramos métodos de control electrohidráulicos, los cuales facilitan manipular de forma ordenada y estratégica diferentes elementos de control optimizando la recolección de información.

En el sector industrializado es imprescindible identificar los diferentes métodos de control electrohidráulicos, puesto que existe el desconocimiento de utilizar dichos métodos para comparar el tiempo de respuesta que recorre el vástago de cilindro hidráulico al momento de realizar una secuencia de trabajo.

2.1.2. Formulación del problema:

El desconocimiento del tiempo de respuesta del vástago de cilindro hidráulico en los métodos de control electrohidráulicos: secuencial, cascada y diagrama tiempo movimiento.

2.1.3. Matriz causa-efecto



2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN:

2.2.1. Objeto de estudio

Tiempo de respuesta de recorrido del vástago de cilindro hidráulico

2.2.2. Campo de acción

3311 Tecnología de la instrumentación / 3311.01 Tecnología de la automatización / 3311.02 Ingeniería de control / 3311.05 Equipos eléctricos de control / 3313.25 Bombas y Equipos para manipulación de líquidos

2.3. BENEFICIARIOS:

2.3.1. Beneficiarios directos

Estudiantes y docentes de la asignatura de Control Hidro-Neumático de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.3.2. Beneficiarios indirectos

Comunidad Científica

2.4. JUSTIFICACIÓN:

Es necesario conocer el tiempo de respuesta que emplea el vástago del cilindro en cada uno de los métodos de control electrohidráulicos, para determinar su modo de operación en una secuencia de trabajo. Debido a la velocidad de los procesos industriales se ha optado por determinar el tiempo de recorrido que emplea el vástago de cilindro hidráulico en realizar dicha secuencia, permitiéndome de esta manera seleccionar el método adecuado en función al tiempo de respuesta.

Por tal motivo se consideró realizar la propuesta tecnológica, ya que no todos los métodos de control electrohidráulicos son apropiados para desarrollar la misma secuencia de trabajo, puesto que dependerán de las condiciones de operación de la misma para su correcto funcionamiento.

Además, permitirá que los estudiantes de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi desarrollen habilidades y destrezas teóricas-prácticas que servirán como apoyo en la formación profesional de los mismos.

2.5. HIPÓTESIS:

Con el análisis del tiempo de respuesta del vástago de cilindro hidráulico permitirá seleccionar el método de control electrohidráulico adecuado para el diseño de la secuencia de trabajo.

2.6. OBJETIVOS:

2.6.1. General:

Analizar el tiempo de respuesta del vástago de cilindro hidráulico aplicando los métodos de control electrohidráulicos para la selección adecuada de los mismos.

2.6.2. Específicos:

- Recopilar información referente a control electrohidráulico para la comparación de los métodos de control.
- Diseñar la secuencia de trabajo para la comparación del tiempo de respuesta del vástago de cilindro hidráulico en cada uno de los métodos de control electrohidráulicos.
- Determinar el tiempo de respuesta que emplea el vástago de cilindro hidráulico mediante la adquisición de datos en tiempo real.

2.7. SISTEMA DE TAREAS:

Tabla 2.1 Sistema de tareas por objetivo

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Recopilar información referente a control electrohidráulico para la comparación de los métodos de control.	Clasificación de información obtenida de libros, manuales, sitios web, entre otros.	Demostrar que método de control es más utilizado en los procesos industriales.	Método inductivo Observación
Diseñar la secuencia de trabajo para la comparación del tiempo de respuesta del vástago de cilindro hidráulico en cada uno de los métodos de control electrohidráulicos.	Programación de los diferentes métodos de control electrohidráulicos. Simulación de la secuencia de trabajo para validar su correcto funcionamiento.	Seleccionar el tiempo de respuesta del vástago de cilindro en el método de control más rápido.	Observación, Investigación Experimental, Investigación de campo
Determinar el tiempo de respuesta que	Medición del tiempo de respuesta del vástago	Cumplir de la secuencia de trabajo en	Método científico, Método descriptivo

<p>emplea el vástago de cilindro hidráulico mediante la adquisición de datos en tiempo real.</p>	<p>del cilindro hidráulico al finalizar la secuencia de trabajo. Utilización de un PLC para la adquisición de los tiempos en cada uno de los métodos de control.</p>	<p>cada uno de los métodos de control.</p>	<p>Pruebas de campo</p>
--	--	--	-------------------------

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

3.1. ANTECEDENTES

En [1] manifiesta que la automatización ha evolucionado significativamente, evidenciando tecnología en cada una de sus actividades, ya sea autónoma o dirigida, validando la independencia positivamente para que los procesos en automatización electrohidráulica sean tecnificados, en la cual se puede desarrollar cualquier especialidad que las características del sistema soportan.

Hay que tener en cuenta que García [2] menciona que el funcionamiento de todo sistema automático se relaciona en la verificación de la información de mando, que describe el programa utilizado, con la información de estado, comprobación de la que se derivan las órdenes de mando, que se dan a los accionadores que actúan sobre el sistema, modificando así su estado.

Como se menciona en [3] la utilización de los autómatas programables ofrecen bondades para el desarrollo de procesos, complementando así a la enseñanza de tipo práctico y técnico, para que el alumno adquiera de forma adecuada sus conocimientos, logrando de esta manera el desarrollo de habilidades y destrezas indispensables en la formación profesional.

Mediante lo expuesto por [4] manifiesta que la palabra “hidráulica” proviene de los términos griegos “hydro” y “aulos” mismos que significan “agua” y “tubo”, respectivamente, puesto que en un inicio la hidráulica se centró en aprovechar la energía del agua, tanto en reposo, como en movimiento.

En el transcurso de la humanidad, la energía de los fluidos, movimiento del agua, ha sido aplicada en varios procesos incluyendo la automatización de maquinarias y bienes de equipos, resulta fundamental tener conocimientos de los principios que rigen el comportamiento de los líquidos, reconocer y comprender el funcionamiento de los elementos más empleados en los sistemas electrohidráulicos, su representación gráfica de manera simplificada, así como las posibles averías a las se tendrá que enfrentar como profesional competente.

Mediante la composición de un banco de pruebas de control electrohidráulico se destacan tecnologías como la hidráulica, electrónica y electricidad dentro de cada uno de los elementos que conforman el mismo, por ende, relacionando la teoría con la práctica.

3.2. HIDRÁULICA

Como se manifiesta en [5] se puede entender que la hidráulica es la parte de la mecánica de fluidos que estudia el agua en particular y los líquidos en general. Siendo una ciencia aplicada semi-empírica que estudia el comportamiento mecánico del agua o de los líquidos [...], y los principios relacionados con el agua como materia física tendente a la resolución de los problemas que se le plantean al ingeniero.

3.2.1. Características de la hidráulica

Tabla 3.1 Hidráulica ventajas y desventajas

Ventajas de la hidráulica	Desventajas de la hidráulica
Transmisión de grandes fuerzas mediante componentes pequeños. Es decir, alto rendimiento relativo.	Contaminación ambiental debido a fugas de aceite (peligro de incendio, peligro de accidente).
Posicionamiento preciso.	Sensibilidad frente a la suciedad.
Avance desde cero con máxima carga.	Peligro de presiones muy elevadas (chorro cortante).
Funcionamiento suave y conmutación suave.	Sensible a cambios de temperatura (cambios de viscosidad).
Buenas cualidades de control y regulación.	Rendimiento desfavorable.
Buena capacidad de disipación térmica.	
Movimientos homogéneos, independientes de la carga, ya que los líquidos apenas se comprimen.	

Fuente: [5]

3.2.2. Transmisión de potencia hidráulica

Hoy en día, la hidráulica se puede definir como una forma de transmitir potencia empujando un fluido confinado. El componente de empuje ubicado en la entrada del sistema se denomina bomba y el componente que se encuentra a la salida es un actuador, mismos que pueden ser lineales (cilindros) o rotatorios (motores hidráulicos) [6].

3.2.3. Fluidos hidráulicos

Los fluidos generalmente se presentan en dos estados diferentes, también denominados fases de la materia. Se trata de los estados líquidos y gaseosos. En ambos casos se nos presentan con ciertas similitudes derivadas por su comportamiento. Su forma se ajusta al de los recipientes que lo custodian o trasladan. Los fluidos tienen volumen constante, mientras que los gases tienen volumen variable. Por ello diferenciamos los fluidos en dos características: Fluidos estáticos y Fluidos dinámicos. Los fluidos estáticos se comportan así, bien por estar en reposo, o por su recipiente custodio. Los fluidos dinámicos son propios por la naturaleza y el estado de los mismos, así lo manifiesta Moreno en [7].

En [7] también menciona que la selección que se realice y el cuidado que se tenga del fluido hidráulico de una máquina, ejercerán un efecto importante sobre el rendimiento de ésta, así como por lo que respecta a la duración de los elementos hidráulicos.

El fluido hidráulico consta de cuatro finalidades principales:

- Transmitir potencia,
- Lubricar las piezas móviles,
- Sellar las tolerancias entre una y otra pieza y
- Enfriar o disipar el calor.

También se menciona en [8] que el aceite hidráulico tiene una serie de propiedades, a saber: calentar, lubricar y en ocasiones corroer partes mecánicas, atrapar y liberar gases y transferir impurezas. Su papel es muy importante porque se puede decir que gran parte de los problemas que se presentan en los circuitos hidráulicos provienen del uso inadecuado del aceite hidráulico o de la utilización de fluidos que contienen contaminantes.

La velocidad recomendada de los fluidos hidráulicos en los circuitos se detalla en la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Velocidad fluidos hidráulicos en los circuitos

Equipos	Velocidad m/s
Aspiración de bombas	0,6 – 1,2
Caudal de impulsión	2 - 5
Caudal de retorno	1,5 - 4
Aplicaciones generales	4

Fuente: [8]

3.2.3.1. Transmisión de potencia del fluido hidráulico

Como un mecanismo de transmisión de potencia, el aceite debe fluir con facilidad a través de las líneas y orificios de los componentes. La excesiva resistencia al flujo crea pérdidas de potencia considerables. El fluido debe ser lo más incomprensible posible, de modo que al arrancar una bomba o cambiar de posición una válvula, la acción sea instantánea [8].

3.2.3.2. Lubricación de piezas móviles

En la mayoría de los elementos electrohidráulicos, la lubricación interna es proporcionada por el fluido. Los elementos de la bomba y las demás piezas de desgaste se deslizan entre sí con una película de aceite entre ellos. Para que el elemento tenga una larga vida útil debe contener los aditivos necesarios para garantizar su buen estado frente al desgaste.

No todos los aceites hidráulicos contienen tales aditivos [8].

3.2.3.4. Adictivos

Para mejorar, conservar y dar propiedades especiales a los líquidos hidráulicos, se les añade adictivos, tales como [9]:

- **Viscosos:** Aumentan la viscosidad del líquido hidráulico.
- **Anticongelantes:** Mejoran la fluidez a bajas temperaturas.
- **Adherentes:** Mejoran la adherencia a las paredes de los elementos metálicos del circuito.
- **Antiespumantes:** Reducen la formación de espumas; Las siliconas son los más utilizados (1 parte de silicona por 10^6 partes de fluido).
- **Antioxidantes:** Para trabajar de 100°C a 130°C , aminas-fenoles; Para trabajar de 150°C a 200°C , productos con contenido de azufre y fósforo.

3.3. SISTEMA HIDRÁULICO

Debemos considerar que el sistema hidráulico no es una fuente de energía. La fuente de energía es el primer impulsor tales como un motor eléctrico o un motor que impulse la bomba [6].

Según Márquez en [10] manifiesta que un sistema hidráulico es un método para aplicar fuerzas a la presión ejercida por los fluidos.

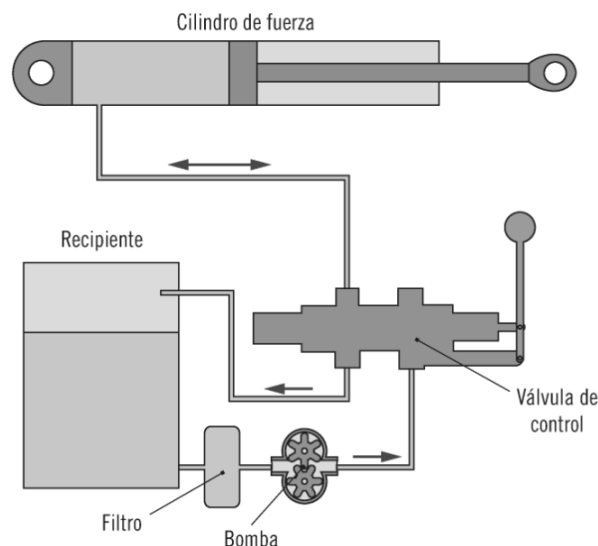


Figura 3.1 Circuito hidráulico básico [10].

Los sistemas hidráulicos toman energía mecánica (generalmente con alta velocidad y baja fuerza y torque) y la convierten en energía de fluido, luego la convierten nuevamente en energía mecánica (generalmente con baja velocidad, pero alta fuerza o torque) [11].

3.3.1. Elementos de un sistema hidráulico

Los elementos que se encuentran generalmente en un sistema hidráulico se detallan a continuación:

1. Bombas (hidráulicas)
2. Reguladores de caudal
3. Filtros
4. Tanques
5. Actuadores (lineales o rotativos)
6. Electroválvulas

3.3.2. Motor oleohidráulico

Los motores oleohidráulicos transforman la energía hidráulica en mecánica de giro continuo (rotativa). En un motor hidráulico, el aceite a presión fuerza el movimiento de su mecanismo interno haciendo que el eje de salida gire. Los motores pueden ser bidireccionales o unidireccionales, es decir, reversibles o irreversibles, y sus principales diseños coinciden con los de las bombas oleohidráulicas de desplazamiento positivo. Por tanto, hay motores de engranajes, de paletas, de pistones, entre otros [12].

Los motores hidráulicos proporcionan fuerzas y pares elevados con un alto nivel de control del movimiento [13]. Los motores hidráulicos contienen datos, mismos que pueden venir en unidades americanas o europeas. Para simplificar su utilización en la tabla 3.3 se muestra la equivalencia entre las mismas.

Tabla 3.3 Equivalencia entre unidades

Medida	Unidad	Unidad imperial/US	Factor de conversión
Presión	Bar	Pa	1 bar = 10^5 Pa
Volumen	Litro	m^3	1 litro = $10^{-3} m^3$
Viscosidad cinemática	cSt	m^2/s	1 cSt = $10^{-4} m^2/s$ = $1mm^2/s$
Desplazamiento	c.c./Rev.	pulgadas cúbicas/Rev. (In^3/Rev)	1 c. c./Rev = $0,061In^3/Rev$
Par específico	Nm/bar	lb. ft/psi (libras. pie/psi)	1 Nm/bar = $0,0509 lb. ft/psi$
Par	Nm	lb. ft (libras. pie)	1 Nm = $0,73757 lb. ft$
Presión	Bar	psi	1 bar = $14,5052 psi$
Potencia	KW	HP(US)	1 KW = $1,3410 HP(US)$
Peso	Kg	Lb	1 kg = $2,2046 lb$
Capacidad	Litros	Galones US	1 litro = $0,2642 Galones US$

		Galones imperiales	1 litro = 0,2200 galones imperiales
Temperatura	°C	°F	°C = (°F - 32)/1,8
Longitud	Mm	pulgada	1 mm = 0,03937 pulgadas

Fuente: [13]

Consumo (Q)

$$Q = \frac{V \cdot n}{1000 \cdot \eta_v} [l/mn] \quad (3.1)$$

Velocidad (n)

$$n = \frac{Q \cdot n_v \cdot 1000}{V} \quad (3.2)$$

Momento de giro (M)

$$M = \frac{\Delta p \cdot V \cdot n_{hv} \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot 100} \quad (3.3)$$

Dónde M está en d a Nm, Δp es la diferencia de presión entre la entrada y la salida, n_{hv} es el rendimiento hidráulico-mecánico (entre 0,9 y 0,95).

Potencia

$$(1) \rightarrow P = \frac{\Delta p \cdot Q \cdot n_t}{600} \quad (3.4)$$

$$(2) \rightarrow P = \frac{\Delta p \cdot Q \cdot n_t}{441,2} \quad (3.5)$$

Donde n_t es el rendimiento total (entre 0,8 y 0,85)

(1) $\rightarrow P$ = potencia en Kw

(2) $\rightarrow P$ = potencia en CV

Los motores hidráulicos se consideran actuadores robustos que poseen una relación potencia/peso muy elevada. Los niveles de esfuerzos que pueden realizar es muy elevado y su velocidad de giro es casi insensible a la carga [13].

Los motores oleohidráulicos son muy habituales en la maquinaria industrial, en sistemas de inyección y en la tracción de vehículos. Estos motores no tienen adversario en aquellas aplicaciones donde se requieran pares espectaculares a velocidades bajas [13].


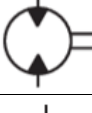


Tabla 3.4 Valores típicos de las características principales de los motores hidráulicos

Motor	Cilindrada	Presiones máximas	Par máximo	Intervalo de revoluciones
	[cm ³ /rev]	[bar]	[Nm]	[rpm]
Engranajes	2÷150	250	400	300÷6.000
Gerotor	8÷900	225	8.000	10÷5.000
Paletas	50÷2.500	200	70.000	50÷4.000
Pistones	10÷9.500	450	150.000	1÷12.000

Fuente: [14]

Los motores pueden ser de desplazamiento fijo o variable en función de si el número de revoluciones por minuto puede ser ajustado o no, respectivamente; además de permitir el giro en una o dos direcciones dependiendo del diseño del mismo [15].

Tabla 3.5 Representación de actuadores

Motores hidráulicos	
	Motor hidráulico rotativo con desplazamiento fijo y una dirección de flujo
	Motor hidráulico rotativo con desplazamiento fijo y dos direcciones de flujo
	Motor hidráulico con desplazamiento variable y una dirección de flujo
	Motor hidráulico oscilante

Fuente: [15]

3.3.3. Bomba oleohidráulica

Las bombas hidráulicas son junto a los motores eléctricos las máquinas más utilizadas. El líquido más frecuentemente bombeado es el agua, aunque por supuesto es posible bombear cualquier otro, desde los menos densos a los más densos, tanto en frío como en caliente e incluso líquidos con sólidos en suspensión y en general cualquier sustancia que de alguna forma tienda a fluir [16].



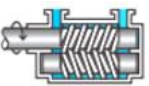

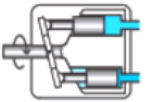

También son las encargadas de convertir la energía mecánica de los equipos de accionamiento (motor eléctrico o de combustión interna o accionamiento manual simple) en energía fluida (presión y caudal). En realidad, la bomba impulsa el fluido, lo que significa: “La bomba proporciona el flujo” [16].

La misión de una bomba es transferir energía a un líquido para permitir su transporte en una

instalación. Esto conlleva normalmente un aumento de la presión a la salida de la bomba que puede relacionarse con el caudal que se esté transportando en forma de curva característica [14].

Esta curva característica es propia de cada bomba, y depende de su forma y principio de funcionamiento, de su tamaño, de la velocidad del accionamiento, etc., y también de algunas propiedades del fluido (aunque sobre todo, de su viscosidad) [14].

Tabla 3.6 Tipos de bombas

Representación esquemática	Tipos	Margen de revoluciones (min^{-1})	Volumen desplazado	Presión nominal	Rendimiento general
	bomba de engranajes, exteriores	500 - 3500	1,2 - 250	6,3 - 16	0,80 - 0,91
	bomba de engranajes, interiores	500 - 3500	4 - 250	16 - 25	0,80 - 0,91
	bomba helicoidal	500 - 4000	4 - 630	2,5 - 16	0,70 - 0,84
	bomba de aletas	960 - 3000	5 - 160	10 - 16	0,80 - 0,93
	bomba de embolo axial	... - 3000 750 - 3000 750 - 3000	100 25 - 800 25 - 800	20 16 - 25 16 - 32	0,82 - 0,92 0,82 - 0,92 0,80 - 0,92
	bomba de embolo radial	960 - 3000	5 - 16	16 - 32	0,90

Fuente: [17]

3.3.4. Grupo hidráulico

En su conjunto está formado por una bomba hidráulica, motor eléctrico, válvula limitadora de presión, manómetro y válvula 3/2 [11].

A continuación, se encuentran los parámetros de la bomba.

3.3.4.1. Volumen desplazado o de expulsión

El desplazamiento o desplazamiento volumétrico D.V. es un parámetro que expresa el tamaño de la bomba. Se refiere al volumen del fluido entregado por la bomba por

revoluciones o carrera. Este caudal es el resultado del desplazamiento del volumen multiplicado por las revoluciones por minuto n [11].

$$Q = DV \cdot n \quad (3.6)$$

Donde Q es el caudal de la bomba $\left(\frac{m^3}{s}\right)$ o $\left(\frac{1}{min}\right)$, DV es desplazamiento volumétrico y n es RPM .

3.3.4.2. Revoluciones

Para la maquinaria estacionaria el régimen de revoluciones más frecuente es de $n = 1800 \text{ min}^{-1}$, puesto que son accionadas por motores síncronos de corriente trifásica mismos que son dependientes de la frecuencia de la red eléctrica [11].

3.3.4.3. Eficiencia volumétrica (η_V)

Es la relación entre el caudal real que impulsa la bomba con respecto al caudal teórico determinado por el producto del Desplazamiento Volumétrico por el número de RPM [11].

$$\eta_V = \frac{Q_{real}}{Q_{teórico}} = \frac{Q_{real}}{DV \cdot n} \quad (3.7)$$

3.3.4.4. Eficiencia hidráulica – mecánica (η_{hm})

Es la relación entre la energía mecánica que entrega la bomba con respecto a la energía mecánica que recibe [11].

$$\eta_{hm} = \frac{E_{mecánica \text{ que recibe}} - Pérdidas}{E_{mecánica \text{ que recibe}}} \quad (3.8)$$

3.3.4.5. Eficiencia total (η_t)

En general la eficiencia total de una bomba oleohidráulica oscila entre el 80% al 90%

$$\eta_T = \eta_V \cdot \eta_{hm} \quad (3.9)$$

3.3.5. Tubería



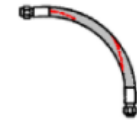



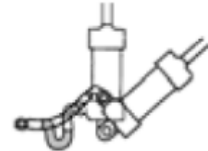

Es el término general que abarca las varias clases de líneas conductoras que llevan el fluido hidráulico entre los componentes; más los ajustes y conectores usados entre los conductores [...] en el futuro puede que haya líneas de plástico, la cual gradualmente se está empezando a usar [6].

Los tubos, mangueras, racores y bridas son los elementos que se utilizan para acoplar los

componentes de un circuito. Los conductos pueden ser sólidos (tubos) o maleables (mangueras), y de presión o no, en función de si son instalados en una línea de presión o aspiración, retorno o drenaje del sistema [6].

También se menciona en [6] que las mangueras son conductos maleables, compuestos por diferentes capas de material elastómero (SRT) o termoplástico (TPT), reforzadas con capas de malla de acero y terminadas con una capa exterior protectora de goma o de plástico.

Tabla 3.7 Montaje incorrecto y correcto de las mangueras

Incorrecto	Correcto
	
	
	
	

Fuente: [14]

3.3.6. Pérdidas de carga

Cualquier fluido que circula por una tubería o un canal experimenta una pérdida de energía debida al rozamiento de las moléculas del fluido entre sí y, principalmente, por la fricción que se produce en el contacto con las paredes de la conducción por la que circula [4].

Las pérdidas se crean de manera continua en la trayectoria de cualquier tubería y su valor aumenta cuanto mayor es la rugosidad de la tubería y la longitud de la misma. A este tipo de pérdida de carga se le conoce como pérdida lineal [4].



















También existen pérdidas de carga que son mayores cuanto más irregular es el camino, puesto que el aceite debe recorrer para atravesarlo; dicho de otra manera, cuantos más componentes se

encuentran instalados en el sistema [4].

Por accesorios se entienden:

- Reducciones del diámetro de tubería o estrechamientos.
- Aumentos del diámetro de tubería o ensanchamientos.
- Cambios en la dirección del flujo: codos de 90°, codos de 45°, uniones en T, uniones en Y.
- Presencia de válvulas o de elementos de instrumentación y control, etc.

Tabla 3.8 Accesorios más comunes de los empleados en las canalizaciones

	Manguito de unión		Válvula retención
	Cono de reducción		Válvula retención paso de escuadra
	Codo o curva de 45°		Válvula de compuerta abierta
	Curva de 90°		Válvula de paso recto y asiento inclinado
	Codo de 90°		Válvula de globo
	"T" de 45°		Válvula de escuadra o ángulo (abierta)
	"T" arqueada o de curvas ("pantalones")		Válvula de asiento de paso recto
	"T" confluencia de ramal (paso recto)		Intercambiador
	"T" derivación a ramal		Contador

Fuente: [4]

3.3.7. Depósito o tanque hidráulico

En los circuitos hidráulicos se debe proveer al sistema de un tanque en el cual se almacene el líquido hidráulico que va a abastecer la bomba que da presión a todo el conjunto [15].

Además, en [15] se menciona que un depósito o tanque hidráulico funciona como contenedor de reserva del fluido, también ayuda a enfriarlo, permitiendo el asentamiento de posibles

contaminantes y proporcionando el escape del aire retenido en el líquido hidráulico.

Para conseguir estos fines, entre la línea de retorno y la tubería de succión del tanque se suele colocar una placa deflectora, para que la succión no sea inmediatamente posterior al retorno, sino que pase un breve periodo de tiempo y de esta forma el líquido pueda reposar y alcanzar los objetivos buscados [15].

Los depósitos son imprescindibles en todas las instalaciones hidráulicas, pues almacenan el aceite del sistema. La elección del depósito no debe considerarse de menor importancia, además de almacenar, su diseño y su tamaño influyen bastante en el funcionamiento del equipo hidráulico [14].

Los depósitos cumplen varias funciones; entre otras:

- Almacenar el fluido requerido por el sistema y proveer el aceite necesario durante el llenado inicial;
- Compensar las fluctuaciones de nivel que resultan del movimiento de los actuadores y de las fugas externas;
- Disipar el calor generado, y
- Ofrecer un tiempo de residencia suficiente al aceite para que se airee y para que los contaminantes se diluyan y depositen en el fondo.

En la figura 3.2 se muestra la representación de un tanque hidráulico.

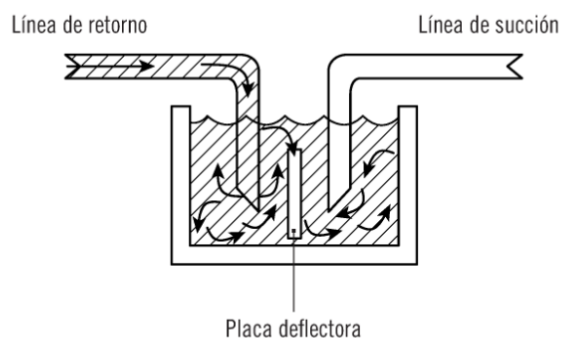


Figura 3.2 Esquema de un tanque hidráulico [15].

3.3.7.1. Función de los depósitos

- * Almacenar el líquido hidráulico
- * Compensar pérdidas por fugas
- * Actuar de regulador térmico

- * Permitir de desemulsión del líquido

3.3.8. Elementos de mando electrohidráulico

Como se manifiesta en [18] por elemento de mando se entiende que es el instrumento capaz de gobernar el funcionamiento de un circuito. Para ello se emplean válvulas para su control, tal y como veremos a continuación:

En los sistemas electrohidráulico los elementos de mando son las válvulas, cuya función es la de controlar y dirigir el fluido hidráulico desde los elementos generadores de presión, bombas hidráulicas, hasta los actuadores, ya sean lineales o rotativos, para que el circuito trabaje de una forma ordenada y siguiendo la finalidad para la que ha sido diseñado [18].



Figura 3.3 Mando de los sistemas electrohidráulicos

El sistema de mando permitirá manejar la respuesta del sistema sin que el operador intervenga directamente sobre sus salidas. El operador debe manipular los parámetros de entrada, también conocidos como consignas, siendo el sistema de mando quien se encargue de gobernar y controlar los parámetros de salida y, en consecuencia, las salidas del sistema [19].

Por tanto, la función de un mando es determinar el cumplimiento y funcionamiento del sistema electrohidráulico, en función de los acontecimientos y enclavamientos previstos.

3.3.9. Criterios de selección de válvulas

Para realizar una selección adecuada de las válvulas dentro de un circuito hidráulico es necesario:

- Definir la misión de la válvula dentro del circuito.
- Para las válvulas distribuidoras hay que determinar el número de vías y posiciones.
- Determinar el sistema de accionamiento de la válvula.

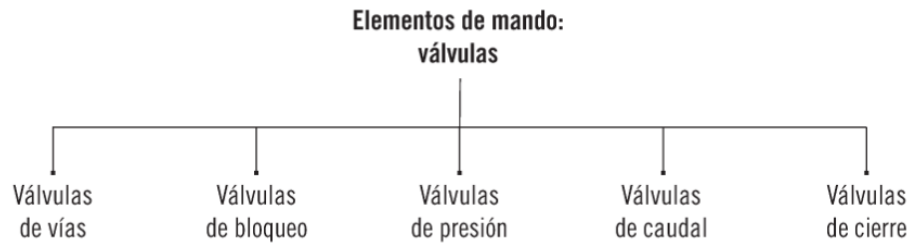


Figura 3.4 Clasificación de las válvulas existentes [18].

3.3.9.1. Válvula limitadora de presión

Limita la presión máxima del sistema. También se le denomina válvula de seguridad o válvula RELIEF. En la figura 3.5 se encuentra su símbolo.

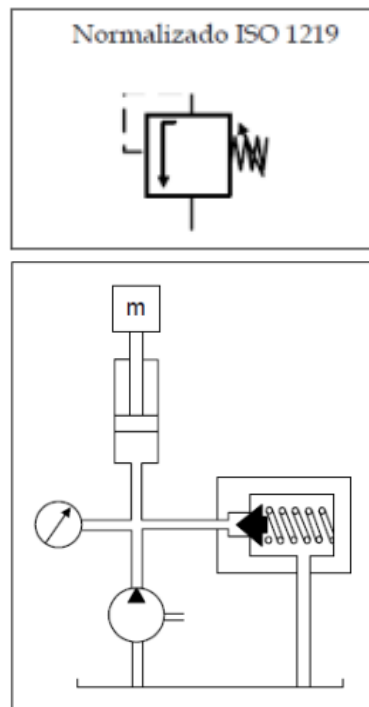


Figura 3.5 Simbología de la válvula limitadora de presión [11].

3.3.9.2. Válvulas de control direccional

En [14] se menciona que el sentido de movimiento de los actuadores hidráulicos se puede controlar mediante las válvulas direccionales. Estas válvulas están formadas por una serie de vías que se conectan con cada uno de sus puertos según su posición de trabajo, y se identifican por el número de vías y posiciones posibles, como válvula 2/2, 3/2, 4/2, 4/3, etc.

La mayor parte de las válvulas direccionales se basan en el diseño en corredera. En la figura 3.6, se muestra el diseño base de una válvula de control direccional de 4/3 de centros cerrados.

En la figura superior, de reposo, la válvula está cerrada e impide el paso de fluido hacia cualquiera de las vías.

En la del medio, la corredera se ha desplazado hacia la izquierda, de modo que queda libre el paso de fluido de la vía P a la A, y de la B a la T.

En la inferior, el desplazamiento ha sido hacia la derecha y la vía abierta es la P-B.

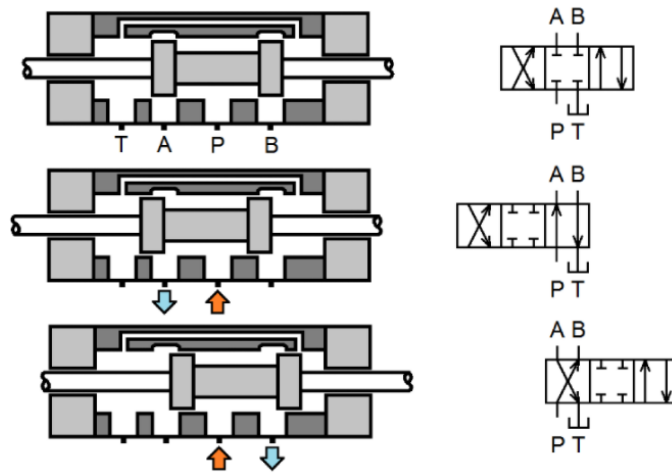


Figura 3.6 Vistas de diferentes posiciones de la corredera en una VCD 4/3 de centros cerrados [14].

3.3.9.3. Válvula de bloqueo

Estas válvulas posibilitan el libre desplazamiento solo en un sentido, puesto que se bloquean en sentido opuesto [18]. Recordamos que dentro de estas válvulas se encuentran las válvulas de retención, las válvulas de selección de circuito, así como de simultaneidad.

3.3.9.4. Válvula de cierre

En [18] expresa que las válvulas de cierre son utilizadas para el corte total del desplazamiento del fluido. Su campo de aplicación es el de abrir o cerrar el paso del fluido a una parte del circuito.

3.3.10. Actuadores hidráulicos

Los actuadores hidráulicos casi siempre son cilindros y necesitan elementos auxiliares para accionarlos; estos pueden ser: los grupos hidráulicos, que son bombas para dar presión a un fluido, anormalmente aceite, este es impulsado para transmitir esta fuerza, los acumuladores, que son como el almacén del fluido impulsor guardado a presión, las válvulas, que son las que permiten direccionar el fluido a presión guardado en el acumulador, pueden ser válvulas todo o nada, válvulas proporcionales y servoválvulas y finalmente están los elementos auxiliares de control, normalmente electrónicos [20].

En la figura 3.7 se muestra un cilindro hidráulico.



Figura 3.7 Cilindro hidráulico [20].

El término actuador hidráulico se utiliza en componentes mecánicos destinados a transformar la energía hidráulica de presión y caudal en trabajo mecánico, en la etapa de salida de un sistema de transmisión de energía oleohidráulico (STEO) [14].

Un actuador transforma la energía hidráulica en energía mecánica. Los actuadores hidráulicos son de dos tipos:

- * Cilindros hidráulicos.
- * Motores hidráulicos.

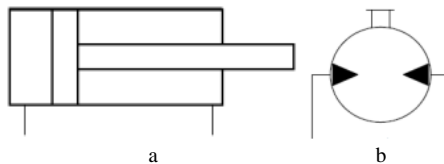


Figura 3.8 Simbología de un cilindro hidráulico (a), motor hidráulico (b) respectivamente [11].

Con los cilindros hidráulicos se producen movimientos lineales en máquinas e instalaciones donde se puede alcanzar grandes fuerzas y desplazamientos longitudinales. Se puede controlar la velocidad del émbolo del cilindro variando la cantidad de flujo de alimentación. La fuerza máxima que debe alcanzar un cilindro puede ser elegida o fijada a través de una válvula de presión [11].

3.3.10.1. Fuerzas del cilindro hidráulico

Compresión (F_c)

$$F_c = \frac{0,785 \cdot d_1^2 \cdot p}{10^4} [KN] \quad (3. 10)$$

Tracción (Ft)

$$F_t = \frac{0,785 \cdot (d_1^2 - d_2^2)}{10^4} [KN] \quad (3. 11)$$

Donde d_1 es el diámetro del embolo en mm, d_2 es el diámetro del vástago en mm, p es la presión de servicio.

La principal ventaja de los actuadores hidráulicos frente a los sistemas neumáticos y eléctricos se debe a que entregan pares, fuerzas elevadas, y además un buen control del movimiento [8].

Los fluidos hidráulicos son virtualmente incompresibles y gracias a las altas presiones con que trabajan (35 a 350 bar) permiten un control del caudal lo suficientemente preciso para el actuador.

Elevados costes, la necesidad de su acondicionamiento, su contención y filtrado el fluido hidráulico a temperaturas seguras en unidades de potencia (power pack) son algunas de sus desventajas [8].

3.3.10.2. Clasificación por su forma constructiva

- * Cilindros de Simple Efecto.
- * Cilindros de Doble Efecto.
- * Cilindros Telescópicos.

3.4. SISTEMA ELÉCTRICO

3.4.1. Componentes de un automatismo

Los automatismos están constituidos por tres partes fundamentales, como son la obtener señales mediante sensores, procesar dichas señales por lógicas de control y ejecutar las respuestas mediante los actuadores como se muestra en la figura 3.9 [21].

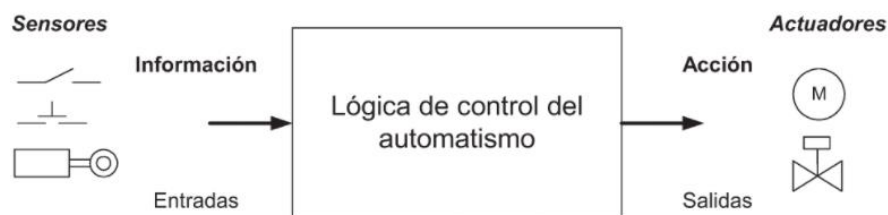


Figura 3.9 Componentes de un automatismo [21].

3.4.2. Elementos de mando

Se trata de instrumentos encargados de asegurar la comunicación hombre-máquina en misiones como: arrancar, parar, entre otros, a los diferentes equipos presentes en un sistema o circuito electrohidráulico [21]. Se puede seleccionar en los siguientes grupos como se muestran en la tabla 3.9:



Tabla 3.9 Componentes electromecánicos de mando

Entrada de señales	Procesamiento de señales	Actuación de potencia
Interruptores	Relés	Electroválvulas
Sensores	Temporizadores	-
-	Conexión de contactos que describen funciones lógicas	-

3.4.2.1. Pulsador

Es utilizado por el operario de un sistema electrohidráulico mediante el cual se activa o desactiva el mismo. Este elemento está constituido por contactos eléctricos internos que se conmutan cuando se acciona manualmente. Está equipado internamente por un resorte el cual regresa los contactos a su estado inicial cuando se deja de pulsar [21].

Tabla 3.10 Tipos de pulsadores

Normalmente abierto (NA)	Normalmente cerrado (NC)
Inicio del funcionamiento del sistema	Parada del funcionamiento del sistema
	

3.4.3. Sensores

Estos dispositivos se encargan de convertir las señales o energía de una forma física en otra. Éstos proporcionan una salida útil en respuesta a una condición física medida. Si bien los términos sensor y transductor se suelen aceptar como sinónimos, transductor es quizás más amplio, ya que además de una parte sensible o captador (sensor), incluye algún tipo de circuito de acondicionamiento de la señal detectada [21].

Una vez obtenida la señal eléctrica, se somete a un proceso de acondicionamiento y amplificación para ajustarla a las necesidades de las entradas del PLC. Esta etapa se puede

encapsular íntegramente en el transductor, o bien colocar en un lugar remoto [21].

Tabla 3.11 Estructura general de un transductor basado en un fenómeno eléctrico o magnético

Magnitud detectada	Transductor	Salida
Presencia o proximidad de objetos	Inductivo	Todo – nada o analógico
	Capacitivo	Todo – nada o analógico
	Óptico	Todo – nada o analógico
	Ultrasonido	Todo – nada o analógico
Pequeños desplazamientos o deformaciones	Transformador diferencial	Analógico
	Galga extensométrica	Analógico
Posición lineal o angular	Codificadores ópticos incrementados o absolutos (<i>encoders</i>)	Digitales
	Potenciómetro	Analógico
	Sincro o resolver	Analógicos
Velocidad lineal o angular	Tacómetro	Analógico
	Codificadores ópticos incrementables o absolutos	Digital
	Detector inductivo u óptico	Digitales
Temperatura	Bimetálico	Todo - nada
	Termocupla o termopar	Analógico
	Termorresistor (RTD). Ej. Resistor PT100	Analógico
	Termistores NTC o PTC	Analógico
	Sensor piroeléctrico (termómetros de radiación)	Analógico

Fuente: [21]

3.4.3.1. Detectores inductivos

Este tipo de sensores detectan la presencia de elementos metálicos en un rango de distancias cortas que van desde un milímetro hasta 30 milímetros aproximadamente [21].

La ejecución mecánica se encuentra normalizada definiéndose los siguientes tipos:

- * Forma A. Cilíndrica roscada con diámetros normalizados de M8, M12, M18 y M30. En el caso que la rosca llegue hasta el cabezal detector se dice que es enrasable. Si el cabezal detector sobresale del resto del sensor no lo es. Existen, además, variantes sin rosca con tamaños de diámetro de 4 y 5 mm (ver la Figura. 3.10) [21].

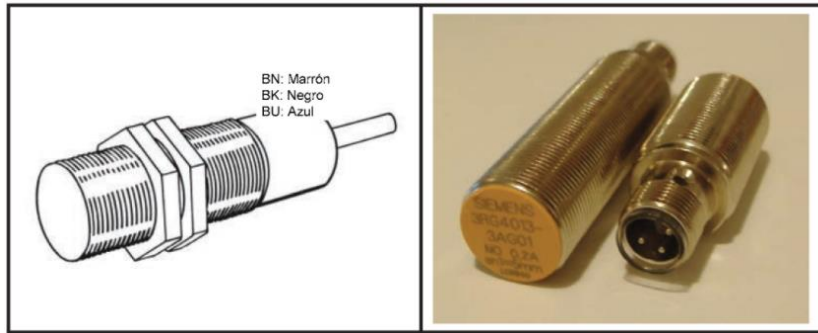


Figura 3.10 Sensor inductivo de forma A y tipo enrasables [21].

- * Forma C. Tienen forma de paralelepípedo con cabezal orientable y se utilizan, por lo general, para lograr grandes distancias de detección (ver la Figura. 3.11) [21].

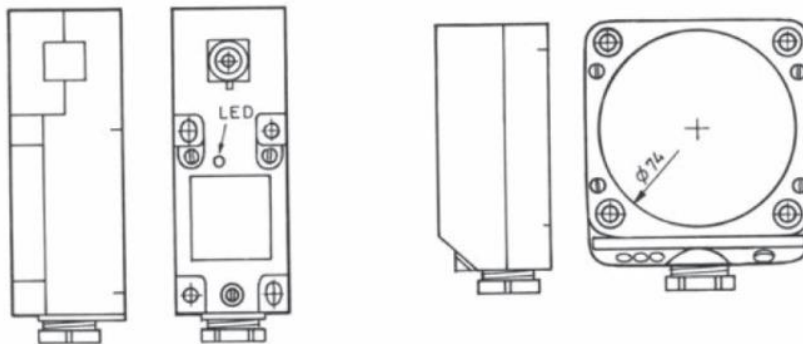


Figura 3.11 Sensor inductivo de forma C [21].

3.4.3.2. Elementos sensores de posición

Se utilizan básicamente en los sistemas electrohidráulicos para detectar la posición del vástago del cilindro, sea en repliegue o en extensión. Estos sensores se activan o desactivan (conmutan) permitiendo el paso de señal eléctrica (corriente eléctrica). La señal es recibida y procesada posteriormente en el autómata programado cableado [21].

En el área de electrohidráulica estos sensores se activan por contacto físico con el vástago del cilindro hidráulico, se denominan finales de carrera electromecánicos, sensores reed switch y magnéticos que son activados a distancia (1 a 3mm) por el magnetismo del embolo de algunos cilindros [21].



Figura 3.12 Final de carrera electromecánico

3.4.4. Elementos para procesamiento de información

Estos elementos son los encargados de procesar la información que reciben de los elementos de mando y de los sensores en un sistema de control electrohidráulico. Mediante su esquema cableado envían señales eléctricas de control a los actuadores (válvulas distribuidoras de caudal) que son la interfaz de control para los cilindros hidráulicos. Los relés magnéticos y los temporizadores forman parte de estos elementos [22].

3.4.5. Dispositivos de interfaz

En los sistemas electrohidráulicos se utilizan elementos que permiten la interacción entre la hidráulica y la electricidad. Es posible a través de estos dispositivos controlar los actuadores (cilindros hidráulicos) encargados de accionar cargas mecánicas mediante sus vástagos [22].

El principal elemento de interfaz, en este caso, es el distribuidor o electroválvula. La electroválvula es un elemento electromecánico compuesta básicamente por una bobina (solenoides), un resorte y un cuerpo metálico con orificios para direccionar la circulación de aceite de entrada hacia diferentes salidas [22].

Existen varios tipos de electroválvulas clasificadas según el accionamiento como las monoestables con accionamiento solenoide-resorte y las biestables que tienen accionamiento doble solenoide [22].

3.4.5.1. Electroválvula biestable

Las electroválvulas de dos posiciones biestables son construidas internamente con dos solenoides (Y1, Y2) mismos que sirven para activar cada una de las posiciones, no tienen resorte interno. Cuando se energiza Y1 la válvula pasa a la posición 1 y permanece en ésta posición aun cuando se desenergice. Para que la válvula pase a la posición 2, se debe energizar Y2 pero Y1 debe estar desenergizada [18].

Una electroválvula 4/3 (a vías 3 posiciones) biestable y su símbolo se muestra en la figura 3.13.



Figura 3.13 Electroválvula 4/3 biestable [18].

3.4.5.2. Cilindros hidráulicos

Los cilindros hidráulicos tienen por misión transformar la energía neumática en trabajo mecánico, estos son llamados cilindros lineales y su accionamiento es por aceite. Según la forma en que se ejecuta el retorno del cilindro se tienen el Cilindro de Simple Efecto en el que el aceite actúa en una de las dos cámaras que el émbolo delimita en el interior del cilindro y el Cilindro de Doble Efecto en los que el aceite actúa en las dos cámaras internas.

3.4.6. Elementos auxiliares

3.4.6.1. Manómetro o medidor de presión

En [23] manifiesta que los manómetros son los instrumentos encargados de medir las presiones manométricas. Pueden medir las presiones sobre la atmósfera, o depresiones con respecto a la atmósfera o diferencias de presión entre dos puntos de toma.

También se manifiesta que los manómetros son instrumentos para medir la presión, bien sea de una bomba o de una turbina.



Figura 3.14 Manómetro

En los sistemas hidráulicos es muy importante medir la presión de aceite en los ductos, ya que ésta no es visible y en el caso que exista puede causar accidentes físicos a los usuarios. Los manómetros son dispositivos que consisten de una carátula dimensionada en unidades de BARES y/o PSI (libras por pulgada cuadrada) y un puntero que gira con la presión el cual nos indica si en el ducto existe presión de aceite marcando su respectivo valor [23].

3.4.6.2. Distribuidores de aceite

Son unidades tipo regleta en las que se tienen varias salidas de aceite (conexión múltiple), estas salidas de aceite son utilizadas en los sistemas hidráulicos para distribuirlo en diferentes direcciones y de esta forma alimentar simultáneamente elementos.

3.4.7. Contactor

El funcionamiento de un contactor es similar al de un interruptor, cerrándose cuando se energiza la bobina de un electroimán. De esta manera, se accionan circuitos sujetos a corrientes elevadas, al aplicar corrientes muy bajas sobre la bobina. Su estructura y funcionamiento es semejante a los relés, su principal diferencia consiste en que puede manipular cargas de mayor potencia [21].

El contactor está conformado por una bobina, un núcleo fijo, un núcleo móvil y un juego de contactos de potencia. Sobre el núcleo fijo se encuentra enrollada la bobina, mientras que el núcleo móvil soporta la pieza móvil de cada contacto de potencia como se aprecia en la figura 3.15 [21].

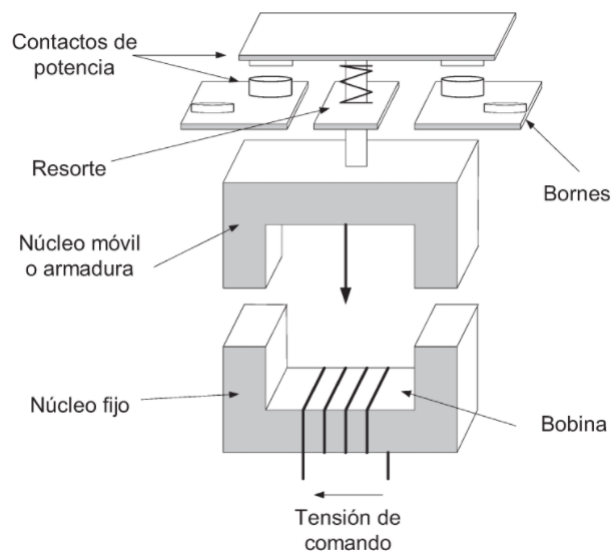


Figura 3.15 Principio de funcionamiento y partes fundamentales que conforman un contactor [21].

El contactor consta de accesorios como son, bloques de contactos auxiliares normalmente abiertos (NA) o cerrados (NC), enclavamientos mecánicos, módulos de cableado, limitadores de sobretensiones, etc. Mismos que se montan sobre un riel DIN de 35 milímetros, aunque también se puede fijarlo con tornillos [21].

3.4.8. Relé

Como se expresa en [24] los relés son utilizados como elementos auxiliares en circuitos de mando que conforman un control o maniobra, también se utiliza como elemento de mando, cuando son pequeños los consumos (potencia).

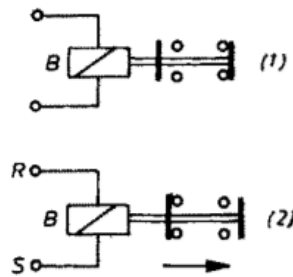


Figura 3.16 (1) Sin excitación (2) Bobina excitada [24].

3.5. PROTECCIONES

Los sistemas de protección son los elementos que se emplean para proteger las instalaciones y las redes eléctricas ante las averías. Los sistemas de protección no impiden las fallas, sino que lo que hacen es reducir los efectos negativos que estas pueden ocasionar. Para ello, los sistemas de protección detectan las faltas o las condiciones anormales que se producen en la red y dan la orden de disparo a los interruptores con lo que se aíslan los elementos en falta del resto de la red [25].

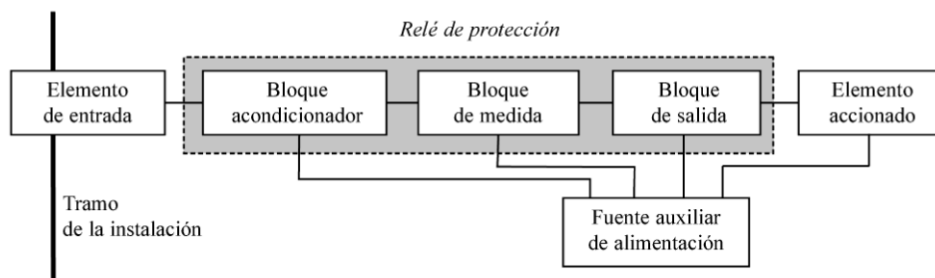


Figura 3.17 Elementos de un sistema de protección [25].

3.6. ESQUEMAS HIDRÁULICOS

Entre los circuitos hidráulicos y neumáticos es muy grande la similitud, en lo que ha diseño de esquemas y componentes se refiere, generalmente en su representación simbólica. Sin embargo, existen diferencias concretas, mismas que se encuentran a continuación [26].

3.6.1. Accionamientos de control

El control de las válvulas se puede realizar por medio de diferentes accionamientos: manual, mecánico, eléctrico o por pilotaje; ya sea este neumático o hidráulico [18]. Como se representa a continuación en la figura 3.18.

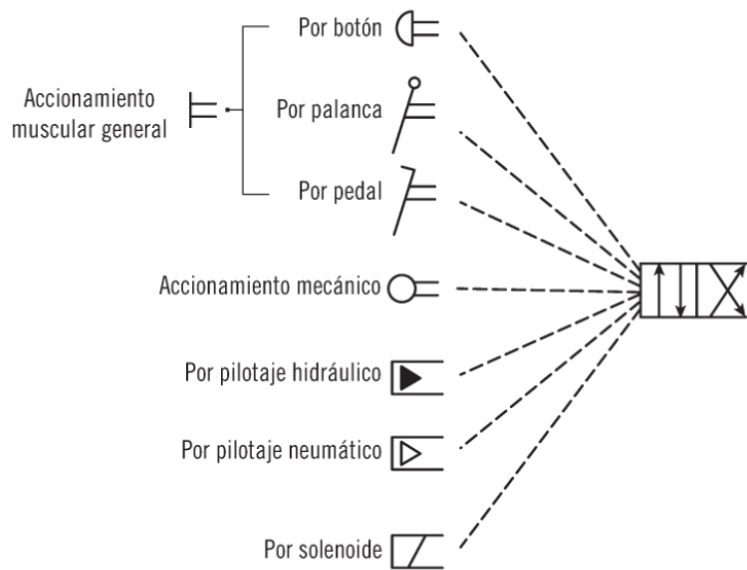


Figura 3.18 Sistemas de control de válvulas [18].

3.7. TIPOS DE CONTROL

La clasificación de los tipos de control es, control directo o control indirecto.

En el control directo, el órgano de mando está en la misma válvula, y no se recurre a otro elemento externo, como puede ser otra válvula que mande una señal de pilotaje hidráulico o neumático; o a un relé que mande una señal de activación externa a la válvula [18].

En el mando indirecto el órgano de gobierno está separado físicamente de la válvula y se suele emplear cuando se quiere controlar el sistema desde distancias remotas, de ahí que sea muy empleado este tipo de control [18].

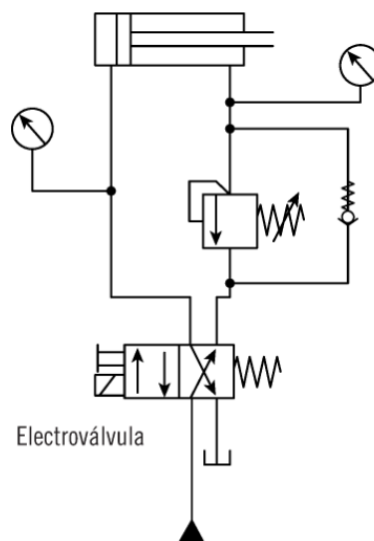


Figura 3.19 Control de la electroválvula [18].

3.7.1. Control directo

En [18] manifiesta que en el control directo el circuito nos permite controlar directamente la electroválvula, mediante el accionamiento del interruptor que cierra el circuito eléctrico, se produce la excitación de forma directa en la bobina de la electroválvula.

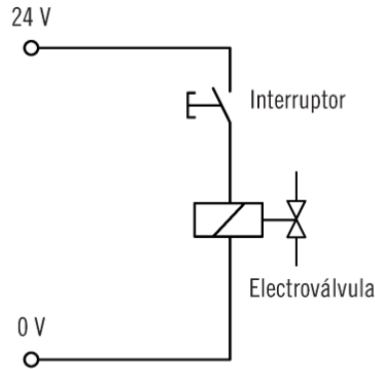


Figura 3.20 Accionamiento directo de electroválvula de solenoide [18].

3.7.2. Control indirecto

El control indirecto es realizado mediante un relé, el cual actúa como interruptor indirecto de la electroválvula cuando es excitado por el paso de la corriente eléctrica, consiguiendo así el control desde distancias remotas de la electroválvula [18].

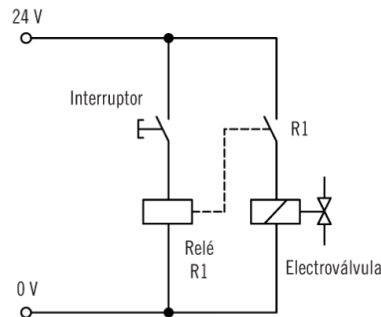


Figura 3.21 Accionamiento indirecto de electroválvula de solenoide [18].

3.8. Mando de un cilindro de simple efecto

Para manipular un cilindro de simple efecto (cilindro que sólo tiene una entrada) como el que se muestra en la figura 3.22 debe ingresar aceite al cilindro para que el pistón salga y para que regrese se debe descargar el aceite al tanque. Esto se puede lograr con la acción de una válvula distribuidora 5/2 de tal manera que cuando se encienda la bomba el pistón y cuando se accione a la válvula la bomba y el pistón descarguen a través de la válvula [11].

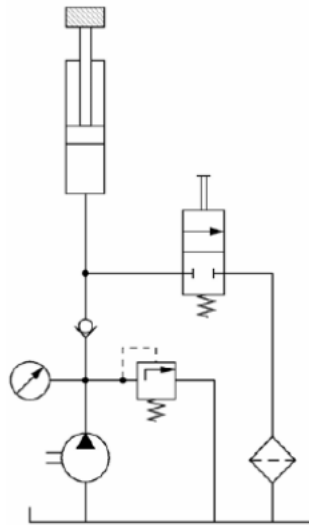


Figura 3.22 Mando de un cilindro de simple efecto [11].

3.9. Mando de un cilindro de doble efecto

Para mandar a un cilindro de doble efecto es necesario como mínimo una válvula 4/2 como se muestra en la figura 3.23 [11].

Con una válvula 4/2 el pistón solo sale o entra, mas no puede detenerse a mitad de carrera.

Con una válvula 4/3, se puede mandar al pistón a salir, entrar y de acuerdo a la posición central que tenga la válvula distribuidora:

- * Posicionar al pistón en cualquier lugar de su carrera y descargar la línea de presión (centro en descarga de P a T; A y B bloqueados).
- * Posicionar al pistón en cualquier lugar de su carrera con bloqueo de todas las líneas (P, T, A y B bloqueados).
- * Posicionar al pistón en cualquier lugar de su carrera y poder accionar externamente al pistón (centro unido A, B, y T).
- * Posicionar al pistón en cualquier lugar de su carrera y poder accionar externamente al pistón y descargar la línea de presión (centro unido P, A, B, y T).

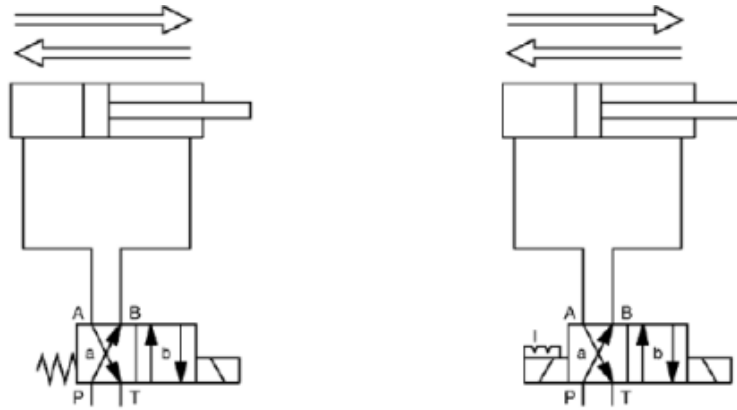


Figura 3.23 Mando de un cilindro de doble efecto [11].

3.10. INSTALACIONES

El diseño de circuitos hidráulicos complejos requiere de métodos que faciliten su implementación. Generalmente los pasos necesarios son:

Paso 1: Funciones necesarias y requisitos a cumplir.

Paso 2: Componentes requeridos para realizar las funciones.

Paso 3: Sistema de control de los actuadores (válvulas distribuidoras, reguladoras de caudal, de bloqueo y reguladoras de presión y elementos de control).

Paso 4: Forma de conexión entre los cilindros y las válvulas (tubos flexibles o rígidos, transmisión de energía, roscas).

Paso 5: Generación de la presión hidráulica, filtros, secadores, lubricadores, reguladores de presión, ...

Paso 6: Secuencias de los movimientos y transmisión de las señales.

3.11. MÉTODOS ELECTROHIDRÁULICOS

Los métodos electrohidráulicos constan de un circuito hidráulico más un circuito eléctrico. La parte de fuerza del circuito es hidráulica y la única diferencia con los circuitos oleohidráulicos son los pilotajes eléctricos de las electroválvulas. Éstas suelen ser 5/2 o 4/3 que son biestables, y los detectores finales de carrera que pueden ser detectores magnéticos o de palanca o rodillo [22].

3.11.1. Método secuencial

El mando secuencial depende del movimiento para su funcionamiento, también puede existir como complemento elementos temporizadores. En este tipo de mando, cada movimiento de un

actuador (cilindro hidráulico) origina el siguiente, es decir: una función origina la siguiente. Si por cualquier causa un movimiento no se efectúa, el siguiente movimiento tampoco tiene lugar y el mando permanece en la posición de perturbación [27].

Esta modalidad de mando precisa más emisores de señales que cualquier otra, pero en ella se cumple con seguridad el desarrollo previsto de los movimientos. Los mandos secuenciales pueden ser de ciclo semiautomático [27].

Reglas paso a paso máximo:

- * Usa válvulas biestables
- * El número de memorias es igual al número de pasos.
- * El paso actual alista al siguiente y desactiva al anterior.

Se tomará como referencia la secuencia A+B+A-B-

3.11.2. Método cascada

Como menciona Cortéz en [28] el método cascada es una metodología aplicada especialmente en los sistemas de tipo secuencial, es decir, aquellos en los cuales el movimiento de los cilindros (vástagos) se hace en forma tal que un movimiento no se lleva a cabo sin haber finalizado el movimiento anterior.

El papel que juegan las electroválvulas en el método cascada es eliminar presión en una línea y dar presión a otra línea, al pasar de un grupo de secuencia de movimientos a otro, en cada grupo no debe existir ninguna letra repetida, para impedir que se presenten interferencias en las señales mismas que llegan a las electroválvulas las cuales se encargan de accionar los cilindros [22].

3.11.2.1. Diseño de circuitos

Mediante [29] manifiesta que el método cascada se utiliza en diseño de circuitos de control eléctrico para sistemas electrohidráulicos relativamente complejos. Para implementar este método de forma sistemática resulta más ventajoso sobre los métodos empíricos e intuitivos, especialmente en los casos en que se requieren anuladores de señal de tipo finales de carrera abatible o eliminación temporizada.

Mediante esta metodología busca que las señales eléctricas que provienen de los sensores (final de carrera electromecánico, detector magnético, etc) sean manipuladas en forma tal que se eviten ordenes de mando simultáneos en las electroválvulas tipo biestables.

3.11.2.2. Metodología de elección de grupos

El objetivo principal es impedir las órdenes de mandos simultáneos en las electroválvulas con memoria, se debe conocer la secuencia de trabajo requerida por los actuadores (cilindros hidráulicos), según el problema o aplicación a resolver [29]. Para entender bien el método utilizaremos el circuito simple de la figura 3.24, donde la secuencia es A+ B+ B- A-. A partir de la secuencia de trabajo se forman grupos de actuadores (G1, G2, G3, etc.) cumpliendo las siguientes condiciones:

1. Con las letras mayúsculas se representan los cilindros (A, B, C, etc.) y los sensores (finales de carrera electromecánicos o magnéticos) activados por el vástago por la letra del cilindro en minúsculas (a0, b0, c0, etc.) para el estado de retroceso se representa de la siguiente manera tanto para cilindros (A-B-) como para sensores (a0, b0), para el avance (A+B+) y (a1, b1) como se muestra en la figura 3.25.

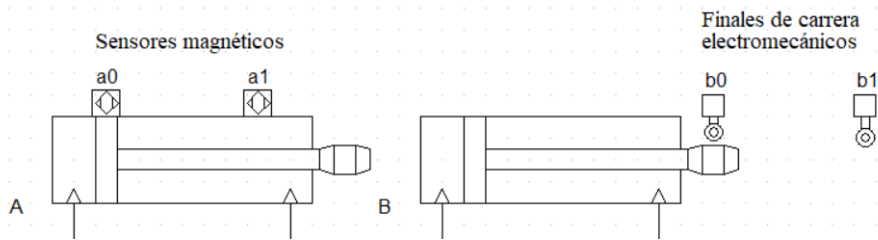


Figura 3.24 Representación de cilindros con sus respectivos sensores.

2. Se debe escribir de izquierda a derecha la secuencia que realizan los cilindros, iniciando con el primer cilindro que actúa. Si el cilindro avanza se coloca A+ y si retrocede A-.

A+B+A-B-

Figura 3.25 Orden de accionamiento o Secuencia de trabajo

3. Se forma grupos de actuadores en la secuencia de trabajo. Los grupos también se seleccionan de izquierda a derecha de tal modo que en cada grupo no exista actuadores repetidos.

Grupo I	Grupo II
A+ B+	A- B-

Figura 3.26 Formación de grupos

4. En cualquier grupo el número máximo de actuadores puede ser igual a la cantidad de los mismos en la secuencia.
5. Para que se cumpla esta metodología cada vástago de cilindro (A, B) debe activar dos sensores, uno en la posición de retroceso (a0, b0) y otro en la posición de avance (a1, b1)
6. Es importante colocar el sensor que es activado por el vástago de cada actuador según la posición respectiva, como se observa en la figura 3.27.

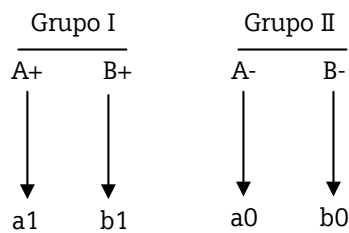


Figura 3.27 Selección de grupos y sensores

7. Este método utiliza cilindros de doble efecto y electroválvulas 5/2, 4/2 o 4/3 con memoria (doble solenoide) para el accionamiento de los cilindros. Los solenoides suelen representarse con la letra Y.

El circuito electrohidráulico para esta secuencia de trabajo se observa en la figura 3.28. Mismo que cuenta con los sensores (finales de carrera electromecánicos) y las electroválvulas 4/3 vías [29].

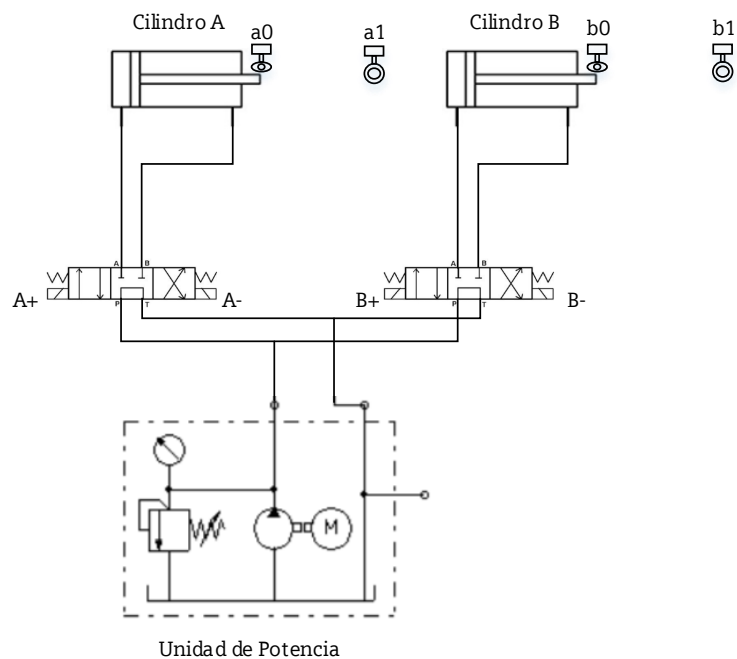


Figura 3.28 Circuito electrohidráulico

3.11.2.3. Conexión de grupos en cascada

Para la conexión eléctrica en el método cascada de los grupos (G1, G2, etc) seleccionados en la secuencia de trabajo o ciclo, se realiza a través de circuitos eléctricos controlados por relés de grupo (Ki), estos suministran voltaje (energía eléctrica) a los elementos que pertenecen al grupo respectivo (Gi) [29].

Para la activación de los relés de grupo se debe tener en cuenta:

- El orden secuencial según la selección de grupos.
- Los sensores que cambian de grupo, los cuales son considerados señales de entrada (ei).
- El número de relés a utilizar es igual al número de grupos seleccionados, es decir:

$$\text{Número de relés} = \text{Número de grupos}$$

En la figura 3.29 se presenta el funcionamiento de los elementos de activación y de los grupos de conexión cascada.

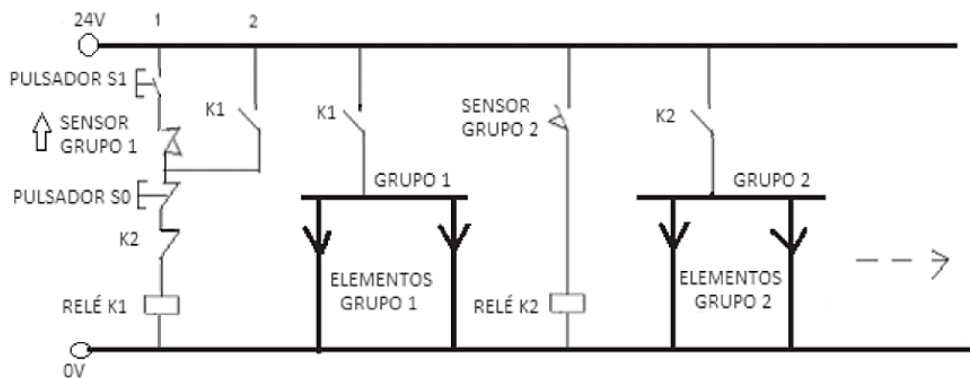


Figura 3.29 Diagrama general conexión cascada [29].

3.11.3. Diagrama tiempo-movimiento

3.11.3.1. Diagramas espacio-tiempo

El diagrama Espacio-Tiempo aplica el tiempo (t) a escala, representando las uniones entre las distintas actividades de la secuencia. Es de utilidad cuando la secuencia de varios cilindros o actuadores es, en general, más aleatoria o bien se fijan los tiempos de actuación de cada elemento [22].

En el sistema de marcado con los cilindros A y B se tienen los siguientes datos:

Fase 1: Velocidad de avance del cilindro B = 6 segundos en salir el vástago.

Fase 2: Velocidad de avance del cilindro A = 8 segundos en salir el vástago.

Fase 3: Tiempo de extensión de los vástagos de los cilindros A y B = 4 segundos.

Fase 4: Velocidad de retracción del cilindro A = 6 segundos en entrar el vástago.

Fase 5: Velocidad de retracción del cilindro B = 8 segundos en entrar el vástago.

En la figura 3.30 se observa el diagrama correspondiente.

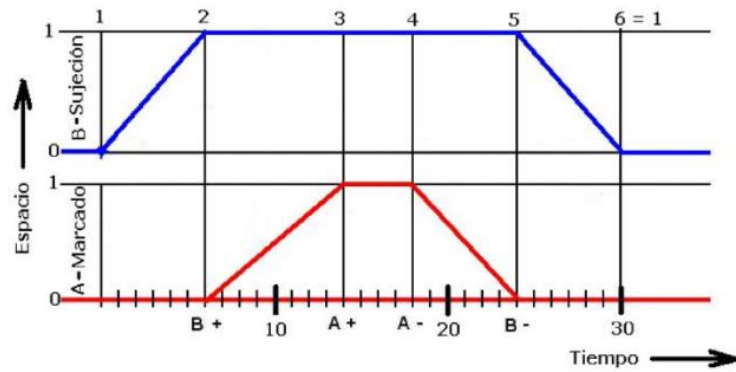


Figura 3.30 Representación del diagrama espacio-tiempo [22].

3.11.3.2. Diagrama espacio-fase

Los diagramas desplazamiento-fase se dibujan sobre dos coordenadas (líneas). En una de las coordenadas se registran las diversas fases de una serie de trabajos y en la otra, el estado correspondiente (desplazamiento). Los movimientos de los elementos de trabajo y de mando se representan con líneas funcionales (rectas).

En la figura 3.31 se encuentra expresada la secuencia A+B+A-B- en su representación simplificada.

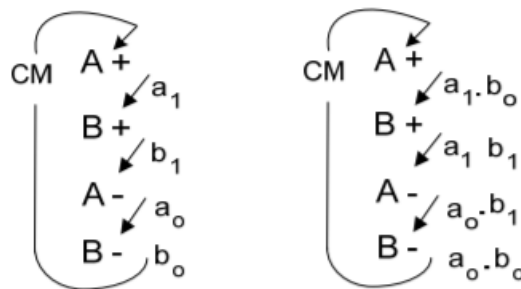


Figura 3.31 Representaciones simplificadas de la secuencia A+B+A-B- [19].

A continuación, se muestran sus respectivos diagramas espacio-fase, a los cuales se les añade un nuevo diagrama, el de mando, que contempla el estado de sus entradas.

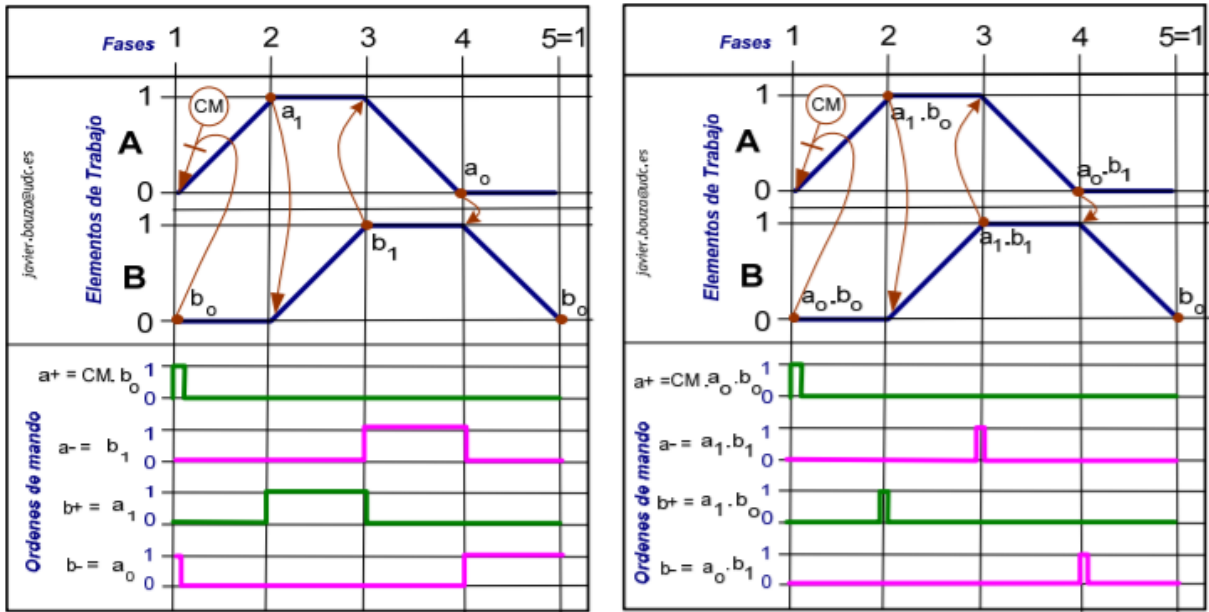


Figura 3.32 Diagrama espacio-fase y de mando de la secuencia A+B+A-B- [19].

Así, examinando el diagrama, será la condición de marcha conjuntamente con el final de carrera b_0 , los encargados de generar la orden correspondiente a la primera fase del ciclo de trabajo. Una vez iniciado el ciclo, será el captador a_1 el encargado de confirmar la finalización de la primera fase y dar la orden de comienzo de la segunda. De manera análoga, sucede con b_1 y a_0 que finalizan, respectivamente, la tercera y cuarta fase e inician la siguiente. Por último, el sensor b_0 será el encargado de señalar el final del proceso. De esta interpretación, se desarrollan las ecuaciones que definen cada etapa de la secuencia:

Tabla 3.12 Órdenes de mando de la secuencia de inversión exacta A+B+A-B-

Fase	Acción	Ecuación de las órdenes de mando
1	A+	$a+ = CM \bullet b_0$
2	B+	$b+ = a_1$
3	A-	$a- = b_1$
4	B-	$b- = a_0$

3.12. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN PARA PLC

Se requieren lenguajes de programación para la comunicación entre el usuario (puede ser un programador u operador del proceso) y el PLC. A continuación, en la tabla 3.11 se presenta los lenguajes utilizados comúnmente en la programación de los PLC.

Tabla 3.13 Lenguajes de uso común

Lenguaje	Características	Ejemplos*	Tipo	Nivel
Listas	Lista de instrucciones	IL AWL STL IL/ST	Escrito	Bajo
Plano	Diagrama eléctrico	LADDER LD KOP	Visual	Alto
Diagrama de Bloques Funcionales	Diagrama lógico	FBD FBS FUD		
Organigrama de Bloques Secuenciales	Diagrama Algorítmico	AS SFC PETRI GRAF CET		
Otros	Lenguajes usados en otras áreas de la computación	BASIC C	Escrito	

3.12.1. Diagrama de contactos

Son aquellos que representan el funcionamiento deseado, generalmente a este lenguaje se suele denominar como LADDER, puesto que su forma de construcción de su esquema se asemeja a una escalera.

A continuación, se detallan las reglas del diagrama de contactos:

- El esquema se realiza entre dos barras de alimentación colocadas verticalmente, entre ellas se dibujan los elementos del lenguaje, cada rama permite ubicar varios elementos de entrada mismos que se ubican a la izquierda y a la derecha solo un elemento de salida.

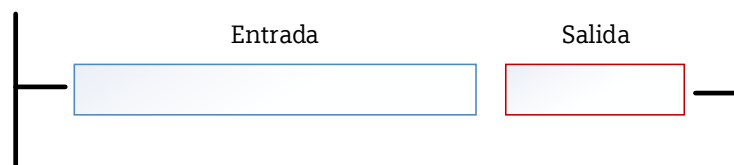


Figura 3.33 Elementos de entrada y salida del diagrama de contactos.

- En cada uno de los bloques de contactos la programación se realiza de izquierda a derecha, mientras que el sentido de programación de cada uno de los bloques de contactos se ejecuta de arriba hacia abajo.

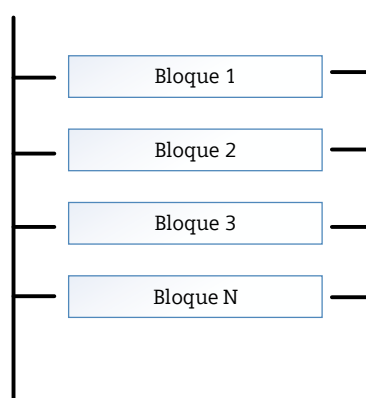


Figura 3.34 Sentido de programación de los bloques de contactos.

El número de contactos desde la entrada hasta la salida en un bloque de programación es ilimitado, no se puede conectar una salida directamente a la línea principal, se debe colocar un contacto cerrado de una marca, un bit o relé interno cualquiera.

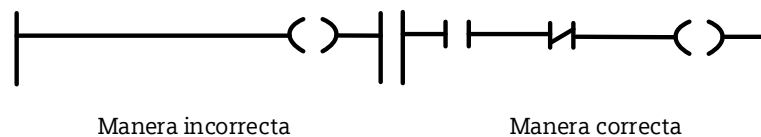


Figura 3.35 Manera correcta e incorrecta de colocar la salida en un bloque de programación.

Para obtener el tiempo de respuesta que recorre el vástago del cilindro hidráulico en cada uno de los métodos de control electrohidráulicos se debe considerar la figura 4.5. En la cual se detalla de manera esquemática los elementos e instrumentos que intervienen en la adquisición de los resultados.

Mediante el PCy el uso de los softwares mencionados anteriormente se procede a programar en diagrama de contactos o denominado también lenguaje LADDER (escalera) la secuencia de trabajo misma que es $A+B+A-B$ - en cada uno de los métodos de control electrohidráulicos de trabajo en los métodos de control electrohidráulicos mismos que son: método secuencial, método cascada (electrohidráulica) y el diagrama tiempo-movimiento.

3.13. SOFTWARE LOGO! SOFT COMFORT

LOGO! es el módulo lógico universal de Siemens [30]. El programa LOGO!Soft Comfort está disponible como paquete de programación para el PC.

Con el software dispondrá, entre otras, de las siguientes funciones:

- Simulación del programa en el ordenador
- Parametrización cómoda de los bloques

- Transferencia del programa
 - desde LOGO! al PC
 - del PC a LOGO!
- Prueba online: Indicación de estados y valores actuales de LOGO! en modo RUN:
- valores actuales (incluidos tiempos) de bloques seleccionados
- Interrupción del procesamiento del programa desde el PC (STOP).

3.14. SOFTWARE CADE_SIMU V4.0

De acuerdo a [31], se trata de un programa electrotécnico, en el que es posible introducir los símbolos de forma organizada como librerías. Posteriormente, el sistema trazará un esquema eléctrico de manera fácil y rápida a fin de realizar la simulación.

A través de la interfaz CAD, la persona o usuario podrá dibujar el esquema de una manera más rápida y fácil. Cuando se haya terminado de realizar el esquema completo con el uso de la simulación, se podrá analizar el funcionamiento correcto de la misma.

3.15. PLC S7 1200

El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Gracias a su estructura compacta, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones [32].

4. MATERIALES Y MÉTODOS:

4.1. DECLARACIÓN DE VARIABLES

4.1.1. Variable independiente

Recorrido del vástago de cilindro hidráulico

4.1.2. Variable dependiente

Métodos de control electrohidráulicos

Tabla 4.1 Variable independiente

Variable independiente	Unidad de medida	Instrumento de medición
Tiempo de respuesta	segundos	Software TIA Portal LOGO!Soft Comfort

Tabla 4.2 Variable dependiente

Variable dependiente	Unidad de medida	Instrumento de mando
Métodos de control electrohidráulicos	-	Secuencia de trabajo

4.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

La presente propuesta tecnológica tiene como finalidad analizar los tiempos de respuesta del vástago de cilindro hidráulico al momento de aplicar métodos de control, misma que se sustenta mediante métodos de investigación, técnicas, y pruebas de campo, para la comparación y validación de los resultados obtenidos.

Los diferentes métodos de investigación permitieron recopilar datos e información oportuna para obtener resultados concretos, mismos que permitieron evaluar cada uno de los métodos de control electrohidráulico.

A continuación, en la figura 4.1 se define mediante un diagrama de flujo la estructura de manera simplificada de la presente investigación, empezando por los objetivos, seguidamente de la recolección de información mediante los antecedentes investigativos para realizar una fundamentación teórica, la cual mediante el uso de metodologías me servirá para la validación de los resultados obtenidos.

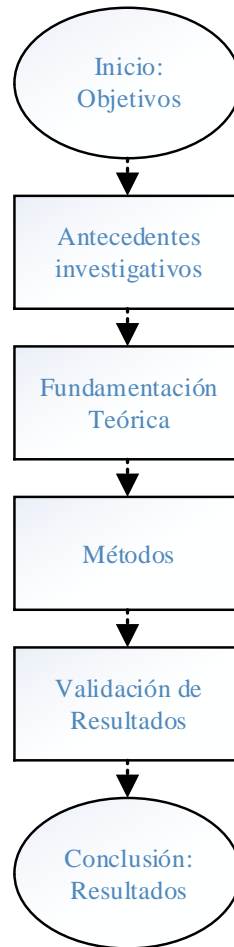


Figura 4.1 Diagrama de la estructura de la investigación

4.2.1. Método bibliográfico

El método bibliográfico permite realizar la compilación de información provenientes de libros, artículos científicos, normativa, investigaciones de relevancia, entre otros, enfocada al control electrohidráulico y a sus métodos de control (secuencial, cascada y el diagrama tiempo-movimiento).

4.2.2. Método descriptivo

Mediante el método descriptivo se pudo obtener datos precisos sobre el objeto de estudio, mismos que se expresan en términos cualitativos y cuantitativos en la presente propuesta tecnológica.

4.3. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación que se emplea en análisis del tiempo de respuesta del vástago de cilindro hidráulico en cada uno de los métodos de control electrohidráulico se detallan a continuación.

4.3.1. Observación

La observación es la técnica principal con la cual se determinará las características de cada método de control electrohidráulico al momento de comprar los tiempos de respuesta del vástago de cilindro. En base a la información obtenida se procederá a tabular los resultados obtenidos como se muestra en el apartado 5 de la presente propuesta tecnológica.

4.3.2. Simulación

La simulación es otra técnica que se utilizó en la presente propuesta tecnológica mediante la cual se visualizó el tiempo de respuesta que recorre el vástago del cilindro hidráulico al completar la secuencia de operación.

4.4. PROCEDIMIENTO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

4.4.1. Esquema de conexiones

Siendo los sensores inductivos y finales de carrera los encargados de enviar señales eléctricas al PLC, cuando estos son activados por la presencia del vástago de cilindro hidráulico.

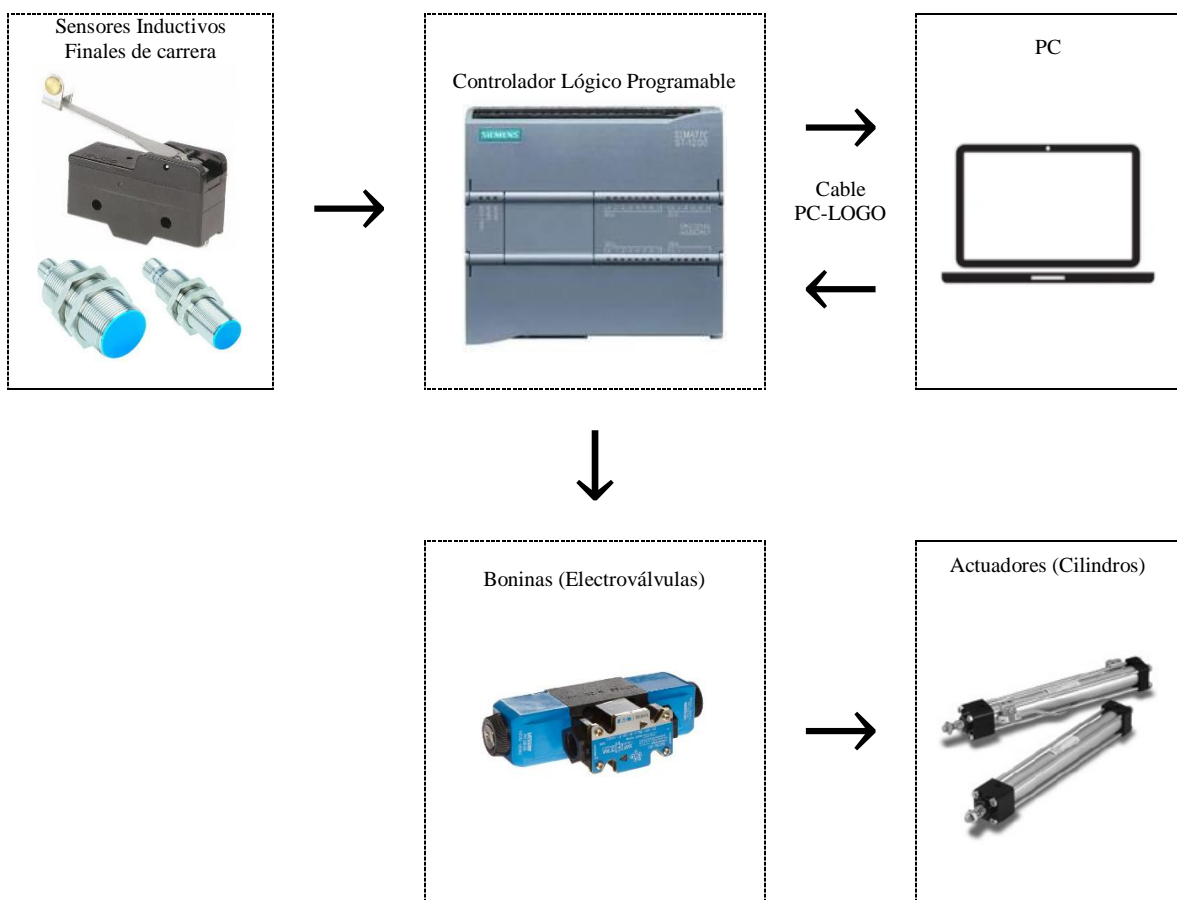


Figura 4.2 Esquema de adquisición de datos

4.4.2. Diagrama de conexiones

En la figura 4.3 se muestra el diagrama de conexiones para realizar la secuencia de trabajo A+B+A-B- misma que servirá para cada uno de los métodos de control.

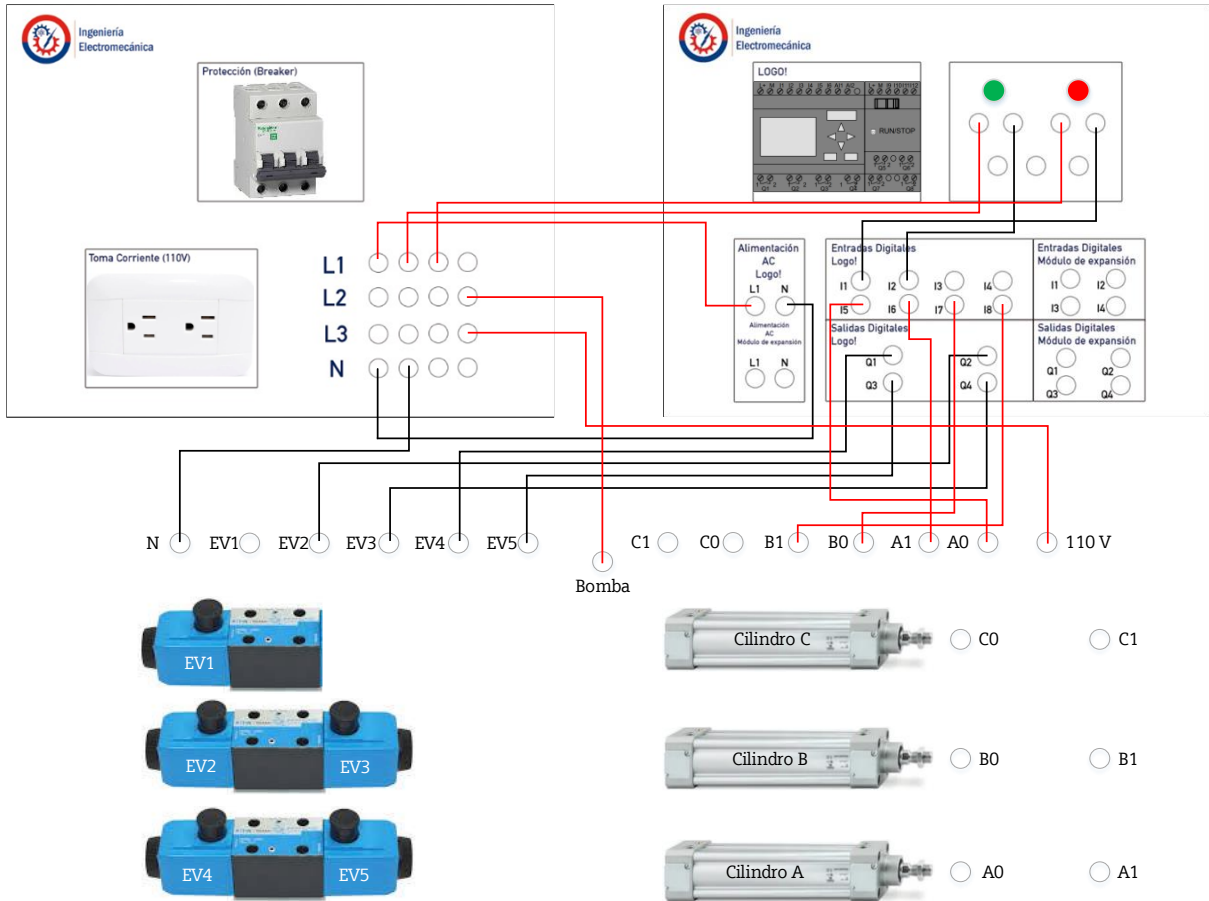


Figura 4.3 Diagrama de conexiones

4.4.3. Programación de los métodos de control electrohidráulicos

A continuación, se presenta la programación de cada uno de los métodos de control mediante el software TIA Portal, el cual permite medir los tiempos de respuesta empleados del vástago de cilindro hidráulico en cada uno de los métodos de control.

En la figura 4.4 se muestra las fases que debe realizar el actuador (cilindro hidráulico) para cumplir la secuencia de trabajo. Mediante la utilización de finales de carrera se determina el inicio y finalización del recorrido del vástago de cilindro, de esta se determina el tiempo de funcionamiento empleado en cada método de control electrohidráulico.

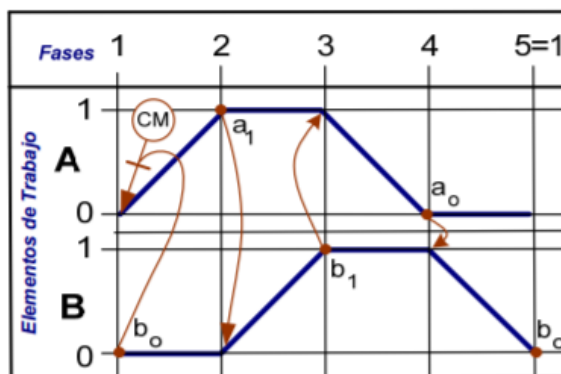


Figura 4.4 Órdenes de mando de la secuencia A+B+A-B-

4.4.3.1. Método Secuencial

Este método cumple la regla “La señal del último movimiento genera el próximo movimiento”, puesto que se utiliza para secuencias de trabajo que no presentan problemas de control doble, por lo tanto, este método no cumplirá las secuencias que efectúen doble movimiento simultaneo de un mismo actuador.

Tabla 4.3 Conexión del diagrama de contactos mediante el método secuencial

Símbolo	Circuito	Descripción
Stop	I0.0	Pulsador de Paro del Circuito
Start	I0.1	Pulsador de inicio del Circuito
Inicio	M10.0	Memoria de inicio de la secuencia
Finalizar	M10.4	Memoria de finalización de la secuencia
A0	I0.4	Detector final de carrera. Determina que el Cilindro A se encuentra en su posición inicial.
A1	I0.5	Detector final de carrera. Determina que el Cilindro A se encuentra en su posición final.
B0	I0.6	Detector final de carrera. Determina que el Cilindro B se encuentra en su posición inicial.
B1	I0.7	Detector final de carrera. Determina que el Cilindro B se encuentra en su posición final.
EV2	Q0.0	Electroválvula 4/3 vías. Activa el desplazamiento del cilindro A, cumpliendo A+
EV3	Q0.1	Electroválvula 4/3 vías. Activa el retroceso del cilindro A, cumpliendo A-
EV4	Q0.2	Electroválvula 4/3 vías. Activa el desplazamiento del cilindro B, cumpliendo B+
EV5	Q0.3	Electroválvula 4/3 vías. Activa el retroceso del cilindro B, cumpliendo B-

A continuación, se presenta la programación perteneciente al método secuencial mediante el lenguaje de diagrama de contactos.

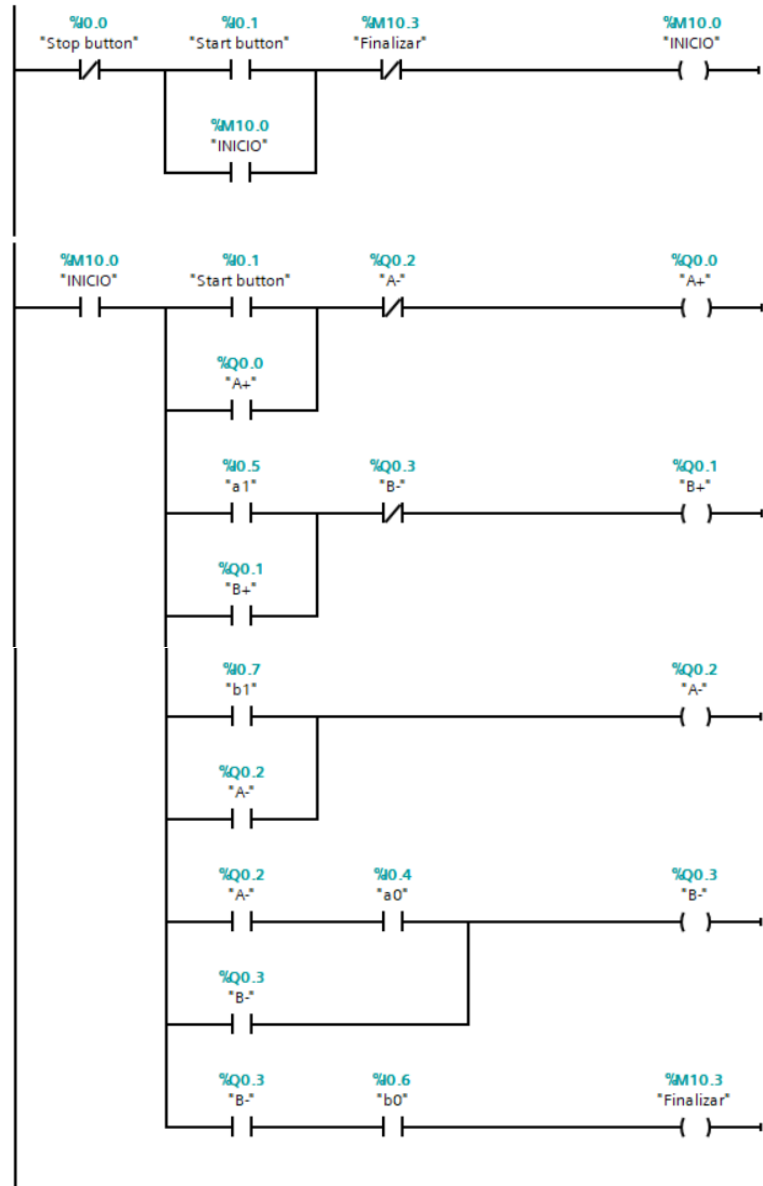


Figura 4.5 Programación de la secuencia A+B+A-B- mediante el método secuencial

El tiempo de recorrido promedio empleado por el vástago de cilindro hidráulico mediante este método es de 29,330 segundos mismo que se puede evidenciar en la tabla 5.3

Mientras que los valores medidos se encuentran en la tabla 5.2.

4.4.3.2. Método Cascada

Este método es recomendable utilizar cuando existan problemas de control doble en la secuencia de trabajo o la misma este diseñada con más de dos actuadores. A partir de la secuencia se procede a seleccionar los grupos, como se muestra en la figura 4.6.

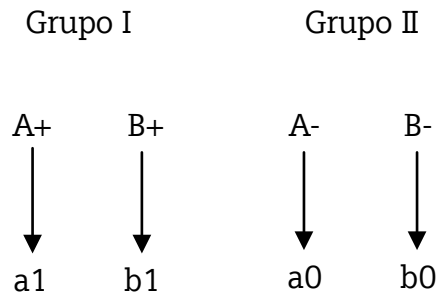


Figura 4.6 Secuencias de fases de la secuencia A+B+A-B-

El cilindro A inicia en retroceso, lo que significa que el sensor *a0* está activado y el sensor *a1* desactivado en la posición inicial (reposo). El cilindro B también inicia en retroceso, por lo cual el sensor *b0* se encuentra activado y el sensor *b1* está desactivado en posición de reposo. La posición inicial del sistema electrohidráulico, es aquella en la cual, se encuentran todos los elementos del sistema electrohidráulico antes de iniciar la secuencia de operación. Mediante la secuencia que se representa en la figura 4.10 se puede seleccionar los elementos para el circuito de control.

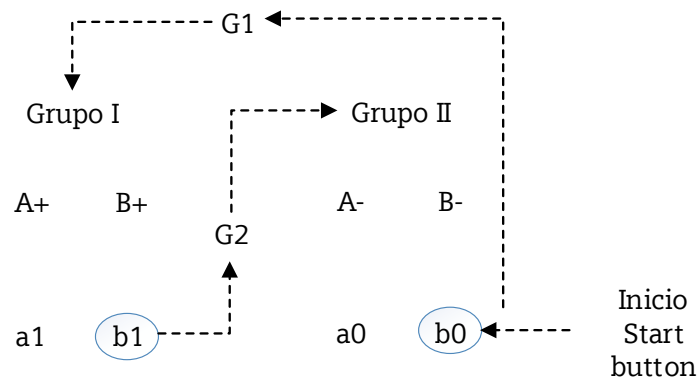


Figura 4.7 Representación gráfica de la secuencia A+B+A-B- mediante el método cascada electrohidráulica.

Como se muestra en la figura 4.7 el Grupo II (G2) representa la posición inicial de los cilindros, el ultimo sensor de este grupo es *b0* mismo que debe realizar cambio de grupo, al Grupo I (G1) ante la activación de una electroválvula pulsador de inicio (Start button), por los tanto este es seleccionado como señal de activación del Grupo I. De manera similar, el sensor *b1* el cual corresponde al último sensor del Grupo I (G1), es seleccionado como el elemento de señal para el Grupo II (G2).

Tabla 4.4 Representación simplificada de la secuencia A+B+A-B- mediante el método cascada electrohidráulica

Grupo	¿Quién activa?	¿Quién desactiva?
N° de grupo	Grupo anterior y el ultimo final de carrera del grupo anterior	Grupo siguiente
Grupo I	Grupo II y b0	Grupo II
Grupo II	Grupo I y b1	Grupo I

Tabla 4.5 Parámetros de conexión del diagrama de contactos mediante el método cascada electrohidráulica

Símbolo	Circuito	Descripción
Stop	I0.0	Pulsador de Paro del Circuito
Start	I0.1	Pulsador de inicio del Circuito
Inicio	M10.0	Memoria. Determina el inicio de la secuencia
Finalizar	M10.3	Memoria. Determina el final de la secuencia
Grupo 1	M10.1	Memoria. Representa el primer grupos de elementos de la secuencia
Grupo 2	M10.2	Memoria. Representa el segundo grupos de elementos de la secuencia
A0	I0.4	Detector final de carrera. Determina que el Cilindro A se encuentra en su posición inicial.
A1	I0.5	Detector final de carrera. Determina que el Cilindro A se encuentra en su posición final.
B0	I0.6	Detector final de carrera. Determina que el Cilindro B se encuentra en su posición inicial.
B1	I0.7	Detector final de carrera. Determina que el Cilindro B se encuentra en su posición final.
EV2	Q0.0	Electroválvula 4/3 vías. Activa el desplazamiento del cilindro A, cumpliendo A+
EV3	Q0.1	Electroválvula 4/3 vías. Activa el retroceso del cilindro A, cumpliendo A-
EV4	Q0.2	Electroválvula 4/3 vías. Activa el desplazamiento del cilindro B, cumpliendo B+
EV5	Q0.3	Electroválvula 4/3 vías. Activa el retroceso del cilindro B, cumpliendo B-

A continuación, se presenta la programación perteneciente al método cascada electrohidráulica mediante el lenguaje de diagrama de contactos.

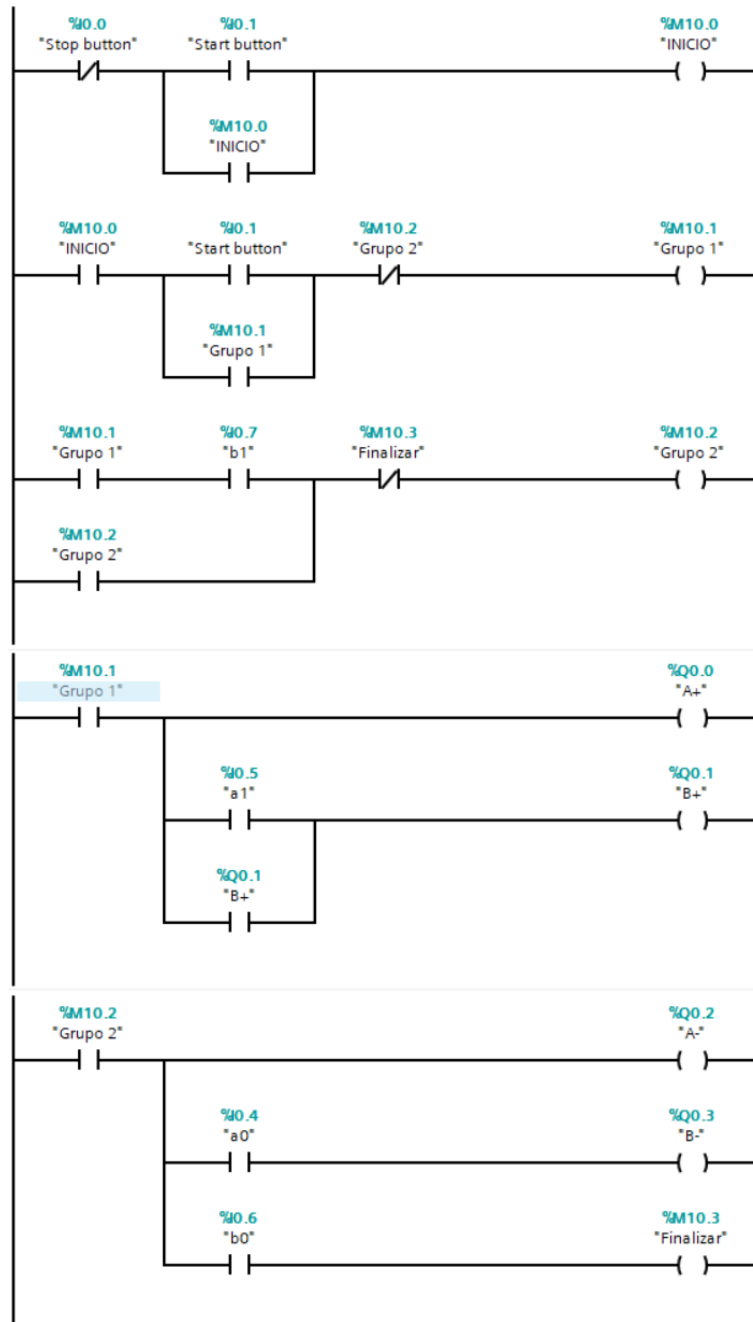


Figura 4.8 Programación de la secuencia A+B+A-B- mediante el método cascada electrohidráulica

El tiempo de recorrido promedio empleado por el vástago de cilindro hidráulico mediante este método es de 35,118 segundos mismo que se puede evidenciar en la tabla 5.3.

Mientras que los valores medidos se encuentran en la tabla 5.2.

4.5.3.3. Método Diagrama Tiempo-Movimiento

Este método también es utilizado para solucionar los problemas de control doble, mediante el diagrama tiempo-movimiento podemos identificar en que elemento y solenoide se encuentra el control doble.

A continuación, se presenta el diagrama espacio-fase al cual se le añade el diagrama de mando. De esta manera permite analizar de forma simultanea las señales que existen entre los elementos distribuidores de potencia.

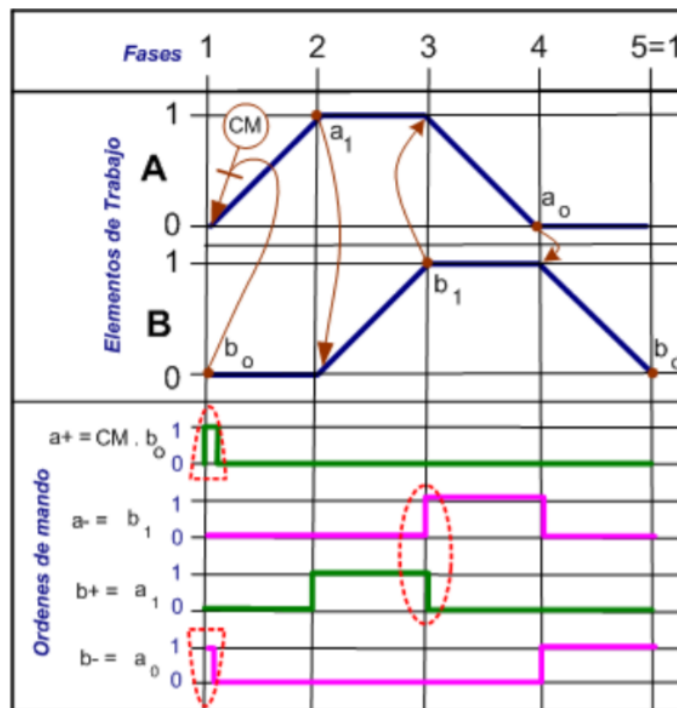


Figura 4.9 Diagrama espacio-fase y diagrama de mando de la secuencia A+B+A-B-

Tabla 4.6 Parámetros de conexión del diagrama de contactos mediante el método diagrama tiempo movimiento

Símbolo	Circuito	Descripción
Stop	I0.0	Pulsador de Paro del Circuito
Start	I0.1	Pulsador de inicio del Circuito
Inicio	M10.0	Memoria. Determina el inicio de la secuencia
Finalizar	M10.3	Memoria. Determina el final de la secuencia
A0	I0.4	Detector final de carrera. Determina que el Cilindro A se encuentra en su posición inicial.
A1	I0.5	Detector final de carrera. Determina que el Cilindro A se encuentra en su posición final.
B0	I0.6	Detector final de carrera. Determina que el Cilindro B se encuentra en su posición inicial.

B1	I0.7	Detector final de carrera. Determina que el Cilindro B se encuentra en su posición final.
EV2	Q0.0	Electroválvula 4/3 vías. Activa el desplazamiento del cilindro A, cumpliendo A+
EV3	Q0.1	Electroválvula 4/3 vías. Activa el retroceso del cilindro A, cumpliendo A-
EV4	Q0.2	Electroválvula 4/3 vías. Activa el desplazamiento del cilindro B, cumpliendo B+
EV5	Q0.3	Electroválvula 4/3 vías. Activa el retroceso del cilindro B, cumpliendo B-

A continuación, se presenta la programación perteneciente al método diagrama tiempo movimiento mediante el lenguaje de diagrama de contactos.

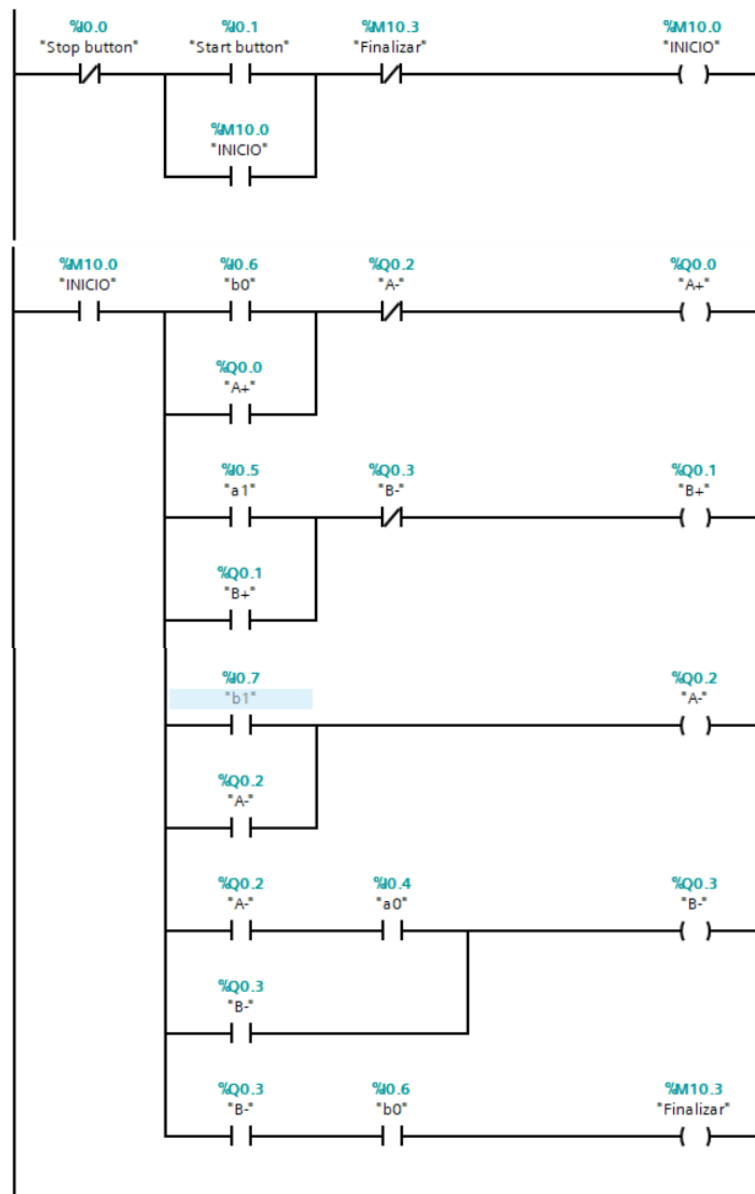


Figura 4.10 Programación de la secuencia A+B+A-B- mediante el método diagrama tiempo-movimiento.

El tiempo de recorrido promedio empleado por el vástago de cilindro hidráulico mediante este método es de 24,316 segundos mismo que se puede evidenciar en la tabla 5.3.

Mientras que los valores medidos se encuentran en la tabla 5.2.

4.4.4 Distribución F de SNEDECOR

La distribución se plantea partiendo de dos variables X e Y tales que [33]:

$$X \rightarrow X_m^2; Y \rightarrow X_n^2$$

Siendo m y n los grados de libertad, de manera que si establecemos el cociente:

$$F = \frac{\frac{X}{m}}{\frac{Y}{n}}$$

es decir, el cociente entre ambas variables divididas a su vez, por sus correspondientes grados de libertad tendremos que la función F corresponde a una distribución F de Snedecor con m y n grados de libertad; es decir una

$$F_{m,n}$$

4.4.5. Distribución T de Student

Está diseñada para probar hipótesis en estudios con muestras pequeñas (menores de 30) [33]

La fórmula general para la T de Student es la siguiente:

$$t = \frac{X - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

En donde el numerador representa la diferencia a probar y el denominador la desviación estándar de la diferencia llamado también Error Estándar.

t representa al valor estadístico que estamos buscando X barra es el promedio de la variable analizada de la muestra, y μ es el promedio poblacional de la variable a estudiar. En el denominador tenemos a s como representativo de la desviación estándar de la muestra y n el tamaño de ésta.

Grados de libertad: El número de grados de libertad es igual al tamaño de la muestra (número de observaciones independientes) menos 1.

$$gl = df = (n - 1)$$

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS:

5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el anexo G se muestra el banco de pruebas de control electrohidráulico, en el cual se realizó el análisis de tiempo de respuesta del vástago de cilindro hidráulico en cada uno de los métodos de control electrohidráulicos, tomando como referencia la secuencia A+B+A-B- para posteriormente comparar los resultados obtenidos.

En la tabla 5.1 se muestra las fases que debe realizar el vástago del cilindro para el correcto funcionamiento de la secuencia de trabajo.

Tabla 5.1 Representación descriptiva simplificada

Fase 1	Cilindro A extiende su vástago
Fase 2	Cilindro B extiende su vástago
Fase 3	Cilindro A retrae su vástago
Fase 4	Cilindro B retrae su vástago

Las pruebas se realizaron con una presión aproximada a 25 psi, siendo la presión máxima que entregada por la unidad de potencia al sistema electrohidráulico. Los elementos utilizados para el desarrollo de la secuencia de trabajo se encuentran en la figura 4.3 en el apartado anterior.

A continuación, en la figura 5.1 se presenta las conexiones de cada uno de los componentes utilizados para ejecutar el análisis de tiempo de respuesta final que recorren los actuadores (cilindros hidráulicos) en concluir las fases de la secuencia mencionas en la tabla 5.1.

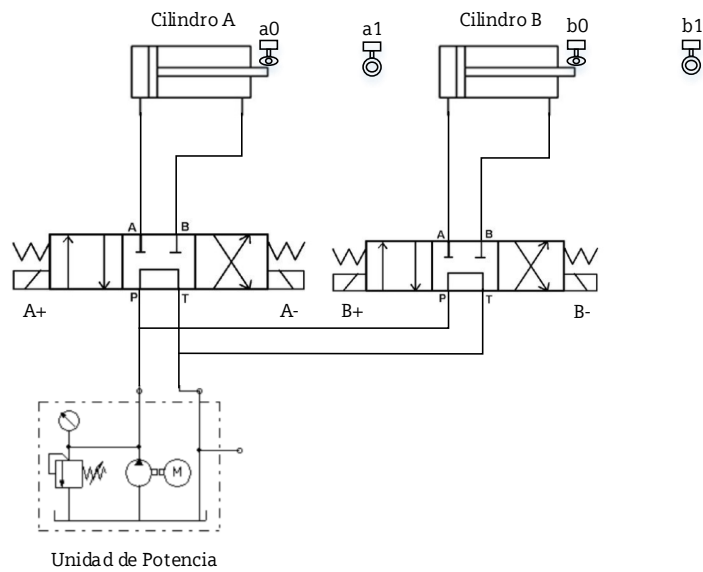


Figura 5.1 Conexiones de los componente en el sistema electrohidráulico

Para validar los resultados obtenidos se realizó 20 mediciones mismas que se pueden observar en la tabla 5.2. El número de mediciones se seleccionó en base a la metodología de la Distribución T de Student, misma que permite validar resultados cuando el número de muestras en menor a 30.

Tabla 5.2 Muestra tomadas en cada uno de los métodos de control

N° muestras	Método Secuencial	Método Cascada	Diagrama Tiempo Movimiento
1	28,988	34,786	24,060
2	28,985	34,782	24,058
3	28,983	34,780	24,056
4	28,98	34,776	24,053
5	28,977	34,772	24,051
6	28,975	34,770	24,049
7	28,972	34,766	24,047
8	28,97	34,764	24,045
9	28,967	34,760	24,043
10	29,741	35,689	24,685
11	29,738	35,686	24,683
12	29,968	35,962	24,873
13	30,199	36,239	25,065
14	29,746	35,695	24,689
15	29,234	35,081	24,264
16	29,123	34,948	24,172
17	28,857	34,628	23,951
18	28,592	34,310	23,731
19	28,326	33,991	23,511

20	29,77	35,724	24,709
----	-------	--------	--------

5.1.2. Valores promedios de cada método de control

Tabla 5.3 Valores promedios de los métodos de control electrohidráulicos

Secuencial	Cascada	Diagrama Tiempo-Movimiento
29,155 s	34,985 s	24,198 s

5.1.3. Valores de la desviación estándar de cada método de control

Tabla 5.4 Valores de la desviación estándar de cada método de control

Secuencial	Cascada	Diagrama Tiempo-Movimiento
0,487	0,584	0,404

5.1.3.1 Método Secuencial

En la figura 5.2 se representa los tiempos de respuesta que recorre el vástago de cilindro al finalizar la secuencia de trabajo teniendo como tiempo promedio de 29,205 segundos como se evidencia en la tabla 5.3.

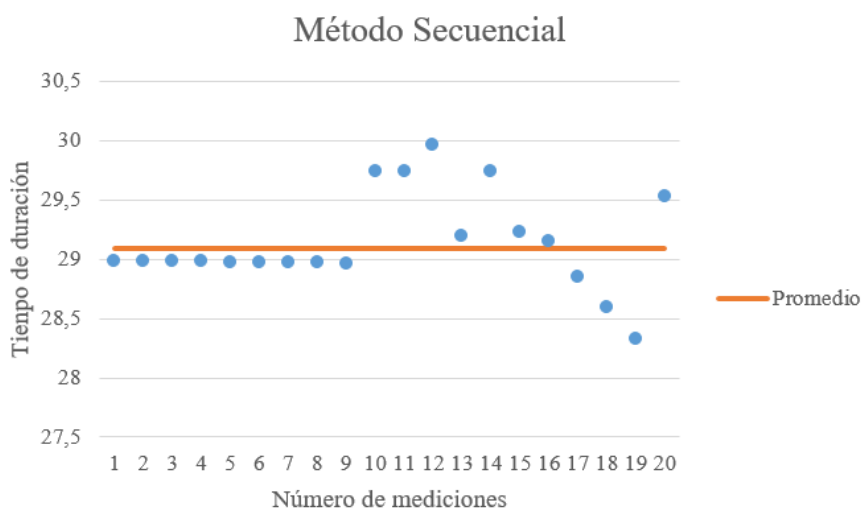


Figura 5.2 tiempos de respuesta mediante el método secuencial

5.1.3.2. Método Cascada

En la figura 5.3 se muestran los tiempos de respuesta que recorre el vástago de cilindro al finalizar la secuencia de trabajo teniendo como tiempo promedio de 34,985 segundos como se evidencia en la tabla 5.3.

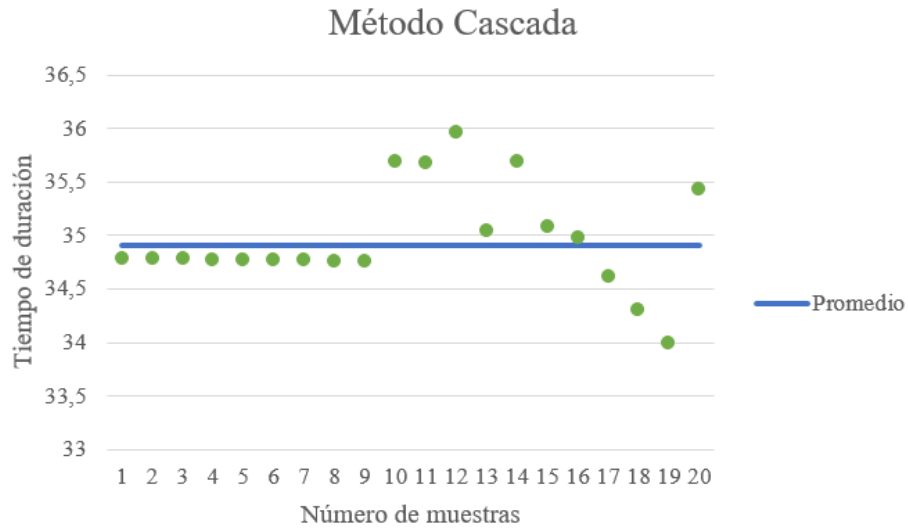


Figura 5.3 Tiempos de respuesta mediante el método cascada

5.1.3.3. Diagrama Tiempo – Movimiento

En la figura 5.4 se muestran los tiempos de respuesta que recorre el vástago de cilindro al finalizar la secuencia de trabajo teniendo como tiempo promedio de 24,239 segundos como se evidencia en la tabla 5.3.

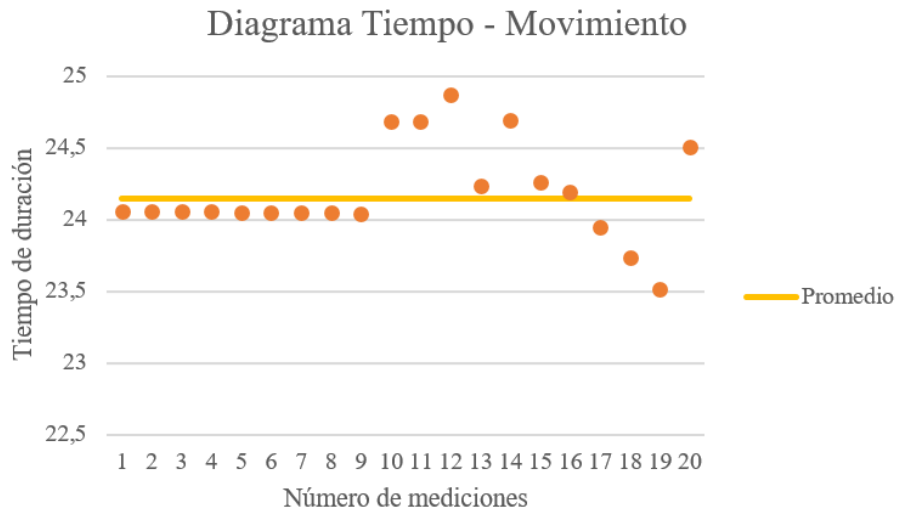


Figura 5.4 Tiempos de respuesta mediante el diagrama tiempo-movimiento.

5.2. VALIDACIÓN DE RESULTADOS MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN F-SNEDECOR Y T-STUDENT

A continuación, se detallan los parámetros a considerar mediante las metodologías distribución t de Student y distribución F de Snedecor, las cuales me servirán para seleccionar el método de

control adecuado en función al tiempo de ejecución de la secuencia de trabajo.

En la figura 5.5 se muestra de manera resumida los valores obtenidos mediante la comparación de los tiempos de respuesta de dos métodos de control electrohidráulico, como es el caso de los métodos secuencial y cascada. Estos parámetros me sirven para validar la hipótesis nula, misma que no se acepta puesto que el promedio de los tiempos de respuesta mediante el método secuencial es distinto al método cascada.

	<i>Método Secuencial</i>	<i>Método Cascada</i>
Media	29,143625	34,9723
Varianza	0,169351234	0,243964853
Observaciones	20	20
Varianza agrupada	0,206658043	
Diferencia hipotética de las media:	0	
Grados de libertad	38	
Estadístico t	-40,54559555	
P(T<=t) una cola	3,45411E-33	
Valor crítico de t (una cola)	1,68595446	
P(T<=t) dos colas	6,90821E-33	
Valor crítico de t (dos colas)	2,024394164	

Figura 5.5 Prueba de dos muestras pertenecientes a los metodos secuencial y cascada.

Como se evidencia en la figura 5.6 el valor estadístico obtenido mediante la comparación de los métodos secuencial y cascada se encuentra en la zona o región de rechazo.

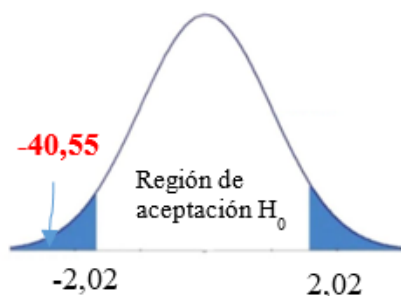


Figura 5.6 Rangos de aceptación y rechazo de la hipótesis nula en los métodos secuencial y cascada respectivamente

En la figura 5.7 se muestra de manera resumida los valores obtenidos mediante la comparación de los tiempos de respuesta de dos métodos de control electrohidráulico, como es el caso de los métodos secuencial y el diagrama tiempo-movimiento. Estos parámetros me sirven para validar la hipótesis nula, misma que tampoco se acepta puesto que el promedio de los tiempos de respuesta mediante el método secuencial es distinto al diagrama tiempo-movimiento.

	<i>Método Secuencial</i>	<i>Diagrama Tiempo Movimiento</i>
Media	29,143625	34,9723
Varianza	0,169351234	0,243964853
Observaciones	20	20
Varianza agrupada	0,206658043	
Diferencia hipotética de las media:	0	
Grados de libertad	38	
Estadístico t	-40,54559555	
P(T<=t) una cola	3,45411E-33	
Valor crítico de t (una cola)	1,68595446	
P(T<=t) dos colas	6,90821E-33	
Valor crítico de t (dos colas)	2,024394164	

Figura 5.7 Prueba de dos muestras pertenecientes a los métodos secuencial y diagrama tiempo – movimiento.

Como se observa en la figura 5.8 el valor estadístico obtenido mediante la comparación de los métodos secuencial y el diagrama tiempo movimiento se encuentra en la zona de rechazo.

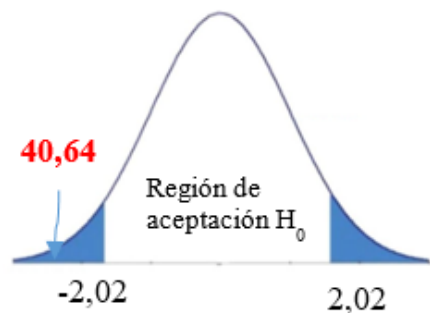


Figura 5.8 Rangos de aceptación y rechazo de la hipótesis nula en los métodos secuencial y diagrama tiempo movimiento.

En la figura 5.9 se muestra de manera resumida los valores obtenidos mediante la comparación de los tiempos de respuesta de dos métodos de control electrohidráulico, como es el caso de los métodos cascada y el diagrama tiempo-movimiento. Estos parámetros me sirven para validar la hipótesis nula, misma que tampoco se acepta puesto que el promedio de los tiempos de respuesta mediante el método cascada es distinto al diagrama tiempo-movimiento.

	<i>Método Cascada</i>	<i>Diagrama Tiempo Movimiento</i>
Media	34,9723	24,1892
Varianza	0,243964853	0,116615537
Observaciones	20	20
Varianza agrupada	0,180290195	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	38	
Estadístico t	80,30777228	
P(T<=t) una cola	2,48884E-44	
Valor crítico de t (una cola)	1,68595446	
P(T<=t) dos colas	4,9777E-44	
Valor crítico de t (dos colas)	2,024394164	

Figura 5.9 Prueba de dos muestras pertenecientes a los métodos cascada y diagrama tiempo movimiento

Como se muestra en la figura 5.10 el valor estadístico obtenido mediante la comparación de los métodos secuencial y el diagrama tiempo movimiento se encuentra en la zona de rechazo.

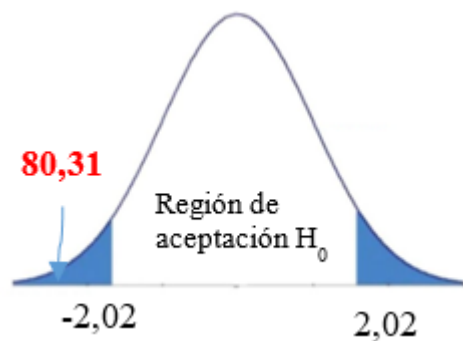


Figura 5.10 Rangos de aceptación y rechazo de la hipótesis nula en los métodos cascada y diagrama tiempo movimiento.

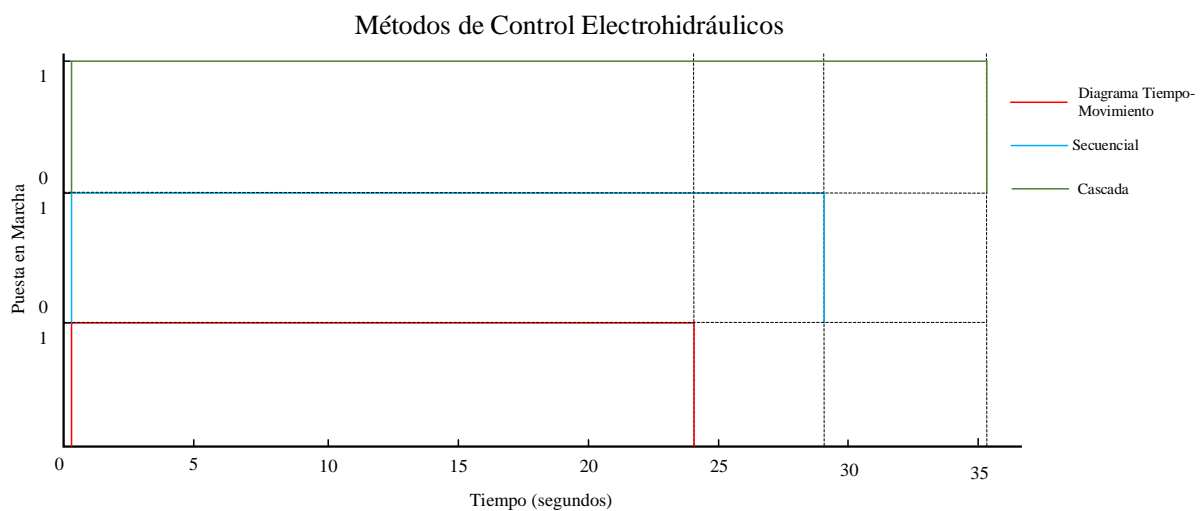


Figura 5.11 Respuesta del vástago de cilindro hidráulico en cada uno de los métodos de control electrohidráulico.

Al momento de comparar los tiempos de respuesta del vástago de cilindro hidráulico mediante cada método de control, se puede determinar que los tiempos que se obtuvieron por medio del método diagrama tiempo-movimiento son más cortos (menor tiempo en realizar la secuencia A+B+A-B-). Mediante el método cascada se puede solucionar los problemas que ocasiona el control doble en secuencias de trabajo prolongadas, mismas que utilizan más de dos actuadores (cilindros hidráulicos).

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1. PRESUPUESTO

Los materiales y suministros utilizados para el análisis del tiempo de recorrido del vástago de cilindro hidráulico en cada uno de los métodos de control mediante la utilización del banco de pruebas de control electrohidráulico se detallan en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Materiales y suministros

Materiales y suministros	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Cable flexible #16 AWG	25	\$ 0,30	\$ 7,50
Plugs Banana	40	\$ 0,15	\$6,00
Total			\$ 13,5

6.1.2. Equipos para uso directo del proyecto

A continuación, se muestran en la tabla 6.2. los costes de equipos necesarios para uso directo del proyecto de titulación.

Tabla 6.2 Costos de equipos para uso directo del proyecto

Equipos para uso directo del proyecto	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Banco de pruebas de control electrohidráulico	1	\$ 1975,50	\$ 1975,50
PC	1	\$ 950,00	\$ 950,00
Cable PC-LOGO	1	\$ 120,00	\$ 120,00
Total			\$ 3045,50

6.1.3. Costos indirectos y profesionales

A continuación, se muestran en la tabla 6.3. los costes indirectos y profesionales que se utilizó para en la presente investigación.

Tabla 6.3 Costes indirectos y profesionales

Costos indirectos y profesionales	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Mano de obra	-	-	\$ 250,00
Transportes	-	-	\$ 75,00
Total			\$ 325,00

6.1.4. Costo total

Finalmente, en la tabla 6.4. se detallan los costes totales de inversión.

Tabla 6.4 Costo total

Costo total	Valor
Materiales y suministros	\$ 13,50
Equipos para uso directo del proyecto	\$ 3045,50
Costos indirectos y profesionales	\$ 325,00
Costo Total	\$ 3384,00

6.2. ANÁLISIS DE IMPACTOS

Para realizar un análisis de impactos se procede a identificar los posibles impactos que intervienen de forma directa en tema investigado “Análisis de tiempo de respuesta del vástago de cilindro hidráulico aplicando el método secuencial cascada y el diagrama tiempo movimiento”

6.2.1. Impacto práctico

Mediante la comparación del tiempo de respuesta del vástago de cilindro en cada uno de los métodos de control electrohidráulicos permite interactuar de manera práctica con elementos de control y maniobra, permitiendo así seleccionar el método adecuado para realizar la secuencia de trabajo.

6.2.2. Impacto tecnológico

Mediante este proyecto de investigación se aprovecha el avance tecnológico en los métodos de control electrohidráulicos, mediante la utilización de un banco de pruebas de control electrohidráulico se evidencia el uso de tecnologías como son la hidráulica y la electricidad. Estas tecnologías permiten la comunicación hombre-máquina, permitiendo al operario interactuar de manera directa en el proceso.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

7.1. CONCLUSIONES

- Cada uno de los métodos de control electrohidráulicos, presentan diferentes estructuras, ventajas y desventajas dependiendo la secuencia de trabajo, considerando que el método secuencial no permite solucionar la presencia de control doble.
- Mediante el funcionamiento de la secuencia de trabajo A+B+A-B- se determina la estructura de cada uno de los métodos de control electrohidráulicos, corroborando mediante la distribución T de Student el tiempo de respuesta es más favorable
- El método diagrama tiempo-movimiento nos entrega como resultado tiempos de respuestas más cortos al momento de cumplir la secuencia de trabajo, siendo de 24,189 segundos su tiempo promedio, además este método se destaca por permitir solucionar la presencia de control doble en secuencias de trabajo con mayor grado de complejidad.

7.2. RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema SCADA para la visualización de manera gráfica de cada uno de los métodos de control empleados en la presente propuesta tecnológica.
- Identificar mediante la secuencia de trabajo cual es el método de control más adecuado a utilizar para que no exista problemas al momento de ejecutar dicha secuencia.
- Manipular de manera adecuada los elementos del banco de pruebas de control electrohidráulico al momento de realizar prácticas de laboratorio o secuencias con un grado de complejidad alto.
- Realizar un mantenimiento correctivo después de realizar prácticas de laboratorio para verificar posibles fugas en las tuberías del sistema.

8. BIBLIOGRAFÍA:

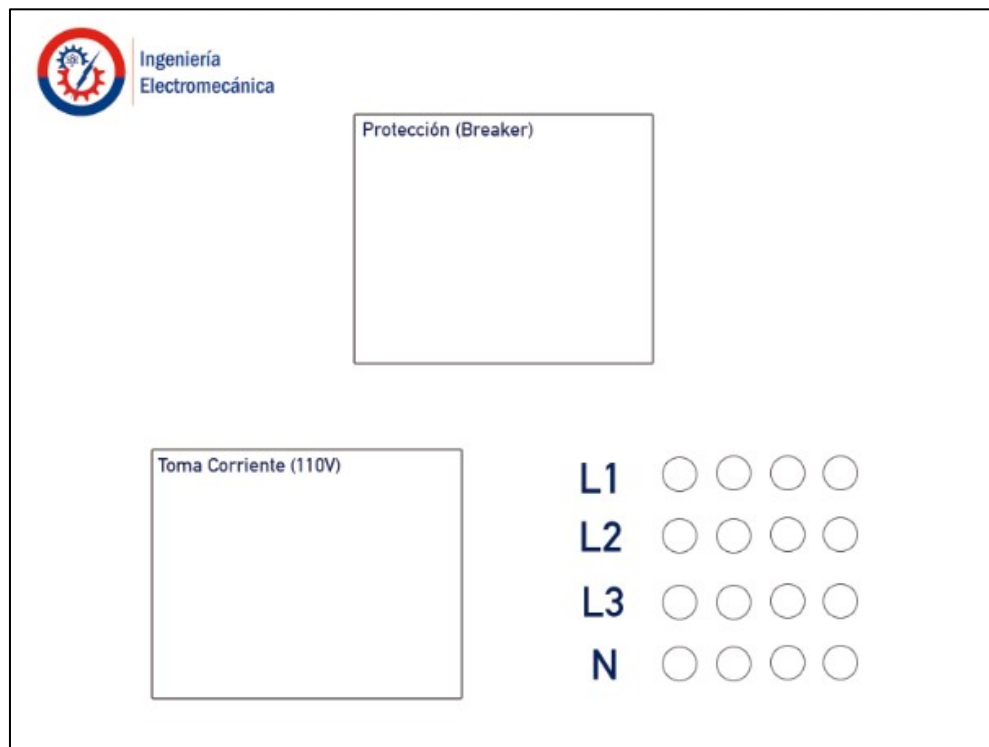
- [1] W. O. Quishpe Ortiz, E. D. Veloz Martínez y C. Gallardo, «Diseño y construcción de un banco de pruebas de control electrohidráulico del laboratorio oleoneumático de la carrera de ingeniería electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi en el período 2012-2013,» UTC, Latacunga, 2013.
- [2] E. García Moreno, Automatización de procesos industriales, A. J. Hervas y R. J. Villanueva Micó, Edits., Universidad Politécnica de València, 1999.
- [3] D. F. Molina Hidalgo y E. H. Moreano Martínez, «Diseño y construcción de un sistema HMI/SCADA de un brazo neumático para la clasificación automática de envases,» ESPE-Latacunga, Latacunga, 2006.
- [4] P. Bueno Márquez, «Mecánica de fluidos para la transformación de polimeros,» de *Operatividad con sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos de máquinas e instalaciones para la transferencia de polímeros y su mantenimiento*, Primera ed., Antequera, Málaga: IC Editorial, 2013, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/43775?page=102>.
- [5] A. Lázaro López, Manual de hidráulica, San Vicente: Publidisa.
- [6] VICKERS, Manual de hidráulica industrial, México: VYCMEX.
- [7] J. Moreno Castro, «Definición de fluido,» de *Bombas Hidráulicas*, Segunda ed., Málaga, ICB, 2011, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/59560?page=10>.
- [8] A. Creus Solé, «Actuadores hidráulicos,» de *Neumática e Hidráulica*, Barcelona, Marcombo, 2007, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/45915?page=158>.
- [9] J. Roldán Vilorio, «Hidráulica,» de *Neumática, Hidráulica y Electricidad Aplicada*, Madrid, Paraninfo, 1989, pp. 129-183.
- [10] P. Bueno Márquez, «Sistemas neumáticos, electroneumáticos, hidráulicos y electro-hidráulicos en equipos e instalaciones para la transformación de polímeros,» de *Operatividad con sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos de máquinas e instalaciones para la transformación de polímeros y su mantenimiento (UF0722)*, Primera ed., Antequera, Málaga: IC Editorial, 2013, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/43775?page=142>.
- [11] J. Amaro Cosme, «Hidráulica (Oleohidráulica),» de *Aplicación de la neumática e hidráulica en Electrotecnia*, 2015, pp. 12-42.

- [12] UPCGRAU, «Instalaciones oleohidráulicas,» de *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*, Primera ed., Barcelona, Iniciativa Digital Politécnica, 2011, pp. 351-391.
- [13] A. Creus Solé, «Motores Hidráulicos,» de *Neumática e Hidráulica*, Barcelona, Marcombo, 2007, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/45915?page=301>.
- [14] S. d. I. Heras Jiménez, «Bombas hidráulicas,» de *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*, Primera ed., J. Soldevila, Ed., Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya, 2011, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/52173?page=121>.
- [15] R. Castillo Jiménez, «Automatización hidráulica de bienes de equipos,» de *UF0459: Montaje y reparación de sistemas neumáticos e hidráulicos, bienes de equipo y máquinas industriales*, Primera ed., Málaga, IC Editorial, 2011, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/54241?page=73>.
- [16] U. Sánchez Domínguez, «Introducción a las máquinas hidráulicas,» de *Máquinas hidráulicas*, San Vicente (Alicante), ECU, 2013, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/42544?page=13>.
- [17] A. Systems, «Sobre FluidSIM,» de *FESTO*, 2003, p. 8.
- [18] R. Castillo Jiménez, de *Montaje y reparación de sistemas neumáticos e hidráulicos y máquinas industriales*, Primera ed., Antequera, Málaga: IC Editorial, 2011, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/54241?page=107>.
- [19] J. Bouza Fernández, Artist, *Desarrollo y optimización de metodologías para el diseño e implementación de sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos eficientes*. [Art]. Universidade da Coruña, 2015.
- [20] A. Rodríguez Hernández, «Representación, simbología e instalación de automatismos eléctricos,» de *Montaje y reparación de automatismos eléctricos*, Primera ed., Antequera, Málaga: IC Editorial, 2012, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/54336?page=117>.
- [21] P. A. Daneri, «El PLC en los Sistemas de Control,» de *PLC, Automatización y Control Industrial*, Primera ed., Buenos Aires, Hispano Americana HASA, 2008, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/66558?page=29>.
- [22] A. Creus Solé, «Instalaciones,» de *Neumática e Hidráulica*, Barcelona, Marcombo, 2007, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/45915?page=301>.

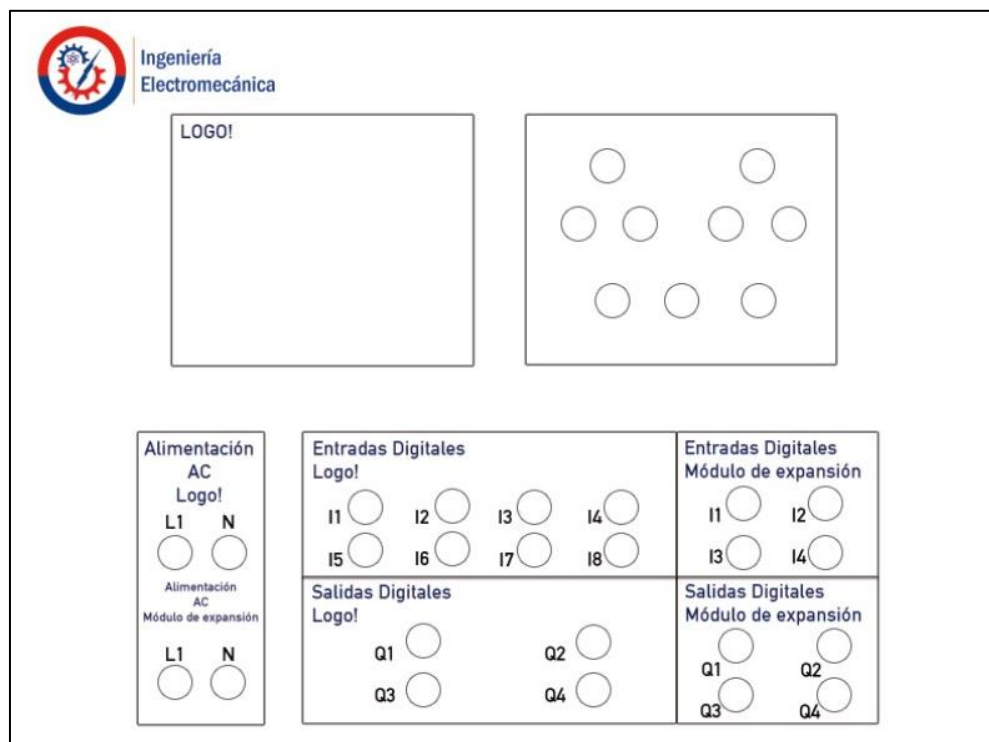
- [23] J. Moreno Castro, «Bombas hidráulicas,» de *Bombas Hidráulicas*, Segunda ed., Málaga, ICB, 2011, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/59560?page=31>.
- [24] J. Roldán Vilora, «Automatismos Eléctricos,» de *Neumática, Hidráulica y Electricidad Aplicada*, Madrid, Paraninfo, 1989, pp. 23-30.
- [25] Á. A. Bayod Rújula, J. B. Arroyo García, J. L. Bernal Agustín, E. S. Carod Pérez, M. Á. García García y J. M. Yusta Loyo, «Protecciones,» de *Fundamentos de sistemas eléctricos*, Primera ed., Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/41935?page=333>.
- [26] J. Roldán Viloria, «Esquemas Hidráulicos,» de *Neumática, Hidráulica y Electricidad*, Madrid, Paraninfo, 1989, pp. 141-165.
- [27] A. Guillén Salvador, «Mandos para equipos neumáticos,» de *Aplicaciones industriales de la neumática*, Barcelona, Marcombo, 2009, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/45844?page=21>.
- [28] J. C. Vásquez Cortés, J. P. Cardona Guio y J. J. Leal Gómez, «Circuitos neumáticos diseño por método cascada,» de *Automatización Neumática*, Primera ed., Bogotá, Ediciones de la U, 2015, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/70261?page=169>..
- [29] J. C. Vásquez Cortés y J. P. Cardona Guio, «Método de diseño cascada,» de *Automatización Electroneumática Métodos Sistemáticos*, Primera ed., Bogotá, Ediciones de la U, 2017, p. <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/93364?page=130>.
- [30] SIEMENS, *LOGO!*, Nuernberg: Siemens AG, 2003.
- [31] J. L. Villanueva Montoto, «CADE SIMU,» 2020. [En línea]. Available: <https://cade-simu.com/>. [Último acceso: 13 Febreo 2022].
- [32] S. Simatic, *Controlador Programable S7-1200*, NÜRNBERG: Siemens AG, 2018.
- [33] B. Nekrasov, «La hidráulica y su aplicación,» de *Hidráulica*, Moscú, MIR, 1968, pp. 9-15.

9. ANEXOS:

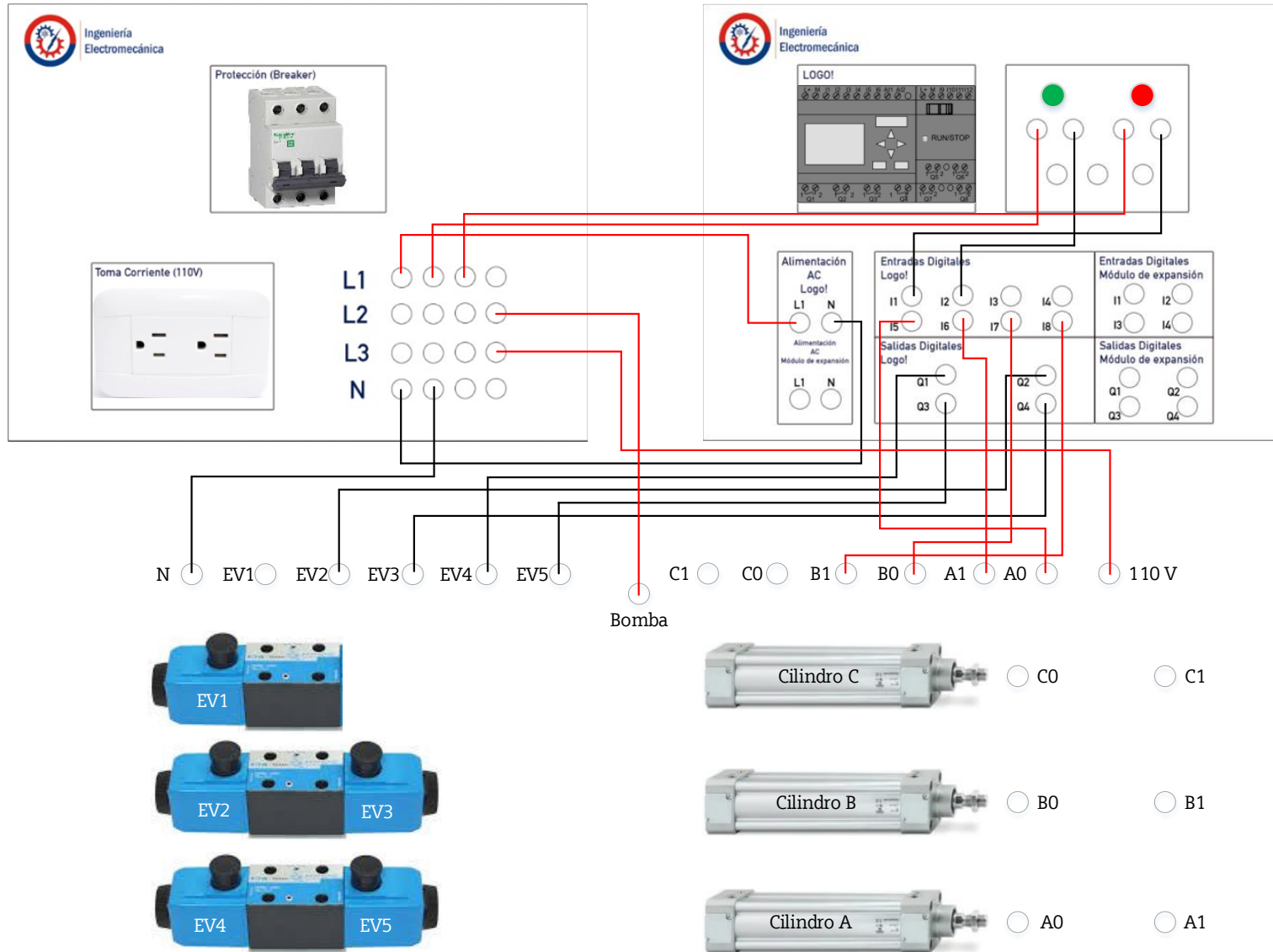
Anexo A: Diseño de botonera para alimentación



Anexo B: Diseño de botonera para LOGO! 230RC



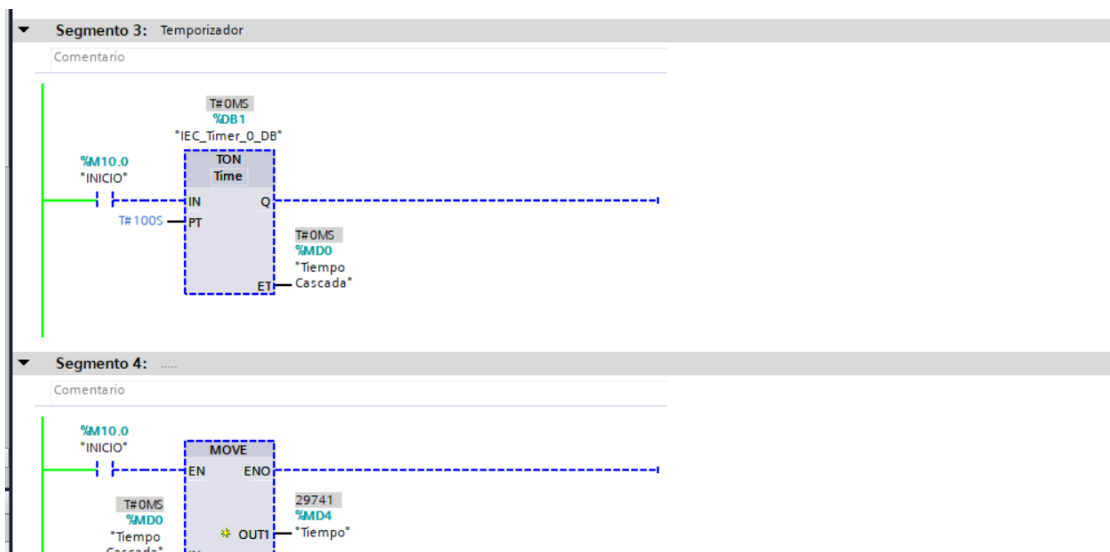
Anexo C: Conexiones de los elementos de mando (Pulsadores)



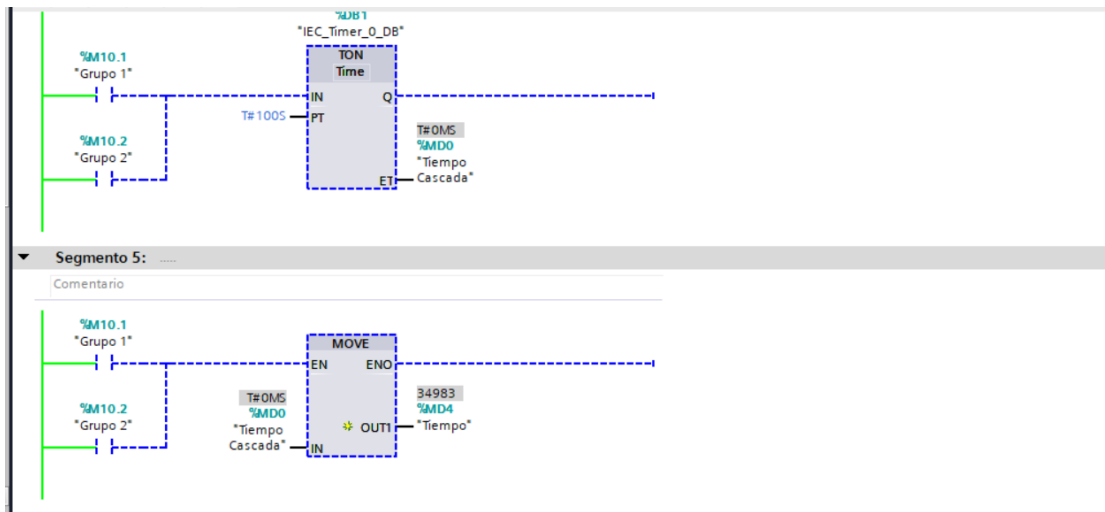
Anexo D: Banco de pruebas de control electrohidráulico



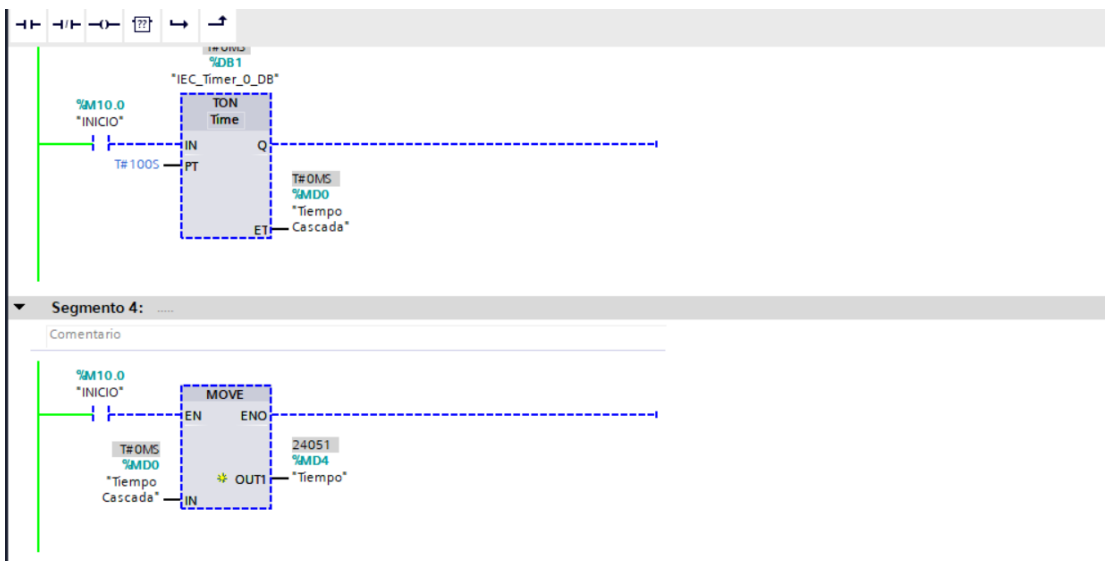
Anexo E: Tiempo de respuesta del vástago del cilindro hidráulico aplicando el método secuencial



Anexo F: Tiempo de respuesta del vástago del cilindro hidráulico aplicando el método cascada.



Anexo G: Tiempo de respuesta del vástago del cilindro hidráulico aplicando el método diagrama tiempo-movimiento



Anexo H: Tabla de distribución de F SNEDECOR

GRADOS DE LIBERTAD numerador → 1

↓ denominador

Probabilidad acumulada

	0.005	0.010	0.025	0.050	0.100	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	0.975	0.980	0.990
1	0.000	0.000	0.002	0.006	0.025	5.828	9.472	17.35	39.86	161.4	647.8	1013	4052
2	0.000	0.000	0.001	0.005	0.020	2.571	3.556	5.207	8.526	18.51	38.50	48.50	98.49
3	0.000	0.000	0.001	0.005	0.019	2.024	2.682	3.703	5.538	10.13	17.44	20.62	34.12
4	0.000	0.000	0.001	0.004	0.018	1.807	2.351	3.162	4.545	7.709	12.22	14.04	21.20
5	0.000	0.000	0.001	0.004	0.017	1.692	2.178	2.888	4.060	6.608	10.01	11.32	16.26
6	0.000	0.000	0.001	0.004	0.017	1.621	2.073	2.723	3.776	5.987	8.813	9.876	13.75
7	0.000	0.000	0.001	0.004	0.017	1.573	2.002	2.613	3.589	5.591	8.073	8.988	12.25
8	0.000	0.000	0.001	0.004	0.017	1.538	1.951	2.535	3.458	5.318	7.571	8.389	11.26
9	0.000	0.000	0.001	0.004	0.017	1.512	1.913	2.477	3.360	5.117	7.209	7.961	10.56
10	0.000	0.000	0.001	0.004	0.017	1.491	1.883	2.431	3.285	4.965	6.937	7.638	10.04
11	0.000	0.000	0.001	0.004	0.017	1.475	1.859	2.395	3.225	4.844	6.724	7.388	9.646
12	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.461	1.839	2.365	3.177	4.747	6.554	7.188	9.330
13	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.450	1.823	2.341	3.136	4.667	6.414	7.024	9.074
14	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.440	1.809	2.320	3.102	4.600	6.298	6.888	8.862
15	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.432	1.797	2.302	3.073	4.543	6.200	6.773	8.683
16	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.425	1.787	2.287	3.048	4.494	6.115	6.674	8.531
17	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.419	1.778	2.273	3.026	4.451	6.042	6.589	8.400
18	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.413	1.770	2.261	3.007	4.414	5.978	6.515	8.285
19	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.408	1.763	2.251	2.990	4.381	5.922	6.449	8.185
20	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.404	1.757	2.241	2.975	4.351	5.871	6.391	8.096
21	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.400	1.751	2.233	2.961	4.325	5.827	6.339	8.017
22	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.396	1.746	2.225	2.949	4.301	5.786	6.292	7.945
23	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.393	1.741	2.218	2.937	4.279	5.750	6.249	7.881
24	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.390	1.737	2.212	2.927	4.260	5.717	6.211	7.823
25	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	1.387	1.733	2.206	2.918	4.242	5.686	6.176	7.770