



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
ENERGÍA Y MECÁNICA.**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA.

TÍTULO DEL PROYECTO:

**“AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO PARA ANÁLISIS DE LA
ACELERACIÓN DE CORIOLIS CON ANALOGÍA HIDRÁULICA PARA EL
LABORATORIO DE MECANISMOS DE LA ESPE”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO MECATRÓNICO.**

REALIZADO POR:

**ALEX PAUL QUINTEROS BUITRÓN.
SILVIA CRISTINA VILLAGÓMEZ GARZÓN.**

DIRECTOR: ING. JAIME ECHEVERRÍA.

CODIRECTOR: ING. HUGO ORTÍZ.

SANGOLQUÍ, 2014.

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO PARA ANÁLISIS DE LA ACELERACIÓN DE CORIOLIS CON ANALOGÍA HIDRÁULICA PARA EL LABORATORIO DE MECANISMOS DE LA ESPE**”, fue realizado en su totalidad por el señor **ALEX PAUL QUINTEROS BUITRÓN** y la señorita **SILVIA CRISTINA VILLAGÓMEZ GARZÓN**, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

ING. JAIME ECHEVERRÍA

DIRECTOR

ING. HUGO ORTIZ

CODIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Alex Paul Quinteros Buitrón y Silvia Cristina Villagómez Garzón declaramos que el presente trabajo es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluye en el documento. La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo según lo establecido por la ley de propiedad intelectual por su reglamento y por la normativa institucional vigente

ALEX P. QUINTEROS B.

S. CRISTINA VILLAGÓMEZ G.

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Alex Paul Quinteros Buitrón y Silvia Cristina Villagómez Garzón autorizamos a que se publique en el repositorio digital de la biblioteca Alejandro Segovia el presente proyecto de tesis, así como también los materiales y documentos relacionados a la misma.

Título de tesis:

“AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO PARA ANÁLISIS DE LA ACELERACIÓN DE CORIOLIS CON ANALOGÍA HIDRÁULICA PARA EL LABORATORIO DE MECANISMOS DE LA ESPE”

ALEX P. QUINTEROS B.

S. CRISTINA VILLAGÓMEZ G.

DEDICATORIA

Por todo el amor incondicional que me dan día a día, por guiarme en cada paso que doy, por estar pendiente a cada segundo de mí y porque son los mejores maestros en mí vida.

A ustedes, *Patricio y Raquel*, mis padres.

A tí *Geovanny* por ser el mejor ejemplo en el transcurso de mi vida, por demostrarme lucha y perseverancia para conseguir todo lo que te propones.

A la razón de mi vida, a mi pilar fundamental, a aquella que me entrega ese amor puro y sincero que solo una hermana lo hace de manera incondicional, para ti mi Camilita.

Porque lo VI, FUI y VENCÍ, a mi amigo y hermano el Ingeniero Daniel Gonzalez que me ha acompañado en los mejores momentos de mi vida.

A todos los guerreros y voluntarios que forman parte de la Fundación Jóvenes Contra el Cáncer, por permitirme ser parte de esta gran labor y de esa familia que lo entrega todo hasta lo que no tiene a cambio de nada.

ALEX P. QUINTEROS B

DEDICATORIA

A mis padres que me han regalado un hogar pleno de paz y felicidad, y me han apoyado en todo lo que me he propuesto.

A mis hermanos, mis cómplices, mis primeros y mejores amigos.

A toda mi familia, son un pilar fundamental en mi vida.

A mi familia ampliada, mis amigos.

A mi angelito Miriam, que siempre estará en mis pensamientos y en mi corazón.

Y para Agapimu, por siempre estar junto a mí y por alegrar mi vida.

S. CRISTINA VILLAGÓMEZ G.

AGRADECIMIENTO

A aquel que siempre ha estado a mi lado acompañándome, sin que nadie pueda ver su presencia, GRACIAS DIOS MIO porque me das fuerza, salud y vida para cumplir mis metas.

Gracias a mis padres por el esfuerzo, sacrificio y por todos sus consejos. Gracias por creer en mí, esto es la única manera que les puedo recompensar, demostrándoles que todo su sacrificio no ha sido en vano.

Gracias a mis hermanos Camila y Geovanny que son mi mayor motivación para alcanzar mis metas.

Gracias mi novia Gaby por ser la persona que me dio el último empujón que necesitaba para culminar mi tesis.

Un agradecimiento especial a mi amiga Cristina Villagómez por todo el tiempo que entrego para culminar este trabajo. De igual manera gracias a toda su familia Villagómez Garzón porque me acogieron como parte de su familia durante este proceso.

A todos mis amigos, compañeros y profesores que me acompañaron en el transcurso de este largo camino universitario, porque todos pusieron un granito de arena para culminar esta etapa tan importante en mi vida.

ALEX P. QUINTEROS B.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todos quienes han participado en el desarrollo de este proyecto.

A mis padres, mis hermanos y toda mi familia por su apoyo incondicional y por siempre estar a mi lado.

A Dios por todos los regalos que me ha dado en la vida.

A los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por la paciencia y destreza para compartírnos su conocimiento.

Un agradecimiento especial a mi compañero de tesis Alex Quinteros, que más allá de ser un gran profesional tengo el privilegio de llamarlo mi amigo. Ha sido un placer trabajar junto a ti.

S. CRISTINA VILLAGÓMEZ G.

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
CONTENIDO	viii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABLAS	xxiii
RESUMEN	xxx
ABSTRACT	xxxí
CAPÍTULO 1.....	1
Generalidades	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación e importancia.....	3
1.4 Alcance	5
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivo general	6
1.5.2 Objetivos específicos	7
CAPÍTULO 2.....	8
Marco teórico	8
2.1 Qué es la aceleración de Coriolis y su analogía hidráulica.....	8

2.2	Descripción de un equipo de laboratorio para aceleración de Coriolis.	11
2.3	Mecanismos de apertura y cierre.....	13
2.3.1	Mecanismos tipo tijera.....	14
2.3.2	Mecanismos deslizantes	18
2.3.2.4	Actuador primordial en mecanismos de elevación: cilindro neumático.....	23
2.4	Sistemas eléctricos y electrónicos.	27
2.4.1	Sistemas eléctricos	27
2.4.2	Sistemas electrónicos	36
2.5	Controladores	51
2.5.1	DAQ (Data Acquisition)	51
2.5.2	Placa ARDUINO.....	52
2.5.3	PLC (Controlador Lógico Programable)	53
2.6	Sistemas HMI.	55
	CAPÍTULO 3.....	60
	Diseño Mecatrónico.....	60
3.1	Introducción	60
3.2	Planteamiento de problemas	62
3.3	Análisis de alternativas para la máquina.....	65
3.4	Selección de las alternativas	66
3.4.1	Matriz de priorización de alternativas.....	67
3.4.2	Descripción de la alternativa seleccionada.	71
3.5	Diseño del mecanismo.....	78
3.5.1	Diseño del mecanismo de apertura y cierre.	78
3.5.2	Cálculos y experimentación de la capacidad del mecanismo.....	82

3.6	Re-diseño de la estructura principal.	109
3.6.1	Re-diseño de la estructura para nuevos componentes.	109
3.7	Sustitución de elementos averiados.	119
3.7.1	Reemplazo de pernos aislados.	119
3.7.2	Sustitución de elementos fracturados o agrietados	120
3.8	Diseño eléctrico-electrónico.	123
3.8.1	Diseño sistema eléctrico	123
3.8.2	Diseño sistema electrónico	134
CAPÍTULO 4	151
Implementación	151
4.1	Selección y Fabricación	151
4.1.1	Mecanismo de apertura y cierre.	151
4.1.2	Elementos de soporte estructural.	183
4.1.3	Dispositivos eléctricos y electrónicos	201
4.2	Instalación.....	216
4.2.1	Mecánica.....	216
4.2.2	Eléctrica	223
4.2.3	Electrónica	227
4.2.4	Software	232
CAPITULO 5	246
Pruebas	246
5.1	Pruebas mecánicas.	246
5.1.1	Análisis de esfuerzos en el mecanismo tipo tijera	246
5.1.2	Análisis de esfuerzos en la estructura modificada	249
5.2	Pruebas eléctricas y electrónicas	252

5.2.1 Sensor de control de nivel.	252
5.2.2 Sensor contador de revoluciones.	253
5.2.3 Sensor palpador.	255
5.2.4 Válvula proporcional.	256
5.3 Pruebas de maquina en funcionamiento.....	259
5.3.1 Pruebas de funcionamiento del mecanismo.....	259
5.4 Resultados.....	260
5.4.1 Resultados de la práctica realizada posterior a la automatización.....	260
CAPITULO 6.....	267
Análisis económico y financiero	267
6.1 Análisis de costos.	267
6.2 Análisis económico.	275
CAPITULO 7.....	276
Conclusiones y Recomendaciones.....	276
7.1 Conclusiones	276
7.2 Recomendaciones	278
BIBLIOGRAFÍA.....	279
ANEXOS.....	285
A. Guía de prácticas.....	285
B. Manual de usuario	285
C. Planos.....	285
C1. Plano Brazo del Mecanismo tipo Tijera	285
C2. Plano Perfil Soporte Inferior Derecho del Mecanismo.....	285
C3. Plano Perfil Soporte Inferior Izquierdo del Mecanismo.....	285
C4. Plano Perfil Soporte Superior Derecho del Mecanismo	285

C5. Plano Perfil Soporte Superior Izquierdo del Mecanismo	285
C6. Plano Platina Para Ajuste de Rodamiento	285
C7. Plano Ensamble – Mecanismo Tipo Tijeras	285
C8. Plano Ensamble Mecanismo de Apertura y Cierre de la Tapa	285
C9. Plano Brazo de Soporte Frontal Derecho.....	285
C10. Plano Brazo de Soporte Posterior Derecho	285
C11. Plano Brazo de Soporte Frontal Izquierdo	285
C12. Plano Brazo de Soporte Posterior Izquierdo	285
C13. Plano Placa de Unión Para Brazo de Soporte	285
C14. Plano Acople Mecanismo – Tapa.....	285
C15. Plano Acople de Sujeción	285
C16. Plano Chumacera.....	285

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Parámetros para análisis de Aceleración de Coriolis.....	4
Figura 2: Aceleración de Coriolis en una corredera	9
Figura 3: Analogía hidráulica para la Aceleración de Coriolis	10
Figura 4: Diagrama Esquemático del Equipo.....	12
Figura 5: Principio de funcionamiento mecanismo tipo tijera	15
Figura 6: Actuadores para mecanismo tipo tijera.....	15
Figura 7: Relaciones de longitud de brazo, desplazamiento y de sección del mecanismo de tijera	18
Figura 8: Elevador sincronizado de tornillo	19
Figura 9: Mecanismo de elevación de cables y poleas.....	20
Figura 10: Elevación con pistón y nivelación con cables y poleas	22
Figura 11: Elevación con pistón y nivelación con piñón cremallera	23
Figura 12 Esquema de un cilindro doble efecto	24
Figura 13: Distribución de un motor de excitación derivación	27
Figura 14: Característica mecánica de un motor derivación, $n =$ fIi	29
Figura 15: Característica mecánica de un motor de derivación.	30
Figura 16: Conexión del reóstato para regular la velocidad en un motor shunt.....	31
Figura 17: Bomba centrífuga de baja presión	32

Figura 18: Bomba centrífuga y sus partes	32
Figura 19: Esquema de ubicación de un fusible.	35
Figura 20: Tipos de fusibles y curvas características de fusión	36
Figura 21: Funcionamiento de una Válvula proporcional motorizada	38
Figura 22: Curva de funcionamiento de una Válvula proporcional.....	39
Figura 23: Sensor palpador resistivo	40
Figura 24: componentes de un sensor capacitivo.....	44
Figura 25: Sonda de nivel hidrostática.....	46
Figura 26 Principio ultrasónico.....	47
Figura 27: Diferentes tipos de sensores fotoeléctricos (SIEMENS AG)	48
Figura 28 Diagrama de funcionamiento de un sensor efecto Hall.....	50
Figura 29: Partes de un sistema de adquisición de datos.....	51
Figura 30. Placa Arduino Uno	53
Figura 31: Elementos de un sistema mecatrónico	60
Figura 32: Distribución de soportes y brazos del mecanismo tipo tijera	71
Figura 33: Brazo del mecanismo tipo tijera.....	72
Figura 34: Disposición de los brazos del mecanismo tipo tijera.....	72
Figura 35: Soporte del mecanismo tipo tijera.....	73

Figura 36: Ranura de deslizamiento y guía con rodamiento para el mecanismo tipo tijera	73
Figura 37: Acople del cilindro neumático al mecanismo tipo tijera	74
Figura 38: Terminales digitales en placas ARDUINO	76
Figura 39: Mecanismo de tijera comprimido y estirado	78
Figura 40: Dimensiones requeridas para el funcionamiento correcto del mecanismo tipo tijera	79
Figura 41: Dimensión del brazo y longitud horizontal del mecanismo.....	80
Figura 42: Tapa del tanque transparente de plexiglás	81
Figura 43: Esquema del mecanismo de apertura en el equipo	82
Figura 44: Diagrama del cuerpo libre mecanismo tipo tijera equilibrado	85
Figura 45: Diagrama del cuerpo libre brazo 1 mecanismo equilibrado	86
Figura 46: Diagrama del cuerpo libre brazo 2 mecanismo equilibrado	86
Figura 47: Distribución de los brazos del mecanismo tipo tijera	88
Figura 48: Diagrama del cuerpo libre para el soporte superior del mecanismo.....	89
Figura 49: Diagramas del cuerpo libre para los brazos del mecanismo.....	90
Figura 50: Selección del material para el mecanismo considerando esfuerzos y costos.....	93

Figura 51: Listado de materiales (CES)	93
Figura 52: Descomposición de fuerzas en el brazo 1 en ejes X' y Y'	95
Figura 53: Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el brazo 1	96
Figura 54: Sección de la platina en el punto de análisis de esfuerzos.	97
Figura 55: Diagrama de fuerza de compresión en el brazo 1	98
Figura 56: Descomposición de fuerzas en el brazo 2 en ejes x'' y y''	100
Figura 57: Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el brazo 2.....	102
Figura 58: Diagrama de fuerza de compresión del brazo 2	103
Figura 59: Esquema de un cilindro de doble efecto	105
Figura 60 Compresor Festo MecLab	107
Figura 61 Fuerzas teórica que actúan en un cilindro.	108
Figura 62: Brazos de soporte adicionales para sujetar el mecanismo de apertura y cierre.....	109
Figura 63: Distribución de fuerzas en el soporte inferior del mecanismo.....	110
Figura 64: Brazo de soporte para sujeción del mecanismo tipo tijera.....	111
Figura 65: Distribución de fuerza y momento en el brazo de soporte.....	112

Figura 66: Vector de momento en el brazo de soporte	113
Figura 67: Descomposición de momentos en los planos de la placa de fijación para el brazo de soporte	114
Figura 68: Fuerzas de tensión sobre los pernos que fijan los brazos de soporte	115
Figura 69: Fuerzas cortantes sobre los pernos que fijan los brazos de soporte.....	116
Figura 70: Soporte y rodamiento para giro del tubo "B"	118
Figura 71: Soporte superior para la tubería del equipo.....	119
Figura 72: Diagrama del cuerpo libre para el soporte superior del equipo	120
Figura 73: Dimensiones generales del tubo "A"	122
Figura 74: Tubo "A"	122
Figura 75: Diagrama de conexiones internas del panel de control	124
Figura 76 Placa de identificación de la bomba Stuart Turner	127
Figura 77 Placa de identificación del motor	129
Figura 78 Diagrama de conexión del motor Shunt.....	129
Figura 79 Diagrama de distribución de conexión con la red	131
Figura 80 Diagrama de conexión eléctrica de los dispositivos del equipo	133
Figura 81 Curva de desempeño de un sensor ultrasónico.....	135
Figura 82 Distancia del nivel desde la boca del tubo central	135

Figura 83 Diagrama de ubicación de un sensor ultrasónico	136
Figura 84 Palpador de reloj.....	136
Figura 85 Sensor de efecto Hall.....	138
Figura 86: Diagrama de conexión neumático	140
Figura 87: Diagrama de activación del solenoide de la válvula electro-neumática	140
Figura 88: Esquema típico de un sistema de control de nivel.....	141
Figura 89: Esquema de un sistema de control de nivel.	142
Figura 90: Respuesta de una planta a un escalón unitario	145
Figura 91: Curva de respuesta de una planta ante un escalón unitario	145
Figura 92: Respuesta de la planta de laboratorio ante un escalón unitario	147
Figura 93: Parámetros de control en la respuesta de la planta.....	147
Figura 94: Diagrama de bloques control de nivel.....	148
Figura 95: Falla por desgarramiento	152
Figura 96: Distancias y separaciones entre agujeros y al borde en uniones atornilladas	154
Figura 97: Disposición de arandelas y tuercas para sujeción de brazos	160
Figura 98: Diagrama de Flujo Fabricación de brazo	173
Figura 99: Diagrama de Flujo Fabricación Soporte del mecanismo.....	175

Figura 100: Diagrama de Flujo Fabricación platina adicional	177
Figura 101: Diagrama de Flujo Fabricación Acoples para la tapa.....	179
Figura 102: Diagrama de Flujo Fabricación Acoples de regulación	181
Figura 103: Placa para sujeción de brazos de soporte a la estructura.....	185
Figura 104: Longitud requerida para fijar la placa de soporte a la estructura.....	187
Figura 105: Procesos de unión de soldadura para aceros.....	190
Figura 106: Comparación de garganta de soldadura electrodos E6010 y E6011	192
Figura 107: Diagrama de Flujo Fabricación Platina de Sujeción.....	196
Figura 108: Diagrama de Flujo Fabricación Brazos de la Estructura	198
Figura 109: Fabricación de soporte para rodamiento	200
Figura 110 Sensor ultrasónico Arduino HC-SR04.....	201
Figura 111 Sensor palpador marca Novotechnik.....	202
Figura 112: Sensor de efecto Hall.....	203
Figura 113 Válvula proporcional marca Winner	204
Figura 114 Electroválvula neumática 5/2 marca Midman	205
Figura 115 Controlador Arduino UNO.....	207
Figura 116 Modulo de relé Wrobot.....	210
Figura 117: Salida analógica a partir de una señal PWM	211

Figura 118 Circuito electrónico de la placa	213
Figura 119 Trazado de pistas del circuito	215
Figura 120 Placa de cobre introducida en ácido	215
Figura 121 Taladrado de agujeros en la placa.....	215
Figura 122: Placa Electrónica para rectificación de señal.....	216
Figura 123: Diagrama de flujo ensamble del mecanismo tipo tijera.....	217
Figura 124: Diagrama proceso de ensamble del mecanismo	218
Figura 125: Diagrama de flujo ensamble de brazos de soporte y placa de sujeción	219
Figura 126: Diagrama proceso de ensamble de brazos de soporte y placa de sujeción	220
Figura 127: Diagrama de flujo montaje de brazos de soporte	221
Figura 128: Diagrama proceso de ensamble de brazos de soporte y estructura principal.....	222
Figura 129: Montaje de mecanismo.....	223
Figura 130: Panel de control área eléctrica	224
Figura 131: Diagrama de conexionado eléctrico.....	225
Figura 132: Detalle del conexionado eléctrico	225
Figura 133: Instalación del acrílico de aislamiento.....	226
Figura 134: Disposición de elementos eléctricos	226
Figura 135 Panel de control área electrónica	228

Figura 136 Diagrama de disposición de señales en el controlador Arduino	229
Figura 137: Diagrama de conexionado de entradas y salidas	231
Figura 138 Estructura de secuencia plana (Flat sequence)	232
Figura 139 Estructura de un bucle while (While Loop).....	232
Figura 140 Estructura de un condicional (Case Structure)	233
Figura 141 Programación de la pantalla de inicio	233
Figura 142: Bloque de configuración de puertos	234
Figura 143: Configuración de entradas y salidas digitales.....	235
Figura 144: Programación para medir revoluciones	236
Figura 145: Programación para medir el nivel de agua	237
Figura 146: Bloque de lógica de programación de un PID.....	237
Figura 147: Programación del controlador	238
Figura 148: Programación del palpador	239
Figura 149: Ventana de inicio del HMI	240
Figura 150: Ventana de control.....	241
Figura 151: Cargas y restricciones aplicadas para simulación en el mecanismo tipo tijera	247
Figura 152: Tensiones de Von Mises en el mecanismo tipo tijera.	248
Figura 153 Deformaciones en los elementos del mecanismo.....	249
Figura 154: Cargas y restricciones aplicadas para simulación en la estructura modificada.....	250

Figura 155: Tensiones de Von Mises en la estructura modificada.....	251
Figura 156: Deformaciones en la estructura modificada.....	252
Figura 157: Medición del tubo central por medio de un flexómetro.....	253
Figura 158: Dato de la altura recibido en la pantalla HMI	253
Figura 159: Resultados del contador (motor al 30%).....	254
Figura 160: Gráfica del sensor efecto hall (motor al 30%)	254
Figura 161: Resultados del contador (motor al 40%).....	255
Figura 162: Gráfica del sensor efecto hall (motor al 40%)	255
Figura 163 Gráfica de funcionamiento del actuador	259
Figura 164: Prueba de mecanismo abierto	260
Figura 165: Gráfica Deflexión vs Fuerza.....	261
Figura 166: Gráfica Velocidad vs Deflexión (Vacío).....	263

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de cilindros	25
Tabla 2: Comparación Sensores de Nivel.....	43
Tabla 3: Código de colores para interfaces HMI	59
Tabla 4: Planteamiento de problemas para la estructura del equipo.....	63
Tabla 5: Planteamiento de problemas para medir revoluciones del motor.....	64
Tabla 6: Planteamiento de problemas para el sistema de control de nivel.	64
Tabla 7: Planteamiento de problemas para la medición de deflexión	65
Tabla 8: Ponderación de criterios para selección del mecanismo	67
Tabla 9: Matriz de priorización de alternativas para el mecanismo.....	68
Tabla 10: Ponderación de criterios para selección del controlador.....	69
Tabla 11: Matriz de priorización de alternativas para el controlador	70
Tabla 12: Características de los microcontroladores ATmega168 y ATmega8	75
Tabla 13: Características para el factor de seguridad A, B y C	83
Tabla 14: Características para el factor de seguridad D y E	84
Tabla 15: Resultados de las fuerzas en el mecanismo tipo tijera	92
Tabla 16: Fuerzas sobre en el brazo 1 descompuestas en los ejes X' y Y'	95

Tabla 17: Resultantes de las fuerzas del brazo 1 en los puntos A, B y C	96
Tabla 18: Resultados de momentos flectores y fuerzas cortantes en los tramos del brazo 1	97
Tabla 19: Resultados de las fuerzas de compresión en el brazo 1	98
Tabla 20: Fuerzas sobre en el brazo 2 descompuestas en los ejes X" y Y"	101
Tabla 21: Resultantes de las fuerzas del brazo 2 en los puntos D, E y F	101
Tabla 22: Resultados de momentos flectores y fuerzas cortantes en el brazo 2	102
Tabla 23: Resultados de las fuerzas de compresión en el brazo 2	103
Tabla 24: Resumen de dimensiones de la pletina para soportar los esfuerzos requeridos en los brazos 1 y 2	105
Tabla 25: Resumen de requerimientos del cilindro neumático para accionar el mecanismo.	109
Tabla 26: Fuerzas sobre los brazos de soporte del mecanismo	111
Tabla 27: Longitudes de los brazos de soporte largo y corto.....	112
Tabla 28: Momentos en los brazos de soporte	113
Tabla 29: Momento normal y tangencial a la placa de fijación.....	114
Tabla 30: Fuerzas de tensión en los pernos para los brazos de soporte.....	116
Tabla 31: Fuerzas cortantes en los pernos para los brazos de soporte.....	117

Tabla 32: Características del rodamiento y soporte para el tubo “B”	118
Tabla 33: Características del soporte superior del equipo	119
Tabla 34: Características del tubo “A”	121
Tabla 35: Propiedades del PLEXIGLAS	121
Tabla 36: Código de Colores del Cableado interno del panel previa automatización	125
Tabla 37: Nomenclatura de los elementos del diagrama de conexiones internas del panel de control previa automatización	126
Tabla 38: Nomenclatura de la distribución de conexión con la red	132
Tabla 39: Nomenclatura de la conexión eléctrica de los dispositivos	134
Tabla 40: Características requeridas para el sensor palpador	137
Tabla 41 Parámetros de selección de una válvula proporcional	138
Tabla 42: Requerimientos de la válvula neumática	139
Tabla 43: Cálculo de parámetros método Ziegler-Nichols en lazo abierto	146
Tabla 44: Parámetros del controlador de la planta.	148
Tabla 45: Alimentación de dispositivos para el equipo	149
Tabla 46: Distribución de entradas y salidas para el control de la planta	150
Tabla 47: Catálogo de platinas ADELCA	151

Tabla 48: Comparación de platinas comerciales con requerimientos necesarios.....	153
Tabla 49: Distancias y separaciones mínimas entre agujeros y al borde.....	154
Tabla 50: Distancias y dimensiones de la platina y los agujeros	155
Tabla 51: Catálogo de perfiles tipo U Dipacmanta.....	156
Tabla 52: Resumen de fuerzas resultantes en cada punto del mecanismo.....	157
Tabla 53: Fuerzas cortantes y diámetros de pernos sugeridos en cada punto del mecanismo.	158
Tabla 54: Extracto de dimensiones de rosca métrica desde M1 a M8.....	159
Tabla 55: Elementos y distancias que influyen en la selección de longitud de pernos del mecanismo	160
Tabla 56: Extracto norma INEN NTE 1 247 Tornillos de cabeza hexagonal de roscado total. Dimensiones (mm).....	162
Tabla 57: Resumen de especificaciones del cilindro seleccionado.....	163
Tabla 58: Características de distintos tipos de Rodamientos	165
Tabla 59: Dimensiones nominales de rodamientos una hilera de bolas y ranura profunda tipo Conrad NSK	167
Tabla 60: Duración de rodamientos en horas para diferentes tipos de máquinas	168
Tabla 61: Fuerzas actuantes sobre los rodamientos del mecanismo.....	169

Tabla 62: Proceso Fabricación Brazos del mecanismo	174
Tabla 63: Proceso Fabricación Soportes del mecanismo	176
Tabla 64: Proceso Fabricación Platina adicional	178
Tabla 65: Proceso Fabricación Acoples de sujeción de la tapa	180
Tabla 66: Proceso Fabricación Acople de Regulación.....	182
Tabla 67 Catalogo DIPACmanta de perfiles tipo U	184
Tabla 68: Distancias entre agujeros y a los bordes para la placa de sujeción.....	185
Tabla 69: Fuerzas tangencial y normal aplicadas en los pernos de sujeción de la placa de soporte.....	188
Tabla 70: Parámetros para establecer la sección resistente de los pernos para sujeción de la placa de soporte	189
Tabla 71: Extracto de Dimensiones nominales de rodamientos una hilera de bolas y ranura profunda tipo Conrad FAG, diámetros de 55 a 65 mm	194
Tabla 72: Proceso Fabricación de la placa de sujeción	197
Tabla 73: Proceso Fabricación de los brazos de soporte de la estructura.....	199
Tabla 74 Características de un sensor HC-SR04	202
Tabla 75 Características del sensor palpador Novotechnik.	203
Tabla 76: Características del sensor contador de revoluciones Efecto Hall	204
Tabla 77 Características de la válvula proporcional Winner.	205

Tabla 78 Características de una electroválvula marca Midman.....	206
Tabla 79: Características y modelos de placas ARDUINO	208
Tabla 80. Características del controlador Arduino UNO.	209
Tabla 81 Características del módulo de relé.....	210
Tabla 82 Característica de fusibles de cristal rápidos.....	212
Tabla 83 Protecciones a utilizarse en el proyecto.....	212
Tabla 84 Nomenclatura del circuito electrónico de la placa	214
Tabla 85: Nomenclatura de las conexiones con el controlador.....	230
Tabla 86: Comportamiento del palpador a diferentes cargas	256
Tabla 87: Comportamiento de la válvula proporcional (subida)	257
Tabla 88: Comportamiento de la válvula proporcional (bajada)	258
Tabla 89: Toma de datos: Calibración con pesas	261
Tabla 90: Toma de datos: Prueba en Vacío	262
Tabla 91: Toma de datos: Prueba con Agua	263
Tabla 92: Toma de Datos: Cálculos Método 1	264
Tabla 93: Toma de Datos: Cálculos Método 2	265
Tabla 94: Toma de Datos: Resultados finales	266
Tabla 95: Costo de ingeniería básica y de detalle	267
Tabla 96: Costo mano de obra directa.....	267
Tabla 97: Costo de materiales para el sistema mecánico.....	268
Tabla 98: Costo de materiales para el sistema neumático	269

Tabla 99: Costo de materiales para el sistema eléctrico y electrónico	270
Tabla 100: Costo de accesorios de sujeción y soporte para mecanismo.....	271
Tabla 101: Costo de accesorios de sujeción y soporte para panel de control	272
Tabla 102: Costo de accesorios de sujeción y soporte para Soporte para Rodamientos	272
Tabla 103: Costo de accesorios de sujeción y soporte para fijación de sensores y actuadores.....	273
Tabla 104: Total costos directos	274
Tabla 105: Costos indirectos.....	274
Tabla 106: Costo total del proyecto	274

RESUMEN

El presente proyecto recopila el trabajo realizado para la automatización de un equipo de laboratorio para análisis de la aceleración de Coriolis mediante analogía hidráulica. El desarrollo del proyecto consta de una parte mecánica, la cual se basa en el diseño de un mecanismo de elevación tipo tijera con accionamiento neumático. Presenta además una etapa electrónica, de instrumentación selección e implementación correcta de sensores y actuadores, para finalizar con el desarrollo de un control PI para mantener constante el nivel de líquido en un tubo. Todas las etapas presentan un diseño, selección y fabricación, de ser el caso, que permiten obtener los resultados más óptimos para el equipo. Finalmente, para facilitar el proceso de toma de datos en la práctica de laboratorio, brindando efectividad y rapidez, se centralizaron los valores de la práctica implementando una pantalla HMI que registra valores requeridos. Junto con el diseño y automatización del equipo se presentan los respaldos de planos y manuales para la correcta manipulación del mismo, y una guía de práctica para facilitar la enseñanza de los cálculos que se realizan.

PALABRAS CLAVE

Aceleración de Coriolis, Mecanismo tipo Tijera, Control PI, Control de Nivel, Automatización.

ABSTRACT

This project collects the work done for the automation of laboratory equipment for analysis of the Coriolis component of acceleration with hydraulic analogy. The project development consists of a mechanical part, which is based on the design of a scissor lift mechanism with pneumatic drive. It also has an electronic stage, selection and successful deployment of sensors and actuators instrumentation, ending with the development of a PI control to maintain a constant level of water in a central tube. All stages have a design, selection and manufacturing, if any, that can achieve the most optimal results for the equipment. Finally, to facilitate data collection process in the lab, providing effectiveness and speed, values were centralized implementing an HMI screen that records required values. Along with the design and automation equipment we provide planes and manuals for proper handling thereof, and practical guidance to facilitate the teaching of the calculations performed.

KEY WORDS

Coriolis Component of Acceleration, Scissors Lift Mechanism, PI Control, Level Control, Automation.

CAPÍTULO 1

Generalidades

1.1 Introducción

En la actualidad el Gobierno ecuatoriano se ha enfocado en brindar una educación de excelencia. A niveles universitarios, los estudios se encaminan hacia la investigación científica, la cual brinda facilidad de resolver problemas que involucren de una u otra manera a la sociedad.

La exploración de nuevos horizontes permitirá el desarrollo de la industria ecuatoriana, es por ello que nace la necesidad de educar y capacitar a los futuros profesionales, los cuales requieren un amplio conocimiento para desenvolverse en el campo laboral.

Además la educación superior va de la mano con las herramientas de aprendizaje puesto que estas brindan un aporte significativo al estudiante, en especial en el campo de ingeniería donde se requiere la enseñanza por experimentación práctica.

Por lo tanto los equipos de laboratorio son herramientas indispensables para que los estudiantes puedan comprender y evidenciar de manera experimental como se producen los fenómenos en la realidad y no solo teóricamente. Por lo que este proyecto va enfocado a rehabilitar el equipo de laboratorio de aceleración de Coriolis, el cual permitirá que los alumnos de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", principalmente a los estudiantes de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica, trabajen con

equipos automatizados que se encuentren en óptimas condiciones y brinden resultados precisos.

1.2 Antecedentes

La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, es una institución de educación superior orientada a contribuir con la sociedad ecuatoriana aportando en la solución de sus problemas mediante la formación de académicos, profesionales e investigadores de excelencia.

Para forjar a los futuros profesionales del Ecuador, la Universidad de las Fuerzas Armadas garantiza el complemento de la educación teórica con la práctica mediante la utilización de laboratorios. Entre ellos, y brindando soporte a las dos carreras que forman parte del departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica DECEM, se encuentra el laboratorio de mecanismos.

El laboratorio de mecanismos cuenta con un equipo que permite analizar la aceleración de Coriolis mediante analogía hidráulica lo que permite el aprendizaje de manera didáctica. Esta aceleración relativa resulta, en la mayoría de casos, de difícil comprensión para los estudiantes. La importancia de la aceleración de Coriolis en el campo de la cinemática hace que su correcta aprehensión sea fundamental para un ingeniero tanto Mecánico como Mecatrónico.

Varias empresas se han dedicado a la manufactura de equipos de laboratorio destinados para ingeniería. Entre dichas empresas se encuentran ETERNAL ENGINEERING EQUIPMENT (P.) LTD. ADVANCED

TECHNOCRACY INC., ACCURATE SCIENTIFIC INTERNATIONAL ASI. Los distintos modelos presentan una gran similitud con el equipo que posee la universidad y ninguno ofrece un control preciso, ni una interfaz gráfica para facilitar y mejorar la calidad de la toma de datos.

La automatización en la adquisición de datos y el control de variables del equipo para el análisis de la aceleración de Coriolis en el laboratorio de mecanismos, permitirá rehabilitarlo no solo eliminando los amplios márgenes de error que presenta sino también brindar un equipo con tecnología de punta que no se encuentra disponible para la adquisición en ningún país.

1.3 Justificación e importancia

Al ser la ESPE una universidad que se caracteriza por la innovación y la mejora con el fin de alcanzar la excelencia. La automatización de un equipo de laboratorio que permita obtener de forma más adecuada los datos para su análisis y estudio, es una parte fundamental en la formación de profesionales, ya que permite un mejor desempeño de los estudiantes en su área de aprendizaje.

Para la práctica destinada al equipo en cuestión la toma de datos resulta imprecisa, ocasionando márgenes de error actualmente superiores al 20%. Como se conoce un equipo cuyo funcionamiento presenta falencias y errores en sus resultados, no facilita el aprendizaje de los estudiantes. La implementación de un sistema de control, así como la adquisición de datos mediante sensores, permitirá mejorar el análisis y la comprensión de esta práctica.

Además la parte matemática representa un factor importante al momento de realizar esta práctica por lo que su justificación se explicara en el desarrollo de los siguientes párrafos.

El equipo para análisis de la aceleración de Coriolis con analogía hidráulica somete a las partículas de agua a un movimiento de translación y rotación que puede ser descrito como un mecanismo manivela-corredera que se rige bajo el siguiente modelo matemático.

$$\vec{r} = r * e^{i\theta}$$

Donde

\vec{r} : Vector de posición de la partícula respecto al origen

r : Módulo del vector posición

θ : Ángulo de giro

Gráficamente estos parámetros se visualizan en la Figura 1. Los valores de r y θ varían de acuerdo al desplazamiento de la partícula de agua en el interior del tubo y la rotación del tubo provocada por el motor.

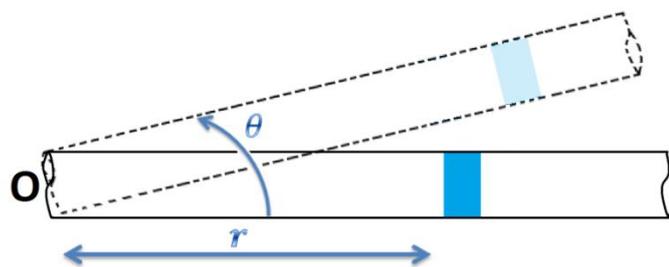


Figura 1: Parámetros para análisis de Aceleración de Coriolis

La velocidad y aceleración se obtienen con las derivadas respectivas:

$$\dot{\vec{r}} = \dot{r} * e^{i\theta} + r * e^{i\theta} * i\dot{\theta}$$

$$\ddot{\vec{r}} = \ddot{r} * e^{i\theta} + \dot{r} * e^{i\theta} * i\dot{\theta} + \dot{r} * e^{i\theta} * i\dot{\theta} + r * e^{i\theta} * (i\dot{\theta})^2 + r * e^{i\theta} * i\ddot{\theta}$$

$$\ddot{\vec{r}} = \ddot{r} * e^{i\theta} + 2 * \dot{r} * e^{i\theta} * i\dot{\theta} + r * e^{i\theta} * (i\dot{\theta})^2 + r * e^{i\theta} * i\ddot{\theta}$$

(Shigley & Uicker, 2001)

Para que el equipo de laboratorio analice únicamente la componente de la aceleración de Coriolis, los requisitos del sistema son:

$$\dot{r} = \text{Velocidad constante} \rightarrow \ddot{r} = 0$$

$$\dot{\theta} = w \text{ constante} \rightarrow \ddot{\theta} = 0$$

De esta forma la expresión de la aceleración a la que se somete la partícula queda expresada por:

$$\ddot{\vec{r}} = 2\dot{r}e^{i\theta}\dot{\theta}i - r * e^{i\theta} * \dot{\theta}^2$$

Donde se presenta netamente la aceleración de Coriolis y la aceleración normal de la partícula. De esta forma el implementar un control preciso para dicha aplicación garantiza mantener una velocidad de rotación constante y una velocidad de translación igualmente constante. Con esto se tiene un análisis directo sobre la componente de Coriolis sin verse influenciada por ninguna otra componente.

1.4 Alcance

Este proyecto tiene la finalidad de automatizar el equipo de aceleración de Coriolis del laboratorio de mecanismos por lo que se ha dividido en cinco diferentes aspectos los cuales se detallan a continuación:

- Implementar un mecanismo para levantar la tapa, el cual tiene como finalidad facilitar al operario la manipulación de la tapa, evitando que esta

pueda causar daños a cualquier elemento del equipo por mal apoyo o deslizamiento.

- Implementar un sistema de control de flujo a través de la regulación de nivel en el cilindro central del tanque. Utilizando una válvula de apertura y cierre proporcional, la cual cumpla la función de actuador. Además de un sensor de nivel en el tubo principal para obtener la señal de entrada a ser controlada.

- Implementar un sistema para el conteo de revoluciones. A través del uso de un sensor que evite el contacto con el agua y se acople a la estructura inicial que presenta el equipo.

- Implementar un palpador electrónico que permita registrar los valores de deflexión de placa, la cual permite medir el torque del motor.

- Desarrollar una interface de visualización HMI. Empleando un software que permita la visualización de datos y operación del equipo con total facilidad. Logrando así un equipo que brinde prestaciones útiles al momento de realizar la práctica.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Entregar al laboratorio de Mecanismos de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” un equipo automatizado para la práctica de *Aceleración de Coriolis con Analogía Hidráulica*, donde se evidencie la disminución del error de los resultados que presenta en la actualidad dicho equipo. Mediante un

sistema de control de las variables, adquisición de los datos durante la práctica y la visualización a través de un HMI.

1.5.2 Objetivos específicos

- Definir los criterios eléctricos y mecánicos que permitan automatizar el equipo de laboratorio de aceleración de Coriolis con analogía hidráulica, así como los lineamientos técnicos necesarios al tratarse de una máquina con carácter educativo.
- Diseñar e implementar un sistema de control de flujo a través de la regulación de nivel en el cilindro central del tanque que permita mantener el caudal de salida fijo para que las partículas de agua se desplacen con velocidad lineal constante a través de la tubería interna.
- Diseñar e implementar un mecanismo de apertura y cierre vertical para la tapa del equipo de manera que esta pueda ser manipulada sin causar daño al resto de componentes de la máquina.
- Centralizar la adquisición de datos en un sistema HMI que permita visualizar en tiempo real y simultáneamente los valores que intervienen en la práctica, disminuyendo la cantidad de operadores del equipo así como la imprecisión de los datos tomados por los mismos.

CAPÍTULO 2

Marco teórico

2.1 Qué es la aceleración de Coriolis y su analogía hidráulica.

La aceleración de Coriolis es una aceleración aparente, que se origina cuando un punto se encuentra simultáneamente girando y cambiando su radio de rotación respecto a un punto de referencia. El módulo de la aceleración de Coriolis se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$|A_c| = 2\omega * V$$

Representa la diferencia entre la aceleración medida de un punto a otro en el sistema no giratorio y la medida en el sistema giratorio.

Si alguno de los componentes, la rotación o el cambio de distancia del centro de rotación es igual a cero la aceleración de Coriolis desaparece ($A_c=0$).

La dirección y sentido de la aceleración de Coriolis se establece tomando en cuenta que dicha aceleración se encuentra perpendicular a la velocidad deslizante y su sentido es el mismo al de la velocidad angular, como se muestra en la Figura 2.

(Morales, 2006)

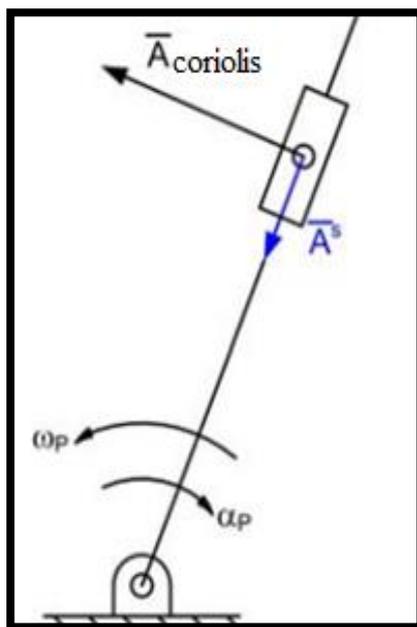


Figura 2: Aceleración de Coriolis en una corredera

Fuente: (Morales, 2006)

Analogía hidráulica

Los equipos para laboratorio que permiten el análisis de la aceleración de Coriolis, manejan la determinación de la misma a diferentes velocidades de rotación y de caudal de agua. Basándose en que la velocidad de rotación de los tubos representa el cambio de velocidad angular, y el caudal equivale al desplazamiento lineal.

Se considera un segmento de la columna de líquido que se desplaza dentro del tubo que se encuentra rotando, cuya longitud es dr y se encuentra a una distancia r del eje de rotación como se muestra en la Figura 3.

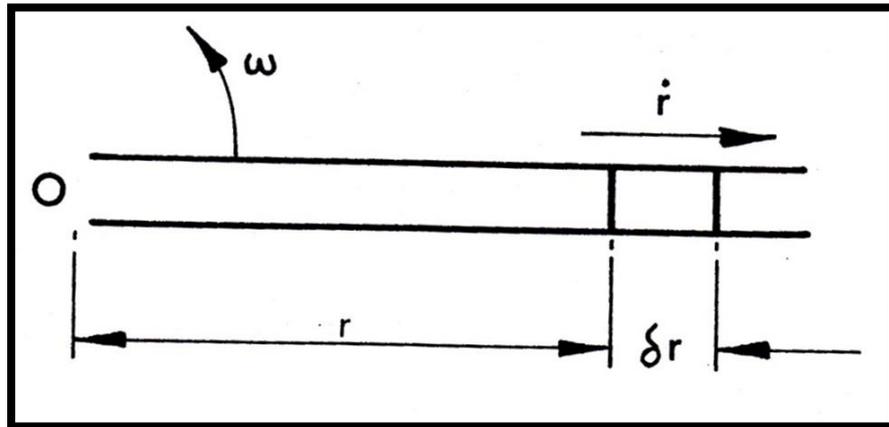


Figura 3: Analogía hidráulica para la Aceleración de Coriolis

Fuente: (Tecquipment Limited)

Siendo \dot{r} la velocidad relativa de dicho segmento con respecto al tubo y w la velocidad angular de dicho tubo, la aceleración de Coriolis se expresa como:

$$Ac = 2\dot{r}w$$

El torque dT aplicado por el tubo para producir dicha aceleración es entonces:

$$dT = \frac{dW}{g} 2\dot{r}w$$

Donde dW es el peso del segmento de columna de agua.

Considerando γ el peso específico del fluido y a el área de la sección transversal del tubo entonces se tiene:

$$dW = \gamma a dr$$

Por lo tanto el torque aplicado en un punto específico de la tubería es:

$$dT = 2\dot{r}w a \frac{\gamma}{g} dr$$

El torque aplicado durante el desplazamiento del segmento durante su recorrido en la longitud del tubo l es:

$$T = \int_0^l 2\dot{r}w a \frac{\gamma}{g} dr$$

$$T = \frac{\gamma}{g} w r a l^2$$

Siendo finalmente la aceleración de Coriolis determinada por

$$A_{corilis} = \frac{2gT}{\gamma a l^2}$$

2.2 Descripción de un equipo de laboratorio para aceleración de Coriolis.

El equipo mostrado en la Figura 4 ha sido diseñado para que los estudiantes tengan la facilidad de medir varios parámetros que abarca la componente de aceleración de Coriolis

Para mantener esta aceleración el tiempo suficiente para la toma de datos, se sustituye el mecanismo convencional de deslizamiento por dos corrientes de agua. Dichas corrientes fluyen radialmente hacia afuera de un tubo en forma de T invertida, simultáneamente rotan sobre su eje vertical para que el agua que circula a través de la tubería se someta a la componente de aceleración de Coriolis.

Descripción del equipo

El equipo para la práctica de aceleración de Coriolis está conformado por diferentes componentes que serán descritos a continuación considerando la Figura 4.

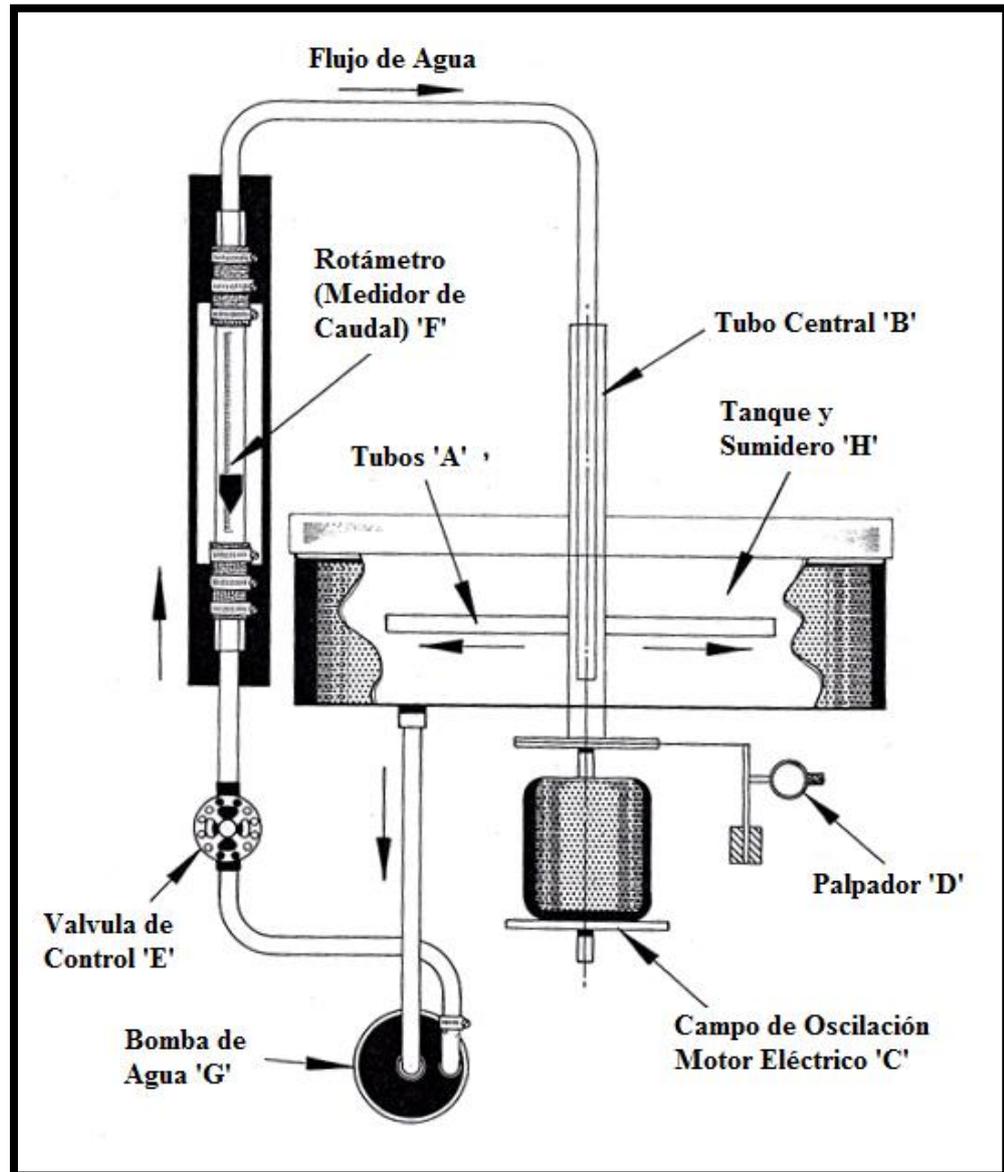


Figura 4: Diagrama Esquemático del Equipo

Fuente: (Tecquipment Limited)

Un tubo de plexiglás, A, proyectado radialmente desde un tubo central de plexiglás, B, son rotados por un motor “Shunt” de corriente continua, C, dispuesto verticalmente en un cojinete de bolas.

El torque suministrado por el motor es medido mediante un cordón de nylon envuelto alrededor de un disco circular ranurado fijado a la carcasa del motor. El cordón se sujeta al extremo libre de una viga en voladizo de acero flexible. La deflexión de esta viga es registrada en el palpador, D. La deflexión se calibra desmontando la cuerda de la viga y haciéndola por encima de una polea guía para ir adicionando pesos conocidos.

La velocidad de rotación del motor es registrada por un contador electromagnético en la unidad de control de velocidad del motor.

El agua de la bomba, G, fluye hacia el tubo central, B, a través de la válvula de control, E. La velocidad del flujo de agua se muestra en el rotámetro, F.

El agua que sale de los tubos radiales, A, vuelve a la bomba a través del sumidero, H. Pequeñas restricciones en los extremos de los tubos radiales evitan la separación de las columnas de agua, lo que significa que el agua será acelerada radialmente.

(Tecquipment Limited)

2.3 Mecanismos de apertura y cierre.

La apertura y cierre de la tapa del equipo requiere de un mecanismo de elevación vertical que garantice su correcta apertura, sincronizando los

elementos para que la tapa nunca pierda su paralelismo con respecto al suelo.

Dentro de los tipos de elevadores con alcance vertical se destacan los mecanismos elevadores tipo pantógrafo, también llamados tipo tijera, y los mecanismos con deslizadera.

2.3.1 Mecanismos tipo tijera

Un elevador de tijera está constituido por un dispositivo de accionamiento, un elevador y soporte de la estructura, y un método de nivelación. Los mecanismos de tijera son muy comunes para la elevación y estabilización de las plataformas. El mecanismo más simple se conforma de dos pares de brazos en forma de X, y en el punto medio de los brazos longitudinales se ubica un pivote. (Moore, 2011)

El principio de funcionamiento del elevador se basa en una estructura metálica que utiliza la geometría y funcionamiento de las tijeras para aumentar la distancia mediante la fuerza que se aplica para desplazar los extremos móviles de sus brazos, generalmente guiados en forma rectilínea por unas ranuras. Cuanto más avanzan dichos extremos hacia los puntos fijos de la estructura, mayor ángulo adquiere los brazos respecto a la horizontal. Como se evidencia en la Figura 5. (Murillo Julian, 2011)

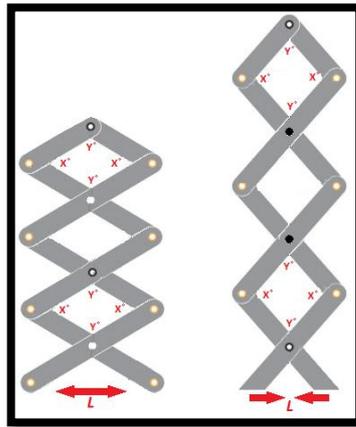


Figura 5: Principio de funcionamiento mecanismo tipo tijera

Fuente: (GlobalSpec, 2013)

Los elevadores tipo tijera requieren movimiento lineal para suministrar elevación, esta fuerza es proporcionada por un actuador neumático o hidráulico, o una entrada mecánica, como un husillo o un piñón- cremallera. La Figura 6 muestra dos configuraciones típicas de posicionamiento del actuador. (GlobalSpec, 2013)

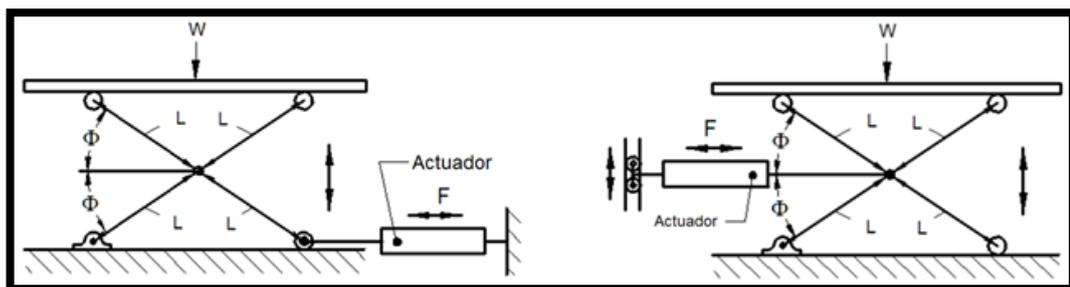


Figura 6: Actuadores para mecanismo tipo tijera

Fuente: (Engineers Edge, 2012)

Para el modelo simple de tijeras, un extremo de cada brazo tiene un punto de pivote, mientras que el extremo opuesto tiene una rueda. Los

pivotes en los cuatro brazos se colocan en un lado de la X, y todas las ruedas en el otro. (Hendrickson, 2012)

Ventajas:

- Relativamente delgado cuando se comprime hasta su menor altura. Los elevadores tipo tijera se extienden 4 a 12 veces su altura mínima. Esto lo hacen sin la necesidad de que sobre la plataforma se encuentre alguna tracción o guía para el levantamiento.
- Se necesita poca puesta a punto más allá de colocarlo sobre un piso o estructura nivelado capaz de soportar el peso de la elevación y la carga.
- Están diseñados para elevar grandes cantidades de cargas que otros tipos de elevadores ordinarios no podrían.
- Puede implementarse elevadores con múltiples etapas para una mayor distancia de recorrido. Uno o dos etapas suele ser utilizadas comúnmente, pero algunos elevadores aéreos disponibles comercialmente utilizan hasta 6 etapas.

Desventajas:

- Dependiendo del peso de la plataforma a elevar, pueden resultar pesados. La estructura necesaria para soportar una carga y los brazos de acero para evitar flexiones vuelven pesada a la estructura. Además se debe considerar el peso de los cilindros hidráulicos de ser utilizados.

- Si el elevador tipo tijera es accionado hidráulicamente requiere una unidad de tamaño adecuado de energía hidráulica, HPU, y válvulas proporcionales para su control. El costo resulta elevado.
- No mantienen la simetría, conforme aumenta la altura de elevación, el eje de simetría es desplazado de tal forma que cuando se encuentra en su altura máxima queda una parte de la plataforma en voladizo, lo cual puede resultar perjudicial.

Existen varios puntos del diseño de un elevador de tijera que deben considerarse con cierto detalle, la dimensión de sus brazos, la posición más baja de la plataforma, la elevación entre otras.

La longitud de los brazos definen la dimensión mínima de una plataforma colocada en la parte superior de la elevación, o por el contrario, la plataforma define la longitud máxima del brazo. A medida que el elevador sube, los brazos pivotean hacia arriba y, si se lleva al extremo, llegan a un punto en el que la base de la X ya no puede soportar la carga, y el elevador cae, lo cual no es útil. Además, la plataforma presenta una saliente cada vez mayor a medida que aumenta la elevación, obligando a tener un límite para la elevación de la X.

No existe una definición absoluta de diseño para el elevador tipo tijera, sin embargo existen ciertas reglas para determinar los límites de altura y longitud de la plataforma, mostradas en la Figura 7. Por su parte, la saliente de la plataforma no debe exceder más de $1/3$ de la longitud de la misma.

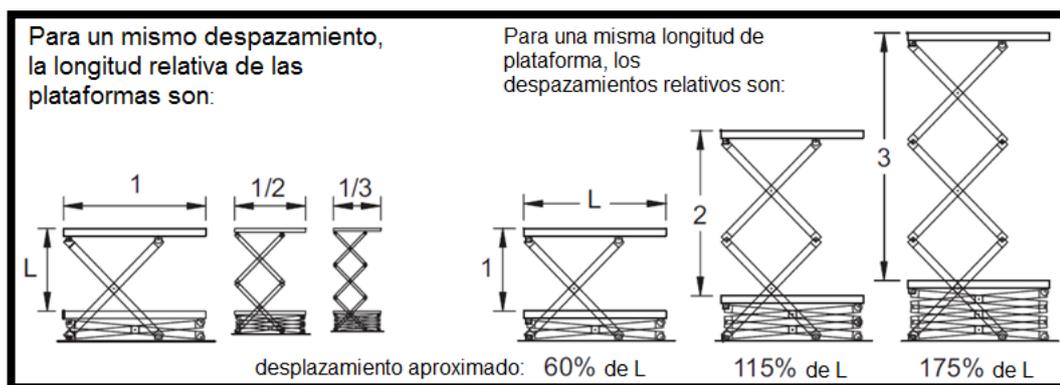


Figura 7: Relaciones de longitud de brazo, desplazamiento y de sección del mecanismo de tijera

Fuente: (Hendrickson, 2012)

La estructura que conecta de X a X actúa para sincronizar el movimiento de las dos tijeras además de proporcionar una ubicación para conectar los cilindros hidráulicos. Estos travesaños son sujetos a cargas de torsión cuando la carga en la plataforma elevadora no se distribuye por igual en ambas tijeras.

(Hendrickson, 2012)

2.3.2 Mecanismos deslizantes

Los mecanismos deslizantes se dividen básicamente en elevadores de dos columnas y elevadores de cuatro columnas. Su desplazamiento debe ser sincrónico y puede llevarse a cabo por varios sistemas de movimiento.

2.3.2.1 Elevador de Tornillo

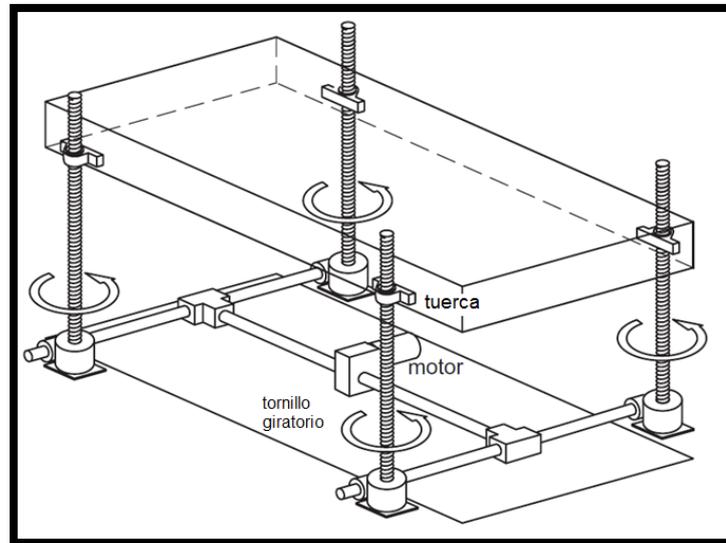


Figura 8: Elevador sincronizado de tornillo

Fuente: (Hendrickson, 2012)

El mecanismo elevador de tornillo, es un sistema de elevación sincronizado compuesto principalmente por cajas de engranes cónicos, tornillos para elevación, motor eléctrico, y ejes, como muestra la Figura 8. Además de su capacidad soportar altos pesos presentan ventajas como bloqueo, precisión de posicionamiento, sincronización completa y no requieren alto mantenimiento. (Hendrickson, 2012)

El funcionamiento del mecanismo radica en un motor se hace girar los ejes acoplados al mismo, y a través de ellos los engranes de las cajas que se desplazan a lo largo de los tornillos, elevando así los dispositivos que se encuentren sujetos a ellos. (JACTON)

2.3.2.2 Cables y poleas

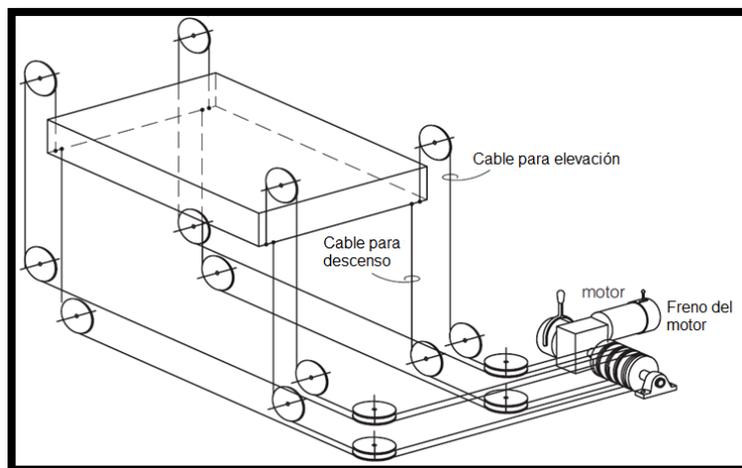


Figura 9: Mecanismo de elevación de cables y poleas

Fuente: (Hendrickson, 2012)

El mecanismo de poleas es muy utilizado en distintas maquinarias, principalmente porque el concepto es adaptable a una amplia variedad de usos, y los materiales utilizados son de fácil acceso y relativamente baratos.

Como muestra la Figura 9, al sistema se le puede añadir un motor y sistemas de frenado para controlar el movimiento tanto de subida como de bajada. (Hendrickson, 2012)

Ventajas:

- Los cables utilizados para apoyar la plataforma permiten mantenerla nivelada, eliminando la necesidad de guías.
- El equipo de accionamiento se encuentra alejado del elevador, por lo que los desplazamientos no son impedidos por nada debajo de este.

- La combinación de varias poleas puede utilizarse para reducir la fuerza que se necesita para levantar una carga pesada.

Desventajas:

- El cable permite cierta elasticidad, variando la precisión de altura considerando el peso sobre la plataforma.
- Para una capacidad de carga mayor en la elevación se requiere utilizar cables de mayor diámetro, con gavillas proporcionalmente más grandes. Ocupando mayor espacio a un mayor costo.

2.3.2.3 Pistón con nivelación

Los mecanismos elevadores con pistón basan su funcionamiento en el la elevación lograda a través del recorrido del vástago. En estos sistemas se utiliza un pistón central o dos en los costados de la plataforma. Para evitar levantamientos irregulares, se nivela la plataforma con distintos mecanismos, de forma que se transmita el movimiento uniformemente. A continuación se detallan los mecanismos de nivelación en este tipo de elevadores.

Cables y poleas

La nivelación por medio de cables y poleas se obtiene mediante distintas configuraciones, como se muestra en la Figura 10. La cantidad de poleas depende de la configuración diseñada para disminuir esfuerzos.

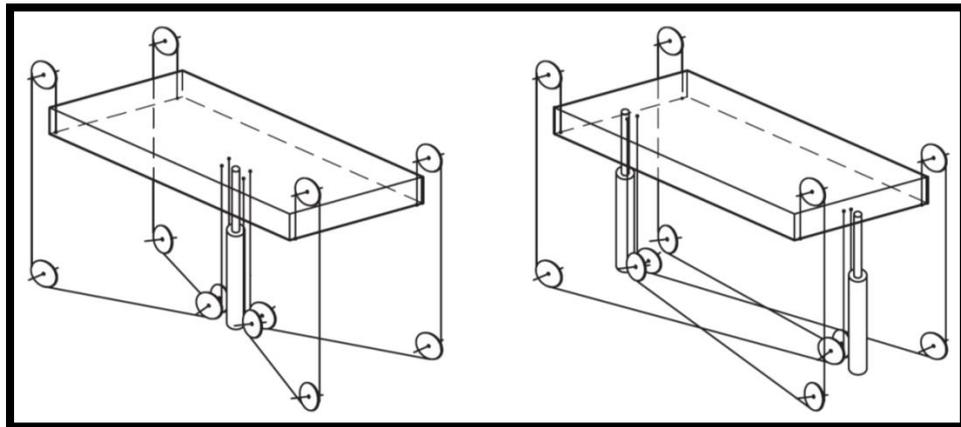


Figura 10: Elevación con pistón y nivelación con cables y poleas

Fuente: (Hendrickson, 2012)

Ventajas

- Fácil de implementar si la longitud del cilindro retraída se puede acomodar en el espacio disponible.
- Estos mecanismos son más resistentes a la deflexión que los mecanismos de cables y poleas sin actuador neumático.

Desventajas

- El mecanismo de elevación ocupa un espacio vertical relativamente grande debido al pistón.

Piñón-cremallera

El siguiente mecanismo consta de dos o más pares de sistemas piñón-cremallera con todos los piñones acoplados entre sí con un eje. La Figura 11 muestra los bastidores moviéndose arriba y abajo con la plataforma elevadora, junto con los piñones y su eje fijo. Una última variante de este mecanismo es utilizar un motor eléctrico en lugar de los cilindros hidráulicos.

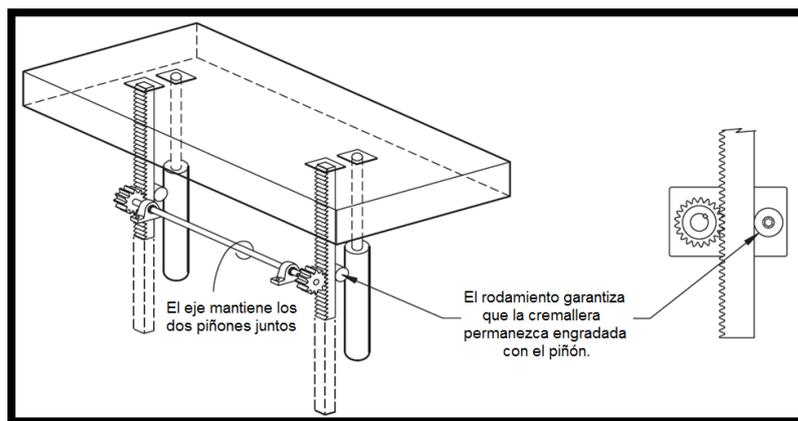


Figura 11: Elevación con pistón y nivelación con piñón cremallera

Fuente: (Hendrickson, 2012)

Ventajas:

- La sincronización es muy buena debido a la rigidez de los componentes.

Desventajas:

- Se necesita espacio para los bastidores.
- Se requiere la alineación precisa entre las partes. Esta técnica no es tan indulgente como otros esquemas de nivelación por cable.

2.3.2.4 Actuator primordial en mecanismos de elevación: cilindro neumático

Los cilindros neumáticos son unidades que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética. Básicamente consisten en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón.

Al inducir un determinado caudal de aire comprimido, este se expande dentro de la cámara y provoca un desplazamiento lineal. Si se acopla al embolo un vástago rígido, este mecanismo es capaz de empujar algún

elemento, o simplemente sujetarlo. La fuerza de empuje es proporcional a la presión de aire y a la superficie del pistón:

$$F = p \times A$$

Dónde:

F=Fuerza.

p=Presión.

A=Área del embolo o pistón.

(Micros, 2013)

A continuación en la Figura 12 se presentan las características físicas que dispone un cilindro neumático de doble efecto.

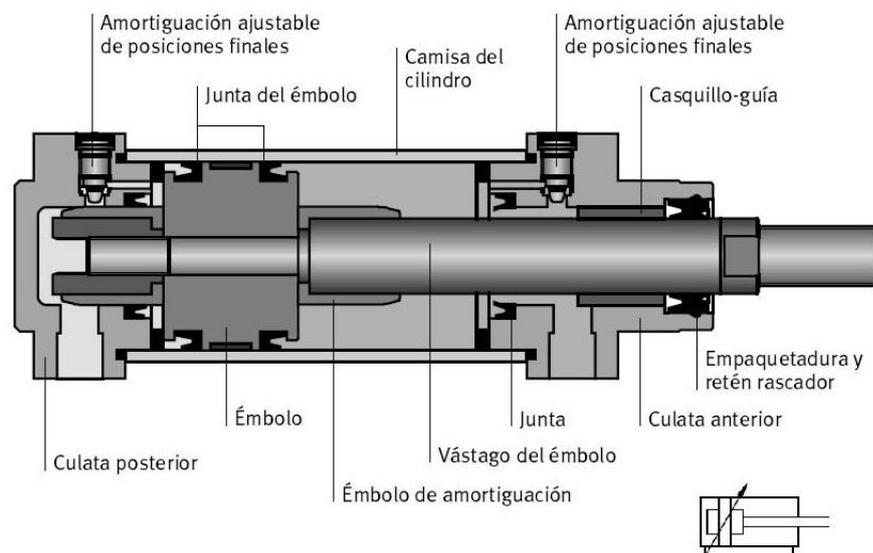


Figura 12 Esquema de un cilindro doble efecto

Fuente: (Automatización Industrial, 2010)

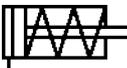
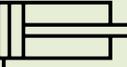
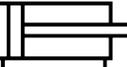
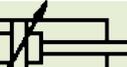
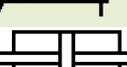
Tipos de cilindros neumáticos

Entre los diferentes tipos de cilindros existentes varían de acuerdo al aspecto, tamaño y la función. Cada cilindro cae en una de las categorías que se especifican en la

Tabla 1.

Cabe indicar que existen un sin número de cilindros neumáticos disponibles, diseñados para satisfacer funciones específicas y especializadas.

Tabla 1: Tipos de cilindros

Cilindros	
Símbolo:	Descripción:
	De simple efecto. Retorno por muelle.
	De simple efecto. Retorno por fuerza externa.
	De doble efecto.
	De doble efecto con amortiguador.
	De doble efecto con doble vástago.
	De simple efecto telescópico.
	Lineal sin vástago.
	Accionador angular.
	Motor neumático de un solo sentido de giro.
	Motor neumático de dos sentidos de giro.

Fuente: (Castillo, 2001)

Fluido de trabajo: aire comprimido

En aplicaciones neumáticas en la industria se trabaja con aire comprimido. Esto representa ciertas ventajas y desventajas, sobre todo, si se compara con la hidráulica y la electricidad.

Ventajas

- Económico: se puede conseguir como fluido de trabajo simplemente tomándolo de la atmósfera, lo que no implica costos.
- Seguro: hay pocos riesgos de accidentes, porque no posee propiedades explosivas.
- No contamina: el aire después de utilizado se devuelve al ambiente sin representar contaminación del medio.
- Rápida respuesta: los actuadores pueden trabajar a altas velocidades.
- No requiere líneas de retomo: devuelve el aire al ambiente sin inconvenientes.
- Fácil montaje y mantenimiento.
- Fácil transporte.

Desventajas

- Humedad: el contenido de humedad puede afectar los dispositivos de trabajo como actuadores, válvulas, etc.

- Ruido: la gran cantidad de ruido obliga al uso de silenciadores en los escapes de las válvulas, incrementando costos.
- Limitación de fuerza: la fuerza máxima trabajando con aire comprimido es de 30kN, aproximadamente.

(Giovanny Berrío & Ochoa Gómez, 2007)

2.4 Sistemas eléctricos y electrónicos.

2.4.1 Sistemas eléctricos

2.4.1.1 Motor con excitación derivación o shunt

El motor shunt o motor de excitación derivación es un motor eléctrico de corriente continua cuyo bobinado inductor principal está conectado en derivación o paralelo con el circuito formado por los bobinados inducido e inductor auxiliar.

Los elementos que constituyen un motor shunt se detallan en la Figura 13.

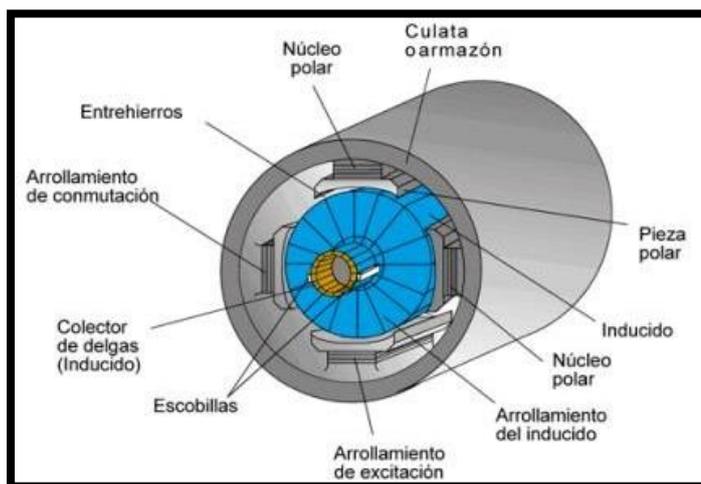


Figura 13: Distribución de un motor de excitación derivación

Fuente: (Vargas, 2012)

Característica de velocidad

La característica de velocidad indica la relación que existe entre la velocidad del motor y la corriente del inducido. Por lo que se cita la expresión general de velocidad:

$$n = \frac{U_L - r_i I_i}{k_i \Phi}$$

Al ser la tensión aplicada por la línea (U_L) constante, si se mantiene de igual forma constante el campo magnético, la velocidad solo depende de la caída de tensión del inducido ($r_i I_i$).

Dado que el término $r_i I_i$ es muy pequeño, la velocidad tiende a disminuir un poco al aumentar la carga (Figura 14 curva c). Por otro lado, cuando aumenta la intensidad del inducido, la reacción del inducido reduce el flujo del campo resultante, tendiendo a aumentar la velocidad con la carga (Figura 14 curva a). En conclusión la velocidad de un motor con excitación en derivación permanece prácticamente constante para cualquier régimen de carga, tal como se puede apreciar en la curva característica $n = f(I_i)$ (Figura 14 curva b).

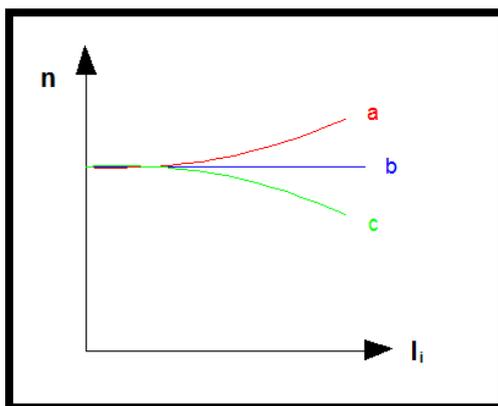


Figura 14: Característica mecánica de un motor derivación, $n = f(I_i)$

Fuente: (San Miguel, 2011)

La regulación de velocidad de un motor derivación entre amplios límites se consigue, con facilidad, regulando la corriente de excitación mediante un reóstato de campo conectado en serie con el devanado de excitación.

Característica mecánica

Esta característica relaciona el par motor en función de la velocidad $M = f(n)$ como muestra la Figura 15. Se puede decir que esta característica es la más representativa del funcionamiento del motor, ya que con ella se puede determinar la velocidad de giro del motor para un determinado par resistente aplicado al motor.

Si se considera que el flujo magnético permanece constante, el par motor permanece también constante con la velocidad.

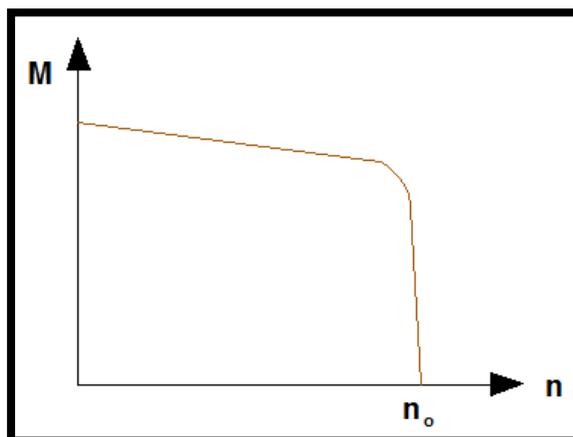


Figura 15: Característica mecánica de un motor de derivación.

Fuente: (San Miguel, 2011)

En resumen, un motor con excitación derivación, la velocidad se mantiene relativamente constante para cualquier régimen de carga. Cuando se aumenta el par resistente aplicado al motor, la corriente del inducido aumenta para producir un par motor igual al par resistente.

(San Miguel, 2011)

Dada la estabilidad que permiten los motores de corriente continua en derivación son adecuados para aplicaciones en donde se necesita velocidad constante a cualquier ajuste del control o en los casos en que es necesario un rango apreciable de velocidades por medio del control del campo.

2.4.1.2 Reóstato

Para regular la velocidad en los motores shunt se conecta un reóstato regulador de campo en derivación con el devanado de excitación como se muestra en la Figura 16. Con este dispositivo se consigue desviar parte de la

corriente que atraviesa. De esta forma se consigue controlar el flujo magnético y con él, la velocidad o el factor de potencia. (San Miguel, 2011)

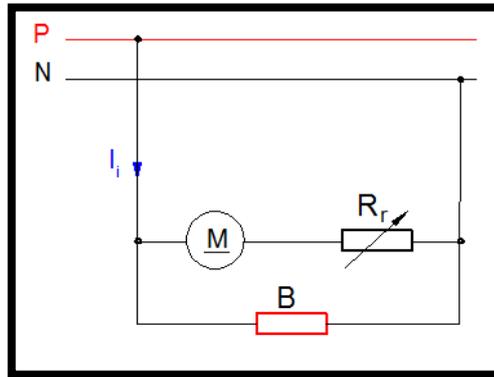


Figura 16: Conexión del reóstato para regular la velocidad en un motor shunt

Fuente: (San Miguel, 2011)

2.4.1.3 Bomba centrífuga

Las bombas centrífugas también son conocidas como rotodinámicas, son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio dentro de una carcasa. El fluido entra a la bomba cerca del centro del impulsor rotatorio o rodete que dispone de unos alabes para conducir el fluido y es lanzado a la periferia por la acción centrífuga. Esta energía cinética es convertida en energía de presión al salir el fluido de la bomba. (Orozco, 1996)

En la Figura 17 se muestra, esquemáticamente, una bomba centrífuga, de un solo paso, para presiones bajas:

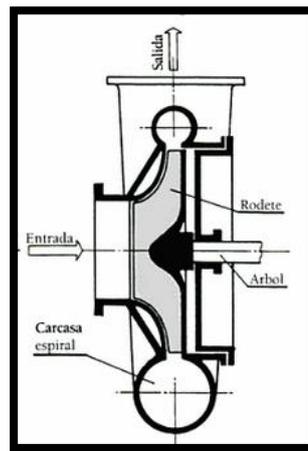


Figura 17: Bomba centrífuga de baja presión

Fuente: (Kuszczewski, 2004)

Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la periferia del impulsor como de la densidad del líquido, la energía que se aplica por unidad de masa, es independiente a dicha densidad. Por tanto, en una bomba dada que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica y transfiere, es la misma para cualquier líquido sin que importe su densidad.

La descripción de una bomba centrífuga es mostrada en la Figura 18 con todos los componentes que lo conforman.

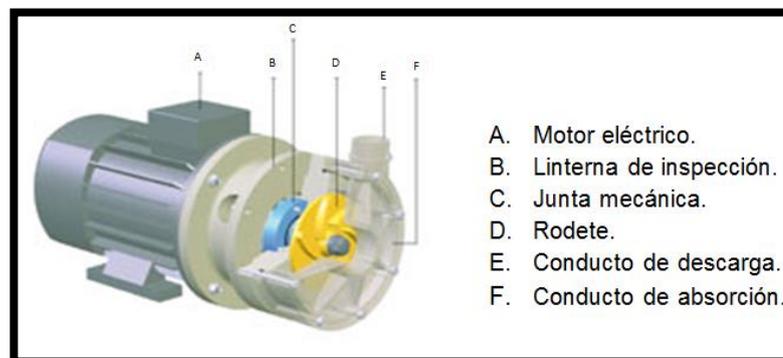


Figura 18: Bomba centrífuga y sus partes

Fuente: (DEBEM, 2009)

Ventajas de las bombas centrífugas

Las bombas centrífugas pueden desarrollar grandes velocidades que dan como resultado tamaños pequeños y bajo costo, además tienen descargas libres de fluctuaciones y pueden operar en contra de una válvula cerrada sin desarrollar ninguna presión. Tienen la característica que permiten ajustar la carga. (Orozco, 1996)

2.4.1.4 Protecciones

Un estudio de protecciones debe tomar en consideración los siguientes aspectos:

- **Eléctricas.** Debidas a las características del sistema de potencia (naturaleza de las fallas, sensibilidad a la inestabilidad del sistema, regímenes de trabajo y características generales de los equipos, condiciones de operación, etcétera).
- **Económicas.** Debidas a la importancia funcional del equipo (costo del equipo principal contra costo relativo del sistema de protección)
- **Físicas.** Debidas principalmente a las facilidades de mantenimiento, de localización (de los relevadores, de los transformadores de instrumento y tableros, medios de comunicación, etcétera).

Dentro de un sistema se debe determinar el requerimiento de carga, incluyendo los tamaños y tipos de las mismas, así como cualquier requerimiento de tipo especial. Se debe también disponer del valor de

cortocircuito en el punto de conexión y la red de suministro eléctrico o de entrega de ésta a la instalación.

(Enriquez, 2005)

Protección contra cortocircuitos

Se denomina cortocircuito a la unión de dos conductores o partes de un circuito eléctrico, con una diferencia de potencial o tensión entre sí, sin ninguna impedancia eléctrica entre ellos. Peligro la integridad de conductores y máquinas debido al calor generado por dicha intensidad, producto del efecto Joule.

Según el código NEC (código eléctrico nacional) dice que el origen de todo circuito debe colocarse un dispositivo de protección dependiendo de la intensidad del cortocircuito que pueda presentarse en la instalación. Además puede admitirse una protección general contra cortocircuitos para varios circuitos derivados. Los dispositivos que se emplean para la protección contra cortocircuitos generalmente son los fusibles.

Fusibles

Los fusibles como se muestra en la Figura 19, no son más que una sección de hilo más fino que los conductores normales, colocado en la entrada del circuito a proteger. Al aumentar la corriente, debido a un cortocircuito, este elemento es la parte que más se calienta, y por tanto la primera en fundirse. Una vez interrumpida la corriente, el resto del circuito ya no sufre daño alguno.

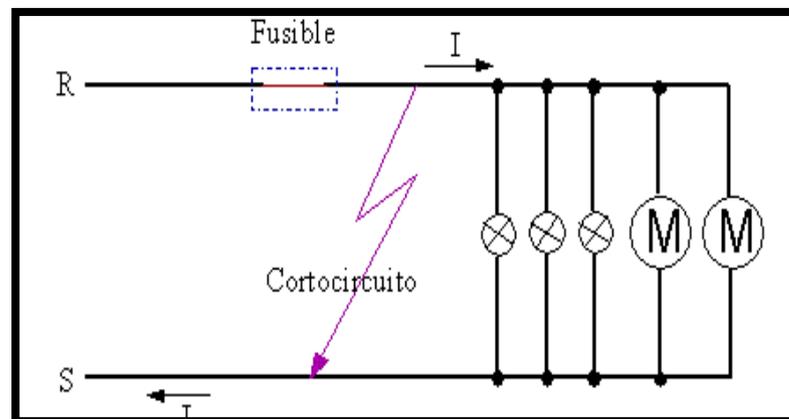


Figura 19: Esquema de ubicación de un fusible.

Fuente: (Molina Marticorena, 2013)

Tipos de fusibles

Existen tres tipos de fusibles los cuales se mencionan a continuación:

- **Fusibles lentos (gT)** son los menos utilizados, empleándose para la protección de redes aéreas de distribución.
- **Fusibles rápidos (gF)** se emplean para la protección de redes de distribución con cables aislados y para los circuitos de alumbrado generalmente.
- **Fusibles de acompañamiento (aM)**, se fabrican especialmente para la protección de motores debido a que aguanten sin fundirse las puntas de intensidad que estos absorben en el arranque.

Cada fusible tiene una curva característica de fusión dada por los fabricantes.

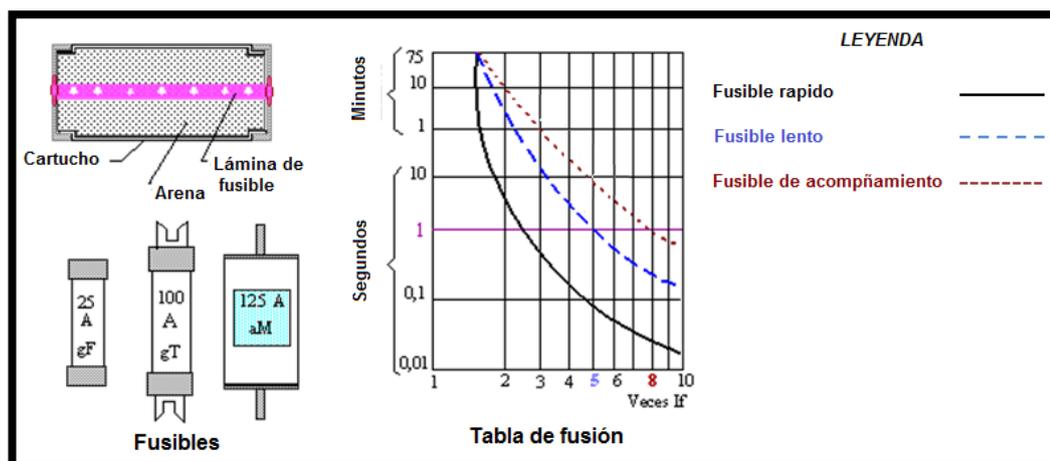


Figura 20: Tipos de fusibles y curvas características de fusión

Fuente: (Molina Marticorena, 2013)

2.4.2 Sistemas electrónicos

2.4.2.1 Electroválvula

Una electroválvula es una válvula hidráulica o neumática comandada por una señal eléctrica, diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. Esta señal eléctrica hace que el actuador sea comandado de forma automática de tal forma que la válvula se abra o cierre.

Según la operación que realiza las electroválvulas pueden ser:

- Normalmente cerrada (NC): Cuando no recibe señal la válvula está cerrada.
- Normalmente abierta (NO): Cuando no recibe señal la válvula está abierta.

Existen diferentes tipos de electroválvulas entre ellas se tiene del tipo todo o nada (ON-OFF), es decir, funcionan abriendo o cerrando totalmente el flujo. Otras en cambio pueden ser reguladas, reduciendo la presión y el flujo del fluido. Además existen aquellas que trabajan en una sola dirección y por último se puede nombrar las que son fabricadas para cumplir cierta función específica.

En conclusión, una válvula regulable conlleva a un control más preciso, por lo cual resulta la mejor opción al momento de desarrollar un sistema control. Entre las válvulas regulables, la que permite el manejo del caudal mediante una señal analógica de voltaje se la denomina válvula proporcional.

Válvula Proporcional

Una válvula proporcional es aquella en la que una magnitud física del fluido a la salida de la válvula es proporcional a una señal eléctrica analógica de entrada $X=K \cdot V$. Donde X es presión o caudal; K una constante de proporcionalidad y V es la señal analógica de tensión continua que se introduce en la válvula. De esta forma se obtienen valores intermedios de presión o caudal, a diferencia de las válvulas convencionales. (Neumática proporcional)

El funcionamiento de una válvula proporcional puede manejarse con actuadores neumáticos, motorizados, o electromagnéticos (de solenoide). Las válvulas con actuadores neumáticos son de gran tamaño y alto costo, por lo que suelen ser empleadas en proceso industriales. Por su parte las

válvulas electromagnéticas generan imprecisiones debido al calentamiento del solenoide, por lo cual su apertura no es constante y requieren un control más fino. Finalmente existen las válvulas motorizadas, llamadas también servo asistidas, las cuales manejan mayor precisión y facilidad de acople a un control eléctrico, ya que son controladas a partir de una señal PWM.

Válvula proporcional motorizada

Una válvula proporcional motorizada permite una apertura variable proporcional a la señal de mando, presentan la ventaja de un bajo consumo eléctrico. Ante un corte de alimentación mantienen su posición previa.

Su funcionamiento es igual al de una válvula de bola, con la diferencia de que el actuador en lugar de ser manual es un servomotor que permite controlar el flujo de acuerdo al giro que da el motor. La Figura 21 muestra el esquema de control de flujo con una válvula de bola motorizada, junto con la simbología de dichas válvulas.

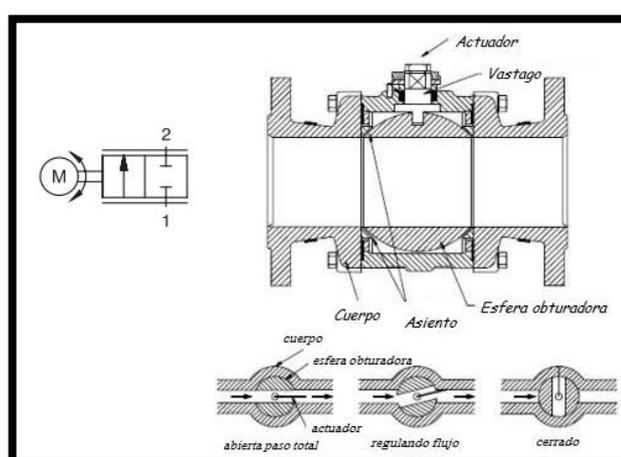


Figura 21: Funcionamiento de una Válvula proporcional motorizada

Fuente: (Viscont, 2009)

En una válvula proporcional, para asegurar su apertura hay que considerar que siempre hay una tensión/corriente de offset antes de obtener un flujo. Dentro de las características a considerar se encuentra también el lazo de histéresis, de preferencia debe ser el menor posible, ya que este induce a retardos en el control. Las características mencionadas se evidencian en la Figura 22

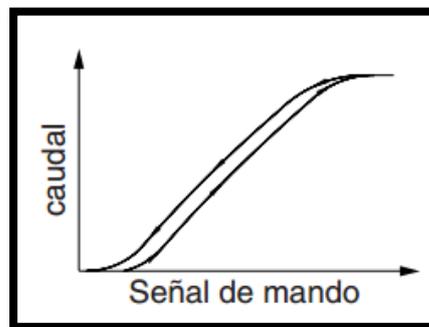


Figura 22: Curva de funcionamiento de una Válvula proporcional

Fuente: (ASCO, 2014)

2.4.2.2 Palpador electrónico

Un palpador electrónico es un aparato capaz de medir distancias o desplazamientos por contacto sobre las superficies a medir. Todos los palpadores tienen en común que son sensores de posición con resorte, el muelle de retorno ejerce una fuerza sobre el punto de medida o apoyo, lo que permite asegurar el contacto en todo momento.

(Disheco, 2013).

Los palpadores electrónicos se basan generalmente en tres principios:

Resistivos: Para desplazamientos lineales se emplean potenciómetros. Sobre estos se desliza un contacto eléctrico llamado cursor para variar proporcionalmente la resistencia de acuerdo al desplazamiento aplicado, como se puede observar en la Figura 23.

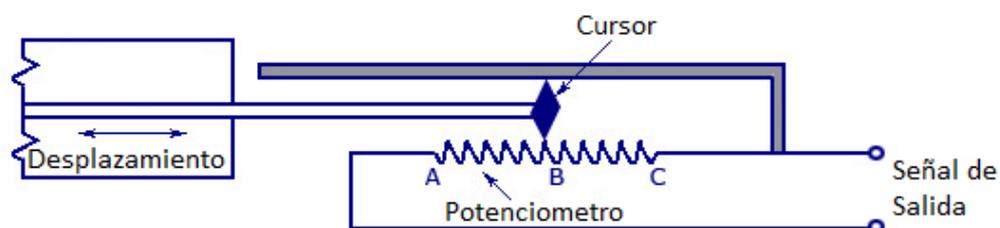


Figura 23: Sensor palpador resistivo

Fuente: (Junta de Andalucía)

Inductivos: Utiliza dos devanados planos de igual paso, uno fijo y otro móvil que se desliza sobre él. Se induce sobre el devanado secundario una señal cuya amplitud dependerá de la fase en que se encuentren ambos devanados.

Capacitivos: Se basan en que se puede variar la capacidad de un condensador, modificando la distancia entre las placas.

(Junta de Andalucía)

Aplicaciones de los palpadores

- **Tornos y fresadoras copiadoras.** El palpador recorre el perfil de la plantilla de la pieza que se quiere copiar reproduciendo una pieza mecanizada igual al modelo.
- **Fabricación de llaves duplicadas.** Las máquinas copiadoras de llaves tienen instalado un palpador que recorre el perfil de una llave original y produce una exactamente igual.
- **Máquinas de medición electrónica.** El palpador es un elemento clave de la máquina de medición.
- **Máquinas de control numérico.** En las máquinas de control numérico se utilizan a menudo palpadores para establecer cotas de referencias.

2.4.2.3 Sensor de nivel

Las técnicas electrónicas para la medición de nivel están basadas en los principios de capacitancia, conductividad y resistencia. Estos principios son aplicados dependiendo del medio a ser medido, las condiciones de operación, la configuración del recipiente y el tipo de funcionamiento requerido (control, alarma, indicación).

Todos los fluidos tienen propiedades eléctricas que los hacen distintivos, mediante dispositivos o electrodos que permiten el paso de cierta forma de onda electromagnética o flujo de partículas que al ser recogidas muestran alteraciones que permiten calcular el nivel del líquido.

(Ordaz, Rojas, Gómez, & Laura, 2009)

Cada medidor tiene sus propios rangos de precisión y de operación, así como ventajas y desventajas, los cuales se resumen en la Tabla 2.

La selección del sensor depende de las características físicas que se requieran para la implementación y además de la precisión de datos que el mismo proporcione. Entre los instrumentos metrológicos de nivel que brindan una medida diferencial se puede nombrar los siguientes:

- Sensor de nivel capacitivo.
- Sonda de nivel hidrostática.
- Sensor Ultrasónico.

Tabla 2: Comparación Sensores de Nivel

Instrumento	Campo de Medida	Precisión %Escala	Precisión Máx barométrica	Temp. °C Max. Fluido	Desventajas	Ventajas
Sonda	Limitado	0,5m m	Atm	60	Manual, sin olas, tanques abiertos	Barato, preciso
Cristal	-	-	150	200	Sin transmisión	Seguro, preciso
Flotador	0–10 m	± 1-2 %	400	250	Posible agarrotamiento	Simple, independiente de la naturaleza del líquido
Manométrico	Altura tanque	± 1%	Atm	60	Tanques abiertos fluidos limpios	Barato
Membrana	0–25 m	± 1%	-	60	Tanques abiertos	Barato
Burbujeo	Altura tanque	± 1%	400	200	Contaminación de líquido	Barato, versátil
Presión diferencial	0–3 m	± 0,15 %	150	200	Posible agarrotamiento	Interface líquido
Desplazamiento	0–25 m	± 0,5%	100	170	Expuesto a corrosión	Fácil limpieza, robusto, interfaces
Conductivo	Ilimitado	-	80	200	Líquido conductor	Versátil
Capacitivo	0,6 m	± 1%	80 – 250	200-400	Recubrimiento electrodo	Resistencia corrosión
Ultrasonido	0,3 m	± 1%	400	200	Sensible a densidad	Todo tipo tanques y líquidos
Radar	0–30 m	± 2,5%			Sensible a la constante dieléctrica	>> y líquidos con espuma
Radiación	0–2,5m	± 0,5–2%	-	150	Fuente radiactiva	>> y sin contacto líquido
Láser	0–2 m	± 0,5–2%	-	1500	Láser	>> y sin contacto líquido

(Ordaz, Rojas, Gómez, & Laura, 2009)

Sensor de nivel capacitivo

Un sensor de nivel tipo capacitivo sirve para medir el nivel de la mayoría de líquidos y está constituido por un electrodo o probeta de capacitancia que se introduce en el tanque. El cambio en la capacitancia, producido por el aumento o disminución de nivel en el recipiente, se mide utilizando la probeta de capacitancia, la cual está conectada a un circuito electrónico que puede ser un interruptor de nivel para control ON-OFF, o un transmisor de nivel para la medición de nivel continuo.

La capacitancia de un condensador depende de la separación entre los electrodos o placas “d”, de su superficie “A” y de la constante dieléctrica del material entre las placas “E”. (Documentos técnicos)

$$C = \frac{A E}{d}$$

La Figura 24 muestra los componentes que presenta este sensor.

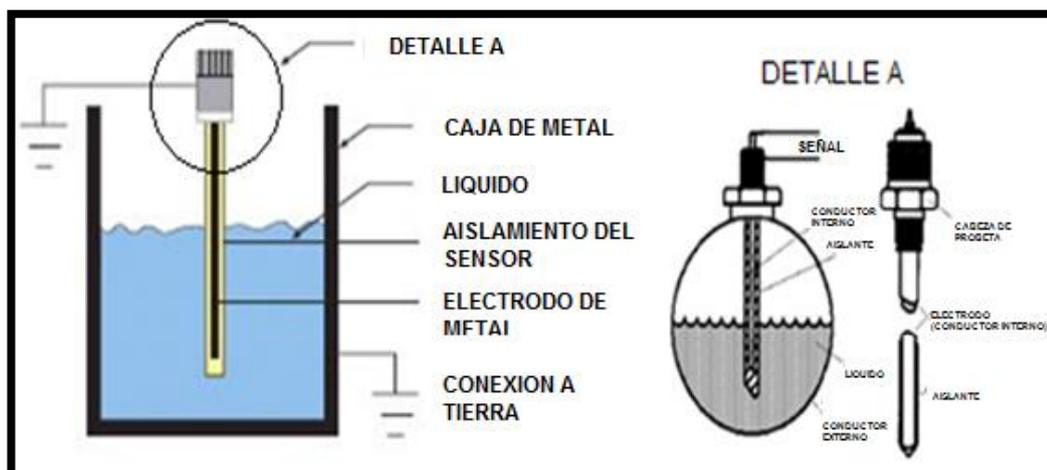


Figura 24: componentes de un sensor capacitivo.

Fuente: (Documentos técnicos)

Las ventajas y desventajas más importantes en la aplicación de los sensores de nivel capacitivos son:

Ventajas:

- Requieren mínimo mantenimiento.
- Pueden ser utilizados para medición continua o puntual.
- Valor deseado o Set Point son ajustables.
- Son compatibles con gran cantidad de líquidos conductivos y no conductivos.
- Se ajustan a cualquier tipo de recipiente.

Desventajas:

- Cambios en la constante dieléctrica del material, causan errores en la señal.
- Normalmente requiere calibración en campo.
- El depósito de materiales altamente conductores sobre la probeta, pueden afectar la exactitud y la repetitividad.

Sonda de nivel hidrostático

La sonda de nivel hidrostático permite medir el nivel por medio del peso que ejerce una columna de líquido sobre la sonda de presión. La siguiente relación define la medición de presión debido a una columna de líquido, la

cual puede ser convertida a altura del nivel sobre una línea de referencia determinada:

$$H = \frac{P}{Sg}$$

Dónde:

- P: Presión debido a la columna de líquido
- Sg: Gravedad específica del líquido
- H: Altura del nivel

La Figura 25 muestra una sonda de nivel hidrostática es sumergida.

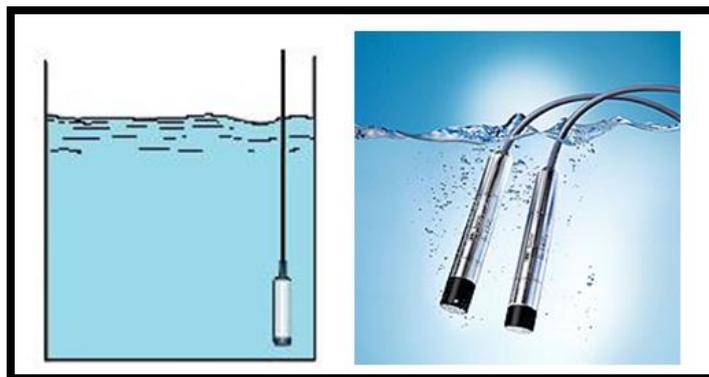


Figura 25: Sonda de nivel hidrostática

Fuente: **(Electromática)**

Ventajas:

- Entrega una señal analógica con alta precisión.
- La sonda permite adaptar de forma más sencilla los sistemas de control existentes.
- Puede adaptarse de forma óptima a cualquier lugar de medición.
- Permite ser sumergida en cualquier líquido gracias a su aislamiento.

Sensor ultrasónico

Un sensor ultrasónico emite cíclicamente un impulso acústico de alta frecuencia y corta duración. Este impulso se propaga a la velocidad del sonido por el aire. Al encontrar un objeto, es reflejado y vuelve como eco al sensor ultrasónico, como se muestra en la Figura 26. Este último calcula internamente la distancia hacia el objeto, basado en el tiempo transcurrido entre la emisión de la señal acústica y la recepción de la señal de eco.

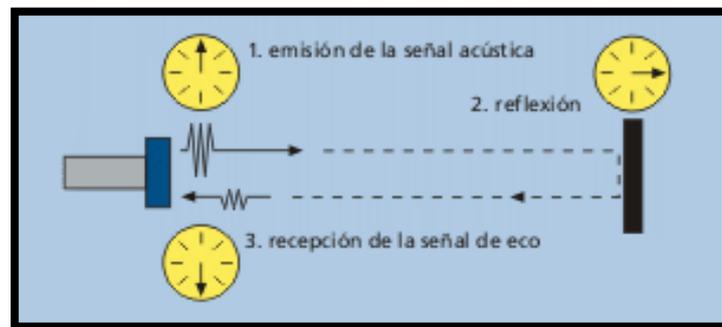


Figura 26 Principio ultrasónico

Fuente: **(Microsonic)**

Como la distancia hacia el objeto es medida por medio del tiempo de recorrido del sonido, y no por una medición de la intensidad, los sensores ultrasónicos son insensibles hacia el ruido de fondo.

(Microsonic)

Ventajas

- Medición sin contacto.
- Medición confiable, independiente de las propiedades del producto.
- Solución económica para aplicaciones sencillas.
- Prácticamente todos los materiales que reflejan el sonido son detectados independientemente de su color

2.4.2.4 Sensor emisor-receptor

Entre los métodos utilizados para conteo de revoluciones se encuentran aquellos que manejan los sensores emisor-receptor. Este tipo de sensores proporcionan un pulso eléctrico al detectar la señal entre emisor y receptor. Dentro de los dispositivos frecuentemente usados se tiene:

- Sensor fotoeléctrico
- Sensor de efecto Hall.

Sensor fotoeléctrico

Un sensor fotoeléctrico es un elemento utilizado para la detección de cualquier tipo de cuerpo (metálico y no metálico). Su funcionamiento se basa en la emisión de un haz luminoso por una parte del sensor (emisor) y la posterior recepción por otro lado del sensor (receptor). La detección se efectúa cuando un objeto modifica la cantidad de luz que emite el emisor al receptor. La Figura 27 muestra diferentes tipos de sensores fotoeléctricos.

(Solbes i Monzo, 2013)



Figura 27: Diferentes tipos de sensores fotoeléctricos (SIEMENS AG)

Fuente: (Martín & García)

Los tipos de sensores fotoeléctricos son los siguientes:

a) **Detectores basados en sistema tipo barrera**

El emisor y el receptor se encuentran en diferentes contenedores. La detección se produce al momento en que se interrumpe el haz luminoso. Se utilizan para distancias de hasta 100 metros y para detectar objetos opacos. Existe la desventaja de cablear emisor y receptor por separado.

b) **Detectores basados en sistema réflex**

El emisor y el receptor se encuentran alojados en el mismo contenedor, el cual es necesario alinear con un espejo reflector. La detección se produce en el momento en que se interrumpe el haz luminoso. Su alcance se reduce entre dos y tres veces respecto del sistema de barrera. El objeto a detectar debe ser más grande que el reflector.

c) **Detectores basados en proximidad**

Su funcionamiento es similar a los de tipo réflex, no siendo necesario el espejo reflector. El propio objeto a detectar es el encargado de reflejar el haz luminoso. Su distancia se reduce notablemente respecto a los sistemas enunciados. Se utiliza para cortas distancias y tan solo son aplicables para detectar objetos reflectores.

Sensor de efecto Hall

El fenómeno conocido como efecto Hall se caracteriza por la presencia de un campo eléctrico en un material conductor o semiconductor por el cual circula una corriente, este es atravesado perpendicularmente por un campo magnético el cual desvía las cargas y genera una diferencia de potencial y un campo magnético en el material (Rodríguez Gómez, 2012). El principio de funcionamiento del sensor efecto Hall se evidencia en el diagrama de la Figura 28.

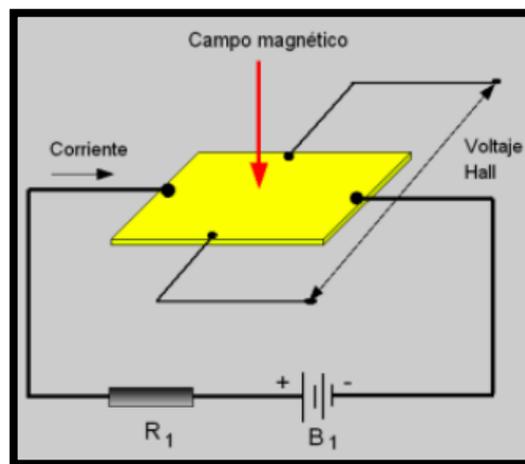


Figura 28 Diagrama de funcionamiento de un sensor efecto Hall

Fuente: (Rodríguez Gómez, 2012)

El sensor de efecto Hall se conecta mediante tres cables eléctricos. El primero corresponde al valor de masa o 0 [VDC], el segundo cable corresponde a la alimentación que puede ir entre 5 a 20 [VDC] dependiendo el sensor, por último el tercer cable corresponde a la señal de salida que varía según la presencia del campo magnético o imán.

Aplicaciones

En el campo automotriz, cumple algunas funciones como son: detectar la posición de los árboles de levas, la velocidad del vehículo y en algunos distribuidores para determinar el momento de encendido. También pueden emplearse para determinar la posición del cigüeñal.

En robótica las aplicaciones son amplias. Entre ellas se encuentra el conteo de vueltas de una llanta en un robot.

2.5 Controladores

2.5.1 DAQ (Data Acquisition)

Una DAQ es aquella que actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usado para medir una señal son: el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC. Los elementos y conexiones esquemáticas de una DAQ se muestran en la Figura 29.



Figura 29: Partes de un sistema de adquisición de datos

Fuente: **(National Instrument Corporation, 2014)**

Características de una DAQ

- Acondicionamiento de señal: es indispensable para evitar ruidos o peligros al medir directamente una señal.
- Convertidor analógico/digital (ADC): las señales analógicas deben ser convertidas en digitales antes de ser manipuladas por un computador. Un ADC es un chip que proporciona una representación digital de una señal analógica en un instante de tiempo.
- Bus de la PC: las DAQs se conectan a una PC a través de un puerto comunicación que sirve como medio de transmisión de instrucciones y datos medidos.

(National Instrument Corporation, 2014)

2.5.2 Placa ARDUINO

Arduino es una plataforma de desarrollo libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo diseñado para facilitar la implementación de proyectos electrónicos.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que corre en la placa. En la Figura 30 se observa una de las placas Arduino, denominada Arduino Uno.



Figura 30. Placa Arduino Uno

Fuente: (Arduino, 2014)

Arduino permite crear objetos interactivos, leer datos de una gran variedad de interruptores y sensores. Controlar multitud de tipos de luces, motores y otros actuadores físicos. Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o comunicarse con un programa que se ejecute a través de un HMI.

Existen determinadas placas como lo son el Arduino Bluetooth, el Pro y el Duemilanove/Diecimila que pueden interactuar con otros dispositivos existentes en el mercado.

(Arduino, 2014)

2.5.3 PLC (Controlador Lógico Programable)

Un controlador lógico programable se define como un dispositivo electrónico digital que usa una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas, de configuración de

secuencia, de sincronización, de conteo y aritméticas, para el control de maquinaria y procesos.

La estructura interna básica de un PLC en esencia consta de una unidad central de procesamiento, memoria y circuitos de entrada/salida.

Los dispositivos de entrada y de salida, que están bajo control, se conectan al PLC. El controlador monitorea las entradas y salidas de acuerdo con el programa diseñado por el operador para el PLC, que éste conserva en memoria, y de esta manera se controlan máquinas o procesos. Los PLCs permiten modificar un sistema de control sin tener que volver a alambrear las conexiones de los dispositivos de entrada y de salida. De esta manera se cuenta con un sistema flexible.

Las características principales de los PLCs son:

- Son robustos y están diseñados para resistir vibraciones, temperatura, humedad y ruido.
- La interfaz para las entradas y salidas está dentro del controlador.
- Es muy fácil programarlos, así como entender el lenguaje de programación. La programación básicamente consiste en operaciones de lógica y conmutación.

(Bolton, Mecatrónica, 2001)

Clasificación

Autómatas programables de gama baja o nanoautómatas

- Hasta un máximo de 128 entradas/salidas

- La memoria de usuario disponible es de hasta unas 4k instrucciones
- Su potencia de proceso suele ser muy limitada dedicándose a controlar máquinas muy pequeñas o cuadros de mando.

Autómatas programables de gama media

- Entre 128 y 512 entradas/salidas
- La memoria de usuario disponible alcanza hasta unas 16k instrucciones
- Los PLC de gama media suelen tener una estructura semimodular (Americana).

- **Autómatas programables de gama alta**

- Hasta un máximo de 512 entradas/salidas
- La memoria de usuario disponible es superior a 16k instrucciones
- Los PLC de gama alta suelen tener una estructura modular, que permiten una gran flexibilidad en su constitución.

(Peña, 2003)

2.6 Sistemas HMI.

El HMI más conocido como Interfaz Humano Máquina, es un software que permite que los seres humanos y los computadores interactúen entre sí, logrando controlar, monitorear y determinar el estado de un sistema de control y automatización.

Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en el computador, PLC's (controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVE's (Variadores de velocidad de motores).

(Universidad Nacional de Quilmes)

Funciones de un Software HMI

- **Monitoreo.** Es la habilidad de obtener y mostrar datos de una planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos.
- **Supervisión.** Esta función permite la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.
- **Alarmas.** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlo estos eventos.
- **Históricos.** Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia.

Modelos para HMI

Existen distintas formas de diseñar un Interfaz Hombre Máquina de acuerdo a la necesidad que el proceso lo requiera.

a) Modelo del usuario: es la visión personal del usuario acerca del sistema, es decir, la forma que el usuario espera o quisiera que se comporte. La interfaz en sí debe facilitar el proceso de crear un modelo, el cuál resulte efectivo y sea amigable con la persona que lo va a operar.

b) Modelo programador: los conocimientos del programador incluyen tanto la plataforma como las herramientas de desarrollo, las especificaciones, el sistema operativo, más no quiere decir que pueda ofrecer al usuario los modelos más adecuados.

c) Modelo del diseñador: El diseñador es el encargado de recopilar y lograr combinar tanto la información del usuario, como el material con el que dispone el programador para así llegar a cubrir las exigencias de los dos modelos anteriormente mencionados.

(Cedillo Martinez, 2008)

Norma ISA-5.5-1985

Esta norma está enfocada en establecer un sistema de símbolos gráficos para procesos industriales mostrados en las pantallas que maneja el operador durante la supervisión y control. El sistema pretende facilitar comprensión de la información estableciendo uniformidad a lo largo de las diferentes industrias de proceso.

Símbolos

Los símbolos tienen la finalidad de mejorar la percepción de la información y la facilidad de interpretación. Estos deben ser utilizados solo cuando son importantes para comprender la operación. Símbolos cualidades, tales como luminancia, tamaño, color, relleno y contraste deben considerarse colectivamente y con precaución para evitar ocultar valores de medición, alarma mensajes, etiquetas, etc.

Las características especiales de los símbolos que se describen mejoran el entendimiento de los procesos. Estas características pueden ser usadas para indicar los estados de un proceso en particular

Color

El código de color usado en los símbolos ayuda a describir el estado de cualquier proceso, el uso de color permite la identificación dinámica que mejora el desempeño del operador, reduce tiempos de búsqueda y mejora la identificación de los elementos.

La norma ISA 5.5-1985 pone en consideración la utilización de algunos colores para determinadas funciones como son:

- El número de colores debe limitarse al mínimo necesario para satisfacer los objetivos del interfaz de proceso de pantalla.
- Las grandes áreas de fondo deben llevar el color negro, azul o marrón. Estos colores deben llevar combinaciones de colores compatibles, es decir, aquellos con contraste de alta cromaticidad.
- Para asegurar la respuesta rápida del operador se utiliza colores muy saturados como el rojo y el amarillo.
- No deben utilizarse colores para indicar cualquier color cuantitativo.
- El diseñador de visualización debe establecer un conjunto de colores relacionados con el proyecto de acuerdo al significado de cada uno

La Tabla 3 muestra la aplicación que tiene cada color en el diseño de un HMI.

Tabla 3: Código de colores para interfaces HMI

COLOR	SIGNIFICADO GENÉRICO	ELEMENTO ASOCIADO
Negro	Fondo	
Rojo	Emergencia	a) Paro b) Alarma de alta prioridad c) Cerrado d) Apagado
Amarrillo	Precaución	a) Condición anormal b) Alarma con segunda prioridad
Verde	Seguro	a) Operación normal b) Inicio c) Abierto d) Encendido
Celeste	Estático y significante	a) Equipo de proceso en servicio b) Etiqueta grande
Azul	No esencial	a) Equipo de proceso en espera b) Etiquetas
Purpura	Radiación	a) Alarmas de radiación b) Valores cuestionables
Blanco	Dato dinámico	a) Mediciones e información estática b) Sistema de mensajes c) Marcha d) Paso secuencial activo

Fuente: (ISA-5.5-1985)

CAPÍTULO 3

Diseño Mecatrónico

3.1 Introducción

Los sistemas mecatrónicos son multidisciplinarios, ya que abarcan cuatro disciplinas fundamentales: eléctrica, mecánica, ciencias de la computación y tecnología. En la Figura 31 se muestra de manera resumida todo lo que abarca un sistema mecatrónico.

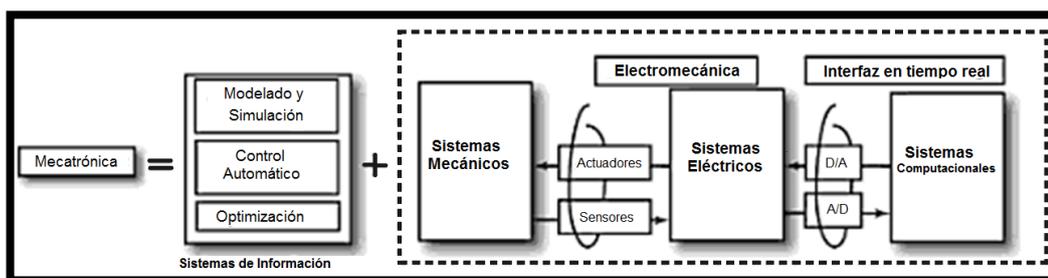


Figura 31: Elementos de un sistema mecatrónico

Fuente: (Shetty & Kolk, 2010)

La metodología empleada en un diseño mecatrónico se basa en el diseño concurrente. Entre los elementos que forman parte de este criterio están: la calidad, el entorno, los recursos humanos, gama del producto, equipos de trabajo multidisciplinarios, gestión de proyectos, estructura modular, tecnologías de la información y comunicaciones, prototipos rápidos, etc. A diferencia del diseño tradicional que es secuencial, y analiza las necesidades por separado en cada disciplina, el diseño mecatrónico tiene como resultado un producto con mayor sinergia.

El diseño mecatrónico no solo se enfoca en obtener un producto de alta calidad, sino que además se enfoca en el ciclo de vida.

Los factores del ciclo de vida del diseño son:

- Entrega: El tiempo, el costo y medio.
- Fiabilidad: Porcentaje de daños, materiales y tolerancias.
- Capacidad de mantenimiento: diseño modular.
- Facilidad de servicio: Diagnóstico a bordo, pronósticos, y diseño modular.
- Capacidad de actualización: Futura compatibilidad con el diseño.
- Desechabilidad: Reciclaje y eliminación de materiales peligrosos.

(Shetty & Kolk, 2010)

Durante el diseño se deben considerar las siguientes etapas:

- La necesidad: El proceso inicia con una necesidad, formulada por un cliente, o bien detectada mediante una investigación de mercado.
- Análisis del problema: La primera etapa en la elaboración de un diseño es definir la verdadera naturaleza del problema. Es de suma importancia definir el problema de manera precisa, una mala definición podría conducir a diseños que no satisfacen la necesidad y producen pérdidas.
- Elaboración de una especificación: Se debe dejar claro en qué consiste el problema, las restricciones que deberá satisfacer la solución y los criterios que se aplicarán para evaluar la calidad del

diseño. Deben especificarse las funciones que se pretenden obtener del diseño, así como sus características deseables.

- Propuesta de posibles soluciones: Esta es una etapa conceptual donde se elaboran bosquejos de soluciones, con el suficiente detalle que permita comprender como obtener cada una de las funciones requeridas. Se analiza soluciones a problemas similares.
- Selección de una solución idónea: Tras evaluar las propuestas de posibles soluciones, se elige la más adecuada.
- Elaboración de un diseño detallado: A la solución seleccionada se la amplía con todos sus pormenores. Lo cual podría requerir la creación de prototipos o modelos para simular los detalles óptimos del diseño.
- Elaboración de dibujos de trabajo: el diseño elegido se traduce en dibujos y diagramas de circuito en los cuales se basará el producto.

(Bolton, Mecatrónica, 2001)

3.2 Planteamiento de problemas

Los problemas se describen a continuación enlistando cada una de las falencias que actualmente presenta la máquina.

- Estructura del equipo (Tabla 4).
- Medición de revoluciones del motor (
- Tabla 5).
- Sistema de control de nivel (Tabla 6).
- Medición de deflexión para el cálculo del torque del motor (
- Tabla 7).

Tabla 4: Planteamiento de problemas para la estructura del equipo.

Estructura del equipo	
<p>Problemas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existe aislamiento de uniones y tornillos por el apoyo inadecuado de la tapa. • El tubo de plexiglas "A" presenta fracturas. • La apertura manual de la tapa genera complicaciones y daños. 	<p>Soluciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rediseñar uniones y reemplazar tornillos. • Reemplazar y manufacturar del tubo de plexiglas "A". • Diseñar un mecanismo automático de apertura y cierre de forma que no involucre al brazo superior de la estructura.
	

Tabla 5: Planteamiento de problemas para medir revoluciones del motor

Medición de revoluciones del motor	
<p>Problema</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se realiza una medición visual de revoluciones por medio de una marca pintada, debido a que el contador electromagnético de la máquina se encuentra averiado. 	<p>Solución</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar un sensor que permita el conteo de revoluciones de tal forma que no genere interferencia con ningún elemento de la máquina.
	

Tabla 6: Planteamiento de problemas para el sistema de control de nivel.

Sistema de control de nivel		
<p>Problemas</p> <ul style="list-style-type: none"> • La válvula de bola manual no permite un control rápido y preciso del nivel de agua. • No existe un dispositivo que indique el estado del nivel de agua en el tubo "B". • El panel de control contiene algunos dispositivos averiados. 	<p>Soluciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalar una válvula proporcional que controle el caudal automáticamente. • Instalar un sensor que entregue una señal precisa del nivel de agua. • Rediseñar el panel de control de manera que contenga un controlador para manipular todo el sistema. 	
		

Tabla 7: Planteamiento de problemas para la medición de deflexión

Medición de la deflexión para cálculo del torque del motor	
Problema <ul style="list-style-type: none"> • Errores en la medición de deflexión con un palpador de reloj, puesto que este entrega valores aleatorios que no pueden ser registrados instantáneamente y resulta difícil la visualización de la marca. 	Soluciones <ul style="list-style-type: none"> • Implementar un palpador electrónico que adquiera una muestra de valores durante la práctica y entregue un valor promedio. • Presentar los valores adquiridos por medio de una gráfica mostrada en un sistema HMI.
	

Los problemas detallados anteriormente se comprobaron a través de una práctica de laboratorio realizada previamente, siguiendo los pasos establecidos por el fabricante. Las soluciones planteadas son el punto de partida para desarrollo del diseño del equipo.

3.3 Análisis de alternativas para la máquina

Para el análisis de alternativas se toma en cuenta las opciones detalladas en el Capítulo 2, considerando las ventajas y desventajas que proporciona cada equipo. A continuación se enlistan las opciones establecidas.

3.3.1 Alternativas para el mecanismo de apertura y cierre

- Cables y poleas.
- Tijeras con cilindro neumático.
- Tijeras con motor eléctrico.
- Tornillo sin fin.

3.3.2 Alternativas para el controlador

- DAQ (Data Acquisition)
- PLC (Controlador Lógico Programable)
- Placa ARDUINO

3.4 Selección de las alternativas

En la selección de alternativas se utiliza una matriz de priorización que es una técnica que implica plantear criterios de decisión con el fin de analizar las distintas opciones. Entre los criterios podrían incluirse factores de importancia para el diseño como características físicas y económicas que presenta el objeto a ser analizado.

3.4.1 Matriz de priorización de alternativas.

3.4.1.1 Matriz de priorización del mecanismo de apertura y cierre

Para realizar una matriz de priorización del mecanismo como la indicada en la Tabla 9, en primer lugar se establecen criterios de selección asignándole a cada uno un grado de importancia como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8: Ponderación de criterios para selección del mecanismo

Criterio	Grado de importancia [1,3,5]	Peso relativo [%]	Cuadro de peso
Seguro	5	15%	
Fácil apertura y cierre	5	15%	
Tamaño	3	9%	
Ligero	3	9%	
Apertura Suficiente	3	9%	
Automatización	5	15%	
Económico	1	3%	
Bonito	1	3%	
Durable	3	9%	
Modularidad	5	15%	

Nota: 1=Poca Importancia; 3=Importancia Media; 5=Gran Importancia

Tabla 9: Matriz de priorización de alternativas para el mecanismo

Criterio	Seguro	Fácil apertura y cierre (Sincronización)	Tamaño	Ligero	Suficiente apertura para manipulación	Automatización	Económico	Bonito	Durable	Modularidad	Grado de satisfacción	Cuadro gráfico de satisfacción
Opciones mecanismo	15%	15%	9%	9%	9%	15%	3%	3%	9%	15%	5	
Tijera con cilindro neumático	5	5	3	3	5	5	1	5	5	5	4,62	
Tijera con motor eléctrico	5	1	1	1	5	5	1	5	3	5	3,48	
Cables y poleas	1	3	1	5	3	5	5	1	3	1	2,76	
Tornillo sin fin	3	3	5	3	3	3	3	3	3	3	3,24	

Nota: 1=Poca Importancia; 3=Importancia Media; 5=Gran Importancia

Como resultado se tiene que el mecanismo de tijeras con accionamiento por cilindro neumático cumple con las características planteadas, superando a las otras opciones con un puntaje de 4,62 / 5. Su competidor más cercano es el mecanismo de tijeras con accionamiento por motor con un puntaje 3,48 / 5. Por lo que finalmente se selecciona el mecanismo de tijeras con accionamiento por cilindro neumático.

3.4.1.2 Matriz de priorización del Controlador

Para realizar la matriz de priorización del controlador mostrada en la Tabla 11, se establecieron varios criterios que deben ser tomados en cuenta al momento de automatizar un sistema, como los indicados en la Tabla 10.

Tabla 10: Ponderación de criterios para selección del controlador

Criterio	Grado de importancia [1,3,5]	Peso relativo [%]	Cuadro de peso
Costo	5	15%	
Robustez	3	9%	
Facilidad de programación	3	9%	
Espacio ocupado	5	15%	
Acoplamiento a voltajes industriales	5	15%	
Exposición externa	1	3%	
Facilidad de expansión	1	3%	
Borneras a dispositivos externos	3	9%	
Comunicación	5	15%	
Control autónomo	3	9%	

Nota: 1=Poca Importancia; 3=Importancia Media; 5=Gran Importancia

Tabla 11: Matriz de priorización de alternativas para el controlador

Criterio	Costo	Robustez	Facilidad de programación (PID)	Espacio ocupado	Acomplamiento a voltajes industriales	Exposición externa	Facilidad de expansión	Borneras a dispositivos externos	Facilidad de Comunicación	Control autónomo	Grado de satisfacción	
Opciones Controlador	15%	9%	9%	15%	15%	3%	3%	9%	15%	9%	5	
PLC	1	5	1	3	5	5	5	5	1	5	3,2	
	0,15	0,44	0,09	0,44	0,74	0,15	0,15	0,44	0,15	0,44		
ARDUINO	5	3	5	5	3	3	3	1	5	5	4,1	
	0,74	0,26	0,44	0,74	0,44	0,09	0,09	0,09	0,74	0,44		
DAQ	3	3	5	5	3	3	3	1	5	1	3,4	
	0,44	0,26	0,44	0,74	0,44	0,09	0,09	0,09	0,74	0,09		

Nota: 1=Poca Importancia; 3=Importancia Media; 5=Gran Importancia

Como resultado se tiene que la placa ARDUINO predomina con un valor de 4,1 / 5 frente a la DAQ que alcanza un 3,4 / 5. Así se concluye que el controlador que brinda más prestaciones para este proyecto es una placa ARDUINO.

3.4.2 Descripción de la alternativa seleccionada.

3.4.2.1 Descripción del mecanismo tipo tijera con accionamiento por cilindro neumático

El mecanismo tipo tijera seleccionado, consta básicamente de cuatro brazos móviles, dispuestos en forma de dos X paralelas, con un pivote en el centro. Además presenta un soporte inferior y un superior con sus respectivas rieles para el deslizamiento de los brazos durante la apertura y cierre. La distribución de los mismos es evidenciada en la Figura 32.

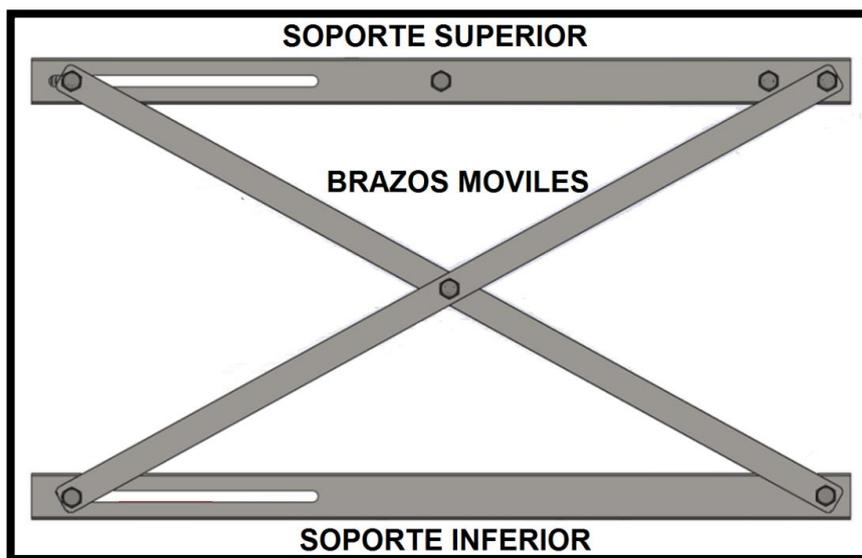


Figura 32: Distribución de soportes y brazos del mecanismo tipo tijera

Brazos móviles

Los brazos son construidos en platinas, luego de haber seleccionado el espesor a partir de cálculos de los esfuerzos generados por el mecanismo. Existen tres perforaciones como las que se indica en la Figura 33 para la unión entre los brazos y la sujeción a los soportes tanto superior como inferior.

Además para evitar el pandeo y dar mayor estabilidad se disponen de dos pares de brazos en forma de X como muestra la Figura 34.

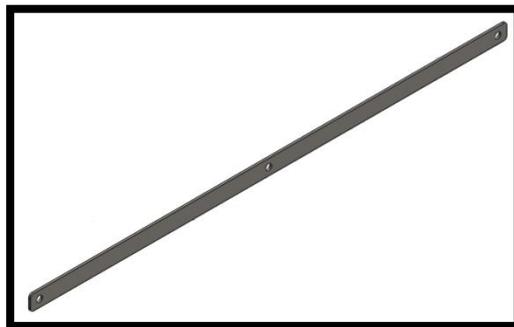


Figura 33: Brazo del mecanismo tipo tijera



Figura 34: Disposición de los brazos del mecanismo tipo tijera

Soportes superior e inferior

Los soportes tanto superior como inferior son considerados como perfiles tipo C como los mostrados en la Figura 35. Este perfil facilita el movimiento de los brazos ya que puede ubicarse una ranura de deslizamiento en su cara lateral y además puede ser sujetado de la parte inferior.

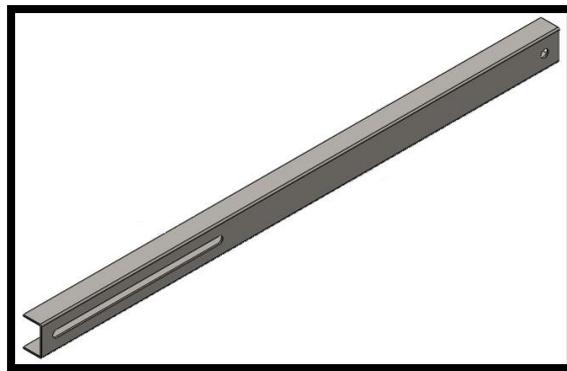


Figura 35: Soporte del mecanismo tipo tijera

El propósito del perfil tipo C es guiar un rodamiento en su parte interior como se muestra en la Figura 36, de forma que la apertura y el cierre no tengan mayor fricción y se asegure un desplazamiento lineal homogéneo.



Figura 36: Ranura de deslizamiento y guía con rodamiento para el mecanismo tipo tijera

Actuador: Cilindro neumático

El cilindro neumático es capaz de generar la fuerza necesaria para garantizar la correcta apertura del mecanismo. Se fabrica un acople tipo L sujeto por un extremo al eje del rodamiento que se encuentra apoyado en el perfil en C y por otro extremo sujeto al vástago del pistón como muestra la Figura 37. Logrando de esta manera el desplazamiento requerido.

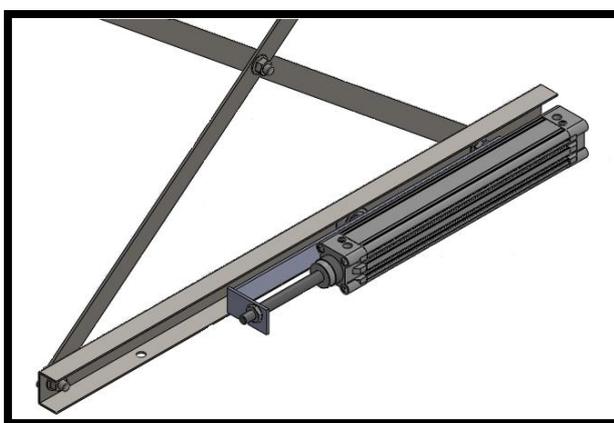


Figura 37: Acople del cilindro neumático al mecanismo tipo tijera

3.4.2.2 Descripción controlador Placa ARDUINO

La placa Arduino generalmente está constituida por una serie de componentes, los cuales se detallan a continuación:

Microcontroladores

Las placas Arduino en su mayoría utilizan un microcontrolador ATmega168 y en algunas placas antiguas el ATmega8. En la Tabla 12 se describe las características de los controladores anteriormente mencionados.

Tabla 12: Características de los microcontroladores ATmega168 y ATmega8

<i>ATmega168</i>		<i>ATmega8</i>	
Terminales de E/S digital	14 (6 PWM)	Pines de E/S digital	14 (3 PWM)
Terminales de entrada analógicos	6 (DIP) o 8 (SMD)	Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por terminal de E/S	40 mA	Corriente DC por pin de E/S	40 mA
Memoria Flash	16 KB	Memoria Flash	8 KB
SRAM	1 KB	SRAM	1 KB
EEPROM	512 bytes	EEPROM	512 bytes

Fuente: (Arduino, 2014)

Terminales digitales

Las terminales digitales pueden ser utilizados como entradas y salidas de propósito general a través de los comandos `pinMode()`, `digitalRead()`, y `digitalWrite()`. Además cada terminal tienen una resistencia pull-up que puede activarse o desactivarse utilizando `DigitalWrite()` cuando está configurado como entrada. La corriente máxima de salida es 40mA. Entre las funciones de los terminales digitales se tienen los representados en la Figura 38 y descritos a continuación.

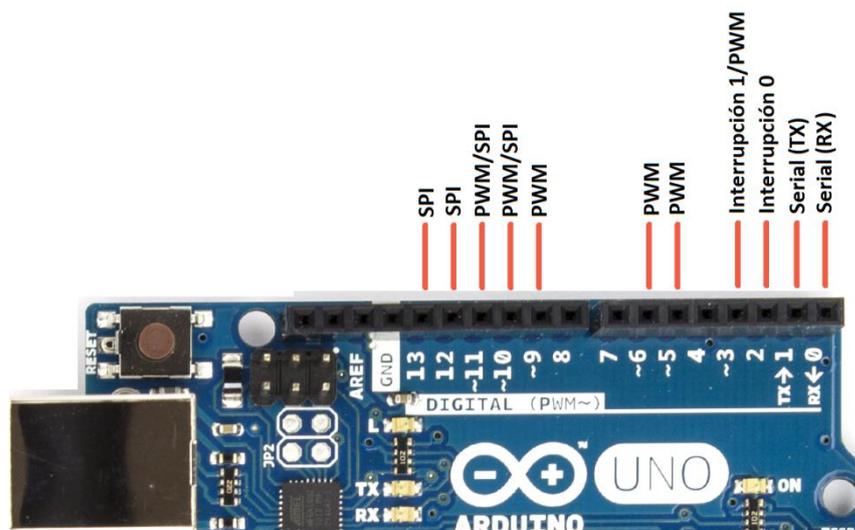


Figura 38: Terminales digitales en placas ARDUINO

Fuente: (Arduino, 2014)

- **Serial (RX y TX).**- estos terminales son utilizados para recibir y para enviar datos serie TTL.
- **Interrupciones externas.**- estas interrupciones pueden ser configuradas para disparar una interrupción con un valor en bajo, un pulso de subida o bajada o cambio de valor.
- **PWM.**- proporciona salidas PWM de 8 bits con la función `analogWrite()`.
- **Reset BT:** es conectado a la línea de reset del módulo bluetooth.
- **SPI.**- estos terminales soportan comunicación SPI. Aunque esta funcionalidad esta proporcionada por el hardware, no está incluida actualmente en el lenguaje Arduino.

- **LED.-** existe un led conectado en uno de los pines que se enciende cuando está en alto y se apaga cuando está en bajo. Este componente está disponible en ciertas placas Arduino.

Terminales analógicos

Los pines de entrada analógicos soportan conversiones analógico-digital (ADC) de 10 bits utilizando la función `analogRead()`. Dependiendo del tipo de placa se manejan ciertas restricciones con cada una de sus terminales. Una de las funciones principales de esta sección es la comunicación I2C que soportan, complementado con una librería.

Terminales de alimentación

- **VIN.-** es el voltaje de entrada a la placa Arduino cuando se utiliza una fuente de alimentación externa.
- **5V.-** es una fuente de 5 [VDC] y sirve para alimentar varios componentes externos a la placa.
- **3.3V.-** es un fuente de 3.3 [VDC] pero solo la tiene el Arduino Diacemila.
- **GND.-** son pines de tierra.

Otros Pines

- **AREF.-** es la referencia de voltaje para las entradas analógicas. Utilizada con la función `analogReference()`.

- **Reset.-** se pone esta línea en bajo para resetear el microcontrolador pero solo tiene el Arduino Diacemila.

(Arduino, 2014)

3.5 Diseño del mecanismo

3.5.1 Diseño del mecanismo de apertura y cierre.

3.5.1.1 Dimensionamiento de apertura y longitud de brazos del mecanismo.

Considerando que la altura del depósito junto con la tapa cuando esta se encuentra cerrada presenta una altura inicial, el mecanismo inicia desde la posición que muestra la Figura 39 (B) hasta una altura deseada representada por la Figura 39 (A).

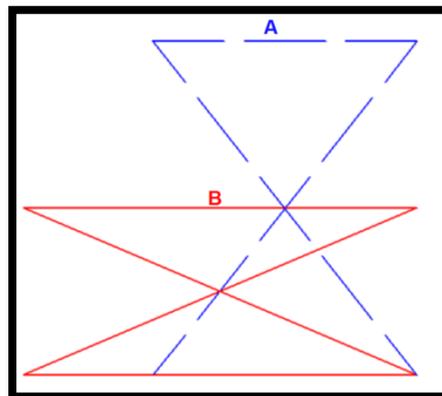


Figura 39: Mecanismo de tijera comprimido y estirado

Las dimensiones establecidas para el mecanismo son las siguientes:

- Altura inicial del mecanismo con la tapa cerrada: 360mm.
- Apertura deseada: entre 200 a 250mm.

Consideraciones del mecanismo tipo tijera para la elevación correcta:

- Longitud horizontal inicial L
- Longitud horizontal en su apertura máxima $2L/3$

Considerando la apertura de 250 mm se tiene la Figura 40.

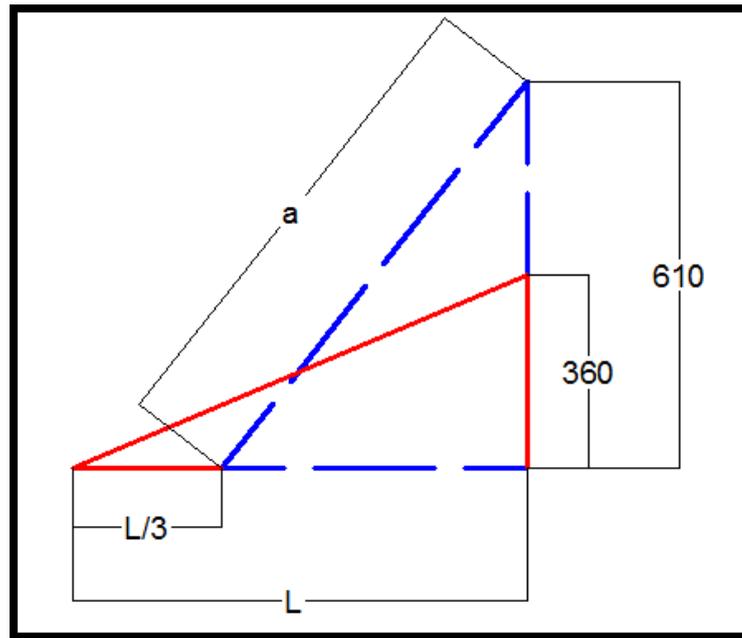


Figura 40: Dimensiones requeridas para el funcionamiento correcto del mecanismo tipo tijera

Ecuación del mecanismo cerrado

$$a^2 = (L)^2 + (360)^2$$

Ecuación del mecanismo abierto

$$a^2 = \left(\frac{2L}{3}\right)^2 + (610)^2$$

Dónde:

$$L = 660,68 \text{ mm}$$

$$a = 752,40 \text{ mm}$$

Con lo que se tiene la Figura 41 con los valores calculados:

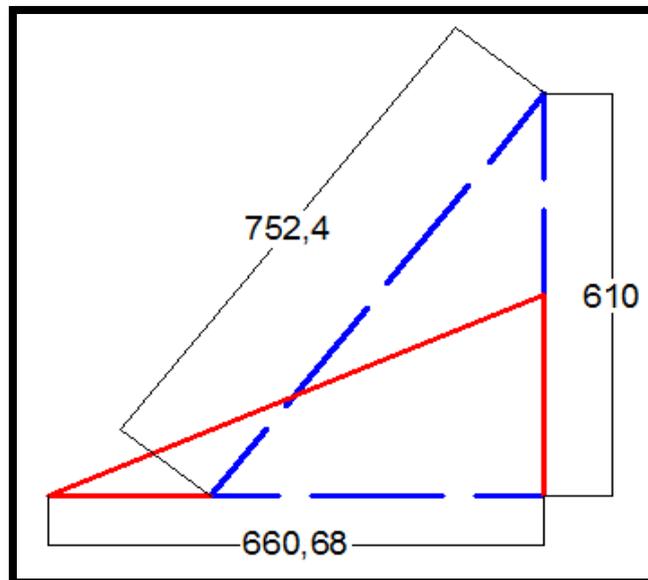


Figura 41: Dimensión del brazo y longitud horizontal del mecanismo

Considerando la holgura de la apertura deseada se aproxima los valores a aquellos que permitan una fácil fabricación

$$L = 660 \text{ mm}$$

$$a = 750 \text{ mm}$$

A partir de estas dimensiones se obtienen el ángulo máximo y mínimo que tendrán los brazos del mecanismo con respecto a la horizontal.

$$\theta_{min} = 28,61^\circ$$

$$\theta_{max} = 42,75^\circ$$

Carrera horizontal de la apertura ($L/3$): 220mm

3.5.1.2 Características de la tapa a ser levantada

La Figura 42 muestra las características físicas de la tapa, disponible en el equipo.

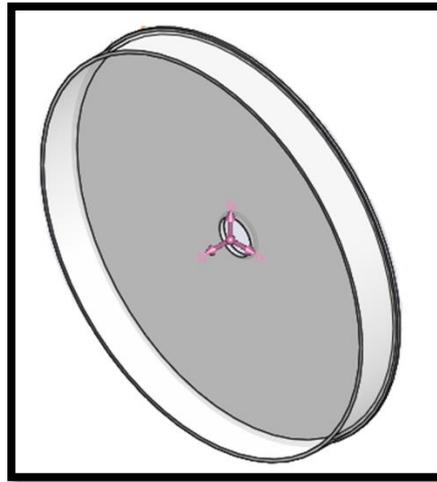


Figura 42: Tapa del tanque transparente de plexiglás

Con las dimensiones tomadas de la tapa y considerando la densidad del plexiglás se presenta las siguientes propiedades:

- Densidad plexiglás: $1,19 \text{ g/cm}^3$
- Diámetro de la tapa: $91,44 \text{ cm}$
- Volumen de la tapa: $5766,214 \text{ cm}^3$
- Peso de la tapa: $6,9 \text{ kg}$

3.5.1.3 Esquema del mecanismo

El mecanismo consta de dos tijeras ubicadas paralelamente en los extremos laterales del equipo, sujetando la tapa mediante acoples.

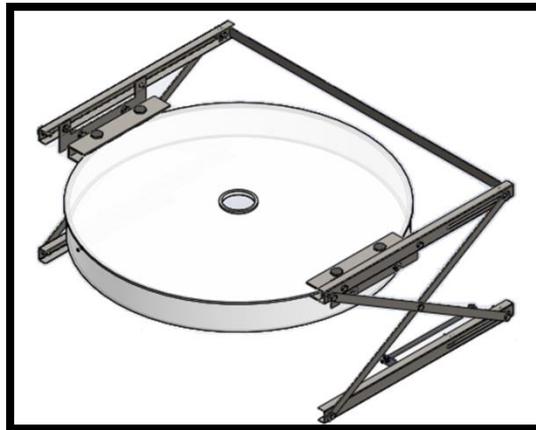


Figura 43: Esquema del mecanismo de apertura en el equipo

3.5.2 Cálculos y experimentación de la capacidad del mecanismo.

3.5.2.1 Selección del factor de seguridad para el cálculo.

Método Pugsley

La selección del factor de seguridad se realiza a partir del producto de dos factores que involucran las incertidumbres más frecuentes declaradas por los diseñadores de estructuras metálicas.

$$n_s = n_{sx} * n_{sy}$$

Dónde:

n_{sx} = Factor de seguridad que involucra aspectos de control y calidad.

(Características A, B y C)

n_{sy} = Factor de seguridad que involucra aspectos de seguridad y economía. (Características D y E)

A = Calidad de los materiales, mano de obra, mantenimiento e inspección

B = Control sobre la carga aplicada

C = Exactitud del análisis de esfuerzos, de la información experimental o experiencias en diseños similares.

D = Peligro para el personal

E = Impacto económico

Tabla 13: Características para el factor de seguridad A, B y C

Característica		B			
A	C	MB	B	R	P
MB	MB	1.1	1.3	1.5	1.7
	B	1.2	1.45	1.7	1.95
	R	1.3	1.6	1.9	2.2
	P	1.4	1.75	2.1	2.45
B	MB	1.3	1.55	1.8	2.05
	B	1.45	1.75	2.05	2.35
	R	1.6	1.95	2.3	2.65
	P	1.75	2.15	2.55	2.95
R	MB	1.5	1.8	2.1	2.4
	B	1.7	2.05	2.4	2.75
	R	1.9	2.3	2.7	3.1
	P	2.1	2.55	3.0	3.45
P	MB	1.7	2.15	2.4	2.75
	B	1.95	2.35	2.75	3.15
	R	2.2	2.65	3.1	3.55
	P	2.45	2.95	3.45	3.95

Nota: MB = Muy bueno, B = Bueno, R = Regular, P = Pobre

Tabla 14: Características para el factor de seguridad D y E

Característica	D		
E	NS	S	MS
NS	1.0	1.2	1.4
S	1.0	1.3	1.5
MS	1.2	1.4	1.6

Nota: MS = Muy serio, S = Serio, NS = No serio

(Schmid, Hamrock, & O., 2013)

Selección del factor de seguridad

A = Buena, no arriesga en sí el funcionamiento total del equipo, mas es importante al cargar un material más frágil.

B = Muy buena, el mecanismo no está expuesto a sobrecargas y su carga es constante y fija.

C = Buena, el análisis con cálculos y simulaciones en las posiciones críticas permite una mayor exactitud, pero no existe experiencia en diseños similares

$$n_{sx} = 1,45$$

D = Serio, si falla puede recaer el mecanismo sobre el operario, pero la carga no es alta ni el material peligroso.

E = Serio, la estructura del mecanismo no representa un alto porcentaje del proyecto por lo que su costo debe ser reducido.

$$n_{sy} = 1.3$$

Por lo tanto el factor de seguridad determinado para el diseño es de

$$n_s = 1,45 * 1,3$$

$$n_s = 1,88$$

Considerando que este factor de seguridad obtenido mediante este método es un valor orientador y es preferible seleccionar un coeficiente de seguridad mayor. Por lo cual se diseña el mecanismo con un factor de seguridad $n_s = 2$.

3.5.2.2 Análisis estático del mecanismo tipo tijera equilibrado

Diagrama del cuerpo libre mecanismo tipo tijera equilibrado

Para el análisis del mecanismo es necesario realizar un diagrama de cuerpo libre como el que se muestra en la Figura 44, además descomponer en diagramas independientes para cada brazo como los mostrados en la Figura 45 y la Figura 46

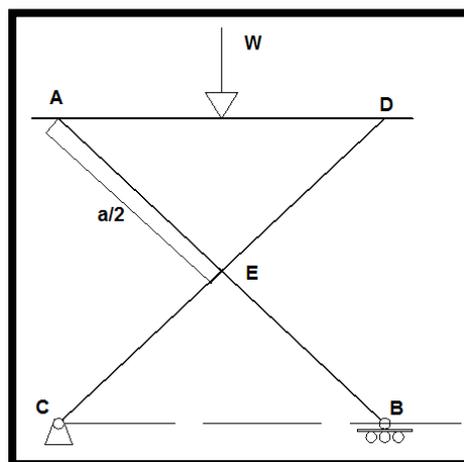


Figura 44: Diagrama del cuerpo libre mecanismo tipo tijera equilibrado

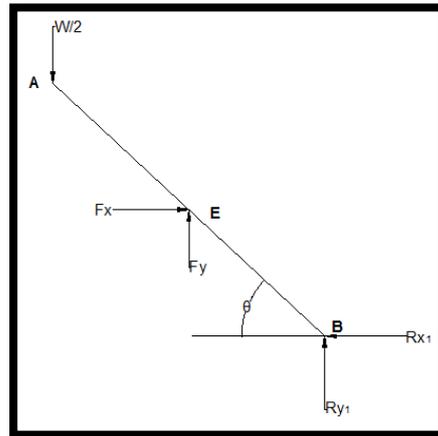


Figura 45: Diagrama del cuerpo libre brazo 1 mecanismo equilibrado

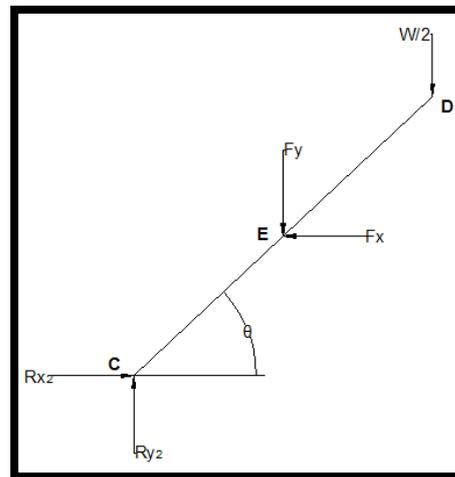


Figura 46: Diagrama del cuerpo libre brazo 2 mecanismo equilibrado

Ecuaciones estáticas

Considerando positivos: el momento en sentido anti-horario y las fuerzas hacia derecha y hacia arriba se tiene:

Para el brazo 1:

$$\sum M_B = 0 = \frac{W}{2} * a * \cos \theta - F_y * \frac{a}{2} * \cos \theta - F_x * \frac{a}{2} * \sin \theta$$

$$\sum F_x = 0 = F_x - R_{x1}$$

$$\sum F_y = 0 = -\frac{W}{2} + F_y + R_{y1}$$

Para el brazo 2:

$$\sum M_C = 0 = -\frac{W}{2} * a * \cos \theta - F_y * \frac{a}{2} * \cos \theta + F_x * \frac{a}{2} * \sin \theta$$

$$\sum F_x = 0 = -F_x + R_{x2}$$

$$\sum F_y = 0 = -\frac{W}{2} - F_y + R_{y2}$$

Solución sistema de ecuaciones 6x6

$$\begin{bmatrix} F_x & F_y & R_{x1} & R_{x2} & R_{y1} & R_{y2} \\ a/2 * \sin \theta & a/2 * \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ a/2 * \sin \theta & -a/2 * \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Ind \\ W/2 * a * \cos \theta \\ 0 \\ W/2 \\ W/2 * a * \cos \theta \\ 0 \\ W/2 \end{bmatrix}$$

Fuerzas Resultantes:

$$R_{x1} = R_{x2} = \frac{W}{\tan \theta}$$

$$R_{y1} = R_{y2} = \frac{W}{2}$$

$$F_x = \frac{W}{\tan \theta}$$

$$F_y = 0$$

3.5.2.3 Análisis estático del mecanismo tipo tijera diseñado

La estructura presenta un soporte para el rotámetro, lo que genera dificultad al momento de centrar el mecanismo con la carga (tapa). Por lo

cual las fuerzas del mecanismo no están distribuidas de forma equitativa y se ejerce mayor fuerza en un brazo que en otro.

Para el análisis el mecanismo se encuentra dispuesto como se indica en la Figura 47.

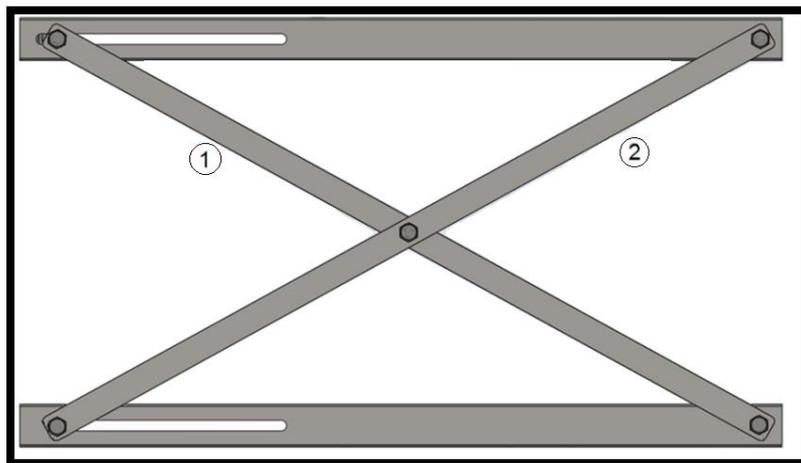


Figura 47: Distribución de los brazos del mecanismo tipo tijera

De esta forma, las ecuaciones que rigen al sistema son:

Para el brazo 1:

$$\sum M_B = 0 = W1 * a * \cos \theta - F_y * \frac{a}{2} * \cos \theta - F_x * \frac{a}{2} * \sin \theta$$

$$\sum F_x = 0 = F_x - R_{x1}$$

$$\sum F_y = 0 = -W1 + F_y + R_{y1}$$

Para el brazo 2:

$$\sum M_C = 0 = -W2 * a * \cos \theta - F_y * \frac{a}{2} * \cos \theta + F_x * \frac{a}{2} * \sin \theta$$

$$\sum F_x = 0 = -F_x + R_{x2}$$

$$\sum F_y = 0 = -W2 - F_y + R_{y2}$$

Para solucionar el sistema se analiza previamente la distribución de pesos sobre la estructura que sujeta la tapa. Considerando que al tratarse de dos mecanismos de tijera trabajando a la par, el peso en cada soporte se distribuye equitativamente sobre los soportes, teniendo así en cada uno un cuarto del peso total de la tapa.

Para el análisis del brazo superior se muestra el diagrama del cuerpo libre en la Figura 48.

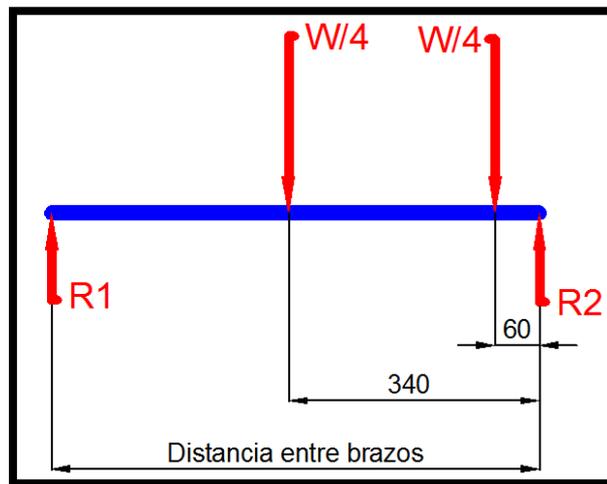


Figura 48: Diagrama del cuerpo libre para el soporte superior del mecanismo

Distancia entre brazos: Db

Sumatoria de fuerzas y momentos:

$$\sum F_y = 0 = R_1 + R_2 - \frac{W}{4} - \frac{W}{4}$$

$$\sum M_2 = 0 = R_1 * (Db) - \frac{W}{4} * (340) - \frac{W}{4} * (60)$$

De esta forma los pesos que se aplican en cada brazo del mecanismo resultan respectivamente:

$$R_1 = W_1 = \frac{100W}{Db}$$

$$R_2 = W_2 = \frac{W}{2} - \frac{100W}{Db}$$

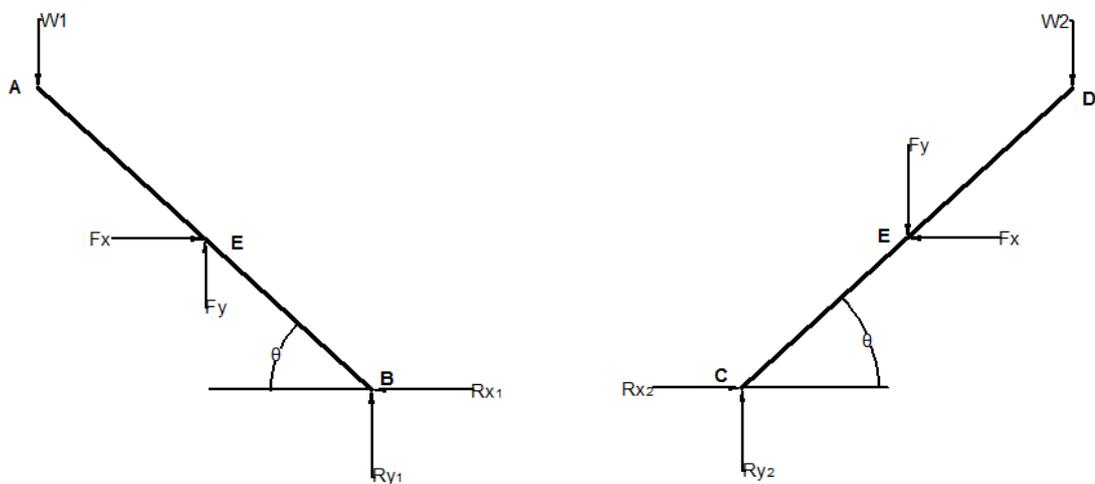


Figura 49: Diagramas del cuerpo libre para los brazos del mecanismo

Resolviendo las ecuaciones del sistema se tiene

Para el brazo 1:

$$\sum M_B = 0 = W_1 * a * \cos \theta - F_y * \frac{a}{2} * \cos \theta - F_x * \frac{a}{2} * \sin \theta$$

$$\sum F_x = 0 = F_x - R_{x1}$$

$$\sum F_y = 0 = -W_1 + F_y + R_{y1}$$

Para el brazo 2:

$$\sum M_C = 0 = -W2 * a * \cos \theta - F_y * \frac{a}{2} * \cos \theta + F_x * \frac{a}{2} * \sin \theta$$

$$\sum F_x = 0 = -F_x + R_{x2}$$

$$\sum F_y = 0 = -W2 - F_y + R_{y2}$$

Solución sistema de ecuaciones 6x6

$$\begin{bmatrix} F_x & F_y & R_{x1} & R_{x2} & R_{y1} & R_{y2} \\ a/2 * \sin \theta & a/2 * \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ a/2 * \sin \theta & -a/2 * \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Ind \\ W1 * a * \cos \theta \\ 0 \\ W1 \\ W2 * a * \cos \theta \\ 0 \\ W2 \end{bmatrix}$$

Fuerzas Resultantes:

$$R_{x1} = R_{x2} = F_x = \frac{W1 + W2}{\tan \theta}$$

$$R_{y1} = W2$$

$$R_{y2} = W1$$

$$F_y = W1 - W2$$

Analizando dos posiciones extremas para el mecanismo, es decir, totalmente abierta y totalmente cerrada, se tiene que los valores de las fuerzas para cada una de las posiciones son totalmente diferentes. Por ello a continuación se presenta la Tabla 15 de resultados para los casos mencionados.

Tabla 15: Resultados de las fuerzas en el mecanismo tipo tijera

Caso	α	Db	W1	W2	Fx	Fy	Rx1	Rx2	Ry1	Ry2
	°	mm	N	N	N	N	N	N	N	N
Abierto	42,8	440	44,6	53,5	106,1	-8,9	106,1	106,1	53,5	44,6
Cerrado	28,6	660	29,7	68,4	179,9	-38,7	179,9	179,9	68,4	29,7

El peso establecido para los cálculos es de $(W)= 20$ [kg]. Tomando en consideración 7 [kg] del peso de la tapa, 3 [kg] del peso de los acoples y 10 [kg] del peso de la estructura de los mecanismos tipo tijera.

3.5.2.4 Selección del material para el mecanismo.

Para seleccionar el material del mecanismo, se maneja el programa CES. Por lo que es necesario tomar en cuenta los siguientes requisitos con los que debe cumplir el material:

- Resistencia a la fluencia
- Bajo costo
- Facilidad de corte
- Facilidad para la perforación
- Acabado adecuado (facilidad de pintado)
- Sujeción con pasadores y pernos

Para la selección del material se consideran esfuerzos superiores a 10MPa y precios bajos siguiendo la Figura 50

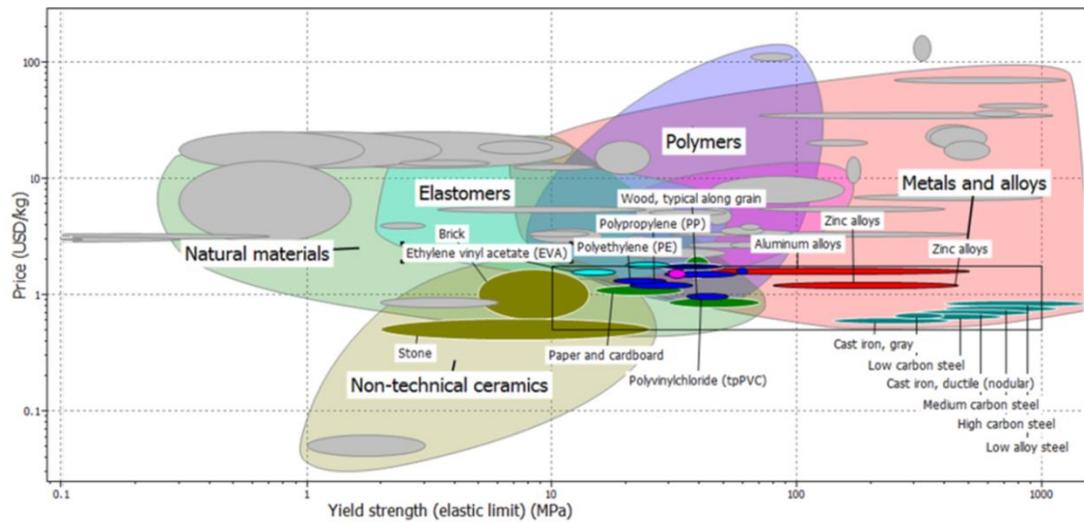


Figura 50: Selección del material para el mecanismo considerando esfuerzos y costos

Por ultimo hay que seguir ciertos requerimientos para la manufactura como son: facilidad de corte, facilidad de perforación y un acabado adecuado.

Bajo las consideraciones mencionadas, los materiales que aplican para un buen funcionamiento se muestran en la Figura 51.

3. Results: 15 of 67 pass

Show:

Rank by:

Name	Price (USD/kg)
Cast iron, ductile (nodular)	0.624 - 0.686
Low carbon steel	0.634 - 0.698
Medium carbon steel	0.671 - 0.738
High carbon steel	0.723 - 0.796
Low alloy steel	0.806 - 0.887
Polyvinylchloride (tpPVC)	0.93 - 1.02
Polypropylene (PP)	1.15 - 1.27
Zinc alloys	1.16 - 1.27
Polyethylene (PE)	1.26 - 1.39
Polystyrene (PS)	1.43 - 1.57
Polyethylene terephthalate (PET)	1.52 - 1.67
Aluminum alloys	1.54 - 1.69
Phenolics	1.65 - 1.87

Figura 51: Listado de materiales (CES)

Finalmente se concluye que los materiales más óptimos son los aceros. Tomando en consideración que la estructura de la máquina está fabricada de acero estructural, la selección final del material es el acero estructural A36.

3.5.2.5 Dimensionamiento de platinas a partir del análisis de esfuerzos.

Para el análisis de esfuerzos en los brazos, se requiere descomponer las fuerzas a ejes tangenciales y normales como se muestra en la Figura 52 y en la Figura 56. Considerando que se generan fuerzas mayores cuando el mecanismo se encuentra en su posición más baja. Por ello el análisis de esfuerzos se realiza en dicha posición.

Al trabajar con dos pares de brazos en cada mecanismo, cada uno de ellos sufre una carga equivalente a la mitad del peso que soportaría si se tratara de un solo conjunto de brazos.

BRAZO 1

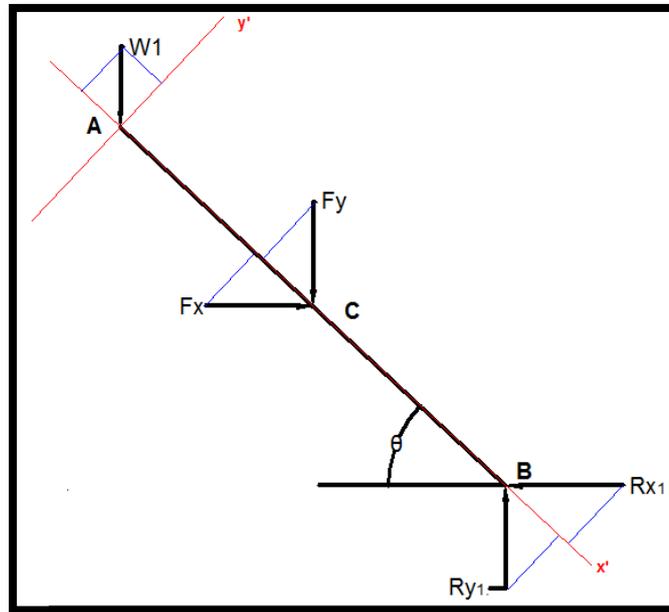


Figura 52: Descomposición de fuerzas en el brazo 1 en ejes X' y Y'

Resultados de las fuerzas descompuestas en los nuevos ejes para el brazo 1 (Véase Tabla 16)

Ángulo de trabajo = $28,61^\circ$

W11 = Peso W1 aplicado individualmente sobre un brazo 1

Tabla 16: Fuerzas sobre en el brazo 1 descompuestas en los ejes X' y Y'

	W1 [N]	W11 [N]	Fx [N]	Fy [N]	Rx1 [N]	Ry1 [N]
X'	26,10	13,05	78,94	16,96	-78,94	-30,01
Y'	-14,24	-7,12	43,06	-9,25	-43,06	16,37

Resultantes de las fuerzas descompuestas en los puntos A, B y C (Véase Tabla 17)

Tabla 17: Resultantes de las fuerzas del brazo 1 en los puntos A, B y C

	A (W11) [N]	B (F _x +F _y) [N]	C (R _{x1} +R _{y1}) [N]
X'	13,05	95,91	108,96
Y'	-7,12	33,81	-26,69

Cálculos de esfuerzos en el brazo 1

a) Cálculos a flexión

Para realizar los cálculos de flexión, el primer paso es realizar los diagramas de fuerza cortante y momento flector como se muestra en la Figura 53 .

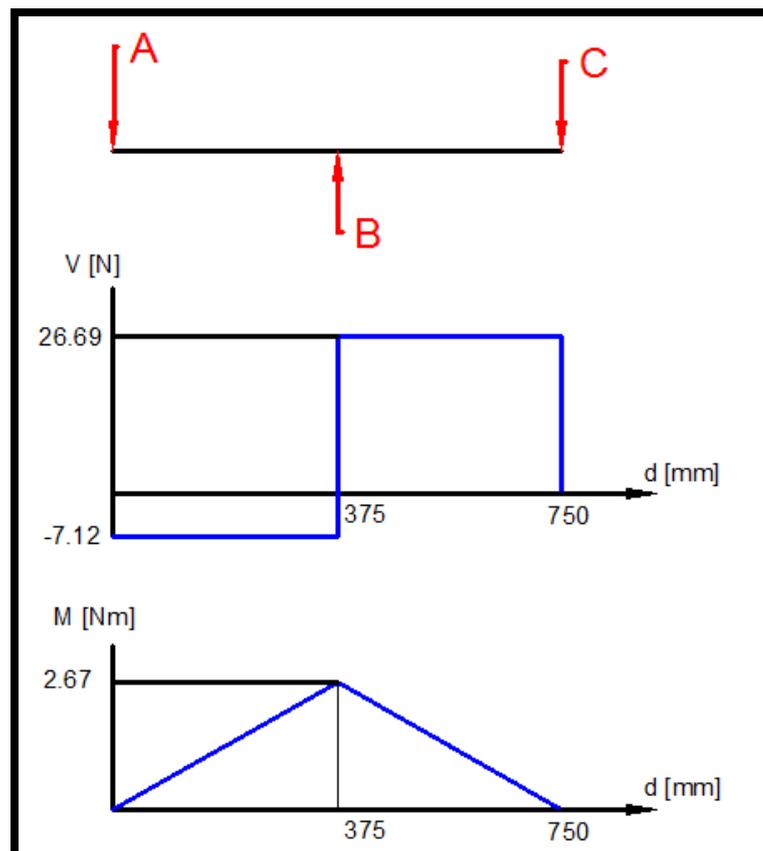


Figura 53: Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el brazo 1

Los resultados son detallados en la Tabla 18.

Tabla 18: Resultados de momentos flectores y fuerzas cortantes en los tramos del brazo 1

	Momento [N*m]	F Y' [N]
A	0	-7,12
B	2,669	33,81
C	0	-26,69

El esfuerzo de una viga a flexión está definido por:

$$\sigma_f = \frac{M * C}{I}$$

Considerando que en los puntos A, B y C existe un agujero para pivotar el movimiento de los brazos del mecanismo, la inercia de la platina debe reducirse considerando el área perforada, mostrada en la Figura 54.

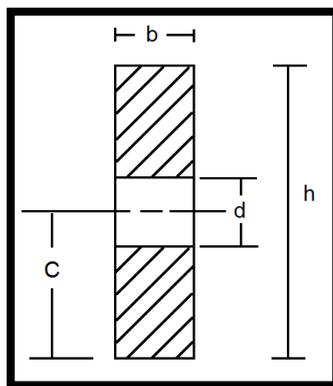


Figura 54: Sección de la platina en el punto de análisis de esfuerzos.

Dónde d es el diámetro del agujero para el pasador.

Finalmente:

$$\sigma_f = \frac{M * h/2}{bh^3/12 - bd^3/12} = \frac{6 * M * h}{b(h^3 - d^3)}$$

b) Cálculos a compresión

Para realizar los cálculos de compresión, el primer paso es realizar el diagrama de fuerza de compresión que se muestra en la Figura 55.

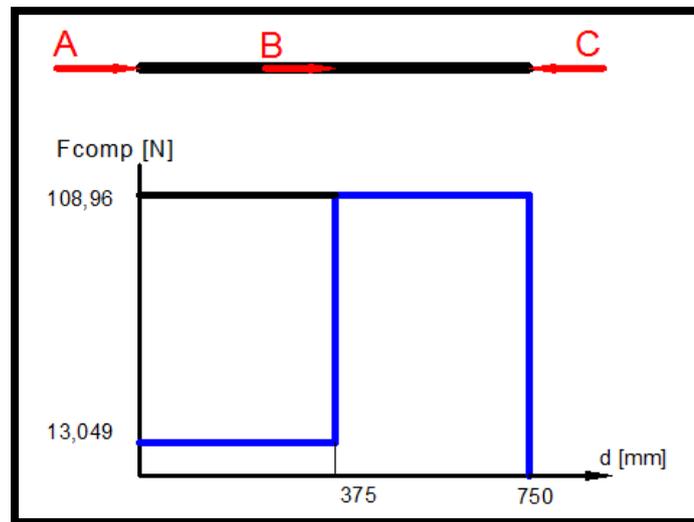


Figura 55: Diagrama de fuerza de compresión en el brazo 1

Los resultados son detallados en la Tabla 19 que se muestra a continuación.

Tabla 19: Resultados de las fuerzas de compresión en el brazo 1

Compresión [N]	X
A	13,05
B	95,91
C	-108,96

El esfuerzo de una viga a compresión está definido por:

$$\sigma_T = \frac{F}{A}$$

Bajo la misma consideración de la perforación de los pernos tomada en los esfuerzos a flexión; el área para el esfuerzo a compresión también se ve reducida.

$$\sigma_T = \frac{F}{bh - bd}$$

Cálculo aplicando el factor de seguridad para los esfuerzos obtenidos

Considerando el factor de seguridad de $n=2$ seleccionado previamente se tiene:

Para flexión:

$$\frac{Sy}{\sigma_f} = n = 2$$

$$\frac{Sy}{2} = \frac{6 * M * h}{b(h^3 - d^3)}$$

$$Sy = \frac{12 * 2,669 * h}{b(h^3 - d^3)}$$

Para tensión:

$$\frac{Sy}{\sigma_T} = n = 2$$

$$\frac{Sy}{2} = \frac{F}{bh - bd}$$

$$Sy = \frac{108,96 N}{bh - bd}$$

Siendo el material seleccionado un acero estructural, A36, cuya fluencia es de 250MPa. Las dimensiones requeridas para la platina se relacionan con la siguiente ecuación:

Para flexión

$$250MPa = \frac{12 * 2,669N * m * h}{b(h^3 - d^3)}$$

$$\frac{b(h^3 - d^3)}{h} = 1,28 * 10^{-7}m^3$$

Para tensión

$$250 MPa = \frac{108,96 N}{bh - bd}$$

$$(bh - bd) = 4,358 * 10^{-7}m^2$$

BRAZO 2

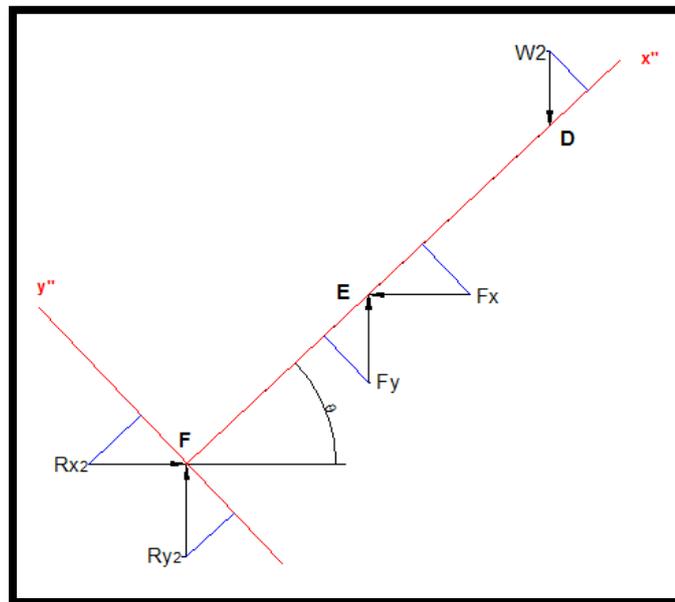


Figura 56: Descomposición de fuerzas en el brazo 2 en ejes x'' y y''

Resultados de las fuerzas descompuestas en los nuevos ejes para el brazo 2 (Véase Tabla 20).

Ángulo de trabajo = $28,61^\circ$

W22= Peso W2 aplicado individualmente sobre un brazo 2

Tabla 20: Fuerzas sobre en el brazo 2 descompuestas en los ejes X'' y Y''

	W2 [N]	W22 [N]	Fx [N]	Fy [N]	Rx2 [N]	Ry2 [N]
X''	-60,03	-30,01	-78,95	16,96	78,95	13,05
Y''	-32,74	-16,37	43,06	9,25	-43,06	7,12

Resultantes de las fuerzas descompuestas en los puntos D, E y F (Tabla 21)

Tabla 21: Resultantes de las fuerzas del brazo 2 en los puntos D, E y F

	D (W22) [N]	E (Fx+Fy) [N]	F (Rx2+Ry2) [N]
X''	-30,01	-61,98	91,99
Y''	-16,37	52,31	-35,94

Cálculos de esfuerzos en el brazo 2

a) Cálculos a flexión

Para realizar los cálculos de flexión, el primer paso es realizar los diagramas de fuerza cortante y momento flector como se muestra en la Figura 57 .

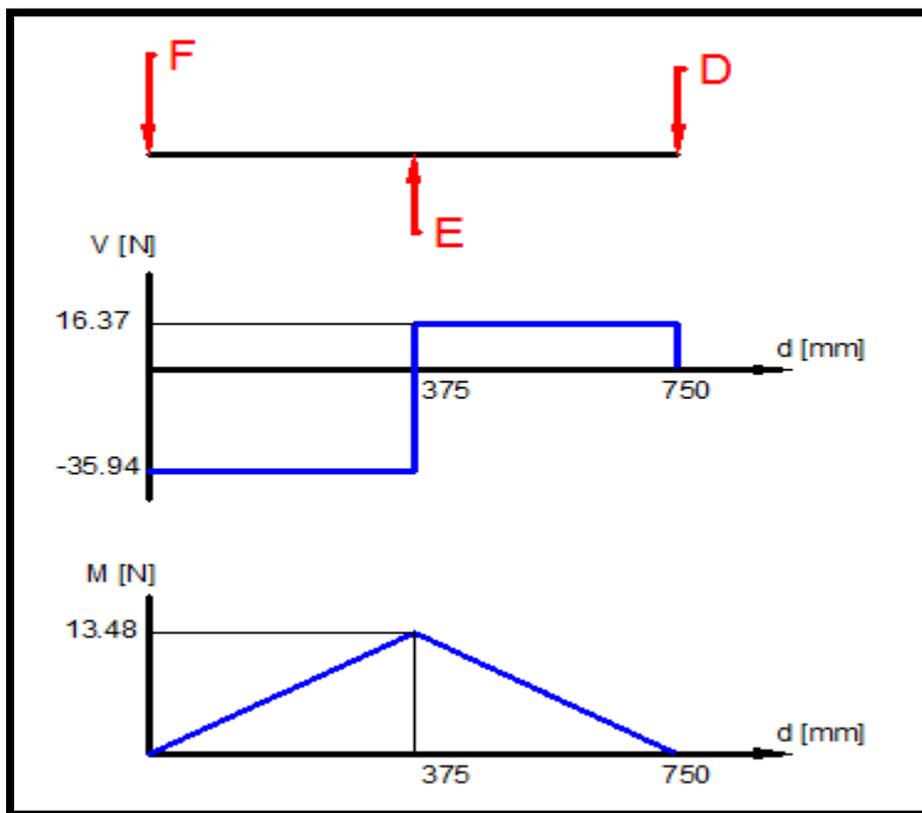


Figura 57: Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el brazo 2

Los resultados son detallados en la Tabla 22 que se muestra a continuación.

Tabla 22: Resultados de momentos flectores y fuerzas cortantes en el brazo 2

	Momento [N*m]	F Y'' [N]
F	0	-35,94
E	13,48	52,31
D	0	-16,37

b) Cálculos a compresión

Para realizar los cálculos de compresión, el primer paso es realizar el diagrama de fuerza de compresión que se muestra en la Figura 58.

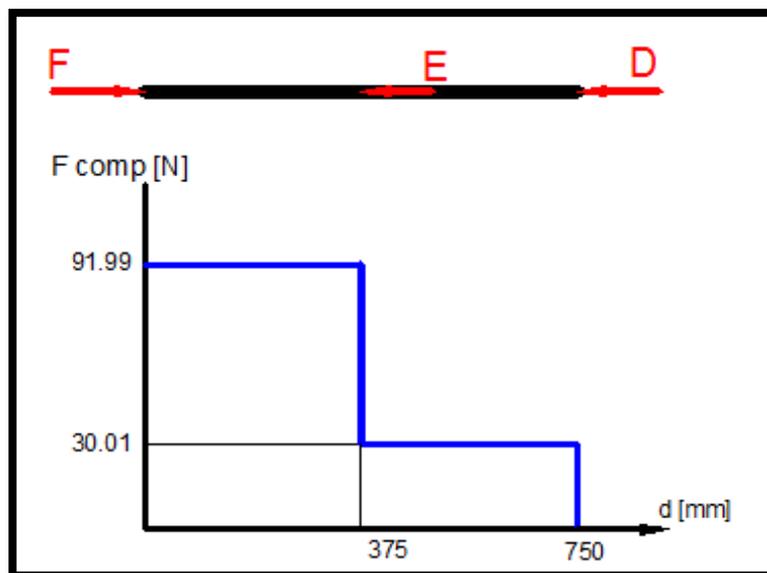


Figura 58: Diagrama de fuerza de compresión del brazo 2

Los resultados son detallados en la Tabla 23 que se muestra a continuación.

Tabla 23: Resultados de las fuerzas de compresión en el brazo 2

Tensión [N]	X
F	91,99
E	-61,98
D	-30,01

Cálculo aplicando el factor de seguridad para los esfuerzos obtenidos

De igual forma que para el brazo 1, se considerando el factor de seguridad de $n=2$ seleccionado previamente, así como el material seleccionado A36 con $S_y=250\text{MPa}$.

Para flexión:

$$\frac{S_y}{\sigma_f} = n = 2$$

$$\frac{S_y}{2} = \frac{M * h/2}{bh^3/12} = \frac{6 * M * h}{b(h^3 - d^3)}$$

$$250\text{MPa} = \frac{12 * 13,479 \text{ Nm} * h}{b(h^3 - d^3)}$$

$$\frac{b(h^3 - d^3)}{h} = 6,47 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

Para tensión:

$$\frac{S_y}{\sigma_T} = n = 2$$

$$\frac{S_y}{2} = \frac{F}{bh - bd}$$

$$250\text{MPa} = \frac{91,993 \text{ N}}{bh - bd}$$

$$bh - bd = 3,68 * 10^{-7} \text{ m}^2$$

Finalmente las condiciones de diseño para las dimensiones de ancho y espesor de la platina así como la influencia del diámetro de los agujeros para los pasadores se resumen en la Tabla 24.

Tabla 24: Resumen de dimensiones de la pletina para soportar los esfuerzos requeridos en los brazos 1 y 2

BRAZO 1		BRAZO 2	
Flexión	Tensión	Flexión	Tensión
$\frac{b(h^3 - d^3)}{h}$	$bh - bd$	$\frac{b(h^3 - d^3)}{h}$	$bh - bd$
$[m^3]$	$[m^2]$	$[m^3]$	$[m^2]$
$1,28 * 10^{-7}$	$4,358 * 10^{-7}$	$6,47 * 10^{-7}$	$3,68 * 10^{-7}$
$[mm^3]$	$[mm^2]$	$[mm^3]$	$[mm^2]$
128	0,4358	647	0,368

3.5.2.6 Cálculos y análisis del cilindro neumático

La fuerza producida por un cilindro doble efecto en el sentido que se considera positivo, no es igual a la fuerza que produce en el sentido negativo. Esto puede explicarse en la Figura 59, considerando que: $F = p * S$

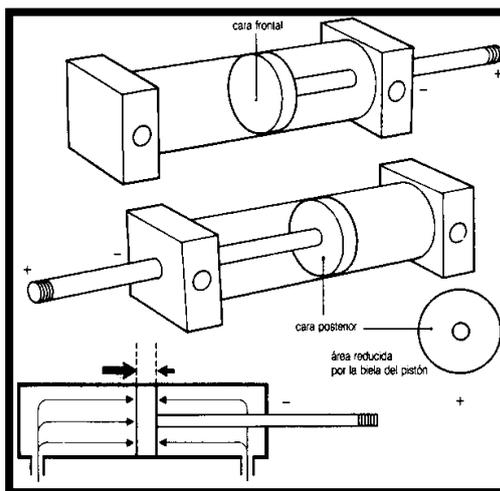


Figura 59: Esquema de un cilindro de doble efecto

Fuente: (Fernández Bernal)

Para el correcto dimensionamiento de un cilindro neumático, este debe lograr un mayor empuje que el requerido para contrarrestar la carga. Tomando en consideración un sobredimensionamiento, el cual está gobernado por la velocidad que comanda ese movimiento. Por ello si la velocidad de desplazamiento no es importante, se seleccionara un cilindro con una fuerza de empuje en 25% superior a lo necesario y para velocidades altas en un 100%.

Con los cálculos realizados anteriormente, la fuerza necesaria para levantar el mecanismo es igual a 179,85 N y la fuerza de bajada 106,14 N. Con estos datos es importante recalcar el párrafo anterior que cita el sobredimensionamiento del cilindro.

Fuerza teórica máxima

$$F = 179,85 \text{ N}$$

Fuerza sobredimensionada a bajas velocidades

$$F = 179,85 * 1,25$$

$$F = 224,81 \text{ N}$$

La presión máxima que proporciona el compresor Festo MecLab mostrado en la Figura 60 disponible en el laboratorio es de 400kPa (4bar). Para los cálculos se toma en consideración el valor del 300kPa de manera que el compresor trabaje a un 75% de su capacidad máxima.



Figura 60 Compresor Festo Meclab

Fuente: (Festo)

El cálculo de la sección del émbolo se lo realiza mediante la siguiente ecuación:

$$F = p * S$$

$$S_{\text{embolo}} = \frac{F}{p}$$

$$S_{\text{embolo}} = \frac{224,81 \text{ N}}{300 \text{ kPa}}$$

$$S_{\text{embolo}} = \frac{224,81 \text{ N}}{300000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$S_{\text{embolo}} = 7,4938 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

La Figura 61 muestra como el aire comprimido actúa sobre la cara de embolo, mostrando cuán importante es el cálculo realizado con anterioridad.

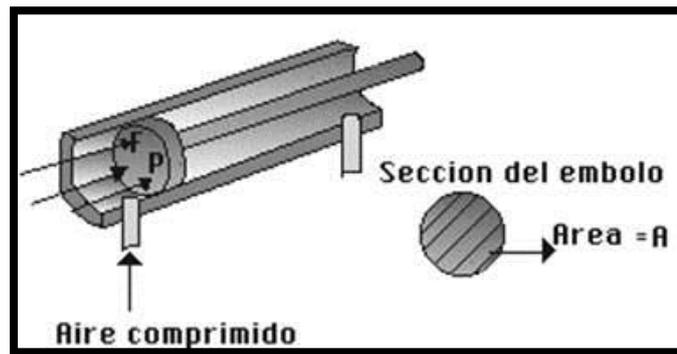


Figura 61 Fuerzas teórica que actúan en un cilindro.

Fuente: (Gutierrez Quispe, 2011)

Para el cálculo del diámetro del embolo se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$S_{\text{embolo}} = \frac{\pi * \varnothing^2}{4}$$

$$\varnothing_{\text{embolo}} = \sqrt{\frac{S_{\text{avance}} * 4}{\pi}}$$

$$\varnothing_{\text{embolo}} = \sqrt{\frac{0,00074938 \text{ m}^2 * 4}{\pi}}$$

$$\varnothing_{\text{embolo}} = 0,03089 \text{ m}$$

$$\varnothing_{\text{embolo}} = 30,89 \text{ mm}$$

Además del diámetro del émbolo calculado es importante tomar en cuenta la carrera necesaria para que el pistón pueda elevar al mecanismo. Los cálculos realizados para el mecanismo permiten concluir que la carrera necesaria para el pistón es de 220mm.

Los requerimientos del cilindro se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25: Resumen de requerimientos del cilindro neumático para accionar el mecanismo.

	Valor	Unidad
Carrera	220	mm
Diámetro	30,89	mm
Fuerza	224,81	N

3.6 Re-diseño de la estructura principal.

3.6.1 Re-diseño de la estructura para nuevos componentes.

3.6.1.1 Soporte para los brazos del mecanismo

Para sujetar el mecanismo tipo tijera sobre la estructura principal, se trabaja con unos perfiles estructurales como soportes en ambos lados de la estructura como se muestra en la Figura 62. Considerando la forma triangular de la estructura, se pretende que los brazos posteriores no sean tan largos para generar menores esfuerzos.

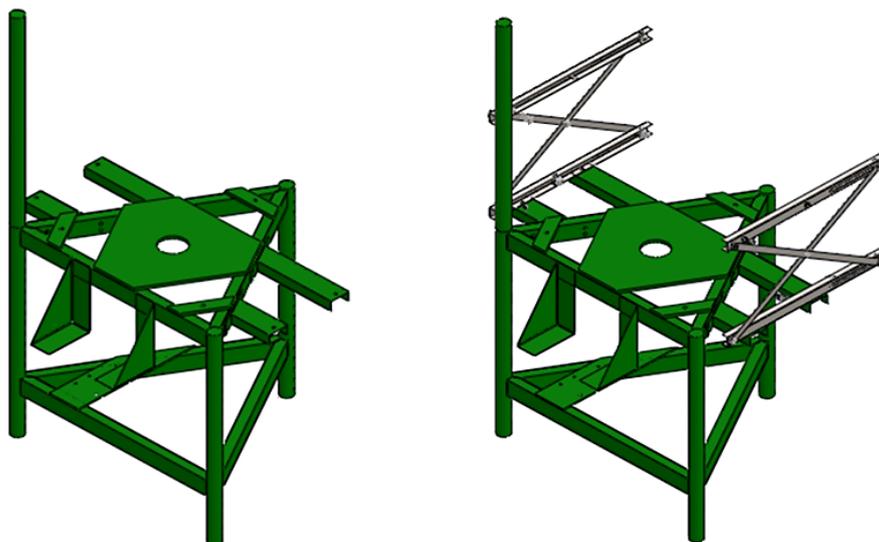


Figura 62: Brazos de soporte adicionales para sujetar el mecanismo de apertura y cierre

Para calcular los momentos y fuerzas que se ejercen en los nuevos miembros de la estructura, se requiere calcular las reacciones que se dan debido a la distribución de peso del mecanismo en dichos brazos de la estructura.

El soporte inferior del mecanismo tipo tijera se asienta sobre los brazos de soporte de la estructura manteniendo una distancia de 110mm del extremo fijo al brazo corto y un total de 390mm desde el mismo punto fijo hasta el brazo largo de soporte como muestra la Figura 63.

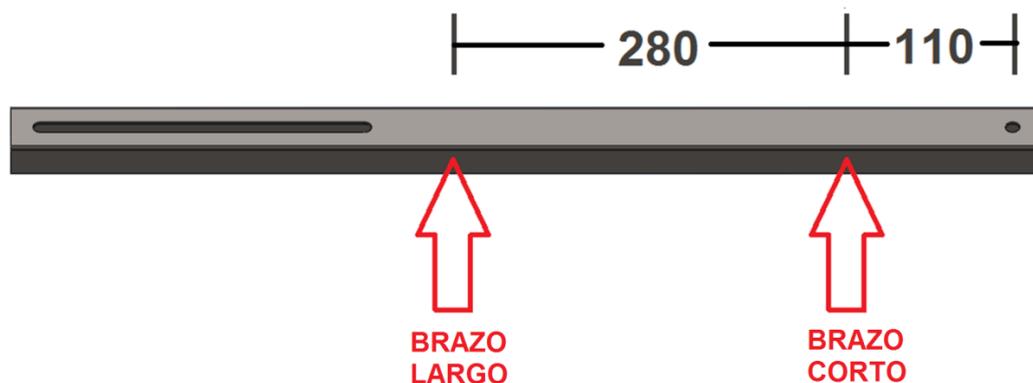


Figura 63: Distribución de fuerzas en el soporte inferior del mecanismo

Las reacciones mostradas en los brazos de la estructura, se obtienen mediante análisis de fuerzas y momentos de dicho brazo, considerando las reacciones que soporta el mecanismo siendo estas R_{y1} y R_{y2} .

Las ecuaciones para el análisis de este sistema son:

$$\sum F_y = 0 = R_{bl} + R_{bc} - R_{y1} - R_{y2}$$

Dónde

R_{bl}: Reacción en el brazo largo

R_{bc}: Reacción en el brazo corto

$$\sum M_1 = 0 = R_{bl} * (390) + R_{bc} * (110) - R_{y2}(660)$$

Finalmente las resultantes del sistema para la posición más crítica son los resultados mostrados en la Tabla 26.

Tabla 26: Fuerzas sobre los brazos de soporte del mecanismo

FUERZAS	RY 1	RY 2	Rbl	Rbc
[N]	68,373	29,727	22,638	75,462

La distancia entre las tijeras que conforman el mecanismo de apertura y cierre es de 1070 mm, lo cual permite mantener al mecanismo distanciado 5cm de la tapa. Dicha holgura tiene el fin de permitir implementar un acople para sujetar ambos elementos.

Considerando la facilidad de montaje y desmontaje de los brazos adicionales a la estructura, los perfiles seleccionados se montan sobre una platina que permita sujetar, mediante pernos, a la estructura principal. Como se muestra en la Figura 64.

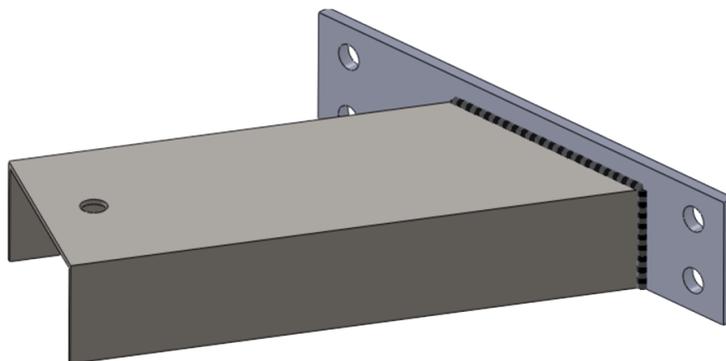


Figura 64: Brazo de soporte para sujeción del mecanismo tipo tijera.

Para mantener las distancias entre los puntos de fijación del mecanismo, los brazos adicionales de la estructura presentan una longitud entre el punto de soldadura a la placa y el orificio de sujeción que se detalla en la Tabla 27.

Tabla 27: Longitudes de los brazos de soporte largo y corto.

	Longitud (mm)
Brazo corto	176,160
Brazo largo	337,806

Cálculo de fuerzas de tensión y cortante sobre los pernos

Inicialmente la fuerza que resiste el soporte del mecanismo genera un momento en la unión con la platina como se muestra en la Figura 65.

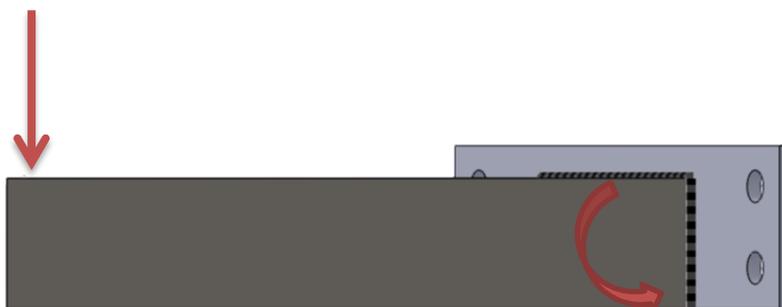


Figura 65: Distribución de fuerza y momento en el brazo de soporte

El momento generado en el punto de unión entre el perfil y la platina es un vector que se encuentra perpendicular a la fuerza que resiste el soporte, y posee la dirección mostrada en la Figura 66.

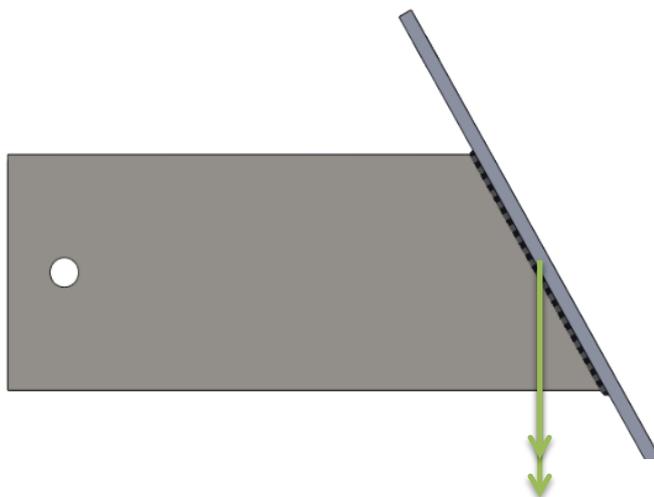


Figura 66: Vector de momento en el brazo de soporte

La Tabla 28 muestra un resumen de resultados del cálculo de momentos para cada brazo.

Tabla 28: Momentos en los brazos de soporte

	Fuerza [N]	Distancia [mm]	Momento [Nm]
Momento brazo corto	75,462	176,160	13,293
Momento brazo largo	22,638	337,806	7,647

Para realizar el cálculo de los pernos se requiere descomponer dicho momento en componentes tangencial y normal a la placa como se muestra en la Figura 67 debido a la inclinación de la estructura principal.

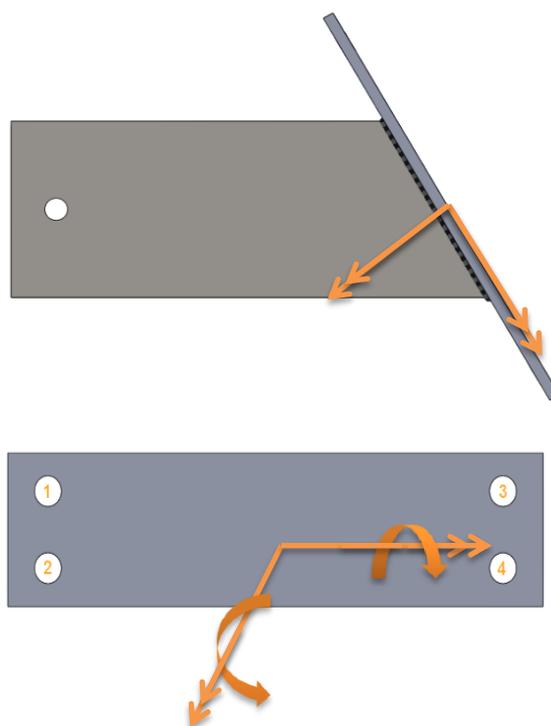


Figura 67: Descomposición de momentos en los planos de la placa de fijación para el brazo de soporte

En la Tabla 29 se muestran los resultados del cálculo de momentos en los ejes normal y tangencial.

Tabla 29: Momento normal y tangencial a la placa de fijación

	Momento [Nm]	M. Tangencial [Nm]	M. Normal [Nm]
	M	$M * \cos(30^\circ)$	$M * \sin(30^\circ)$
Momento brazo corto	13,293	11,512	6,647
Momento brazo largo	7,647	6,623	3,824

El momento tangencial genera fuerzas de tensión sobre los pernos (Véase Figura 68). Analizando la vista lateral de la placa se puede determinar la dirección de dichas fuerzas.

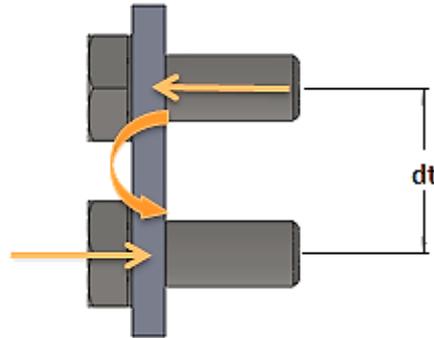


Figura 68: Fuerzas de tensión sobre los pernos que fijan los brazos de soporte

El momento generado en el punto medio de la placa se origina debido a dos fuerzas superiores (Figura 67 pernos 1 y 3) y dos fuerzas inferiores (Figura 67 pernos 2 y 4).

$$M_t = F_1 * d_1 + F_2 * d_2 + F_3 * d_3 + F_4 * d_4$$

Encontrándose los pernos distribuidos uniformemente en la placa, las distancias hacia las fuerzas desde el punto medio son la misma.

$$M_t = F_1 * \frac{dt}{2} + F_2 * \frac{dt}{2} + F_3 * \frac{dt}{2} + F_4 * \frac{dt}{2}$$

Las fuerzas se distribuyen de forma homogénea teniendo así

$$M_t = 2 * F_t * dt$$

$$F_t = \frac{M_t}{2 * dt}$$

Los resultados obtenidos de la fuerza de tensión en los pernos se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30: Fuerzas de tensión en los pernos para los brazos de soporte

	Momento M_t [Nm]	Distancia dt [mm]	Fuerza F_t [N]
Brazo Corto	11,512	dt	$11,512/(2*dt)$
Brazo Largo	6,623	dt	$6,623/(2*dt)$

El momento normal, por su parte, genera fuerzas cortantes sobre los pernos como se indica en la Figura 69. Analizando la vista frontal de la placa se puede determinar la dirección de dichas fuerzas.

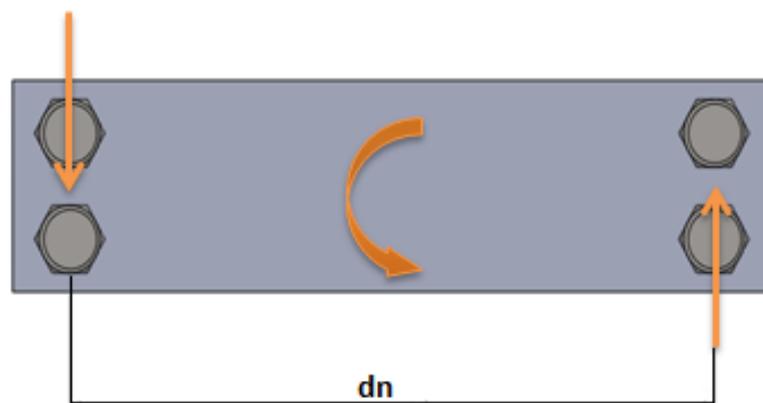


Figura 69: Fuerzas cortantes sobre los pernos que fijan los brazos de soporte.

$$M_n = F_{12} * d_1 + F_{34} * d_2$$

De la misma forma que se calculó el momento tangencial considerando la homogeneidad de la pieza, para éste análisis las distancias d_1 y d_2 son la misma. Además de la fuerza F_{12} y F_{34} que asimismo son iguales.

$$M_n = F * d_n$$

Considerando que las fuerzas mostradas en la Figura 69 se distribuyen a dos pernos, la fuerza para cada uno entonces equivale a la mitad. Teniendo finalmente

$$F_n = \frac{M_n}{2 * d_n}$$

A continuación en la Tabla 31 se muestra los resultados de acuerdo a la expresión obtenida.

Tabla 31: Fuerzas cortantes en los pernos para los brazos de soporte

	Momento M_n [Nm]	Distancia d_n [mm]	Fuerza F_n [N]
Brazo Corto	6,647	d_n	$6,647/(2*d_n)$
Brazo Largo	3,824	d_n	$3,824/(2*d_n)$

3.6.1.2 Soporte para rodamiento guía para la rotación del tubo B

La irregularidad en la rotación del tubo central “B”, ocasiona turbulencias en la columna de agua. Por ello se requiere un rodamiento que

guie el movimiento del mismo. Dicho rodamiento colocado en la parte superior permite un giro óptimo para facilitar el sensado de nivel y su posterior control. En la Figura 70 se muestra un soporte diseñado para sujetar dicho rodamiento.

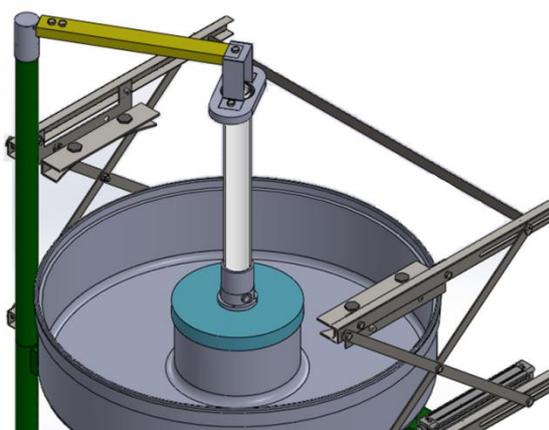


Figura 70: Soporte y rodamiento para giro del tubo “B”

Existen algunas características del rodamiento y su soporte que hay que tomar en cuenta por lo que se detalla en la Tabla 32 algunas de ellas.

Tabla 32: Características del rodamiento y soporte para el tubo “B”

Descripción	Característica
Diámetro interno del rodamiento	60 mm
Distancia entre tubo “B” y soporte superior	750 mm
Longitud del angostamiento del tubo	40 mm
Restricciones del sujetador del rodamiento	Peso y Sujeción al soporte
Material del sujetador del rodamiento	Duralón
Espesor del soporte superior	4 mm

3.7 Sustitución de elementos averiados.

3.7.1 Reemplazo de pernos aislados.

Los pernos que presentan aislamiento en la máquina se encuentran en el brazo superior por donde pasa la tubería hacia el tubo B. Para reemplazar de forma correcta estos pernos se realiza el cálculo de la fuerza que estos van a soportar.

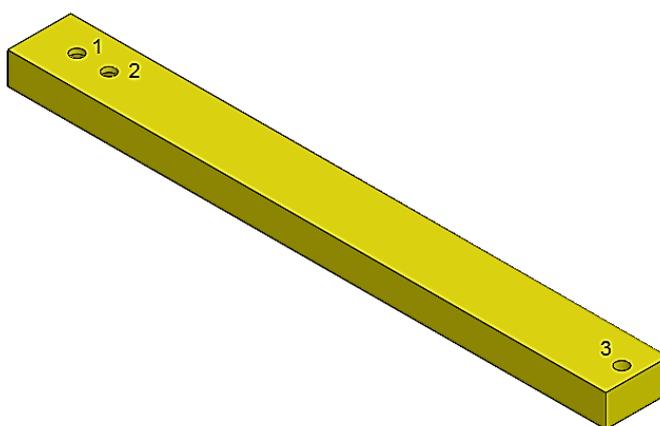


Figura 71: Soporte superior para la tubería del equipo

Las características del brazo se detallan en la Tabla 33.

Tabla 33: Características del soporte superior del equipo

Característica	Valor	Unidad
Peso	200	gr
Distancia 1-3	431,16	mm
Distancia 2-3	405,76	mm

Para determinar las reacciones del brazo se realiza un diagrama del cuerpo libre como el mostrado en la Figura 72.

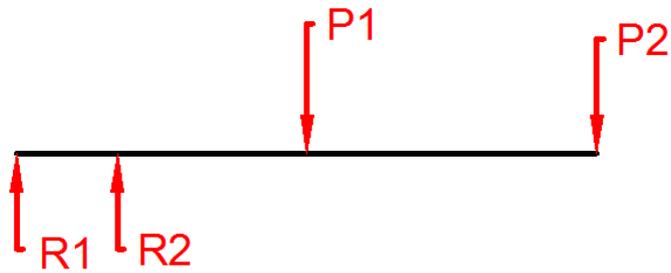


Figura 72: Diagrama del cuerpo libre para el soporte superior del equipo

Las reacciones R1 y R2 son las fuerzas que se ejercen en los pernos, mientras que P1 y P2 son los pesos del brazo y del acople con el rodamiento para el giro del tubo vertical respectivamente.

Considerando la fabricación del acople en duralón y el peso del rodamiento, el peso final de P2 presenta un valor aproximado de 400gr

$$\sum F = 0 = R1 + R2 - P1 - P2$$

$$\sum M_{R1} = 0 = R2 * (25,4mm) - 1,962N * (215,58mm) - 3,924N * (431,16mm)$$

$$R2 = 83,26 N$$

$$R1 = -77,38 N$$

3.7.2 Sustitución de elementos fracturados o agrietados

Tubo "A"

En la Tabla 34 se muestran las características del tubo "A" a sustituir.

Tabla 34: Características del tubo "A"

Característica	Descripción
Material	PLEXIGLAS(R) VH Resina Acrílica
Diámetro externo	16 mm
Espesor del tubo	1,7 mm
Longitud	610 mm

Las propiedades del plexiglás se detallan a continuación en la Tabla 35.

Tabla 35: Propiedades del PLEXIGLAS

Característica	Descripción
Densidad	1,18 g/cm ³
Punto de fusión	132 °C
Resistencia a la tensión máxima	9600 psi
Resistencia a la flexión máxima	14000 psi
Alargamiento a la rotura	4%
Dureza Rockwell	89 M

Fuente: (Arkema, 2006)

Para el flujo de agua desde el tubo central 'B' hacia el tubo 'A', este último presenta tres orificios en la parte central de su longitud como se muestra en la Figura 73.

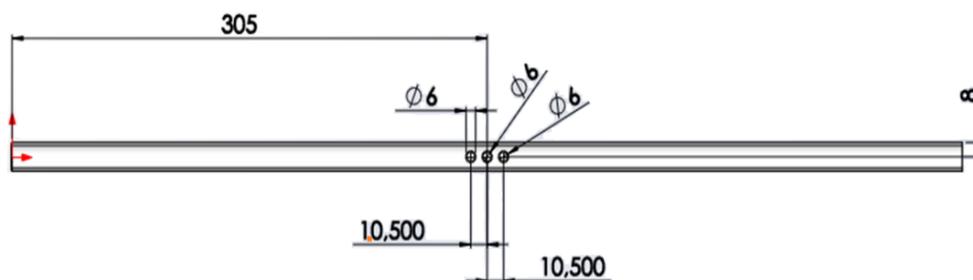


Figura 73: Dimensiones generales del tubo "A"

Los agujeros mencionados no traspasan la totalidad del tubo, únicamente se encuentran en la parte superior para la conexión entre los tubos A y B como se indica en la Figura 74.



Figura 74: Tubo "A"

Para restringir la salida de agua en los orificios extremos del tubo, existe un tapón que permite la salida a través de un diámetro de 6mm. El equipo presentaba un tapón de aluminio y otro de nylon. Ambos serán sustituidos por tapones de caucho existentes en el mercado.

3.8 Diseño eléctrico-electrónico.

3.8.1 Diseño sistema eléctrico

3.8.1.1 *Cableado panel de control.*

El diagrama de la Figura 75, presenta la conexión interna del panel de control, previo a la automatización del equipo.

Los conexiones indican que el funcionamiento de la bomba es independientemente del resto del sistema. Por otra parte, el motor trabaja con dos señales, una fija de 120 [VDC] para el inducido y una variable que alimenta al inductor de 120 [VDC] regulables a través del reóstato. Finalmente se tiene la etapa de conteo que registra el motor en cada vuelta, pero esta se encuentra dañada.

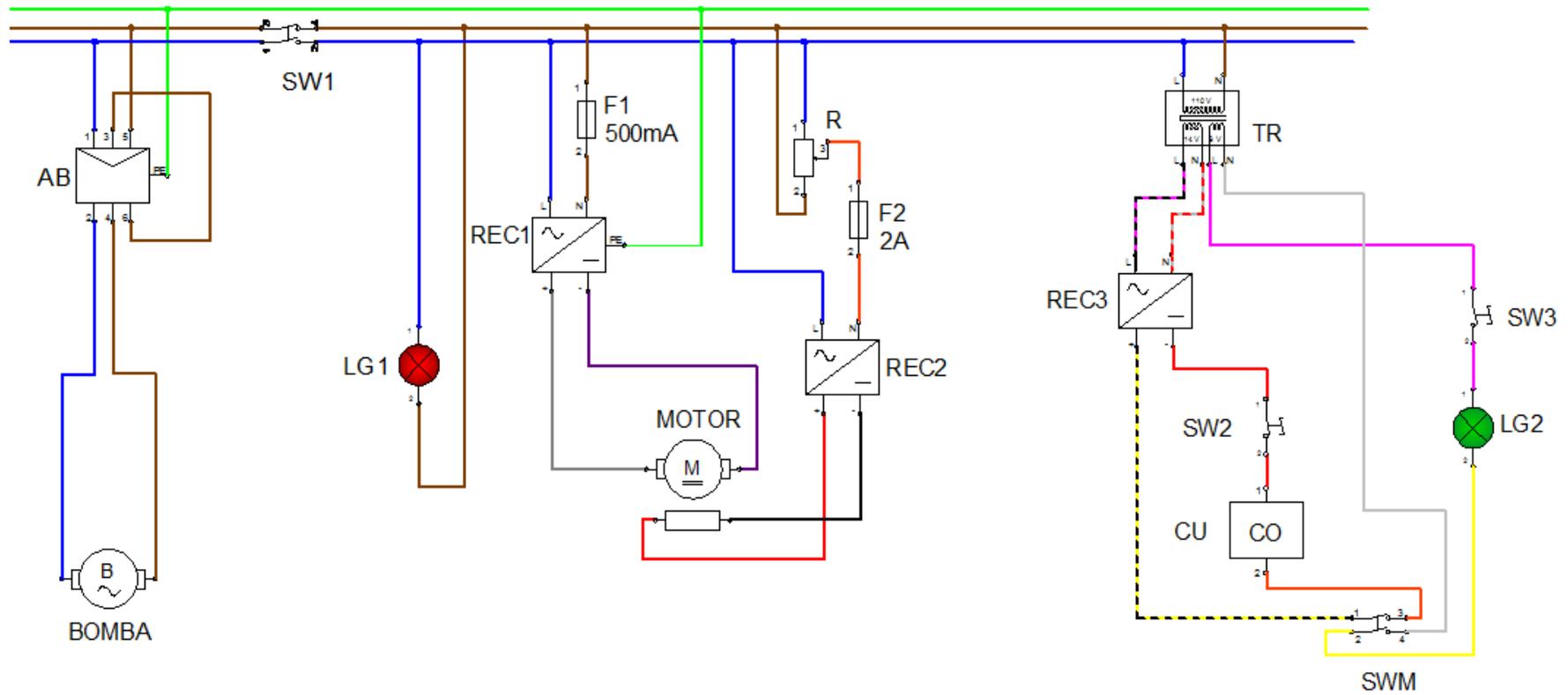


Figura 75: Diagrama de conexiones internas del panel de control

El cableado del panel se encuentra especificado por colores para facilitar la comprensión de su conexión. El detalle se muestra en la Tabla 36

Tabla 36: Código de Colores del Cableado interno del panel previa automatización

Código de Colores Cableado Interno	
VOLTAJES AC	
Verde	Tierra
Azul	Línea 120 [VAC]
Café	Neutro 120 [VAC]
Rosado/Negro	Línea 14 [VAC]
Rojo/Blanco	Neutro 14 [VAC]
Rosado	Línea 6 [VAC]
Blanco	Neutro 6 [VAC]
Rojo Reostato	0-120 [VAC]
SEÑALES DEL MOTOR	
Naranja	Señal del Motor
Amarillo	Señal del Motor
VOLTAJES DC	
Gris	120 [VDC]
Morado	0 [VDC]
Amarillo/Negro	+12 [VDC]
Rojo Contador	0 [VDC]
Rojo Motor	0-120 [VDC]
Negro	0 [VDC]

En cuanto a la nomenclatura utilizada en el diagrama, en la Tabla 37 se detalla la descripción de cada uno de los dispositivos.

Tabla 37: Nomenclatura de los elementos del diagrama de conexiones internas del panel de control previa automatización

ITEM	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
1	B	Bomba centrífuga
2	CU	Contador de revoluciones
3	F1	Fusible de protección 1
4	F2	Fusible de protección 2
5	LG1	Luz indicadora 1
6	LG2	Luz indicadora 2
7	M	Motor
8	R	Reóstato
9	REC1	Rectificador puente diodos 1
10	REC2	Rectificador puente diodos 2
11	REC3	Rectificador puente diodos 3
12	AB	Arrancador de bomba
13	SW1	Switch 1
14	SW2	Switch 2
15	SW3	Switch 3
16	SWM	Switch electromagnético del motor
17	TR	Transformador de voltaje 110AC/14AC-6AC

3.8.1.2 Protecciones.

Para efectuar el cálculo de las protecciones se utiliza la corriente nominal o a plena carga, la cual puede ser calculada o tomada directamente de la información proporcionada por el fabricante del equipo.

Cálculo de la corriente de protección con fusibles

$$I_F = k * I_N$$

Dónde:

I_F = Corriente de protección de fusibles

K = Constante de protección la cual se toma en el rango de 1,8 a 2,1

I_N = Corriente nominal a plena carga

Cálculo de la corriente de protección para los diferentes equipos

- **Bomba**

La potencia de la bomba es de 230 [W] según la placa de identificación que dispone el equipo mostrada en la Figura 76.



Figura 76 Placa de identificación de la bomba Stuart Turner

Para hallar la corriente se utiliza la siguiente fórmula:

$$I = \frac{W}{V}$$

$$I = \frac{230 [W]}{110[V]}$$

$$I = 2,09 [A]$$

La corriente nominal de consumo es igual a 2,09 [A] con lo que se procede a realizar el cálculo del fusible necesario:

$$I_F = k * I_N$$

$$I_F = 2,1 * 2,09[A]$$

$$I_F = 4,39 [A]$$

Por lo tanto es necesario colocar un fusible que soporte la corriente calculada de 4,39 [A].

- **Arduino**

Todas las placas Arduino presentan un fusible reseteable que protege los puertos USB ante cortocircuitos y sobrecargas. Aunque la mayoría de computadores proporcionan su propia protección interna, el fusible proporciona una capa de protección extra. Si más de 500 [mA] se aplican al puerto USB, el fusible automáticamente romperá la conexión hasta que el corte o la sobrecarga sean eliminados. (Herrador, 2009)

- **Motor**

La corriente nominal es igual a 1,2 [A], la cual se la puede verificar en la placa proporcionada por el fabricante que se muestra en la Figura 77.



Figura 77 Placa de identificación del motor

El motor Shunt trabaja con dos voltajes uno de alimentación y otro variable por lo que es necesario dividir las protecciones. En la Figura 78 se puede identificar la forma de conexionado del motor:

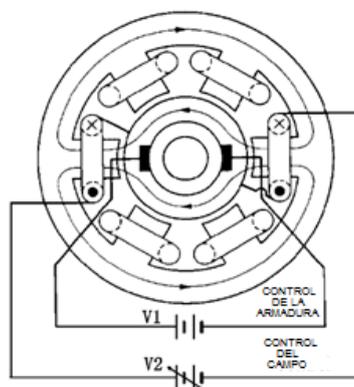


Figura 78 Diagrama de conexión del motor Shunt

Fuente: (Kikuchi)

Es por ello que actualmente el panel de control existente dispone de dos protecciones las cuales se conservarán.

La primera protección es de 2 [A] y es la que se encuentra conectada al reóstato, el cual a su vez está conectado con la bobina. Esta protección tiene un valor más alto puesto que aquí existe una variación de resistencia causada por el reóstato lo que implica que la corriente varíe su valor.

La segunda protección es de 500 [mA] y es la que se encuentra conectada con la armadura. Como no existen variaciones de corriente y trabaja con voltaje DC el valor de la protección es mínimo.

3.8.1.3 *Cableado de los sistemas de la máquina.*

El cableado eléctrico de la máquina se dispondrá de la siguiente manera tomando en consideración los apartados 3.8.1.1 y 3.8.1.2.

La Figura 79 detalla la distribución de las conexiones con la red 120 [VAC] que alimentarán la bomba, el rectificador para el motor, el reóstato para el control del motor y el adaptador de voltaje para alimentar la placa Arduino. Se ha considerado para el diseño un interruptor de encendido para todo el sistema además de un fusible de protección general para los equipos. Por modularidad del diseño, se ha dejado terminales de espera para posibles expansiones.

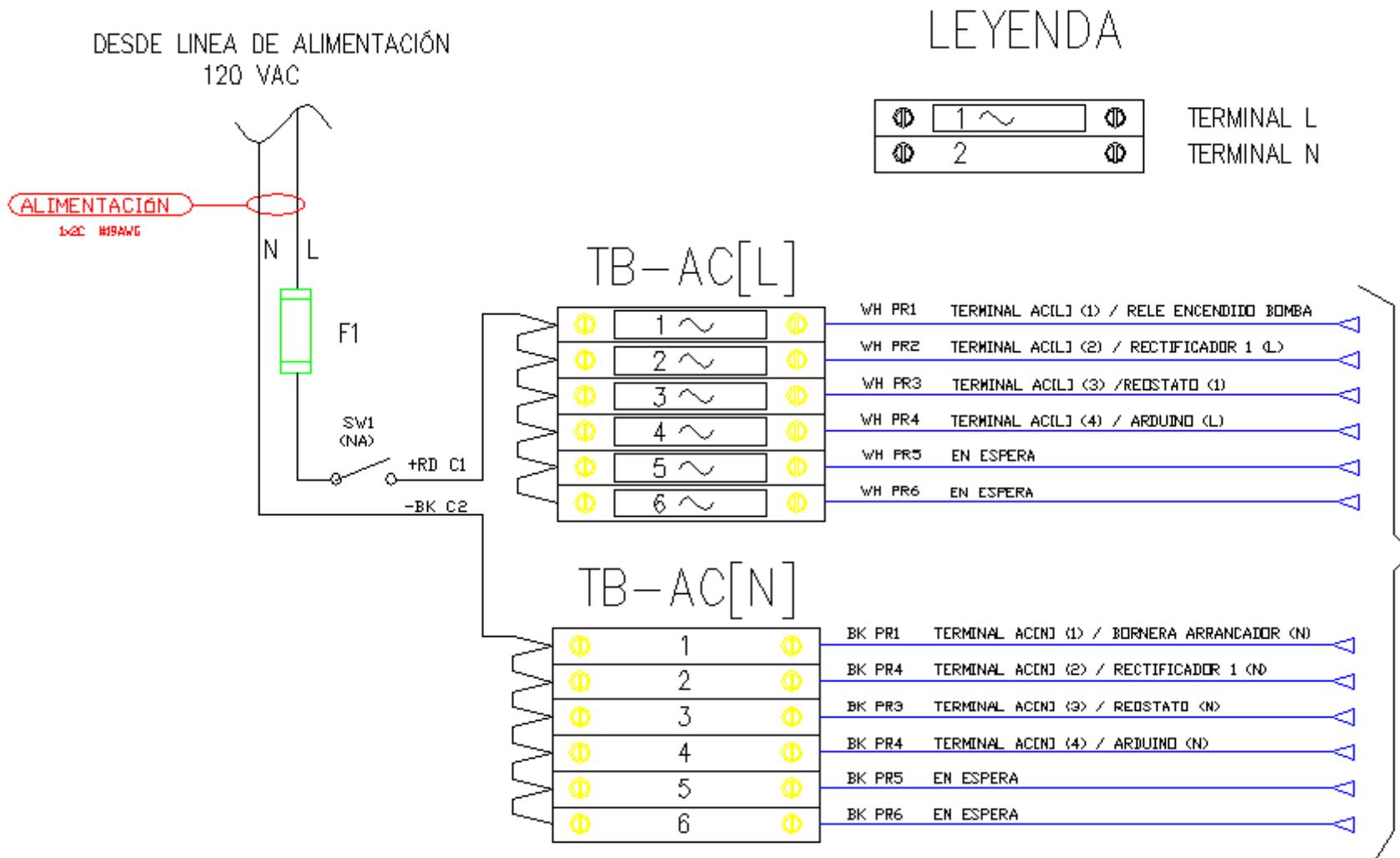


Figura 79 Diagrama de distribución de conexión con la red

La Tabla 38 presenta la nomenclatura utilizada para el diagrama, además de su respectiva descripción.

Tabla 38: Nomenclatura de la distribución de conexión con la red

ITEM	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
1	C#	Número de conductor
2	F1	Fusible de protección 1
3	L	Línea
4	N	Neutro
5	PR#	Número de par de conductor
6	SW1	Switch 1
7	TB-AC	Terminal de borneras AC

La Figura 80 detalla la conexión eléctrica de los dispositivos del equipo, considerando un relé para controlar el encendido de la bomba junto con su arrancador, el rectificador conectado al inducido del motor, el reóstato y el rectificador para controlar la velocidad del motor shunt y la conexión del adaptador de voltaje para alimentar la placa Arduino. En sí, este diagrama es la expansión detallada de la Figura 79 sin considerar los terminales de espera puesto que no presentan ninguna conexión.

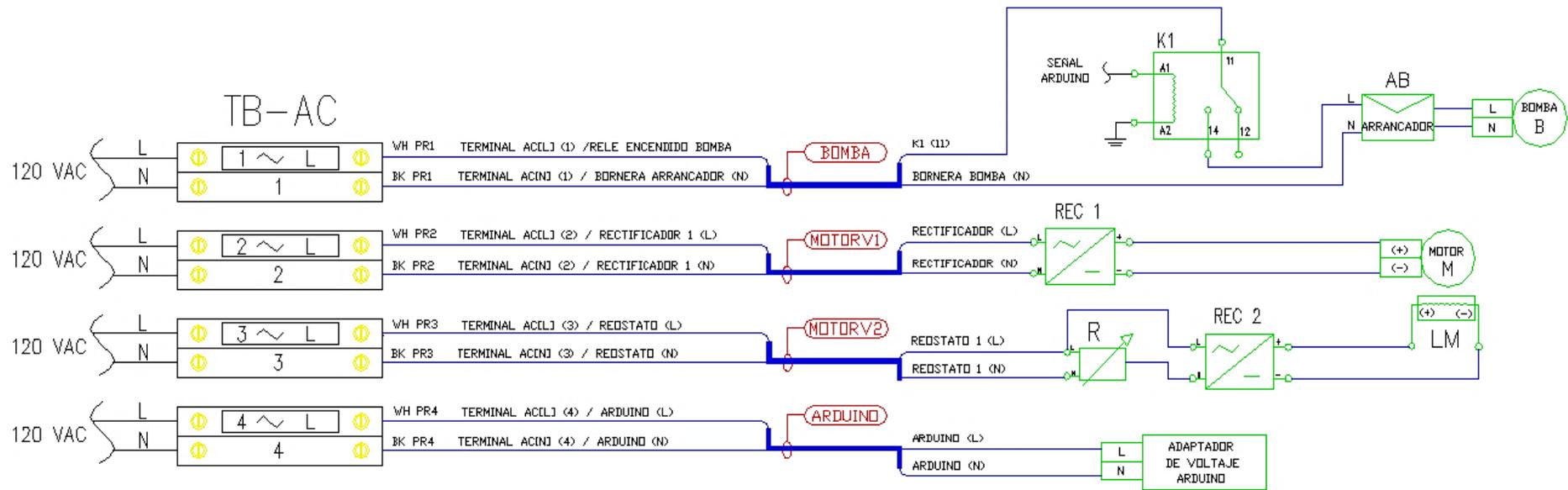


Figura 80 Diagrama de conexión eléctrica de los dispositivos del equipo

La Tabla 39 presenta la nomenclatura utilizada para el diagrama, además de su respectiva descripción.

Tabla 39: Nomenclatura de la conexión eléctrica de los dispositivos

ITEM	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
1	AB	Arrancador de bomba
2	B	Bomba centrífuga
3	K1	Relé electromagnéticos
4	L	Línea
5	LM	Inductor del motor
6	M	Motor
7	N	Neutro
8	PR#	Número de par de conductor
9	R	Reóstato
10	REC1	Rectificador puente diodos 1
11	REC2	Rectificador puente diodos 2
12	TB-AC	Terminal de borneras AC

3.8.2 Diseño sistema electrónico

3.8.2.1 Instrumentación

3.8.2.1.1 Sensores

a) Sensor de nivel de agua

El tipo de sensor seleccionado para la medición de nivel es un sensor ultrasónico, puesto que brinda ciertas facilidades que se acoplan a este proyecto. Nombrando una de las principales tenemos la facilidad de instalación que conlleva este dispositivo y la medición de nivel sin la necesidad de contacto con el líquido.

Para la selección del sensor se debe tomar en cuenta las siguientes observaciones:

- El sensor ultrasónico presenta zona ciega como se muestra en la Figura 81, la cual debe tomarse en cuenta al momento de la ubicación del sensor.

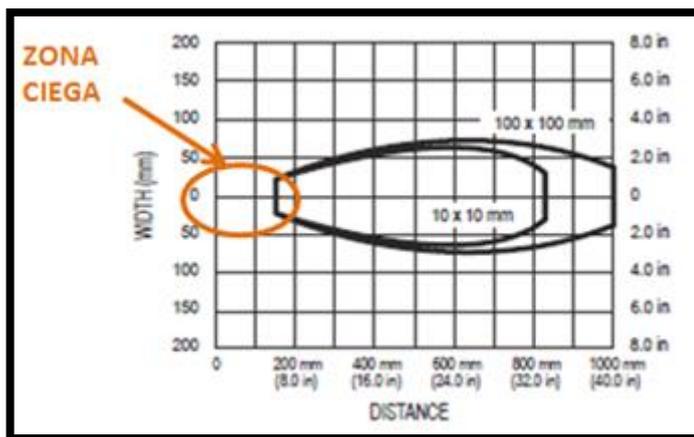


Figura 81 Curva de desempeño de un sensor ultrasónico

Fuente: (Banner, 2014)

- La altura óptima para realizar el control de nivel es de aproximadamente 250 mm tomados desde la boca del tubo central como se muestra en la Figura 82.

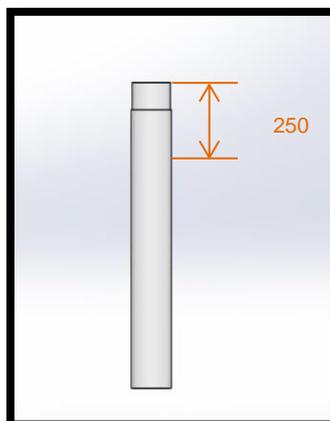


Figura 82 Distancia del nivel desde la boca del tubo central

- El sensor de nivel se selecciona de acuerdo al tipo de señal analógica que se va a manejar ya sea de 4 a 20 mA o de 0 a 10 VDC. El sensor debe entregar una señal continua de manera que permita detectar cualquier altura como se muestra en la Figura 83.

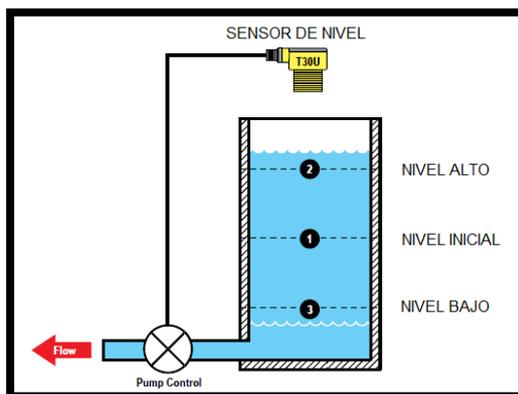


Figura 83 Diagrama de ubicación de un sensor ultrasónico

Fuente: (Banner, 2014)

b) Sensor palpador para deflexión

El dispositivo que utiliza la máquina es un palpador de reloj con una precisión de 0.01 [mm] y un rango de 25 [mm]. En la Figura 84 se muestra el palpador con el que trabaja actualmente el equipo.



Figura 84 Palpador de reloj

Para la selección del sensor palpador es importante que este cumpla con las características propuestas en la Tabla 40.

Tabla 40: Características requeridas para el sensor palpador

CARACTERISTICAS	VALOR	MEDIDA
Precisión	0,01	[mm]
Rango	25	[mm]
Salidas	4-20	[mA]
	0-10	[VDC]

La última característica mencionada en la Tabla 40 anterior depende del tipo de señal que se requiera para la entrada analógica que se va a manejar.

c) Contador de revoluciones

El sensor seleccionado en esta etapa de conteo de revoluciones es un sensor efecto Hall como el que se muestra en la Figura 85, ya que presenta ciertas ventajas que se enuncian a continuación:

- Facilidad de instalación debido a su reducido tamaño.
- Utiliza un elemento simple como emisor, en este caso un imán.
- Alimentación entre 5 a 20 [VDC].
- Tiempo de respuesta rápida.
- Bajo costo.

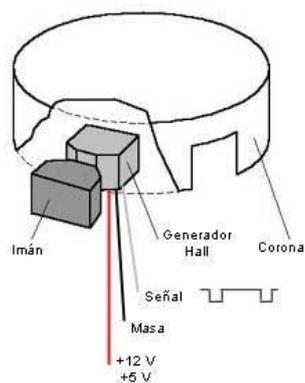


Figura 85 Sensor de efecto Hall

Fuente: (Cise Electrónica, 2010)

3.8.2.1.2 Actuadores

a) Válvula proporcional

Los parámetros establecidos para el diseño de la válvula, se enuncian en la Tabla 41.

Tabla 41 Parámetros de selección de una válvula proporcional

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Tipo de válvula	El tipo de válvula requerida es una tipo bola ya que permite el cierre y apertura con tan solo girar el actuador 90°.
Dimensión	La dimensión de la válvula se ha establecido como 3/4 [plg] puesto que reemplazara a la válvula manual existente
Característica estática	Esta válvula debe mantener una relación entre el caudal que circula y la posición del actuador, de manera que permita realizar el control.
Característica de flujo	La curva característica del flujo versus la señal de control debe ser lo más lineal posible para un control de nivel preciso.
Señal	La señal requerida es analógica siendo esta de 4-20 [mA] o 0-10 [VDC].

b) Válvula neumática

En la Tabla 42 se enuncian algunos requerimientos importantes a ser tomados en cuenta al momento de diseño.

Tabla 42: Requerimientos de la válvula neumática

REQUERIMIENTOS	JUSTIFICACIÓN
Activación por un solenoide	Se selecciona un solenoide para manejar electrónicamente la válvula a través de una señal desde del controlador. Automatizando de esta forma el accionamiento de los pistones.
Retorno por resorte	El retorno por resorte minimiza los costos de la válvula sin afectar el funcionamiento de apertura y cierre que se requiere.
Diámetro de las tomas de aire 1/8	Se utiliza tomas de aire de 1/8 debido a que se manejan presiones bajas para el funcionamiento de los pistones calculados
Manejo de cilindros doble efecto	Es indispensable que la válvula maneje cilindros de doble efecto. Por lo que la válvula 5 posiciones 2 vías es la recomendada para el manejo de este tipo de pistones.
Presión de trabajo de al menos 6 bares	La válvula deberá soportar una presión de trabajo de 6 bares, ya que es la presión máxima del compresor.

De acuerdo con los requerimientos se selecciona una válvula 5 posiciones 2 vías con sus respectivos accesorios y características mencionadas.

A continuación en la Figura 86 se muestra un diagrama de conexión de la válvula con los pistones.

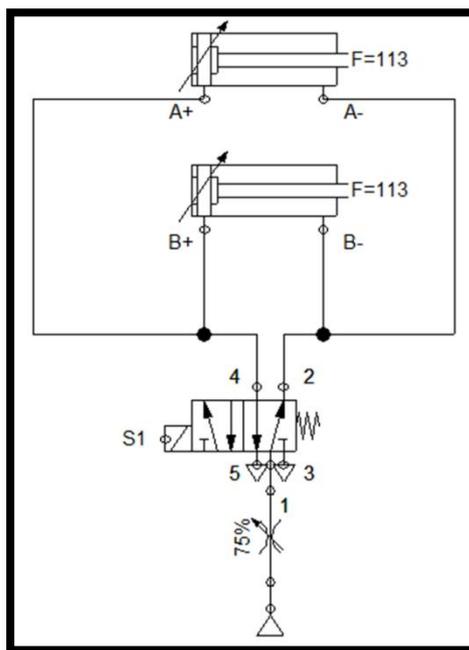


Figura 86: Diagrama de conexión neumático

Además para la activación del solenoide es necesario que el controlador envíe una señal que comande la válvula como se indica en la Figura 87.

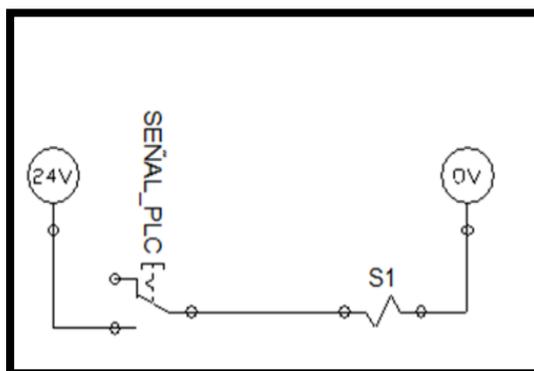


Figura 87: Diagrama de activación del solenoide de la válvula electro-neumática

3.8.2.2 Sistemas de control.

3.8.2.2.1 Parámetros de control.

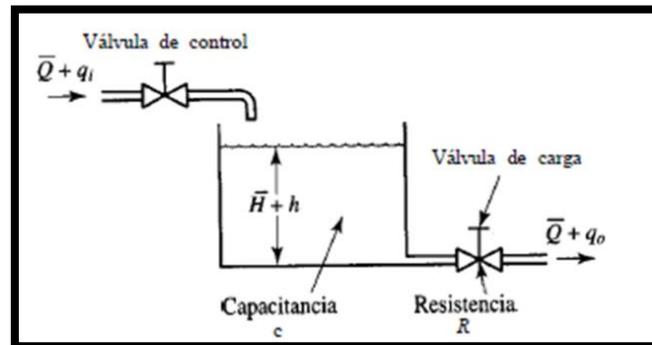


Figura 88: Esquema típico de un sistema de control de nivel

Fuente: (Ogata, 2003)

Considerando el modelo matemático de un tanque que se llena a través de una válvula de control y se vacía a través de una tubería en su parte inferior se tiene que:

La resistencia de salida en un sistema de nivel de líquido es igual al cambio de nivel sobre el cambio de la velocidad del flujo.

$$R = \frac{\text{Cambio de nivel}}{\text{Cambio de velocidad de flujo}} = \frac{\partial H[m]}{\partial Q[m^3/s]}$$

La capacitancia por su parte se define como el cambio en la cantidad de líquido almacenado para producir un cambio en la altura.

$$C = \frac{\text{Cambio en el liquido almacenado}}{\text{Cambio en la altura}}$$

Teniendo como ecuaciones finalmente:

$$C \frac{\partial H}{\partial t} = q_i - q_o$$

$$R * q_o = \Delta h$$

En el presente proyecto la salida del agua se da por dos orificios con iguales características, por lo tanto el caudal de salida equivale dos veces al caudal mostrado típicamente en los análisis de sistemas de nivel.

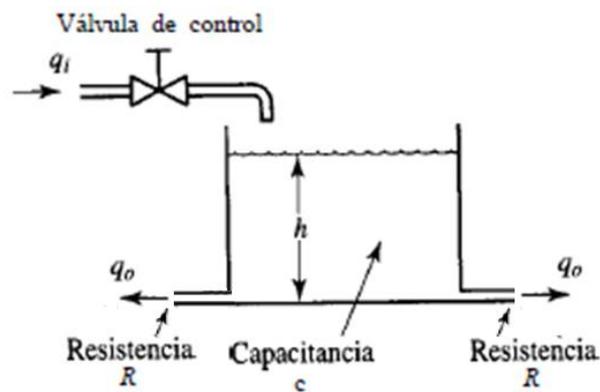


Figura 89: Esquema de un sistema de control de nivel.

Fuente: (Ogata, 2003)

El modelo matemático queda expresado en función de la altura del líquido en el tanque con el ingreso del caudal.

En función de la transformada de Lapace se tiene:

$$C * h(s) * s = q_i(s) - 2q_o(s)$$

$$R * 2q_o(s) = h(s)$$

Reemplazando la segunda ecuación en la primera y dividiendo las resultantes para tener una función de la altura respecto al caudal de entrada se tiene:

$$C * R * 2qo(s) * s = qi(s) - 2qo(s)$$

$$C * R * 2qo(s) * s + 2qo(s) = qi(s)$$

$$\frac{h(s)}{qi(s)} = \frac{R * 2qo(s)}{C * R * qo(s) * s + 2qo(s)}$$

Quedando finalmente

$$\frac{h(s)}{qi(s)} = \frac{2R}{RCs + 2}$$

3.8.2.2.2 Diseño y selección del controlador.

El sistema a controlar en el equipo de laboratorio es un sistema de control de nivel de líquido. Un control de nivel suele realizarse de tres tipos:

- Entre límites: Control de nivel entre dos posiciones. Permite la oscilación de nivel dentro de los límites establecidos.
- Nivel medio: Permite la existencia de error con objeto de estabilizar la salida. Se aplica cuando el caudal de salida se utiliza como alimentación de otro proceso.
- Nivel ajustado: No permite error entre la medida y el punto de consigna. El caudal de salida se envía a un tanque de almacenamiento, no importa la posible oscilación del caudal.

Las características principales de los controladores de nivel son:

- Naturaleza integradora del proceso.

- Puede controlarse a través de un control proporcional con ganancia elevada.
- El propio sistema tiende a amortiguar oscilaciones.
- Puede utilizarse acción integral si no es admisible tolerar pequeños offsets.
- Generalmente no se utiliza acción derivativa porque suele amplificar ruidos.
- Si se pretende manipular la salida del tanque siendo esta la variable de control, se debe realizar un ajuste conservador a fin de evitar fluctuaciones.

(López, 2012)

Para mantener constante el nivel en el punto de consigna fijado, se modifica el caudal tanto como sea necesario. El caudal oscila permanentemente para cumplir el objetivo de mantener constante el nivel.

En la práctica es necesario reducir la ganancia obtenida el momento de diseñar el controlador, debido a que la respuesta no es instantánea. La respuesta se afecta debido a factores como ruido en la medida, tiempo muerto en el proceso, retardo en la señal etc.

(Acedo Sanchez, 2006)

De acuerdo a las características de control de nivel de agua, este es de tipo ajustado. El control más propicio para el desarrollo del proyecto es un control PI, ya que el volumen del líquido en el tubo central debe mantenerse constante y no pueden admitirse offsets. Finalmente hay que considerar una ganancia elevada y la supresión de la acción derivativa para evitar ruidos.

Modelamiento Planta

Para sintonizar la planta y encontrar el valor apropiado de los parámetros del controlador, se utiliza el primer método de Ziegler-Nichols.

El primer método consiste en someter a la planta a una entrada escalón unitario y observar la respuesta de la misma. Si la respuesta obtenida presenta una curva en forma de S, como muestra la Figura 90, se puede aplicar el primer método de sintonización, caso contrario se debe considerar otras alternativas.

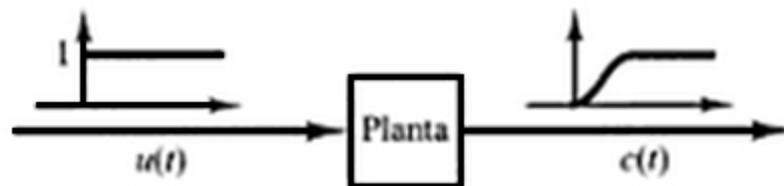


Figura 90: Respuesta de una planta a un escalón unitario

Finalmente se traza la recta tangente al punto de inflexión de la respuesta de la planta con el fin de obtener los parámetros requeridos para el control como se muestra en la Figura 91

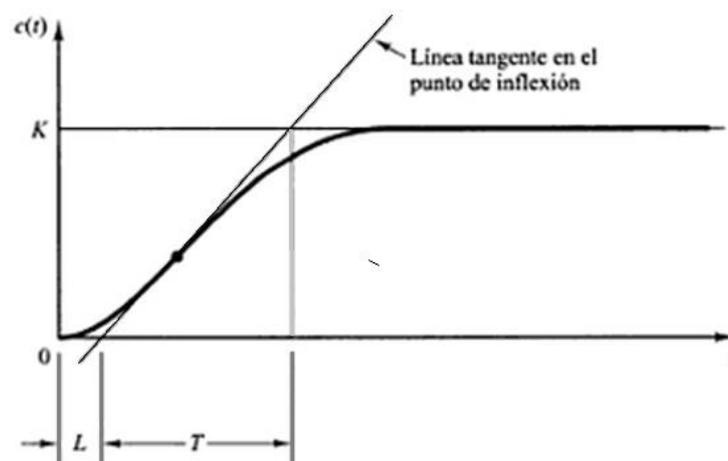


Figura 91: Curva de respuesta de una planta ante un escalón unitario

A partir de la gráfica se obtienen los valores de la constante de tiempo T, el tiempo de retardo L y la constante K.

La aproximación de la planta es entonces:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K * e^{-Ls}}{Ts + 1}$$

El controlador es:

$$Gc(s) = Kp \left(1 + \frac{1}{Tis} + Tds \right)$$

Dónde los valores de Kp, Ti y Td pueden hallarse con las fórmulas que se mencionan en la Tabla 43.

Tabla 43: Cálculo de parámetros método Ziegler-Nichols en lazo abierto

Tipo de controlador	Kp	Ti	Td
P	T/L	Inf	0
PI	0.9 T/L	L/0.3	0
PID	1.2 T/L	2L	0.5L

Respuesta de la planta al escalón unitario (Véase Figura 92)

Escalón unitario: PWM de la válvula 150 = 58,6%

Velocidad de trabajo del motor: 40%

Tiempo de muestreo: 0.05s

Número de datos: 2500

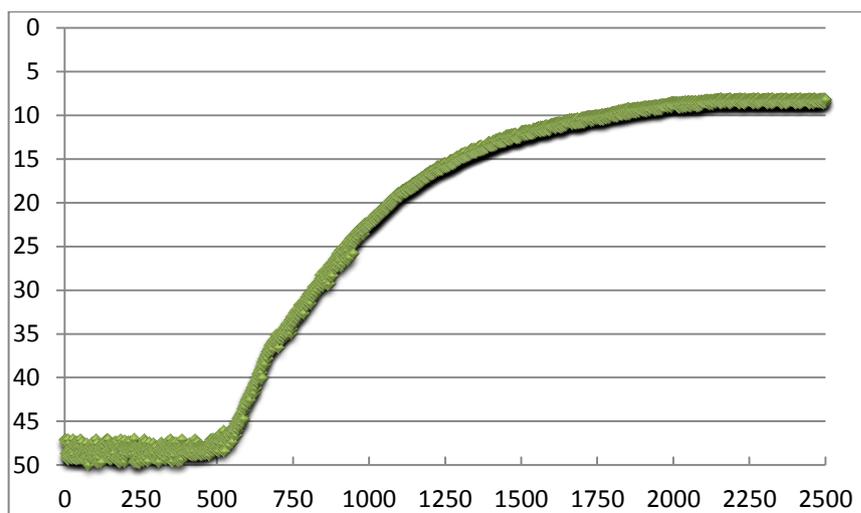


Figura 92: Respuesta de la planta de laboratorio ante un escalón unitario

La gráfica obtenida de la planta es en forma de S, por lo tanto para una previa sintonización se aplica el primer método de sintonización de Ziegler-Nichols que se muestra en la Figura 92 .

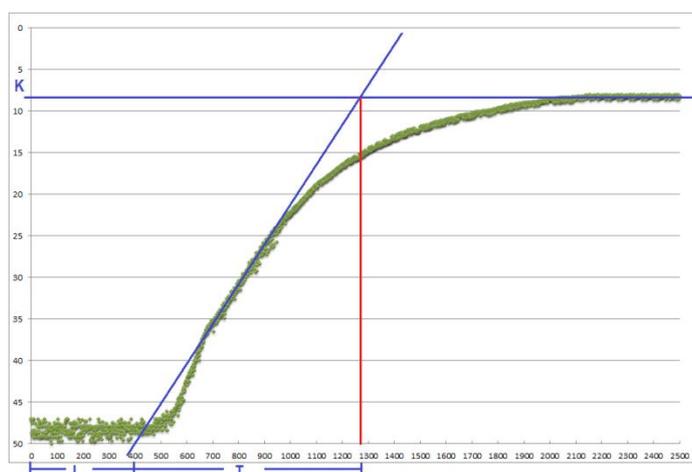


Figura 93: Parámetros de control en la respuesta de la planta

- $L = 400$
- $K = 8$
- $T = 870$
- Tiempo de muestreo 50ms

Por lo tanto

$$L = 400 \cdot 0,05s = 20s$$

$$T = 870 \cdot 0,05s = 43,5$$

Tabla 44: Parámetros del controlador de la planta.

Controlador PI	Fórmula	Reemplazo	Valores Finales
Kp	0.9T/L	0.9*(43,5/20)	1,9575
Ti	L/0.3	(20)/0.3	66,6667

$$K_p = 1,9575$$

$$K_i = K_p / T_i = 0,02936$$

Finalmente la aproximación de la planta es

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{8 * e^{-20s}}{43,5s + 1}$$

El controlador es:

$$G_c(s) = 1.96 \left(1 + \frac{1}{66,67s} \right)$$

3.8.2.2.3 Automatización.

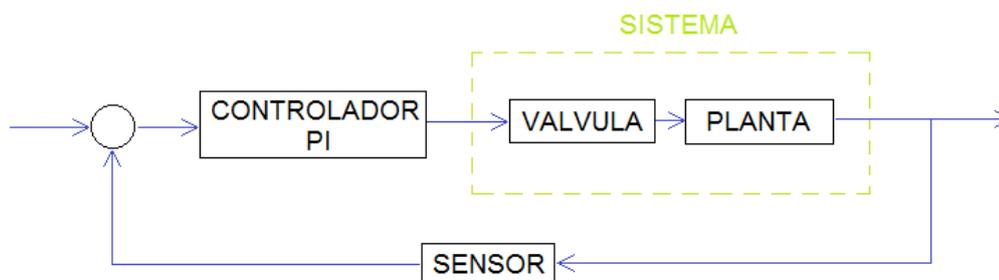


Figura 94: Diagrama de bloques control de nivel

En la Figura 94 se muestra el diagrama de bloques de un control de nivel en lazo cerrado. La variable controlada del proceso se capta mediante el sensor, y se utiliza como entrada del controlador. Dicha variable se compara con el punto de consigna fijado previamente, con el fin de establecer el error. El controlador genera la señal de salida adecuada para corregir dicho error. La señal de salida se aplica al elemento final de control, en este caso la válvula. El circuito cerrado suministra continuamente la señal para mantener la variable controlada en la posición de referencia.

Elementos del sistema que requieren alimentación

En la Tabla 45 se enlistan todos los elementos que están inmersos en la automatización del equipo de laboratorio.

Tabla 45: Alimentación de dispositivos para el equipo

Elemento	Alimentación
Arduino	12V DC
Bomba	120V AC
Contador	12V DC
Foco indicador	5/12/24 V DC
Motor Shunt	120V DC
Palpador	24V DC
Sensor de nivel	5V DC
Válvula Neumática	12/24V DC
Válvula Proporcional	24V DC

Entradas y salidas requeridas para el control de la planta

En la Tabla 46 se detalla las diferentes entradas y salidas tanto análogas como digitales.

Tabla 46: Distribución de entradas y salidas para el control de la planta

ITEM	ENTRADAS		SALIDAS	
	Digital	Análoga	Digital	Análoga
1	Interruptor para apertura y cierre del mecanismo	Sensor de nivel de líquido en el tubo central	Relé activación válvula neumática	Control de la válvula proporcional
2	Interruptor ON/OFF para la bomba	Sensor palpador	Foco indicador de funcionamiento	
3	Contador de revoluciones		Relé activación de la Bomba.	
Cantidad total	3	2	3	1

CAPÍTULO 4

Implementación

4.1 Selección y Fabricación

4.1.1 Mecanismo de apertura y cierre.

4.1.1.1 Selección de elementos

4.1.1.1.1 Selección de la platina

La selección de la platina se realiza en base al catálogo de dimensiones estándar que posee la empresa ecuatoriana ADELCA. (Véase Tabla 47)

Tabla 47: Catálogo de platinas ADELCA

Dimensión mm	Masa Nominal		Tolerancias	
	kg/m	kg/6m	Lado mm	Espesor mm
12x3	0,238	1,428	± 1,0	± 0,5
12x4	0,377	2,262	± 1,0	± 0,5
19x3	0,477	2,862	± 1,0	± 0,5
19x4	0,597	3,582	± 1,0	± 0,5
25x3	0,589	3,534	± 1,0	± 0,5
25x4	0,785	4,710	± 1,0	± 0,5
25x6	1,178	7,068	± 1,0	± 0,5
30x3	0,707	4,242	± 1,0	± 0,5
30x4	0,942	5,652	± 1,0	± 0,5
30x6	1,413	8,478	± 1,0	± 0,5
38x4	0,895	5,370	± 1,0	± 0,5
38x6	1,193	7,158	± 1,0	± 0,5
50x3	1,790	10,74	± 1,0	± 0,5
50x4	1,178	7,068	± 1,0	± 0,5
50x6	2,355	14,130	± 1,0	± 0,5
65x6	3,062	18,372	± 1,5	± 0,5
75x6	3,533	21,198	± 1,5	± 0,5

(ADELCA, 2013)

Las pletinas son de acero de baja aleación laminadas en caliente y de sección rectangular.

Considerando la Tabla 24, de las dimensiones que debe poseer la platina para soportar el esfuerzo diseñado, los parámetros a cumplir son:

$$\frac{b(h^3 - d^3)}{h} \geq 647 \text{ mm}^3$$

$$bh - bd \geq 0,4358 \text{ mm}^2$$

En la Tabla 48 se muestra los valores que presentan los perfiles comerciales para los parámetros planteados. Se encuentran marcados aquellos que satisfacen las condiciones necesarias.

El diámetro del agujero ha sido considerado de 8mm debido a los requerimientos comerciales de pernos para el ensamblaje del mecanismo, que se detallan en el apartado de selección de pernos.

Finalmente para la selección de la platina se considera las normas establecidas para las distancias entre perforaciones y las distancias entre la perforación y los bordes. A medida que se trabaje con mayores distancias la resistencia a posibles fallos incrementa. Si no se considera dicho factor, existe la posibilidad de desgarramiento del material, falla mostrada en la Figura 95.

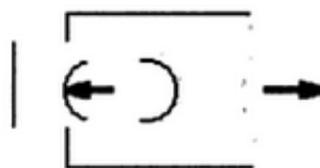


Figura 95: Falla por desgarramiento

Fuente: (Valencia Clement, 2006)

Tabla 48: Comparación de platinas comerciales con requerimientos necesarios.

Platina	Lado (h)	Espesor (b)	Agujero (d)	$\frac{b(h^3 - d^3)}{h}$ Platina	$bh - bd$ Platina	$\frac{b(h^3 - d^3)}{h}$ Necesario	$bh - bd$ Necesario
12x3	12	3	8	304,00	12	650	0,4358
12x4	12	4	8	405,33	16	650	0,4358
19x3	19	3	8	1002,16	33	650	0,4358
19x4	19	4	8	1336,21	44	650	0,4358
25x3	25	3	8	1813,56	51	650	0,4358
25x4	25	4	8	2418,08	68	650	0,4358
25x6	25	6	8	3627,12	102	650	0,4358
30x3	30	3	8	2648,80	66	650	0,4358
30x4	30	4	8	3531,73	88	650	0,4358
30x6	30	6	8	5297,60	132	650	0,4358
38x4	38	4	8	5722,11	120	650	0,4358
38x6	38	6	8	8583,16	180	650	0,4358
50x3	50	3	8	7469,28	126	650	0,4358
50x4	50	4	8	9959,04	168	650	0,4358
50x6	50	6	8	14938,56	252	650	0,4358
65x6	65	6	8	25302,74	342	650	0,4358
75x6	75	6	8	33709,04	402	650	0,4358

Si las distancias del centro del agujero al borde y la separación entre centros de los agujeros son menores a las especificadas en la Tabla 49, los elementos pueden fallar. La falla puede darse por corte entre conectores o entre el conector y el extremo.

(Valencia Clement, 2006)

Tabla 49: Distancias y separaciones mínimas entre agujeros y al borde

Distancias y separaciones	Mínimo obligatorio	Mínimo recomendado
e1	1,2 d	2 d
e2	1,2 d	1,5 d
s1	2,2 d	3 d
s2	2,4 d	3 d

Nota: d: diámetro del agujero

Fuente: (Delgado, 2013)

Las distancias y separaciones e1, e2, s1, s2 se ilustran en la Figura 96. Las distancias con subíndice 1 son medidas en dirección de la fuerza aplicada, mientras las distancias con subíndice 2 son aquellas medidas en dirección perpendicular a la fuerza aplicada.

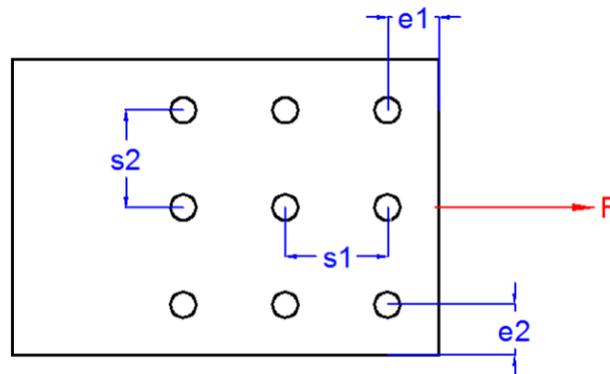


Figura 96: Distancias y separaciones entre agujeros y al borde en uniones atornilladas

Con esta última configuración se analiza entonces los perfiles, obteniendo así los resultados mostrados en la Tabla 50.

El diámetro de los agujeros es $d = 8 \text{ mm}$

Longitud entre centro y centro de la pletina $l = 750 \text{ mm}$

Tabla 50: Distancias y dimensiones de la platina y los agujeros

Distancias a los bordes		Dimensiones mínimas de la platina		Dimensiones finales de la pletina
$e1 \geq 2 * d$	16 mm	Longitud	782 mm	800 mm
$e2 \geq 1,5 * d$	12 mm	Ancho	24 mm	25 mm

4.1.1.1.2 Selección de perfil para soportes

Para los soportes superiores e inferiores del mecanismo tijera se seleccionó un perfil estructural tipo U, considerando la ventaja que este brinda funcionando como guía de deslizamiento del rodamiento para facilitar la apertura y cierre.

Los perfiles tipo U que se disponen comercialmente se resumen en la Tabla 51, que muestra un extracto del catálogo de la empresa Dipacmanta hasta dimensiones de 100mm en la longitud mayor.

El perfil óptimo para el mecanismo es el de 40mm, sin embargo es un perfil que, actualmente, ha sido discontinuado. Por ello se seleccionó el siguiente perfil, de medidas 50x25x2, existente en el mercado ecuatoriano.

Tabla 51: Catálogo de perfiles tipo U Dipacmanta

DIMENSIONES			PESOS			TIPOS						
A	B	e	6m	1m	SECCIÓN	EJE X-X				EJE Y-Y		
						I	W	I	I	W	I	x
mm	mm	mm	Kg	kg	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm
40	25	2	7.86	1.31	1.67	4.20	2.10	1.59	1.06	0.62	0.80	0.79
50	25	2	8.82	1.47	1.87	7.06	2.83	1.94	1.13	0.63	0.78	0.72
50	25	3	12.72	2.12	2.70	9.70	3.88	1.89	1.57	0.91	0.76	0.77
60	30	2	10.62	1.77	2.26	12.50	4.16	2.35	1.00	0.93	0.94	0.85
60	30	3	15.54	2.59	3.30	17.50	5.85	2.31	2.84	1.34	0.93	0.89
60	30	4	19.80	3.30	4.20	21.10	7.03	2.24	3.51	1.72	0.91	0.95
80	40	2	14.46	2.41	3.07	30.80	7.71	3.17	4.89	1.68	1.26	1.09
80	40	3	21.24	3.54	4.50	43.90	11.00	3.12	7.01	2.45	1.25	1.14
80	40	4	27.66	4.61	5.87	55.40	13.90	3.07	8.92	3.17	1.23	1.19
80	40	5	34.44	5.74	7.18	65.49	16.37	3.02	10.62	3.83	1.21	1.23
80	40	6	40.44	6.74	8.42	74.18	18.54	2.96	12.10	4.44	1.19	1.28
100	50	2	18.24	3.04	3.87	61.50	12.30	3.99	9.72	2.66	1.58	1.34
100	50	3	26.88	4.48	5.70	88.50	17.70	3.94	14.10	3.89	1.57	1.39
100	50	4	35.22	5.87	7.47	113.00	22.60	3.89	18.10	5.07	1.56	1.44
100	50	5	43.20	7.20	9.18	135.00	27.10	3.84	21.80	6.19	1.53	1.48
100	50	6	51.96	8.66	10.82	155.26	31.05	3.79	25.14	7.24	1.52	1.53
100	60	4	38.28	6.38	8.13	128.00	25.60	3.97	29.70	7.17	1.91	1.86
100	60	5	46.86	7.81	9.95	152.00	30.50	3.91	35.70	8.76	1.90	1.92
100	60	6	57.72	9.62	12.02	181.80	36.36	3.89	42.25	10.38	1.87	1.93
100	60	8	74.40	12.40	15.05	22.60	44.52	3.78	52.47	13.32	1.83	2.06

El perfil óptimo para el mecanismo es el de 40mm, sin embargo es un perfil que, actualmente, ha sido discontinuado. Por ello se seleccionó el siguiente perfil, de medidas 50x25x2, existente en el mercado ecuatoriano.

4.1.1.1.3 Selección de pernos

Pernos en cortante

$$V = \phi * F_n * A_b$$

ϕ : Factor de resistencia (0.75)

F_n : Resistencia nominal a la tensión [MPa]

A_b : Área nominal del vástago sin roscas [mm²]

(Clement, 2006)

Las características de los pernos inoxidables A2-70 para los cálculos son:

Resistencia a la tracción mínima: 700 MPa.

Resistencia a la fluencia: 275,8 MPa.

Las fuerzas en cada punto del mecanismo, considerando las parejas de brazos, ya que la cortante sobre el perno equivale a la suma de las fuerzas de ambos brazos, se muestran resumidas en la Tabla 52.

Tabla 52: Resumen de fuerzas resultantes en cada punto del mecanismo

Punto	A	B	C	D	E	F
Fuerzas	R1	Fx, Fy	Rx1, Ry1	R2	Fx, Fy	Rx2, Ry2
Resultante [N]	29,73	183,96	192,41	68,37	183,96	182,29

Para determinar un diámetro que permita que el perno no falle se considera entonces:

$$V = \phi * Fn * Ab$$

$$Ab = \frac{V}{\phi * Fn}$$

Siendo conocidos el factor de resistencia y la resistencia nominal del perno se tiene que el área nominal es:

$$Ab = \frac{V}{0.75 * 275,8}$$

Considerando que las fuerzas en los puntos B y E son las mismas en sentidos contrarios, estas se anulan. Finalmente las áreas calculadas para los pernos en cada uno de los puntos del mecanismo son las mostradas en la Tabla 53.

Tabla 53: Fuerzas cortantes y diámetros de pernos sugeridos en cada punto del mecanismo.

Punto	A	C	D	F
Fuerza Cortante [N]	29,73	192,41	68,37	182,29
Sección del perno [mm ²]	0,14	0,93	0,33	0,88

Con la sección resistente del perno se procede a determinar el diámetro del perno que cumpla dicho parámetro. Para ello se maneja una tabla de rosca metica ya que dependiendo del paso de la rosca se determina la verdadera área resistente. (Véase Tabla 54)

Tabla 54: Extracto de dimensiones de rosca métrica desde M1 a M8

Designación	Diámetro nominal (mm)	Paso (mm)	Diámetro Francos (mm)	Diámetro Núcleo (mm)	Área Núcleo (mm ²)	Área Resistente (mm ²)
M 1 x 0,25	1	0,25	0,839	0,693	0,377	0,461
M 1,1 x 0,25	1,1	0,25	0,939	0,793	0,494	0,589
M 1,2 x 0,25	1,2	0,25	1,039	0,893	0,626	0,733
M 1,4 x 0,3	1,4	0,3	1,206	1,032	0,836	0,983
M 1,6 x 0,35	1,6	0,35	1,374	1,171	1,077	1,272
M 1,7 x 0,35	1,7	0,35	1,474	1,271	1,269	1,479
M 1,8 x 0,35	1,8	0,35	1,574	1,371	1,476	1,703
M 2 x 0,4	2	0,4	1,742	1,509	1,788	2,075
M 2,2 x 0,45	2,2	0,45	1,91	1,648	2,133	2,486
M 2,3 x 0,4	2,3	0,4	2,042	1,809	2,57	2,912
M 2,5 x 0,45	2,5	0,45	2,21	1,948	2,98	3,395
M 2,6 x 0,45	2,6	0,45	2,31	2,048	3,294	3,729
M 3 x 0,5	3	0,5	2,677	2,387	4,475	5,035
M 3,5 x 0,6	3,5	0,6	3,113	2,764	6	6,782
M 4 x 0,7	4	0,7	3,548	3,141	7,749	8,785
M 4,5 x 0,75	4,5	0,75	4,016	3,58	10,066	11,329
M 5 x 0,8	5	0,8	4,484	4,019	12,686	14,196
M 5,5 x 0,9	5,5	0,9	4,919	4,396	15,178	17,037
M 6 x 1	6	1	5,355	4,773	17,893	20,141
M 7 x 1	7	1	6,355	5,773	26,175	28,881
M 8 x 1,25	8	1,25	7,194	6,466	32,837	36,638

Tomando en cuenta que el valor de rosca óptimo, al considerar el área requerida, es M1.4x0.3 el cual es de menor diámetro a los existentes en el mercado, este parámetro no influye en la selección del perno.

Con lo expuesto anteriormente, se analiza un último parámetro que es la longitud demandada del perno. Como se requiere que los brazos se encuentren paralelos al igual que los soportes, el equilibrar el mecanismo es indispensable para una correcta apertura y cierre.

La suma de las distancias entre los brazos más externos, con los acoples necesarios para un correcto funcionamiento, se detallan en la Tabla 55, y se basan en la configuración mostrada en la Figura 97.

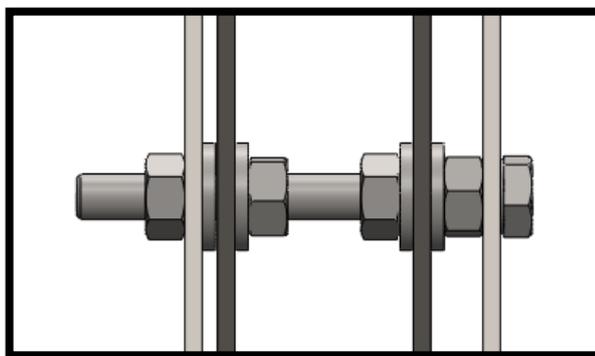


Figura 97: Disposición de arandelas y tuercas para sujeción de brazos

Tabla 55: Elementos y distancias que influyen en la selección de longitud de pernos del mecanismo

Elemento	Distancia
Primer brazo	3 mm
Perno para ajuste brazo	6 mm
Arandela juego entre brazos	3 mm
Segundo brazo	3 mm
Arandela juego entre brazo y soporte	3 mm
Soporte Perfil tipo U	25 mm
Arandela juego entre soporte y brazo	3 mm
Tercer Brazo	3 mm
Arandela Juego entre brazos	3 mm
Cuarto brazo	3 mm
Tuerca	6 mm
Holgura para ajustes	5 mm
TOTAL	66 mm

De acuerdo al ajuste para la conexión del mecanismo, la longitud mínima del perno es de 66mm. Para determinar que pernos existen comercialmente con longitud roscada igual o superior a 66mm se consideró la norma “*INEN NTE 1 247 (Tabla 1)*”, mostrada en la Tabla 56, que presenta las dimensiones para Tornillos de cabeza hexagonal de rosca total.

En base a la norma, la longitud de rosca superior a 66mm es de 70mm. Y su existencia se da a partir de pernos M8 o superior.

Por lo tanto, los pernos utilizados para el ensamblaje del mecanismo son pernos M8.

Tabla 56: Extracto norma INEN NTE 1 247 Tornillos de cabeza hexagonal de roscado total. Dimensiones (mm)

L					M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20	M24	M30	M36
		<= 10d ó 150mm		> 10d ó 150mm													
nom	min	máx	Min	máx													
6	5,76	6,24	-	-													
8	7,71	8,29	-	-													
10	9,71	10,29	-	-													
12	11,7	12,35	-	-													
16	15,7	16,35	-	-													
20	19,6	20,42	-	-													
25	24,6	25,42	-	-													
30	29,6	30,42	-	-													
35	34,5	35,4	33,75	36,25													
40	39,5	40,5	38,75	41,25													
45	44,5	45,5	43,75	46,25													
50	49,5	50,5	48,75	51,25													
55	54,4	55,6	53,5	56,5													
60	59,4	60,6	58,5	61,5													
65	64,4	65,6	63,5	66,5													
70	69,4	70,6	68,5	71,5													
80	79,4	80,6	78,5	81,5													
90	89,3	90,7	88,25	91,75													
100	99,3	100,7	98,25	101,75													

NOTA: el tamaño M14 debe evitarse en lo posible

4.1.1.1.4 Selección del actuador neumático

En la Tabla 25 se encuentran resumidas las características necesarias para el actuador neumático. El diámetro calculado es de 30.89 [mm], no obstante el diámetro comercial que satisface dicha expectativa es de 32 [mm]. Trabajando a 3 bares que es la presión proporcionada por el compresor del laboratorio, la fuerza que proporcionan dichos pistones es de 240 [N].

En cuanto a la carrera de los cilindros, comercialmente se tiene longitudes de 200 [mm] y 250 [mm]. Como se explicó en las propiedades de un mecanismo tijera, el recorrido horizontal no debe superar el 1/3 de la longitud del soporte horizontal. Tomando en cuenta que el soporte tiene una dimensión de 660 [mm] la carrera que debe seleccionarse es una igual o inferior a 220 [mm].

Tabla 57: Resumen de especificaciones del cilindro seleccionado

	Requerida	Seleccionada	Unidad
Carrera	220	200	[mm]
Diámetro	30,89	32	[mm]
Fuerza	224,81	240	[N]

Cálculo de la nueva altura de apertura del mecanismo.

Al disminuir la carrera del cilindro, reduce la apertura del mecanismo, considerando los requerimientos de mantener una apertura mínima de 200mm se recalcula este parámetro bajo las propiedades del mecanismo.

Longitud de los brazos del mecanismo:

$$a = 750\text{mm}$$

Longitud de los soportes superior e inferior:

$$L = 660\text{mm}$$

Apertura inicial (mecanismo cerrado):

$$\text{Apertura inicial} = 360\text{mm}$$

Carrera horizontal:

$$c = 200\text{mm}$$

Nueva apertura del mecanismo:

$$\text{Apertura final} = \text{Altura total} - \text{Apertura inicial}$$

$$\text{Altura total} = \sqrt{a^2 - (L - c)^2}$$

$$\text{Altura total} = \sqrt{750^2 - (660 - 200)^2}$$

$$\text{Altura total} = 592,37$$

Finalmente se tiene:

$$\text{Apertura final} = 592,37 - 360$$

$$\text{Apertura final} = 232,37$$

Al ser pequeña la diferencia en la carrera del cilindro, no se vieron afectados los parámetros requeridos de apertura del sistema.

4.1.1.1.5 Selección de rodamientos

Inicialmente los rodamientos se clasifican en: rodamientos de bolas y rodamientos de rodillos. Los primeros son utilizados normalmente para pequeños montajes, mientras los segundos cuando se requiere soportar

grandes dimensiones y fuertes cargas. La Tabla 58 muestra las características de distintos rodamientos.

Tabla 58: Características de distintos tipos de Rodamientos

Tipo de Rodamiento	Capacidad carga radial	Capacidad carga de empuje	Capacidad de desalineamiento
Una hilera de bolas con ranura profunda	Buena	Regular	Regular
Doble hilera de bolas con ranura profunda	Excelente	Buena	Regular
Contacto angular	Buena	Excelente	Mala
Rodillos cilíndricos	Excelente	Mala	Regular
Agujas	Excelente	Mala	Mala
Rodillos esféricos	Excelente	Regular a buena	Excelente
Rodillos cónicos	Excelente	Excelente	Mala

Fuente: (Mott, 2006)

El mecanismo tipo tijera para el equipo de laboratorio representa un pequeño montaje, que no requiere grandes cargas, por lo tanto basta con un rodamiento de bolas.

En cuanto a la disposición del rodamiento, considerando las cargas aplicadas, no se requiere capacidad de carga de empuje ya que el elemento trabaja con cargas netamente radiales. Por ello la selección óptima para el tipo de rodamiento es “Una hilera de bolas con ranura profunda”, cuyas características son buena capacidad de carga axial, y regular capacidad de carga de empuje.

Para la selección del rodamiento adecuado se manejan los catálogos de los fabricantes, a fin de determinar la capacidad de carga y la geometría de los rodamientos.

El rodamiento necesario debe satisfacer la restricción de longitud del diámetro exterior para que ingrese en el perfil seleccionado es decir que no sea mayor a 46mm.

En el extracto de las tablas de dimensiones de los rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda tipo Conrad de la marca NSK, mostrado en la Tabla 59, constan los rodamientos que pueden satisfacer la necesidad planteada.

Tanto para las series 6200 como para las 6300 el siguiente diámetro externo es de 47mm, dimensión que sobrepasa el máximo requerido para el mecanismo.

El rodamiento más cercano al valor deseado es el rodamiento 6302 cuyo diámetro exterior es de 42mm.

Con el rodamiento seleccionado se procede al cálculo de duración de diseño

$$L_d = \left(\frac{C}{Pd} \right)^k$$

Dónde: $k= 3.00$ para rodamientos de bolas

$k= 3.33$ para rodamientos de rodillos

- C : Capacidad básica de carga dinámica
- Pd : Carga de diseño.
- L_d : Expresada en millones de revoluciones.

Tabla 59: Dimensiones nominales de rodamientos una hilera de bolas y ranura profunda tipo Conrad NSK

N° de Rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento							Diámetro escalón preferido		Peso	Capacidad	
											Carga estática	Carga dinámica
	D		D		B		r	Eje	Caja	P	Co	C
mm	plg	mm	plg	mm	plg	plg	plg	plg	lb	lb	lb	
Serie 6200												
6200	10	0,39	30	1,18	9	0,35	0,024	0,5	0,98	0,07	520	885
6201	12	0,47	32	1,26	10	0,39	0,024	0,58	1,06	0,08	675	1180
6202	15	0,59	35	1,38	11	0,43	0,024	0,70	1,18	0,10	790	1320
6203	17	0,67	40	1,57	12	0,47	0,024	0,79	1,38	0,14	1010	1660
Serie 6300												
6300	10	0,39	35	1,38	11	0,43	0,024	0,56	1,18	0,12	805	1400
6301	12	0,47	37	1,46	12	0,47	0,039	0,65	1,22	0,13	990	1680
6302	15	0,59	42	1,65	13	0,51	0,039	0,78	1,42	0,18	1200	1980

Las duraciones óptimas de los rodamientos en horas de acuerdo a la maquinaria en que van a ser empleadas se detallan en la Tabla 60.

Tabla 60: Duración de rodamientos en horas para diferentes tipos de máquinas

Clase de máquinas	Horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos y aparatos de uso médico	300 a 3.000
Máquinas usadas intermitentemente o por cortos períodos	3.000 a 8.000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente	8.000 a 12.000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas	10.000 a 25.000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas	20.000 a 30.000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas día	40.000 a 50.000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, maquinas cableadoras, maquinaria de propulsión en transatlánticos	60.000 a 100.000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para aplicación en marina mercante	>100.000

Fuente: (Cortizo Rodríguez, 2004)

Los rodamientos superior e inferior se encuentran sometidos a las cargas de los pesos que se distribuyen en el mecanismo. La Tabla 61 muestra las fuerzas, todas radiales, a las que está sometido cada uno de los rodamientos tanto para el mecanismo en posición abierta como cerrada.

Tabla 61: Fuerzas actuantes sobre los rodamientos del mecanismo

Caso	Ángulo °	Rodamiento Superior	Rodamiento Inferior	
		W1 (y) N	Rx2 N	Ry2 N
Abierto	42,75	44,59	106,14	44,59
Cerrado	28,61	29,73	179,85	29,73

La carga crítica se da en el rodamiento inferior cuando el mecanismo se encuentra cerrado, siendo esta de 179,85N. Por lo tanto la duración del mismo, considerando ser un rodamiento de bolas 6302, es:

$$Ld = \left(\frac{C}{Pd} \right)^k$$

$$C = 1980 \text{ lb} = 8800N$$

$$k = 3.00$$

$$Pd = 179.85N$$

$$Ld = \left(\frac{8.800N}{179,85N} \right)^3$$

$$Ld = 117.143,09 \text{ millones de revoluciones}$$

Como la velocidad de apertura y cierre del mecanismo no es un parámetro fijo, se puede suponer un valor aproximado para considerar las horas de trabajo que brindará el rodamiento.

Considerando un tiempo de apertura de 5 segundos y conociendo que el desplazamiento del rodamiento es de 200mm y su diámetro 42mm, La velocidad del rodamiento es:

$$\text{desplazamiento por revolución} = \pi d = 131,95\text{mm}$$

$$\text{revoluciones requeridas} = \frac{\text{desplazamiento total}}{\text{desplazamiento por revolución}} = \frac{200}{131,95} = 1,52$$

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{revoluciones}}{\text{tiempo}} = \frac{1,52\text{rev}}{5\text{ s}} = 0,3\text{ rev/s}$$

$$\text{Velocidad} = 18,19\text{ rpm.}$$

Con la velocidad del rodamiento y el número de revoluciones que soporta el rodamiento se calcula las horas de vida útil del mismo.

$$\text{Vida útil [h]} = \frac{\text{Revoluciones}}{\text{Velocidad rph}} = \frac{117.143,09 * 10^6}{1091,35\text{ rpm}}$$

$$\text{Vida útil [h]} = 107,34 * 10^6$$

Esta vida útil supera a cualquier maquina detallada en la Tabla 60, por lo tanto el rodamiento no creará fallos en el equipo.

Ajuste del rodamiento

Al presentar el rodamiento un diámetro exterior de 42mm, y tener un perfil cuyo interior mide 46mm, es necesario evitar una holgura tan grande, por ello se implementó una platina de 3mm en el interior que restrinja el juego.

De esta forma el perfil maneja interiormente una distancia de 43mm que permite el ingreso de un rodamiento de 42mm y el funcionamiento del mismo con una holgura de 1mm para su fácil deslizamiento.

En los soportes inferiores se colocó la platina en la parte superior, para evitar complicaciones con la sujeción de estos a la estructura principal; mientras que los soportes superiores tienen la platina en la parte inferior, para facilitar la sujeción de la tapa y que el peso de la platina no obstruya al rodamiento.

Para la sujeción de la platina se consideró una distancia entre los pernos de sujeción que no interfiera en el deslizamiento del rodamiento.

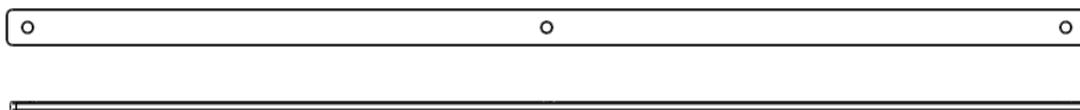
Considerando el acople requerido, y la necesidad de mantener el centro de los rodamientos, en lugar de que las perforaciones se realicen a la mitad del perfil, presentan un offset de 1.5mm del centro dependiendo la colocación de la platina.

4.1.1.2 Fabricación de piezas

Para las piezas elaboradas, pertenecientes al mecanismo, se describe su proceso de fabricación mediante diagramas y cuadros de procesos.

- Fabricación de brazos (véase Figura 98 y Tabla **62**)
- Fabricación de soportes (véase Figura 99 y Tabla 63)
- Platina adicional (véase Figura 100 y Tabla 64)
- Soporte para sujeción de la tapa (véase Figura 101 y Tabla 65)
- Acople de regulación entre tapa y mecanismo (véase Figura 102 y Tabla 66)

4.1.1.2.1 Fabricación de brazos



Cantidad de piezas: 8

Plano N°: 1

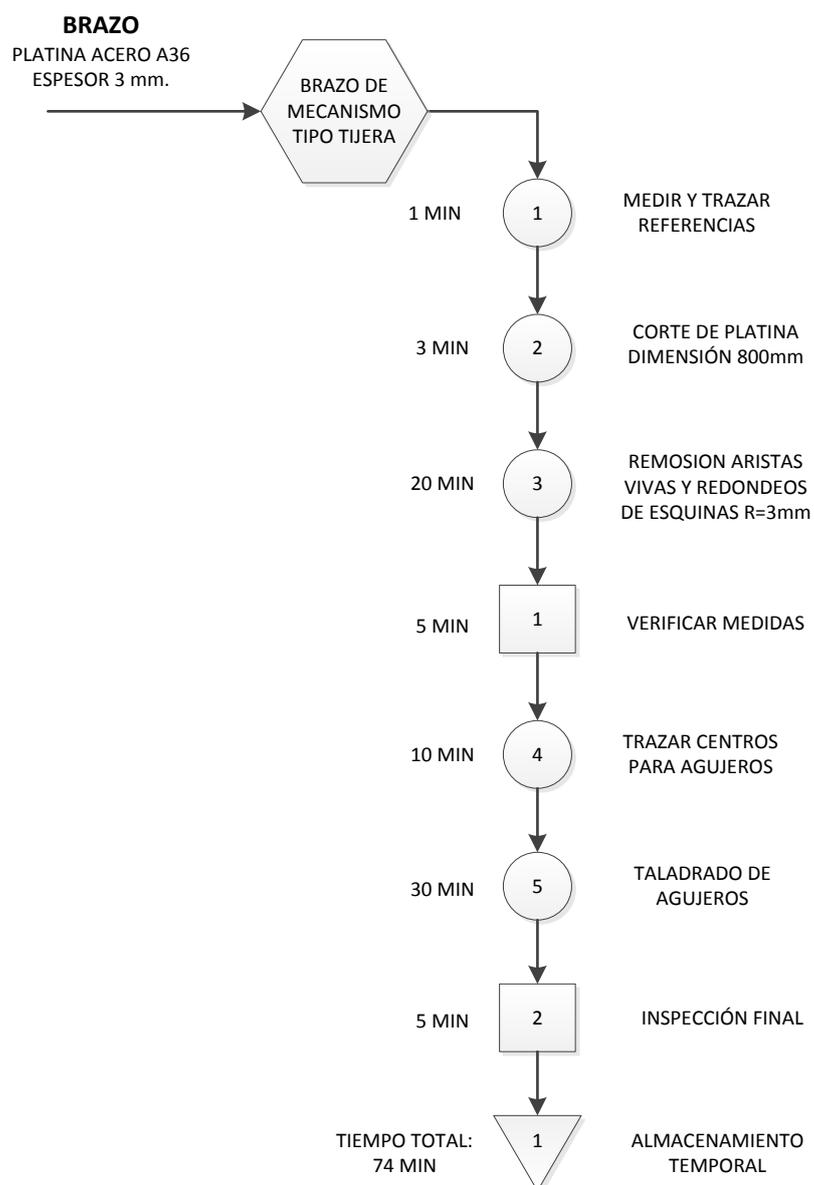


Figura 98: Diagrama de Flujo Fabricación de brazo

Tabla 62: Proceso Fabricación Brazos del mecanismo

#	ESQUEMA	PROCESO	PARÁMETRO	TIEMPO	HERRAMIENTA
1		Medir y trazar referencias	Medida de 805mm con holgura para remoción de aristas vivas	1 min	Flexómetro Escuadra Rayador
2		Corte de platina	Corte manual	3 min	Sierra Entenalla
3		Remoción de aristas vivas y redondeo de esquinas	Esmerilado y limado de aristas	20 min	Esmeril Lima Entenalla
4		Verificar medidas	Verificado de longitud de 800mm con tolerancia $\pm 0,5\text{mm}$	5 min	Flexómetro
5		Trazar centros para agujeros	Trazado de 3 centros, externos a 750mm y uno central	10 min	Granete Martillo Regla Marcador
6		Taladrado de agujeros	Dos pasadas con brocas de 6 y 8 mm para cada uno de los 3 agujeros	30 min	Taladro Broca 6mm Broca 8mm Entenalla
7		Inspección final	Verificación de distancias y diámetros de agujeros	5 min	Flexómetro Calibrador

4.1.1.2.2 Fabricación de soportes



Cantidad de piezas: 4

Plano N°: 2, 3, 4, 5

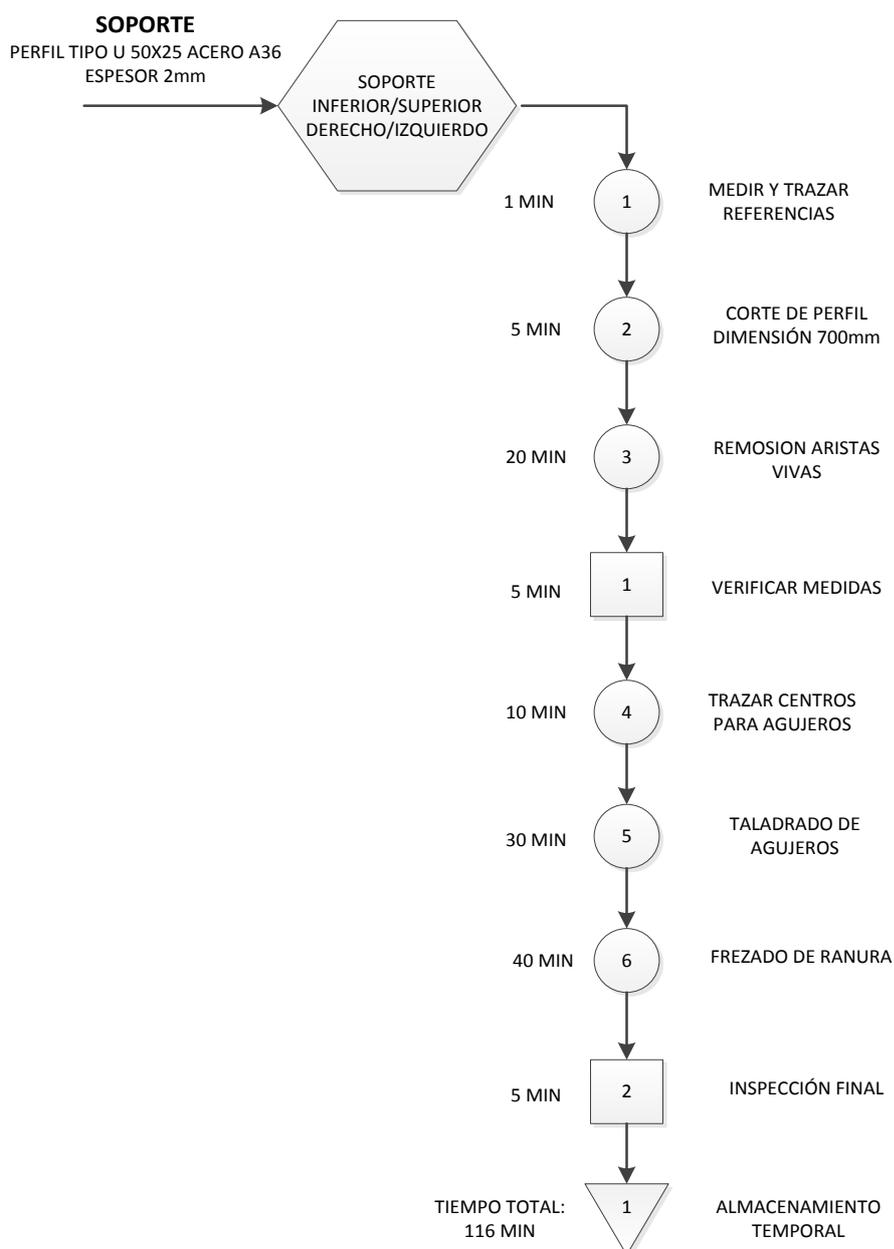
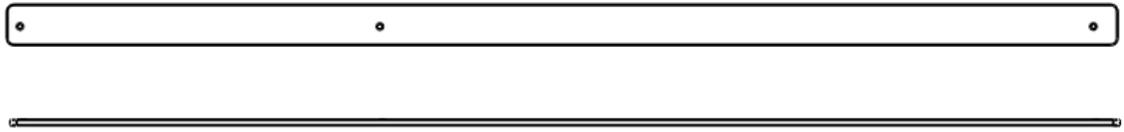


Figura 99: Diagrama de Flujo Fabricación Soporte del mecanismo

Tabla 63: Proceso Fabricación Soportes del mecanismo

#	ESQUEMA	PROCESO	PARÁMETRO	TIEMPO	HERRAMIENTA
1		Medir y trazar referencias	Medida de 702mm con holgura para remoción de aristas vivas	1 min	Flexómetro Escuadra Rayador
2		Corte del perfil	Corte manual	5 min	Sierra Entenalla
3		Remoción de aristas vivas y redondeo de esquinas	Esmerilado y limado de aristas	20 min	Esmeril Lima Entenalla
4		Verificar medidas	Verificado de longitud de 700mm con tolerancia $\pm 0,5\text{mm}$	5 min	Flexómetro
5		Trazar centros para agujeros	Trazado de centros, 3 frontales, 3 para acople, 2 de sujeción	10 min	Granete Martillo Regla Marcador
6		Taladrado de agujeros	Dos pasadas con brocas de 6 y 8 mm para agujeros y guías de ranura	30 min	Taladro Broca 6mm Broca 8mm Entenalla
7		Fresado de ranura	Ranura de fresa 200mm longitud 350rpm	40 min	Fresadora Fresa 12,7mm
8		Inspección final	Verificación de distancias y diámetros de agujeros	5 min	Flexómetro Calibrador

4.1.1.2.3 Fabricación de platina adicional



Cantidad de piezas: 4

Plano N°: 6

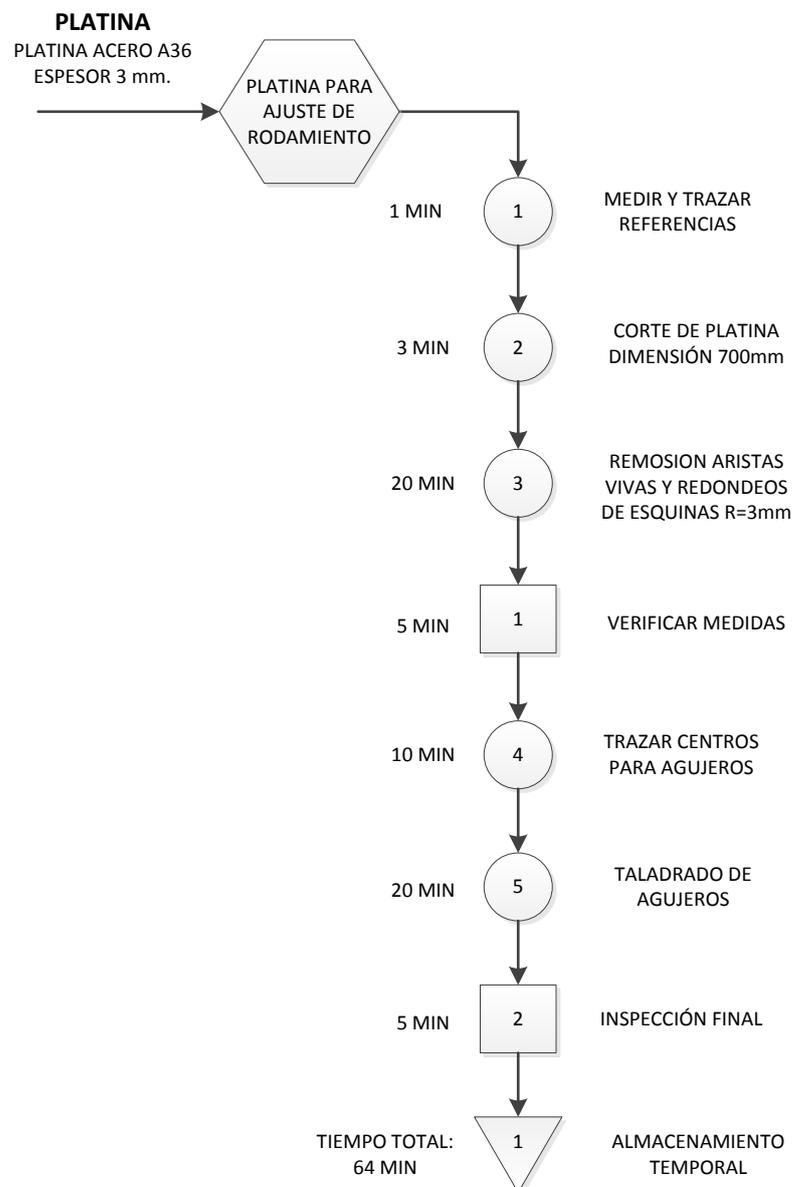
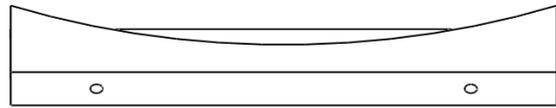
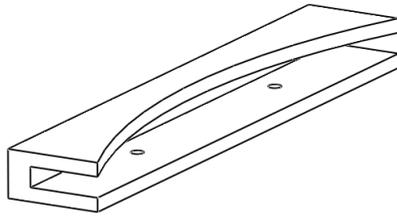


Figura 100: Diagrama de Flujo Fabricación platina adicional

Tabla 64: Proceso Fabricación Platina adicional

#	ESQUEMA	PROCESO	PARÁMETRO	TIEMPO	HERRAMIENTA
1		Medir y trazar referencias	Medida de 705mm con holgura para remoción de aristas vivas	1 min	Flexómetro Escuadra Rayador
2		Corte de platina	Corte manual	3 min	Sierra Entenalla
3		Remoción de aristas vivas y redondeo de esquinas	Esmerilado y limado de aristas	20 min	Esmeril Lima Entenalla
4		Verificar medidas	Verificado de longitud de 700mm con tolerancia +- 0,5mm	5 min	Flexómetro
5		Trazar centros para agujeros	Trazado de 3 centros, externos a 750mm y uno central	10 min	Granete Martillo Regla Marcador
6		Taladrado de agujeros	3 Agujeros de 4mm descentrados	20 min	Taladro Broca 4mm Entenalla
7		Inspección final	Verificación de distancias y diámetros de agujeros	5 min	Flexómetro Calibrador

4.1.1.2.4 Fabricación de acople para sujeción de la tapa



Cantidad de piezas: 2

Plano N°: 14

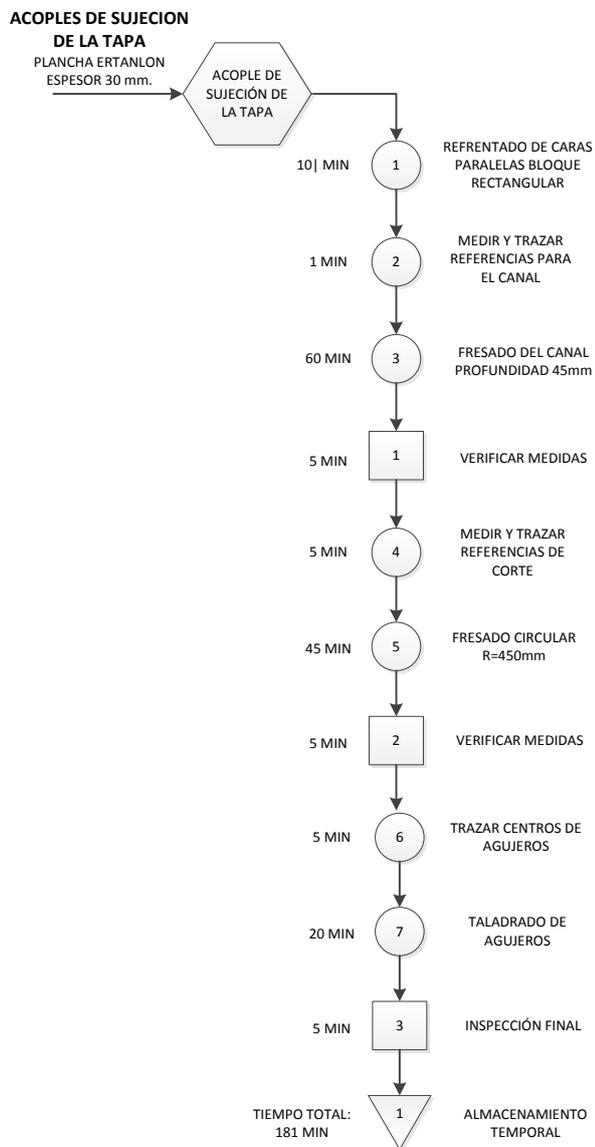
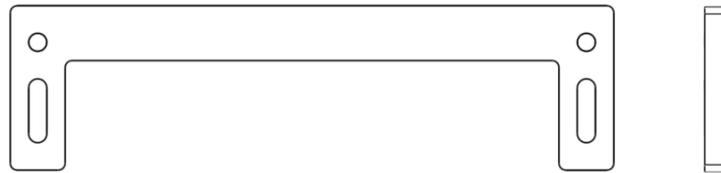


Figura 101: Diagrama de Flujo Fabricación Acoples para la tapa

Tabla 65: Proceso Fabricación Acoples de sujeción de la tapa

#	ESQUEMA	PROCESO	PARÁMETRO	TIEMPO	HERRAMIENTA
1		Refrentado de caras paralelas	Bloque rectangular 350x60x30mm	10 min	Entenalla Fresadora Fresa 12,7mm
2		Medir y trazar referencias para canal	Canal centrado de 12,7x350 mm	1 min	Regla Marcador
3		Fresado del canal	12,7mm x 45mm de profundidad	60 min	Entenalla Fresadora Fresa 12,7mm
4		Verificar medidas	Verificado de dimensiones de ranura	5 min	Calibrador
5		Medir y trazar referencias de corte	Circunferencia de R=450mm coincidente con las esquinas	5 min	Regla Marcador Tapa R=450mm
6		Fresado Circular	Corte con fresa 8mm circunferencia R=450mm	45 min	Fresadora Fresa 8mm Entenalla
7		Verificar medidas	Verificado de dimensiones con tapa de prueba	5 min	Calibrador Tapa R=450mm
8		Trazar centros de agujeros	Distancia cara lateral 240mm Distancia cara superior 160.	5 min	Regla Marcador Granete Martillo
9		Taladrado de agujeros	Agujeros diámetro 8mm	20 min	Taladro Entenalla Broca 8 mm
10		Inspección final	Verificación de distancias y diámetros de agujeros	5 min	Flexómetro Calibrador

4.1.1.2.5 Fabricación de acople de regulación entre tapa y mecanismo



Cantidad de piezas: 2

Plano N°: 15

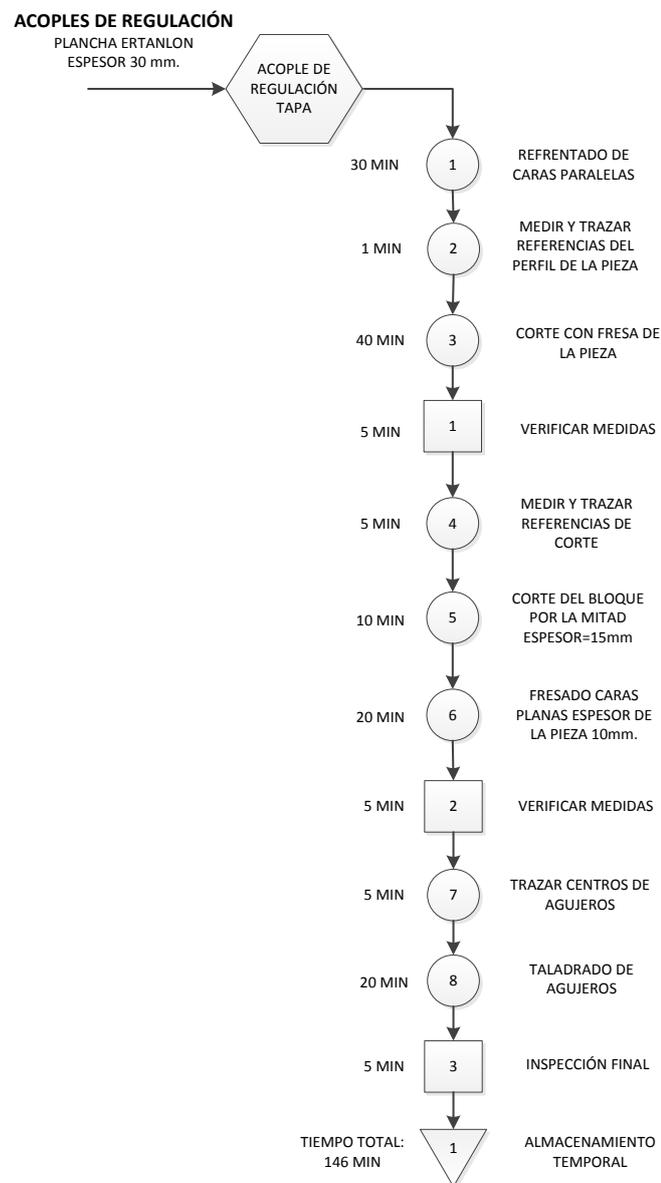


Figura 102: Diagrama de Flujo Fabricación Acoples de regulación

Tabla 66: Proceso Fabricación Acople de Regulación

#	ESQUEMA	PROCESO	PARÁMETRO	TIEMPO	HERRAMIENTA
1		Refrentado de caras paralelas	Bloque rectangular espesor 30mm	30 min	Fresadora Fresa 12,7mm Mordazas
2		Medir y trazar referencias	U de 265x80 y ancho 25mm	1 min	Regla Marcador
3		Corte con fresa	Corte del perfil en espesor 30mm	40 min	Fresadora Fresa 4mm Mordazas
4		Verificar medidas	Verificado de longitudes	5 min	Calibrador
5		Medir y trazar referencias de corte	Marca por la mitad del espesor 1,5mm	5 min	Regla Marcador
6		Corte del bloque por la mitad	Corte manual con sierra	10 min	Sierra Entenalla
7		Fresado caras planas	Refrentado de cara espesor 10mm	20 min	Fresadora Fresa 12,7mm Entenalla
8		Verificar medidas	Espesor de pieza 10mm	5 min	Calibrador
8		Trazar centros de agujeros y canal	Agujeros y canal centrados	5 min	Regla Marcador Granete Martillo
9		Fresado de canal	Canal 25mm x 8mm diámetro	20 min	Fresadora Fresa 8mm Entenalla
10		Taladrado de agujeros	Agujeros diámetro 8mm	10 min	Taladro Broca 8mm
11		Inspección final	Verificación de medidas	5 min	Flexómetro Calibrador

4.1.2 Elementos de soporte estructural.

4.1.2.1 Selección de elementos

4.1.2.1.1 Selección del perfil de los brazos de la nueva estructura

Entre los perfiles existentes para estructuras se encuentran el perfil I, el perfil U, el ángulo L, el tubo cuadrado y el perfil T. Para la aplicación de soporte del mecanismo se considera la facilidad de sujeción del mecanismo al perfil por medio de pernos. Bajo dicho parámetro, los perfiles U y L son los más óptimos ya que presentan la facilidad de ubicar un solo perno en el centro de la cara superior del mismo. Sin embargo, los ángulos representan un desequilibrio al momento de balancear la estructura, ya que su sección transversal no es simétrica respecto a la vertical; por lo cual el perfil más adecuado para los brazos de la nueva estructura es el tipo U.

Una vez seleccionado el tipo de perfil se debe establecer las dimensiones del mismo. Para ello se considera el análisis estático de una viga en voladizo.

$$\sigma_{permisible} = \frac{M_{máximo}}{S_{req}}$$

Dónde:

S_{req} : es el módulo de sección del perfil estructural

$M_{máximo}$: es el momento máximo en la viga

$\sigma_{permisible}$: es el esfuerzo que soporta el material considerando el factor de seguridad.

En el diseño de la estructura se ha considerado como factor de diseño $n=2$, el material seleccionado es acero estructural A36 por lo tanto su esfuerzo de fluencia es 250MPa; finalmente, el máximo momento es de 13,293Nm considerado en la Tabla 28

Por lo tanto

$$\sigma_{permissible} = \frac{250MPa}{2} = 125MPa$$

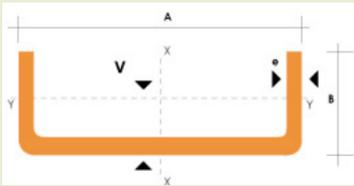
$$S_{req} = \frac{13,293 Nm}{125 MPa} = 1,06 * 10^{-7} m^3$$

Una vez obtenido el valor del módulo de sección se considera los valores del catálogo de DIPACmanta, Tabla 67, para las características de los perfiles tipo U existentes comercialmente. En base a ellos se calcula el módulo de sección de cada uno de ellos.

$$S_{req} = \frac{I}{C}$$

Tabla 67 Catalogo DIPACmanta de perfiles tipo U

A	B	E	Sección	I y-y	C	Módulo de sección
mm	mm	Mm	cm ²	cm ⁴	Cm	cm ³
50	25	2	1,87	1,13	0,72	1,57
50	25	3	2,70	1,57	0,77	2,04
60	30	2	2,26	2,00	0,85	2,35
60	30	3	3,30	2,84	0,89	3,19
60	30	4	4,20	3,51	0,95	3,69



Debido a que todos los valores del módulo de sección superan el mínimo requerido, se selecciona el menor de ellos. Siendo finalmente el perfil seleccionado el de tipo U con dimensiones 50x25 con espesor de 2mm.

4.1.2.1.2 Selección de la placa de sujeción de los brazos de la nueva estructura

La placa para sujeción de los brazos de soporte de la nueva estructura, mostrada en la Figura 103, requiere ser fijada a la estructura original del equipo mediante pernos, para facilitar el montaje de la misma debido a la imposibilidad de sacar el equipo del laboratorio. Para determinar las distancias entre agujeros así como la distancia de estos a los bordes se toma de referencia la Tabla 49. Considerando que los pernos son M6 debido a la selección mostrada en el apartado 4.1.2.1.3, las distancias entre agujeros y a los bordes se calculan y se muestran finalmente en la Tabla 68.



Figura 103: Placa para sujeción de brazos de soporte a la estructura

Tabla 68: Distancias entre agujeros y a los bordes para la placa de sujeción.

Distancias	Mínimo Recomendado		Seleccionada
Entre pernos verticales	3*d	18 mm	20mm
A los bordes superior e inferior	2*d	12 mm	15mm
A los bordes laterales	1,5*d	9 mm	15 mm

La altura de la placa queda definida por la suma de la distancia entre pernos y la distancia desde el centro del agujero a los bordes tanto superior como inferior

$$\textit{altura} = 20\textit{mm} + 15\textit{mm} + 15\textit{mm}$$

$$\textit{altura} = 50\textit{mm}$$

El ancho por su parte debe considerarse que no requiere un cálculo de distancia mínima entre pernos, ya que esta es muy superior a los mínimos previstos debido a que en la mitad de dicha distancia se coloca el perfil soldado. En el ancho hay que considerar una holgura para facilitar el montaje de los pernos ya que el perfil se suelda a 60° implicando así que el perno queda más pegado a un extremo. Además el cordón de soldadura requiere también un espesor dentro de dicha placa. La holgura seleccionada es de 35mm

$$\textit{ancho} = 50\textit{mm} + 15\textit{mm} + 15\textit{mm} + 2 * 35\textit{mm}$$

$$\textit{ancho} = 150\textit{mm}$$

4.1.2.1.3 Selección de pernos de fijación para de los brazos de la nueva estructura

Longitud y diámetro necesarios para pernos

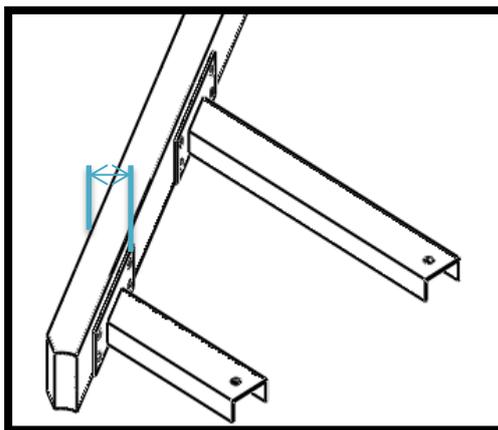


Figura 104: Longitud requerida para fijar la placa de soporte a la estructura

Los pernos requieren una longitud mínima que sobrepase los perfiles de la estructura así como la placa que sostiene los brazos, considerando además la holgura para colocar arandelas y tuercas, dicha distancia se evidencia en la Figura 104. Las dimensiones necesarias son:

- Ancho del perfil de la estructura: 38,5mm
- Espesor de la placa de sujeción: 3mm
- Arandela: 3mm
- Tuerca: 6mm
- Holgura en el perno: 5mm
- Total: 55,5mm

Considerando la norma INEN para pernos mostrada en la Tabla 56, la longitud comercial que supera el mínimo requerido para los pernos es de 60mm. Por su parte, el diámetro comercial para pernos de longitud 60mm son los superiores a M6. Por lo tanto este será el diámetro seleccionado para los cálculos.

Cálculo de esfuerzos en los pernos

Las fuerzas calculadas en el diseño para los pernos quedaron expresadas en función de la distancia de separación entre pernos, las cargas aplicadas a estos son las que se exponen en la Tabla 69.

Tabla 69: Fuerzas tangencial y normal aplicadas en los pernos de sujeción de la placa de soporte

	Ft		Fn	
Distancia	dt = 20 mm		dn = 120 mm	
Brazo corto	$\frac{11,512[\text{Nm}]}{2 * dt}$	287.81 N	$\frac{6,647[\text{Nm}]}{2 * dn}$	27,70N
Brazo largo	$\frac{6,623[\text{Nm}]}{2 * dt}$	165.57N	$\frac{3,824[\text{Nm}]}{2 * dn}$	15,93 N

Considerando la selección de los pernos A2-70 cuya resistencia a la fluencia es de 275,8MPa, se analiza tanto para tensión como para cortante el diámetro óptimo de los pernos, resumiendo los resultados en la Tabla 70.

Tabla 70: Parámetros para establecer la sección resistente de los pernos para sujeción de la placa de soporte

	Ft	Fn
Tipo de Fuerza	Cortante	Aplastamiento
Ecuación	$Ab = \frac{V}{0.75 * 275.8}$	$Ab = \frac{T}{0.75 * 275.8}$
Fuerza brazo corto	287.81 N	27,70N
Fuerza brazo largo	165.57N	15,93 N
Área pernos brazo corto	1,39 mm ²	0,13 mm ²
Área pernos brazo largo	0.8 mm ²	0,08 mm ²

El perno que satisface la un área resistente que supera el valor máximo de los calculados es el de rosca M 1,7 x 0,35, según la Tabla 54.

Por lo tanto el perno M6 seleccionado por el limitante de la longitud soporta fácilmente las cargas del sistema.

4.1.2.1.4 Selección de soldadura para fijación entre la placa de sujeción y los brazos de la nueva estructura

Las características necesarias para conocer el tipo de soldadura para la unión entre la placa y los brazos de la nueva estructura son:

- Unión: tipo T
- Tipo de soldadura: de filete
- Material: Acero A36
- Espesor del material: 2mm
- Posición de soldeo: Plana

Selección del tipo de soldadura

Considerando que el material a soldar es un acero al carbono, con un espesor de 2 [mm], se utiliza la Figura 105 donde se relacionan el espesor del material, el tipo de material y los procesos de unión recomendados.

Material	Espesor	Proceso de unión**																									
		Soldadura por arco										Soldadura fuerte															
		S M A W	S A W	G A A W	F A A W	G A A W	P A W	E A W	E A W	R W	F W	O F W	O F W	F R B	E R B	L R B	T B	F B	I B	R B	D B	I R B	D F B	S			
Acero al carbono	S	x	x	x	x	x							x	x	x					x	x	x	x	x	x	x	x
	I	x	x	x	x	x							x	x	x					x	x	x	x	x	x		x
	M	x	x	x	x	x							x	x	x					x	x	x	x	x			x
	T	x	x	x	x	x							x	x	x					x							x
Acero de baja aleación	S	x	x	x	x	x							x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x
	I	x	x	x	x	x							x	x	x	x				x	x	x	x	x	x		x
	M	x	x	x	x	x							x	x	x	x				x	x	x	x	x			x
	T	x	x	x	x	x							x	x	x	x				x							x
Acero inoxidable	S	x	x	x		x	x						x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x
	I	x	x	x	x	x	x						x	x	x	x				x	x	x	x	x			x
	M	x	x	x	x	x	x						x	x	x	x				x	x	x	x	x			x
	T	x	x	x	x	x							x	x	x	x				x							x

Inscripción	
Código del proceso	Espesor
SMAW—soldadura por arco metálico protegido	FRW—soldadura con fricción
SAW—soldadura con arco sumergido	EBW—soldadura con haz de electrones
GMAW—soldadura por arco bajo gas protector metálico	LBW—soldadura con haz de láser
FCAW—soldadura de núcleo fundente	B—soldadura fuerte
GTAW—soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de tungsteno	TB—soldadura fuerte con antorcha
PAW—soldadura por arco con plasma	FB—soldadura con latón
ESW—soldadura de electro escoria	IB—soldadura fuerte de inducción
EGW—soldadura de electrogás	RB—soldadura fuerte de resistencia
RW—soldadura de resistencia	DB—soldadura fuerte profunda
FW—soldadura de ráfaga	IRB—soldadura fuerte infrarroja
OFW—soldadura de gas de oxiacetileno	DFB—soldadura fuerte de difusión
DFW—soldadura de difusión	S—soldadura blanda
	S—hoja: hasta 3 mm (1/8 de pulgada)
	I—intermedio: 3 a 6 mm (1/8 a 3/4 de pulgada)
	M—medio: 6 a 19 mm (1/4 a 3/4 de pulgada)
	T—grueso: 19 mm (3/4 pulgadas) o más
	X—proceso comercial

Figura 105: Procesos de unión de soldadura para aceros

Fuente: (Jeffus, 2009)

Entre los procesos recomendados para acero al carbono de bajo espesor se encuentra el proceso SMAW. Es el proceso de soldadura utilizado con mayor frecuencia gracias a su bajo costo, flexibilidad, portabilidad y versatilidad.

Su flexibilidad permite manejar espesores del metal tan delgados como el de 2 [mm] hasta espesores de varios pies. Permitiendo además la soldadura en cualquier posición. La versatilidad del proceso SMAW admite soldar casi cualquier metal o aleación. Incluyendo hierro fundido, aluminio, acero inoxidable y níquel. En los aceros de bajo carbono, la soldadura SMAW se puede realizar rápidamente.

Considerando las características previamente mencionadas, por facilidad y costo el proceso seleccionado de soldadura es SMAW.

(Jeffus, 2009)

Selección del electrodo

De la Tabla 26 se tiene que la fuerza máxima sobre los brazos a soldar es de 75,462N. Siendo este un valor muy pequeño, basta la selección de un electrodo E60XX que proporciona 60ksi (413,7MPa) de resistencia máxima.

Para el siguiente dígito del electrodo, se considera que la posición a soldar es plana, tomando el electrodo general que permite soldar en todas las posiciones, el tercer número del electrodo es el 1.

En cuanto al revestimiento del electrodo se toman los más sencillos de revestimiento orgánico, 0 y 1. Considerando la Figura 106 y siendo el espesor del material bien pequeño, se selecciona el electrodo con menor penetración, siendo este el 6011.

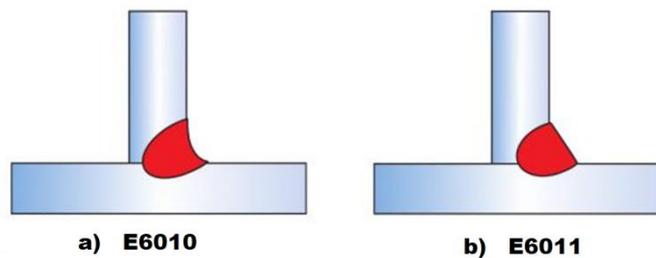


Figura 106: Comparación de garganta de soldadura electrodos E6010 y E6011

Fuente: (Jeffus, 2009)

Corriente

Los tres tipos diferentes de corrientes utilizados para soldadura son: corriente alterna (AC) corriente continua de electrodo negativo (DCEN) y corriente continua de electrodo positivo (DCEP)

Los electrodos 6011 manejan tanto corriente alterna como corriente continua de electrodo positivo. Considerando el catalogo INDURA para un electrodo de diámetro 3/32 (el valor más cercano al espesor de la placa a ser soldada) la corriente a manejarse es de 50 a 90 A.

4.1.2.1.5 Selección del rodamiento para guiar el movimiento del tubo central.

El rodamiento para guiar el movimiento del tubo central no soporta cargas axiales ni radiales que se puedan considerar dentro de la selección del mismo. El rodamiento se implementa para garantizar un giro correcto y reducir las vibraciones. El parámetro a considerarse para la selección es la

velocidad máxima de giro del tubo, que es la que proporciona el motor, 305 revoluciones por minuto.

Considerando la Tabla 58 y las características mencionadas en el apartado 4.1.1.1.5 el rodamiento apropiado que garantiza buen funcionamiento a grandes velocidades y basta para pequeñas cargas es el rodamiento de bolas.

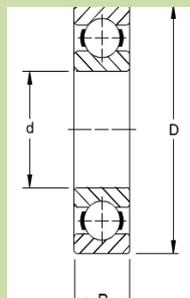
El rodamiento requiere ajustarse al borde del tubo central, por lo cual su diámetro interior debe ser 60mm o el existente superior. Tomando la referencia de los rodamientos FAG se tiene a continuación las siguientes opciones:

El diámetro óptimo para el rodamiento es el de 60mm que si existe comercialmente, además considerando que el peso debe ser reducido, los rodamientos de la serie 6000 son los que brindan las mejores características.

La velocidad sugerida para dichos rodamientos de 8500 RPM, lo cual excede satisfactoriamente el valor deseado.

Tabla 71: Extracto de Dimensiones nominales de rodamientos una hilera de bolas y ranura profunda tipo Conrad FAG, diámetros de 55 a 65 mm

N° de Rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento				Velocidad		Peso	Capacidad	
								Carga estática	Carga dinámica
	d	D	B	r	Límite	Ref.	P	Co	C
	mm	mm	mm	mm	min ⁻¹	min ⁻¹	Kg	kN	kN
Serie 6000									
6011	55	90	18	1,1	18000	9500	0,40	28,5	21,2
6012	60	95	18	1,1	17000	8500	0,42	29	23,2
6013	65	100	18	1,1	15000	8000	0,45	30,5	25
Serie 6200									
6211	55	100	21	1,5	16000	8500	0,62	43	29
6212	60	110	22	1,5	14000	8000	0,79	52	36
6213	65	120	23	1,5	13000	7500	1	60	41,5



Fuente: (FAG)

4.1.2.2 Fabricación de piezas

Para las piezas elaboradas, pertenecientes a los elementos de soporte estructural, se describe su proceso de fabricación mediante diagramas y cuadros de procesos.

- Fabricación de placa para unión de los brazos de soporte y la estructura principal (véase Figura 107 y Tabla 72)
- Fabricación de brazos de soporte (véase Figura 108 y Tabla 73)
- Fabricación de soporte para rodamiento (véase Figura 109)

4.1.2.2.1 Fabricación de la placa para unión de los brazos de soporte a la estructura principal.



Cantidad de piezas: 4

Plano N°: 13

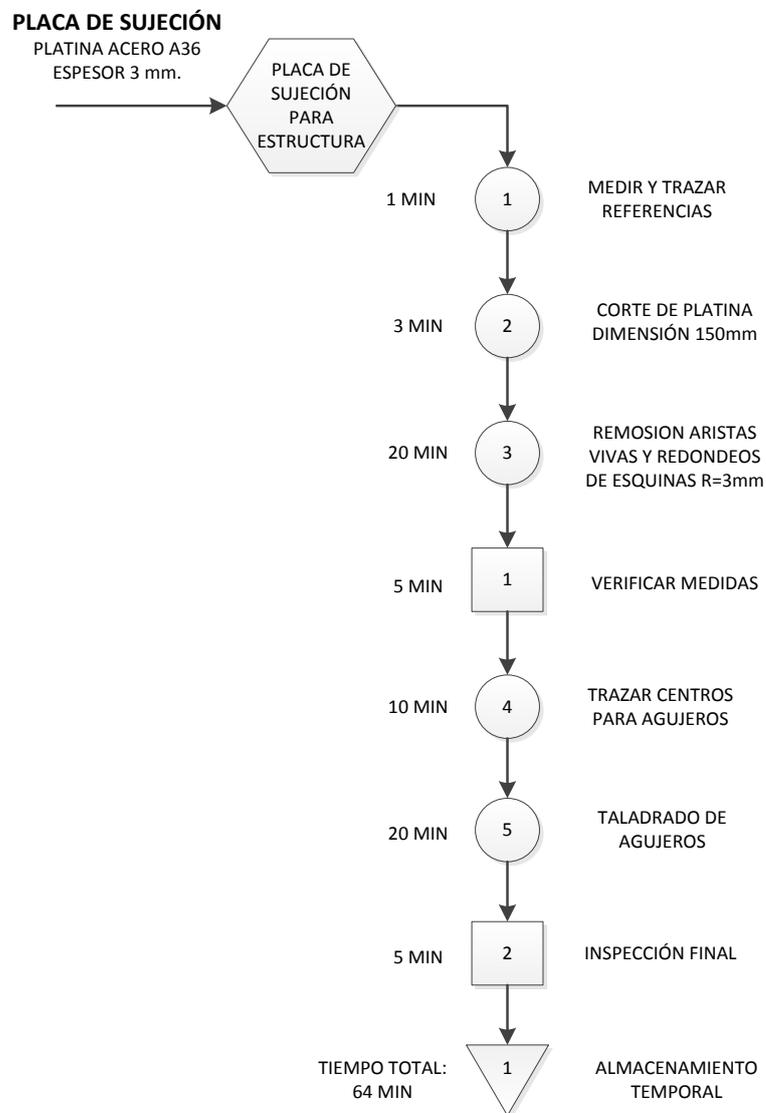
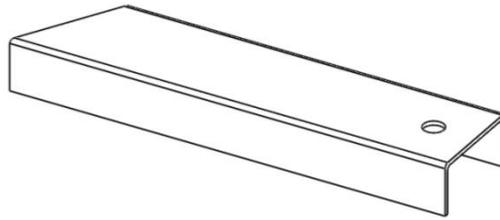


Figura 107: Diagrama de Flujo Fabricación Platina de Sujeción

Tabla 72: Proceso Fabricación de la placa de sujeción

#	ESQUEMA	PROCESO	PARÁMETRO	TIEMPO	HERRAMIENTA
1		Medir y trazar referencias	Medida de 155mm con holgura para remoción de aristas vivas	1 min	Flexómetro Escuadra Rayador
2		Corte de platina	Corte manual	3 min	Sierra Entenalla
3		Remoción de aristas vivas y redondeo de esquinas	Esmerilado y limado de aristas	20 min	Esmeril Lima Entenalla
4		Verificar medidas	Verificado de longitud de 150mm con tolerancia +- 0,5mm	5 min	Flexómetro
5		Trazar centros para agujeros	Trazado de 4 centros, a 15mm de los bordes	10 min	Granete Martillo Regla Marcador
6		Taladrado de agujeros	4 Agujeros de 6mm	20 min	Taladro Broca 6mm Entenalla
7		Inspección final	Verificación de distancias y diámetros de agujeros	5 min	Flexómetro Calibrador

4.1.2.2.2 Fabricación de los brazos de soporte



Cantidad de piezas: 4

Plano N°: 9, 10, 11, 12

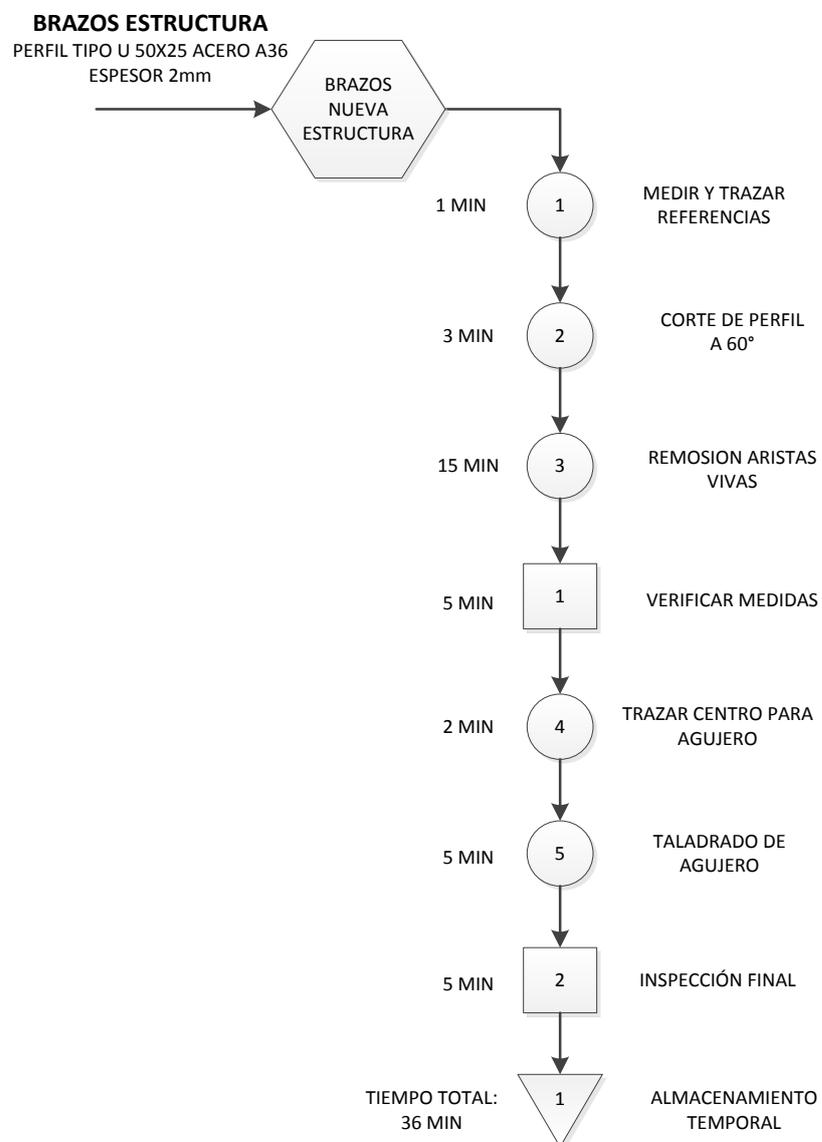


Figura 108: Diagrama de Flujo Fabricación Brazos de la Estructura

Tabla 73: Proceso Fabricación de los brazos de soporte de la estructura

#	ESQUEMA	PROCESO	PARÁMETRO	TIEMPO	HERRAMIENTA
1		Medir y trazar referencias	Medida de 200 y 360mm con holgura para remoción de aristas vivas	1 min	Flexómetro Escuadra Rayador
2		Corte del perfil	Corte manual a 60° tomando el punto medio de la longitud	3 min	Sierra Entenalla
3		Remoción de aristas vivas y redondeo de esquinas	Esmerilado y limado de aristas	20 min	Esmeril Lima Entenalla
4		Verificar medidas	Verificado de longitudes con tolerancia $\pm 0,5\text{mm}$	5 min	Flexómetro
5		Trazar centro para agujero	Trazado de centro, a 20mm del borde recto	10 min	Granete Martillo Regla Marcador
6		Taladrado de agujero	1 Agujero de 6mm	20 min	Taladro Broca 6mm Entenalla
7		Inspección final	Verificación de distancias y diámetros de agujeros	5 min	Flexómetro Calibrador

4.1.2.2.3 Fabricación del soporte para rodamiento

El soporte para el rodamiento se fabricó en un taller de mecanizado bajo los planos diseñados. Los procesos de manufactura empleados fueron corte con sierra, fresado, torneado y taladrado.

Cantidad de piezas: 1

Plano N°: 16



Figura 109: Fabricación de soporte para rodamiento

4.1.3 Dispositivos eléctricos y electrónicos

4.1.3.1 Selección de sensores

4.1.3.1.1 Sensor de nivel

El sensor de nivel es seleccionado de acuerdo a las características presentadas en el apartado 3.8.2.1.1 a), donde se indica una altura de sensado de 250 [mm] y una restricción de tamaño que presenta el tubo central de 500 [mm] al momento de la instalación. Por lo que se selecciona el sensor ultrasónico Arduino HC-SR04 mostrado en la Figura 110.

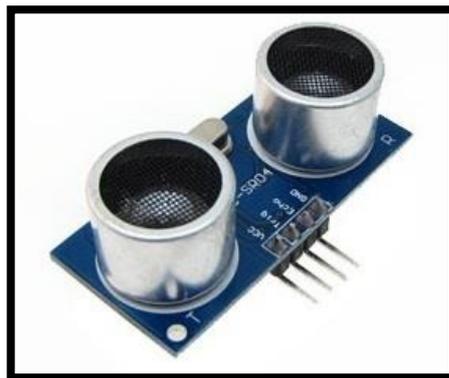


Figura 110 Sensor ultrasónico Arduino HC-SR04

Fuente: (Arduino, 2014)

En la Tabla 74 se detallan los parámetros que cubre este sensor cumpliendo con lo establecido inicialmente.

Tabla 74 Características de un sensor HC-SR04

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Ángulo de medida	15 grados
Corriente de trabajo	10 [mA]
Dimensiones	45[mm]x20[mm]x15[mm]
Pines de conexión	4 pines de conexión (2 de señal y 2 de alimentación)
Rango máximo	
Rango mínimo	2 [cm] a 4 [m]
Señal de entrada Trigger	Pulso TTL 10 uS
Señal de salida Echo	Entrada de señal de nivel TTL y rango en proporción
Voltaje de trabajo	5 [VDC]

4.1.3.1.2 Sensor palpador

La selección del palpador se rige de acuerdo a las características mostradas en la Tabla 40. Por lo que se opta por el palpador Novotechnik TR 10 que se muestra en la Figura 111. Cuyas principales características se muestran resumidas en la Tabla 75

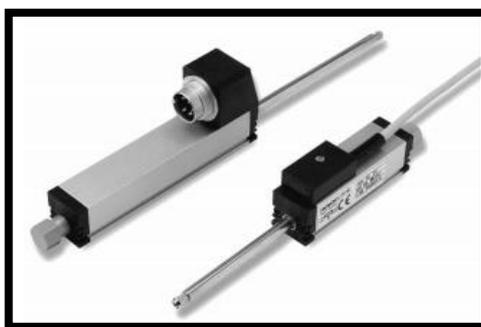


Figura 111 Sensor palpador marca Novotechnik

Fuente: (NOVOTECHNIC, 2014)

Tabla 75 Características del sensor palpador Novotechnik.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Fuerza horizontal	= < 5 [N]
Linealidad	+/- 0,075 %
Precisión	0,01 [mm]
Recorrido electrónico	10 [mm]
Recorrido mecánico	15 [mm]
Repetitividad	+/- 0,002 [mm]
Resistencia nominal	20 [kΩ]
Tiempo de vida	100x10 ⁶ movimientos
Tipo de medida	Lineal
Voltaje de alimentación	24 [VDC] Max

4.1.3.1.3 Sensor contador de revoluciones

El sensor de efecto Hall cumple con las características necesarias para la implementación en este proyecto, es por ello que se seleccionó el sensor ATS17 de la fábrica Diode Incorporated que se muestra en la Figura 112, y sus características se evidencian en la Tabla 76.

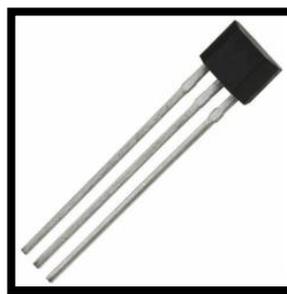


Figura 112: Sensor de efecto Hall

Fuente: **(Diodes Incorporated)**

Tabla 76: Características del sensor contador de revoluciones Efecto Hall

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Voltaje de alimentación	3,5 a 20 [VDC]
Corriente de salida	25 [mA]
Temperatura de operación	-40 a +125 [°C]

4.1.3.2 Selección de actuadores

4.1.3.2.1 Válvula Proporcional

La válvula proporcional se elige de acuerdo a los parámetros citados en la Tabla 41. Por lo que se muestra en la Figura 113 la válvula seleccionada marca Winner modelo TFWVA304. En la Tabla 77 se detallan las características de la válvula mencionada



Figura 113 Válvula proporcional marca Winner

Fuente: (Winner Hydraulics Corporation, 2006)

Tabla 77 Características de la válvula proporcional Winner.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Alimentación	24 [VDC]
Fluido de trabajo	Agua
Material	Cobre
Medida de puerto	3/4 [plg]
Presión	2,0 Mpa
Rango de control	0-10 [VDC] o 4-20[mA]
Temperatura	2- 90 [°C]
Tipo de señal	Analógica

4.1.3.2.2 Válvula Neumática

La válvula neumática se selecciona de acuerdo a la Tabla 42, donde se especifica las características necesarias para este proyecto. La válvula seleccionada es una electroválvula 5/2 marca Midman que se muestra en la Figura 114.



Figura 114 Electroválvula neumática 5/2 marca Midman

Fuente: (UNITECH-Ecuador, 2008)

Las características que brinda esta electroválvula se detallan en la Tabla 78.

Tabla 78 Características de una electroválvula marca Midman.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Ancho	1,8 [mm]
Activación de solenoide	24 [VDC]
Fluido de trabajo	Aire
Medidas de puerto	PT 1/8
Posición	2
presión de operación	1,3-8 kgf/cm ²
Temperatura de ambiente	-5 ~ +50 [°C]
Tiempo de respuesta	30 [mS]
Vías	5

4.1.3.3 Selección del controlador

El controlador es seleccionado en base a una matriz de priorización expuesta en la Tabla 11 donde se ha elegido los controladores tipo ARDUINO. Sin embargo, la marca ARDUINO maneja una gran variedad de placas con distintos controladores incorporados que brindan diferentes prestaciones. Considerando las características necesarias de entradas y salidas mencionadas en la Tabla 46 y la Tabla 79 se selecciona la placa ARDUINO que más se ajusta a las necesidades.

El controlador seleccionado es la placa ARDUINO UNO que siendo un modelo sencillo, maneja los requerimientos establecidos.



Figura 115 Controlador Arduino UNO

Fuente: (Arduino, 2014)

En la Tabla 80 se describe las características que este controlador brinda para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 79: Características y modelos de placas ARDUINO

NOMBRE	PROCESADOR	VOLTAJE OPERACIÓN	VOLTAJE ENTRADA	VELOCIDAD CPU	I/O ANÁLOGA	I/O DIGITAL (PWM)	EEPROM KB	SRAM KB	FLASH KB	USB	UART
UNO	ATmega328	5 V	7-12 V	16 MHz	6/0	14 (6)	1	2	32	Regular	1
DUE	AT91SAM3X8E	3.3 V	7-12 V	84 MHz	12/2	54 (12)	-	96	512	MICRO	4
LEONARDO	ATmega32u4	5 V	7-12 V	16 MHz	12/0	20 (7)	1	2,5	32	MICRO	1
MEGA 2560	ATmega2560	5 V	7-12 V	16 MHz	16/0	54 (15)	4	8	256	Regular	4
MEGA ADK	ATmega2560	5 V	7-12 V	16 MHz	16/0	54 (15)	4	8	256	Regular	4
MICRO	ATmega32u4	5 V	7-12 V	16 MHz	12/0	20 (7)	1	2,5	32	MICRO	1
MINI	ATmega328	5 V	7-9 V	16 MHz	8/0	14 (6)	1	2	32	-	-
NANO	ATmega168 ATmega328	5 V	7-9 V	16 MHz	8/0	14 (6)	0,512 1	1 2	16 32	MINI-B	1
ETHERNET	ATmega328	5 V	7-12 V	16 MHz	6/0	14 (4)	1	2	32	Regular	-
ARDUINOBT	ATmega328	5 V	2.5-12 V	16 MHz	6/0	14 (6)	1	2	32	-	1
FIO	ATmega328P	3.3 V	3.3-7 V	8 MHz	8/0	14 (6)	1	2	32	MINI	1
PRO 168	ATmega168	3.3 V	3.35-12 V	8 MHz	6/0	14 (6)	0,512	1	16	-	1
PRO 328	ATmega328	5 V	5-12V	8 MHz	6/0	14 (6)	1	2	32	-	1
PRO MINI	ATmega168	3.3 V 5 V	3.35-12 V 5-12V	8 MHz	6/0	14 (6)	0,512	1	16	-	1

Fuente: (Arduino, 2014)

Tabla 80. Características del controlador Arduino UNO.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Corriente DC para PIN 3.3 [V]	50 [mA]
Corriente DC por PIN de E/S	40 [mA]
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Memoria flash	32 KB (ATmega328), de las cuales 0,5 son utilizados para generador de boot.
Microcontrolador	ATmega328
Pines de E/S digitales	14 (6 salidas de PWM)
Pines de entrada analógica	6
SRAM	2 KB (ATmega328)
Tensión de entrada (límite)	6-20 [VDC]
Tensión de entrada (recomendado)	7-12 [VDC]
Tensión de funcionamiento	5 [VDC]
Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente: (Arduino, 2014)

4.1.3.4 Selección de acoples de señal

Salidas a relé

Los acopladores se seleccionan de acuerdo a la señal de activación que para este caso es la que envía el controlador (5 [VDC]) y la señal de paso que es con la que trabajan los dispositivos a ser acoplados (24 [VDC]). En la Figura 116 se muestra el modulo seleccionado.

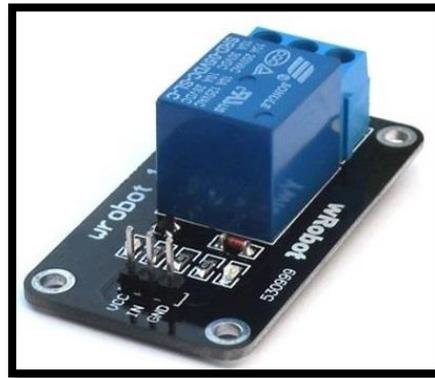


Figura 116 Modulo de relé Wrobot

Fuente: (EMARTEE, 2012)

En la Tabla 81 se indica las características que presenta este relé, satisfaciendo las necesidades del proyecto.

Tabla 81 Características del módulo de relé.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Corriente máxima	10 [A]
Señal de activación	5 [VDC]
Voltaje de paso máximo AC	250 [VAC]
Voltaje de paso máximo DC	30 [VAC]

Salida analógica

La placa ARDUINO UNO no presenta salidas analógicas, sin embargo este es un requerimiento para el manejo de la válvula proporcional. Para solucionar el inconveniente, la página de ARDUINO propone una solución para manejar una salida PWM y mediante un amplificador y un filtrado de

señal obtener una señal de 0 a 10VDC proporcional al porcentaje de PWM de salida.

El circuito de la Figura 117 está constituido por tres etapas, la primera un filtro de señal pasa bajo a la entrada, compuesto por la resistencia R1 y C1, cuyo objetivo es filtrar el ingreso del voltaje al amplificador para evitar amplificar los ruidos. En la segunda etapa se realiza la conversión de voltaje, un amplificador seguidor permite que la salida de voltaje incremente de valores de 5VDC a 10VDC dependiendo de la configuración de las resistencias R3 y RV1, siendo la última una resistencia variable para poder regular de forma precisa la amplificación. Finalmente se tiene con las resistencias R2 y C2 otro filtro pasa bajo, para obtener una señal limpia de salida. Esta configuración permite adquirir una señal de salida proporcional al ciclo de trabajo de la señal PWM. La linealidad del convertidor PWM / tensión es relativamente alta.

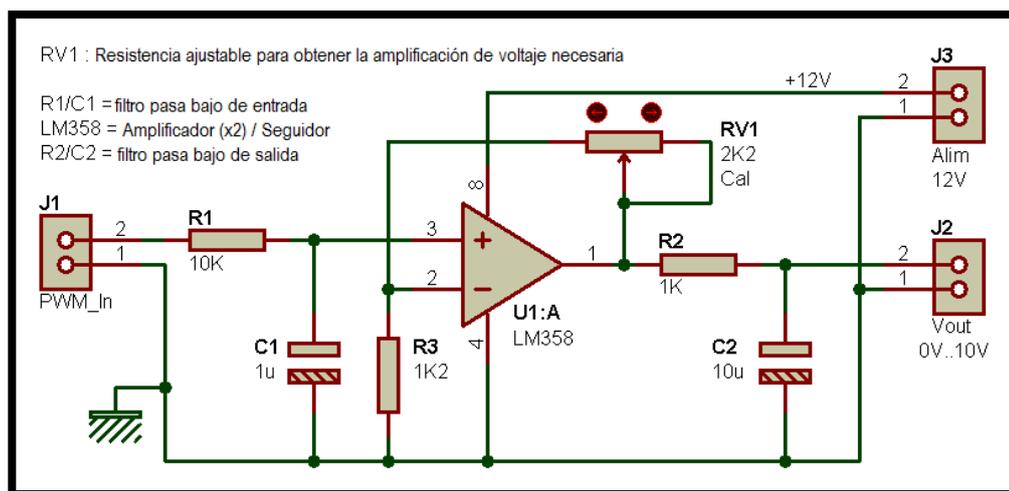


Figura 117: Salida analógica a partir de una señal PWM

Fuente: (ARDUINO Forum, 2011)

4.1.3.5 Selección de protecciones

Para la selección de las protecciones se toma en cuenta los cálculos realizados en el apartado 3.8.1.2. Una consideración importante es la Tabla 82 que indica los valores existentes en el mercado.

Tabla 82 Característica de fusibles de cristal rápidos

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Voltaje nominal	250 [VAC]
Capacidad de ruptura	1,5 [kA] a 250 [VAC]
Diámetro	5 [mm]
Longitud	20 [mm]
Material de cuerpo	Cristal
Valores de corriente nominal	0.1 / 0.15 / 0.2 / 0.25 / 0.315 / 0.35 / 0.5 / 0.63 / 0.7 / 0.8 / 1 / 1.25 / 1.6 / 2 / 2.5 / 3.15 / 3.5 / 4 / 5 / 6 / 6.3 / 8 / 10 / 12 / 16 / 20 AMPER

Fuente: (Castillo, 2001)

Tomando en consideración los valores comerciales se muestra un resumen de las protecciones a utilizarse en el circuito en la Tabla 83

Tabla 83 Protecciones a utilizarse en el proyecto.

Elemento	Corriente calculada	Fusible Comercial [A]
Bomba	4,39 [A]	5 [A]
Inductor de motor	-	2 [A]
Inducido del motor	-	0,5 [A]

4.1.3.6 Fabricación de placa electrónica

Placa electrónica para rectificación de onda

Se implementa una placa electrónica que permite rectificar la onda que entrega el transformador 120-24 [VAC]. Con el fin de proporcionar alimentación de 24 [VDC] a la válvula neumática y la válvula proporcional.

La fabricación de la placa consta del siguiente procedimiento:

- Circuito de conexión de los elementos desarrollado en el programa ISIS.

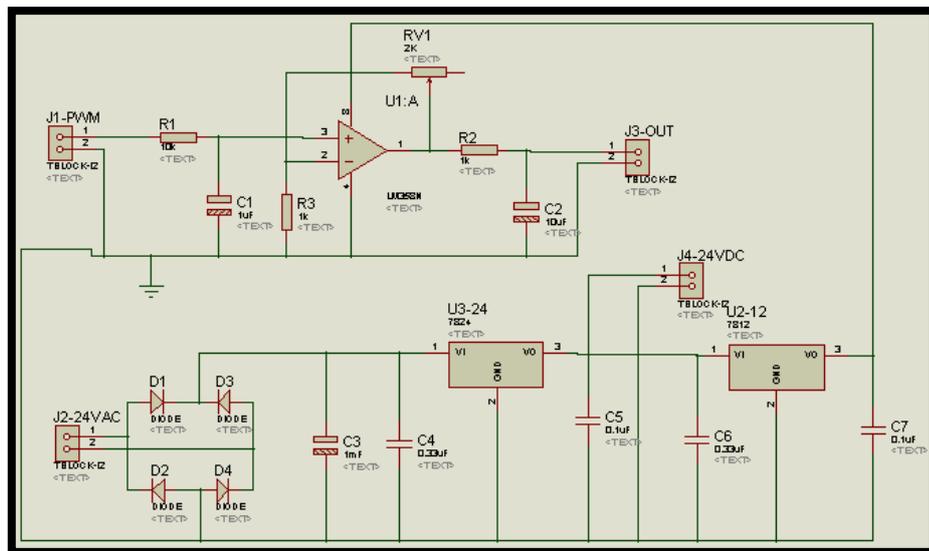


Figura 118 Circuito electrónico de la placa

En la Figura 118 se presenta un circuito, el cual permite amplificar una señal J1-PWM de 0-5 [VDC] a una señal J3-OUT de 0-10 [VDC]. Además a través de los diodos se rectifica la alimentación de la entrada J2-24VAC. Por último la alimentación pasa por los reguladores U3-24 y U2-12 entregando voltajes fijos de corriente continua.

En la Tabla 84 se muestra la nomenclatura del circuito así como la descripción para cada elemento de la placa electrónica.

Tabla 84 Nomenclatura del circuito electrónico de la placa

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
C#	Capacitor
D#	Diodo
J1-PWM	Entrada de PWM 0-5 [VDC]
J2-24VAC	Entrada de 24 [VAC]
J3-OUT	Salida de voltaje 0-10 [VDC]
J4-24VDC	Salida de voltaje 24 [VDC]
R#	Resistencia
RV#	Resistencia variable
U2-12	Regulador de voltaje 12 [VDC]
U3-24	Regulador de voltaje 24 [VDC]

Para la elaboración de la placa se realizó el siguiente procedimiento:

- Trazado de rutas del circuito en el programa Ares. (Véase Figura 119)
- Manufactura de la placa electrónica
 - Pistas de cobre en baquelita(Véase Figura 120)
 - Taladrado de agujeros (Véase Figura 121)
- Suelta de elementos a la placa (Véase Figura 122)

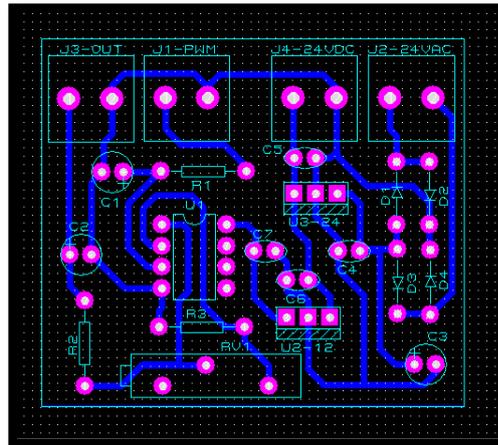


Figura 119 Trazado de pistas del circuito

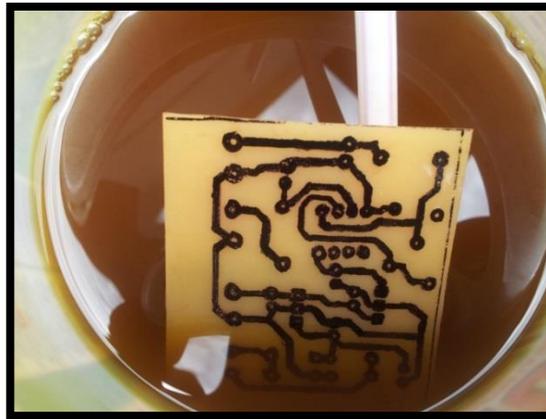


Figura 120 Placa de cobre introducida en ácido



Figura 121 Taladrado de agujeros en la placa

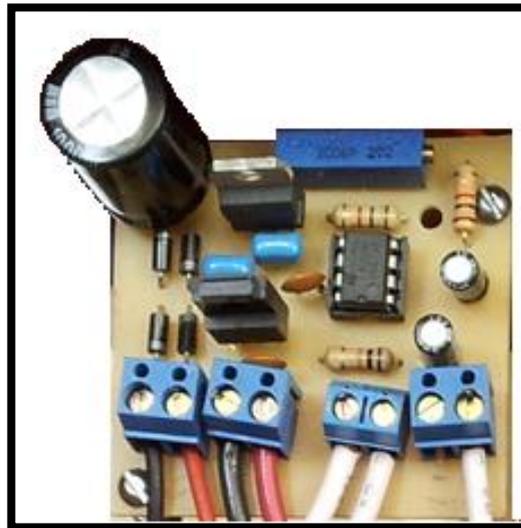


Figura 122: Placa Electrónica para rectificación de señal

4.2 Instalación

4.2.1 Mecánica

La instalación y ensamble de las piezas elaboradas del mecanismo están descritos mediante diagramas de flujo y diagramas de procesos, considerando tiempos e imágenes descriptivas de los pasos realizados.

- Ensamble del mecanismo tipo tijera (véase Figura 123 y Figura 124)
- Ensamble de brazos de soporte y placa de sujeción (véase Figura 125 y Figura 126)
- Montaje de brazos de soporte (véase Figura 127 y Figura 128)
- Montaje de mecanismo (véase Figura 129)

4.2.1.1 Ensamble del mecanismo

Nº DE ENSAMBLES: 2

Plano Nº: 7

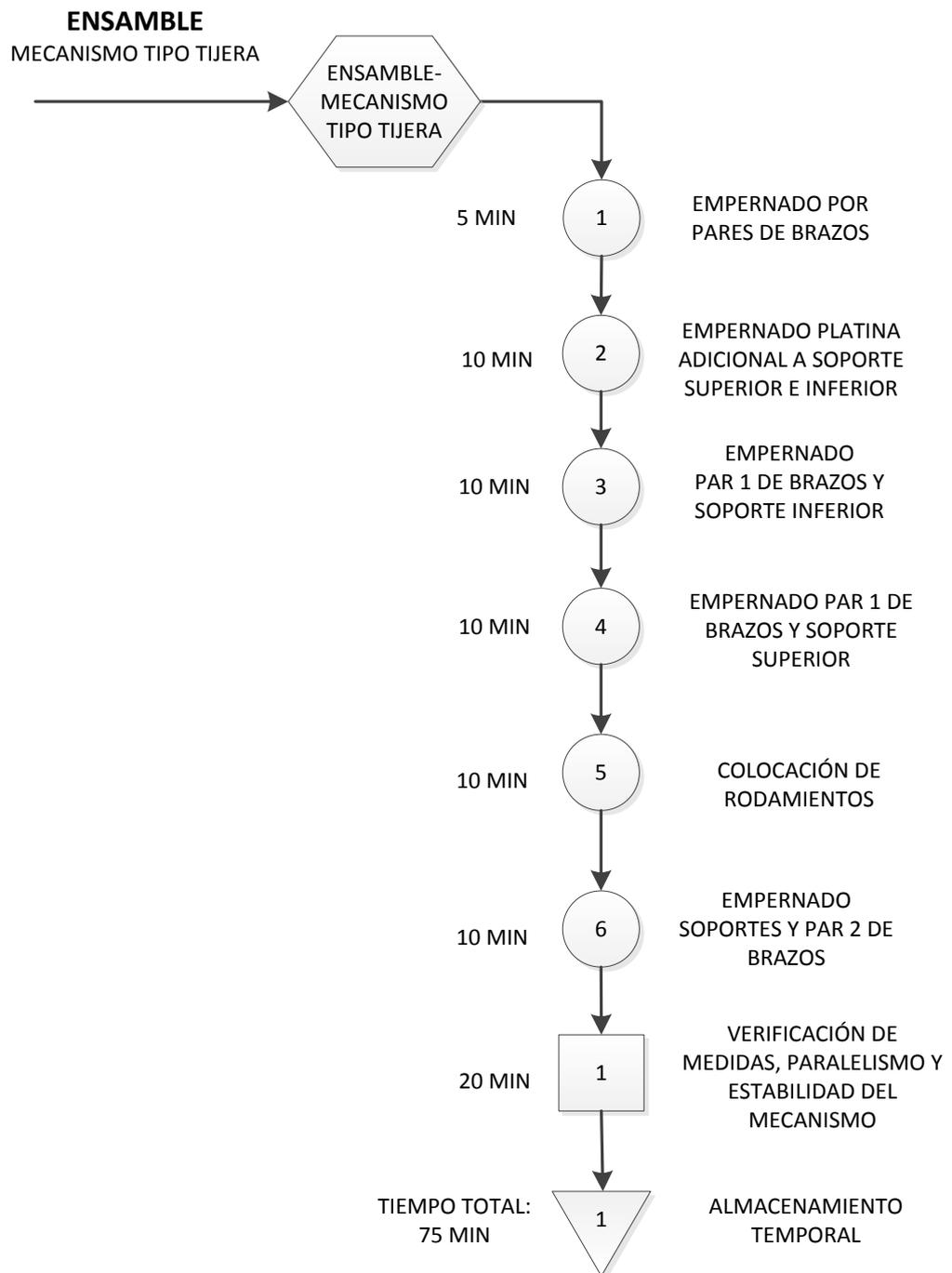


Figura 123: Diagrama de flujo ensamble del mecanismo tipo tijera



Unión de brazos

- Unión por la mitad con pernos para los dos pares de brazos



Montaje platina adicional en soportes

- Fijación de la platina adicional a los soportes inferior y superior mediante 3 pernos



Unión de brazos y soportes

- Fijación del mecanismo con rodamientos en los extremos de desplazamiento



Verificación de medidas y paralelismo

- Ajuste de los brazos del mecanismo manteniendo equidistantes los brazos

Figura 124: Diagrama proceso de ensamble del mecanismo

4.2.1.2 Ensamble de brazos de soporte y placa de sujeción

N° DE ENSAMBLES: 4

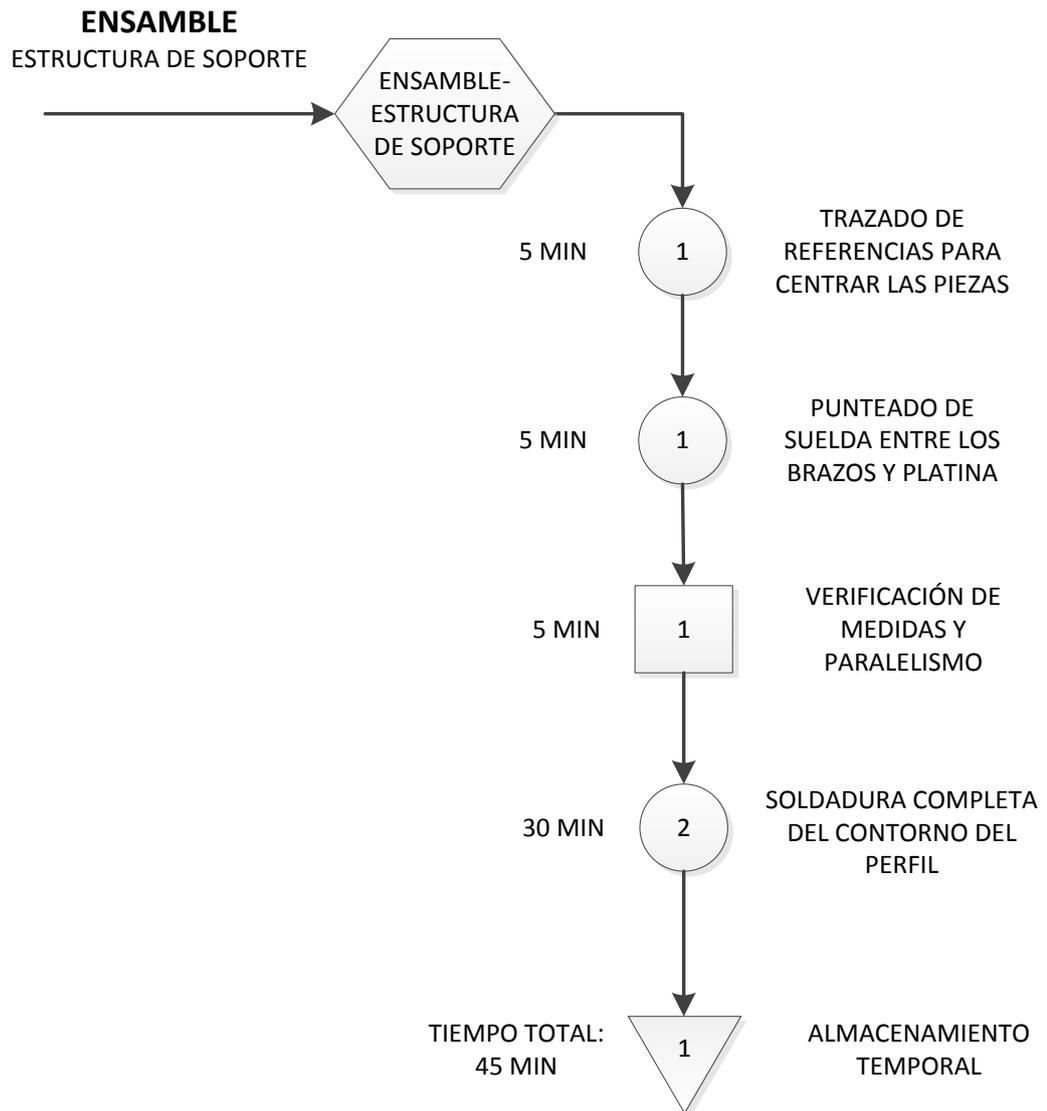


Figura 125: Diagrama de flujo ensamble de brazos de soporte y placa de sujeción



Puntos de Suelta

- Puntos de suelta para verificar la posición previo a la soldadura final.



Verificación de paralelismo y centrado de piezas

- Fijación de la platina adicional a los soportes inferior y superior mediante 3 pernos



Soldadura completa del contorno

- Soldadura electrodo 6011 en todo el contorno externo del perfil tipo U

Figura 126: Diagrama proceso de ensamble de brazos de soporte y placa de sujeción

4.2.1.3 Montaje de brazos de soporte

N° DE ENSAMBLES: 4

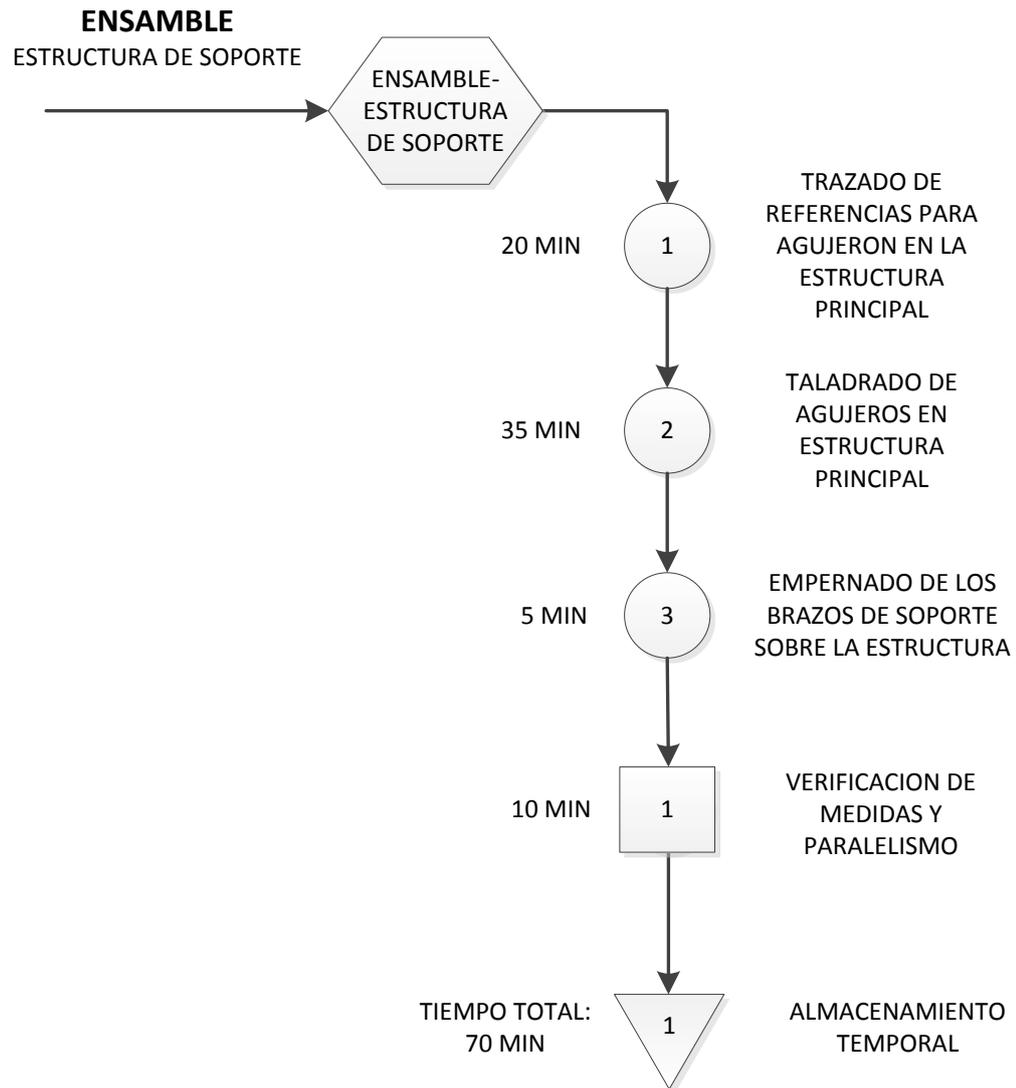


Figura 127: Diagrama de flujo montaje de brazos de soporte



Trazado de referencias para agujeros

- Medición y trazado de centros para los 4 agujeros que sujetan el brazo



Taladrado de agujeros

- Taladrado de agujeros en la estructura principal para pernos M6



Empernado de la pieza

- Colocación y ajuste de los 4 pernos para fijar la pieza a la estructura principal

Figura 128: Diagrama proceso de ensamble de brazos de soporte y estructura principal

4.2.1.4 Montaje de mecanismo

N° ENSAMBLES: 2

Colocación del mecanismo sobre los brazos de soporte y fijación de los mismos a través de pernos M8 con las respectivas arandelas de presión y tuercas.



Figura 129: Montaje de mecanismo

4.2.2 Eléctrica

Distribución del panel

La parte eléctrica del sistema fue instalada en la parte superior izquierda del panel como se muestra en la Figura 130. Realizando un conexionado a borneras de los siguientes elementos: motor, arrancador de la bomba, transformador 120 [VAC] y placa de rectificación de señal 24 [VAC].

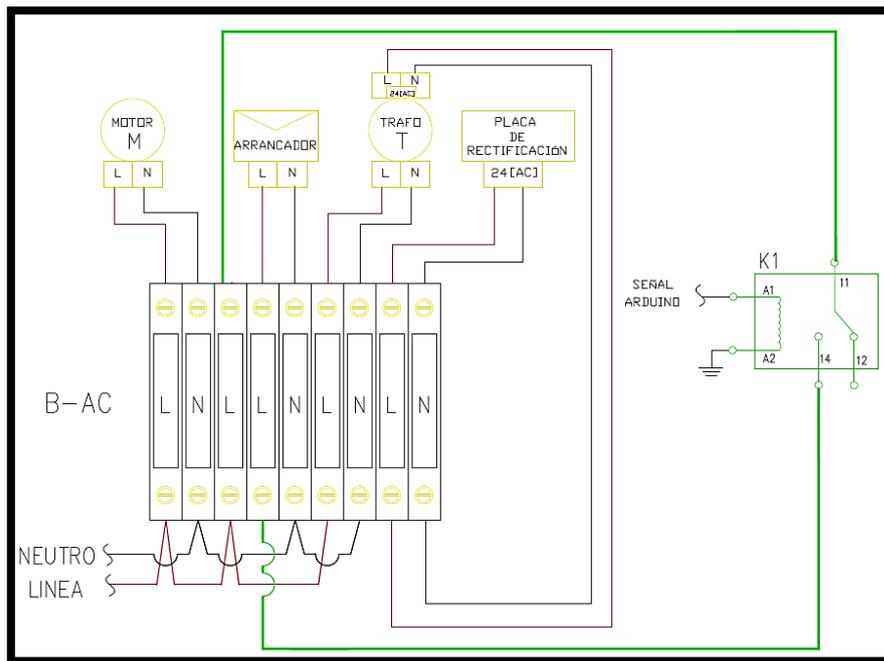


Figura 131: Diagrama de conexionado eléctrico

La automatización del sistema obliga a suprimir varios elementos que resultan innecesarios en la caja de control por lo que el diagrama eléctrico del sistema queda como se muestra en la Figura 132.

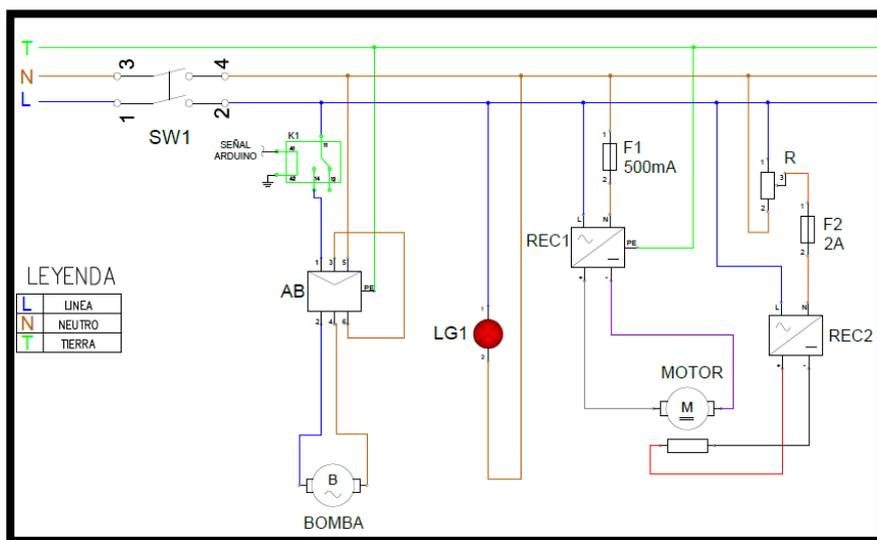


Figura 132: Detalle del conexionado eléctrico

Aislamiento eléctrico

El panel existente es de un material conductor, por lo que es necesario colocar una placa aislante que evite cualquier corto circuito. En la Figura 133 se muestra el acrílico que fue colocado en la parte inferior de la caja de control.



Figura 133: Instalación del acrílico de aislamiento

Los elementos eléctricos colocados son dos rectificadores de onda y un transformador 120-24 [VAC]. En la Figura 134 se muestra la disposición de los elementos mencionados.

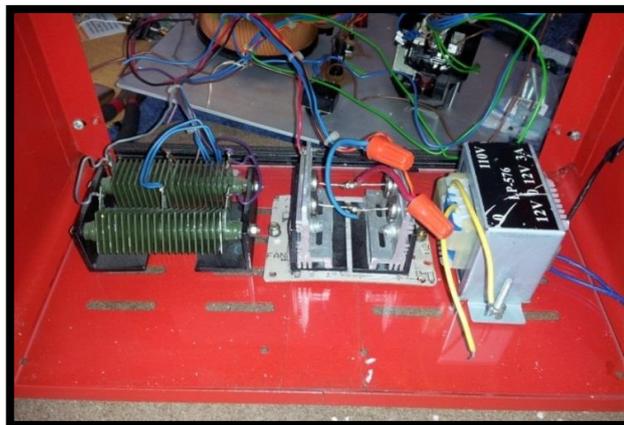


Figura 134: Disposición de elementos eléctricos

4.2.3 Electrónica

Distribución del panel

La parte electrónica del panel se distribuyó en diferentes áreas que se enlistan a continuación:

- Señales analógicas y digitales
- Controlador.
- Relé de acople de señales.
- Borneras de alimentación 24 [VDC].
- Borneras de alimentación 5 [VDC].
- Placa de rectificación.
- Borneras independientes para cada sensor y actuador.

La disposición de estos elementos puede ser visualizada en la Figura 135 que se muestra a continuación.

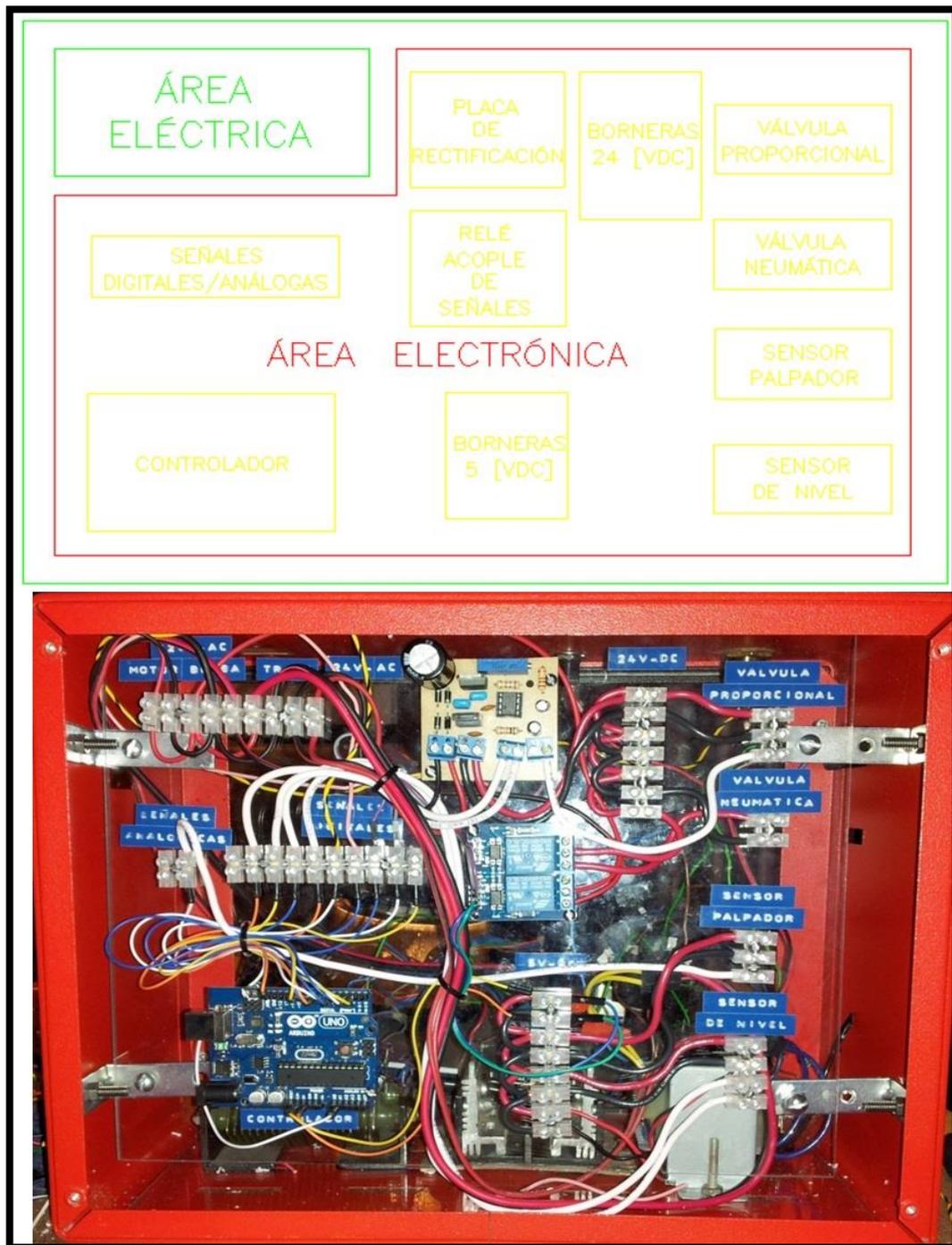


Figura 135 Panel de control área electrónica

La Tabla 85 presenta la nomenclatura utilizada para el diagrama, además de su respectiva descripción.

Tabla 85: Nomenclatura de las conexiones con el controlador

ITEM	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
1	A#	Entradas analógicas
2	AB	Arrancador de bomba
3	CU	Contador de revoluciones
4	D#	Entradas/ Salidas digitales
5	GND	Tierra
6	K1	Relé electromagnético
7	K2	Relé electromagnético
8	LEV1	Sensor de nivel
9	LG1	Luz indicadora 1
10	PAL1	Palpador
11	S	Selenoide
12	SW1	Switch 1
13	TB-AC	Terminal de borneras AC
14	VAL1	Válvula electromagnética

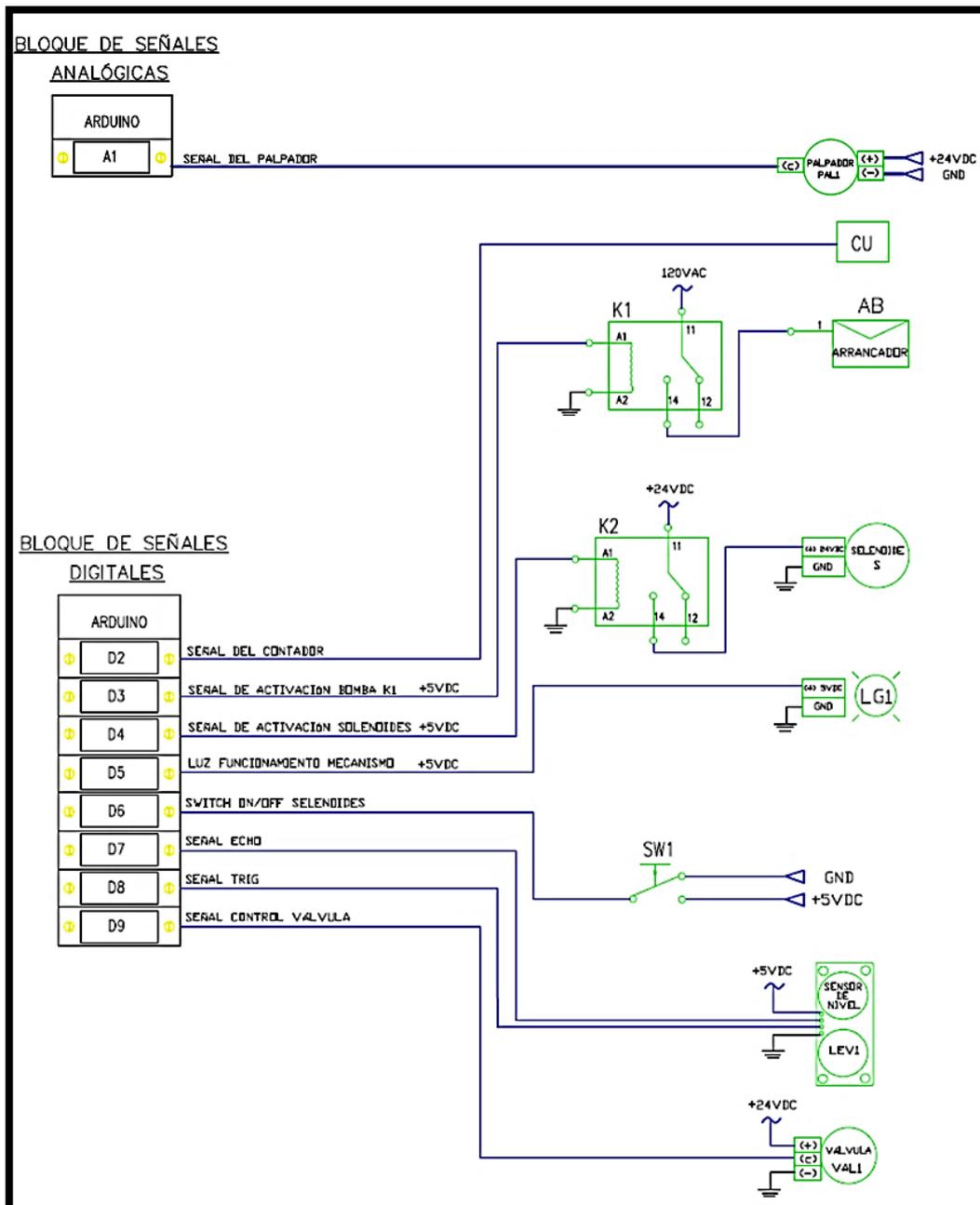


Figura 137: Diagrama de conexionado de entradas y salidas

4.2.4 Software

4.2.4.1 Programación del panel HMI

Para iniciar la programación se utiliza una estructura de secuencia como la mostrada en la Figura 138, la cual permite que el programa se efectúe de manera secuencial y ordenada.

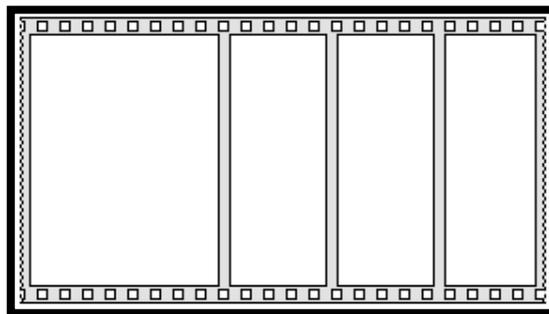


Figura 138 Estructura de secuencia plana (Flat sequence)

De igual forma se utiliza la estructura while que se muestra en la Figura 139, la cual permite que el programa siga ejecutandose tantas veces como sea posible, hasta que el botón de “PARE” sea presionado.

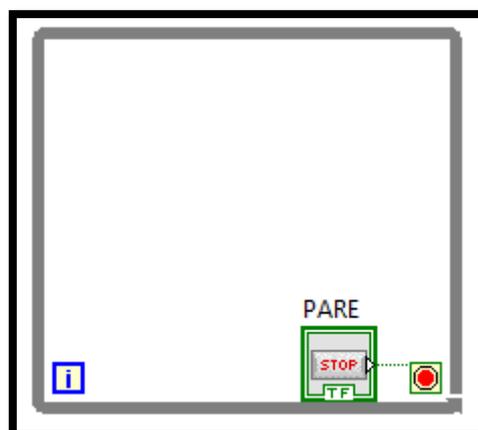


Figura 139 Estructura de un bucle while (While Loop)

Por último se utiliza la estructura condicional como la que se muestra en la Figura 140, con la que se pueden establecer dos estados de programación, los cuales depende del botón “CONTROL”.

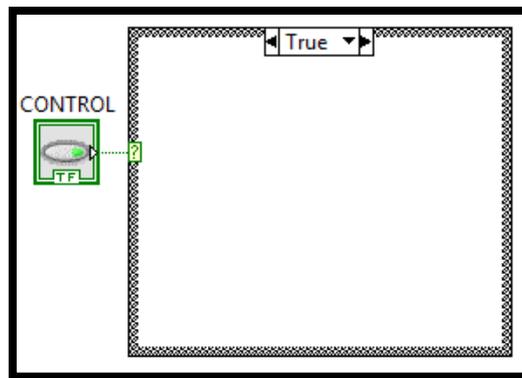


Figura 140 Estructura de un condicional (Case Structure)

- **Pantalla de inicio**

Para la pantalla de inicio, que puede visualizarse en la Figura 149, se realiza la programación mostrada en la Figura 141, la cual mediante el “BOTON INGRESAR”, permite el acceso a la pantalla de manipulación.

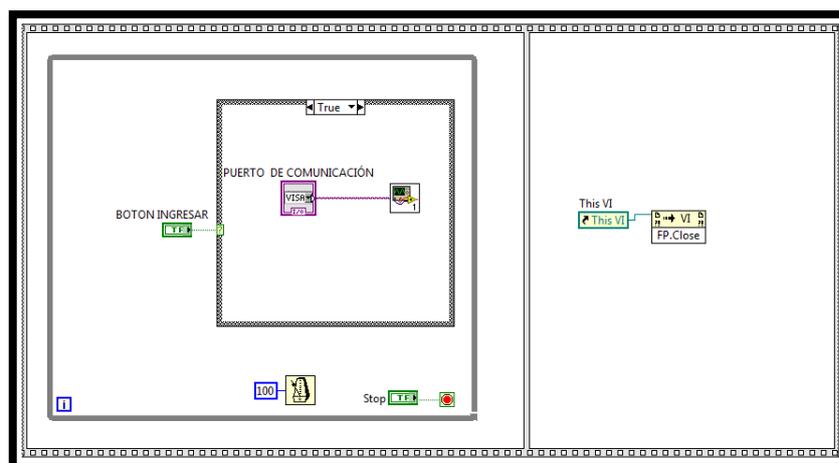


Figura 141 Programación de la pantalla de inicio

- **Pantalla de manipulación**

La pantalla de manipulación se visualiza en la Figura 150. Para describir la programación de esta sección se ha dividido en cinco puntos:

- Asignación de puertos de entrada y salida.
- Programación para medir revoluciones.
- Programación para medir el nivel de agua.
- Programación para el controlador.
- Programación para medir la deflexión.

Asignación de puertos de entrada y salida

En la Figura 142 se indica el bloque que se utiliza para la configuración de cada puerto, sea esta entrada o salida digital.

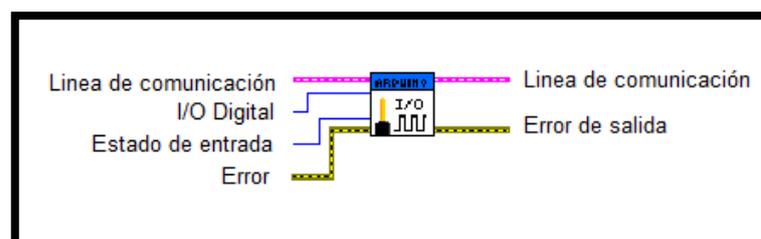


Figura 142: Bloque de configuración de puertos

Las entradas a ser utilizadas son configuradas como se muestra en la Figura 143, tomando en consideración que se necesita un bloque “VISA” que permite ingresar el puerto de comunicación y además un bloque “INT” que inicializa la comunicación con el controlador Arduino.

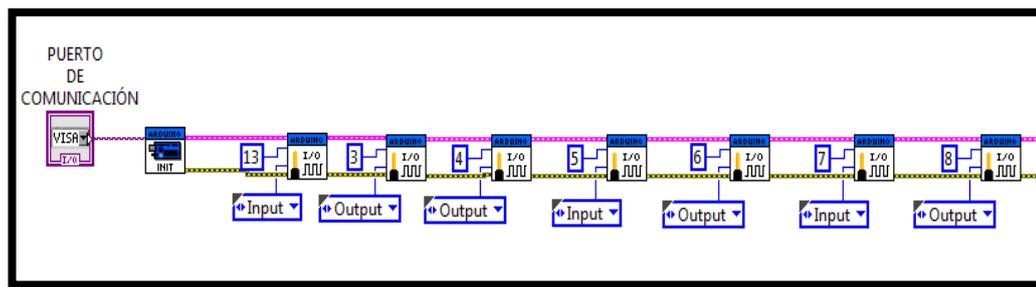


Figura 143: Configuración de entradas y salidas digitales

Programación para a medir revoluciones

Para medir las revoluciones en primer lugar se verifica el puerto por el que se va a recibir la señal a tomarse en cuenta. Para este caso se utilizó el puerto número 13 y se lo configuro con el bloque “READ” que se muestra en la Figura 144, este valor se va acumulando cada vez que el sensor envía un pulso. Esto ocurre siempre y cuando el botón de “INICIO” de la orden de que este proceso se inicie.

Además se utiliza un bloque “Elapsed Time” que permite obtener el tiempo que transcurre mientras se encuentra activado el botón “INICIO”. Cada vez que se requiera resetear los valores para iniciar un nuevo conteo, se requiere pulsar el botón “RESET”, el cual reinicia los valores de tiempo y número de vueltas.

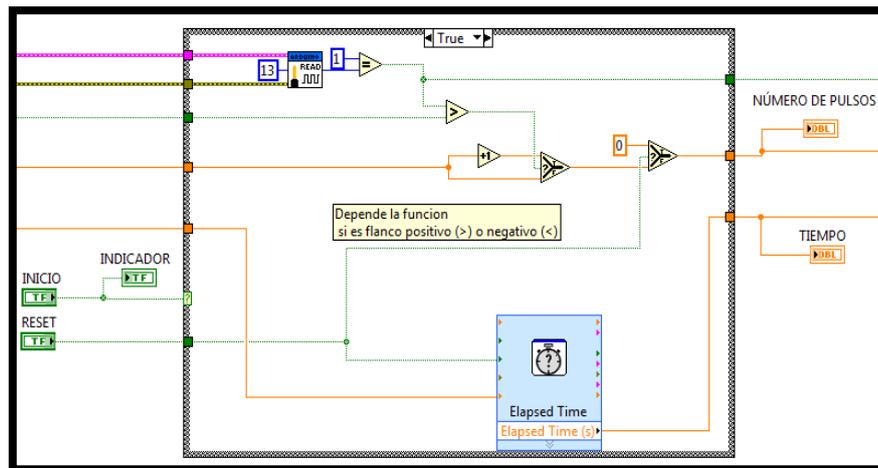


Figura 144: Programación para medir revoluciones

Programación para medir el nivel de agua

Para medir el nivel del agua es necesario configurar dos entradas del controlador, puesto al ser un sensor ultrasónico, debe enviarse una señal por un puerto y recibir la respuesta por otro. Por lo que en la Figura 145 se muestra el bloque de programación para el sensor ultrasónico, indicando el número de puertos a los que están conectados y a su vez el tiempo de envío y recepción de los datos. Además se coloca una división que permite convertir la señal a una altura en centímetros que es la medida que se desea obtener para facilidad de comprensión.

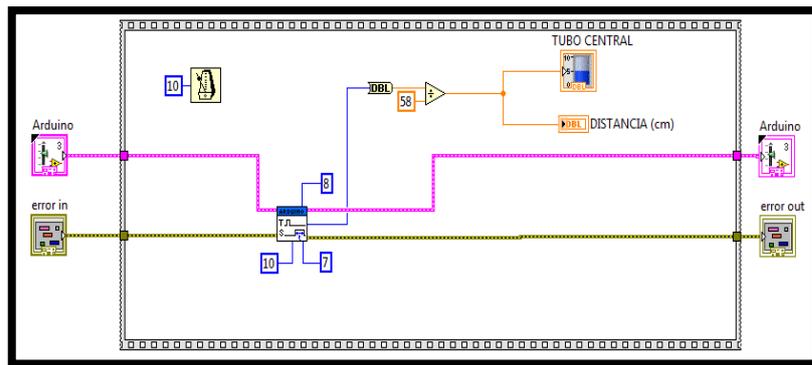


Figura 145: Programación para medir el nivel de agua

Programación para el controlador

Para programar el control se utiliza un cuadro de programación C como el que se muestra en la Figura 146, el cual permite desarrollar toda la lógica y ejecutarla en el Labview.

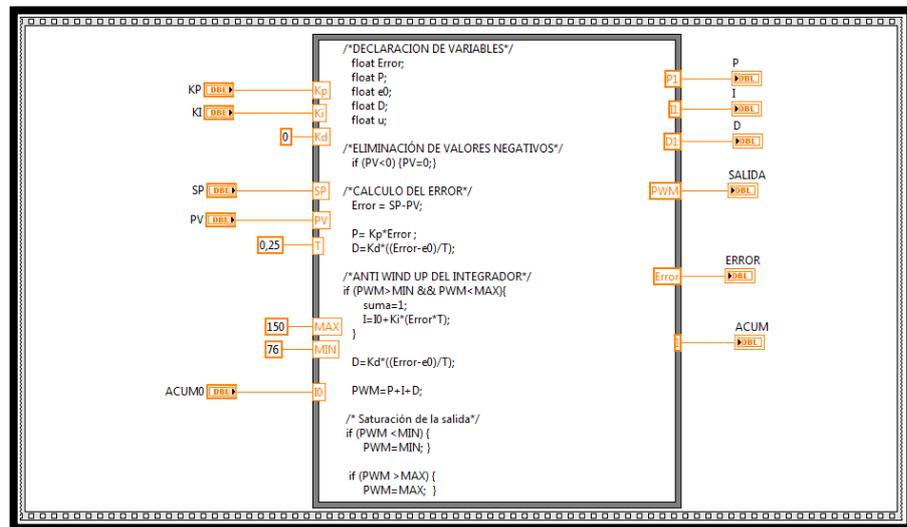


Figura 146: Bloque de lógica de programación de un PID

Finalmente se genera un subbloque de la programación de la Figura 146, para que sea manipulada de forma más fácil. En la Figura 149 se muestra la conexión del controlador con sus variables y constantes de

control. Además se coloca un bloque de escritura, el cual envía el valor de PWM calculado hacia el controlador Arduino.

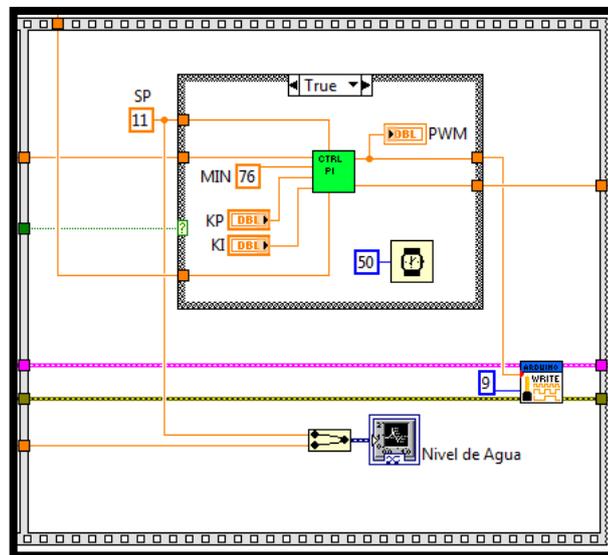


Figura 147: Programación del controlador

Programación para medir la deflexión

Para esta programación en primer lugar se define la entrada analógica por la que se va a recibir la señal del palpador para configurarla con el módulo de lectura “READ” que se muestra en la Figura 148. Se añade un bloque gráfico que muestra y almacena los valores obtenidos. Además se agrega un reloj digital que permite visualizar los valores en tiempo real.

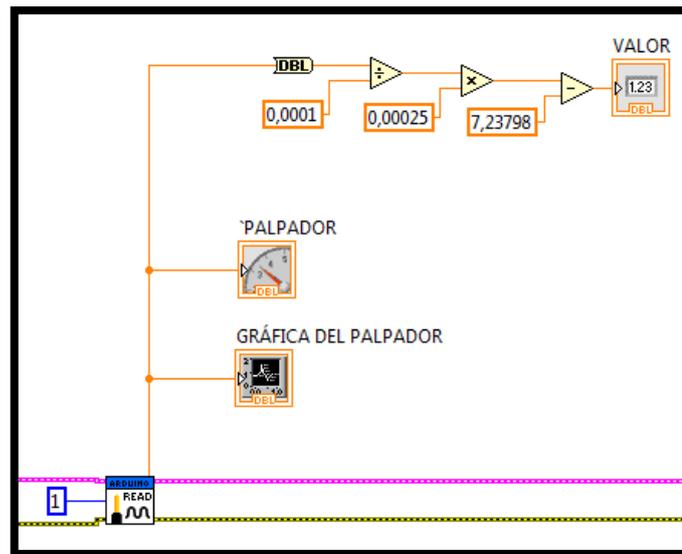


Figura 148: Programación del palpador

4.2.4.2 Visualización del panel HMI

- Pantalla de inicio



Figura 149: Ventana de inicio del HMI

- Pantalla de manipulación

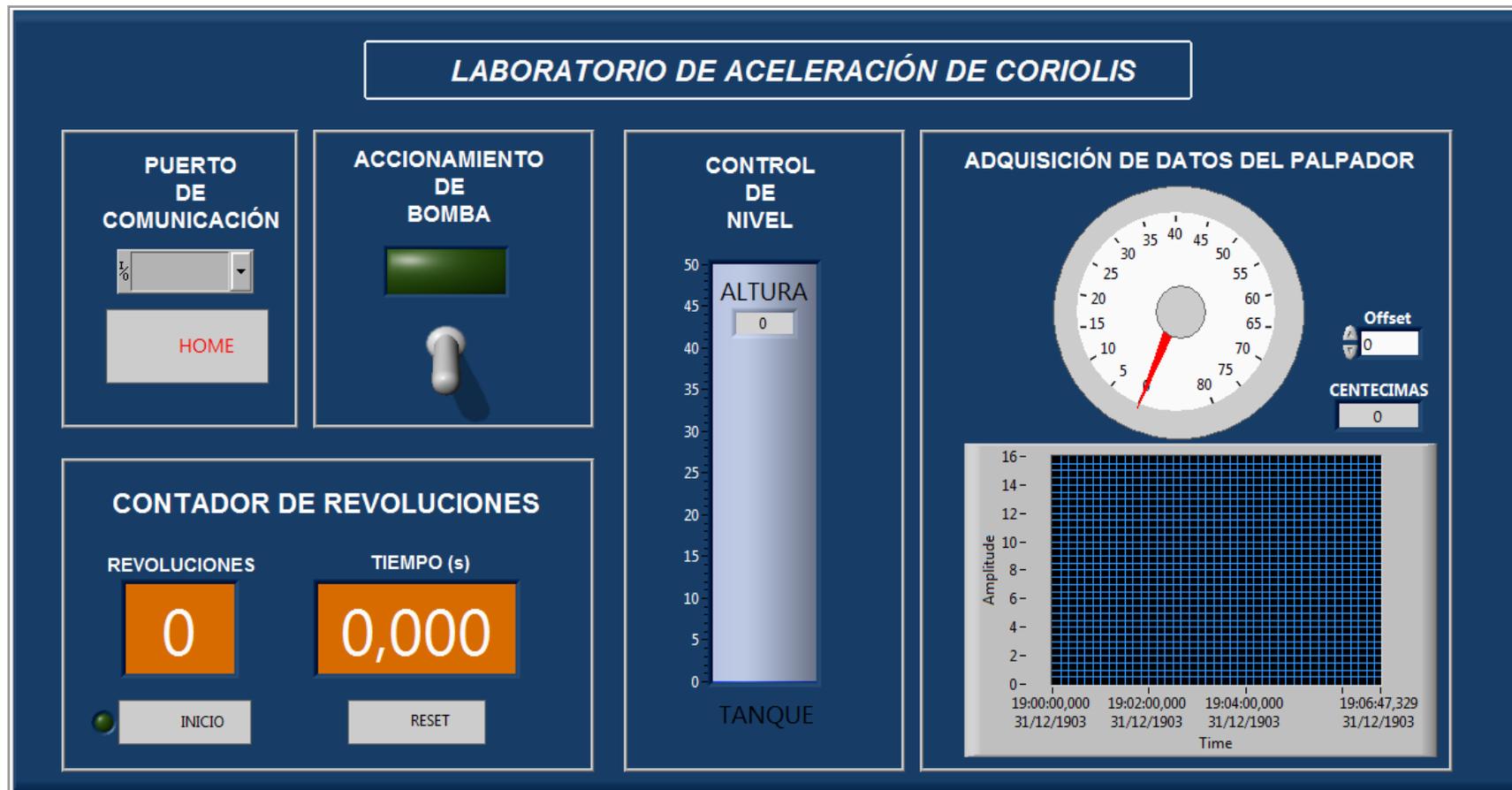


Figura 150: Ventana de control

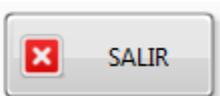
Descripción del panel HMI

Ventana de inicio

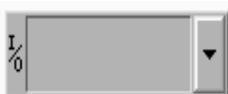
Esta es una ventana de presentación y de acceso al HMI. Consta de dos botones y una pestaña, los cuales se describen a continuación.



El botón ingresar permite acceder a la ventana de control del proceso.



El botón salir sirve para cerrar toda la aplicación



La pestaña de selección del puerto despliega los puertos disponibles para la comunicación entre el computador y el controlador Arduino.

Ventana de control

1. Puerto de Comunicación

- La pestaña de selección del puerto sirve como indicador del puerto que está realizando la comunicación.
- HOME permite retornar al menú principal del HMI.



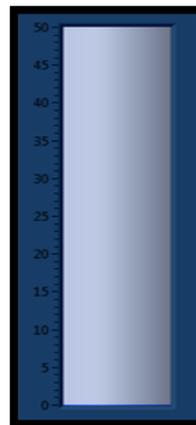
2. Accionamiento de bomba

- Se muestra una luz indicadora de activación o desactivación del relé que permite el accionamiento de la bomba con el arrancador del panel principal.
- El botón activa y desactiva la bomba desde el panel HMI



3. Control de nivel

- Este tanque permite visualizar el nivel de llenado de agua en el tubo central.

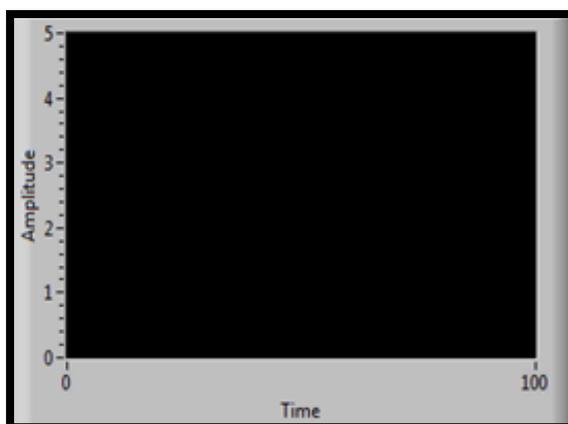


4. Adquisición de datos del palpador

- Se utiliza un reloj que permite visualizar la medición constante del palpador que indica el desplazamiento de la barra de deflexión del equipo.



- La gráfica del HMI muestra la variación de la deflexión de la barra para obtener fácilmente el valor adecuado (promedio) de los desplazamientos.



5. Contador de revoluciones

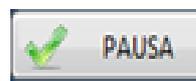
- Existe un indicador numérico que muestra la cantidad de revoluciones que gira el motor.

0

- Además existe otro indicador con la función de cronómetro.

A rectangular orange box containing the white text "0,000".

- Este botón permite iniciar el conteo de revoluciones y a su vez pausar en el momento que se requiera.



- Este botón permite resetear el conteo a cero para iniciarlo nuevamente.



CAPITULO 5

Pruebas

5.1 Pruebas mecánicas.

5.1.1 Análisis de esfuerzos en el mecanismo tipo tijera

Mediante la ayuda del software Solidworks se puede analizar los esfuerzos en el mecanismo tipo tijera diseñado. Para lo cual se requiere manejar las restricciones necesarias que permiten una correcta simulación. Las restricciones y cargas mencionadas se muestran en la Figura 151.

Restricciones utilizadas:

- Pernos de sujeción: entre los acoples de sujeción de la tapa y los brazos de soporte superiores del mecanismo
- Pasadores: para la sujeción y permisión de rotación en los brazos del mecanismo.
- Base de soporte fija: sujeta con pernos a los brazos de soporte inferiores del mecanismo.

Cargas aplicadas:

- Gravedad

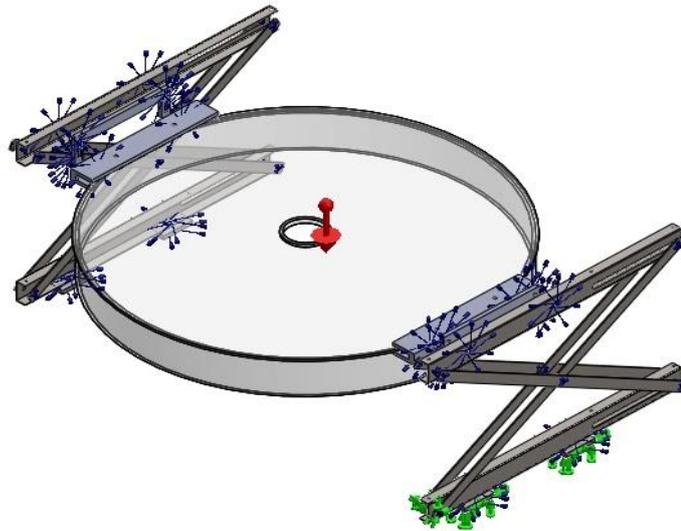


Figura 151: Cargas y restricciones aplicadas para simulación en el mecanismo tipo tijera

Resultados de simulación

a) Tensiones Von Mises

La tensión máxima en las tijeras del mecanismo se da en la conexión con los pasadores. El valor máximo alcanzado es de 102.34 MPa., como se observa en la Figura 152. Considerando que el límite elástico del acero seleccionado es de 250 MPa se garantiza que los elementos no fallarán debido a las cargas que soportan. Teniendo un factor de seguridad de 2,44.

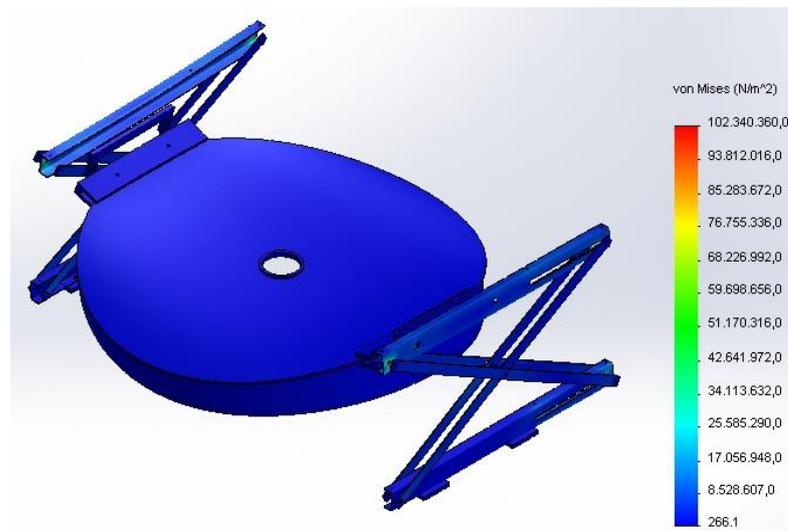


Figura 152: Tensiones de Von Mises en el mecanismo tipo tijera.

b) Desplazamientos

En cuanto a las deformaciones que sufren los elementos del mecanismo tipo tijera, no se tienen valores excesivos, como lo evidencia la Figura 156. Las máximas deformaciones se dan en la tapa, al ser esta de plexiglás, los 6,6mm de deformación en la simulación no afectan al funcionamiento del equipo, considerando además que la apertura de la tapa no se da durante periodos prolongados. En el mismo análisis se obtiene que para los brazos del mecanismo, los desplazamientos no sobrepasan los 2mm. Considerando que para la aplicación no son críticas las deformaciones, el valor mencionado garantiza un correcto funcionamiento del mecanismo.

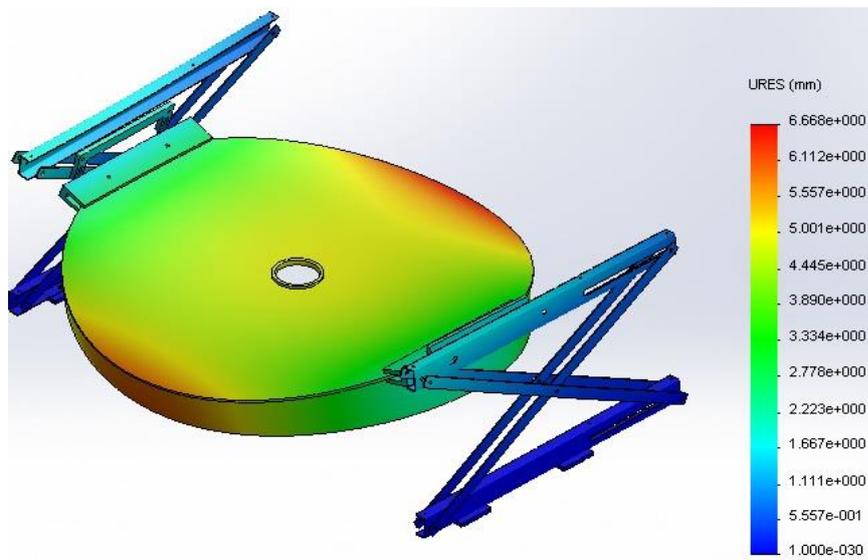


Figura 153 Deformaciones en los elementos del mecanismo.

5.1.2 Análisis de esfuerzos en la estructura modificada

De igual forma que en el análisis de esfuerzos en el mecanismo, con la ayuda del software Solidworks se analiza los esfuerzos en la estructura luego de las modificaciones realizadas. Las restricciones y cargas aplicadas para la correcta simulación se muestran en la Figura 154 y se detallan a continuación.

Restricciones utilizadas:

- Soldadura: entre los brazos de soporte y las placas para sujeción
- Pasadores: para la sujeción de los soportes a la estructura principal
- Base fija: fijación de las tres patas de la estructura principal.

Cargas aplicadas:

- Fuerzas máximas en cada brazo calculadas previamente, mostradas en la Tabla 26

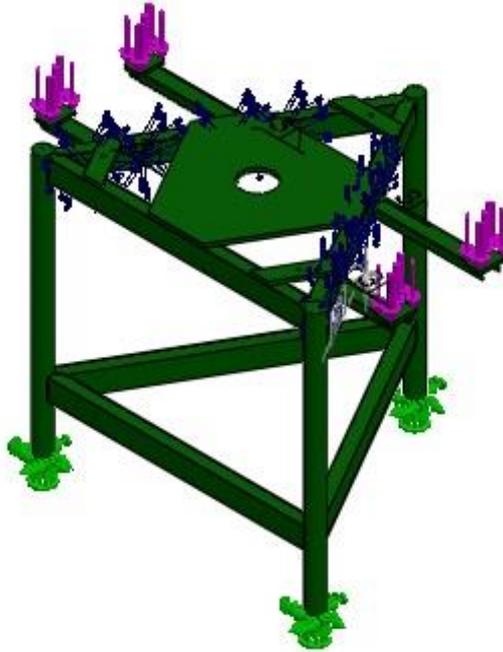


Figura 154: Cargas y restricciones aplicadas para simulación en la estructura modificada

Resultados de simulación

a) Tensiones de Von Mises

La tensión máxima en la estructura se da en la conexión entre los brazos de soporte y la placa de unión. El valor máximo alcanzado es de 28.27 MPa., como se observa en la Figura 155. Considerando que el límite elástico del acero seleccionado es de 250MPa se garantiza que los elementos no fallarán debido a las cargas que soportan. De esta manera se considera un factor de seguridad de 8,84.

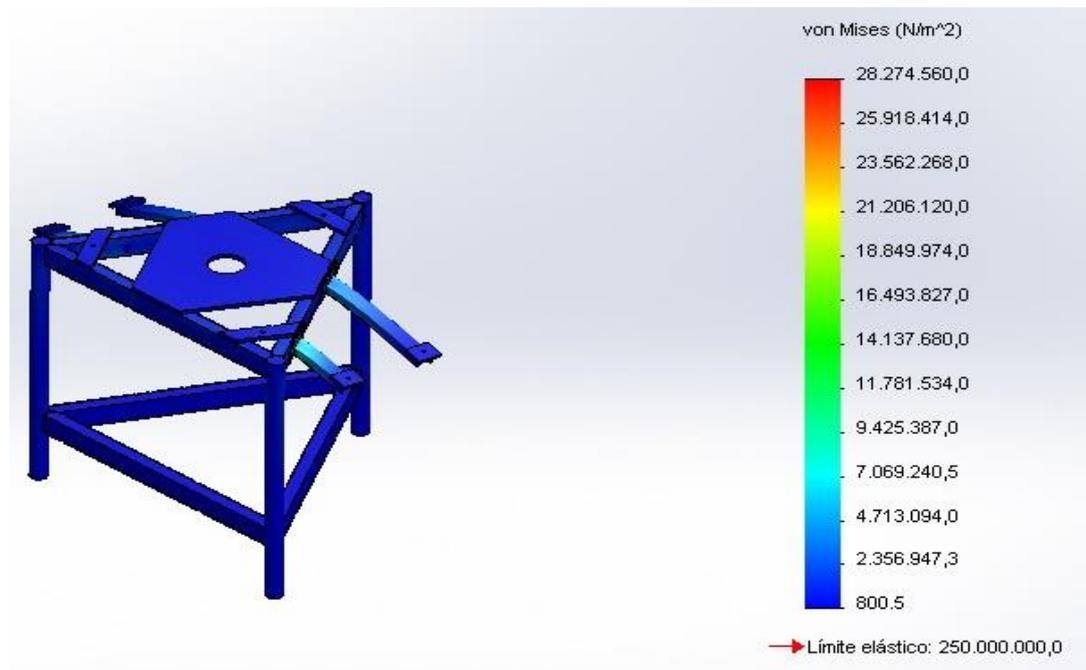


Figura 155: Tensiones de Von Mises en la estructura modificada.

b) Desplazamientos

En cuanto a las deformaciones que sufren los nuevos brazos de soporte de la estructura, estos no representan un valor crítico considerable, como se evidencia en la Figura 156. De acuerdo al análisis de la simulación, el valor máximo de deformación se da en los extremos de los brazos largos, los cuales se desplazan 0,218mm. Considerando que para la aplicación no son críticas las deformaciones, el valor mencionado garantiza un correcto funcionamiento de la estructura.

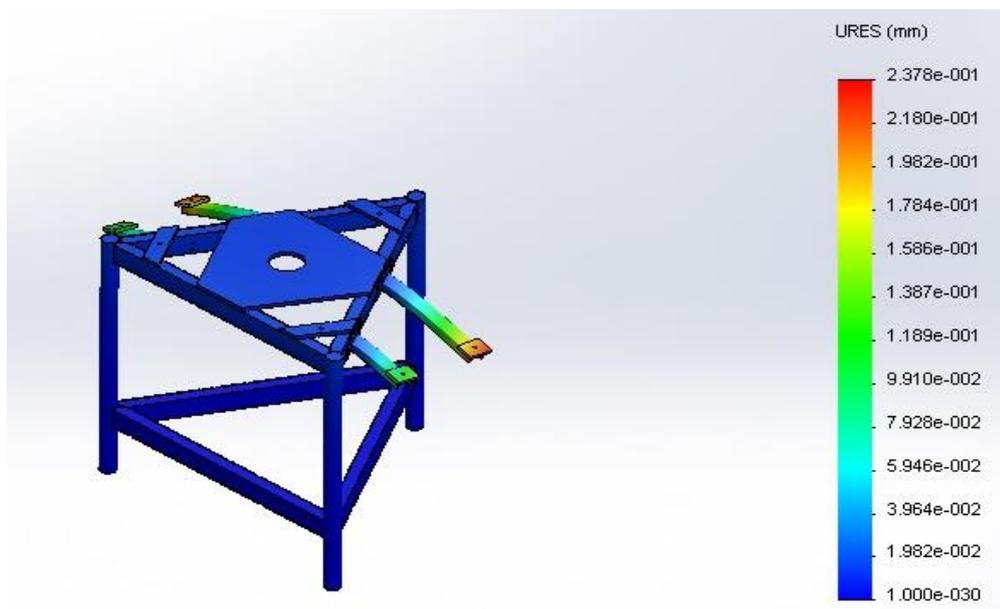


Figura 156: Deformaciones en la estructura modificada

5.2 Pruebas eléctricas y electrónicas

5.2.1 Sensor de control de nivel.

El sensor de nivel luego de ser implementado en la máquina, se compararon los valores de la siguiente forma, en primera instancia se midió de forma manual con un flexómetro la altura del tubo central como se muestra en la Figura 157 y consecuentemente se visualizó el valor de la pantalla del HMI como se muestra en la Figura 158.

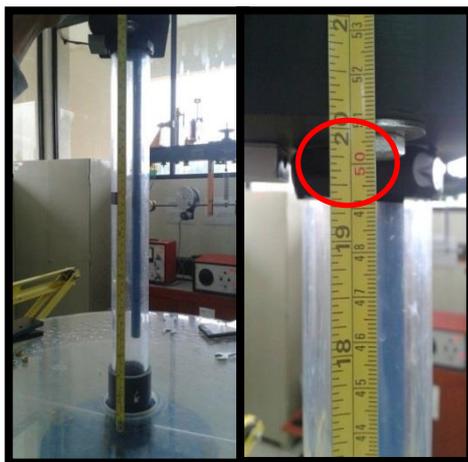


Figura 157: Medición del tubo central por medio de un flexómetro

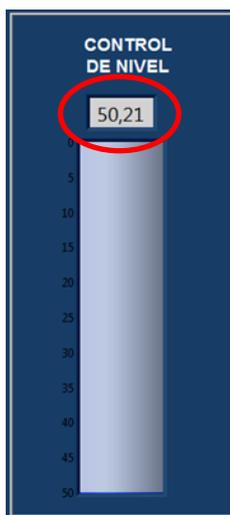


Figura 158: Dato de la altura recibido en la pantalla HMI

5.2.2 Sensor contador de revoluciones.

Para el correcto funcionamiento del sensor efecto hall se comprobó visualmente si el número de vueltas que giraba el tubo central concordaba con el valor que indicaba la pantalla HMI, siendo esto comprobado se realizó las siguientes pruebas:

- Se fijó el reóstato en un 30 %, se hizo girar el tubo central por 10 segundos, el resultado de la prueba se lo puede visualizar en la Figura 159. Además se muestra en la Figura 160 como actúa el sensor entregando pulsos constantes para incrementar el valor de conteo.



Figura 159: Resultados del contador (motor al 30%).

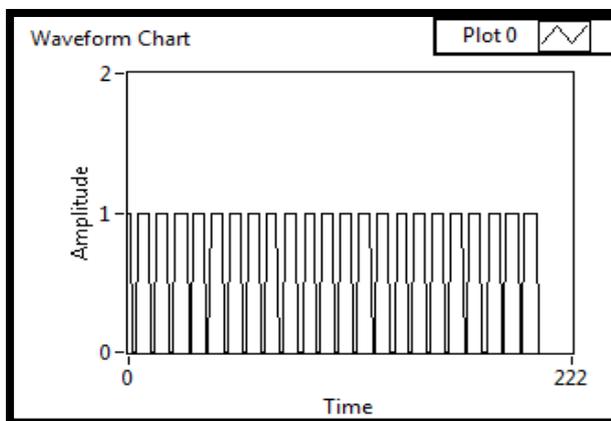


Figura 160: Gráfica del sensor efecto hall (motor al 30%)

- Se fijó el reóstato en un 40 %, se hizo girar el tubo central por 10 segundos, el resultado de la prueba se lo puede visualizar en la Figura 161. Además se muestra en la Figura 162 como actúa el sensor entregando pulsos constantes para incrementar el valor de conteo.



Figura 161: Resultados del contador (motor al 40%).

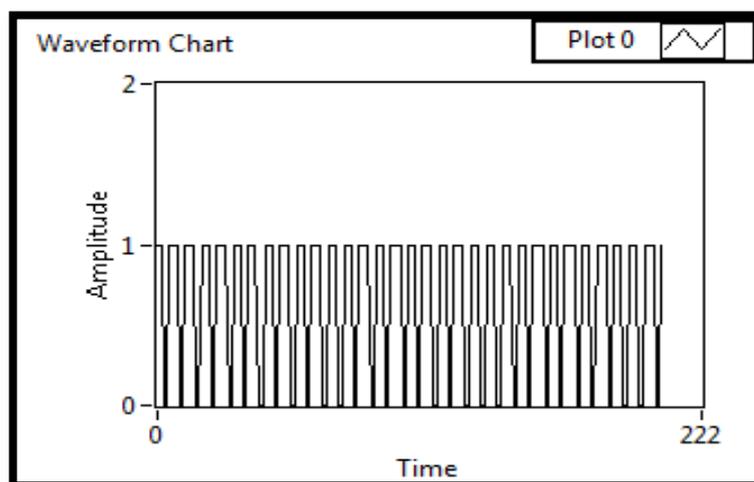


Figura 162: Gráfica del sensor efecto hall (motor al 40%).

5.2.3 Sensor palpador.

Para determinar el correcto funcionamiento del palpador se realizaron pruebas añadiendo diferentes pesos y verificando su variación como se puede apreciar en la Tabla 86.

Tabla 86: Comportamiento del palpador a diferentes cargas

PESO	DEFLEXIÓN	Fuerza
gr	centésimas mm	N
100	4	0,981
120	5	1,1772
140	6	1,3734
160	10	1,5696
180	11	1,7658
200	16	1,962
220	20	2,1582
240	21	2,3544
260	24	2,5506
280	27	2,7468
300	32	2,943

5.2.4 Válvula proporcional.

Para determinar el funcionamiento de la válvula proporcional se realizaron pruebas a una velocidad del motor del 30%. En la Tabla **87** se muestra el comportamiento de la válvula proporcional de acuerdo al PWM fijado. Además se detalla las características del flujo de agua considerando el aumento de PWM de 0 hasta 145.

Tabla 87: Comportamiento de la válvula proporcional (subida)

PWM	Caudal	Observaciones
0	0	Ausencia de flujo de agua
10	0	Ausencia de flujo de agua
20	0	Ausencia de flujo de agua
30	0	Ausencia de flujo de agua
40	0	Ausencia de flujo de agua
50	0	Flujo estacionario en rotámetro
60	0	Flujo estacionario en rotámetro
70	0	Flujo estacionario en rotámetro
80	0	Inicia flujo en el tubo central
90	1,7	Inicia flujo en el tubo central
100	3,7	No existe incremento de nivel
110	5,8	No existe incremento de nivel
120	7,8	Inicia incremento de nivel
130	9,7	Inicia incremento de nivel
140	11,6	Nivel cercano al rango de control
142	11,9	El nivel alcanza el rango de control
144	12,3	El nivel sobrepasa el rango de control
145	12,6	El nivel sobrepasa el rango de control

La Tabla 88 muestra el comportamiento de la válvula proporcional de acuerdo al PWM fijado. Además se detalla las características del flujo de agua considerando la disminución de PWM de 145 a 0.

Tabla 88: Comportamiento de la válvula proporcional (bajada)

PWM	Caudal	Observaciones
145	12,6	El nivel sobrepasa el rango de control
144	12,5	El nivel sobrepasa el rango de control
142	12,4	El nivel sobrepasa el rango de control
140	12,4	El nivel sobrepasa el rango de control
130	12,4	El nivel sobrepasa el rango de control
120	12,4	El nivel sobrepasa el rango de control
110	12,4	El nivel sobrepasa el rango de control
100	11,4	Nivel cercano al rango de control
90	9,6	No existe incremento de nivel
80	7,6	No existe incremento de nivel
70	5,6	No existe incremento de nivel
60	3,3	No existe incremento de nivel
50	0,9	Flujo estacionario en rotámetro
40	0	Flujo estacionario en rotámetro
30	0	Flujo estacionario en rotámetro
20	0	Flujo estacionario en rotámetro
10	0	Flujo estacionario en rotámetro
0	0	Ausencia de flujo de agua

La Figura 163 muestra el funcionamiento del actuador y la histéresis que presenta.

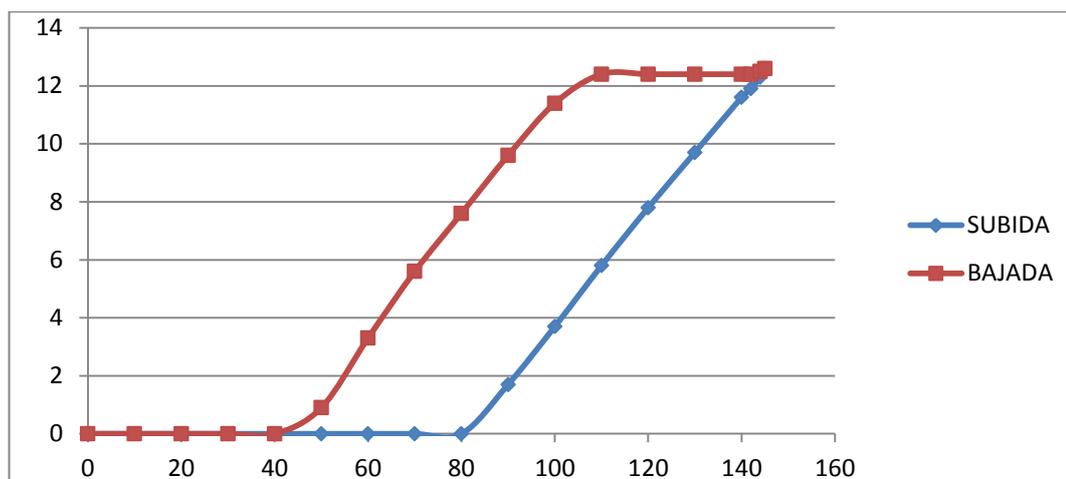


Figura 163 Gráfica de funcionamiento del actuador

5.3 Pruebas de maquina en funcionamiento

5.3.1 Pruebas de funcionamiento del mecanismo.

Para garantizar la seguridad del mecanismo, se realizaron varias pruebas de apertura y cierre del mismo, concluyendo que es un sistema confiable dicha apertura se evidencia en Figura 164. Entre las características de funcionamiento se tiene que la velocidad de apertura y cierre es la adecuada, la fuerza del mecanismo soporta sin problemas a la tapa y no existe ningún bloqueo que impida el funcionamiento.

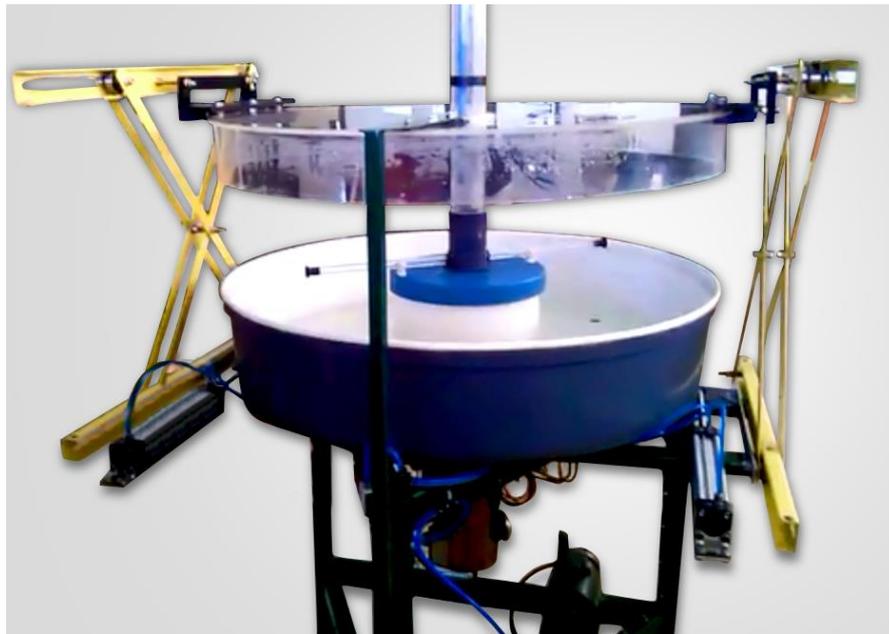


Figura 164: Prueba de mecanismo abierto

5.4 Resultados

5.4.1 Resultados de la práctica realizada posterior a la automatización.

a. Calibración del palpador con pesas

Para la etapa de calibración con pesas se tomó tres muestras para cada peso con el fin de confirmar los valores del nuevo sensor. Con el promedio de dichas muestras se realiza la gráfica Deformación vs Fuerza, mostrada en la Figura 2. La gráfica requiere manejar una línea de tendencia que permite determinar el torque del motor de acuerdo a los valores de deflexión de la práctica. Los valores tomados se muestran en la Tabla 89.

Tabla 89: Toma de datos: Calibración con pesas

PESO	FUERZA	DEFLEXIÓN			Promedio
gr	N	centésimas mm			centésimas mm
100	0,98	4	4	5	4
120	1,18	5	5	6	5
140	1,37	12	6	7	8
160	1,57	13	10	10	11
180	1,77	14	11	13	13
200	1,96	19	16	17	17
220	2,16	21	20	21	21
240	2,35	24	21	23	23
260	2,55	27	24	26	26
280	2,75	29	27	28	28
300	2,94	35	32	34	34

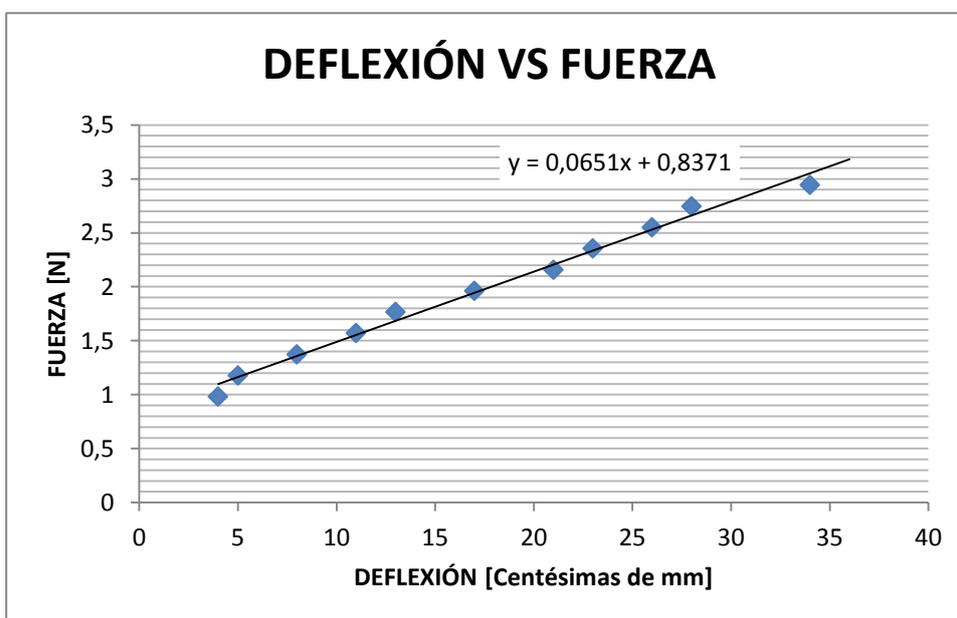


Figura 165: Gráfica Deflexión vs Fuerza.

b. Toma de datos en vacío

Los datos tomados en vacío generan un torque sumamente bajo, y al dar un valor oscilante el sensor no permitió tomar dichos valores por lo cual se utilizó la curva de Velocidad vs Deflexión otorgada por el manual del equipo, transformando dichos valores a unidades del SI. Dichos datos se muestran en la Tabla **90** y su gráfica correspondiente con la tendencia lineal se representa en la Figura 166

Tabla 90: Toma de datos: Prueba en Vacío

RPM	CENTÉSIMAS
98,15	4,04
105,39	4,11
116,88	4,23
121,79	4,28
128,39	4,34
131,39	4,37
132,55	4,39
140,63	4,47

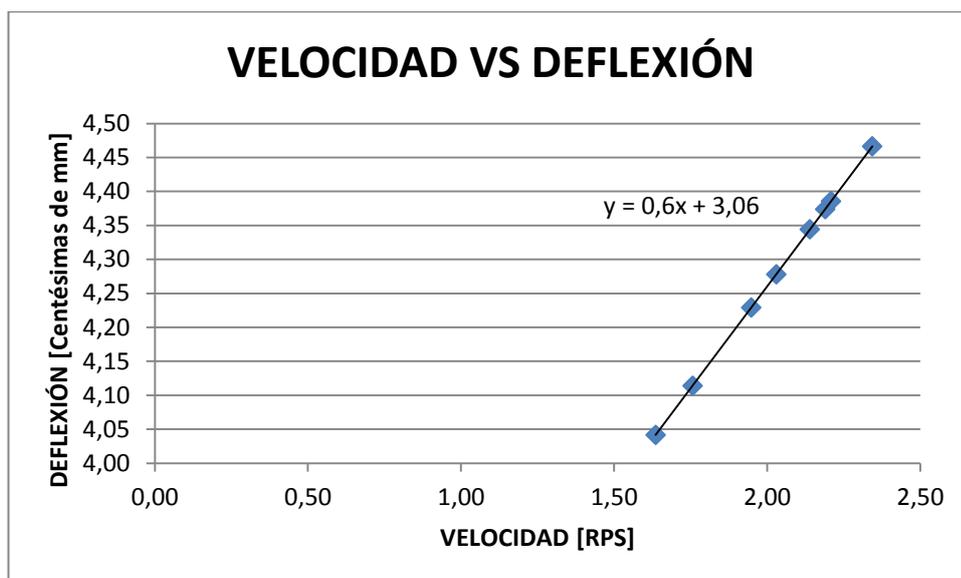


Figura 166: Gráfica Velocidad vs Deflexión (Vacío).

a. Toma de datos con agua

Finalmente los datos tomados con el agua controlada en un nivel específico de tubo se muestran en la Tabla 91.

Tabla 91: Toma de datos: Prueba con Agua

Reóstato	Vueltas	Tiempo	Caudal	Palpador
%	N°	s	cm	Centésimas mm
25,0%	15	9,17	10,8	33
27,5%	15	8,54	11,5	37
30,0%	15	7,7	12,4	44
32,5%	15	7,39	12,5	47
35,0%	15	7,01	12,9	51
37,5%	15	6,85	13,4	53
40,0%	15	6,79	13,7	54
42,5%	15	6,4	13,9	59

Cálculos realizados

Primer Método:

- Con los datos de número de vueltas y tiempo se obtiene la velocidad de rotación en RPS, para luego convertirlas a unidades convencionales de velocidad angular, rad/s.
- Los datos de caudal se establecen en l/min con la tabla de calibración del rotámetro.
- La velocidad lineal se obtiene del caudal al dividirlo por el área de la sección transversal del tubo. ($A=0,713 \text{ cm}^2$)
- Finalmente se calcula la aceleración de Coriolis mediante $\mathbf{Ac=2*V*w}$

Los resultados se muestran en la Tabla 92.

Tabla 92: Toma de Datos: Cálculos Método 1

Reóstato	Vueltas	Tiempo	Velocidad	W	Caudal	Caudal	V	Coriolis
%	N°	s	RPS	rad/s	cm	l/min	m/s	$2*V*w$
25,0%	15	9,17	1,64	10,28	10,8	8,75	2,05	42,04
27,5%	15	8,54	1,76	11,04	11,5	9,25	2,16	47,72
30,0%	15	7,7	1,95	12,24	12,4	9,9	2,31	56,65
32,5%	15	7,39	2,03	12,75	12,5	10	2,34	59,62
35,0%	15	7,01	2,14	13,44	12,9	10,1	2,36	63,48
37,5%	15	6,85	2,19	13,76	13,4	10,5	2,45	67,54
40,0%	15	6,79	2,21	13,88	13,7	10,7	2,50	69,43
42,5%	15	6,4	2,34	14,73	13,9	10,9	2,55	75,04

Segundo Método:

- A los datos obtenidos del palpador en la práctica con agua se resta el valor de las pérdidas en vacío, con el fin de obtener el valor del torque generado netamente por la carga de agua. El valor de pérdidas se obtiene de la gráfica ya linealizada de (VELOCIDAD vs DEFLEXION)
- Con la deflexión final establecida se obtiene la fuerza que ocasiona dicha deflexión, para lo cual se utiliza la gráfica (DEFLEXIÓN vs FUERZA) obtenida de la calibración con pesas.
- Se calcula el torque considerando la distancia R como la distancia medida entre el centro del tubo y los orificios de salida del tubo horizontal. (R=10,16 cm)
- Finalmente se calcula la aceleración de Coriolis mediante la ecuación $A_c = T/p \cdot a \cdot l^2$. Tomando en cuenta que la longitud $l=30,48$ y la densidad p es la del agua.

Los resultados se muestran en la Tabla 93.

Tabla 93: Toma de Datos: Cálculos Método 2

Reóstato	Palpador	Pérdidas	Delta	Fuerza	Torque	Coriolis
%	cent mm	cent mm	cent mm	N	F*R	$T/p \cdot a \cdot l^2$
25,0%	33	4,04	28,96	2,73	0,28	41,89
27,5%	37	4,11	32,89	2,99	0,30	45,85
30,0%	44	4,23	39,90	3,45	0,35	52,93
32,5%	47	4,28	42,89	3,65	0,37	55,95
35,0%	51	4,34	46,92	3,91	0,40	60,01
37,5%	53	4,37	48,75	4,03	0,41	61,86
40,0%	54	4,39	49,45	4,08	0,41	62,57
42,5%	59	4,47	54,38	4,40	0,45	67,54

RESULTADOS FINALES

Los resultados se muestran en la Tabla 94.

Tabla 94: Toma de Datos: Resultados finales

Reóstato	Coriolis	Coriolis	ERROR
%	$2 \cdot V \cdot w$	$T/p \cdot a \cdot l^2$	%
25,0%	42,04	41,89	<u>0,37</u>
27,5%	47,72	45,85	<u>3,93</u>
30,0%	56,65	52,93	<u>6,57</u>
32,5%	59,62	55,95	<u>6,17</u>
35,0%	63,48	60,01	<u>5,47</u>
37,5%	67,54	61,86	<u>8,41</u>
40,0%	69,43	62,57	<u>9,88</u>
42,5%	75,04	67,54	<u>9,99</u>

CAPITULO 6

Análisis económico y financiero

6.1 Análisis de costos.

6.1.1 Costos directos

Los costos directos son todos los gastos que están directamente relacionados con el proyecto. Los costos directos incluyen diseño del proyecto, mano de obra, materiales de instrumentación y control y materiales para construcción mecánica.

6.1.1.1 Ingeniería básica y de detalle

Tabla 95: Costo de ingeniería básica y de detalle

N°	Detalle	Total (USD)
1	Diseño mecánico	150,00
2	Diseño electrónico	100,00
SUMA TOTAL		\$ 250,00

6.1.1.2 Mano de obra directa

Tabla 96: Costo mano de obra directa

N°	Detalle	Material	Horas	Valor / h (USD)	Total (USD)
1	Maquinado del mecanismo	Acero A36	Fresado: 11h	15,00	165,00
			Taladrado: 3h	3,00	9,00
			Acabados	50,00	50,00
2	Maquinado de acoples y chumacera	Ertanlon	Fresado: 6h	10,00	60,00
			Taladrado: 1,5h	3,00	4,50
			Torneado: 2h	8,50	17,00
3	Sistema electrónico	-	Fabricación: 2h	10,00	20,00
			Ensamble: 40h	2,00	80,00
SUMA TOTAL					\$ 405,50

6.1.1.3 Materiales directos

- a) Materiales para el sistema mecánico (Tabla 97).
- b) Materiales para el sistema neumático (Tabla 98).
- c) Materiales para el sistema eléctrico y electrónico (Tabla 99).
- d) Accesorios de sujeción y soporte para todos los sistemas (Tabla 100, Tabla 101, Tabla 102 y Tabla 103).

a) Materiales para el sistema mecánico.

Tabla 97: Costo de materiales para el sistema mecánico

N°	Cantidad	ITEM	Empresa	Precio U	Total (USD)
1	4,063	Lámina Ertanlon (4,063 [Kg])	Aceros Industriales HGB	16,13	65,53
2	1	Perfil en U 50x25x2 (6 metros)	Acerocenter	8,86	8,86
3	2	Platina de acero 25x3 (6 metros)	Acerocenter	3,66	7,32
4	1	Platina de acero 30x3 (6 metros)	Acerocenter	3,96	3,96
5	1	Platina de acero 60x5 (6 metros)	Acerocenter	4,46	4,46
6	1	Rulimán Koyo 6012 2RS	Rulivalle	29,29	29,29
7	4	Rulimanes CMB8302 2RSC3	Rulivalle	2,80	11,20
8	2	Tapón Caucho	Casa del perno Valle	1,75	3,50
9	1	Tubos A plexiglas importados	ePlastics	83,50	83,50
SUMA TOTAL					\$217,62

b) Materiales para el sistema neumático.

Tabla 98: Costo de materiales para el sistema neumático

N°	Cantidad	ITEM	Empresa	Precio U	Total (USD)
1	2	Cilindro Neumático 32x200	Unitech	93,77	187,53
2	1	Electroválvula 5/2	Unitech	79,93	79,93
3	2	Conector T 1/8	Unitech	3,21	6,43
4	1	Regulador de caudal 1/8	Unitech	13,22	13,22
5	4	Pies de montaje Cilindro	Unitech	12,01	48,03
6	2	Silenciador bronce 1/8	Unitech	1,70	3,40
7	4	Conector recto Cilindros	Unitech	2,37	9,50
8	4	Tubo Poliuretano (4 metros)	Unitech	0,85	3,40
9	3	Conector recto Válvula 1/8	Unitech	2,62	7,86
10	1	Conector para compresor 1/8	Hidráulica Valle	3,58	3,58
SUMA TOTAL					\$362,88

c) Materiales para el sistema eléctrico y electrónico.

Tabla 99: Costo de materiales para el sistema eléctrico y electrónico

N°	Cantidad	ITEM	Empresa	Precio U	Total (USD)
1	2	0,33 UF 50V	E. Nacional	1,10	2,20
2	1	1 UF 25V	E. Nacional	0,15	0,15
3	2	10 UF 25V	E. Nacional	0,15	0,29
4	2	Acrílico para panel de control	Acrílicos Vargas	5,60	11,20
5	1	Arduino UNO	All.uC	26,50	26,50
6	7	Bornera flexible 12P 3[A]	Ingelcom	0,95	6,66
7	4	Borneras de 2	E. Nacional	0,40	1,61
8	6	Cable Flexible	Kywi	0,67	4,03
9	3	Cable macho-hembra	All.uC	0,11	0,34
10	1	Cable USB	L. Técnico	2,24	2,24
11	5	Cable UTP	E. JCR	0,56	2,80
12	1	Caja negra	All.uC	0,90	0,90
13	2	Cerámico 104	E. Nacional	0,15	0,29
14	12	Conductores macho	GRL	0,20	2,41
15	1	LM358N	E. Nacional	0,71	0,71
16	1	LM7812 Metal	E. Nacional	0,75	0,75
17	1	LM7824	E. Nacional	1,10	1,10
18	1	Módulo Relé x2	All.uC	6,26	6,26
19	1	Potenciómetro precisión 2K	E. Nacional	0,95	0,95
20	1	Pulsador mecanismo	L. Técnico	1,68	1,68
21	2	Resistencia 1 K 1/2W	E. Nacional	0,04	0,09
22	1	Resistencia 10 K 1/2W	E. Nacional	0,04	0,04
23	1	Sensor efecto Hall AST177	All.uC	1,56	1,56
24	1	Palpador Novotechnik	Ebay	330,00	330,00
25	1	Sensor Ultrasónico	All.uC	8,00	8,00
26	1	Transformador 12-110V 3A	E. Nacional	11,00	11,00
27	1	Válvula proporcional Winner	Owan Electronics	280,00	280,00
28	1	Zócalo 8 pines	E. Nacional	0,15	0,15
SUMA TOTAL					\$703,9

NOTA: E.: Electrónica, L.: Laboratorio

d) Accesorios de sujeción y soporte para todos los sistemas.

Tabla 100: Costo de accesorios de sujeción y soporte para mecanismo

MECANISMO					
N°	Cantidad	ITEM	Empresa	Precio U	Total (USD)
1	6	Perno M8 x 80mm A2-70	Casa del perno Valle	0,60	3,60
2	2	Perno M8 x 60mm A2-70	Casa del perno Valle	0,45	0,90
3	2	Perno M8 x 50mm A2-70	Casa del perno Valle	0,30	0,60
4	4	Perno M8 x 16mm A2-70	Casa del perno Valle	0,25	1,00
5	4	Tuerca M8	Casa del perno Valle	0,08	0,32
6	4	Arandela Presión	Casa del perno Valle	0,10	0,40
7	16	Perno M6 x 50mm A2-70	Casa del perno Valle	0,30	4,80
8	16	Tuerca Perno M6	Casa del perno Valle	0,06	0,96
9	32	Rodela Plana Perno M6	Casa del perno Valle	0,06	1,92
10	12	Perno M4 Estrella	Casa del perno Valle	0,03	0,36
11	12	Rodela Plana Perno M4	Casa del perno Valle	0,01	0,12
12	12	Tuerca Perno M4	Casa del perno Valle	0,02	0,24
13	48	Tuerca INOX perno M8	Casa del perno Valle	0,10	4,80
14	22	Arandela INOX perno M8	Casa del perno Valle	0,08	1,76
15	2	Arandela de presión M8	Casa del perno Valle	0,06	0,12
16	16	Arandela Gruesa M8	Casa del perno Valle	0,02	0,32
17	24	Tuerca Bronce M8	Casa del perno Valle	0,20	4,80
18	4	Perno M8 x 80mm A2-70	Casa del perno Valle	0,60	2,40
19	4	Perno M8 x 60mm A2-70	Casa del perno Valle	0,45	1,80
20	4	Perno M8 x 16mm A2-70	Casa del perno Valle	0,25	1,00
21	4	Tuerca Perno M8	Casa del perno Valle	0,10	0,40
SUMA TOTAL					\$32,62

Tabla 101: Costo de accesorios de sujeción y soporte para panel de control

PANEL DE CONTROL					
N°	Cantidad	ITEM	Empresa	Precio U	Total (USD)
1	22	Pernos 1/8 con tuerca	Kywi	0,02	0,44
2	4	L Ángulos delgados	Kywi	0,70	2,80
3	8	Pernos 3/8 con tuerca	Kywi	0,09	0,72
4	6	Pernos 1/4 con tuerca	Kywi	0,06	0,36
5	4	Tornillo 1/8 negro	Kywi	0,02	0,08
6	4	Pernos cortos	Casa del perno Valle	0,05	0,20
7	4	Pernos largos	Casa del perno Valle	0,10	0,40
SUMA TOTAL					\$5,00

Tabla 102: Costo de accesorios de sujeción y soporte para Soporte para Rodamientos

SOPORTE PARA RODAMIENTO					
N°	Cantidad	ITEM	Empresa	Precio U	Total (USD)
1	2	Pernos 3/8 x 150mm	Casa del perno Valle	0,80	1,60
2	4	Arandela 3/8 Gruesa	Casa del perno Valle	0,10	0,40
3	6	Tuercas 3/8	Casa del perno Valle	0,15	0,90
SUMA TOTAL					\$2,90

Tabla 103: Costo de accesorios de sujeción y soporte para fijación de sensores y actuadores.

FIJACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES					
N°	Cantidad	ITEM	Empresa	Precio U	Total (USD)
1	2	L Ángulo 2"	Kywi	0,50	1,00
2	4	Perno corto	Casa del perno Valle	0,03	0,12
3	4	Tuercas perno corto	Casa del perno Valle	0,02	0,08
4	4	Tornillo grueso	Casa del perno Valle	0,04	0,16
5	6	Arandela	Casa del perno Valle	0,01	0,06
6	2	T de sujeción	Kywi	0,70	1,40
7	2	Pernos M4 x 50	Kywi	0,10	0,20
8	2	Tuercas M4	Kywi	0,04	0,08
9	4	Pernos M6 x 30	Kywi	0,08	0,32
10	4	Tuercas M6	Kywi	0,04	0,16
11	1	Perno avellanado M8	Kywi	0,15	0,15
12	1	Tuerca M8	Kywi	0,08	0,08
13	2	Tuercas M10 rosca fina	Casa del perno Valle	0,10	0,20
14	4	Arandelas M10	Casa del perno Valle	0,06	0,24
15	2	Tuercas M8 INOX	Casa del perno Valle	0,08	0,16
16	8	Pernos M6x20mm INOX	Casa del perno Valle	0,20	1,60
17	8	Tuerca M6 INOX	Casa del perno Valle	0,08	0,64
18	4	Arandela de presión	Casa del perno Valle	0,08	0,32
19	4	Perno M4x80mm	Casa del perno Valle	0,08	0,32
20	4	Tuerca M4	Casa del perno Valle	0,06	0,24
21	1	Uniones Tomas de agua	Kywi	7,84	7,84
22	5	Abrazaderas	Kywi	0,45	2,24
23	1	Binchas	Kywi	2,80	2,80
24	1	Envolvente de cables	Kywi	4,00	4,00
SUMA TOTAL					\$24,41

SUMA TOTAL DE ACCESORIOS DE SUJECIÓN Y ACOPLÉS \$ 64,93

6.1.1.4 Total costos directos

Tabla 104: Total costos directos

DETALLE	TOTAL (USD)
Ingeniería básica y de detalle	\$ 250,00
Mano de obra directa	\$ 405,50
Materiales para el sistema mecánico.	\$ 217,62
Materiales para el sistema neumático.	\$ 362,88
Materiales para el sistema eléctrico y electrónico.	\$ 703,91
Accesorios de sujeción y soporte para todos los sistemas.	\$ 64,93
SUMA TOTAL	\$2.004,84

6.1.2 Costos indirectos

Los costos indirectos provienen de gastos administrativos, que se tiene necesidad de realizar para la elaboración de un proyecto.

Tabla 105: Costos indirectos

DETALLE	TOTAL (USD)
Transporte	50,00
Servicios básicos	10,00
Internet	30,00
Impresiones	140,00
Copias	5,00
SUMA TOTAL	\$ 235,00

6.1.3 Costo del proyecto

Tabla 106: Costo total del proyecto

DETALLE	TOTAL (USD)
Total costos directos	\$ 2.004,84
Total costos indirectos	\$ 235,00
COSTO DEL PROYECTO	\$ 2.239,84

6.2 Análisis económico.

Realizado el desglose de costos directos e indirectos se obtuvo un costo total del proyecto de 2239,84 dólares, lo que se convierte en activo fijo para la universidad.

Este proyecto genera una ganancia no cuantificable, es decir, una ganancia que se verá reflejada en el aprendizaje de cada estudiante que haga uso del equipo. Esta práctica se la realiza todos los semestres por el lapso de una hora. La materia de mecanismos se dicta tanto para alumnos de Ingeniería Mecánica como de Ingeniería Mecatrónica teniendo un promedio de 120 alumnos por semestre.

CAPITULO 7

Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Se entrega al laboratorio de Mecanismos de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” un equipo automatizado para la práctica de Aceleración de Coriolis con Analogía Hidráulica, mejorando de esta manera la efectividad de los resultados durante la práctica. Esto se evidencia en la disminución de errores del rango entre 20% a 37 % a valores entre 0.3% a 9.2%.
- Los dispositivos eléctricos y electrónicos implementados en la máquina son el principal aporte a este proyecto, puesto que repotencia las deficiencias que tenía el equipo al momento de realizar una práctica de laboratorio.
- La selección de una tarjeta electrónica para adquisición de datos que brinda flexibilidad y confiabilidad, resultó la forma más viable para este proyecto, puesto que sus características son ideales al momento de automatizar un equipo de pequeñas dimensiones.
- El rediseño de la caja de control mejoró las prestaciones de la misma, puesto que se añadió acrílicos para aislamiento, una transformador de 120 [VAC] a 24 [VAC], un rectificador de onda, circuitos para acoplar señales y una tarjeta electrónica para adquisición de datos. Todo esto se logró manteniendo la carcasa original, creando un diseño

compacto y a su vez conservando la estructura del equipo que se ajusta a dicha carcasa

- El control PI fue la técnica más eficiente para lograr el control del líquido. Este controlador por su acción integral garantiza que el nivel alcance y se mantenga en su punto de operación, encargándose de anular totalmente la señal de error. Además se evita la complejidad de un control PID cuya característica derivativa ocasionaría respuestas muy bruscas ante cambios instantáneos que presenta el equipo debido a su rapidez característica.
- La centralización de todos los valores correspondientes a la práctica en una pantalla HMI, brindan efectividad, rapidez y precisión en la toma de resultados. Su diseño amigable ayuda a que el usuario pueda manipular de manera sencilla el equipo sin mayores inconvenientes.
- El diseño de un mecanismo tipo tijera con accionamiento neumático fue el método más eficiente para el levantamiento de la tapa. Logrando así que no exista ningún daño, desgaste o ruptura de otro elemento del equipo al momento de manipular la tapa.
- La automatización del equipo garantiza un funcionamiento altamente confiable, ya que está respaldado por la ingeniería realizada, por la calidad de sus componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos utilizados y por la manufactura de determinados componentes.
- El costo total de la automatización del equipo fue de \$2239,84, lo cual genera un beneficio económico y tecnológico importante para el

laboratorio de mecanismos y para los estudiantes que hagan uso de ella, pues las prestaciones que brinda la máquina al ser automatizada mejoran proceso de aprendizaje.

- La automatización del equipo fue realizada sobre un diseño existente y hay ciertos elementos que no pueden ser modificados debido a las limitaciones para acoplarse a la estructura ya diseñada. Por lo tanto no se puede mejorar en su totalidad las condiciones para realizar la práctica de laboratorio pero si llegar a valores aceptables.

7.2 Recomendaciones

- Para la correcta manipulación del equipo es necesario referirse al manual de usuario disponible en el laboratorio de mecanismos de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.
- Si existiese algún tipo de daño o se desea realizar alguna modificación en el equipo, es importante referirse a los planos existentes en este documento.
- El mantenimiento de los mecanismos del equipo requiere una adecuada lubricación así como la prevención de cargas inadecuadas sobre los mismos.
- Para una futura potenciación del equipo se recomienda un análisis de controlabilidad del sistema junto con la aplicación de técnicas más avanzadas de control, con el fin de obtener un rango completo de trabajo del motor.

BIBLIOGRAFÍA

- Acedo Sanchez, J. (2006). Instrumentación y control avanzado de procesos. En J. Acedo Sanchez, *Instrumentación y control avanzado de procesos* (págs. 573-581). España: Ediciones Díaz de Santos.
- ADELCA. (2013). *Catálogo de Productos*.
- Arduino. (2014). *Arduino*. Recuperado el 2014 de 03 de 19, de http://arduino.cc/es/Guide/Introduction#.Uym8T_I5Nxx
- ARDUINO Forum. (2 de Febrero de 2011). *Arduino*. Obtenido de Señal de 0-10V usando una salida PWM: <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=50807.0>
- Arkema, G. (2006). *Typical Physical Properties*. Obtenido de Plexiglas® VH Acrylic Resin.
- ASCO, E. E. (2014). *VÁLVULA MOTORIZADA MOTORFLOW*. Obtenido de Serie 610: http://www.asconumatics.eu/images/site/upload/_es/pdf1/01018es.PDF
- Automatización Industrial*. (04 de Septiembre de 2010). Obtenido de <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/09/elementos-de-fuerza-cilindros-y-motores.html>
- Banner. (2014). *Sensor ultrasónico*.
- Bolton, W. (2001). Mecatrónica. En W. Bolton, *Mecatrónica* (págs. 423-447, 483). Alfaomega.
- Bolton, W. (2001). Mecatrónica. En W. Bolton, *Mecatrónica* (págs. 423-447, 483). Alfaomega.
- Castillo, J. (2001). *Revista de electricidad, electrónica y automática*. Obtenido de <http://olmo.pntic.mec.es/~jmarti50/neumatica/cilindros.html>
- Cedillo Martinez, A. (2008). *Instituto Politecnico Nacional*. Recuperado el 11 de 12 de 2013, de <http://tesis.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/2045/1/tesis%20esimecedillomtz.pdf>

- Cise Electrónica*. (2010). Recuperado el 13 de 05 de 2014, de <http://www.cise.com/Cursosdistancia/Sensores2/index3.htm>
- Clement, G. V. (2006). Estructuras de Acero Introducción al Diseño. En G. V. Clement, *Estructuras de Acero Introducción al Diseño* (págs. 38,39,40). Universidad Nacional de Colombia.
- Cortizo Rodríguez, J. L. (2004). Elementos de máquinas: teoría y problemas. En J. L. Cortizo Rodríguez, *Elementos de máquinas: teoría y problemas* (pág. 102). Oviedo España: Universidad de Oviedo.
- DEBEM*. (2009). Recuperado el 11 de 12 de 2013, de <http://www.debem.it/esp/mb-bombas-centrifugas-horizontales.htm>
- Delgado, O. (23 de Septiembre de 2013). *Técnicas de Estructuras*. Obtenido de UNIONES ATORNILLADAS: <http://tecnicadeestructuras.blogspot.com/2013/09/uniones-atornilladas.html>
- Diodes Incorporated*. (s.f.). Recuperado el 19 de 05 de 2014, de <http://www.diodes.com/datasheets/ATS177.pdf>
- Disheco*. (2013). Obtenido de <http://www.disheco.es/es/index.php?s=productos&i=32>
- Documentos técnicos*. (s.f.). Obtenido de Instrumentación Industrial Medición de Nivel: <http://www.tecnoficio.com/docs/doc61.php>
- Electromática*. (s.f.). Recuperado el 28 de 11 de 2013, de Nivel de líquidos: <http://www.electromatica.cl/transm-liquidos.html>
- EMARTEE. (2012). *Wrobot Shield Module*. Obtenido de <http://www.emartee.com/product/41894/>
- Engineers Edge. (20 de Abril de 2012). *Scissor Lift Jack Review & Calculation*. Recuperado el 2013 de Diciembre de 9, de http://www.engineersedge.com/mechanics_machines/scissor-lift.htm
- Enriquez, H. (2005). Fundamentos de instalaciones eléctricas. Mexico: Limusa S.A.
- FAG. (s.f.). *Catálogo de Rodamientos FAG*. Obtenido de Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera: <http://www.rodamientosbulnes.com/doc/es-c-fag.pdf>

- Fernández Bernal, J. (s.f.). *Euskalnet*. Recuperado el 27 de 01 de 2014, de <http://www.euskalnet.net/j.m.f.b./neunatica.htm>
- Festo. (s.f.). Recuperado el 27 de 01 de 2014, de <http://www.festo-didactic.com/es-es/productos/tecnica-para-escuelas-de-ensenanza-general/components-and-accessories/compresor-para-meclab.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjExMjEuNTQ1NQ>
- Giovanny Berrío , L., & Ochoa Gómez, S. (2007). *Neumática básica*. Medellín: Fondo Editorial ITM.
- GlobalSpec. (2013). *Scissor Lifts Information*. Recuperado el 9 de Diciembre de 2013, de http://www.globalspec.com/learnmore/material_handling_packaging_equipment/material_handling_equipment/scissor_lifts
- Gutierrez Quispe, D. (2011). Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Cusco, Peru. Recuperado el 27 de 01 de 2014
- Hendrickson, A. (2012). *Mechanical Design for the Stage*. En A. Hendrickson, & C. Buckhurst, *Mechanical Design for the Stage* (págs. 394-405). Burlington, USA: CRC Press.
- Herrador, R. E. (13 de 11 de 2009). *Universidad de Cordoba*. Recuperado el 02 de 04 de 2014, de http://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wp-content/uploads/2010/05/Arduino_user_manual_es.pdf
- ISA-5.5-1985. (s.f.). *Scribd*. Recuperado el 11 de 12 de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/83566377/ISA%E2%80%935%E2%80%931985>
- JACTON. (s.f.). *Dongguan Jacton Electromechanical Co.,Ltd*. Recuperado el 11 de Diciembre de 2013, de Screw Jack System: <http://www.bevelgearbox.net/service/screw-jack-system.html>
- Jeffus, L. (2009). *Soldadura Principios y Aplicaciones*. Madrid: Parafino.
- Junta de Andalucía, P. d. (s.f.). *TRANSDUCTORES, SENSORES Y CAPTADORES*. Obtenido de http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/TRANSDUCTORES,%20SENSORES%20Y%20CAPTADORES.pdf

- Kikuchi, T. (s.f.). *IEEE*. Obtenido de http://www.ewh.ieee.org/soc/es/Nov1997/09/EXT_DC1.GIF
- Kuszczewski, A. (2004). *Redes industriales de tubería*. España: Reverté.
- López, I. (2012). *DINÁMICA Y CONTROL DE PROCESOS AJUSTE DE CONTROLADORES*. Obtenido de Universidad de la Republica, Uruguay:
http://www.fing.edu.uy/iq/cursos/dcp/teorico/16_AJUSTE_DE_CONTR OLADORES.pdf
- Martín, J. C., & García, M. P. (s.f.). *Automatismos industriales*. EDITEX.
- Micros. (2013). Obtenido de <http://www.microautomacion.com/catalogo/Actuadores.pdf>
- Microsonic. (s.f.). Obtenido de <http://www.microsonic.de/es/Interesting-facts.htm>
- Molina Marticorena, J. (2013). *Profesor Molina*. Recuperado el 110 de 12 de 2013, de *Electromecánica*:
http://www.profesormolina.com.ar/electromec/prot_circ_elect.htm
- Moore, S. (10 de Marzo de 2011). *Scissor Mechanisms*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2013, de <http://envisioningmoore.com/Engineering/031011%20Inner%20Scissor/Scissor%20Lateral%20Beam%20Report.pdf>
- Morales, C. (2006). *Manual de Mecanismos*. Venezuela: UNIVERSIDAD DE CARABOBO.
- Mott, R. L. (2006). Cojinetes con contacto de rodadura. En R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Máquinas* (págs. 597-615). México: Pearson.
- Murillo Julian, E. (Noviembre de 2011). *Caracterización de un elevador tipo tijera para vehículos*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2013, de Escuela Universitaria de Ingeniería Tpecnica Industrial- Zaragoza:
<http://zaguan.unizar.es/TAZ/EINA/2011/6743/TAZ-PFC-2011-744.pdf>
- National Instrument Corporation. (2014). Recuperado el 2014 de 03 de 19, de <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

- Neumática proporcional.* (s.f.). Obtenido de <http://renatosarce.files.wordpress.com/2011/11/cap8-neumatica-proporcional.pdf>
- NOVOTECHNIC. (2014). *Novotechnik U.S. Inc.* Obtenido de <http://novotechnik.com/>
- Ogata, K. (2003). Ingeniería de Control Moderna. En K. Ogata, *Ingeniería de Control Moderna* (págs. 153-158). Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Ordaz, E., Rojas, E., Gómez, M., & Laura, R. (Julio de 2009). *Monografias.com.* Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos74/medidores-nivel/medidores-nivel2.shtml>
- Orozco. (1996). Operaciones unitarias. Mexico: Limusa.
- Peña, J. D. (2003). Introducción a los autómatas programables. Editorial UOC.
- Rodriguez Gómez, J. D. (2012). *Universidad Nacional de Colombia.* Obtenido de <https://electromagnetismo2012a.wikispaces.com/file/view/efecto+hall.pdf>
- San Miguel, P. A. (2011). Electrotécnia. En *Instalaciones eléctricas y automáticas* (págs. 123-124). España: Paraninfo.
- Schmid, S. R., Hamrock, B. J., & O., J. B. (2013). Fundamentals of Machine Elements. En S. R. Schmid, B. J. Hamrock, & J. B. O., *Fundamentals of Machine Elements* (pág. 7). CRC Press.
- Shetty, D., & Kolk, R. (2010). Mechatronics System Design. En D. Shetty, & R. Kolk, *Mechatronics System Design* (págs. 2-7). Cengage Learning.
- Shigley, J. E., & Uicker, J. J. (2001). *Teoría de Máquinas y Mecanismos.* Mexico: Mc Graw Hill.
- Solbes i Monzo, R. (2013). Automatismos industriales conceptos y procediminetos. Valencia: Nau Llibes, Edicions Culturals Valencianes S.A.

- Tecquipment Limited. (s.f.). An Apparatus for the Direct Measurement of the Coriolis Component of Acceleration. *Technical Bulletin*. Nottingham, Long Eaton, Reino Unido.
- UNITECH-Ecuador. (2008). *Universal Technologies*. Obtenido de <http://www.unitech.com.ec/4-1.htm>
- Universidad Nacional de Quilmes. (s.f.). Recuperado el 11 de 12 de 2013, de Ingeniería en Automatización y Control Industrial: <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>
- Valencia Clement, G. (2006). Estructuras de acero. Introducción al diseño. En G. Valencia Clement, *Estructuras de acero. Introducción al diseño* (págs. 41-44). Universidad Nacional de Colombia.
- Vargas, E. (28 de 04 de 2012). *Vargas Electrónica*. Recuperado el 04 de 12 de 2013, de <http://kikeelectronico-vargas.blogspot.com/2012/04/motores.html>
- Viscont, B. (Julio de 2009). *DICCIONARIO DE TERMINOS CONSTRUCTIVOS NAVALES*. Obtenido de Válvula esférica: <http://www.histarmar.com.ar/Astilleros/Diccionario/LetraV.htm>
- Winner Hydraulics Corporation. (2006). *Winner*. Obtenido de <http://www.winnerhydraulics.com/joomla/index.php?lang=english>

ANEXOS

A. Guía de prácticas

B. Manual de usuario

C. Planos

C1. Plano Brazo del Mecanismo tipo Tijera

C2. Plano Perfil Soporte Inferior Derecho del Mecanismo

C3. Plano Perfil Soporte Inferior Izquierdo del Mecanismo

C4. Plano Perfil Soporte Superior Derecho del Mecanismo

C5. Plano Perfil Soporte Superior Izquierdo del Mecanismo

C6. Plano Platina Para Ajuste de Rodamiento

C7. Plano Ensamble – Mecanismo Tipo Tijeras

C8. Plano Ensamble Mecanismo de Apertura y Cierre de la Tapa

C9. Plano Brazo de Soporte Frontal Derecho

C10. Plano Brazo de Soporte Posterior Derecho

C11. Plano Brazo de Soporte Frontal Izquierdo

C12. Plano Brazo de Soporte Posterior Izquierdo

C13. Plano Placa de Unión Para Brazo de Soporte

C14. Plano Acople Mecanismo – Tapa

C15. Plano Acople de Sujeción

C16. Plano Chumacera