



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA
LA COMPROBACIÓN DEL SEGUNDO NÚMERO
CARACTERÍSTICO DENTRO DE LA NORMA IEC – 60529 PARA
GABINETES DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE LA EMPRESA
INSELEC CIA. LTDA.

AUTORES: ALEJANDRO DANIEL LALVAY ESPINOSA
ANA CARINA VALLEJO JARRÍN

DIRECTOR: ING. ECHEVERRÍA, MARIO
CODIRECTOR: ING. LOZA, DAVID

SANGOLQUÍ

2015

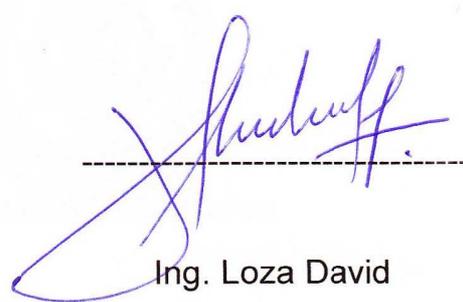
CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA COMPROBACIÓN DEL SEGUNDO NÚMERO CARACTERÍSTICO DENTRO DE LA NORMA IEC - 60529 PARA GABINETES DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE LA EMPRESA INSELEC CIA. LTDA." fue realizado en su totalidad por Alejandro Daniel Lalvay Espinosa y Ana Carina Vallejo Jarrín, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.



Ing. Mario Echeverría

DIRECTOR



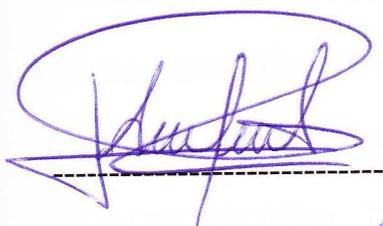
Ing. Loza David

CODIRECTOR

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

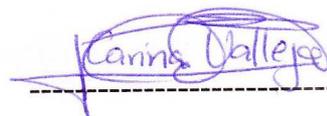
“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA COMPROBACIÓN DEL SEGUNDO NÚMERO CARACTERÍSTICO DENTRO DE LA NORMA IEC – 60529 PARA GABINETES DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE LA EMPRESA INSELEC CIA. LTDA.”

ELABORADO POR:



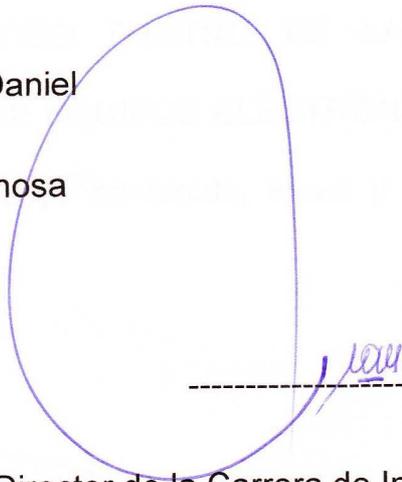
Alejandro Daniel

Lalvay Espinosa



Ana Carina

Vallejo Jarrín



Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

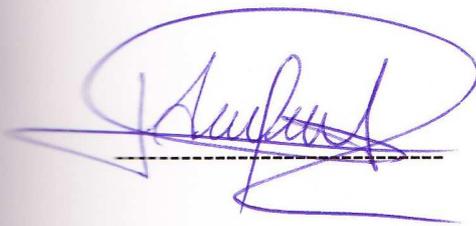
Ing. Francisco Terneus

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

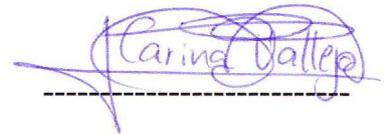
Nosotros: Alejandro Daniel Lalvay Espinosa y Ana Carina Vallejo Jarrín

Autorizamos a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado y del artículo científico titulados "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA COMPROBACIÓN DEL SEGUNDO NÚMERO CARACTERÍSTICO DENTRO DE LA NORMA IEC - 60529 PARA GABINETES DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE LA EMPRESA INSELEC CIA. LTDA.", cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Alejandro Daniel

Lalvay Espinosa



Ana Carina

Vallejo Jarrín

DEDICATORIA 1

El presente proyecto de tesis se lo dedico primeramente a Dios, por haberme dado la fortaleza para nunca rendirme y permitirme culminar con éxito esta etapa tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, Daniel y Sonia, quienes con su amor y apoyo incondicional siempre me motivaron para entregar lo mejor de mí y que con su ejemplo me hicieron una persona con valores y ganas de salir adelante.

A mis hermanas Alexandra y Jessica y mi sobrina María José por todo su cariño, ayuda y comprensión durante este trayecto de mi vida profesional y a mis abuelitos Ángel y Gilma por siempre apoyarme y preocuparse por mí.

Todo mi esfuerzo se los dedico a ustedes.

Alejandro Daniel Lalvay Espinosa

AGRADECIMIENTOS 1

A Dios por haberme dado la sabiduría y la salud para alcanzar esta meta en mi vida y brindarme la oportunidad de compartir esta alegría con mi familia.

A mi madre Sonia, por todo su apoyo y consejos en cada momento, además por todo su amor que siempre me motivaba a seguir adelante.

A mi padre Daniel, por siempre ser la fortaleza que me impulsa a ser cada vez mejor, además por su amor, apoyo y por enseñarme a valorar todo su esfuerzo.

A mis hermanas Alexandra y Jessica, por apoyarme incondicionalmente en todo este trayecto.

A mis amigos, Lucho, Nelson, Carina, Christian, Sebastián y Gandhi primero por su valiosa amistad y también por todas las experiencias compartidas a lo largo de nuestra formación como profesionales.

Alejandro Daniel Lalvay Espinosa

DEDICATORIA 2

Dedico todo mi trabajo a Dios y mi familia, mi madre Carmita , mi padre Fernando, mi hermana Katherine, mi tía Grace, y a mis dos ángeles Luis y María.

Ustedes son mi mayor inspiración.

Ana Carina Vallejo Jarrín

AGRADECIMIENTOS 2

Agradezco a mi madre, por su preocupación y por estar siempre pendiente en cada paso de este largo camino.

A mi padre, por darme consejos en el momento adecuado y enseñarme el valor de tomar buenas decisiones.

A mi hermana, por ser un gran apoyo en este trayecto y en mi vida, y por todo el cariño que me demuestra.

A mi tía Grace por todos sus consejos.

A mi amiga Marcela, por escucharme y darme fuerza en los momentos más débiles.

A Luis, Alejandro, Yadira, Gandhi, Nelson, Sebastián, Andrés y Christian, por ser amigos incondicionales.

Ana Carina Vallejo Jarrín

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO	i
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA 1	iv
AGRADECIMIENTOS 1	v
DEDICATORIA 2	vi
AGRADECIMIENTOS 2	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
RESUMEN	xxiii
ABSTRACT	xxiv
Capítulo I 1	
1. Antecedentes	1
1.1 Descripción de producción de gabinetes BEAUCOUP	2
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.1.1 Objetivos específicos	4
1.4 Alcance del proyecto	4
1.4.1 Descripción del proyecto	5
Capítulo II	7
2. Marco teórico	7
2.1 Normas referenciales	7
2.2 Norma NTE INEN 2569	7
2.2.1 Norma IEC-60529	12
Capítulo III	20
3. Diseño conceptual	20
3.1 Requerimientos del cliente	20
3.2 Requerimientos técnicos	20
3.3 QFD del la máquina	21
3.4 Análisis funcional	24
3.5 Módulos funcionales	29

3.5.1	Soluciones para las funciones de los módulos	29
3.5.2	Módulo 1: Montaje/desmontaje	29
3.5.2.1	Sujetar gabinete a la estructura	30
3.5.2.1.1	Sujeción con pernos	31
3.5.2.1.2	Sujeción con mecanismos de agarre rápido	32
3.5.2.2	Montar gabinetes como en su lugar de funcionamiento.....	32
3.5.2.2.1	Montaje sobre estructura de rieles y platinas.....	32
3.5.2.2.2	Montaje sobre placa metálica	33
3.5.3	Módulo 2: Abastecimiento de agua de los dispositivos 1,2,3,4...	34
3.5.3.1	Controlar el sistema	34
3.5.3.1.1	Controlador lógico programable (plc).....	34
3.5.3.2	Supervisar parámetros de presión y caudal.....	35
3.5.3.2.1	Sensores de presión	35
3.5.3.2.2	Sensores de caudal	36
3.5.3.3	Visualizar proceso.....	37
3.5.3.3.1	Panel visualizador.....	37
3.5.3.3.2	Computador	37
3.5.4	Módulo 3: Uso y posicionamiento dispositivo 1.....	37
3.5.4.1	Posicionar el dispositivo 1.....	38
3.5.4.1.1	Mecanismo de tornillo sinfín.....	38
3.5.4.1.2	Mecanismo con rieles guía	39
3.5.5	Módulo 4: Dispositivo 2.....	39
3.5.6	Módulo 5: Dispositivo 3,4.....	40
3.5.7	Módulo 6: Giro, posicionamiento e inclinación de la base	40
3.5.7.1	Girar la base	41
3.5.7.2	Posicionar base	41
3.5.7.3	Inclinar base.....	42
3.5.7.3.1	Mecanismo con pasadores	42
3.5.7.3.2	Mecanismo con topes	45
3.5.8	Módulo 7: Pruebas.....	47
3.5.9	Módulo 8: Inspección de gabinetes.....	47
3.5.9.1	Papel testigo	47

3.5.9.2	Inspección táctil - visual	47
3.5.10	Módulo 9: Análisis de resultados	48
3.5.10.1	Reporte físico.....	48
3.5.10.2	Reporte digital.....	49
3.6	Matriz morfológica.....	49
3.6.1	Selección de soluciones	54
3.6.1.1	Selección - módulo 1	55
3.6.1.2	Selección - módulo 2	57
3.6.1.3	Selección - módulo 3	59
3.6.1.4	Selección - módulo 6	61
3.6.1.5	Selección - módulo 8	63
3.6.1.6	Selección - módulo 9	65
CAPÍTULO IV.....		68
4.	Diseño y selección	68
4.1	Sistemas mecánicos	68
4.2	Estructura externa e interna.....	68
4.2.1	Mecanismo de elevación del dispositivo 1	69
4.2.1.1	Selección del gato mecánico - mecanismo de elevación.....	70
4.2.1.2	Dimensionamiento del motor - mecanismo de elevación.....	70
4.2.1.3	Selección de encoder - mecanismo de elevación	73
4.2.1.3.1	Cálculo frecuencia - encoder inferior	74
4.2.1.4	Dimensionamiento de chumaceras - mecanismo de elevación ...	74
4.3	Diseño mecánico	75
4.3.1	Diseño del sistema motriz.....	76
4.3.2	Diseño del soporte para gabinete	77
4.3.2.1	Análisis de esfuerzo máximo – soporte de gabinetes.....	77
4.3.2.2	Análisis de desplazamiento máximo - soporte de gabinetes	79
4.3.2.3	Análisis de factor de seguridad - soporte de gabinetes	79
4.3.2.4	Carro para agarre rápido –soporte de gabinetes	80
4.3.2.5	Análisis de esfuerzo máximo – plato.....	81
4.3.2.6	Análisis de desplazamiento máximo – plato	83
4.3.2.7	Análisis de factor de seguridad – plato	83

4.3.2.8	Optimización – plato	84
4.3.2.9	Análisis de esfuerzo máximo – eje plato giratorio	85
4.3.2.10	Análisis de esfuerzo máximo – eje motor	89
4.3.2.11	Dimensionamiento de chumaceras del soporte del mecanismo de inclinación	93
4.3.2.12	Cálculo del torque - motor inferior	94
4.3.2.13	Cálculo frecuencia - encoder inferior	99
4.3.3	Sistema hidráulico.....	99
4.3.3.1	Dimensionamiento bomba de agua	103
4.3.3.1.1	Cálculo de pérdidas de presión.....	106
4.3.4	Selección de elementos de control hidráulico	111
4.3.5	Selección de válvulas proporcionales – sistema hidráulico	111
4.3.6	Selección de válvulas de 2 vías	114
4.3.7	Selección de válvula reguladora de presión	115
4.3.8	Selección de sensores de caudal	115
4.3.9	Sistema neumático	117
4.3.10	Diseño del sistema eléctrico y de control.....	119
4.3.11	Dimensionamiento de elementos de protección	122
4.3.11.1	Diagrama de flujo – control	124
4.3.11.2	Inicialización.....	126
4.3.11.3	Direccionar flujo	127
4.3.11.4	Adquisición y tratamiento de señales.....	128
4.3.11.5	Control de actuadores.....	129
4.3.11.6	Visualización de variables.....	130
4.3.11.7	Sistema hidráulico.....	131
4.3.11.8	Sistema neumático	131
4.3.11.9	Diseño de la interfaz gráfica-HMI.....	132
4.3.11.9.1	Menú de pruebas	133
4.3.11.9.2	Servicio técnico	135
CAPÍTULO V.....		140
5.	Pruebas y análisis de resultados	140
5.1	Calibración de sensores	141

5.1.1	Calibración del transmisor de presión.....	141
5.1.2	Calibración del caudalímetro de 1/2in y 1in	143
5.1.3	Calibración del encoder superior	145
5.2	Pruebas y análisis de resultados	146
5.2.1	Pruebas con gabinetes	146
5.3	Interpretación de resultados - gabinetes.....	152
5.4	Funcionamiento del sistema	153
CAPITULO VI.....		154
6.	Análisis económico y financiero	154
CAPÍTULO VIII.....		155
7.	Conclusiones y recomendaciones	155
7.1	Conclusiones	155
7.2	Recomendaciones	157
BIBLIOGRAFÍA		158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	
Especificaciones de los especímenes de prueba en INSELEC	6
Tabla 2	
Descripción de numerales y letras para la codificación	9
Tabla 3	
Grados de protección indicadas por el primer numeral característico	10
Tabla 4	
Grados de protección contra agua	11
Tabla 5	
Condiciones y significado de las pruebas	12
Tabla 6	
Condiciones de flujo de agua para IPX3 e IPX4, Flujo por hoyo.....	15
Tabla 7	
Condiciones para la prueba IPX5	18
Tabla 8	
Condiciones para la prueba IPX6	19
Tabla 9	
Requerimientos del cliente.....	20
Tabla 10	
Requerimientos técnicos.....	21
Tabla 11	
Ponderación requerimientos clientes- técnicos.....	21
Tabla 12	
Ponderación correlación entre requerimientos técnicos	22
Tabla 13	
Resultados del QFD.....	24
Tabla 14	
Puntuación para Ponderación de alternativas.....	54
Tabla 15	
Matriz selección módulo 1 – Criterios	55
Tabla 16	
Matriz selección módulo 1 - Criterio disponibilidad	55
Tabla 17	
Matriz selección módulo 1 - Criterio ubicación.....	56
Tabla 18	
Matriz selección módulo 1 - Criterio ergonómico	56

Tabla 19	
Matriz selección módulo 1 - Criterio tiempo	56
Tabla 20	
Matriz selección módulo 1 – Criterio peso	56
Tabla 21	
Matriz selección módulo 1 - Resultados.....	56
Tabla 22	
Matriz selección módulo 2 –Criterios	57
Tabla 23	
Matriz selección módulo 2 - Criterio Comunicación	58
Tabla 24	
Matriz selección módulo 2 - Criterio disponibilidad	58
Tabla 25	
Matriz selección módulo 2 - Criterio transportable	58
Tabla 26	
Matriz selección módulo 2 - Criterio espacio.....	58
Tabla 27	
Matriz selección módulo 2 - Criterio resolución.....	58
Tabla 28	
Matriz selección módulo 2 - Resultados.....	59
Tabla 29	
Matriz selección módulo 3 – Criterios	60
Tabla 30	
Matriz selección módulo 3 - Criterio espacio.....	60
Tabla 31	
Matriz selección módulo 3 - Criterio peso	60
Tabla 32	
Matriz selección módulo 3 - Criterio mantenimiento	60
Tabla 33	
Matriz selección módulo 3 - Criterio juego	60
Tabla 34	
Matriz selección módulo 3 - Criterio estabilidad.....	61
Tabla 35	
Matriz selección módulo 3 - Resultados.....	61
Tabla 36	
Matriz selección módulo 4 - Criterios	62
Tabla 37	
Matriz selección módulo 4 - Criterio ergonómico	62

Tabla 38	
Matriz selección módulo 4 - Criterio juego	62
Tabla 39	
Matriz selección módulo 4 - Criterio mantenimiento	62
Tabla 40	
Matriz selección módulo 4 - Criterio fabricación.....	63
Tabla 41	
Matriz selección módulo 4 - Criterio instalación	63
Tabla 42	
Matriz selección módulo 4 - Resultados.....	63
Tabla 43	
Matriz selección módulo 6 – Criterios	64
Tabla 44	
Matriz selección módulo 6 - Criterio visualización.....	64
Tabla 45	
Matriz selección módulo 6 - Criterio remoción	64
Tabla 46	
Matriz selección módulo 6 - Criterio secado	64
Tabla 47	
Matriz selección módulo 6 - Criterio tiempo	65
Tabla 48	
Matriz selección módulo 6 - Criterio fidelidad.....	65
Tabla 49	
Matriz selección módulo 6 - Resultados.....	65
Tabla 50	
Matriz selección módulo 9 – Criterios	66
Tabla 51	
Matriz selección módulo 9 - Criterio rapidez	66
Tabla 52	
Matriz selección módulo 9 - Criterio almacenamiento.....	66
Tabla 53	
Matriz selección módulo 9 - Criterio registro	66
Tabla 54	
Matriz selección módulo 9 - Criterio instalación	67
Tabla 55	
Matriz selección módulo 9 - Resultados.....	67
Tabla 56	
Soluciones de los diferentes módulos.....	67

Tabla 57	
Especificaciones técnicas - Gato mecánico	70
Tabla 58	
Motorreductores Bodine Electric Company	73
Tabla 59	
Especificaciones técnicas encoder superior	73
Tabla 60	
Chumaceras.....	74
Tabla 61	
Rodamiento UC205-16	75
Tabla 62	
Propiedades del acero AISI 304	77
Tabla 63	
Rodamientos de bola – NTN.....	81
Tabla 64	
Mecanismo agarre rápido – PROTEX.....	81
Tabla 65	
Selección - Rodamiento axial.....	87
Tabla 66	
Selección - Rodamiento radial	88
Tabla 67	
Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín.....	92
Tabla 68	
Especificaciones de la chumacera axial.....	94
Tabla 69	
Especificaciones de la chumacera radial	94
Tabla 70	
Cálculo de inercia – Soporte gabinetes.....	96
Tabla 71	
Motorreductores Bodine Electric Company.....	98
Tabla 72	
Volumen de agua requerido por prueba y total	99
Tabla 73	
Velocidad media en tuberías que origina diseños más económicos, según Richter.....	101
Tabla 74	
Diámetros de tuberías PVC comerciales	102
Tabla 75	
Coeficiente K – Cálculo de pérdidas de presión	108

Tabla 76	
Cálculo de pérdidas de presión – prueba IPX5.....	109
Tabla 77	
Cálculo de pérdidas de presión – prueba IPX6.....	109
Tabla 78	
Parámetros de selección para válvulas proporcionales	111
Tabla 79	
Coefficiente de caudal válvulas BELIMO	113
Tabla 80	
Características de válvulas ON/OFF.....	115
Tabla 81	
Características del Caudalímetro de 1 pulgada	116
Tabla 82	
Características del caudalímetro de 1/2 pulgada	116
Tabla 83	
Características de transductor de presión.....	117
Tabla 84	
Características de válvulas reguladoras de caudal.....	118
Tabla 85	
Elementos de control	119
Tabla 86	
Señales digitales del PLC	120
Tabla 87	
Características PLC Delta DVP20EX2.....	121
Tabla 88	
Características módulo Delta 24XP2	122
Tabla 89	
Corriente máxima admisible por los conductores eléctricos	123
Tabla 90	
Características de variador de frecuencia LS modelo SV004 iE5-2C	124
Tabla 91	
Características HMI Delta DOP-B07E515.....	132
Tabla 92	
Características de manómetro patrón.....	141
Tabla 93	
Datos recopilados de presión para la calibración del transductor.....	142
Tabla 94	
Datos recopilados para la calibración del caudalímetro de 1/2in	143

Tabla 95	
Datos recopilados para la calibración del caudalímetro de 1in	144
Tabla 96	
Datos para el cálculo de la distancia recorrida del dispositivo 1	145
Tabla 97	
Datos recopilados para la calibración del encoder superior.....	146
Tabla 98	
Recopilación de gastos	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Designación del Código IP.....	8
Figura 2 Especificaciones para la elaboración del dispositivo para las pruebas IPX1 e IPX2.....	13
Figura 3 Posición del espécimen para prueba IPX2	14
Figura 4 Especificaciones para el arco de rociado de las pruebas IPX3 e IPX4	16
Figura 5 Especificaciones para la boquilla de pulverizado pruebas IPX3 e IPX4	17
Figura 6 Especificaciones del Dispositivo para las pruebas IPX5 e IPX6 ...	18
Figura 7 QFD de la máquina.....	23
Figura 8 Análisis funcional máquina - Nivel 0	25
Figura 9 Análisis funcional de la máquina - Nivel 1	26
Figura 10 Montaje de Gabinete eléctrico	30
Figura 11 a) Soporte metálico b) Soporte metálico colocado en gabinete.	31
Figura 12 Sujeción por pernos	31
Figura 13 Mecanismo de agarre rápido de movimiento axial.....	32
Figura 14 Mecanismo de agarre rápido – sujetador metálico	32
Figura 15 Carro móvil.....	33
Figura 16 Soporte con rieles	33
Figura 17 Montaje gabinete sobre placa metálica.....	34
Figura 18 Transmisor de Presión.....	35
Figura 19 Transmisor de caudal	36
Figura 20 Válvula proporcional de fluido.....	36
Figura 21 Dispositivo 1- Pruebas IPX1 e IPX2.....	38
Figura 22 Mecanismo de elevación- tornillo sinfín	39
Figura 23 Mecanismo con rieles	39
Figura 24 Dispositivo 2 - Pruebas IPX3 IPX4.....	40
Figura 25 Dispositivo 3 y 4 - Pruebas IPX5 e IPX6.....	40
Figura 26 Motor Corriente Alterna – Mortorreductor	41
Figura 27 Inclinación del plato giratorio- Plato 90° con la vertical	42
Figura 28 Inclinación del plato giratorio -Plato inclinado a 15° con la vertical.....	43

Figura 29 Mecanismo con pasadores – Corte transversal	43
Figura 30 Mecanismo con pasadores-Vista superior	44
Figura 31 Inclinación de las cuatro caras - Mecanismo con pasadores	44
Figura 32 Mecanismo con topes	45
Figura 33 Mecanismo con topes (vista lateral).....	45
Figura 34 Inclinación de las cuatro caras - Mecanismo con topes.....	46
Figura 35 Papel testigo	47
Figura 36 Hoja de resultados	49
Figura 37 Soluciones Módulo 1	50
Figura 38 Soluciones Módulo 2.....	50
Figura 39 Soluciones Módulo 3.....	51
Figura 40 Soluciones Módulo 4.....	51
Figura 41 Soluciones Módulo 5.....	52
Figura 42 Soluciones Módulo 6.....	52
Figura 43 Soluciones Módulo 7.....	53
Figura 44 Soluciones Módulo 8.....	53
Figura 45 Soluciones Módulo 9.....	54
Figura 46 Estructura Interna y externa.....	69
Figura 47 Mecanismo de elevación - dispositivo 1	69
Figura 48 Conjunto Dispositivo 1- Mecanismo de elevación.....	71
Figura 49 Especificaciones técnicas - Variador	72
Figura 50 Sistema motriz – elementos.....	76
Figura 51 Vista isométrica - Soporte de gabinetes	78
Figura 52 Resultados de análisis de esfuerzo máximo - Soporte de gabinetes	78
Figura 53 Resultados de análisis de desplazamiento máximo – Soporte de gabinetes	79
Figura 54 Resultados del análisis de factor de seguridad - Soporte de gabinetes	80
Figura 55 Diseño 3D de la placa con soporte	82
Figura 56 Resultados de análisis de esfuerzo máximo – Plato.....	82
Figura 57 Resultados de análisis de desplazamiento máximo.....	83
Figura 58 Resultados de análisis de factor de seguridad.....	84
Figura 59 Conjunto mecanismo de inclinación.....	85

Figura 60 Diagrama de cuerpo libre soporte gabinetes – plato.....	86
Figura 61 Esfuerzo máximo - mecanismo de inclinación	88
Figura 62 Diagrama de fuerzas - eje motor.....	89
Figura 63 Factor teórico de concentración de esfuerzo	90
Figura 64 Sensibilidad a la muesca	91
Figura 65 Límite de resistencia la fatiga contra resistencias.....	92
Figura 66 Factor de modificación del tamaño	92
Figura 67 Ubicación de chumaceras en soporte de mecanismo de inclinación	93
Figura 68 Conjunto soporte de gabinete - Mecanismo de inclinación	95
Figura 69 Inercia total del sistema	96
Figura 70 Diagrama unifilar del sistema hidráulico	100
Figura 71 Esquema boquilla IPX5.....	103
Figura 72 Esquema boquilla IPX6.....	105
Figura 73 Curva de rendimiento hidráulico – Bombas LEO	110
Figura 74 Características de bomba de agua	110
Figura 75 Especificaciones generales de válvulas proporcionales	114
Figura 76 Diagrama de flujo del control	125
Figura 77 Diagrama de flujo –Inicialización.....	126
Figura 78 Diagrama de flujo –Direccionar flujo	127
Figura 79 Diagrama de flujo - Adquisición de señales	128
Figura 80 Diagrama de flujo - Control de actuadores.....	129
Figura 81 Diagrama de flujo - Visualización de variables.....	130
Figura 82 Control sistema hidráulico.....	131
Figura 83 Control sistema neumático.....	132
Figura 84 Pantalla de inicio - HMI	133
Figura 85 Pantalla de menú de pruebas	133
Figura 86 Pantalla prueba IPX1	134
Figura 87 Pantalla prueba IPX2.....	134
Figura 88 Pantalla prueba IPX3, IPX4	135
Figura 89 Pantalla prueba IPX5, IPX6	135
Figura 90 Servicio técnico – Clave.....	136
Figura 91 Servicio técnico - Sistemas.....	136
Figura 92 Servicio técnico - Sistema motriz	137

Figura 93 Servicio técnico - Mecanismo de elevación	137
Figura 94 Servicio técnico - Sistema hidráulico	138
Figura 95 Servicio técnico - Sistema neumático	138
Figura 96 Servicio técnico - Alarmas.....	139
Figura 97 Pantalla de ACERCA DE	139
Figura 98 Ensamble final de máquina de comprobación IP	140
Figura 99 Cuadro Pulsos PLC vs Presión.....	142
Figura 100 Cuadro Pulsos PLC vs Caudal caudalímetro de 1/2in	144
Figura 101 Cuadro Pulsos PLC vs Caudal caudalímetro de 1in	145
Figura 102 Puntos críticos de ingreso de agua.....	147
Figura 103 Gabinete con papel testigo	147
Figura 104 Inspección final gabinete I-0311 - Prueba IPX1	148
Figura 105 Inspección final puerta I-0311 - Prueba IPX1.....	148
Figura 106 Inspección final de la prueba IPX2.....	149
Figura 107 Inspección final puerta gabinete I-0313 - Prueba IPX4	150
Figura 108 Inspección final gabinete I-0313 - Prueba IPX4	150
Figura 109 Inspección final gabinete I-0313 - Prueba IPX5	151
Figura 110 Inspección final gabinete I-0313 - Prueba IPX6	152
Figura 111 Etiqueta de especificación de protección IP de gabinetes de servicio pesado de INSELEC CIA. LTDA.....	153

RESUMEN

El presente proyecto, plantea el diseño e implementación de una máquina semi automática para la comprobación del segundo número característico dentro de la norma IEC – 60529 para los gabinetes de servicio pesado que actualmente produce la empresa INSELEC CIA. LTDA en la línea BEAUCOUP. El proyecto cuenta con varios sistemas como: sistema motriz, sistema de elevación, sistema neumático y sistema hidráulico los mismos que complementados constituyen la parte mecánica y de control de la máquina. En dichos sistemas están inmersos actuadores y sensores como: motores, válvulas proporcionales reguladoras de caudal, válvulas encendido/apagado, válvulas reguladoras de presión, sensores de presión y sensores de caudal y encoders. Todos estos elementos de control conjuntamente con un PLC ayudan a controlar y supervisar variables de presión, caudal y distancia que demanda la norma en cada una de las pruebas. Al final del proyecto, la empresa está en capacidad de evidenciar de una forma técnica, si su producto cumple con el grado de protección IPX1 hasta IPX6.

PALABRAS CLAVE

ESPÉCIMEN DE PRUEBA

CÓDIGO IP

NORMA NACIONAL NTE INEN 2569

IEC-60529

DISPOSITIVOS DE PRUEBAS

ABSTRACT

This project proposes the design and implementation of a semi automatic machine for testing the second characteristic numeral within the IEC - 60529 for heavy-duty cabinets BEAUCOUP currently produces Inselec CIA. LTDA company. The project has several systems such as drive system, lift system, pneumatics and hydraulics which are complemented and the mechanical part and machine control. In such systems are embedded some actuators and sensors as motors, regulatory proportional flow valves, valves on / off, pressure control valves, pressure sensors and flow sensors and encoders. All these elements together PLC help control and monitor variables as pressure, flow and distance demanded by the standard in each of the tests. At the end of the project, the company is able to demonstrate a from a technique way, if their product meets the degree of protection IPX1 to IPX6.

KEYWORDS

TEST SPECIMEN

IP CODE

NATIONAL STANDARD NTE INEN 2569

IEC-60529

PROOFERS

Capítulo I

En el capítulo se describe, de manera general el proceso de fabricación de los gabinetes para equipos eléctricos y electrónicos de la empresa INSELEC CIA. LTDA. Posteriormente, se detalla la justificación, los objetivos, el alcance y la descripción del problema del proyecto.

1. Antecedentes

La empresa INSELEC CIA. LTDA. en su línea de productos BEAUCOUP, que se refiere únicamente a la fabricación de gabinetes de equipos eléctricos y electrónicos, trabaja con la norma IEC – 60529. Esta norma establece los requisitos de los grados de protección (código IP) que deben cumplir los gabinetes, tableros, racks o cualquier recinto que contenga equipos eléctricos y electrónicos. Así como la inspección que se realiza a los mismos para determinar si cumplen con la norma.

La norma IEC-60529 consta de dos números característicos los cuales describen el nivel de protección que ofrece un producto. El primer número, que va desde 0 al 6, trata de la protección contra el ingreso de objetos sólidos mientras que el segundo número, que va desde el 0 al 8, se refiere a la protección contra el ingreso de agua con efectos perjudiciales. Además consta de dos letras opcionales al final, las cuales indican parámetros especiales.

La metodología utilizada en la empresa para comprobar la protección del segundo número característico que el producto ofrece es: realizar pruebas tomando una muestra de cada lote de producción y dejarla a la intemperie para así bañarla con agua a presión proveniente de una manguera conectada a la red de distribución de agua. A pesar de que con este procedimiento el gabinete no presenta rastros de agua en su interior, no es el método que la norma determina para garantizar que un producto brinda la protección que indica.

1.1 Descripción de producción de gabinetes BEAUCOUP

- **Selección de Materiales.**

La selección de materiales y accesorios tienen fundamental importancia en la fabricación de productos BEAUCOUP. Las láminas de acero, cerraduras, empaquetaduras, pernos, tornillería, tuercas, pintura, etc., son seleccionados de manera que cumplan normas y especificaciones técnicas. Optando por la importación de dichos componentes de Alemania, Brasil, Taiwán y otros países.

- **Proceso de Fabricación Mecánica.**

El proceso de fabricación de la línea BEAUCOUP, se lo realiza de una forma cuidadosa y aplicando ciertas normas técnicas. Primeramente, se realiza el corte de la lámina de acero, continúa por el punzonado, plegado y troquelado y finalmente pasa a la sección de suelda de punto o MIG. Terminada la etapa de soldadura, los productos son pulidos y acabados antes de recibir la capa de pintura.

- **Pintura.**

Las piezas pasan por un pre tratamiento para posteriormente ser pintadas. En este proceso las partes se desengrasan, fosfatizan y reciben un baño sellante. Continúan al módulo de secado para llegar a la cámara de pintura y luego al horno de tratamiento final y recibir los productos listos para el ensamble.

La Pintura utilizada es de resina poliéster, aplicada por el proceso electrostático y horneada entre 180° y 200° centígrados lo cual proporciona alta adherencia, dureza y larga vida.

- **Ensamble y Armado.**

En el departamento de ensamble se colocan los accesorios y se finaliza con un estricto control de calidad y embalaje del producto.

- **Sujeción a Normas.**

Cada producto de acuerdo con su modelo y aplicación cumple con las respectivas normas:

- EIA-310-D / CEA-310-E / IEC297-2
- IEC-60529
- NTE INEN 2568 / NTE INEN 2569
- CERTIFICACION ISO 9001-2008

1.2 Justificación

El Ecuador cuenta con el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) el cual es encargado de realizar normas y adaptar normas internacionales para regirlas en nuestro país. Es así el caso de la norma IEC 60529, la cual es una norma internacional que ha sido tomada como base para la norma NTE INEN 2569.

En el país no existe la maquinaria necesaria o laboratorios especializados en el área de control de calidad, que verifiquen que la norma IEC – 60529 se cumpla a cabalidad en los productos, es por este motivo, que el presente proyecto propone el diseño e implementación de una máquina con la cual se puedan realizar dichas pruebas que demanda la norma IEC-60529 para el segundo número característico, desde el IPX1 hasta el IPX6, y de esta manera tener un sistema de verificación de la línea de productos de gabinetes electrónicos BEAUCOUP fabricados por INSELEC CIA. LTDA.

El planteamiento del presente proyecto también sienta un precedente importante para INSELEC CIA. LTDA. ya que sería la primera empresa en el Ecuador en poseer una máquina y proceso para verificar que un producto está fabricado bajo la norma IEC-60529 y cumple con el segundo número característico desde IPX1 al IPX6.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir una máquina para comprobar el segundo número característico, desde el IPX1 hasta el IPX6 de la norma IEC – 60529, para gabinetes de equipos electrónicos de la línea de productos BEAUCOUP de la empresa INSELEC CIA. LTDA.

1.3.1.1 Objetivos específicos

1. Sintetizar las normas IEC 60529, INEN 2569 y recopilar variables principales que serán medidas y controladas.
2. Descomponer el proyecto por medio de módulos y realizar ingeniería concurrente.
3. Conceptualizar y simular los sistemas seleccionados en la ingeniería concurrente.
4. Construir los sistemas acorde a los resultados de las matrices de selección.
5. Probar la integración de los sistemas e interpretar resultados.

1.4 Alcance del proyecto

El presente proyecto de grado tendrá como finalidad mejorar el control de calidad de la línea de productos BEAUCOUP, aplicando las pruebas que se establecen en la norma IEC – 60529 con respecto al segundo número característico desde el IPX1 hasta el IPX6, para lo cual se cumplirán las siguientes actividades:

- Diseño e implementación del sistema hidráulico para el abastecimiento de agua.
- Diseño e implementación del sistema neumático para realizar el control de las pruebas IPX1 e IPx2.
- Diseño e implementación de la estructura mecánica donde irán montados los gabinetes.

- Diseño e implementación de los dispositivos para realizar las pruebas en base a lo establecido en la norma IEC – 60529.
- Diseño e implementación del sistema motriz para el montaje de los gabinetes de prueba.
- Diseño e implementación del tablero eléctrico donde se localizarán la parte de control y potencia de la máquina.
- Desarrollo del software de control, HMI.
- Integración de sistemas mecánico, eléctrico-electrónico y de control.
- Documentación técnica (planos, cálculos, manuales) para la implementación, manejo y mantenimiento de la máquina.
- Pruebas y análisis de los resultados obtenidos.

1.4.1 Descripción del proyecto

El proyecto se basa en realizar el diseño e implementación de una máquina en cuyo interior se puedan realizar las pruebas para el segundo número característico desde el IPX1 hasta el IPX6 que la norma IEC – 60529 demanda. Para el diseño de la máquina se toma en cuenta un grupo de los gabinetes eléctricos de servicio pesado que la empresa INSELEC CIA. LTDA. Fabrica en su línea de productos BEAUCOUP los mismos que se detallan en la Tabla 1 y que se someterán a las pruebas de verificación del cumplimiento de la Norma IEC-60529.

Tabla 1
Especificaciones de los especímenes de prueba en INSELEC

CÓDIGO	ALTO	ANCHO	FONDO	PESO
	[mm]	[mm]	[mm]	[Kg]
I-0311	200	200	150	4
I-0312	300	200	150	4.9
I-0313	300	300	200	6.8
I-0314	400	300	200	8.9
I-0315	300	400	200	8.9
I-0316	400	400	200	10.3
I-0317	600	400	200	13.4
I-0318	400	600	200	13.4
I-0319	600	600	200	18.5
I-0319-1	600	500	200	18.3

Fuente: (Inselec Cia Ltda., 2012)

Capítulo II

2. Marco teórico

En el capítulo, se describen brevemente las normas NTE INEN 2569 e IEC-60529, centrándose en la sección correspondiente al segundo dígito del grado de protección IP.

2.1 Normas referenciales

A nivel mundial, se forman instituciones reconocidas que se encargan de analizar diferentes parámetros y factores, con el objetivo de crear normas las cuales deben seguirse con severidad para brindar un producto de calidad y ofrecer confianza al consumidor.

En el área eléctrico-industrial las principales instituciones que se encargan de estos análisis son IEC (International Electrotechnical Commission), NEMA (National Electrical Manufacturers Association), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), ANSI (American National Standards Institute). En el Ecuador, el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) toma como referencia normas internacionales y las ajusta para que puedan regirse en el Ecuador, tal es el caso de la Norma NTE INEN 2569 que es una adaptación de la norma internacional IEC-60529.

2.2 Norma NTE INEN 2569

El objetivo de esta norma es describir un sistema para clasificar los grados de protección que ofrecen los gabinetes, tableros o recintos que contengan equipos eléctricos o electrónicos. Dichos equipos tendrán una tensión nominal no superior a 72,5 kV.

Si un gabinete, tablero, rack o cualquier recinto que contenga equipos eléctricos o electrónicos tienen diferentes grados de protección para los distintos montajes, los grados de protección pertinentes deben ser indicados por el fabricante en las instrucciones.

De acuerdo a la simbología, el grado de protección está indicado por el código IP de la siguiente manera (Figura 1):

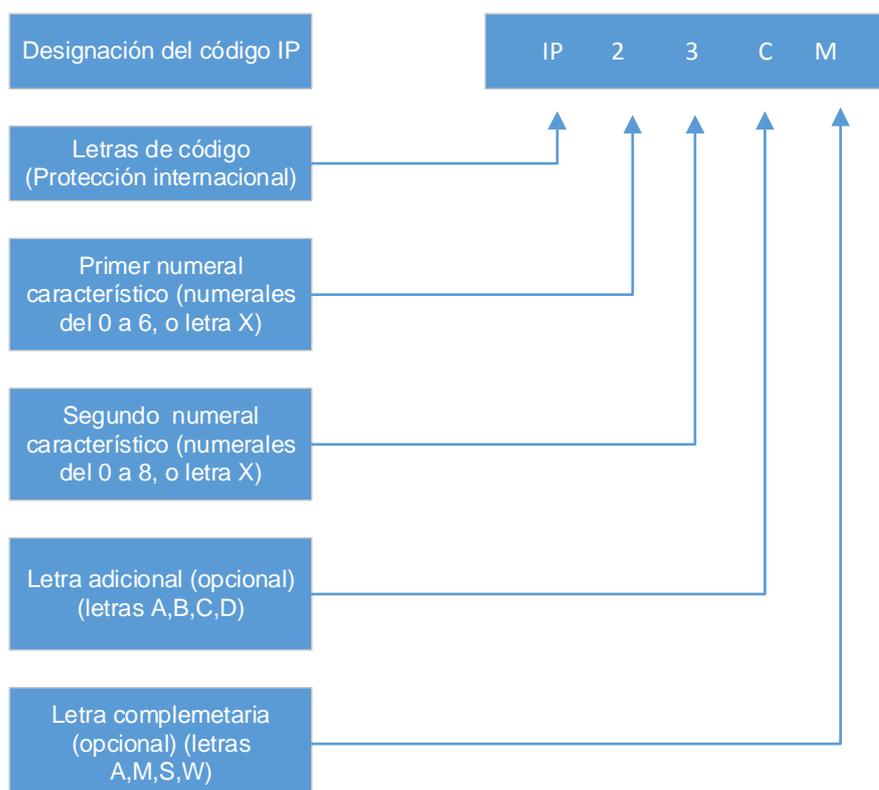


Figura 1 Designación del Código IP

Fuente: (IEC, 1999)

Puede existir el caso, que una cifra característica no sea necesario especificarla, en cuyo caso debe ser sustituida por la letra "X" ("XX", si se omiten los numerales), mientras que las letras adicionales pueden ser omitidas sin ser reemplazadas.

La primera cifra característica, como se puede ver en la Tabla 2 , se refiere a la protección que entrega el gabinete, tablero, etcétera, contra el acceso de una parte del cuerpo humano, un objeto o cuerpos sólidos extraños.

Tabla 2
Descripción de numerales y letras para la codificación

Elemento	Numerales o letras	Significado para la protección equipos	Significado para la protección de personas
Letra código	IP	-	-
primer numeral característico	-	Contra el ingreso de sólidos extraños	Contra el acceso a partes peligrosas con:
	0	No protegido	No protegido
	1	≥ 50mm de diámetro	Mano
	2	≥12.5 mm de diámetro	Dedo
	3	≥2.5 mm de diámetro	Herramienta
	4	≥1.0 mm de diámetro	Alambre
	5	Protegido contra el polvo	Alambre
	6	Herético al polvo	Alambre
Segundo numeral característico	-	Contra el ingreso de agua con efectos perjudiciales	
	0	No protegido	
	1	Goteo vertical	
	2	Goteo 15o de inclinación	
	3	Pulverizado	
	4	Salpicado	
	5	Chorro	
	6	Chorro fuerte	
	7	Inmersión Temporal	
	8	Inmersión continua	
Letra adicional opcional			Contra el acceso a partes peligrosas con:
	A		Mano
	B		Dedo
	C		Herramienta
	D		Alambre
Letra complementaria (opcional)		Información complementaria específica a:	
	H	Aparatos de alto voltaje	
	M	Móvil durante prueba de agua	
	S	Inmóvil durante prueba de agua	
	W	Condiciones de clima	

Fuente: (IEC, 1999)

De manera más detallada, en la Tabla 3 se muestra el significado del primer numeral característico.

Tabla 3
Grados de protección indicadas por el primer numeral característico

Primer número característico	Grados de protección	
	Descripción	Definición
0	No protegido	-
1	Protegido contra el acceso a partes peligrosas con la mano	El acceso de la sonda, esfera 50mm de diámetro , debe tener una separación adecuada de las partes peligrosas
2	Protegido contra el acceso a partes peligrosas con un dedo	El dedo de prueba de 12 mm de diámetro , 80mm de longitud, debe tener una separación adecuada de las partes peligrosas
3	Protegido contra el acceso a partes peligrosas con una herramienta	La sonda de acceso de 2.5mm de diámetro no debe penetrar
4	Protegido contra el acceso a partes peligrosas con un alambre	La sonda de acceso de 1.0mm de diámetro no debe penetrar
5	Protegido contra el acceso a partes peligrosas con un alambre	La sonda de acceso de 1.0mm de diámetro no debe penetrar
6	Protegido contra el acceso a partes peligrosas con un alambre	La sonda de acceso de 1.0mm de diámetro no debe penetrar

Fuente: (IEC, 1999)

La segunda cifra característica indica el grado de protección con respecto a los efectos perjudiciales debido al ingreso de agua.

En la Figura 3 se muestra una breve descripción y definición de la protección de cada número, tomando como consideración que: “Hasta el numeral 6, además incluyendo el numeral 6 del segundo numeral característico, la designación implica también el cumplimiento de los requisitos de los numerales característicos anteriores al numeral 6” (p. 6) (IEC, 1999)

Tabla 4
Grados de protección contra agua

Segundo numeral característico	Grados de protección	
	Descripción	Definición
0	No protegido	-
1	Protegido contra la caída vertical de gotas de agua	La caída vertical de gotas de agua no debe tener efectos perjudiciales
2	Protegido contra la caída vertical de gotas de agua cuando el recinto esta girado hasta los 15°	La caída vertical de gotas de agua no debe tener efectos perjudiciales cuando el recinto está girando a un ángulo de hasta 15° en cualquier lado de la vertical
3	Protegido contra agua pulverizada	Agua pulverizada hasta un ángulo de 60° en cualquier lado de la vertical no debe tener efectos perjudiciales
4	Protegido contra salpicado de agua	Agua salpicada contra el recinto desde cualquier dirección no debe tener efectos perjudiciales
5	Protegido contra un chorro de agua	Un chorro de agua proyectada contra el recinto desde cualquier dirección no debe tener efectos perjudiciales
6	Protegido contra un chorro fuerte de agua	Un chorro de agua fuerte proyectada contra el recinto desde cualquier dirección no debe tener efectos perjudiciales
7	Protegido contra efectos de inmersión temporal en agua	No debe ingresar agua en cantidades que causen efectos perjudiciales cuando el recinto es temporalmente sumergido en agua bajo condiciones estandarizadas de tiempo y presión.
8	Protegido contra efectos de inmersión continua en agua	No debe ingresar agua en cantidades que causen efectos perjudiciales cuando el recinto es sumergido de forma continua en agua, bajo condiciones que deben acordarse entre el fabricante y el usuario, pero que son más exigentes que el numeral 7

Fuente: (IEC, 1999)

Para verificar que se cumpla con los requisitos de esta norma, se describen también los ensayos que deben realizarse. Los métodos de ensayo

para cumplir la norma INEN 2569, deben realizarse de acuerdo a la Norma IEC-60529.

2.2.1 Norma IEC-60529

Para la comprobación del segundo numeral característico se debe tomar en cuenta que el agua debe ser fresca y no tener solventes.

Las pruebas de protección contra agua, indicadas por el segundo número característico, se describen de una forma resumida en la Tabla 5:

Tabla 5
Condiciones y significado de las pruebas

Segundo número característico	Prueba	Flujo de agua	Duración de la prueba
0	No se necesitan pruebas	-	-
1	Goteo en la caja, incluido plataforma giratoria	1 +0.5 mm/min	10min
2	Goteo en la caja, caja en 4 posiciones fijas inclinación 15°	3 +0.5 mm/min	2.5 min por cada cara
3	Boquilla de pulverización, rociado 60° de la vertical	0.07 l/min ± 5% por hoyo, multiplicado por el número de hoyos 10 l/min ± 5%	10 min 1min/m ² (por lo menos 5 min)
4	Rociado 180° de la vertical	Como para el numeral 3	
5	Chorro de agua, boquilla de 6.3mm de diámetro , 2.5m hasta 3m de distancia	12.5 l/min ±5%	1min/m ² (por lo menos 3min)
6	Chorro de agua, boquilla de 12.5mm de diámetro , 2.5m hasta 3m de distancia	10 l/min± 5%	1min/m ² (por lo menos 3min)
7	Inmersión del gabinete en agua, 0.15m por encima de la parte superior 1m por encima del fondo	-	30 min
8	Inmersión en tanque de agua	-	Por acuerdo

Fuente: (IEC, 1999)

Las pruebas que la norma demanda que se cumplan, se realizan bajo las siguientes condiciones:

1. Prueba IPX1: Este ensayo se lo realiza con un dispositivo que produce un flujo uniforme de gotas de agua sobre la totalidad del área del espécimen de prueba, dicho dispositivo (Figura 2) consta de la separación entre agujeros 20mm. El plato giratorio, sobre el que se coloca el espécimen de prueba, tiene una velocidad de rotación de 1 RPM y la excentricidad (distancia entre eje de placa giratoria y el eje de la muestra) es de aproximadamente 100mm.El espécimen para la prueba, debe ser fijado, en su posición normal de funcionamiento, a una tabla de madera que tiene dimensiones que son iguales a las de la cara de la caja que está en contacto con la pared. La prueba dura 10 minutos.

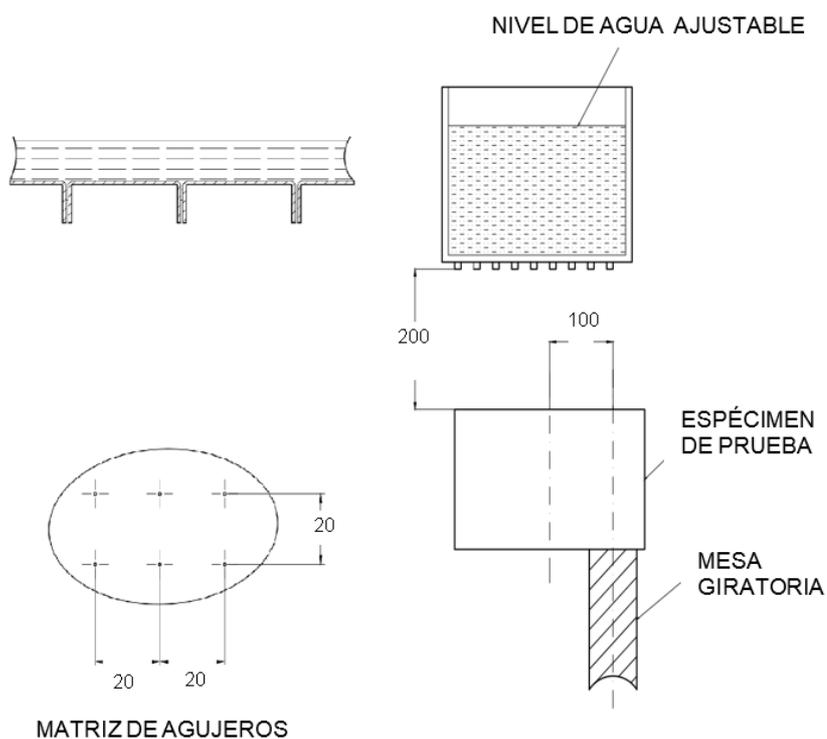


Figura 2 Especificaciones para la elaboración del dispositivo para las pruebas IPX1 e IPX2

Fuente: (IEC, 1999)

2. Prueba IPX2: el dispositivo empleado es el mismo que para la prueba IPX1, al espécimen de prueba se lo pone 2.5 minutos en cada una de las cuatro posiciones fijas de inclinación. Estas posiciones son 15° a cada lado de la vertical en dos planos mutuamente perpendiculares (Figura 3). La duración total de la prueba es de 10 minutos.

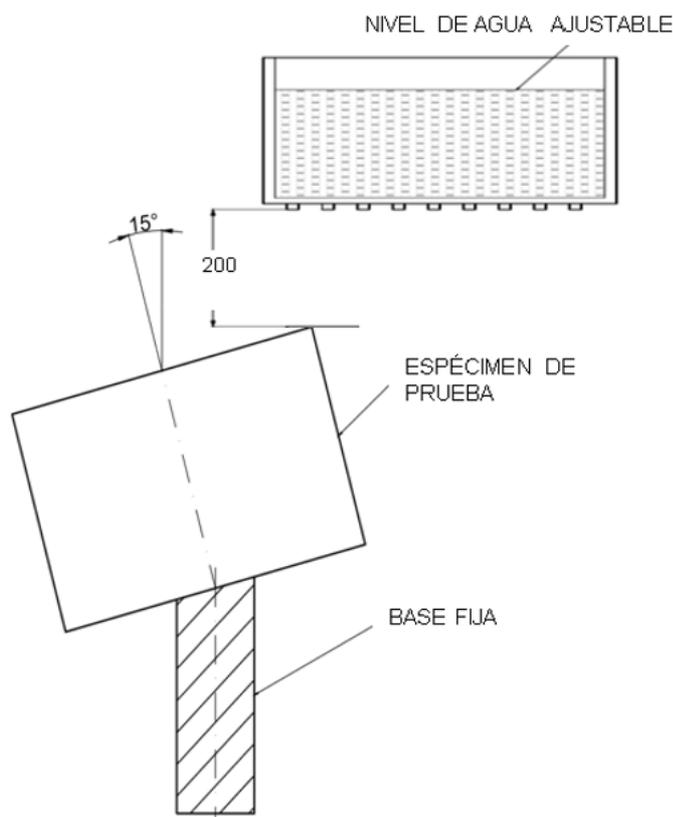


Figura 3 Posición del espécimen para prueba IPX2

Fuente: (IEC, 1999)

3. Prueba IPX3: Para esta prueba existe la posibilidad de utilizar dos dispositivos distintos siendo cada uno de ellos capaz de certificar si un espécimen de prueba cumple con la protección IPX3 e IPX4. Estos dispositivos son el arco de rociado y la boquilla de pulverizado.

Cuando se utiliza el arco de rociado la velocidad de flujo total se ajusta tal como se especifica en la Tabla 6.

Tabla 6
Condiciones de flujo de agua para IPX3 e IPX4, Flujo por hoyo
 $q_{vl}=0,07$ l/min

Radio R	Grado IPX3		Grado IPX4	
	Número de hoyos abiertos	Flujo total de agua Q_v	Número de hoyos abiertos	Flujo total de agua q_v
mm	N ¹⁾	L/min	N ¹⁾	L/min
200	8	0.56	12	0.84
400	16	1.1	25	1.8
600	25	1.8	37	2.6
800	33	2.3	50	1
1000	41	2.9	62	4.3
1200	50	3.5	75	5.3
1400	58	4.1	87	6.1
1600	67	4.7	100	7

Dependiendo de la disposición real de los centros de los agujeros en la distancia especificada, el número de agujeros abiertos N puede ser aumentado por 1.

Fuente: (IEC, 1999)

El tubo oscilante está provisto de agujeros de rociado sobre un arco de 60° a cada lado del punto central. El radio máximo aceptable del tubo oscilante es de 1.600 mm (Figura 4). El espécimen de prueba se coloca en el punto de centro del semicírculo. El tubo se hace oscilar a través de un ángulo de 120°, 60° a cada lado de la vertical, el tiempo de una oscilación completa (2 x120°) es aproximadamente 4s por lo que la duración de ensayo es 5 minutos. El espécimen de prueba gira un ángulo horizontal de 90° para continuar el ensayo durante otros 5 min.

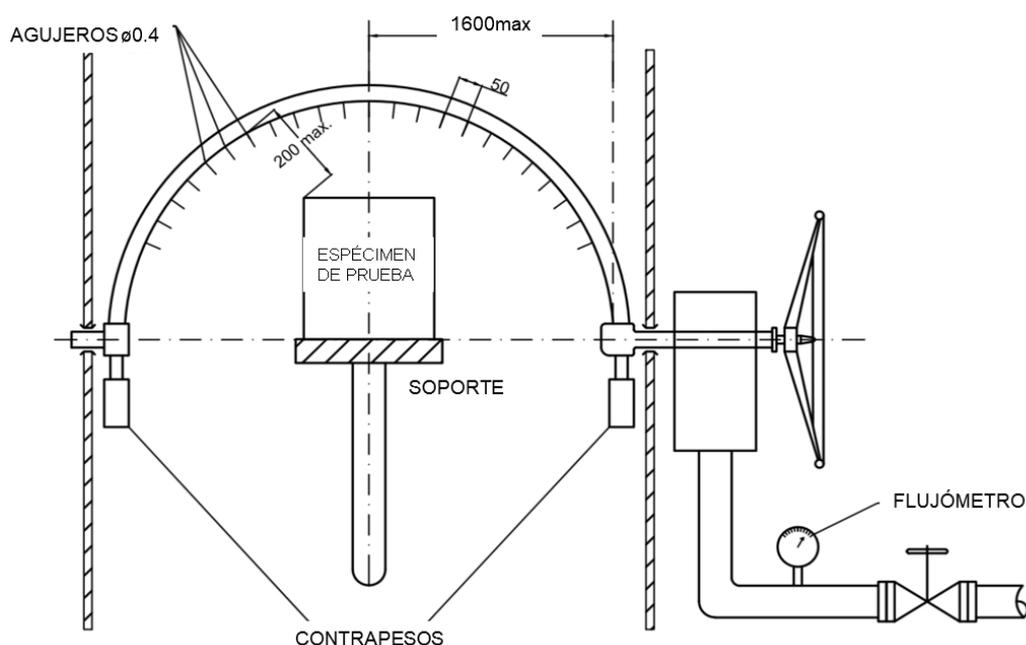


Figura 4 Especificaciones para el arco de rociado de las pruebas IPX3 e IPX4

Fuente: (IEC, 1999)

Si se escoge la opción de la boquilla de pulverizado (Figura 5), el escudo de contrapeso debe estar en su lugar. La presión del agua se ajusta para dar el flujo especificado en la Tabla 6 y se mide con un medidor de caudal. La presión para realizar esta prueba deberá estar en el rango de 50 a 150kPa que deberá mantenerse constante durante el tiempo que se desarrolla la prueba.

La duración del ensayo es de 1 min por m^2 del área superficial calculada de la carcasa (excluyendo cualquier superficie de montaje), con una duración mínima de 5 minutos.

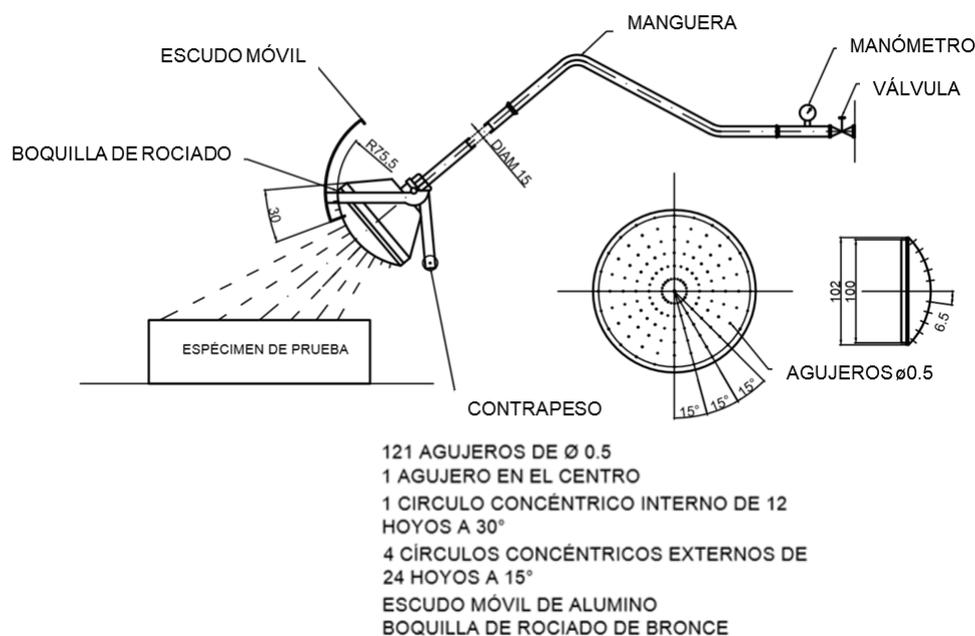


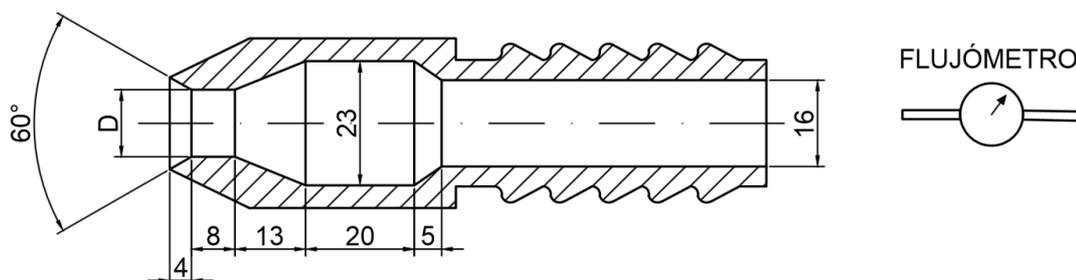
Figura 5 Especificaciones para la boquilla de pulverizado pruebas IPX3 e IPX4

Fuente: (IEC, 1999)

Prueba IPX4: De la misma forma que para la IPX3, se pueden utilizar los dos dispositivos para la prueba. Cuando se utiliza el arco de rociado, éste tiene agujeros alrededor de 180° del semicírculo. El caudal total se ajusta tal como se especifica en la Tabla 6 y se mide con un medidor de flujo. El tubo se hace oscilar a través de un ángulo de casi 360°, 180° a cada lado de la vertical, el tiempo de una oscilación completa (2 x 360°) que es aproximadamente 12s. La duración de la prueba es de 10 minutos.

Si se utiliza la boquilla de pulverizado, el escudo se retira de la boquilla y el espécimen se pulveriza desde todas las direcciones posibles. La duración del ensayo es de 1 min por m² del área superficial calculada de la carcasa (excluyendo cualquier superficie de montaje), con una duración mínima de 5 minutos.

4. Prueba IPX5: El ensayo se realiza lanzando un chorro de agua desde todas las direcciones posibles al espécimen de prueba desde una boquilla con las características que se muestran en la Figura 6.



D' = 6,3 para la prueba del segundo número característico del numeral 5
 D' = 12,5 para la prueba del segundo número característico del numeral 5

Figura 6 Especificaciones del Dispositivo para las Pruebas IPX5 e IPX6

Fuente: (IEC, 1999)

Las condiciones que deben ser observadas se detallan en la Tabla 7

Tabla 7
Condiciones para la prueba IPX5

Condición	Valor
Diámetro interno de la boquilla:	6,3 mm
Caudal:	12,5 l / min \pm 5%
Presión de agua:	ajustar para lograr el caudal especificado
Núcleo de la corriente sustancial:	círculo de aproximadamente 40 mm de diámetro
Prueba de duración por metro cuadrado de área de superficie del espécimen:	duración mínima dl ensayo: 3 min
Distancia de la boquilla a la superficie de la caja:	entre 2,5 m y 3 m.

Fuente: (IEC, 1999)

5. Prueba IPX6: Se realiza de manera similar que la prueba IPX5 con las condiciones y características que se indican en la Tabla 8.

Tabla 8
Condiciones para la prueba IPX6

Condición	Valor
Diámetro interno de la boquilla:	12,5 mm
Caudal:	100 l / min \pm 5%
Presión de agua:	ajustar para lograr l caudal especificado
Núcleo de la corriente sustancial:	Círculo de aproximadamente 120mm de diámetro a una distancia de 2,5 m de la boquilla
Prueba de duración por metro cuadrado de área de superficie del espécimen:	1 min; duración mínima del ensayo: 3 min
Distancia de la boquilla a la superficie de la caja:	entre 2,5m y 3 m.

Fuente: (IEC, 1999)

Capítulo III

3. Diseño conceptual

Debido a que el beneficiario directo del proyecto es una empresa privada, se deben aplicar métodos de gestión de calidad como es el "Despliegue de función de calidad (QFD)", el cual transforma las necesidades del cliente en calidad del producto. Los resultados arrojados por el cuadro se utilizan como base para el diseño con determinado orden y jerarquía.

3.1 Requerimientos del cliente

El diseño de la máquina a realizarse, depende en un gran porcentaje de los requerimientos generales del cliente, los cuales se presentan en la Tabla 9

Tabla 9
Requerimientos del cliente

N.	Requerimientos del cliente
1	Realizar pruebas IPX1-IPX6 bajo la norma IEC-60529
2	Procesos de comprobación 3 veces por semana
3	Comprobación de gabinetes de ciertas medidas (máx. 600cm x600cm)
4	Fácil manejo, control y visualización del proceso
5	Fácil reparación
6	Consumo óptimo de recursos propios de la empresa
7	Resistente a la corrosión

3.2 Requerimientos técnicos

Los requerimientos o necesidades del cliente se los transforman a requerimientos técnicos como se puede observar en la Tabla 10 con la

intensión de posteriormente diseñar y seleccionar elementos que intervienen en la máquina.

Tabla 10
Requerimientos técnicos

N.	Requerimientos técnicos	Vías de selección de variables del sistema (medir, cuantificar o seleccionar)
1	Control de variables de los sistemas	Control de parámetros: presión, caudal, tiempo y velocidad de rotación
2	Estabilidad de las estructuras mecánicas	Análisis de esfuerzos
3	Geometría	Peso, dimensiones
4	Interfaz gráfica	Estructura de la interfaz hombre maquina
5	Mantenimiento	Cantidad de mantenimientos anual. Manual de mantenimiento, de usuario y del operador
6	Optimización de materiales existentes	Costos
7	Propiedades del material y Acabado superficial	Materiales anticorrosivos

3.3 QFD del la máquina

Después de traducir los requerimientos del cliente a requerimientos técnicos, se relacionan estos dos conceptos con la llamada "Matriz de la Calidad". Para su respectiva ponderación se utilizan las siguientes calificaciones (Tabla 11).

Tabla 11
Ponderación requerimientos clientes- técnicos

Símbolo	Correlación	Puntos
++	Relación muy fuerte	9
+	Relación fuerte	7
+-	Relación media	5
-	Relación baja	3
--	Relación muy baja	1

De forma similar se califica la correlación que existe entre los requerimientos técnicos (Tabla 12).

Tabla 12

Ponderación correlación entre requerimientos técnicos

Símbolo	Relación	Puntos
	Relación fuerte	9
	Relación media	3
	Relación baja	1

Utilizando las ponderaciones de las Tabla 11 y Tabla 12 se procede a realizar el QFD (Figura 7) con el objetivo de determinar el orden de diseño de los diferentes elementos del sistema. De forma ampliada la matriz se encuentra en el Anexo 1.

SISTEMA QFD		REQUERIMIENTOS TÉCNICOS						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Control de variables de los sistemas							
2	Estabilidad de las estructuras mecánicas	+-						
3	Geometría	+-	++					
4	Interfaz gráfica	+-	--	--				
5	Mantenimiento	+-	+-	++	-			
6	Autofabricación	-	++	++	-	+		
7	Acabado superficial	++	+	+	-	+	+	

REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE		IMPORTANCIA	PESO RELATIVO	1	2	3	4	5	6	7
				Control de variables de los sistemas	Estabilidad de las estructuras mecánicas	Geometría	Interfaz gráfica	Mantenimiento	Autofabricación	Acabado superficial
1	Realizar pruebas bajo la norma IEC-60529	10	20.4	■	●	●	●	▲	▲	▲
2	Procesos de comprobación 3 veces por semana	6	12.2	⊙	■	●	●	●	⊙	⊙
3	Comprobación de gabinetes de ciertas medidas(máx. 600cm x600cm)	8	16.3	▲	⊙	■	▲	●	⊙	●
4	Fácil manejo, control y visualización del proceso	5	10.2	▲	▲	●	■	▲	▲	▲
5	Fácil reparación	6	12.2	●	●	●	▲	■	⊙	●
6	Consumo óptimo de recursos de la empresa	10	20.4	▲	⊙	⊙	▲	▲	■	⊙
7	Resistencia a la corrosión	4	8.2	▲	⊙	⊙	▲	●	●	■
TOTAL		49	100.0							
IMPORTANCIA				20	51	42	16	16	42	41
PESO RELATIVO				8.8	22.4	18.5	6.8	7.1	18.5	17.9
UNIDADES DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS				psi, l/min, s, rpm	Mpa	Kg, m	Megapixeles, MHz	0-2	\$	μm

Figura 7 QFD de la máquina

Para análisis de los resultados, se obtienen los pesos relativos los cuales dan la importancia de cada criterio en la fabricación de la máquina (Tabla 13).

Tabla 13
Resultados del QFD

Jerarquía de diseño	Especificación cliente	Especificación técnica	Peso relativo
1	Procesos de comprobación 3 veces por semana	Estabilidad de las estructuras mecánicas	22.4
2	Comprobación de gabinetes de ciertas medidas (máx.600x600cm)	Geometría	18.5
3	Consumo óptimo de recursos de la empresa	Costos	18.5
4	Resistencia a la corrosión	Acabado superficial	17.9
5	Realizar pruebas bajo la norma IEC-60529	Control de variables de los sistemas	8.8
6	Fácil reparación	Mantenimiento	7.1
7	Fácil manejo, control y visualización del proceso	Interfaz gráfica	6.8

Teniendo en cuenta los resultados, se procede a dividir al proyecto en funciones para posteriormente realizar el diseño modular.

3.4 Análisis funcional

La función principal de la máquina es: Comprobar la norma IEC 60529 (IPX1-IPX6) a gabinetes eléctricos, como se muestra en la Figura 8.

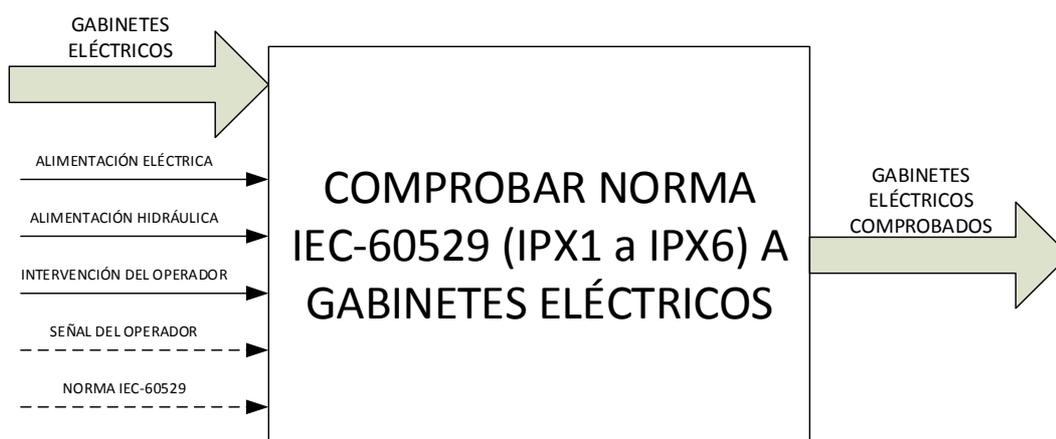


Figura 8 Análisis funcional máquina - Nivel 0

Las funciones propuestas para el Nivel 1 son las siguientes (Figura 9):

- Instalación de gabinete
- Comprobación de grado de protección IPX1
- Inspección del gabinete
- Comprobación de grado de protección IPX2
- Inspección del gabinete
- Comprobación de grado de protección IPX3
- Inspección del gabinete
- Comprobación de grado de protección IPX4
- Inspección del gabinete
- Comprobación de grado de protección IPX5
- Inspección del gabinete
- Comprobación de grado de protección IPX6
- Inspección del gabinete

-Retirar gabinete

-Análisis de resultados

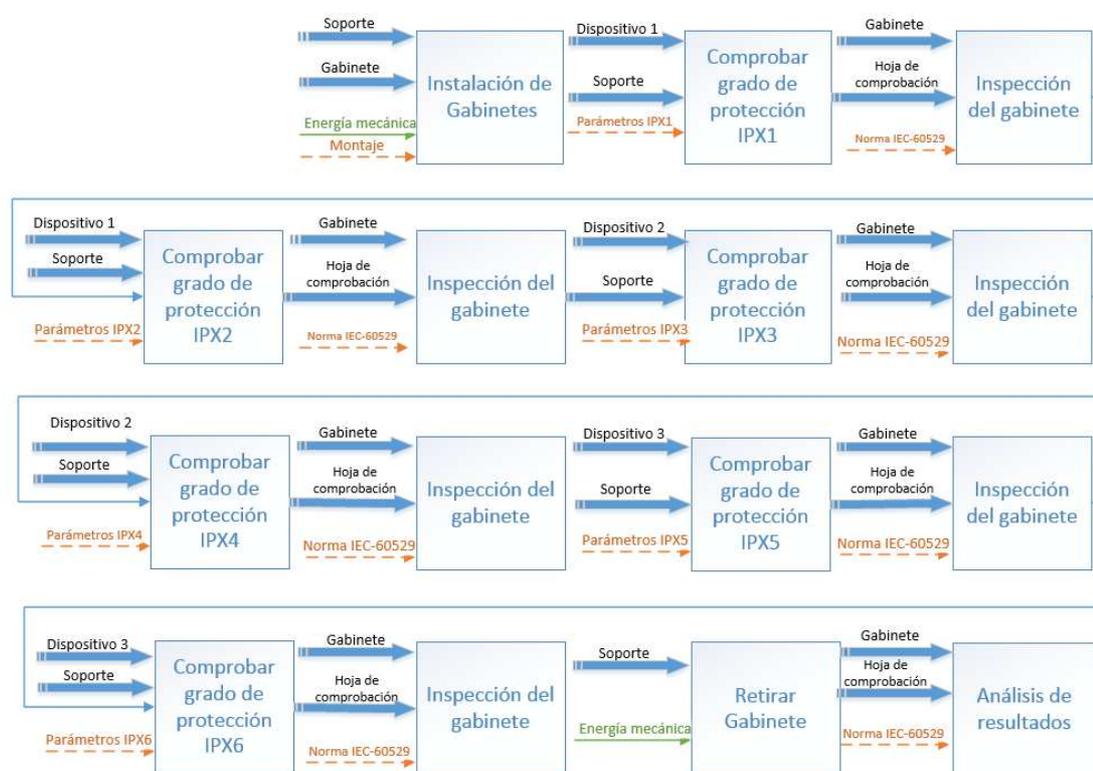


Figura 9 Análisis funcional de la máquina - Nivel 1

Para el Nivel 2, que se lo puede observar en el Anexo 2 , se detallan los aspectos implícitos en el Nivel 1 de la Figura 9 :

-Instalación de gabinetes

Montar gabinetes como en su lugar de funcionamiento

-Comprobación del grado de protección IPX1

Proveer al dispositivo 1 de agua.

Utilizar dispositivo 1 con los parámetros indicados por la Norma IEC 60529.

Girar la base a una velocidad de 1 rpm.

Realizar la prueba durante el tiempo establecido

-Inspección del gabinete

Revisar y evidenciar si existe ingreso de agua.

-Comprobación del grado de protección IPX2

Proveer al dispositivo 1 de agua.

Utilizar dispositivo 1 con los parámetros indicados por la Norma IEC 60529.

Inclinar el gabinete 15° con respecto a la vertical, hacia sus cuatro caras.

Realizar la prueba durante el tiempo establecido

-Inspección del gabinete

Revisar y evidenciar si existe ingreso de agua.

-Comprobación del grado de protección IPX3

Proveer al dispositivo 2 de agua

Utilizar dispositivo 2 con los parámetros indicados por la Norma IEC 60529.

Girar la base a una velocidad de 1 rpm.

Realizar la prueba durante el tiempo establecido

-Inspección del gabinete

Revisar y evidenciar si existe ingreso de agua.

-Comprobación del grado de protección IPX4

Proveer al dispositivo 2 con agua

Utilizar dispositivo 2 con los parámetros indicados por la Norma IEC 60529.

Girar la base a una velocidad de 1 rpm.

Realizar la prueba durante el tiempo establecido

-Inspección del gabinete

Revisar y evidenciar si existe ingreso de agua.

-Comprobación del grado de protección IPX5

Proveer al dispositivo 3 con agua

Utilizar dispositivo 3 con los parámetros indicados por la Norma IEC 60529.

Girar la base a una velocidad de 1 rpm.

Realizar la prueba durante el tiempo establecido

-Inspección del gabinete

Revisar y evidenciar si existe ingreso de agua.

-Comprobación del grado de protección IPX6

Proveer al dispositivo 4 con agua

Utilizar dispositivo de pruebas 3 con los parámetros indicados por la Norma IEC 60529.

Girar la base a una velocidad de 1 rpm.

Realizar la prueba durante el tiempo establecido

-Inspección del gabinete

Revisar y evidenciar si existe ingreso de agua.

-Retirar gabinete

Desmontarlo de su posición de funcionamiento.

-Análisis de resultados

3.5 Módulos funcionales

Acorde al nivel 2, el diagrama se subdivide en los siguientes módulos:

Módulo 1: Montaje/desmontaje

Módulo 2: Abastecimiento de agua de los dispositivos 1, 2, 3,4

Módulo 3: Uso y posicionamiento de dispositivo 1.

Módulo 4: Uso de dispositivo 2

Módulo 5: Uso de dispositivo 3,4

Módulo 6: Giro e inclinación de la base

Módulo 7: Desarrollo de pruebas acorde Norma IEC-60529

Módulo 8: Inspección

Módulo 9: Análisis de resultados

3.5.1 Soluciones para las funciones de los módulos

Para cada módulo es necesario encontrar una solución para satisfacer con el objetivo final del proyecto. Por lo que se analizan cada uno de los módulos anteriormente expuestos.

3.5.2 Módulo 1: Montaje/desmontaje

La Figura 10 muestra la colocación de los gabinetes eléctricos, por lo tanto se debe realizar una estructura que se asemeje al montaje del gabinete de forma vertical.



Figura 10 Montaje de Gabinete eléctrico

Fuente: (Inselec Cia Ltda., 2012)

Teniendo en cuenta estas referencias, dentro del módulo se tienen las siguientes funciones:

- Sujetar el gabinete a la estructura.
- Montar gabinetes como en su lugar de funcionamiento.

3.5.2.1 Sujetar gabinete a la estructura

Los gabinetes se sujetan a través de cuatro soportes metálicos como se muestran en la Figura 11 que vienen incorporados como parte del producto. Para sujetar el gabinete a la estructura se toman en cuenta aquellos métodos temporales de sujeción ya que el gabinete se monta únicamente el tiempo que duran las pruebas.

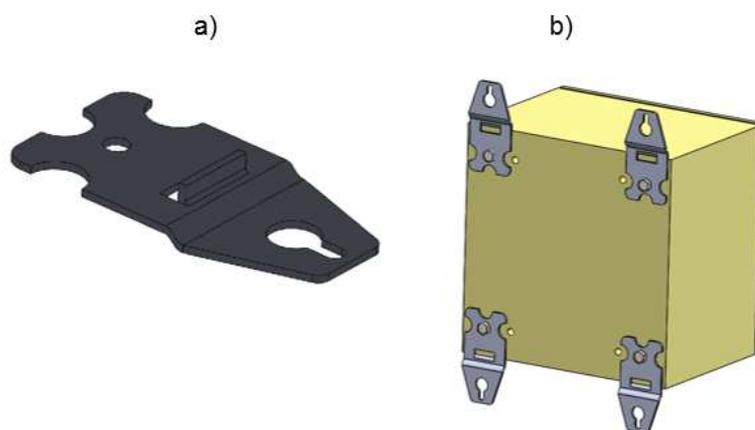


Figura 11 a) Soporte metálico b) Soporte metálico colocado en gabinete

Por lo tanto las soluciones planteadas para la sujeción del gabinete a la estructura son:

- Sujeción con pernos
- Sujeción con mecanismos de agarre rápido.

3.5.2.1.1 Sujeción con pernos

La solución convencional ante la función del módulo se la atribuye a la sujeción con pernos (Figura 12) la cual, en general, es realizada con relativa facilidad y no requiere de capacitación específica para el operario usando un mínimo de herramientas y en un tiempo relativamente bajo.

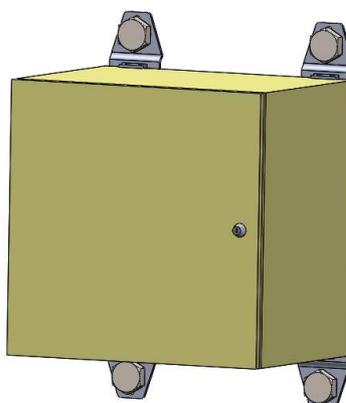


Figura 12 Sujeción por pernos

3.5.2.1.2 Sujeción con mecanismos de agarre rápido

Los mecanismos de agarre rápido a pesar de que no ser difundidos dentro de la industria son de gran utilidad. Trabajan aplicando tensión o compresión en una cierta dirección de este modo se clasifican en mecanismos horizontales, verticales y axiales. En este caso para sujetar los gabinetes es útil el dispositivo de movimiento axial. Un ejemplo de estos dispositivos se muestra en la Figura 13 y en la Figura 14



Figura 13 Mecanismo de agarre rápido de movimiento axial

Fuente: (Protex, 2014)

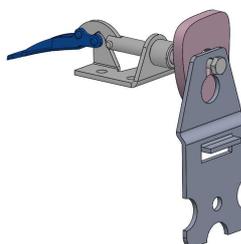


Figura 14 Mecanismo de agarre rápido – sujetador metálico

3.5.2.2 Montar gabinetes como en su lugar de funcionamiento

Para montar los gabinetes como en su lugar de funcionamiento se tienen las siguientes soluciones:

- Montaje sobre estructura de rieles y platinas
- Montaje sobre placa metálica.

3.5.2.2.1 Montaje sobre estructura de rieles y platinas

El sistema de soporte con rieles y platinas ayuda a que la colocación de los gabinetes sea mucho más fácil para el operario. Esto es gracias a los

dos carros móviles (Figura 15) que se encuentran sobre los rieles, los mismos pueden desplazarse horizontalmente para acoplarse a los distintos tamaños de gabinetes. En la Figura 16 se puede apreciar el soporte de rieles y platinas con los sujetadores móviles que se mueven a lo largo de los rieles.

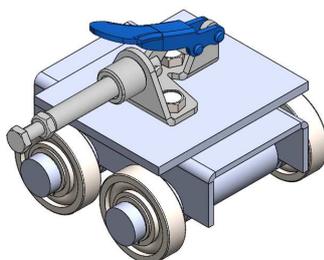


Figura 15 Carro móvil

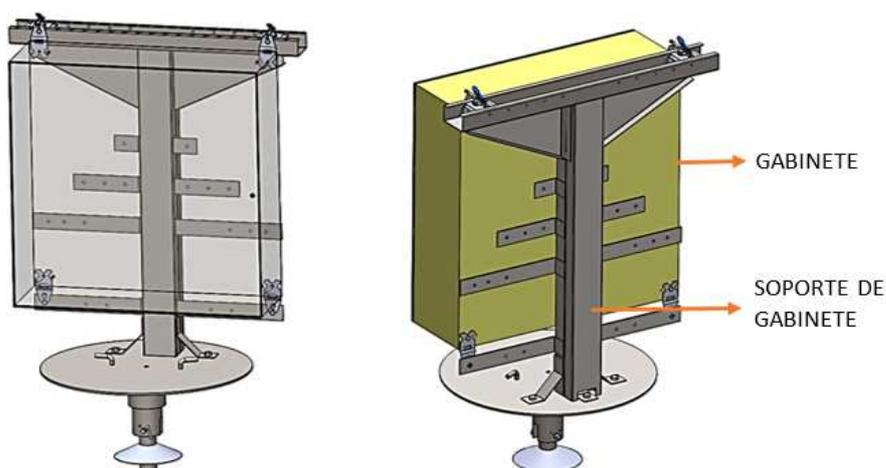


Figura 16 Soporte con rieles

Las platinas horizontales que se encuentran en la parte inferior sirven para fijar completamente el gabinete a la estructura. Esta sujeción se la realiza por medio de pernos.

3.5.2.2 Montaje sobre placa metálica

El montaje de los gabinetes se lo realiza sobre una placa (Figura 17) que tiene agujeros en los cuales se sujeta mediante pernos los cuatro extremos del gabinete. La distribución de las perforaciones va acorde a las dimensiones de los diferentes gabinetes. Sin embargo la colocación del gabinete en esta estructura requiere de dos operarios para realizarlo.

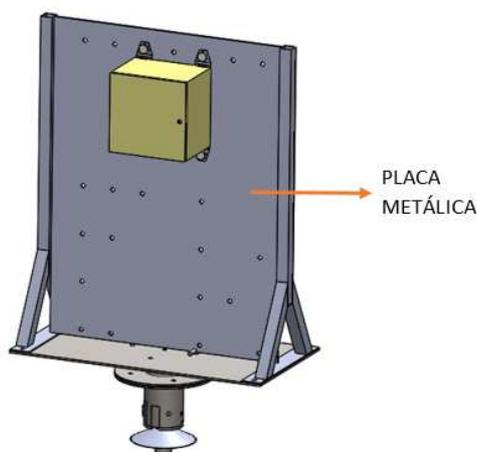


Figura 17 Montaje gabinete sobre placa metálica

3.5.3 Módulo 2: Abastecimiento de agua de los dispositivos 1,2,3,4

Debido a que cada prueba tiene diferentes parámetros que cumplir en cuanto a presión y caudal el módulo tiene las funciones de:

- Controlar el sistema
- Supervisar parámetros de presión y caudal
- Controlar caudal
- Abastecer dispositivos 1,2,3,4
- Visualizar proceso

3.5.3.1 Controlar el sistema

Para controlar el sistema son pocas las opciones en el mercado local entre los cuales se destacan: Placas Microcontroladas (PIC), Placas Arduíno y PLC's. Las dos primeras opciones trabajan de manera similar a un PLC sin embargo el PLC está diseñado específicamente para sistemas que se desenvuelven en ambientes industriales e incluso agresivos. El PIC y el Arduíno son más sensibles a variaciones de voltaje y a la estática.

3.5.3.1.1 Controlador lógico programable (plc)

Estos dispositivos fueron diseñados para controlar procesos industriales de varios niveles, desde activar una secuencia de actuadores hasta manipular sistemas de control de lazo cerrado donde los márgenes de

error deben ser muy bajos. Dependiendo el modelo del PLC son capaces de trabajar con señales de voltaje y corriente tanto continuo como alterno. Adicionalmente procesan información a altas velocidades con lo cual brindan una respuesta rápida en el control del proceso.

El PLC es un dispositivo electrónicamente resistente, por lo cual la estática o las pequeñas variaciones de voltajes no afectan su funcionamiento. Además algunas marcas ofrecen versiones modulares, es decir, que se pueden añadir cierta cantidad de módulos para aumentar sus capacidades

3.5.3.2 Supervisar parámetros de presión y caudal

Los sensores se utilizan para el control y supervisión de variables en miles de aplicaciones industriales. También pueden utilizarse para medir variables indirectas tales como flujo de gas/líquido, velocidad, nivel de agua, y altitud etc.

3.5.3.2.1 Sensores de presión

De los tipos de sensores de presión disponibles en el mercado, el que mejor se adapta al proceso es el transmisor de presión (Figura 18) el cual mide la cantidad física y genera una señal eléctrica que tiene una relación predecible con la cantidad medida. El nivel de la señal eléctrica sirve al controlador para analizarla y utilizarla en el control del proceso.



Figura 18 Transmisor de Presión

Fuente: (Wika, 2014)

3.5.3.2.2 Sensores de caudal

El sensor de caudal (Figura 19) al igual que los transmisores de presión la señal mecánica en una señal eléctrica para así poder analizarla por el controlador.



Figura 19 Transmisor de caudal

Fuente: (Noncon, 2010)

Para controlar el caudal se utilizan válvulas proporcionales reguladoras de caudal (Figura 20) las mismas que permiten o limitan el flujo de agua que pasa por cada red de tuberías. El control se lo realiza por medio de variaciones de voltaje o corriente suministradas al dispositivo.



Figura 20 Válvula proporcional de fluido

Fuente: (Belimo Aircontrols, 2006)

3.5.3.3 Visualizar proceso

Para visualizar el proceso se tienen como soluciones:

- Panel visualizador
- Computador

3.5.3.3.1 Panel visualizador

El Panel Visualizador se utiliza como un enlace entre: el proceso y los deseos del operador. Se puede enlazar con el PLC para manejar, visualizar, dominar el proceso y mantener en perfecto funcionamiento la máquina.

3.5.3.3.2 Computador

El proceso igualmente se puede mostrar en un computador con una interfaz más amplia y visible aunque aumentando características que posteriormente serán inutilizadas y sobredimensionadas para la aplicación. Adicionalmente se requiere de un módulo de comunicación entre el PLC y el computador.

3.5.4 Módulo 3: Uso y posicionamiento dispositivo 1

El módulo 3 comprende al dispositivo de goteo que la Norma IEC 60529 menciona que realiza las pruebas IPX1 e IPX2 y de su respectivo posicionamiento.

Por lo que el módulo tiene la función de:

- Construir dispositivo 1
- Posicionar el dispositivo 1

Para la construcción del dispositivo1 se toma en cuenta que el dispositivo posee perforaciones para rociar al gabinete, por lo que para lograr un efecto de caída de agua constante y uniforme se adiciona internamente una red de tubos que distribuye el agua (Figura 21).

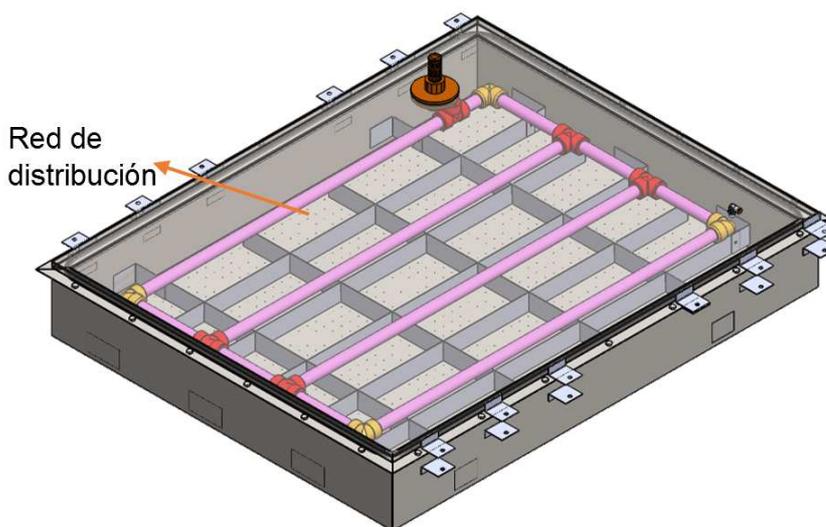


Figura 21 Dispositivo 1- Pruebas IPX1 e IPX2

3.5.4.1 Posicionar el dispositivo 1

El dispositivo siempre debe mantener una distancia de 200mm con el gabinete por lo que para el posicionamiento se tienen las siguientes soluciones:

- Mecanismo de tornillo sinfín
- Mecanismo de rieles guía

3.5.4.1.1 Mecanismo de tornillo sinfín

El mecanismo de tornillo sinfín utilizado en los gatos mecánicos convierte un movimiento circular, a la entrada, en un movimiento lineal, a la salida. Este sistema se lo puede apreciar mejor en los gatos mecánicos de los autos.

Se toma éste principio en el diseño del mecanismo de posicionamiento del dispositivo 1. Para acoplar este sistema al proyecto se utiliza un motor que es controlado por el PLC para mover el dispositivo de forma ascendente y descendente (Figura 22).

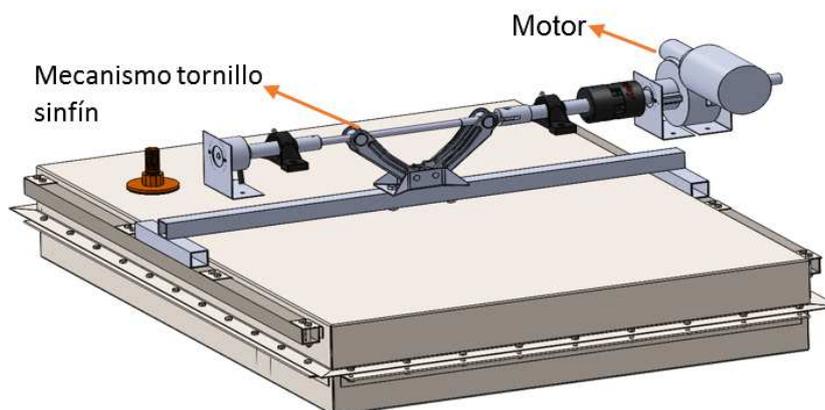


Figura 22 Mecanismo de elevación- tornillo sinfín

3.5.4.1.2 Mecanismo con rieles guía

El sistema cumple con el ascenso y descenso del dispositivo 1 por medio de cables de acero los cuales se deslizan a través de poleas; los cables se encuentran solidarios al eje el cual tiene movimiento producido por el motor. Adicionalmente se cuenta con 4 rieles que sirven de guía para que el dispositivo se transporte en forma recta (Figura 23).

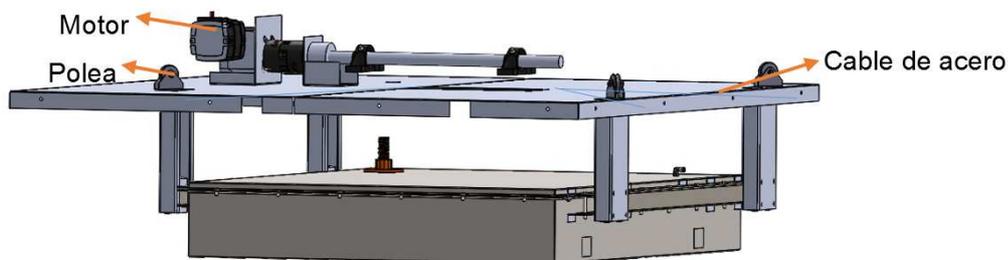


Figura 23 Mecanismo con rieles

3.5.5 Módulo 4: Dispositivo 2

Para la construcción del dispositivo 2 se toma en cuenta que el dispositivo en la prueba IPX3 trabaja con el escudo formando 30° como se muestra en la Figura 24, mientras que para la prueba IPX4 se trabaja removiendo el escudo.

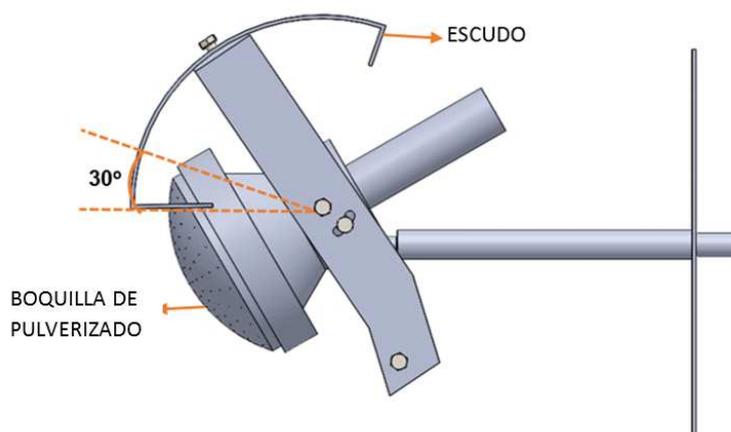


Figura 24 Dispositivo 2 - Pruebas IPX3 IPX4

3.5.6 Módulo 5: Dispositivo 3,4

El módulo 5 consta del dispositivo que la Norma IEC 60529 menciona que se debe utilizar para realizar las pruebas IPX5 e IPX6. El dispositivo tiene que contar con un respectivo sello o empaque entre las piezas que lo componen para que no exista fuga del fluido (Figura 25).

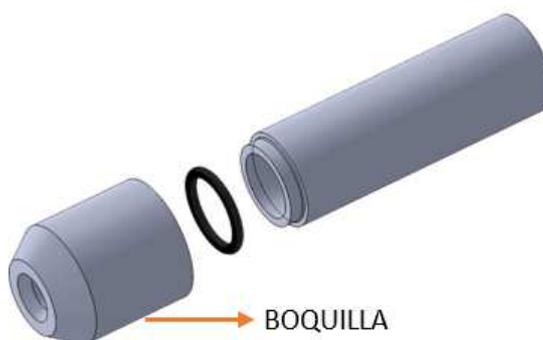


Figura 25 Dispositivo 3 y 4 - Pruebas IPX5 e IPX6

3.5.7 Módulo 6: Giro, posicionamiento e inclinación de la base

El módulo cumple con la función de hacer girar la base a una velocidad de 1 RPM y posicionar el gabinete para que cada una de sus caras forme 15° con la vertical. Por lo que las funciones principales del módulo son:

- Girar la base

-Posicionar base

-Inclinar la base

3.5.7.1 Girar la base

Al ser una velocidad de rotación sumamente baja se tiene que usar un motor especial para el giro de la base.

Un motorreductor (Figura 26) se compone de un imán fijo (estator) y de un bobinado llamado inducido (rotor). El segundo es capaz de girar en el interior del primero cuando se recibe una corriente de excitación. A todo este sistema se suministra una unidad reductora generalmente compuesta de engranes los cuales ayudan a reducir la velocidad obteniendo a su salida velocidades bajas. Para el cambio de giro se requiere de un variador de frecuencia, el mismo que puede controlar: velocidad del motor, frenado, etc.



Figura 26 Motor Corriente Alterna – Motorreductor

Fuente: (Bodine electric Co, 2014)

3.5.7.2 Posicionar base

El encoder incremental es un sensor de posición angular en el cual el eje va acoplado a un disco. A medida que el eje gira se van generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese las marcas y de este modo se lleva la cuenta de los pulsos. La resolución depende del número de marcas que se pueden poner físicamente en el disco.

3.5.7.3 Inclinación base

Para inclinar el gabinete 15° existen los siguientes mecanismos como alternativas:

- Mecanismo con pasadores
- Mecanismo de topes

3.5.7.3.1 Mecanismo con pasadores

La inclinación con pasadores puede lograrse utilizando un eje sobre el cual el plato se inclina 15° con respecto a la vertical. Para asegurar esta posición se cuenta con otro pasador y con un tope mecánico el cual no permite que el plato exceda los 15° . En la Figura 27 se puede observar cómo el plato giratorio se encuentra asegurado a 90° y en la Figura 28 el plato giratorio se encuentra asegurado 15° con respecto a la vertical.

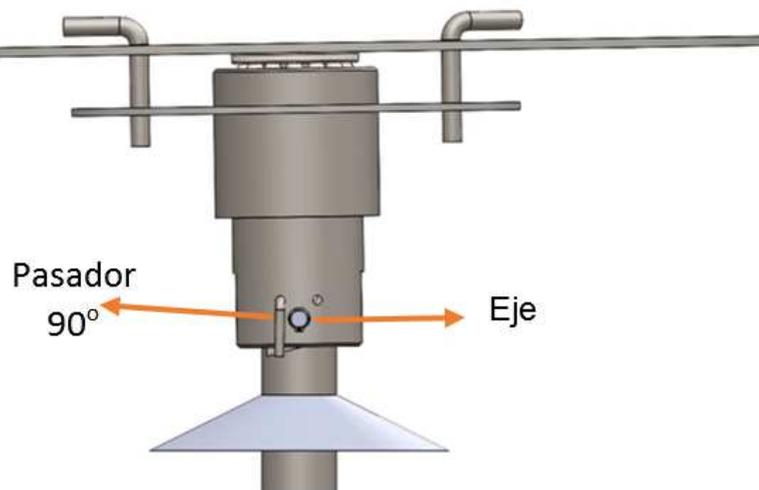


Figura 27 Inclinación del plato giratorio- Plato 90° con la vertical

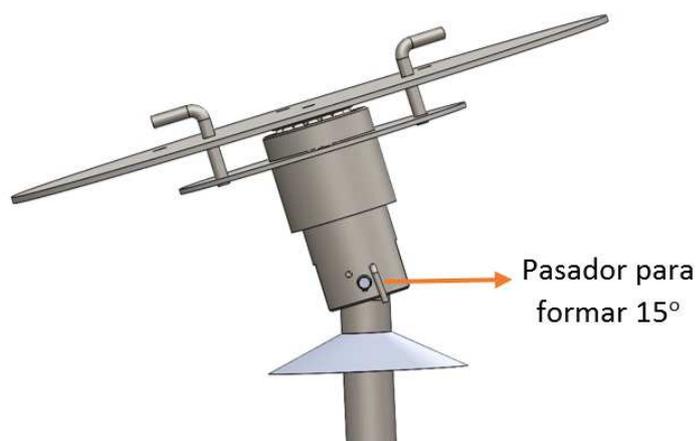


Figura 28 Inclinación del plato giratorio -Plato inclinado a 15° con la vertical

Para cumplir con la inclinación de las cuatro caras de los gabinetes, se hace girar el plato sobre un rodamiento axial (pasos de 90°), cada posición es asegurada con dos pasadores a un segundo plato que se encuentra en la parte inferior. Así mismo, se dispone de un rodamiento radial, el cual permite estabilidad al plato sin lugar a un descentramiento o desbalance en el momento de giro.

La Figura 29 y Figura 30 muestran el funcionamiento del mecanismo, mientras que la Figura 31 muestra la inclinación del gabinete que se obtiene con este mecanismo.

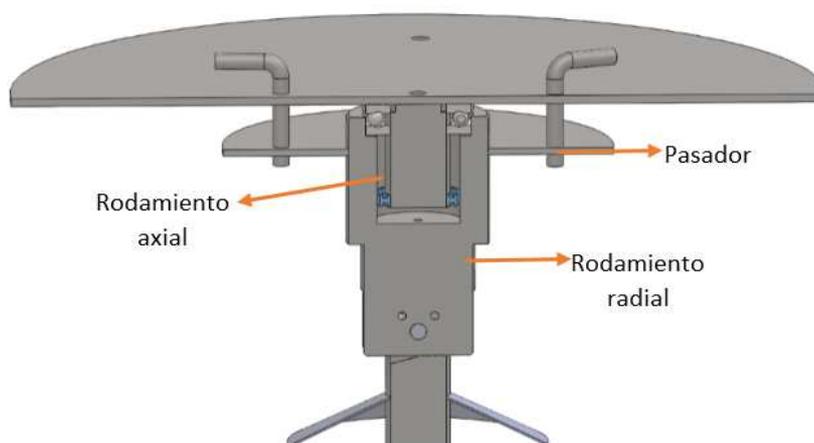


Figura 29 Mecanismo con pasadores – Corte transversal



Figura 30 Mecanismo con pasadores-Vista superior

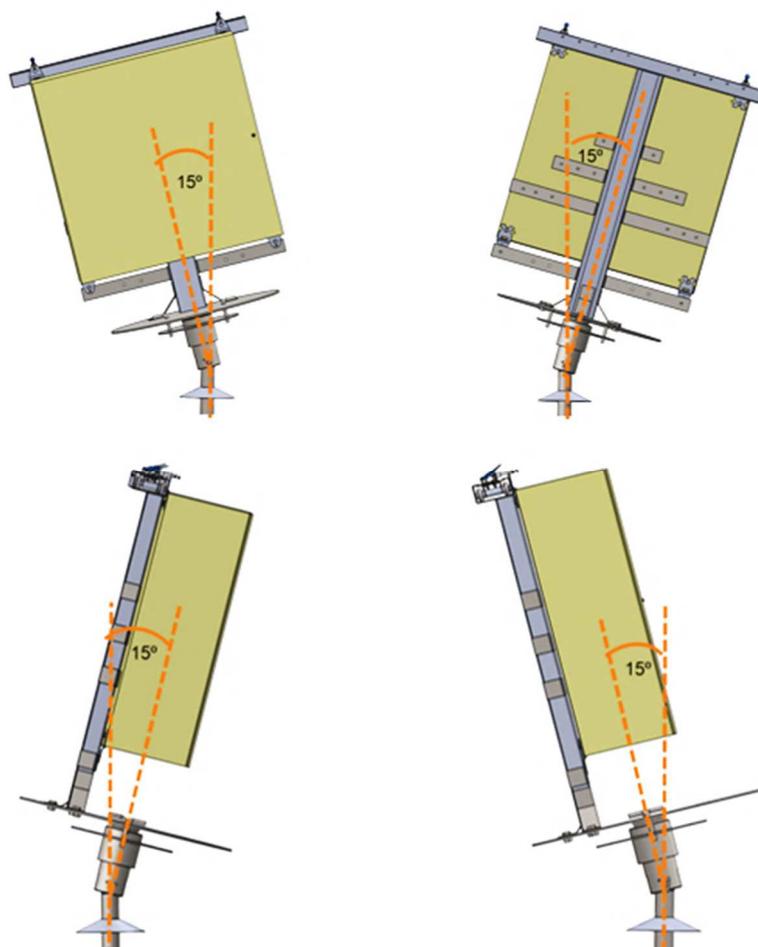


Figura 31 Inclinación de las cuatro caras - Mecanismo con pasadores

3.5.7.3.2 Mecanismo con topes

El mecanismo cumple con la función de inclinar 15° con respecto a la vertical sirviéndose de dos topes mecánicos como se muestra en la Figura 32. Adicionalmente el mecanismo posee un piñón-cremallera. Conforme el operario gira la manivela el piñón recorre la cremallera obteniéndose como resultado un movimiento conjunto con el plato. Cuando se llega al tope mecánico los dientes del piñón se aseguran con la cremallera y no permiten que el mecanismo se mueva de esta posición. Para dirigir el recorrido se acoplan guías las cuales agregan apoyo y fijeza al mecanismo (Figura 33).

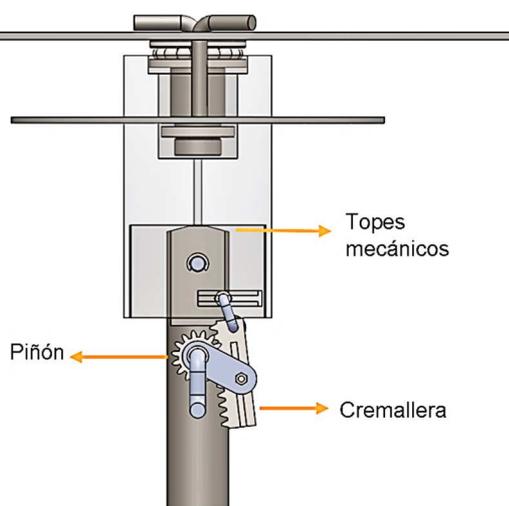


Figura 32 Mecanismo con topes

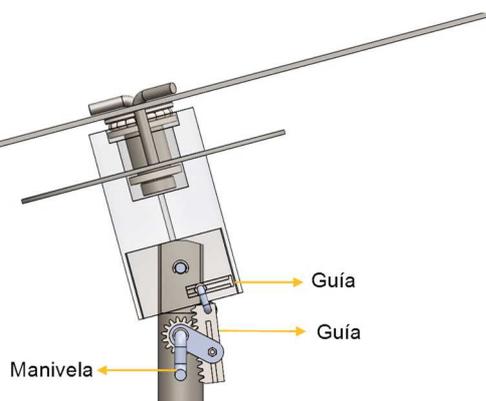


Figura 33 Mecanismo con topes (vista lateral)

La Figura 34 muestra la inclinación de las 4 caras producidas con el mecanismo de topes. Para la inclinación lateral del gabinete 15° a la derecha y a la izquierda se obtiene girando la manivela tanto en sentido horario como anti horario. Para la inclinación del gabinete hacia adelante y atrás se lo realiza girando el plato 90° , se asegura con los pasadores y posteriormente se repite el proceso girando la manivela en sentido horario y anti horario. La ventaja de este mecanismo es que solo se requiere mover la posición del plato por una vez en comparación con el mecanismo con pasadores el cual necesita mover el plato 4 veces con pasos de 90° .

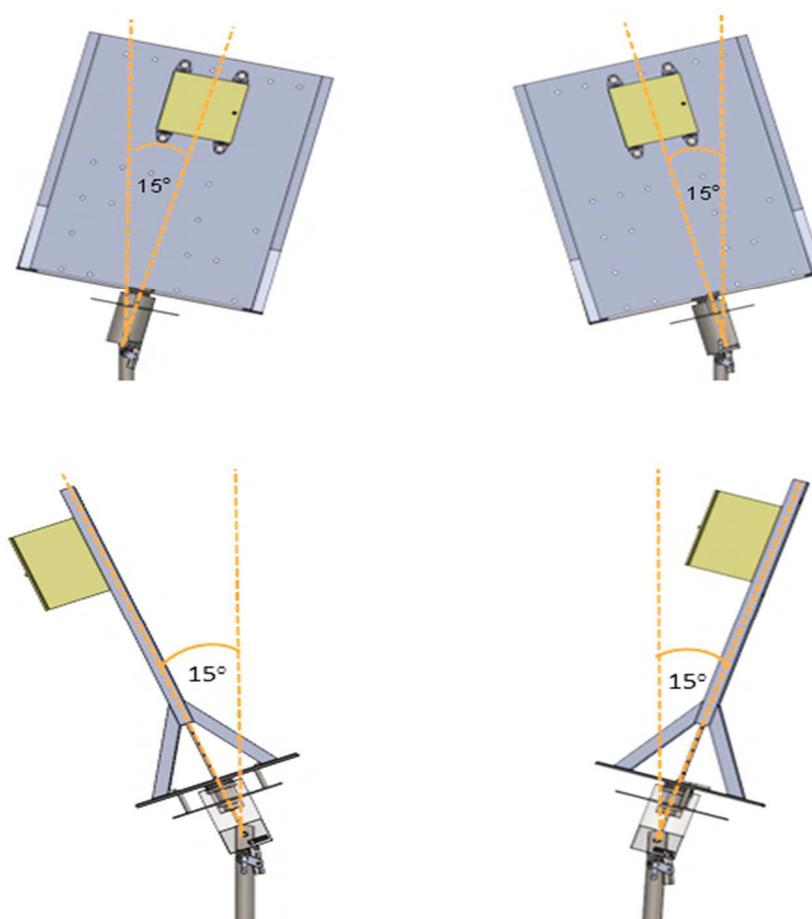


Figura 34 Inclinación de las cuatro caras - Mecanismo con topes

3.5.8 Módulo 7: Pruebas

El módulo se centra en realizar las pruebas tomando como referencia el documento de la norma IEC-60529, en el proceso se controlan y monitorean los valores que ésta demanda.

3.5.9 Módulo 8: Inspección de gabinetes

Después de realizar las pruebas se tiene la labor de comprobar si existió el ingreso de fluido. En el proceso se tiene presente que no se debe confundir el ingreso de agua con el rocío que permanece en las paredes internas del gabinete.

Este módulo cuenta con la función de:

- Inspeccionar gabinetes

Para lo cual se tienen las siguientes soluciones:

- Papel testigo
- Inspección táctil - visual

3.5.9.1 *Papel testigo*

El papel testigo, es un tipo de papel el cual reacciona al contacto con el agua (Figura 35). Dependiendo el tipo de papel éste puede cambiar de color o volverse casi transparente. Usando esta propiedad del papel, se forra el interior del gabinete y después de cada prueba se visualiza una posible mancha debido al ingreso de agua.

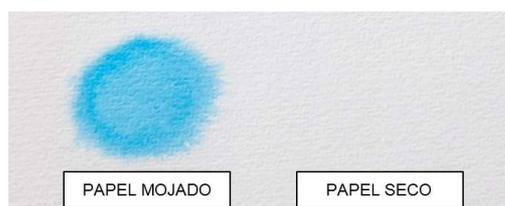


Figura 35 Papel testigo

3.5.9.2 *Inspección táctil - visual*

En este procedimiento, el operario es el encargado de evidenciar si existió el ingreso de agua para lo que se sirve de la inspección vista y del

tacto. Es el proceso es más corto, sin embargo se tiene la desventaja de confundir el rocío de agua con ingreso de agua al deslizar el tacto sobre las paredes del gabinete.

3.5.10 Módulo 9: Análisis de resultados

En este módulo se presentan los resultados de las pruebas realizadas a los gabinetes. Posteriormente el departamento designado por la empresa se encarga de utilizar estos datos para realizar continuar con la producción o realizar una mejora al producto.

El módulo tiene la función principal de:

- Emitir resultados

Para lo que se plantea usar las soluciones:

- Reporte físico

- Reporte digital

3.5.10.1 Reporte físico

El operario realiza la presentación del informe final llenando en la hoja de resultados (Figura 36), en el mismo se detallan las pruebas que cumplió satisfactoriamente el gabinete.

COMPROBACIÓN DEL SEGUNDO GRADO DE PROTECCIÓN IP - NORMA 60529		
GABINETES:		
Fecha _____	No Lote _____	
Material _____	Peso _____	
Medidas _____	Referencia/ Código _____	
	Cumple	No cumple
PRUEBA IPX1- DEPOSITIVO DE GOTEO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Observaciones _____		
PRUEBA IPX2- DISPOSITIVO DE GOTEO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Observaciones _____		
PRUEBA IPX3- DISPOSITIVO DE ROCEADO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Observaciones _____		
PRUEBA IPX4- DISPOSITIVO DE ROCEADO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Observaciones _____		
PRUEBA IPX5- BOQUILLA DE ROCEADO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Observaciones _____		
PRUEBA IPX6- BOQUILLA DE ROCEADO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Observaciones _____		
_____	_____	
Responsable	Supervisor	

Figura 36 Hoja de resultados

3.5.10.2 Reporte digital

Para esta solución el operario debe ingresar de forma manual los resultados a un formato digital en el computador o en la pantalla táctil para su posterior almacenamiento. Sin embargo, esta solución tiene la desventaja de tomar gran cantidad de tiempo ya que el operario introduce las observaciones del estado del gabinete previo y posterior a las pruebas.

3.6 Matriz morfológica

Mediante la matriz morfológica se seleccionan las soluciones para cada módulo.

MÓDULO 1

En forma resumida se presentan las siguientes soluciones (Figura 37)

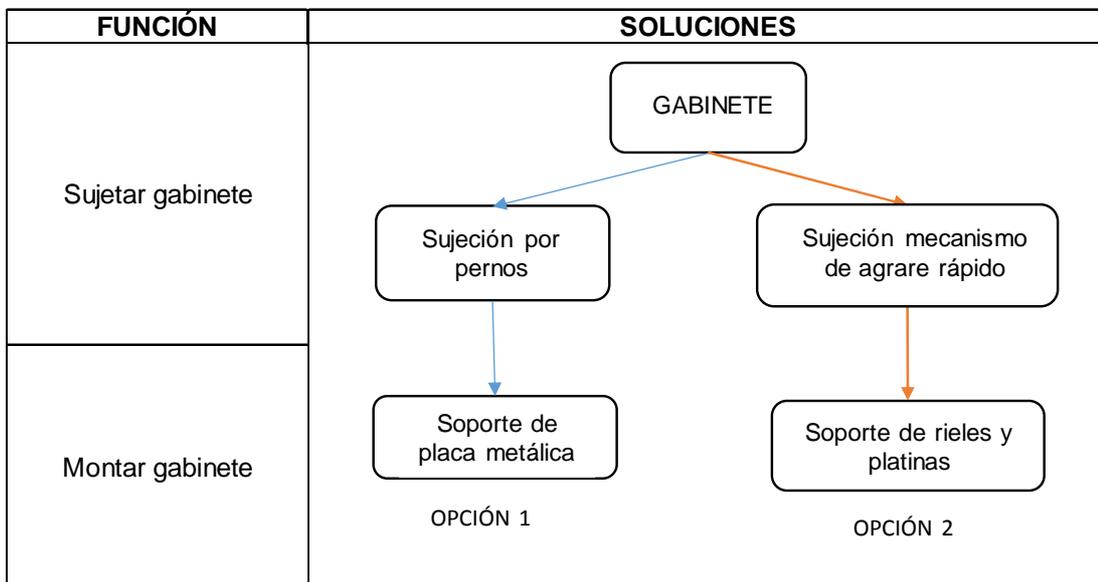


Figura 37 Soluciones Módulo 1

MÓDULO 2

En forma resumida se presentan las siguientes soluciones (Figura 38)

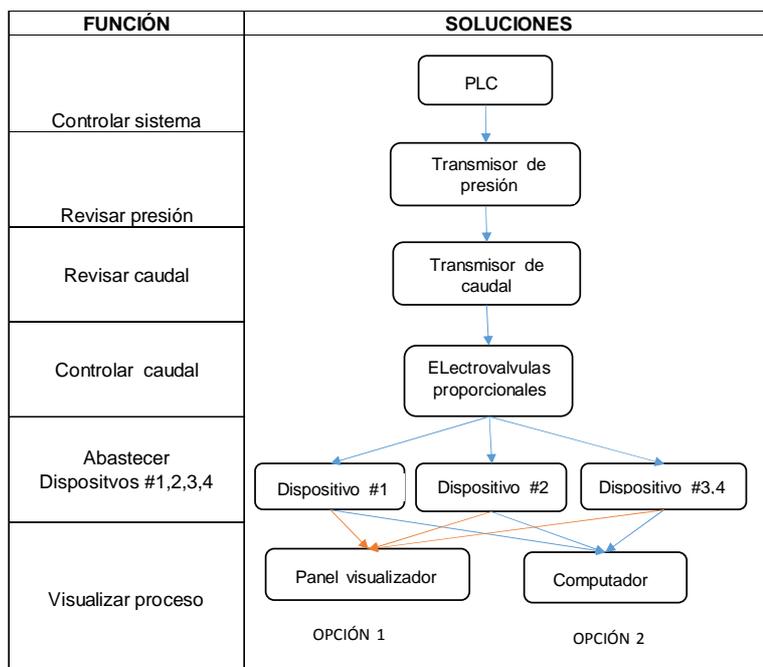


Figura 38 Soluciones Módulo 2

MÓDULO 3

Para el Módulo 3 se presenta la siguiente solución (Figura 39)

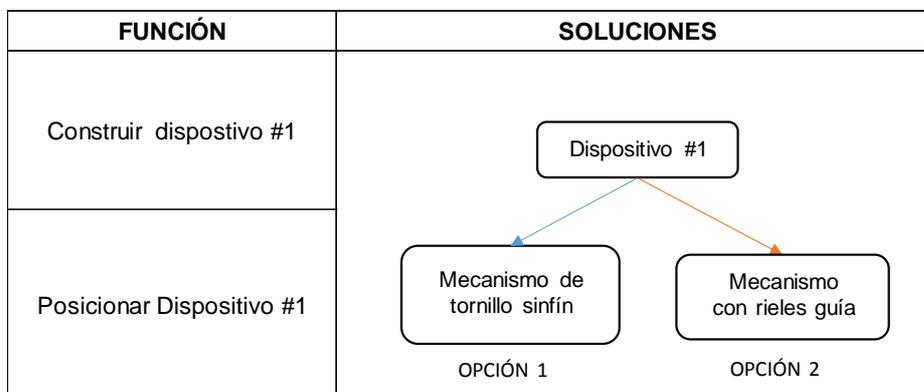


Figura 39 Soluciones Módulo 3

MÓDULO 4

Para el Módulo 4 se presenta la siguiente solución (Figura 40)

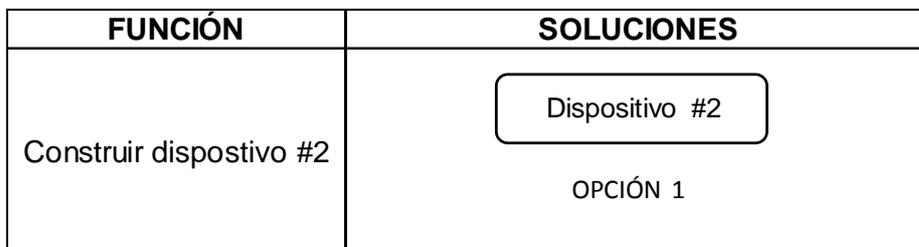


Figura 40 Soluciones Módulo 4

MÓDULO 5

Para el Módulo 5 se presenta la siguiente solución (Figura 41)

FUNCIÓN	SOLUCIONES
Construir dispositivo #3	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;">Dispositivo #3,4</div> <p style="text-align: center;">OPCIÓN 1</p>

Figura 41 Soluciones Módulo 5

MÓDULO 6

Para el Módulo 6 se presentan las siguientes opciones (Figura 42)

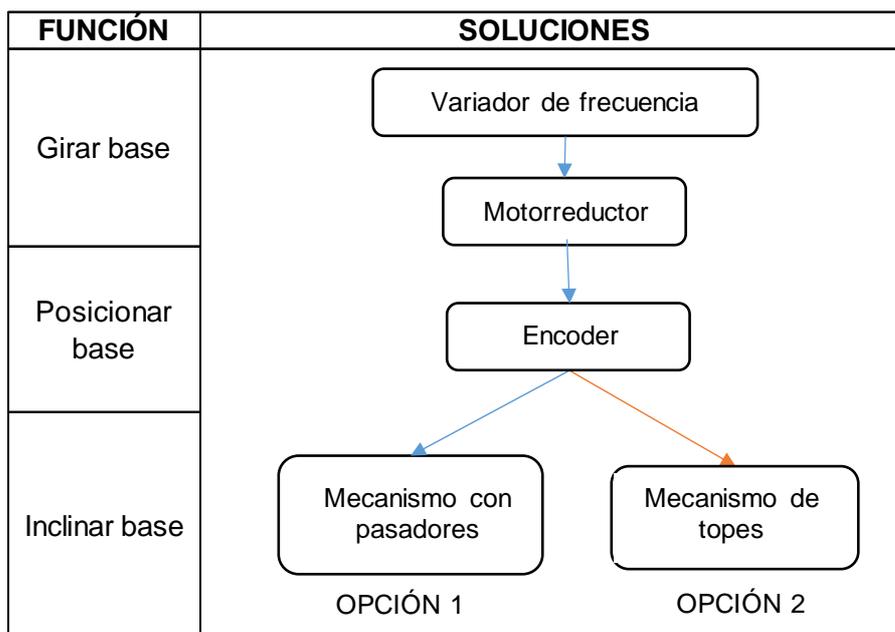


Figura 42 Soluciones Módulo 6

MÓDULO 7

Para el módulo 7 se presentan las siguientes opciones (Figura 43)

FUNCIÓN	SOLUCIONES
Desarrollar pruebas Norma IEC-60529	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Norma IEC-60529</div> <p style="text-align: center;">OPCIÓN 1</p>

Figura 43 Soluciones Módulo 7

MÓDULO 8

Para el módulo 8 se presentan las siguientes opciones (Figura 44)

FUNCIÓN	SOLUCIONES
Inspeccionar gabinetes	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Norma IEC-60529</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Papel testigo</div> <p>OPCIÓN 1</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Inspección táctil-visual</div> <p>OPCIÓN 2</p> </div> </div>

Figura 44 Soluciones Módulo 8

MÓDULO 9

Para el módulo 9 se presentan las siguientes opciones (Figura 45)

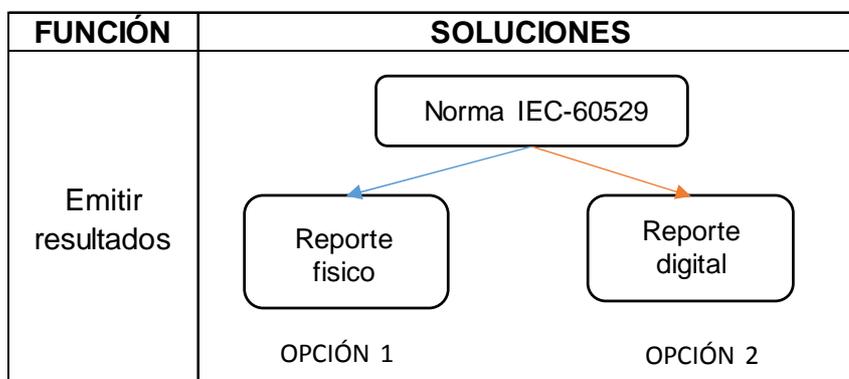


Figura 45 Soluciones Módulo 9

3.6.1 Selección de soluciones

Con el objetivo de tener varias opciones en el diseño se presentan diversas alternativas, sin embargo se debe seleccionar solamente una para su implementación. Los módulos que solo disponen de una solución no se analizan en este segmento.

La selección se realiza con el método de evaluación herramienta de "Ponderación de Alternativas criterio – criterio." En este caso la calificación se tomará de la siguiente manera (Tabla 14)

Tabla 14
Puntuación para Ponderación de alternativas

Puntuación	Descripción
1	El criterio de las filas es superior al de las columnas
0,5	Si el criterio de las filas es equivalente al de las columnas
0	Si el criterio de las filas es inferior al de las columnas

3.6.1.1 Selección - módulo 1

Las opciones para el módulo 1 son:

Opción 1: Sujeción por pernos>>Soporte de placa metálica

Opción 2: Sujeción mecanismo agarre rápido>>Soporte de rieles y platinas

Para el análisis de estas alternativas se consideran los siguientes criterios:

-Disponibilidad: Los elementos se encuentran en el mercado local fácilmente.

-Ubicación: Se requiere de pocos operarios en el proceso.

-Ergonómico: Fácil y cómodo uso de los elementos para el usuario.

-Tiempo: El operario toma poco tiempo en colocar el gabinete.

-Peso: Peso no excesivo para el mecanismo.

Las tablas Tabla 15, Tabla 16, Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20 muestran la selección de la solución por medio de criterios.

Tabla 15

Matriz selección módulo 1 – Criterios

Criterio	Disponib.	Ubicación	Ergonómico	Tiempo	Peso	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
Disponibilidad	--	0	0	0	0	1	0.07
Ubicación	1	--	0.5	0.5	1	4	0.29
Ergonómico	1	0.5	--	0.5	0.5	3.5	0.25
Tiempo	0.5	0	0.5	--	1	3	0.21
Peso	1	0	0.5	0	--	2.5	0.18
	Suma					14	1.00

Ubicación>Ergonómico >Tiempo>Peso>Disponibilidad

Tabla 16

Matriz selección módulo 1 - Criterio disponibilidad

Disponibilidad	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
			3	1.00

OPCIÓN 1 >OPCIÓN 2

Tabla 17**Matriz selección módulo 1 - Criterio ubicación**

Ubicación	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0	1	0.33
OPCIÓN 2	1	--	2	0.67
Suma			3	1.00
OPCIÓN 2 >OPCIÓN 1				

Tabla 18**Matriz selección módulo 1 - Criterio ergonómico**

Ergonómico	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0	1	0.33
OPCIÓN 2	1	--	2	0.67
Suma			3	1.00
OPCIÓN 2 >OPCIÓN 1				

Tabla 19**Matriz selección módulo 1 - Criterio tiempo**

Tiempo	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0	1	0.33
OPCIÓN 2	1	--	2	0.67
Suma			3	1.00
OPCIÓN 2 >OPCIÓN 1				

Tabla 20**Matriz selección módulo 1 – Criterio peso**

Peso	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0	1	0.33
OPCIÓN 2	1	--	2	0.67
suma			3	1.00
OPCIÓN 2 >OPCIÓN 1				

Tabla 21**Matriz selección módulo 1 - Resultados**

Criterio	Disponibilidad	Ubicación	Ergonómico	Tiempo	Peso	Total Porcentaje	Prioridad
OPCIÓN 1	0.05	0.095	0.08	0.07	0.08	38	2
OPCIÓN 2	0.02	0.190	0.17	0.14	0.17	52	1

Por medio de la Tabla 21 se obtiene que la mejor solución para esta aplicación es utilizar el mecanismo de agarre rápido sobre el soporte de rieles y platinas.

3.6.1.2 Selección - módulo 2

Las opciones para el módulo 2 son:

Opción 1: PLC >> Transmisor de presión>>transmisor de caudal >> Electroválvulas proporcionales>> Dispositivo 1, 2, 3,4>> Panel Visualizador

Opción 2: PLC >> Transmisor de presión>>transmisor de caudal >> Electroválvulas proporcionales>> Dispositivo 1, 2, 3,4>> Computador

Para el análisis de estas alternativas se consideran los siguientes criterios:

-Comunicación: El visualizador es fácilmente compatible con el controlador. Los elementos no necesitan una etapa adicional para conectarse con el controlador.

-Disponibilidad: Los elementos los dispone la empresa.

- Transportable: Los elementos son montables/ transportables con la máquina.

-Espacio: El lugar físico que ocupan los elementos utilizados es reducido.

- Resolución: Las letras, gráficos y figuras se pueden visualizar fácilmente por el operador.

Las tablas Tabla 22, Tabla 23, Tabla 24, Tabla 25 , Tabla 26 y Tabla 27 muestran la selección de la solución por medio de criterios

Tabla 22

Matriz selección módulo 2 –Criterios

Criterio	Comunic.	Disponib.	Transport	Espacio	Resolución	Total $\sum+1$	Porcentaje
Comunicación	--	0	0.5	1	0.5	3	0.20
Disponibilidad	1	--	1	1	1	5	0.33
Transportable	0.5	0	--	1	0	2.5	0.17
Espacio	0	0	0	--	0.5	1.5	0.10
Resolución	0.5	0	1	0.5	--	3	0.20
Suma						15	1.00
Disponibilidad>Comunicación = Resolución>Transportable> Espacio							

Tabla 23**Matriz selección módulo 2 - Criterio Comunicación**

Comunicación	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00
OPCIÓN 1 > OPCIÓN 2				

Tabla 24**Matriz selección módulo 2 - Criterio disponibilidad**

Disponibilidad	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00
OPCIÓN 1 > OPCIÓN 2				

Tabla 25**Matriz selección módulo 2 - Criterio transportable**

Transportable	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00
OPCIÓN 1 > OPCIÓN 2				

Tabla 26**Matriz selección módulo 2 - Criterio espacio**

Espacio	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00
OPCIÓN 1 > OPCIÓN 2				

Tabla 27**Matriz selección módulo 2 - Criterio resolución**

Resolución	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0	1	0.33
OPCIÓN 2	1	--	2	0.67
Suma			3	1.00
OPCIÓN 2 > OPCIÓN 1				

Tabla 28
Matriz selección módulo 2 - Resultados

Criterio	Comunic.	Disponib.	Transport.	Espacio	Resolución	Total Porcentaje	Prioridad
OPCIÓN 1	0.13	0.22	0.11	0.07	0.07	60	1
OPCIÓN 2	0.07	0.11	0.06	0.03	0.13	40	2

Por medio de la Tabla 28 se obtiene que la mejor solución para esta aplicación es utilizar el PLC como controlador de las electroválvulas proporcionales y convertidor A/D de las señales del transmisor de presión, caudal. Conjuntamente con el HMI y el panel visualizador se muestra y dirige el proceso.

3.6.1.3 Selección - módulo 3

Las opciones para el módulo 3 son:

Opción 1: Dispositivo 1 >> Mecanismo tornillo sinfín

Opción 2: Dispositivo 1 >> Mecanismo con rieles guía

Para el análisis de estas alternativas se consideran los siguientes criterios:

-Espacio: El lugar físico que ocupan los elementos utilizados es reducido y no interfiere con el proceso.

-Peso: Peso no excesivo para el mecanismo.

-Mantenimiento: Fácil mantenimiento y adquisición de repuestos en el caso de desgaste y/o falla.

-Juego: Existe poco juego mecánico entre los elementos que componen el mecanismo.

-Estabilidad: El mecanismo mantiene un movimiento constante sin balanceo de la carga.

Las tablas Tabla 29, Tabla 30, Tabla 31, Tabla 32, Tabla 33 y Tabla 34 muestran la selección de la solución por medio de criterios.

Tabla 29
Matriz selección módulo 3 – Criterios

Criterio	Espacio	Peso	Mantenimiento	Juego	Estabilidad	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
Espacio	--	0.5	1	1	0	3.5	0.23
Peso	0.5	--	0.5	0	1	3	0.20
Mantenimiento	0	0.5	--	1	0	2.5	0.17
Juego	0	1	0	--	0	2	0.13
Estabilidad	1	0	1	1	--	4	0.27
Suma						15	1.00
Estabilidad > Espacio > Peso > Mantenimiento > Juego							

Tabla 30
Matriz selección módulo 3 - Criterio espacio

Espacio	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00
OPCIÓN 1 > OPCIÓN 2				

Tabla 31
Matriz selección módulo 3 - Criterio peso

Peso	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0.5	1.5	0.50
OPCIÓN 2	0.5	--	1.5	0.50
Suma			3	1.00
OPCIÓN 1 = OPCIÓN 2				

Tabla 32
Matriz selección módulo 3 - Criterio mantenimiento

Mantenimiento	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0.5	1.5	0.50
OPCIÓN 2	0.5	--	1.5	0.50
Suma			3	1.00
OPCIÓN 2 = OPCIÓN 1				

Tabla 33
Matriz selección módulo 3 - Criterio juego

Juego	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0.5	1.5	0.50
OPCIÓN 2	0.5	--	1.5	0.50
Suma			3	1.00
OPCIÓN 2 = OPCIÓN 1				

Tabla 34**Matriz selección módulo 3 - Criterio estabilidad**

Estabilidad	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0	1	0.33
OPCIÓN 2	1	--	2	0.67
Suma			3	1.00
OPCIÓN 2 > OPCIÓN 1				

Tabla 35**Matriz selección módulo 3 - Resultados**

Criterio	Espacio	Peso	Mantenimiento	Juego	Estabilidad	Total Porcentaje	Prioridad
OPCIÓN 1	0.16	0.10	0.08	0.07	0.04	45	1
OPCIÓN 2	0.08	0.10	0.08	0.07	0.09	42	2

Por medio de la Tabla 35 se obtiene que la mejor solución para esta aplicación es utilizar el mecanismo de tornillo sinfín.

3.6.1.4 Selección - módulo 6

Las opciones para el módulo 6 son:

Opción 1: Variador de frecuencia >>Motorreductor>>Encoder>> Mecanismo con pasadores.

Opción 2: Variador de frecuencia >>Motorreductor>>Encoder>>Mecanismo de topes.

Para el análisis de estas alternativas se consideran los siguientes criterios:

- Ergonómico: Fácil uso de los elementos para el usuario.
- Juego: Existe poco juego mecánico entre los elementos que componen el mecanismo.
- Mantenimiento: Fácil mantenimiento y adquisición de repuestos en el caso de desgaste y/o falla.
- Fabricación: Fácil fabricación consecuentemente bajo costo.
- Instalación: Fácil instalación y acoplamiento de las piezas del mecanismo.

Las tablas Tabla 36, Tabla 37, Tabla 38, Tabla 39, Tabla 40 y Tabla 41 muestran la selección de la solución por medio de criterios.

Tabla 36

Matriz selección módulo 4 - Criterios

Criterio	Ergonómico	Juego	Mantenim.	Fabric.	Instalación	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
Ergonómico	--	0.5	0.5	0	0	2	0.13
Juego	0.5	--	0.5	0	0.5	2.5	0.17
Mantenimiento	0.5	0.5	--	0	0.5	2.5	0.17
Fabricación	1	1	1	--	1	5	0.33
Instalación	1	0.5	0.5	0	--	3	0.20
Suma						15	1.00

Fabricación > Instalación > Juego= Mantenimiento >Ergonómico

Tabla 37

Matriz selección módulo 4 - Criterio ergonómico

Ergonómico	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0	1	0.33
OPCIÓN 2	1	--	2	0.67
Suma			3	1.00

OPCIÓN 2 > OPCIÓN 1

Tabla 38

Matriz selección módulo 4 - Criterio juego

Juego	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0	1	0.33
OPCIÓN 2	1	--	2	0.67
Suma			3	1.00

OPCIÓN 2 > OPCIÓN 1

Tabla 39

Matriz selección módulo 4 - Criterio mantenimiento

Mantenimiento	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00

OPCIÓN 1 > OPCIÓN 2

Tabla 40**Matriz selección módulo 4 - Criterio fabricación**

Fabricación	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00
OPCIÓN 1 > OPCIÓN 2				

Tabla 41**Matriz selección módulo 4 - Criterio instalación**

Instalación	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00
OPCIÓN 1 > OPCIÓN 2				

Tabla 42**Matriz selección módulo 4 - Resultados**

Criterio	Ergonómico	Juego	Manten.	Fabric.	Instalación	Total Porcentaje	Prioridad
OPCIÓN 1	0.04	0.06	0.11	0.22	0.13	57	1
OPCIÓN 2	0.09	0.11	0.06	0.11	0.07	43	2

Por medio de la Tabla 42 se obtiene que la mejor solución para esta aplicación es utilizar Motorreductor con su variador de frecuencia acoplado al mecanismo con pasadores.

3.6.1.5 Selección - módulo 8

Las opciones para el módulo 8 son:

Opción 1: Gabinete >> Papel testigo

Opción 2: Gabinete>> Inspección táctil-visual

Para el análisis de estas alternativas se consideran los siguientes criterios:

- Visualización: Fácil revelación de un posible ingreso de agua al gabinete.
- Remoción: Fácil remoción de los elementos adicionales empleados en el proceso de inspección.
- Secado: Cuánto tiempo permanece visible la posible fuga ante el operario.

- Tiempo: Cuanto tiempo le toma al operario acondicionar el gabinete para el proceso.
- Fidelidad: Seguridad para el operario de identificar si el gabinete cumple con la prueba.

Las tablas Tabla 43, Tabla 44, Tabla 45, Tabla 46, Tabla 47 y Tabla 48 muestran la selección de la solución por medio de criterios.

Tabla 43
Matriz selección módulo 6 – Criterios

Criterio	Visualización	Remoción	Secado	Tiempo	Fidelidad	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
Visualización	--	0	0	1	0	2	0.13
Remoción	1	--	0.5	0.5	1	4	0.27
Secado	1	0.5	--	0	0	2.5	0.17
Tiempo	0	0.5	1	--	1	3.5	0.23
Fidelidad	1	0	1	0	--	3	0.20
Suma						15	1.00

Remoción > Tiempo > Fidelidad > Secado > Visualización

Tabla 44
Matriz selección módulo 6 - Criterio visualización

Visualización	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00

OPCIÓN 1 > OPCIÓN 2

Tabla 45
Matriz selección módulo 6 - Criterio remoción

Remoción	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0	1	0.33
OPCIÓN 2	1	--	2	0.67
Suma			3	1.00

OPCIÓN 2 > OPCIÓN 1

Tabla 46
Matriz selección módulo 6 - Criterio secado

Secado	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00

OPCIÓN 1 > OPCIÓN 2

Tabla 47**Matriz selección módulo 6 - Criterio tiempo**

Tiempo	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0	1	0.33
OPCIÓN 2	1	--	2	0.67
Suma			3	1.00
OPCIÓN 2 >OPCIÓN 1				

Tabla 48**Matriz selección módulo 6 - Criterio fidelidad**

Fidelidad	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00
OPCIÓN 1 >OPCIÓN 2				

Tabla 49**Matriz selección módulo 6 - Resultados**

Criterio	Visualiz.	Remoción	Secado	Tiempo	Fidelidad	Total Porcentaje	Prioridad
OPCIÓN 1	0.09	0.09	0.11	0.08	0.13	29	1
OPCIÓN 2	0.04	0.18	0.06	0.16	0.07	28	2

Por medio de la Tabla 49 se obtiene que la mejor solución para esta aplicación es utilizar papel testigo forrado internamente en el gabinete.

3.6.1.6 Selección - módulo 9

Las opciones para el módulo 9 son:

Opción 1: Pruebas>>Reporte físico

Opción 2: Pruebas >> Reporte digital

Para el análisis de estas alternativas se consideran los siguientes criterios:

- Rapidez: Tiempo que toma al usuario archivar los resultados.
- Almacenamiento: Facilidad de ingresar de los resultados en el reporte.
- Registro: Facilidad de llevar un historial de los resultados y acceder a datos de pruebas anteriores.

-Instalación: Necesidad de un dispositivo adicional para el funcionamiento del sistema.

Las tablas Tabla 50, Tabla 51, Tabla 52, Tabla 53 y Tabla 54 muestran la selección de la solución por medio de criterios.

Tabla 50
Matriz selección módulo 9 – Criterios

Criterio	Rapidez	Almacenamiento	Registro	Instalación	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
Rapidez	--	0.5	1	1	3.5	0.35
Almacenamiento	0.5	--	1	1	3.5	0.35
Registro	0	0	--	0.5	1.5	0.15
Instalación	0	0	0.5	--	1.5	0.15
Suma					10	1.00
Rapidez = Almacenamiento > Registro = Instalación						

Tabla 51
Matriz selección módulo 9 - Criterio rapidez

Rapidez	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00
OPCIÓN 1 > OPCIÓN 2				

Tabla 52
Matriz selección módulo 9 - Criterio almacenamiento

Almacenamiento	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	1	2	0.67
OPCIÓN 2	0	--	1	0.33
Suma			3	1.00
OPCIÓN 1 > OPCIÓN 2				

Tabla 53
Matriz selección módulo 9 - Criterio registro

Registro	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0	1	0.33
OPCIÓN 2	1	--	2	0.67
Suma			3	1.00
OPCIÓN 2 > OPCIÓN 1				

Tabla 54**Matriz selección módulo 9 - Criterio instalación**

Instalación	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	Total $\Sigma+1$	Porcentaje
OPCIÓN 1	--	0	1	0.33
OPCIÓN 2	1	--	2	0.67
Suma			3	1.00
OPCIÓN 2 > OPCIÓN 1				

Tabla 55**Matriz selección módulo 9 - Resultados**

Criterio	Rapidez	Almacenamiento	Registro	Instalación	Total Porcentaje	Prioridad
OPCIÓN 1	0.23	0.23	0.05	0.05	57	1
OPCIÓN 2	0.12	0.12	0.10	0.10	43	2

Por medio de la Tabla 55 se obtiene que la mejor solución para esta aplicación es utilizar el reporte físico.

Finalmente, luego de la selección realizada las opciones a implementar son (Tabla 56):

Tabla 56**Soluciones de los diferentes módulos**

Módulos	Solución
MÓDULO 1: Montaje/desmontaje	Sujeción mecanismo agarre rápido>> soporte de rieles y platinas
MÓDULO 2: Abastecimiento de agua de los dispositivos	PLC >> Transmisor de presión>>transmisor de caudal >> Electroválvulas proporcionales>> Dispositivo #1, 2, 3,4>> Panel Visualizador
MÓDULO 3: Uso y posicionamiento de dispositivo 1.	Dispositivo 1 >> Mecanismo tornillo sinfín
MÓDULO 4: Uso de dispositivo 2	Dispositivo 2
MÓDULO 5: Uso de dispositivo 3,4	Dispositivo 3,4
MÓDULO 6: Giro e inclinación de la base	Variador de frecuencia>>Motorreductor>>Encoder>> Mecanismo con pasadores
MÓDULO 7: Desarrollo de pruebas acorde Norma IEC-60529	Norma IEC-60529
MÓDULO 8: Inspección	Gabinete >> Papel testigo
MÓDULO 9; Análisis de resultados	Pruebas>>Reporte físico

CAPÍTULO IV

4. Diseño y selección

Teniendo en cuenta los resultados entregados por el QFD y habiendo escogido las soluciones para cada módulo, se procede a realizar el diseño mecánico y el dimensionamiento eléctrico y de control.

4.1 Sistemas mecánicos

En cuanto a la sección mecánica se tienen los siguientes sistemas:

1. Estructura externa
2. Estructura interna
3. Mecanismo de elevación de dispositivo 1
4. Soporte de gabinetes
5. Carro de agarre rápido
6. Sistema motriz de la base
7. Mecanismo de inclinación
8. Soporte de mecanismo de inclinación
9. Sistema hidráulico
10. Sistema neumático

4.2 Estructura externa e interna

El diseño de la máquina empieza con la estructura interna que comprende el armazón y la estructura externa que es el recubrimiento. La Figura 46 muestra de forma general la estructura de la máquina dónde se ensamblan los demás subsistemas.

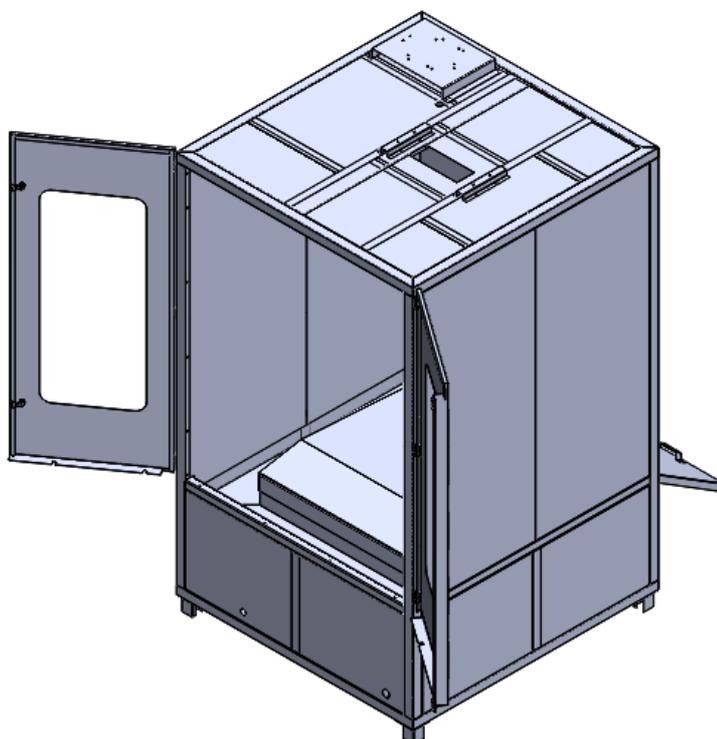


Figura 46 Estructura Interna y externa

4.2.1 Mecanismo de elevación del dispositivo 1

El mecanismo de elevación comprende del motor superior, gata mecánica, matrimonio de eje, encoder y chumaceras (Figura 47) que son los encargados de mover el dispositivo 1.

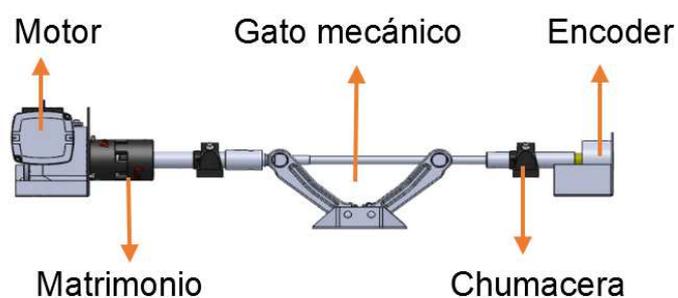


Figura 47 Mecanismo de elevación - dispositivo 1

4.2.1.1 Selección del gato mecánico - mecanismo de elevación

El gato mecánico traslada un peso aproximado de 31Kg que es la suma de lo que pesa el dispositivo de goteo y de su soporte.

En cuanto al gato mecánico, la hoja de especificaciones técnicas (Tabla 57) detalla que éste soporta una carga de hasta 1 Ton, por lo que los 31kg que traslada se encuentran dentro su rango de trabajo.

Tabla 57

Especificaciones técnicas - Gato mecánico

Características	Medida
Longitud de mango	8"
Altura baja de recolección	3-9/64"
Material	Acero
Capacidad de elevación (tons)	1
Punto alto de elevación	15-3/4"

Fuente: (Grainger, 2014)

4.2.1.2 Dimensionamiento del motor - mecanismo de elevación

Para el dimensionamiento del motor superior, se calcula el torque que éste necesita para mover el dispositivo de goteo y su soporte. Para lo cual se aplica la ecuación (1) definida por:

$$\tau = F \cdot d \quad (1)$$

Donde:

τ : Torque [N. m]

F: Fuerza [N]

d: Distancia [m]

La Figura 48 muestra la distancia (0.15m) que existe entre el punto donde se produce el torque y la fuerza (peso total). La fuerza corresponde al peso de todo el conjunto que comprende el dispositivo 1 que resultan 304 N.

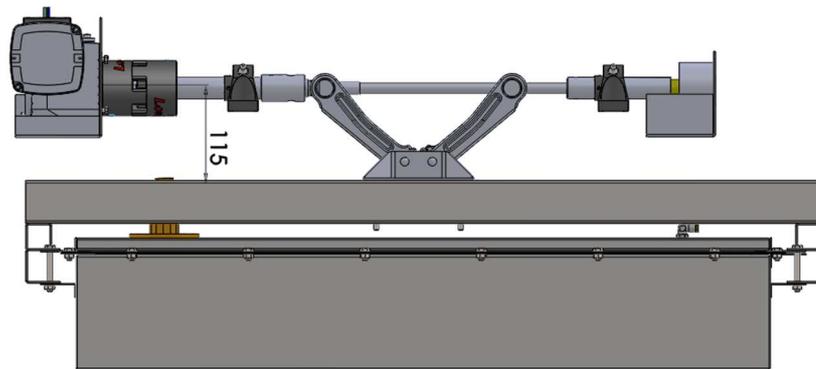


Figura 48 Conjunto Dispositivo 1- Mecanismo de elevación

Reemplazando los valores tiene que:

$$\tau = 45.6 \text{ N.m}$$

Por lo cual se calcula la potencia mínima que debe tener el motor a través de la ecuación (2) como se muestra a continuación:

$$P = \tau \cdot \omega \text{ (2)}$$

Donde:

P: Potencia [W]

w: Velocidad angular [rad/s]

Debido a que un requerimiento del cliente es utilizar los elementos que dispone la empresa, se dimensiona el motor tomando en cuenta que el variador de frecuencia que se dispone tiene las siguientes características (Figura 49):

SV004iE5-1		Modelo del variador
INPUT	200 ~ 230V 1phase 5.5A 50/60Hz	Especificación de la tensión de entrada
OUTPUT	0 ~ INPUT V 3phase 2.5A 0.1 ~ 200Hz 0.5HP/0.4kW (D)	Tensión de salida, corriente de salida nominal, frecuencia, capacidad del variador
 0010222100155		Código de barras y número de serie
LS Industrial Systems Co., Ltd. Made in Korea		

Figura 49 Especificaciones técnicas - Variador

Fuente: (LS, 2008)

Reemplazando los valores de torque y una velocidad angular de $w = 0.377 \left[\frac{rad}{s} \right]$ se tiene que el motor debe tener una potencia mínima de:

$$P = 17.19 \text{ [W]}$$

$$P = 0.02 \text{ [HP]}$$

La distancia que se tiene para controlar solamente es 0.15m por lo que se trabaja con motores de bajas revoluciones para que al momento del freno del motor no se prolongue el movimiento del eje y se tenga un error reducido.

Dentro de la línea de productos de la marca Bodine Electric Company se dispone de un motor 30R2BE99-3RD (Tabla 58) que trabaja a bajas revoluciones con una potencia menor a 0.5hp que son los parámetros con lo que trabaja el variador de frecuencia SV004ie5-1

Tabla 58
Motorreductores Bodine Electric Company

Veloc (rpm)	Torque (lb-in)	Motor (HP)	V	Frec. (Hz)	A (Amps)	Radio eje	Tipo	Modelo
0.5	95	1/25	230	60	0.38	3600	30R2BEPP-3RD	N8036
1.2	121	1/25	230	60	0.38	1400	30R2BEPP-3RD	N8014
2.8	148	1/17	230	60	0.48	600	30R2BEPP-3RD	8006
5.7	146	1/17	230	60	0.48	300	30R2BEPP-3RD	N8003
8.5	141	1/17	230	60	0.48	200	30R2BEPP-3RD	N8002

Fuente: (Bodine electric Co, 2014)

4.2.1.3 Selección de encoder - mecanismo de elevación

Para realizar el control de posicionamiento del dispositivo 1 se utiliza el motor con un sensor de posición angular como retroalimentación. La marca YUMO ofrece encoders dependiendo la aplicación. Igualmente el elemento se selecciona bajo ciertas variables como: número de pulsos, número de señales de salida, voltaje de alimentación y circuito de salida. En este caso se trabaja con un encoder de 1024 ppr, señal A, 24Vdc y push pull. El encoder utilizado goza de las siguientes especificaciones técnicas (Tabla 59):

Tabla 59
Especificaciones técnicas encoder superior

Especificaciones	
Onda de salida	Onda cuadrada
Señal de salida	A
Consumo de corriente	≤180mA
Frecuencia de respuesta	0-120KHz
Voltaje	24Vdc
Número de pulsos	1024
Circuito de salida	Push pull

Fuente: (Yumo, 2010)

4.2.1.3.1 Cálculo frecuencia - encoder inferior

Se efectúa el cálculo de la frecuencia del encoder con la ecuación (3) para tener en cuenta en la selección del PLC ,para que este cuente o no con entradas de alta frecuencia .

$$f = RPM.pulsos \text{ (3)}$$

$$f = 3.6 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{min}}{60\text{s}} \frac{1024 \text{ pulsos}}{\text{rev}}$$

$$f = 61 \text{ Hz}$$

4.2.1.4 Dimensionamiento de chumaceras - mecanismo de elevación

Para el dimensionamiento de las chumaceras se define cual es el peso máximo que esta soporta. El dispositivo 1 completamente lleno de agua y su soporte llegan a pesar alrededor de 105 Kgf.

La marca KDF brinda una amplia gama de chumaceras dependiendo la carga y la dirección a la cual se aplica. La Tabla 60 muestra una sección del catálogo, donde se puede encontrar que la chumacera que se adapta a la necesidad tiene el código UCP204-12.

Tabla 60
Chumaceras

CÓDIGO IBCA	Diam. Del eje		Perno	Tipo de rodamti.	Soporte	Masa kg
	mm	pulg				
UCP 204	20	3/4	M10	UC 204	P 204	0.70
UCP 204-12			W3/8	UC 204-12		
UCP 205	25			UC 205	TP 205	0.85
UCP 205-14		7/8	M10	UC 204-14		
UCP 205-15		15/16	W3/8	UC 204-15		
UCP 205-16		1		UC 204-16		

Fuente: (Ami bearings Inc, 2014)

La chumacera utiliza el rodamiento UC204-12 el cual tiene las especificaciones técnicas que se muestran en la Tabla 61 con lo que se evidencia que la capacidad dinámica máxima que soporta

es 3147lbf (1430kgf), con lo que se concluye que esta chumacera es apta para la aplicación.

Tabla 61
Rodamiento UC205-16

Especificaciones	
Artículo No.	UC 205-16
Tipo Bore	Agujero cilíndrico
Tipo rodamiento	Cojinete de bolas
Tamaño del diámetro d	1 en
Material	Acero
Peso	0.200 kg
Capacidad de Carga	
Capacidad de carga estática	1765 lbf 7850 N
De carga dinámica	3147 lbf 14000 N

Fuente: (Ami bearings Inc, 2014)

4.3 Diseño mecánico

En el estudio de ciertas piezas mecánicas, el diseño por elementos finitos es de gran ayuda ya sea porque las piezas son irregulares, muy complejas, o porque necesitan de un análisis profundo para su aprobación. Estos valores generalmente se los coteja con resultados obtenidos por cálculos teóricos, sin embargo para para cálculo de algunas piezas es necesario compararlas con algún modelo teórico existente para tener un valor aproximado, lo que conlleva a eliminar ciertos detalles del diseño original, ocasionando que el valor aproximado obtenido por el método teórico, tenga un error considerable y no permita un diseño seguro y funcional.

Para que un diseño mediante software pueda ser validado se establecen rangos permisibles que deben cumplir los resultados que arroja la simulación de elementos finitos. Si un diseño se encuentra dentro de estos rangos se toma como correcto para su posterior fabricación. Los rangos permisibles son:

- Análisis de esfuerzo máximo: Menor al esfuerzo máximo del material
- Análisis de desplazamiento máximo: Desplazamiento $\leq 2\text{mm}$

- Análisis de factor de seguridad: Factor de seguridad ≥ 2

4.3.1 Diseño del sistema motriz

El sistema motriz está comprendido por los subsistemas del soporte de gabinetes, el plato, mecanismo de inclinación, el soporte del mecanismo de inclinación y el motor como se observa en la Figura 50. El estudio de estos subsistemas también se lo realiza a través de elementos finitos. Para cada uno de estos subsistemas se realizan los siguientes análisis:

- Plato: análisis de esfuerzo máximo, desplazamientos máximos y factor de seguridad.
- Soporte de mecanismo de inclinación: análisis de esfuerzo máximo, desplazamientos máximos y factor de seguridad.

De forma resumida se puede encontrar los resultados del análisis de todos estos elementos en el Anexo 3.

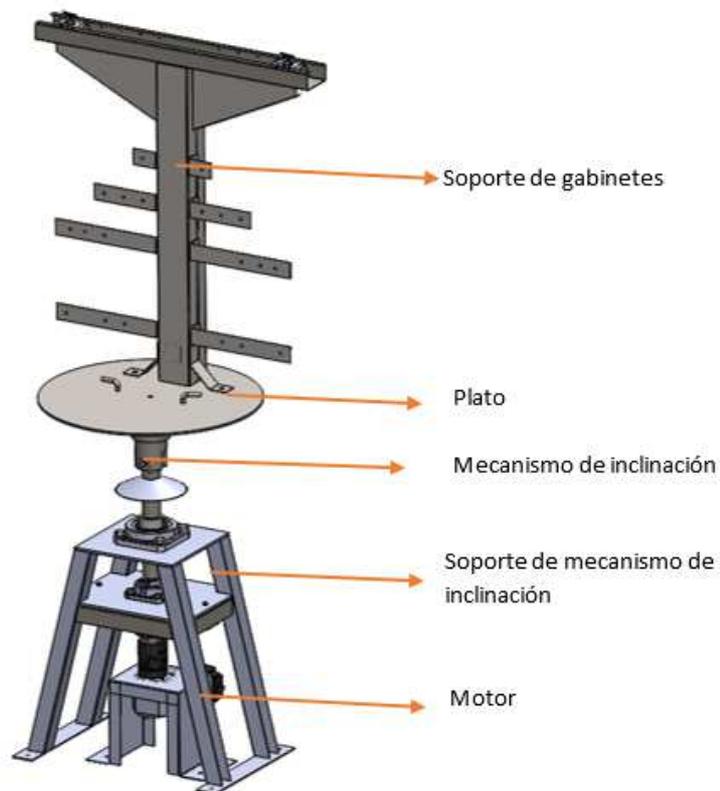


Figura 50 Sistema motriz – elementos

4.3.2 Diseño del soporte para gabinete

Para las todas las pruebas, el gabinete debe estar fijo a un soporte para simular que se encuentra colocado en la pared. Dicho soporte debe resistir un peso máximo de 18.5 [Kg] que es el peso del gabinete más grande.

La sujeción del gabinete sobre el soporte se la realiza de forma que el gabinete se sitúa como lo haría en su lugar de funcionamiento. Por lo tanto, previa la construcción, se realiza el análisis del esfuerzo máximo, factor de seguridad y desplazamiento máximo de la estructura.

4.3.2.1 Análisis de esfuerzo máximo – soporte de gabinetes

Para realizar el análisis de esfuerzo máximo y los posteriores análisis se usan los siguientes parámetros iniciales para el cálculo:

- Peso máximo a soportar 20Kg,
- Elaborado de láminas de acero inoxidable AISI 304 de 1.5mm de espesor y platinas de acero inoxidable AISI 304 de 3mm de espesor.

Se toman estos espesores de láminas ya que son los que la empresa INSELEC posee en almacenamiento como parte de su materia prima. Las propiedades mecánicas del acero AISI 304 se las puede observar en la Tabla 62.

Tabla 62
Propiedades del acero AISI 304

Nombre	AISI 304
Límite elástico	206.807N/mm ²
Límite de tracción	517.017 N/mm ²
Módulo elástico	190000 N/mm ²
Coefficiente de poisson	0.29
Densidad	8000 g/cm ³
Módulo cortante	75000 N/mm ²
Coefficiente de dilatación térmica	1.8e-05 /Kelvin

Fuente : (Budynas & Nisbett, 2008)

Teniendo en cuenta estos parámetros iniciales se realiza el diseño 3D de la estructura como se muestra en la Figura 51.

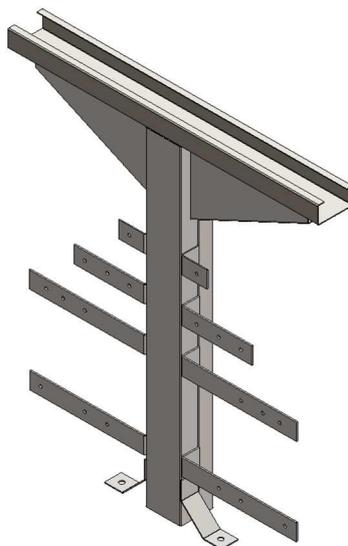


Figura 51 Vista isométrica - Soporte de gabinetes

Posterior al diseño en 3D se realiza el estudio de simulación, el cual muestra los resultados en la Figura 52.

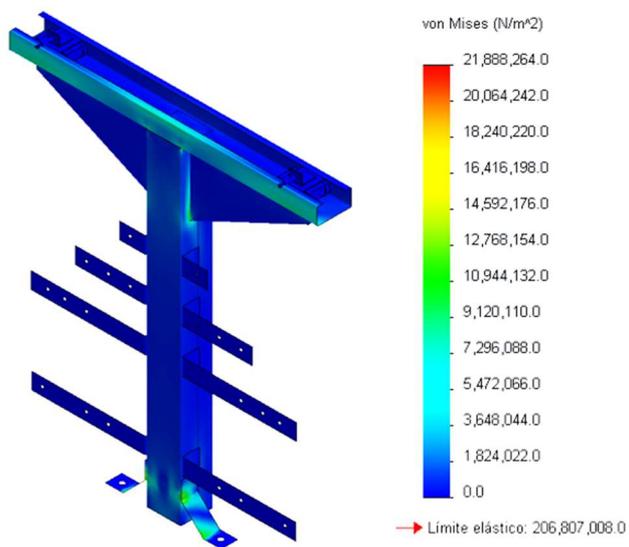


Figura 52 Resultados de análisis de esfuerzo máximo - Soporte de gabinetes

Los resultados arrojan que el valor máximo del esfuerzo provocado por la carga de 20Kgf es de 21.88MPa, el cual no supera el esfuerzo del límite

elástico del material que es de 206.8MPa, por lo cual se puede concluir que el diseño soporta la carga provocada por el peso del gabinete de mayor dimensión.

4.3.2.2 Análisis de desplazamiento máximo - soporte de gabinetes

El soporte sufre la deformación o el desplazamiento máximo a causa de colocar el gabinete más pesado en la estructura. Acorde a los resultados (Figura 53) obtenidos por el software, el valor máximo de deformación es 0.1137mm. Este valor no es una deformación considerable que pueda afectar el funcionamiento del soporte, además es imperceptible, por lo tanto el diseño actual no tiene desplazamientos excesivos.

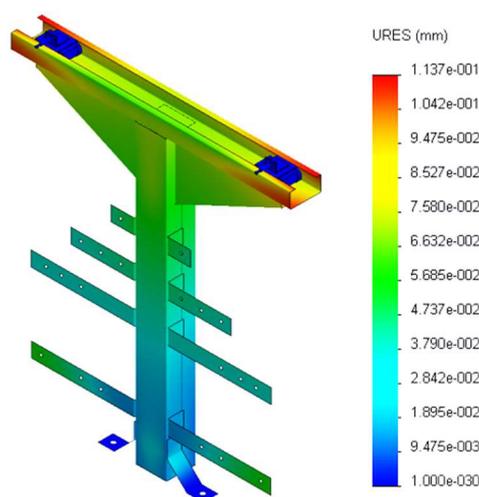


Figura 53 Resultados de análisis de desplazamiento máximo – Soporte de gabinetes

4.3.2.3 Análisis de factor de seguridad - soporte de gabinetes

El factor de seguridad recomendado en los diseños de estructuras y elementos mecánicos tiene un valor mínimo de 21. Los resultados obtenidos de la simulación como se observa en la Figura 54 tienen un valor mínimo de 8.36, por lo cual el diseño actual será confiable ante las cargas bajo las cuales va a estar sometido.

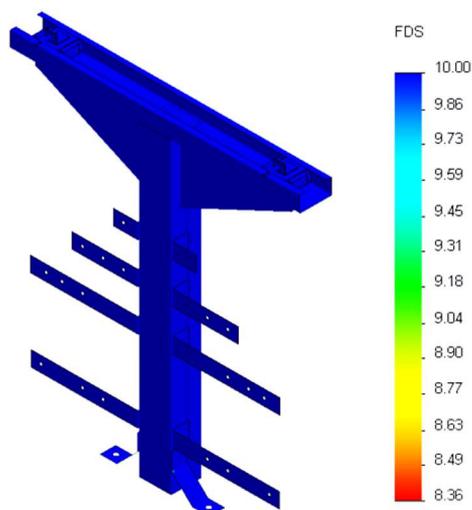


Figura 54 Resultados del análisis de factor de seguridad - Soporte de gabinetes

4.3.2.4 Carro para agarre rápido –soporte de gabinetes

Los rodamientos se seleccionan en base a la carga que soportan y a la dimensión que se requiere. En este caso el carro no se va a desplazar cuando el gabinete se encuentre posicionado por lo que la carga es estática y corresponde al peso del gabinete de máxima dimensión, que son 18.3 Kgf. La marca NTN posee una amplia gama de rodamientos de bolas.

La Tabla 63 muestra una sección del catálogo proporcionado por la marca. En la selección de este elemento se toma en cuenta que los rodamientos van a estar directamente en contacto con el agua por lo que se requiere de un elemento que tenga su respectiva protección. Acorde a las dimensiones del carro y de los ejes en los que se va a colocar, se selecciona el rodamiento tipo 6001 LLU.

Tabla 63
Rodamientos de bola – NTN

	Boundary dimensions				Basic load ratings				Factor	Limiting speeds				Bearing numbers					
	mm				dynamic		static			f_0	grease		oil		open type	shielded type	non-contact sealed type	low torque sealed type	contact sealed type
	d	D	B	$r_{s\max}$	C_r	C_{or}	C_s	C_{os}			open type	open type	LLH	LLU					
10	15	3	0.1	—	0.855	0.435	87	44	15.7	10 000	12 000	—	—	6700	—	—	—	—	
	19	5	0.3	—	1.83	0.925	187	94	14.8	32 000	38 000	—	24 000	6800	ZZ	LLB	—	LLU	
	22	6	0.3	0.3	2.7	1.27	275	129	14.0	30 000	36 000	—	21 000	6900	ZZ	LLB	—	LLU	
	26	8	0.3	—	4.55	1.96	465	200	12.4	29 000	34 000	25 000	21 000	6000	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	30	9	0.6	0.5	5.10	2.39	520	244	13.2	25 000	30 000	21 000	18 000	6200	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	35	11	0.6	0.5	8.20	3.50	835	355	11.4	23 000	27 000	20 000	16 000	6300	ZZ	LLB	LLH	LLU	
12	18	4	0.2	—	0.930	0.530	95	54	16.2	8 300	9 500	—	—	6701	—	LLF	—	—	
	21	5	0.3	—	1.92	1.04	195	106	15.3	29 000	35 000	—	20 000	6801	ZZ	LLB	—	LLU	
	24	6	0.3	0.3	2.89	1.46	295	149	14.5	27 000	32 000	—	19 000	6901	ZZ	LLB	—	LLU	
	28	7	0.3	—	5.10	2.39	520	244	13.2	26 000	30 000	—	—	16001	—	—	—	—	
	28	8	0.3	—	5.10	2.39	520	244	13.2	26 000	30 000	21 000	18 000	6001	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	32	10	0.6	0.5	6.10	2.75	620	280	12.7	22 000	26 000	20 000	16 000	6201	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	37	12	1	0.5	9.70	4.20	990	425	11.1	20 000	24 000	19 000	15 000	6301	ZZ	LLB	LLH	LLU	

Fuente: (NTN Co., 2009)

El mecanismo de agarre rápido igualmente se selecciona de una gama de productos que dispone la marca PROTEX. El dispositivo tiene el código TCP-BMF H-036-025-SS (Tabla 64).

Tabla 64
Mecanismo agarre rápido – PROTEX

Características	
Material	Acero inoxidable
Acabado	Natural
Peso	0.0415 kg
Fuerza soportada	40kgf

Fuente: (Protex, 2014)

4.3.2.5 Análisis de esfuerzo máximo – plato

Para este análisis se toma en consideración que el plato soporta el peso del gabinete y el soporte de gabinetes. El peso del gabinete de mayor dimensión es de 18.5Kg y el peso del soporte de gabinetes es de 5Kg, obteniendo un peso total 23.5Kg. El plato sin embargo se lo diseña para que soporte un peso máximo de 25Kg sin que sufra deflexiones que puedan afectar el funcionamiento del sistema.

Por lo que para empezar el análisis se toman en cuenta los siguientes parámetros iniciales:

- Peso máximo a soportar de 25Kg
- Plancha de acero inoxidable AISI 304 de espesor 5mm.

Se realiza el diseño 3D del plato con el eje sobre el cual va a estar apoyado (Figura 55). Para empezar el análisis se aplican las propiedades del material que son las mismas que se muestran en la Tabla 62.

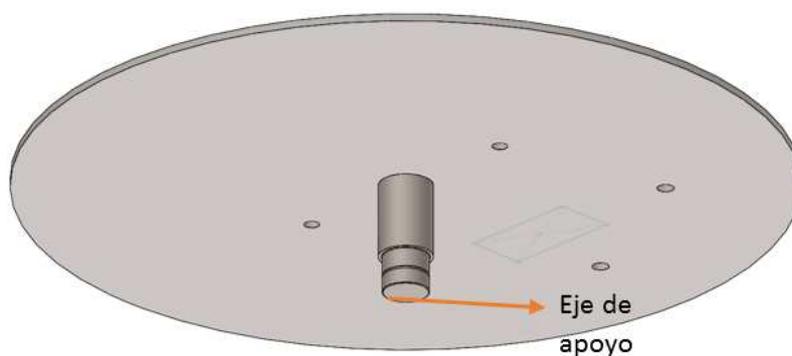


Figura 55 Diseño 3D de la placa con soporte

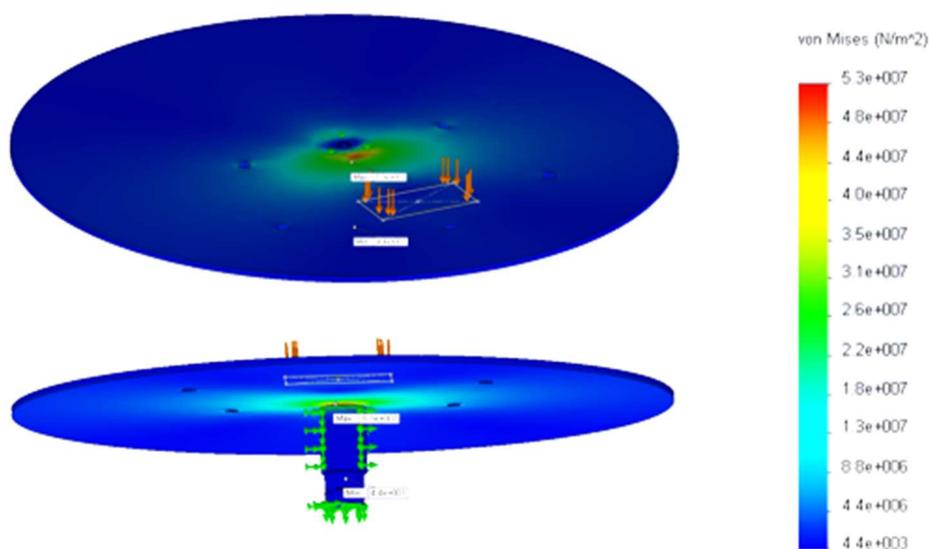


Figura 56 Resultados de análisis de esfuerzo máximo – Plato

Los resultados de la simulación (Figura 56) muestran que el esfuerzo máximo se localiza en la sección donde el plato tiene contacto con el eje. Este esfuerzo tiene un valor de 53MPa. De acuerdo a las propiedades del material el esfuerzo máximo permisible para que no exista deformación es de 206.8Mpa, por lo cual se puede concluir que la placa no flexiona significativamente.

4.3.2.6 Análisis de desplazamiento máximo – plato

Los resultados de la simulación que se muestran en la Figura 57 exponen que el desplazamiento máximo es ocasionado por el peso del gabinete con su soporte. Estos se ubican a un extremo del plato. El desplazamiento tiene un valor de 0.6269mm el cual no es un valor elevado que pueda interferir en el correcto funcionamiento del sistema por lo cual se puede concluir que se encuentra dentro de un rango aceptable.

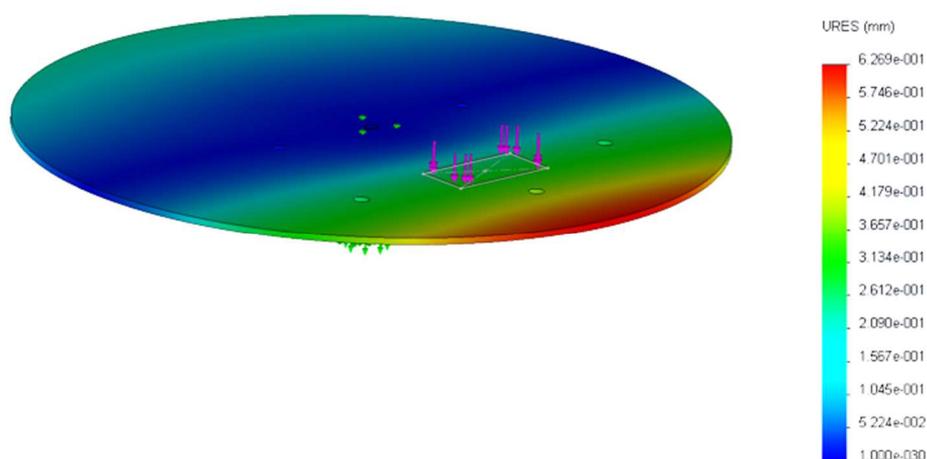


Figura 57 Resultados de análisis de desplazamiento máximo

4.3.2.7 Análisis de factor de seguridad – plato

Los resultados de la simulación que se observan en la Figura 58 muestran que el factor de seguridad mínimo es de 3.93 y se encuentra ubicado en la sección donde hacen contacto el soporte con el plato. Debido a que el factor de seguridad en el lugar más crítico es relativamente alto se puede concluir que el diseño es confiable.

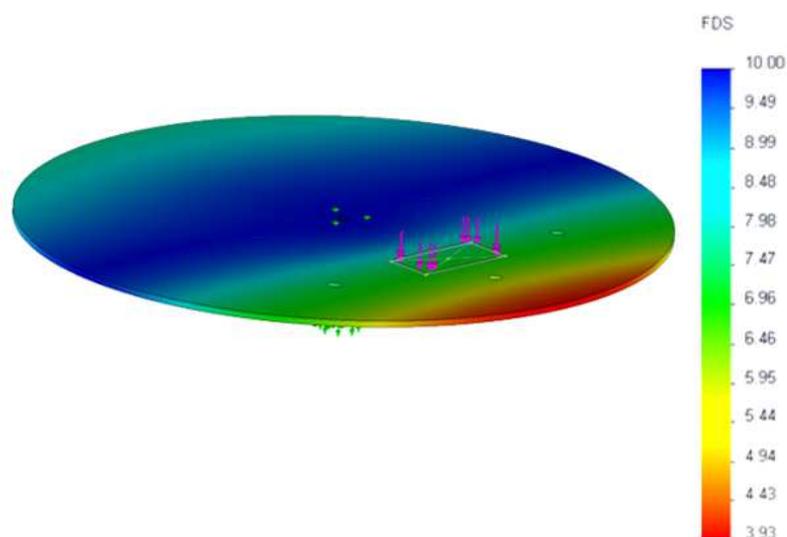


Figura 58 Resultados de análisis de factor de seguridad

Con los resultados obtenidos en los análisis de tensión, desplazamiento y factor de seguridad se puede concluir que los parámetros iniciales que se usaron para el plato son ideales para que el dispositivo pueda trabajar sin ser propenso a fallas ya que se encuentran dentro de los rangos permisibles que se estableció.

4.3.2.8 Optimización – plato

Por motivo de optimización también se hace el análisis del plato con un espesor comercial menor al de los parámetros iniciales, por lo cual los nuevos parámetros para la optimización son:

- Peso máximo a soportar de 25Kg,
- Placa de acero inoxidable AISI 304 de espesor 3mm.

Los resultados de la simulación mediante software CAD para la optimización fueron: para la tensión máxima 110MPa, el desplazamiento máximo de 2.67mm y el factor de seguridad mínimo en el área crítica de 3.93. Estos valores se comparan con las propiedades mecánicas del material y con los rangos permisibles; en cuanto al límite elástico y factor de seguridad se encuentran dentro del rango sin embargo el desplazamiento supera el límite impuesto.

Por los resultados obtenidos con los parámetros iniciales y con los de optimización se puede concluir que el plato base será fabricado con una plancha de acero inoxidable AISI 304 de 5mm de espesor.

4.3.2.9 Análisis de esfuerzo máximo – eje plato giratorio

El análisis del conjunto del mecanismo de inclinación comienza con parámetros preestablecidos en el numeral 4.3.2.5

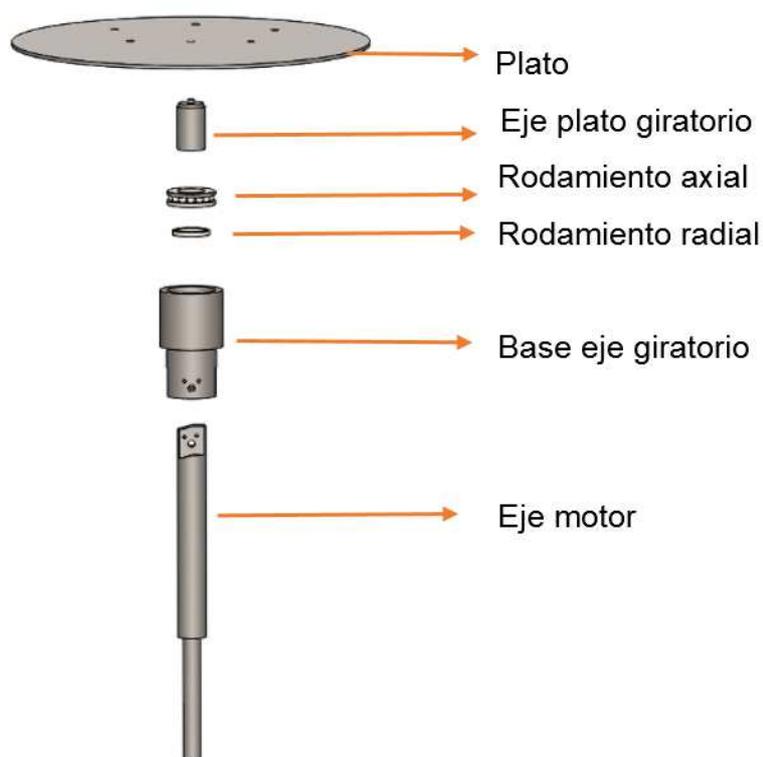


Figura 59 Conjunto mecanismo de inclinación

Se empieza diseñando el eje del plato giratorio (Figura 59). Esta pieza tiene la función de servir de soporte en el cual el plato puede girar los 90° , que se requieren en la prueba IPX2.

Debido a que el plato y su eje mantienen una unión por cordón de soldadura tipo MIG, para efectos de cálculo se asume que estos dos elementos forman un solo cuerpo (Figura 60).

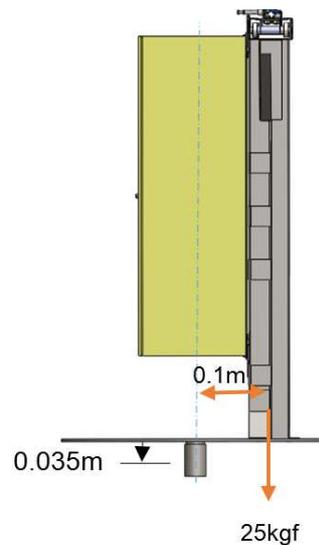


Figura 60 Diagrama de cuerpo libre soporte gabinetes – plato

La carga que soporta el eje en este caso es una carga axial excéntrica, la misma que produce un momento de $M= 2.5 \text{ N.m}$. Aplicando la ecuación (4) del esfuerzo producido por un momento flexionante se tiene:

$$\sigma = \frac{M.c}{\frac{\pi d^4}{64}} \quad (4)$$

Donde

M = Momento flexionante [N.m]

c = Magnitud máxima en y [m]

d = Diámetro eje[m]

Para obtener el diámetro mínimo se trabaja con el valor de límite elástico tomando como referencia el valor de la Tabla 62

$$2.06e^{+8} = \frac{24.5 (0.035)}{\frac{\pi(d)^4}{64}}$$

$$d = 0.017 \text{ m}$$

La función del eje es de servir como guía para colocar los rodamientos axial y radial y para que el plato pueda tener un giro adicional e independiente

del que es provocado por el motor. Teniendo esto en cuenta, se debe seleccionar primeramente un rodamiento axial con diámetro interno idealmente de 9 mm que fue calculado para el eje plato giratorio, sin embargo comercialmente no existen rodamientos con esas dimensiones, por lo cual se debe seleccionar uno con dimensiones mayores.

La carga axial comprenden los 25kg del gabinete y su soporte, y el peso del plato que resultan 32kg. Debido a la disponibilidad de los rodamientos por parte del proveedor de INSELEC se ha escogido uno con las características de la Tabla 65

Tabla 65
Selección - Rodamiento axial

	Boundary dimensions				Basic load ratings				Limiting speeds		Bearing numbers	Dimensions			Abutment and fillet dimensions			Mass kg (approx.)
	mm				kN		kgf		min ⁻¹			mm			mm			
	d	D	T	r _{1mm} ⁽¹⁾	C _d	C _{st}	C _d	C _{st}	grease	oil		d _{1mm} ⁽²⁾	D _{1mm} ⁽²⁾	t	d _a min	D _a max	r _{1a} max	
10	24	9	0.3	10.0	14.0	1 020	1 420	6 700	9 500	51100	24	11	2.5	18	16	0.3	0.021	
	26	11	0.6	12.7	17.1	1 290	1 740	5 800	8 300		51200	26	12	3.3	20	16	0.6	0.03
12	26	9	0.3	10.3	15.4	1 050	1 570	6 400	9 200	51101	26	13	2.5	20	18	0.3	0.023	
	28	11	0.6	13.2	19.0	1 340	1 940	5 600	8 000		51201	28	14	3.3	22	18	0.6	0.034
15	28	9	0.3	10.5	16.8	1 070	1 710	6 200	8 800	51102	28	16	2.5	23	20	0.3	0.024	
	32	12	0.6	16.6	24.8	1 690	2 530	5 000	7 100		51202	32	17	3.5	25	22	0.6	0.046
17	30	9	0.3	10.8	18.2	1 100	1 850	6 000	8 500	51103	30	18	2.5	25	22	0.3	0.026	
	35	12	0.6	17.2	27.3	1 750	2 780	4 800	6 800		51203	35	19	3.5	28	24	0.6	0.054
20	35	10	0.3	14.2	24.7	1 450	2 520	5 200	7 500	51104	35	21	2.5	29	26	0.3	0.04	
	40	14	0.6	22.3	37.5	2 270	3 850	4 100	5 900		51204	40	22	4.1	32	28	0.6	0.081
25	42	11	0.6	19.6	37.0	1 990	3 800	4 600	6 500	51105	42	26	3	35	32	0.6	0.06	
	47	15	0.6	27.8	50.5	2 830	5 150	3 700	5 300		51205	47	27	4.3	38	34	0.6	0.111
	52	18	1	35.5	61.5	3 650	6 250	3 200	4 600		51305	52	27	5	41	36	1	0.176
	60	24	1	55.5	89.5	5 650	9 100	2 600	3 700		51405	60	27	6.9	46	39	1	0.33
30	47	11	0.6	20.4	42.0	2 080	4 300	4 300	6 200	51106	47	32	3	40	37	0.6	0.069	
	52	16	0.6	29.3	58.0	2 990	5 950	3 400	4 900		51206	52	32	5	43	39	0.6	0.139
	60	21	1	43.0	78.5	4 350	8 000	2 800	3 900		51306	60	32	6.4	48	42	1	0.269
	70	28	1	72.5	126	7 400	12 800	2 200	3 200		51406	70	32	8.3	54	46	1	0.516
35	52	12	0.6	20.4	44.5	2 080	4 550	3 900	5 600	51107	52	37	3.5	45	42	0.6	0.085	
	62	18	1	39.0	78.0	4 000	7 950	2 900	4 200		51207	62	37	5.2	51	46	1	0.215
	68	24	1	55.5	105	5 650	10 700	2 400	3 500		51307	68	37	7.2	55	48	1	0.383
	80	32	1.1	87.0	155	8 850	15 800	1 900	2 800		51407	80	37	9.6	62	53	1	0.759

Fuente: (NTN Co., 2009)

Por lo que el diámetro interno de la pieza llamada base eje plato giratorio, debe tener un ajuste acorde a la pieza llamada eje plato giratorio.

Para el rodamiento radial se requiere realizar un hombro en el cual descansa toda carga del conjunto y ayuda a la disminución de vibraciones. El esfuerzo máximo producido por la carga radial se produce cuando el conjunto se encuentra a 15° con respecto a la vertical.

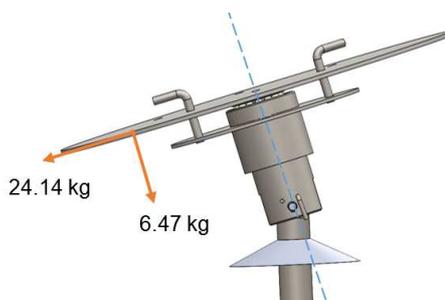


Figura 61 Esfuerzo máximo - mecanismo de inclinación

Por lo que la carga máxima a soportar radialmente es de 24.14kgf y se tomará el diámetro de 25.4mm como se puede ver en la Tabla 66

Tabla 66 Selección - Rodamiento radial

Boundary dimensions	Basic load ratings				Factor	Limiting speeds				Bearing numbers								
	mm		kN			kgf		min ⁻¹		open type	shielded type	non-contact sealed type	low torque sealed type	contact sealed type				
	d	D	B	r _{max} (1)		C _r	C _{or}	C _r	C _{or}						f ₀	grease open type ZZ	oil open type Z LB	LLH
20	72	19	1.1	—	28.5	13.9	2 900	1 420	11.4	12 000	14 000	—	—	6404	—	—	—	—
	44	12	0.6	0.5	9.40	5.05	955	515	13.9	17 000	20 000	13 000	10 000	60/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
22	50	14	1	0.5	12.9	6.80	1 320	690	13.5	14 000	17 000	12 000	9 700	62/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
	56	16	1.1	0.5	18.4	9.25	1 880	945	12.4	13 000	15 000	11 000	9 200	63/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
25	32	4	0.2	—	1.10	0.840	112	86	15.8	4 000	4 600	—	—	6705	—	LLF	—	—
	37	7	0.3	0.3	4.30	2.95	435	300	16.1	18 000	21 000	—	10 000	6805	ZZ	LLB	—	LLU
	42	9	0.3	0.3	7.05	4.55	715	460	15.4	16 000	19 000	—	9 800	6905	ZZ	LLB	—	LLU
	47	8	0.3	—	8.35	5.10	855	520	15.1	15 000	18 000	—	—	16005	—	—	—	—
	47	12	0.6	0.5	10.1	5.85	1 030	595	14.5	15 000	18 000	11 000	9 400	6005	ZZ	LLB	LLH	LLU
	52	15	1	0.5	14.0	7.85	1 430	800	13.9	13 000	15 000	11 000	8 900	6205	ZZ	LLB	LLH	LLU
	62	17	1.1	0.5	21.2	10.9	2 100	1 110	12.6	12 000	14 000	9 700	8 100	6305	ZZ	LLB	LLH	LLU
80	21	1.5	—	34.5	17.5	3 550	1 780	11.6	10 000	12 000	—	—	6405	—	—	—	—	
28	52	12	0.6	0.5	12.5	7.40	1 270	755	14.5	14 000	16 000	10 000	8 400	60/28	ZZ	LLB	LLH	LLU
	58	16	1	0.5	17.9	9.75	1 830	995	13.4	12 000	14 000	9 700	8 100	62/28	ZZ	LLB	LLH	LLU
	68	18	1.1	0.5	26.7	14.0	2 730	1 430	12.4	11 000	13 000	8 900	7 400	63/28	ZZ	LLB	LLH	LLU
30	37	4	0.2	—	1.14	0.950	117	97	15.7	3 300	3 800	—	—	6706	—	LLF	—	—
	42	7	0.3	0.3	4.70	3.65	480	370	16.5	15 000	18 000	—	8 800	6806	ZZ	LLB	—	LLU
	47	9	0.3	0.3	7.25	5.00	740	510	15.8	14 000	17 000	—	8 400	6906	ZZ	LLB	—	LLU
	55	9	0.3	—	11.2	7.35	1 150	750	15.2	13 000	15 000	—	—	16006	—	—	—	—
	55	13	1	0.5	13.2	8.3	1 350	845	14.8	13 000	15 000	9 200	7 700	6006	ZZ	LLB	LLH	LLU
	62	16	1	0.5	19.5	11.3	1 980	1 150	13.8	11 000	13 000	8 800	7 300	6206	ZZ	LLB	LLH	LLU
	72	19	1.1	0.5	26.7	15.0	2 720	1 530	13.3	10 000	12 000	7 900	6 600	6306	ZZ	LLB	LLH	LLU

Fuente: (NTN Co., 2009)

4.3.2.10 Análisis de esfuerzo máximo – eje motor

Para el diseño del eje, se toma como punto de inicio las medidas de la pieza llamada base eje plato giratorio, la cual tiene un diámetro externo de 70mm. Por lo que se empieza diseñando un eje de 70cm de diámetro.

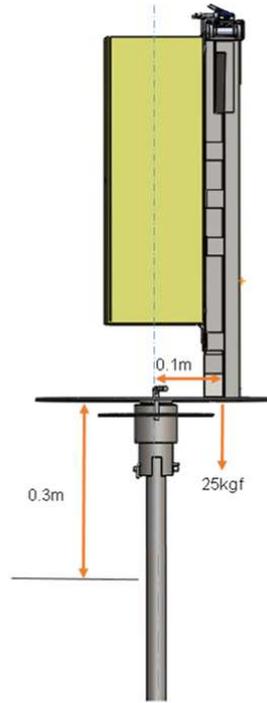


Figura 62 Diagrama de fuerzas - eje motor

Aplicando nuevamente la ecuación (4) se tiene que el esfuerzo máximo es:

$$\sigma = \frac{24.5 (0.3)}{\frac{\pi(0.07)^4}{64}}$$

$$\sigma = 6.23 \text{ MPa}$$

Sin embargo, por motivos de optimización y para mantener una congruencia entre las piezas de todo el conjunto se considera un diámetro comercial de 35 cm, el cual tampoco supera el límite elástico del material.

$$\sigma = \frac{24.5 (0.3)}{\frac{\pi(0.035)^4}{64}}$$

$$\sigma = 99.78 \text{ MPa}$$

Para el diseño del hombro del eje se toman los valores de la Tabla 62 del acero AISI 304.

$$s_{ut} = 5.17 e^{+8} \text{ Pa}$$

$$s_y = 2.06 e^{+8} \text{ Pa}$$

El análisis se empieza calculando la concentración de esfuerzos k_t para lo que se toman los valores de la Figura 63

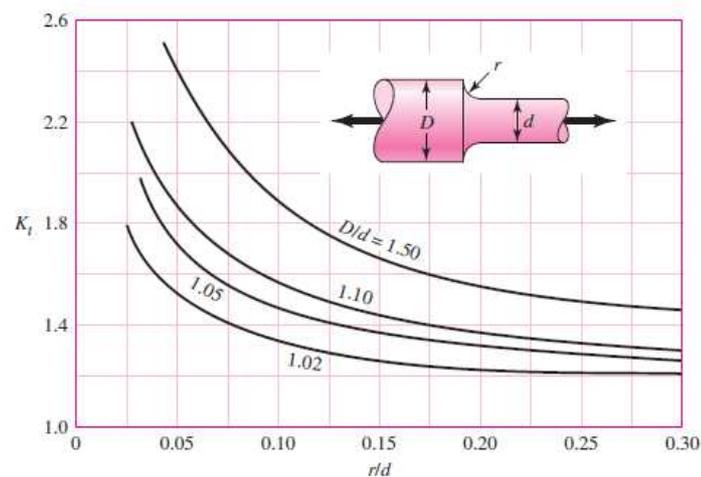


Figura 63 Factor teórico de concentración de esfuerzo

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$\frac{D}{d} = \frac{40}{25.4} = 1.5$$

$$\frac{r}{d} = 0.15$$

$$k_t = 1.65$$

Mientras de la Figura 64 se toma el valor de sensibilidad a la muesca

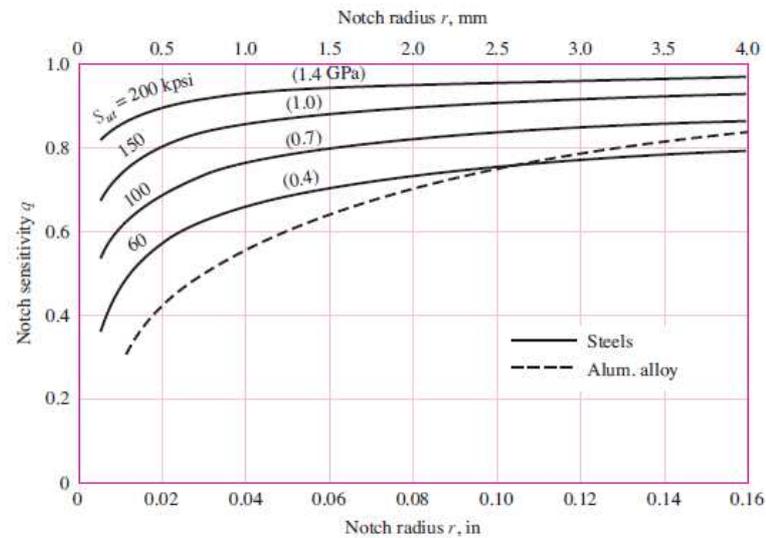


Figura 64 Sensibilidad a la muesca

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$k_f = 1 + q(k_t - 1)$$

$$k_f = 1 + (1.65 - 1) = 1.65$$

Cuando no se disponen de ensayos de resistencias a la fatiga de partes específicas, las estimaciones se realizan aplicando los factores de Marin :

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot S'_e \quad (5)$$

Donde

k_a =Factor de modificación de la condición superficial

k_b = Factor de modificación del tamaño

S'_e = Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

S_e =Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso

$$S_e' = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq kpsi \\ 100kpsi & S_{ut} > 200kpsi \\ 700MPa & S_{ut} > 1400MPa \end{cases}$$

Figura 65 Límite de resistencia la fatiga contra resistencias

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$S_e' = 6.8 e^{+5Pa}$$

Para el factor de modificación de la condición superficial se lo toma de la Tabla 67

Tabla 67

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} Mpa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado – laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272	-0.995

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b = 4.51(5.17e^{+8})^{-0.265} = 0.022$$

Para el factor de modificación del tamaño se lo toma de la Figura 66

$$k_b = \begin{cases} 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2in \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10in \\ 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51mm \\ 1.51d^{-0.157} & 51 \leq d \leq 254mm \end{cases}$$

Figura 66 Factor de modificación del tamaño

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$k_b = 0.879 \cdot d^{-0.107} = 0.879(0.025)^{-0.107} = 1.3$$

Con lo cual finalmente se obtiene

$$S_e = 1.94e^{+7} Pa$$

Aplicando el criterio de ED-Goodman se obtiene un factor de seguridad de:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left[\left(4 \frac{k_f \cdot M}{S_e} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi(0.0254)^3} \left[\left(4 \frac{1.65(2.5)}{1.94e^{+7}} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$n = 4.79$$

Por lo tanto con el resultado obtenido de 4.79 se puede concluir que el diseño es válido.

4.3.2.11 Dimensionamiento de chumaceras del soporte del mecanismo de inclinación

En el mecanismo de inclinación se encuentra ubicadas dos chumaceras, que se las puede identificar en la Figura 67. Estas chumaceras soportan al mecanismo de inclinación sobre el soporte y permiten que el mismo pueda girar libremente con la ayuda del motor.

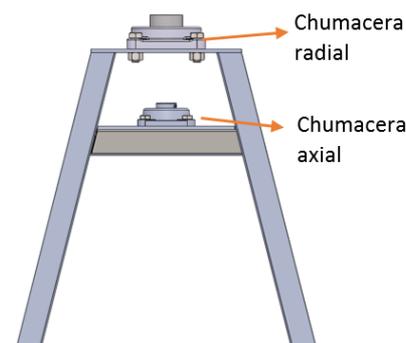


Figura 67 Ubicación de chumaceras en soporte de mecanismo de inclinación

La chumacera axial cumple la función de soportar todo el peso axial del mecanismo de inclinación en conjunto con el soporte de gabinetes y el

gabinete, mientras que la chumacera radial impide que los sistemas anteriores provoquen un descentramiento del eje debido a las cargas excéntricas del sistema. Por lo cual para el dimensionamiento de las chumaceras se basa únicamente en el diámetro del eje, teniendo entonces para la chumacera de menor diámetro las características que se muestran en la Tabla 68.

Tabla 68

Especificaciones de la chumacera axial

Diámetro interno	25mm
Peso	0.19Kg
Capacidad de carga estática	7800 N 795 Kgf
Capacidad de carga dinámica	14900 N 1519 Kgf

Fuente: (Ami bearings Inc, 2014)

De igual manera para la chumacera radial se tienen las especificaciones que se muestran en la Tabla 69.

Tabla 69

Especificaciones de la chumacera radial

Diámetro interno	40mm
Peso	0.7Kg
Capacidad de carga estática	17800 N 4002 Kgf
Capacidad de carga dinámica	29100 N 6542 Kgf

Fuente: (Ami bearings Inc, 2014)

El peso del sistema motriz es de 35Kg, el cual vendría a ser el peso máximo a soportar, y comparando con las características de las chumaceras seleccionadas se puede deducir que las mismas si soportan la carga del sistema.

4.3.2.12 Cálculo del torque - motor inferior

Para calcular el torque que necesita el motor para mover el conjunto soporte de gabinete-mecanismo de inclinación, se define primeramente que se trata de un eje vertical con cargas axiales.

Para el dimensionamiento del motor, se parte del hecho de que eje del motor debe romper la inercia y salir de su estado de reposo. Para lo cual se halla la inercia total del conjunto.

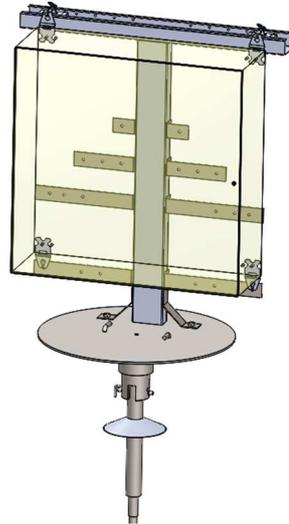


Figura 68 Conjunto soporte de gabinete - Mecanismo de inclinación

Para calcular el torque necesario para el motor partimos de la ecuación (6) definida por:

$$\tau = I . \alpha \quad (6)$$

Donde:

τ : Torque [n.m]

I: Inercia [kg.m²]

α : Aceleracion angular [rad/s²]

El cálculo de los valores de inercia del sistema se los puede observar en la Figura 69 y Tabla 70

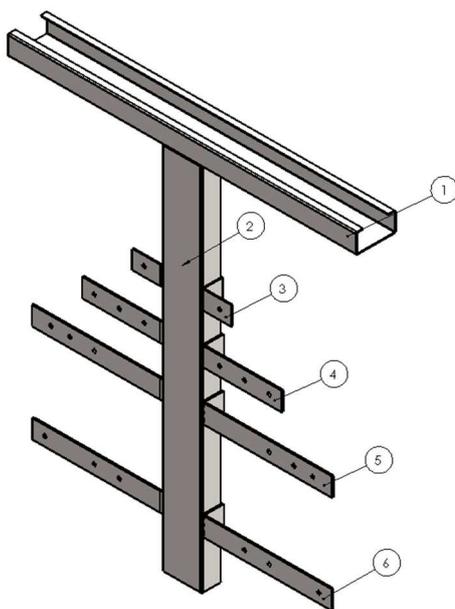


Figura 69 Inercia total del sistema

Tabla 70
Cálculo de inercia – Soporte gabinetes

Figura	a[m]	b[m]	c[m]	m [kg]	I_y [kg.m ²]	Distancia [m]	Inercia Steiner [kg.m ²]	Inercia total [kg.m ²]
1	0.015	0.002	0.7	0.016821	0.0006872	0.127	0.00027	0.000959
	0.002	0.036	0.7	0.040371	0.0016485	0.121	0.00059	0.002240
	0.04	0.002	0.7	0.044857	0.0018376	0.14	0.00088	0.002717
	0.015	0.002	0.7	0.016821	0.0006872	0.193	0.00063	0.001314
	0.002	0.036	0.7	0.040371	0.0016485	0.199	0.00160	0.003247
	0.04	0.002	0.7	0.044857	0.0018376	0.18	0.00145	0.003291
2	0.002	0.7	0.04	0.044857	0.0000060	0.04	0.00007	0.000078
	0.036	0.7	0.002	0.040371	0.0000044	0.041	0.00007	0.000072
	0.002	0.7	0.015	0.016821	0.0000003	0.032	0.00002	0.000018
	0.002	0.7	0.04	0.044857	0.0000060	0.04	0.00007	0.000078
	0.036	0.7	0.002	0.040371	0.0000044	0.041	0.00007	0.000072
0.002	0.7	0.015	0.016821	0.0000003	0.032	0.00002	0.000018	
3	0.002	0.038	0.055	0.003348	0.0000008	0.121	0.00005	0.000050
4	0.002	0.038	0.155	0.009436	0.0000189	0.121	0.00014	0.000157
5	0.002	0.038	0.255	0.015524	0.0000841	0.121	0.00023	0.000311
6	0.002	0.038	0.255	0.015524	0.0000841	0.121	0.00023	0.000311
7	0.002	0.038	0.02	0.001218	0.0000000	0.041	0.00000	0.000002
Gabin.	0.2	0.6	0.6	57.67347	1.9224490	0	0	1.922449
Inercia total								1.93738

La inercia total del Conjunto soporte de gabinete - mecanismo de inclinación es de $I=1.93 \text{ Kg.m}^2$.

Para el valor de la aceleración angular se usa la ecuación (7), tomando en cuenta que la velocidad inicial del sistema es $w_0 = 0 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$ y la velocidad que debe alcanzar según la norma es de $w_f = 0.1047 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$ (1 RPM). Al ser una velocidad muy pequeña el tiempo que se demora en alcanzarla es reducido por lo cual se toma un valor de $t = 1 \times 10^{-3} \text{ [s]}$.

Con estos datos el valor de la aceleración angular es de:

$$w_f = w_0 + \alpha \cdot t \quad (7)$$

$$\alpha = 104.7 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right]$$

Reemplazando los valores de inercia y aceleración angular en la ecuación (6) se tiene un valor de torque de:

$$\tau = 202 \text{ [N.m]}$$

Por lo cual se calcula la potencia mínima que debe tener el motor a través de la ecuación (8) como se muestra a continuación:

$$P = \tau * \omega \quad (8)$$

Donde:

P: Potencia [W]

ω : Velocidad angular [rad/s]

Por lo tanto reemplazando los valores de torque y velocidad angular se tiene que el motor debe tener una potencia mínima de:

$$P = 21 \text{ [W]}$$

$$P = 1/100 \text{ [HP]}$$

Aunque la potencia mínima es relativamente reducida uno de los limitantes para la selección del motor es la velocidad a la cual debe girar (1 RPM), la cual es una velocidad poco común en los motores tradicionales.

Es por esta razón, que se selecciona un motorreductor que trabaje en conjunto con un variador de frecuencia para obtener esta velocidad. Dentro de la línea de productos de la marca Bodine Electric Company se dispone de un motor (Tabla 71) que cumple con las características que se requiere.

Tabla 71
Motorreductores Bodine Electric Company

Veloc (rpm)	Torque (lb-in)	Motor (HP)	V	Frec. (Hz)	A (Amps)	Radio eje	Tipo	Modelo
0.5	95	1/25	230	60	0.38	3600	30R2BEPP-3RD	N8036
1.2	121	1/25	230	60	0.38	1400	30R2BEPP-3RD	N8014
2.8	148	1/17	230	60	0.48	600	30R2BEPP-3RD	8006
5.7	146	1/17	230	60	0.48	300	30R2BEPP-3RD	N8003
8.5	141	1/17	230	60	0.48	200	30R2BEPP-3RD	N8002

Fuente: (Bodine electric Co, 2014)

Con los datos mostrados, se observa que el motor 30R2BRPP-3RD entrega una velocidad de 1.2 RPM con una frecuencia de 60Hz y que puede trabajar en un rango de 10 a 90Hz, por lo cual mediante el escalamiento se deduce que la frecuencia para obtener la velocidad de 1RPM es de 50Hz la cual se encuentra dentro del rango de trabajo del motor. La potencia de este motor es de 1/25HP, la cual se encuentra por sobre el rango de la necesaria calculada.

A igual que el motor superior, el motor inferior goza de un sensor de posición angular que actúa como elemento de retroalimentación para el correcto posicionamiento del motor. El encoder utilizado para esta sección tiene similares características que el encoder utilizado en el mecanismo de elevación con la única diferencia que tiene un diámetro mayor de 2.5cm.

4.3.2.13 Cálculo frecuencia - encoder inferior

Se efectúa el cálculo de la frecuencia del encoder para tener en cuenta en la selección del PLC para que este cuente o no, con entradas de alta frecuencia.

$$f = 1 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \frac{1024 \text{ pulsos}}{\text{rev}}$$

$$f = 17 \text{ Hz}$$

4.3.3 Sistema hidráulico

El caudal que suministra la bomba de la empresa no abastece completamente a la máquina, por lo cual se usa un tanque y una bomba adicional para suministrar el volumen necesario. Para determinar el volumen del tanque en la Tabla 72 se muestra el consumo de agua que demanda y el tiempo máximo que dura cada una de estas pruebas.

Tabla 72
Volumen de agua requerido por prueba y total

Prueba	Max. Volumen del gabinete [m ³]	Caudal de agua según norma [l/min]	Duración de la prueba [min]	Volumen de agua requerido [l]
IPX1	0.072	1	10	10
IPX2	0.072	3	10	30
IPX3	0.072	10	5	50
IPX4	0.072	10	5	50
IPX5	0.072	12.5	3	37.5
IPX6	0.072	100	3	300
TOTAL				477.5

Con este valor de volumen total de 477.5 litros se dimensiona el tanque para la máquina tomando como situación crítica que se realicen las 6 pruebas por una sola vez sin volver a llenar el reservorio. Por lo que el tanque abarca un volumen de 500 litros.

En la Figura 70 se observa el diagrama unifilar de la distribución del sistema hidráulico con el caudal y presión que la norma exige para cada una de las pruebas.

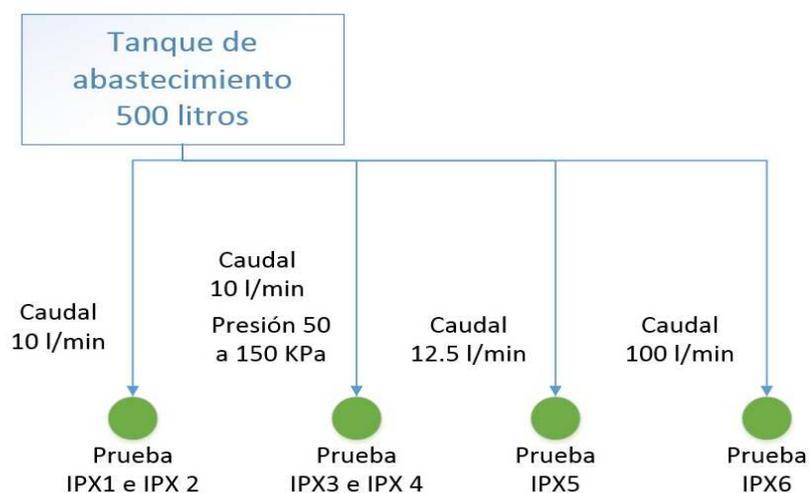


Figura 70 Diagrama unifilar del sistema hidráulico

Por lo tanto se empieza calculando el diámetro de la tubería necesario para llenar el dispositivo que realiza las pruebas IPX1 e IPX2 con el caudal de 10 l/min que se impone. Usando la ecuación de continuidad ecuación (9) se tiene que:

$$Q = A \cdot v \quad (9)$$

Donde:

Q : Caudal [m^3/s]

A : Area [m^2]

v : Velocidad [m/s]

Para calcular el área por donde atraviesa el fluido, es necesario hallar la velocidad del fluido dentro de la tubería, esta velocidad se la tomará de la Tabla 73.

Tabla 73
Velocidad media en tuberías que origina diseños más económicos, según Richter

Tipo de Tubería		Velocidad Media m/s	
		Mínima	Máxima
Tuberías de succión en bombas centrífugas, de acuerdo con la carga de succión, longitud, temperatura del agua (<70°C)		0.5	1.0
Tuberías de descarga en bombas		1.5	2.0
Tuberías principales		1.0	2.0
Redes de distribución para agua potable e industrial	Tuberías laterales	0.5	0.7
	Tuberías muy largas	1.5	4.0
Con inclinación y diámetro pequeño		2.0	4.0
Tuberías en instalaciones hidroeléctricas con turbinas	Con inclinación y diámetro grande	3.6	8.0
	Horizontales y gran longitud	1.0	3.0

Fuente: (Ávila, 1997)

De la tabla anterior se escoge la velocidad media de un sistema de tuberías principales cuyo valor es de 1.5 m/s. Teniendo los valores de caudal y velocidad, el área de la tubería sería:

$$A = 1.11 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

Usando la ecuación (10) del área de un círculo hallamos el radio y posteriormente el diámetro interno que debe tener la tubería.

$$A = \pi * r^2 \text{ (10)}$$

$$r = 5.947 \text{ mm}$$

$$\varnothing = 11.894 \text{ mm}$$

Hallado el diámetro interno de la tubería en la Tabla 74 se puede ver un listado de los diámetros internos y externos que tienen las tuberías PVC comerciales, con la ayuda de esta tabla se selecciona la tubería que se utiliza.

Tabla 74
Diámetros de tuberías PVC comerciales

Diámetro Nominal (pulg.)	Diámetro Exterior		Diámetro Interior		Espesor De Pared	
	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
½"	0.840	21.3	0.528	13.4	0.147	3.7
¾"	1.050	26.7	0.724	18.4	0.154	3.9
1"	1.315	33.4	0.936	23.8	0.179	4.5
1 ¼"	1.660	42.2	1.255	31.9	0.191	4.9
1 ½"	1.900	48.3	1.476	37.5	0.200	5.1
2"	2.375	60.3	1.913	48.6	0.218	5.5

Fuente: (Importaciones Plasticas LOMA S.A., 2005)

Como se puede observar, la tubería que tiene un diámetro similar al que se calculó es la tubería de ½ pulgada la cual tiene un diámetro interno de 13.4mm. Por lo tanto para el suministro de agua del dispositivo para las IPX1 e IPX2 se usa una tubería PVC de ½ pulgada.

Para la tubería que alimenta el dispositivo que realiza las pruebas IPX3 e IPX4 y el dispositivo usado para la prueba IPX5 se necesita un caudal de 10 y 12.5 l/min respectivamente. Al ser un caudal similar al usado para alimentar el dispositivo 1 se usa el mismo diámetro de tubería que se seleccionó de ½ pulgada.

Para el caso de la tubería que alimenta al dispositivo de la prueba IPX6 debe proporcionar 100l/min, por lo cual usando el mismo método de cálculo anterior se procede a hallar el diámetro de la tubería tomando como datos el caudal de 100 l/min = 0.00167 m³/s y una velocidad de 4 m/s tomada de la Tabla 73 de redes de distribución de agua para tuberías largas, con lo cual se obtiene un área de tubería de:

$$A = 4.175 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Luego, usando nuevamente la ecuación (10) se halla el radio y posteriormente el diámetro interno de la tubería.

$$r = 11.528 \text{ mm}$$

$$\phi = 23.056 \text{ mm}$$

Con el resultado obtenido, se selecciona la tubería de 1 pulgada ya que su diámetro interior es similar al calculado.

4.3.3.1 Dimensionamiento bomba de agua

Para el dimensionamiento de la bomba que abastecerá a todo el sistema se toma en cuenta dos aspectos importantes y limitantes que son el consumo y las pérdidas en las prueba IPX5 e IPX6 las cuales tienen la mayor demanda de agua.

En cuanto a la prueba IPX5, se parte de un esquema como lo muestra la Figura 71 en la cual se toman dos puntos para su análisis A,B:

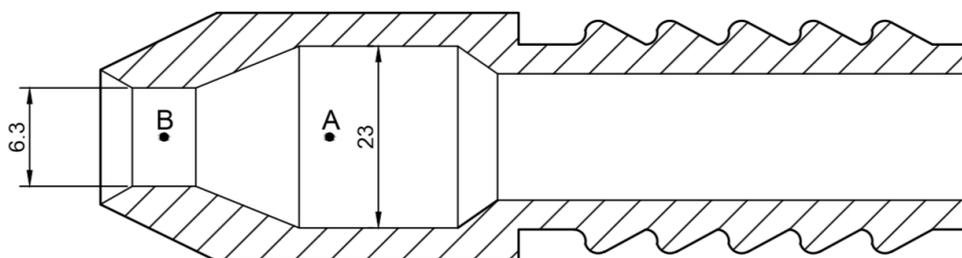


Figura 71 Esquema boquilla IPX5

Partiendo de la ecuación completa de Bernoulli (ecuación (11)) se tiene:

$$P_A + \frac{1}{2}\rho \cdot V_A^2 + \rho \cdot g \cdot h_A = P_B + \frac{1}{2}\rho \cdot V_B^2 + \rho \cdot g \cdot h_B \quad (11)$$

Como no existe diferencia de altura entre los 2 puntos este término se anula, quedando la ecuación como se muestra a continuación:

$$P_A + \frac{1}{2}\rho \cdot V_A^2 = P_B + \frac{1}{2}\rho \cdot V_B^2$$

El punto B es la salida del agua a la atmósfera por que la presión manométrica en este punto es 0 [psi]. El dato que se necesita para el dimensionamiento de la bomba es la presión en el punto A por lo cual la ecuación despejada queda de la siguiente manera (ecuación (12)).

$$P_A = \frac{1}{2}\rho(V_B^2 - V_A^2) \quad (12)$$

Para obtener los valores de las velocidades en el punto A y B se usa la ecuación de caudal, teniendo en cuenta que para la aplicación se necesita un caudal constante de 12.5 l/min para la prueba IPX5

$$Q_A = Q_B = 12.5 \text{ l/min} = 2.08 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_A = \pi \cdot r^2$$

$$A_A = \pi \cdot (11.5 \times 10^{-3})^2$$

$$A_A = 4.15 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q_A = A_A \cdot V_A$$

$$V_A = \frac{2.08 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{4.15 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$V_A = 0.5 \text{ m/s}$$

$$A_B = \pi \cdot r^2$$

$$A_B = \pi \cdot (3.15 \times 10^{-3})^2$$

$$A_B = 3.12 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$Q_B = A_B \cdot V_B$$

$$V_B = \frac{2.08 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{3.12 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$V_B = 6.67 \text{ m/s}$$

Halladas las velocidades en A y B se reemplazan sus valores se halla la presión en el punto A:

$$P_A = \frac{1}{2} \left(1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot \left[\left(6.67 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 - \left(0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right]$$

$$P_A = 22.12 \text{ KPa} = 3.2 \text{ psi}$$

En cuanto a la prueba IPX6, se parte igualmente de un esquema como lo muestra la

Figura 72 en la cual se toman dos puntos para su análisis C,D

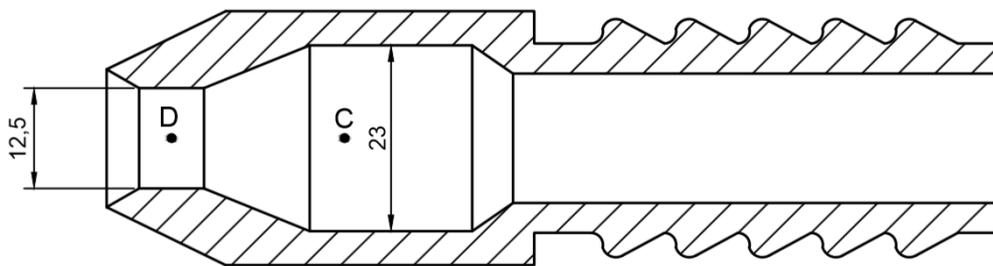


Figura 72 Esquema boquilla IPX6

En este caso el caudal es de 100 l/min

$$Q_C = Q_D = 100 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 1.7 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A_C = \pi \cdot r^2$$

$$A_C = \pi \cdot (11.5 \times 10^{-3})^2$$

$$A_C = 4.15 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q_C = A_C \cdot V_C$$

$$V_C = \frac{1.7 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{4.15 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$V_C = 4.09 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$A_D = \pi \cdot r^2$$

$$A_D = \pi \cdot (6.25 \times 10^{-3})^2$$

$$A_D = 1.22 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q_D = A_D \cdot V_D$$

$$V_D = \frac{1.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{1.22 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$V_D = 13.85 \text{ m/s}$$

Igualmente se halla la presión en el punto C:

$$P_C = \frac{1}{2} \left(1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot \left[\left(13.85 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 - \left(4.09 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right]$$

$$P_C = 87.54 \text{ KPa} = 12.69 \text{ psi}$$

4.3.3.1.1 Cálculo de pérdidas de presión

El valor de presión calculado en el punto A y C es una presión ideal, ya que aún no se toma en cuenta las pérdidas que ocasionan la rugosidad de la tubería, los cambios de dirección del fluido y los accesorios como válvulas y sensores.

Para el cálculo de las pérdidas en la tubería se usa el criterio de Veronesse-Datei ya que el mismo es usado para tuberías PVC, y se expresa en la siguiente fórmula:

$$h = \frac{9.2 \times 10^{-4}}{D^{4.8}} \cdot Q^{1.8} \cdot L \quad (13)$$

Donde:

h :pérdidas (mca)

D :diámetro interno de la tubería (m)

Q :caudal (m³/s)

L :longitud de tubería (m)

Por lo tanto para calcular las pérdidas de la tubería se dividirá la misma en dos secciones, que corresponden a la sección de entrada con tubería de

diámetro comercial de 1in y la derivación con diámetro comercial de 1/2in que se dirige hacia la salida de la prueba IPX5.

Con la primera sección de entrada el cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$h_1 = \frac{9.2 \times 10^{-4}}{D^{4.8}} \cdot Q^{1.8} \cdot L$$

$$h_1 = \frac{9.2 \times 10^{-4}}{(23.8 \times 10^{-3})^{4.8}} \cdot (2.8 \times 10^{-4})^{1.8} \cdot (2.3)$$

$$h_1 = 52.8 \times 10^{-3} \text{ mca} = 0.075 \text{ psi}$$

Para la segunda sección se procede de la siguiente manera:

$$h_2 = \frac{9.2 \times 10^{-4}}{D^{4.8}} \cdot Q^{1.8} \cdot L$$

$$h_2 = \frac{9.2 \times 10^{-4}}{(13.4 \times 10^{-3})^{4.8}} \cdot (2.8 \times 10^{-4})^{1.8} \cdot (2)$$

$$h_2 = 0.724 \text{ mca} = 1.03 \text{ psi}$$

De manera parecida, se realiza el cálculo para la prueba IPX6 donde se tiene un tramo de 5m de tubería de 1in ,de donde se obtiene

$$h_3 = \frac{9.2 \times 10^{-4}}{(25.4 \times 10^{-3})^{4.8}} \cdot (1.67 \times 10^{-3})^{1.8} \cdot (5)$$

$$h_3 = 2.09 \text{ mca} = 2.97 \text{ psi}$$

Luego se calculan las pérdidas secundarias que son causadas por los accesorios en el sistema. Para esto se usa la siguiente ecuación:

$$h_s = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (14)$$

Donde:

h_s :pérdidas secundarias (mca)

K :coeficiente empírico

v :velocidad media de flujo (m/s)

g : gravedad (m/s²)

El coeficiente empírico K se lo obtiene dependiendo el tipo de accesorio (Tabla 75).

Tabla 75

Coeficiente K – Cálculo de pérdidas de presión

Accesorio	Coeficiente empírico K
Válvula esférica (totalmente abierta)	10
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2
T con salida lateral	1.8
Codo a 90°	0.9
Válvula de retención (totalmente abierta)	2

Fuente : (Carrillo, Cortéz, & Neira, 2004)

Por lo tanto, en la Tabla 76 se muestran los accesorios que se encuentran en todo el trayecto de la tubería y el respectivo cálculo de las pérdidas que ocasionan en la prueba IPX5, mientras que la Tabla 77 muestra el análisis para la prueba IPX6.

Tabla 76
Cálculo de pérdidas de presión – prueba IPX5

Accesorio	Cantida	K	V	G	hs	hs
	d		[m/s]	[m/s ²]	[mca]	[psi]
Llave de bola	2	10			0.25	0.36
Codo 90°	3	0.9			0.03	0.04
Tee	2	1.8			0.04	0.06
Válvula proporcional	1	10	0.5	9.8	0.12	0.18
Caudalímetro	1	2			0.02	0.03
Válvula on/off	1	0.2			0.003	0.004
					Total	0.67

Tabla 77
Cálculo de pérdidas de presión – prueba IPX6

Accesorio	Cantidad	K	V	G	hs	hs
			[m/s]	[m/s ²]	[mca]	[psi]
Llave de bola	1	10			8.53	12.12
Codo 90°	1	0.9			0.77	1.09
Tee	1	1.8			1.53	2.18
Válvula proporcional	1	10	4.09	9.8	8.53	12.12
Caudalímetro	1	2			1.71	2.42
Válvula on/off	1	0.2			0.17	0.24
					Total	30.19

Con lo que para la prueba IPX5 se tiene:

$$h_L = h_1 + h_2 + h_s$$

$$h_L = 0.075 + 1.03 + 0.67$$

$$h_L = 1.75psi$$

Y para la para la prueba IPX6 se tiene:

$$h_L = 33.16psi$$

Con estos datos se busca en el mercado una bomba que pueda satisfacer las necesidades. Dentro de las varias opciones existentes, la marca LEO posee bombas que tienen las siguientes curvas de funcionamiento (Figura 73).

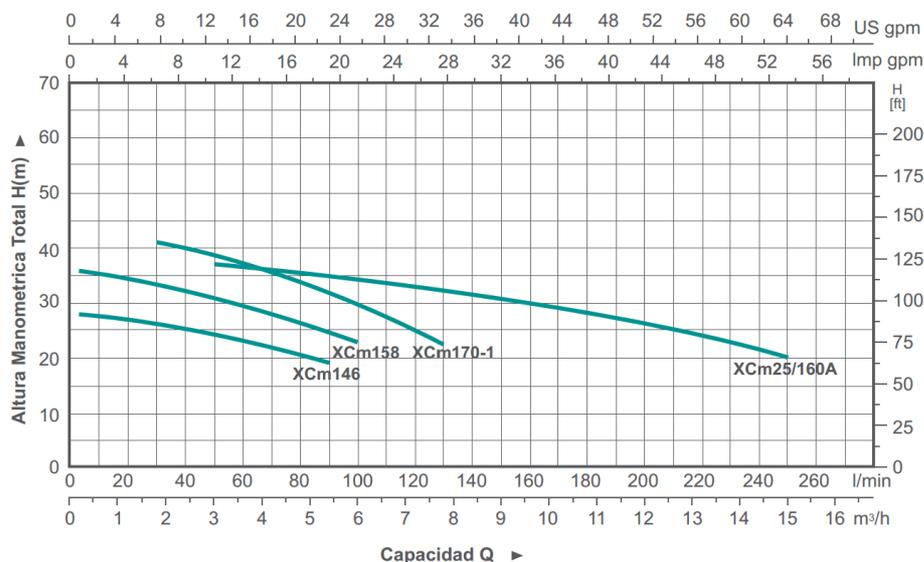


Figura 73 Curva de rendimiento hidráulico – Bombas LEO

Fuente: (Leo Group Co. Ltd, 2014)

La curva que corresponde al modelo Xcm170-1 cumple con los parámetros que se habían especificado anteriormente y se encuentra actualmente disponible. En la Figura 74 se puede apreciar de mejor manera las características de este modelo.



Figura 74 Características de bomba de agua

Fuente: (Leo Group Co. Ltd, 2014)

Por lo tanto para completar el dimensionamiento del sistema hidráulico se escoge el modelo de bomba XCm170-1.

4.3.4 Selección de elementos de control hidráulico

Para realizar el control del sistema hidráulico y obtener los distintos caudales que la norma exige, es necesario seleccionar ciertos elementos como: válvulas hidráulicas proporcionales con las cuales se puede variar el caudal, válvulas de paso para direccionar el fluido y una válvula reguladora de presión para las pruebas que requieran mantener la presión en un rango constante. Adicionalmente el uso de sensores que supervisan variables de caudal y presión para así lograr un control de lazo cerrado del sistema.

4.3.5 Selección de válvulas proporcionales – sistema hidráulico

El sistema hidráulico necesita de dos válvulas proporcionales, una para controlar el caudal de agua que va hacia la prueba IPX6 y otra para el resto de las pruebas. Estas válvulas manipulan el caudal y la presión de acuerdo a los parámetros que se muestran a continuación en la Tabla 78

Tabla 78

Parámetros de selección para válvulas proporcionales

	Pruebas IPX1 – IPX5	Prueba IPX6
Caudal	0 – 12.5 l/min	0 – 100 l/min
Presión	Mínimo 150KPa	Mínimo 150KPa
Señal de control	4-20mA o 0-10Vdc	4-20mA o 0-10Vdc

Para el dimensionamiento de las válvulas también, se toma en cuenta el coeficiente de caudal, el cual es un factor de diseño que relaciona la diferencia de altura, entre la entrada y salida de la válvula. El coeficiente depende del diseño del fabricante, es decir que, en igualdad de flujo mientras mayor sea el coeficiente de caudal, menores son las pérdidas a través de la válvula.

Analizando el sistema, éste se mantiene en mismo nivel desde la salida de la bomba con el punto de instalación de la válvula, por lo que la diferencia de presión se tomará como 0.07bar.

Aplicando la ecuación (15) se tiene:

$$C_V = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta P}{SG}}} \quad (15)$$

Donde:

Q = Caudal [m³/h]

C_V = Coeficiente de caudal [m³/h.bar]

ΔP =Diferencia de presión[bar]

SG =especifica

Para la prueba IPX5 de 12.5 l/min se tiene:

$$C_V = \frac{0.75 \left[\frac{m^3}{h} \right]}{\sqrt{\frac{0.07}{1}}}$$

$$Cv = 2.82 \frac{m^3}{h} . bar$$

Mientras que para la prueba IPX6 de 100 l/min se tiene:

$$C_V = \frac{6 \left[\frac{m^3}{h} \right]}{\sqrt{\frac{0.07}{1}}}$$

$$Cv = 22.62 \frac{m^3}{h} . bar$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta estos parámetros y los de la Tabla 78 se encontró en el mercado la marca BELIMO que ofrece válvulas proporcionales con coeficientes de caudal que se muestran en la Figura 74

Tabla 79
Coeficiente de caudal válvulas BELIMO

Tabla A: Caudal de Válvula para Aplicaciones Hídricas (Galones por Minuto, GPM)

Valor C _y máximo	Válvula		Dos Vías CCV	Tres Vías CCV	Caída de presión a través de la Válvula								
	Pulgadas	DN mm			1 psi	2 psi	3 psi	4 psi	5 psi	6 psi	7 psi	8 psi	9 psi
0.3	1/2"	15	B207	B307	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9
0.46	1/2"	15	B208	B308	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
0.8	1/2"	15	B209	B309	0.8	1.1	1.4	1.6	1.8	2.0	2.1	2.3	2.4
1.2	1/2"	15	B210	B310	1.2	1.7	2.1	2.4	2.7	2.9	3.2	3.4	3.6
1.9	1/2"	15	B211	B311	1.9	2.7	3.3	3.8	4.2	4.7	5.0	5.4	5.7
3.0	1/2"	15	B212	B312	3.0	4.2	5.2	6.0	6.7	7.3	7.9	8.5	9.0
4.7	1/2"	15	B213	B313	4.7	6.6	8.1	9.4	11	12	12	13	14
7.4	1/2"	15	B214		7.4	10	13	15	17	18	20	21	22
10	1/2"	15	B215*	B315*	10	14	17	20	22	24	26	28	30
4.7	3/4"	20	B217	B317	4.7	6.6	8.1	9.4	11	12	12	13	14
7.4	3/4"	20	B218	B318	7.4	10	13	15	17	18	20	21	22
10	3/4"	20	B219		10	14	17	20	22	24	26	28	30
24	3/4"	20	B220*	B320*	24	34	42	48	54	59	63	68	72
7.4	1"	25	B222	B322	7.4	10	13	15	17	18	20	21	22
10	1"	25	B223	B323	10	14	17	20	22	24	26	28	30
19	1"	25	B224		19	27	33	38	42	47	50	54	57
30	1"	25	B225*	B325*	30	42	52	60	67	73	79	85	90
10	1-1/4"	32	B229	B329	10	14	17	20	22	24	26	28	30
19	1-1/4"	32	B230*	B330*	19	27	33	38	42	47	50	54	57
25	1-1/4"	32	B231	B331	25	35	43	50	56	61	66	71	75
37	1-1/4"	32	B232*	B332*	37	52	64	74	83	91	98	105	111
19	1-1/2"	40	B238	B338	19	27	33	38	42	47	50	54	57
29	1-1/2"	40	B239	B339	29	41	50	58	65	71	77	82	87

Fuente: (Belimo Aircontrols, 2006)

Por lo cual, para las pruebas IPX1 a la IPX5 se selecciona la electroválvula modelo B212 sin embargo por motivo de disponibilidad se utiliza la válvula B213 y para la prueba IPX6 se selecciona el modelo B220. En la **Figura 75** se puede observar los parámetros de caudal que manejan los modelos específicos de las válvulas proporcionales de caudal.



Valve Specifications

Servicio	agua fría y caliente, glicol al 60%
Característica de flujo	Puerto A igual porcentaje
Acción	95° rotación máx.
Tamaño	1/2" a 1-1/4" (B230)
Tipo de acople	NPT hembra
Materiales:	
Cuerpo	latón forjado, niquelado
Bola	acero inoxidable
Vástago	acero inoxidable
Asientos	PTFE
Disco caracterizador	TEFZEL®
Guarnición	2 O-rings EPDM, lubricados
Presión nominal	600 psi (1/2" a 1-1/4")
Rango temp. ambiente	0°F a 212°F [-18°C a 100°C]
Presión de cierre	200 psi
Presión diferencial:	Para puerto A caracterizado
máxima (ΔP)	20 psi en aplicaciones típicas 30 psi máx en servicio silencioso

Para versiones de flujo completo (sin disco A)
Control On/Off 150 psi

Estanqueidad	0%
Valor Cv	Puerto A: ver valores en tabla de producto

Tefzel® es marca registrada de DuPont



Aplicación

Esta válvula se usa en general en serpentines de refrigeración y de calefacción, tanto en unidades de aire acondicionado como en unidades fan coil. Otras aplicaciones comunes incluyen unidades de ventilación, serpentines VAV Box de recalentamiento y circuitos de derivación. Esta válvula es adecuada para sistemas hidráulicos de caudal variable.

Diseñada con funcionalidad MFT, facilita el uso de diversas entradas de control.

Especificaciones de Actuador

□ LRX24-MFT

Suministro de Corriente	24 VCA ± 20% 50/60 Hz 24 VCC ± 10%
Consumo de corriente	en movimiento: 2 W; retención: 1,2 W
Transformador	3,5 VA (fuente clase 2)
Conexión eléctrica	cable plenum cal 18 conector de conducto de 1/2" □ 3 ft [1m] □ 10 ft [3m] □ 16 ft [5m]
Protecc. de sobrecarga	electrónica en toda la rotación, de 0 a 95°
Rango operativo Y	2 a 10 VCC, 4 a 20 mA (default) Variable (VCC, PWM, Punto flotante, On/Off)
Impedancia de entrada	100 kΩ (0.1 mA), 500Ω 1500 Ω (PWM, Punto flotante, On/Off)
Salida Feedback U	2 a 10 VCC, 0.5 mA máx VCC Variable
Angulo de rotación	máx. 95° ajust. c/ tope mecánico variable electrónicamente
Torque	45 in-lb [5 Nm]
Dirección de rotación	reversible con switch  protegido
Indicación de posición	Manivela
Control manual	botón externo
Tiempo de operación	150 segundos (default) Variable (35 a 150 seg)
Humedad	5 a 95% HR sin condensado (EN 60730-1)
Temp. ambiente	-22°F a +122°F [-30°C a +50°C]
Temp. de almacenam.	-40°F a +176°F [-40°C a +80°C]
Gabinete	NEMA 2/IP54
Material de gabinete	UL94-5VA
Registros oficiales	cULus conforme a UL 60730-1/2-14 y CAN-CSA C22.2 No 24, CE conforme a 73 / 23 / EEC
Nivel de ruido	<35dB(A)
Estándar de calidad	ISO 9001
Weight	1.5 lbs [0.7 kg]

Figura 75 Especificaciones generales de válvulas proporcionales

Fuente: (Belimo Aircontrols, 2006)

4.3.6 Selección de válvulas de 2 vías

También se usan válvulas que direccionan el fluido hacia los distintos dispositivos de la máquina, para lo cual la mejor opción son las válvulas de 2 vías comandadas por solenoide, o como se las conoce comúnmente como válvulas ON/OFF. En la Tabla 80 se encuentran las características que deben cumplir cada una de estas válvulas.

Tabla 80
Características de válvulas ON/OFF

	Pruebas IPX1 e IPX2	Pruebas IPX3 e IPX4	Prueba IPX5	Prueba IPX6
Diámetro de tubería	½ in NPT	½ in NPT	½ in NPT	1 in NPT
Voltaje de solenoide	110VAC	110 VAC	110 VAC	110 VAC

En el mercado se encuentran válvulas ON/OFF de la marca AirTac las cuales cumplen con los requisitos que se muestran en la tabla anterior.

Por lo tanto para direccionar el agua hacia cada uno de los dispositivos se seleccionan 3 válvulas ON/OFF de ½ pulgada y una válvula ON/OFF de 1 pulgada. Todas con mando por solenoide a 110VAC.

4.3.7 Selección de válvula reguladora de presión

Dentro de las pruebas IPX3 e IPX4 es necesario tener la presión de agua regulada dentro de un rango de 50 a 150KPa para lo cual se coloca una válvula que mantiene este rango de presión constante. La válvula reguladora de la marca TECVAL, tiene una conexión de ½" NPT y a la entrada puede recibir una presión máxima de 200 PSI y regularla a la salida desde 7 PSI hasta su valor máximo.

4.3.8 Selección de sensores de caudal

Para realizar un correcto control de lazo cerrado es necesario supervisar constantemente el caudal. Para esto son necesarios dos sensores. Un sensor se lo coloca para la prueba IPX6 y otro sensa el caudal de las pruebas IPX1 a la IPX5.

Para el caudalímetro de la prueba IPX6, la tubería que alimenta esta sección es de 1 pulgada por lo cual este caudalímetro deberá acoplarse a esta sección de tubería. Además otra de las características que debe poseer es que debe poder medir un caudal promedio de 100 l/min, que es el caudal que la norma indica debe entregarse al dispositivo de pruebas IPX6 y debe

proporcionar una señal de control a su salida proporcional al caudal que circule por el sensor.

Con estos antecedentes se selecciona un caudalímetro de la marca NONCON, el cual tiene las características que se muestran a continuación en la Tabla 81.

Tabla 81

Características del Caudalímetro de 1 pulgada

Rango de flujo	20 – 130 l/min
Tipo de conexión	NPT1 in
Precisión	±1%
Material	Acero inoxidable
Condiciones de trabajo	Humedad 5 – 90%
Señal de salida	Análoga 4 – 20mA
IP	IP65

Fuente: (Noncon, 2010)

De igual manera para el caudalímetro que sensa el caudal que se dirige hacia las pruebas IPX1 a la IPX5 se necesita que este se acople a la tubería de ½ pulgada y que su rango promedio de medición sea de 10 a 12.5 l/min y, de igual manera que en el caso anterior, debe suministrar una señal de control proporcional al caudal que circule por el sensor. Así mismo en la marca NONCON se seleccionó un caudalímetro cuyas características se pueden observar en la Tabla 82.

Tabla 82

Características del caudalímetro de 1/2 pulgada

Rango de flujo	2 – 20 l/min
Tipo de conexión	NPT ½ in
Precisión	±1%
Material	Acero inoxidable
Condiciones de trabajo	Humedad 5 – 90%
Señal de salida	Análoga 4 – 20mA
IP	IP65

Fuente: (Noncon, 2010)

Para monitorear constantemente la presión del sistema es necesario un transductor de presión, el cual genera una señal análoga de corriente,

proporcional a la variación de presión que exista en el sistema. Remontándose a la norma acerca de la presión para las pruebas IPX3 e IPX4 el sensor debe estar dentro de un rango de 50 a 150 KPa, En el mercado local se encuentra el transductor de presión de la marca WIKA con las características que se muestran en la Tabla 83 .

Tabla 83
Características de transductor de presión

Rango de medición	0 – 50 PSI
Conexión	¼ " NPT
Señal de salida	4 – 20 mA
Material	Acero inoxidable

Fuente: (Wika, 2014)

4.3.9 Sistema neumático

El sistema neumático es exclusivo para realizar el control de las pruebas IPX1 e IPX2.

Se usa el principio de un sistema hidroneumático, este tipo de sistema es sencillo y económico dimensionar y adquirir elementos neumáticos que puedan manipular los caudales de 1mm/min y 3 mm/min en comparación con un sistema totalmente hidráulico. Por lo tanto, se selecciona la manguera por la que se distribuye el caudal de aire al sistema.

En las aplicaciones neumáticas es común usar las mangueras de poliuretano. Principalmente porque en distancias cortas menores a 15 metros tienen pérdidas que se pueden considerar despreciables. Al ser flexibles se adaptan fácilmente al entorno de trabajo y son de un costo relativamente bajo.

Para el caudal máximo que va a circular por el sistema neumático que es de 3 mm/min = 1.5 l/min es necesaria una manguera de diámetro 4 ya que la misma puede soportar este caudal a una presión máxima desde -0.95 a 10 bar².

Luego de haber seleccionado el tipo de manguera a usar es necesaria la selección de los elementos neumáticos que van a intervenir.

El regulador de presión, es el dispositivo que mantiene la presión constante del sistema para poder tener un control más exacto del caudal. Este regulador debe tener la característica de regular hasta una presión máxima de 20 PSI, la cual mediante pruebas se determinó que es la presión a la cual el caudal puede ser controlado exactamente.

En el mercado local se puede encontrar el regulador de caudal de la marca Mindman que puede regular dentro de un rango de 1 a 30 PSI. Tiene la conexión de $\frac{1}{4}$ " .

Las válvulas solenoides ON/OFF, direccionan el flujo por cada una de las dos líneas.. Las válvulas ON/OFF tienen la única característica de que deben funcionar a 110VAC con una conexión de $\frac{1}{4}$ " con el sistema, las mismas que se encontraron en el mercado local dentro de la misma marca Midman.

En cuanto a las válvulas manuales reguladoras de caudal, estas válvulas son ajustadas cada una con el caudal de aire de 1 mm/min y 3mm/min respectivamente. Es por esta razón que las válvulas tienen una regulación muy fina. En la Tabla 84 se observa las características de las reguladoras de caudal que se encontraron en el mercado.

Tabla 84
Características de válvulas reguladoras de caudal

Rango de caudal	0 – 10 l/min
Conexión	1/8"NPT
Tipo de regulación	Bidireccional
Presión	10 bar max

Fuente: (Camozzi, 2014)

Las válvulas check, que impiden que el flujo de aire retorne hacia cada una de las líneas y únicamente se dirija hacia el dispositivo de pruebas. Tienen

la única característica que se conectan al proceso con una toma de 1/8 pulgada. Nuevamente se hace uso de la marca Mindman.

4.3.10 Diseño del sistema eléctrico y de control

Para el diseño del control de la máquina se tiene en cuenta que existen sensores, actuadores y controlador. La descripción de cada elemento se tiene en Tabla 85.

Tabla 85
Elementos de control

Ubicación	Variable	Actuador	Sensor	Elemento de Control	Tipo de lazo de control
Sistema Hidráulico	Presión	Válvula reguladora de presión	Manómetro	Manual	Abierto
Sistema Hidráulico	Caudal	Válvula proporcional reguladora de caudal	Caudalímetro	PLC	Cerrado
Sistema Hidráulico	--	Electro-válvula	--	PLC	Abierto
Sistema Neumático	--	Electro-válvula	--	PLC	Abierto
Sistema Motriz de la Base	Velocidad	Motor AC	Encoder	PLC, Variador de frecuencia	Abierto
Sistema Motriz de la Base	Posición	Motor AC	Encoder	PLC	Cerrado
Mecanismo de elevación de dispositivo 1	Velocidad	Motor AC	Encoder	PLC, Variador de frecuencia	Abierto
Mecanismo de elevación de dispositivo 1	Posición	Motor AC	Encoder	PLC	Cerrado

Teniendo en cuenta los sensores y actuadores que intervendrán en todo el proceso es necesario realizar la selección del PLC, para ello en la

Tabla 86 se muestran las señales que cada uno de estos dispositivos reciben o envían para su correcto funcionamiento, además de las señales de control y aviso.

Tabla 86
Señales digitales del PLC

	Actuador o Sensor	Señal de control	Tipo de señal
SISTEMA HIDRÁULICO	Válvula proporcional de ½"	Análoga de 4-20 mA	Salida
	Válvula proporcional de ¾"	Análoga de 4-20 mA	Salida
	Válvula ON/OFF 1	Digital 110VAC	Salida
	Válvula ON/OFF 2	Digital 110VAC	Salida
	Válvula ON/OFF 3	Digital 110VAC	Salida
	Válvula ON/OFF 4	Digital 110VAC	Salida
	Caudalímetro de ½"	Análoga de 4-20 mA	Entrada
	Caudalímetro de ¾"	Análoga de 4-20 mA	Entrada
	Transmisor de presión	Análoga de 4-20 mA	Entrada
	SISTEMA NEUMÁTICO	Válvula ON/OFF 1	Digital 110VAC
Válvula ON/OFF 2		Digital 110VAC	Salida
Válvula ON/OFF 3		Digital 110VAC	Salida
SISTEMA MOTRIZ	Variador de motorreductor inferior	Digital 24VDC	Salida
	Encoder inferior	Digital 24VDC	Entrada
	Fin de carrera inferior	Digital 24VAC	Entrada
	Variador de motorreductor superior	Digital 24VDC	Salida
	Encoder superior	Digital 24VDC	Entrada
MECANISMO DE ELEVACIÓN	Fin de carrera superior	Digital 24VAC	Entrada
	Paro de emergencia	Digital 24VDC	Entrada
	Luz OK	Digital 110VAC	Salida
SEÑALES DE CONTROL Y AVISO	Luz emergencia	Digital 24VDC	Salida

Acorde a la Tabla 86 , en total se tienen 2 salidas análogas de 4-20 mA, 3 entradas análogas de 4-20 mA, 8 salidas digitales de 110VAC, 3 salidas digitales de 24VDC y 5 entradas digitales de 24VDC. Adicionalmente el PLC debe tener la función de entradas de alta frecuencia para conectar los encoder.

Con estos antecedentes se selecciona el PLC de la marca Delta modelo DVP20EX2 , el cual tiene las características que se muestran en la Tabla 87

Tabla 87
Características PLC Delta DVP20EX2

Fuente de alimentación	110-220 VAC
Entradas análogas	4 entradas configurables para corriente de 0-20mA ó 4-20mA y de voltaje de -10 a 10 VDC y 0-10VDC
Salidas análogas	2 salidas configurables para corriente de 0-20mA ó 4-20mA y de voltaje de -10 a 10 VDC y 0-10VDC
Entradas digitales	8 entradas tipo relé, dos de ellas configurables para dispositivos de alta frecuencia (conteo rápido).
Salidas digitales	6 salidas tipo relé, dos de ellas configurables para dispositivos de alta frecuencia.

Fuente: (Delta Electrónica , 2014)

Sin embargo las salidas del PLC no son suficientes para todos los actuadores disponibles por lo cual se adiciona un módulo de entradas y salidas digitales modelo 24XP2 el cual tiene las características que se muestran en la Tabla 88. Adicionando este módulo se completan las salidas faltantes para realizar el control de toda la máquina.

Tabla 88
Características módulo Delta 24XP2

Fuente de alimentación	110-220 VAC
Entradas digitales	16 entradas tipo relé
Salidas digitales	8 salidas tipo relé

Fuente: (Delta Electrónica, 2014)

4.3.11 Dimensionamiento de elementos de protección

Seleccionado el controlador para la máquina, se dimensiona la protección para todos los dispositivos y para ello se toma en cuenta el consumo total de los actuadores existentes en la máquina. Los dispositivos que mayor consumo tienen en la máquina son los motorreductores, los cuales tienen una corriente nominal de consumo de 1.3 amperios, por lo tanto en el caso de que funcionen simultáneamente se tiene una corriente máxima de 2.6 amperios. Multiplicando este valor por un factor de seguridad estándar de 1.25 como se muestra a continuación.

$$I_{\max} = 2.6 \text{ [A]}$$

$$I_p = I_{\max} (1.25)$$

$$I_p = 3.25 \text{ [A]}$$

Donde I_p es la corriente de protección, con la cual se selecciona el disyuntor de protección. En este caso como en el mercado no existe un disyuntor de 3.25 amperios se selecciona uno superior. El más cercano comercialmente es de 6 amperios a 220VAC tripolar.

Para los conductores, se usa la corriente máxima de consumo de 3.6 amperios y acorde a la Tabla 89 se selecciona el calibre del conductor dependiendo de la máxima corriente que esos cables pueden conducir.

Tabla 89***Corriente máxima admisible por los conductores eléctricos***

TABLA DE SECCIÓN DE CONDUCTORES				
Número americano	Diámetro milímetros	Sección Nom. cuadrado	Amperios	Densidad Amp. X mm ²
18	1	0.82	5	6
16	1.3	1.31	8	6
14	1.6	2.09	13	6
12	2	3.3	20	6
10	2.6	5.3	25	5
8	3.3	8.6	35	4
6	4.1	13.2	45	3.5
4	5.2	21.3	60	3
2	6.5	33.2	80	2.5
0	8.3	54	105	2

Fuente: (Dawes, 1981)

Por lo tanto el calibre que se podría elegir es el AWG 18 pero por cuestiones de disponibilidad en INSELEC se escoge el cable AWG 14 el cual tiene una corriente máxima admisible de 13 amperios.

Los variadores de frecuencia para los motorreductores se los seleccionan de acuerdo a la potencia de los motores, que son de 1/25 HP con voltaje trifásico de 220VAC. En el mercado local existen variadores que se ajustan a estos parámetros, sin embargo por cuestiones de disponibilidad de la empresa se selecciona el variador de frecuencia de la marca LS modelo SV004 iE5-2C con las características que se muestran en la Tabla 90.

Tabla 90
Características de variador de frecuencia LS modelo SV004 iE5-2C

Motor aplicable	[HP]	½
	[KW]	0.4
Salida nominal	Capacidad nom. [KVA]	1.14
	Corriente nominal [A]	3.0
	Frecuencia salida [Hz]	0~200
	Tensión salida [V]	Trifásica 200~230
Entrada nominal	Tensión aplicable [V]	Trifásica 200~230 ±10%
	Frecuencia de entrada [Hz]	50~60 ± 5%
	Corriente nominal [A]	3.5

Fuente: (LS, 2008)

4.3.11.1 Diagrama de flujo – control

Para el control de toda la máquina se toma como punto de partida el diagrama de flujo (Figura 76) el cual describe el funcionamiento general del proceso.

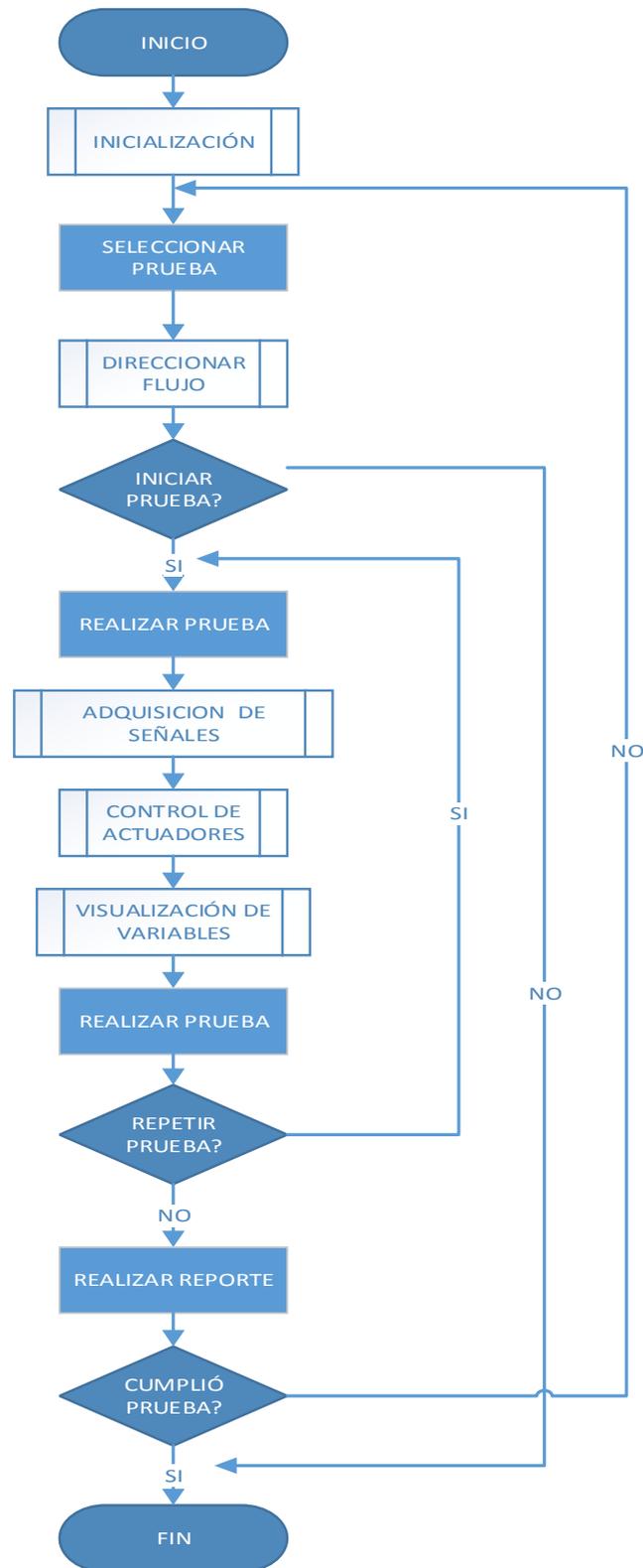


Figura 76 Diagrama de flujo del control

4.3.11.2 Inicialización

El primer subproceso (Figura 77) adquiere este nombre ya que cada prueba parte de un punto cero de la máquina es decir el soporte de gabinetes está situado de frente al usuario y el dispositivo 1 se encuentra totalmente recogido hacia la parte superior.

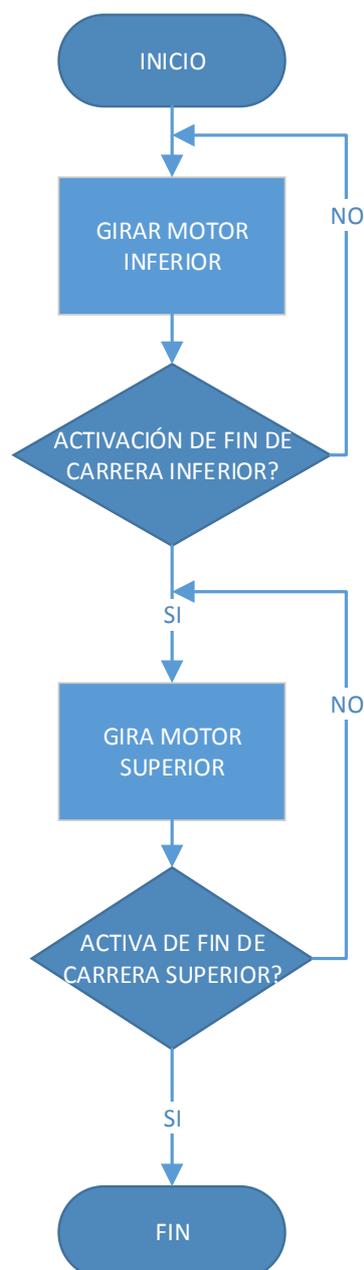


Figura 77 Diagrama de flujo –Inicialización

4.3.11.3 Direccionar flujo

Cada dispositivo está conectado a su respectiva línea de flujo. Sin embargo una misma línea alimenta a toda la máquina, por lo que dependiendo de la prueba se debe direccionar el fluido (Figura 78). Es decir para la prueba IPX1 se acciona la electroválvula 1 y las demás líneas permanecen intactas ya que se cuenta con todas las electroválvulas que son normalmente cerradas. De forma similar se procede con las demás pruebas.

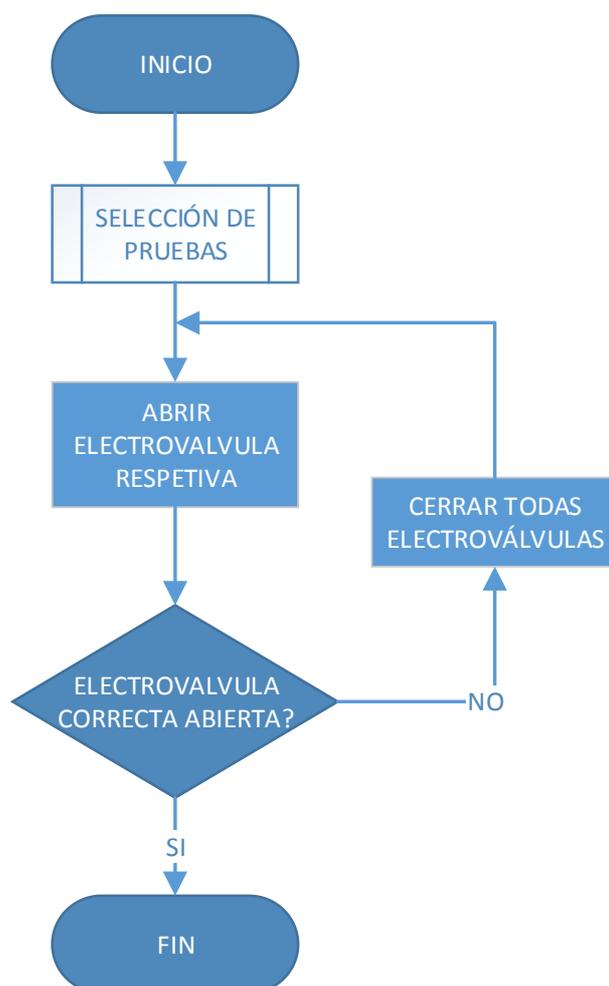


Figura 78 Diagrama de flujo –Direccionar flujo

4.3.11.4 Adquisición y tratamiento de señales

En el subproceso (Figura 79), el PLC trabaja conjuntamente con los sensores. Las entradas tanto como las salidas del PLC deben configurarse de modo que éste reconozca y envíe valores de corriente respectivamente por los canales analógicos. En cuanto a las entradas se tienen dos caudalímetros y a cada uno de ellos se designa un canal analógico.

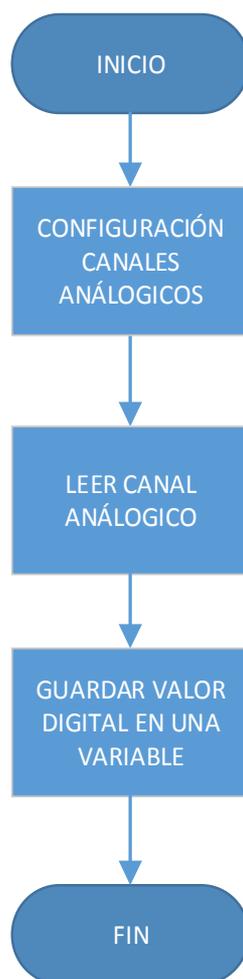


Figura 79 Diagrama de flujo - Adquisición de señales

4.3.11.5 Control de actuadores

En cuanto a las salidas del PLC, se tienen dos actuadores para controlar caudal, los mismos se conectan a cada canal analógico. Una vez obtenido el valor del caudal, las válvulas proporcionales son comandadas por el PLC, si los valores de caudal son más altos de lo que la norma permite la electroválvula proporcional se cierra mientras que si sucede lo contrario, y el flujo es menor del que la norma requiere la electroválvula proporcional se abre y permitir mayor paso de caudal (Figura 80). Para el control de la presión se tiene una válvula manual-mecánica que permanece su posición constante desde la calibración de la máquina.

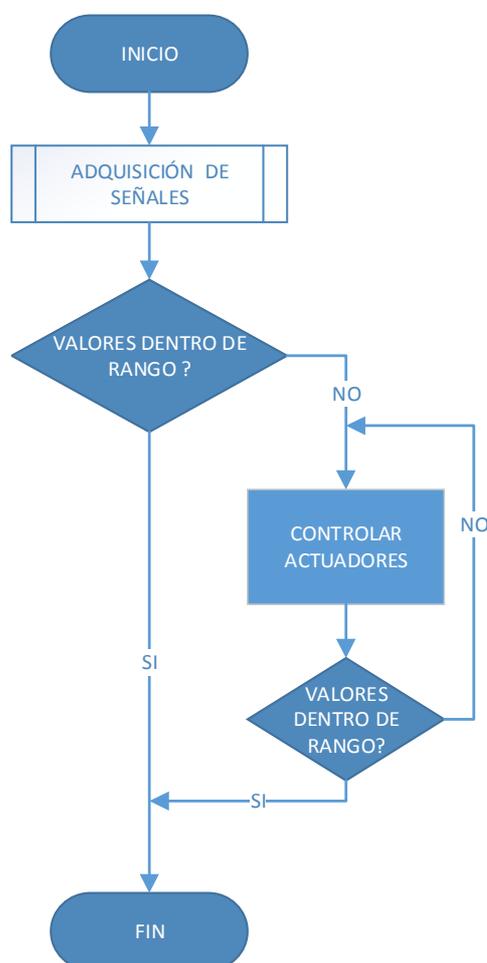


Figura 80 Diagrama de flujo - Control de actuadores

4.3.11.6 Visualización de variables

En todo el proceso es importante supervisar las variables y visualizarlas, en caso de que los valores obtenidos por los sensores salgan del valor establecido la prueba se detiene y debe comenzar nuevamente (Figura 81)

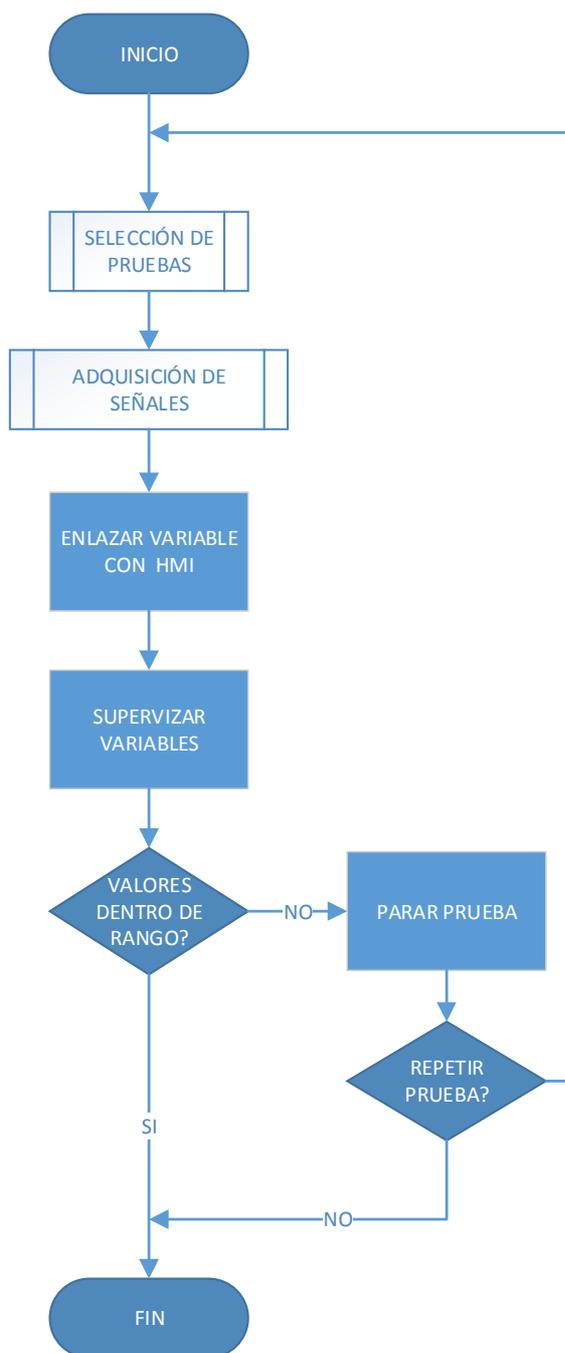


Figura 81 Diagrama de flujo - Visualización de variables

4.3.11.7 Sistema hidráulico

El sistema hidráulico lo comprende el tanque de reserva y la bomba, los cuales abastecen a todo el sistema. Para el control intervienen las electroválvulas, las válvulas proporcionales reguladoras de caudal, sensores de presión y caudal como se puede observar en la Figura 82 . El sistema se muestra en una forma ampliada en el plano anexo denominado INST-01

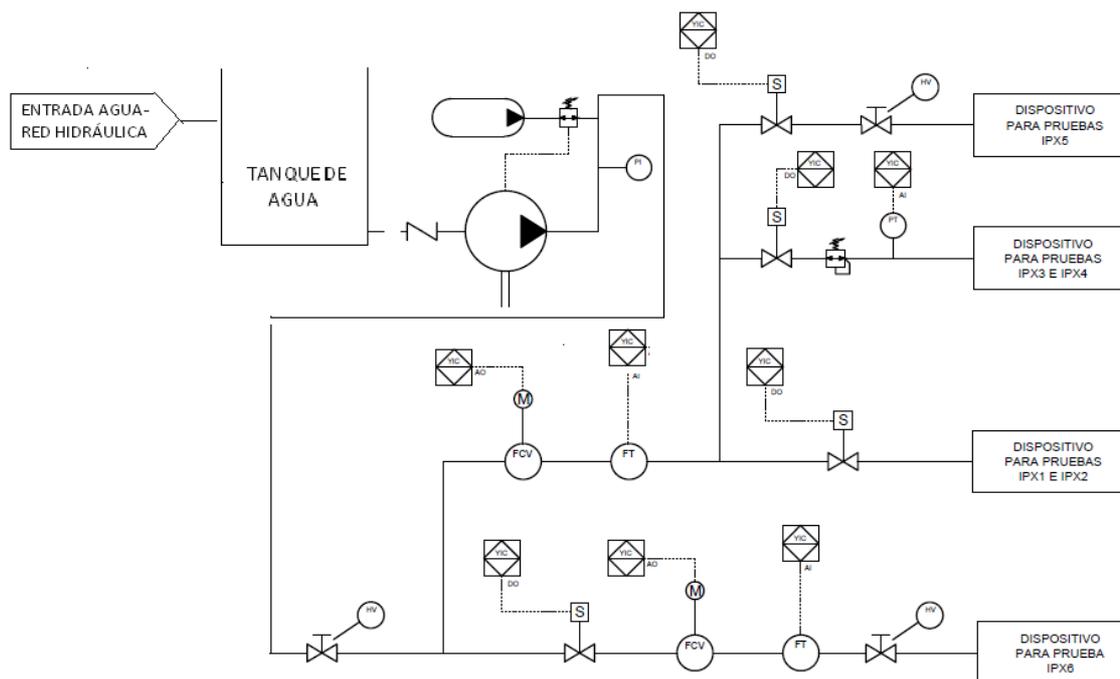


Figura 82 Control sistema hidráulico

4.3.11.8 Sistema neumático

A pesar que para las pruebas IPX1 e IPX2 la norma exige un caudal de agua de 1mm/min y 3mm/min respectivamente su control no se lo puede realizar fácilmente con válvulas hidráulicas, por lo cual se toma como principio un sistema hidroneumático, es decir un contenedor el cual tenga dos entradas y una salida, por una de las entradas ingresa agua y por la otra ingresa aire. Inicialmente ingresa una cierta cantidad de agua, luego ingresa aire con un caudal ya establecido, haciendo desplazar al agua en una relación directa con el caudal de aire que ingresa. Igualmente intervienen elementos de control como electroválvulas, válvulas reguladoras de presión como se puede

observar en Figura 83 . El sistema se muestra en una forma ampliada en el plano anexo denominado INST-01

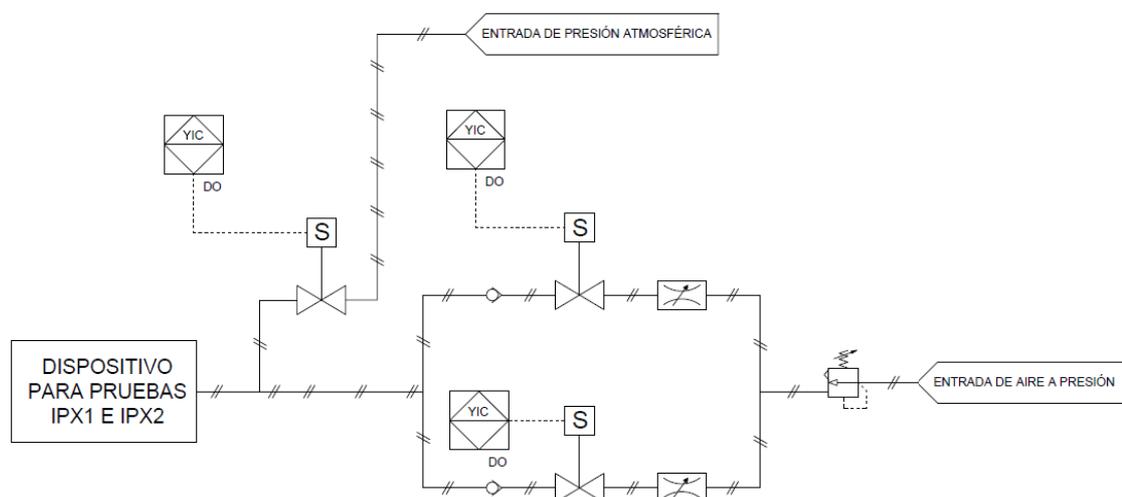


Figura 83 Control sistema neumático

4.3.11.9 Diseño de la interfaz gráfica-HMI

La interfaz gráfica es transmitir directamente los deseos del usuario al sistema de control de la máquina para lo cual se tiene el HMI de fácil entendimiento y operación. Para ello se hace uso de la pantalla marca Delta modelo DOP-B07E515 cuyas características se muestran en la Tabla 91. La misma se encuentra en almacenamiento dentro de los productos que posee la empresa INSELEC.

Tabla 91
Características HMI Delta DOP-B07E515

Tamaño de pantalla	7 pulgadas
Tipo de display	65536 colores TFT
Resolución	800x600
ROM	128 Mb
Ethernet	10/100 Base-T

Fuente: (Delta Electrónica , 2014)

La interfaz gráfica de la máquina empieza con la siguiente pantalla (Figura 84) que es la pantalla principal. De la cual se derivan las demás pantallas.



Figura 84 Pantalla de inicio - HMI

4.3.11.9.1 Menú de pruebas

La pantalla está compuesta de la sección de pruebas y de gabinetes. Obligatoriamente se debe seleccionar solo una prueba y un gabinete a la vez para poder proseguir con el botón de iniciar prueba (Figura 85).



Figura 85 Pantalla de menú de pruebas

Dependiendo la prueba que se elige, se despliegan las siguientes pantallas Figura 86, Figura 87, Figura 88, Figura 89 para la prueba IPX1 hasta la IPX6 respectivamente.



Figura 86 Pantalla prueba IPX1



Figura 87 Pantalla prueba IPX2



Figura 88 Pantalla prueba IPX3, IPX4



Figura 89 Pantalla prueba IPX5, IPX6

4.3.11.9.2 Servicio técnico

En esta pantalla solo se puede ingresar con la clave ya que únicamente está destinada para el personal de mantenimiento (Figura 90).



Figura 90 Servicio técnico – Clave

Ingresada la clave se despliega la siguiente pantalla donde se puede escoger a que sistema se desea realizar el mantenimiento (Figura 91).



Figura 91 Servicio técnico - Sistemas

Dependiendo el sistema al que se ingrese se tienen respectivamente las siguientes ventanas (Figura 92, Figura 93, Figura 94, Figura 95 y Figura 96) donde se puede comandar directamente a los actuadores sin que

se esté realizando una prueba. Esto se realiza con el objetivo de que en el mantenimiento se localicen las posibles fallas de los actuadores.



Figura 92 Servicio técnico - Sistema motriz



Figura 93 Servicio técnico - Mecanismo de elevación



Figura 94 Servicio técnico - Sistema hidráulico



Figura 95 Servicio técnico - Sistema neumático

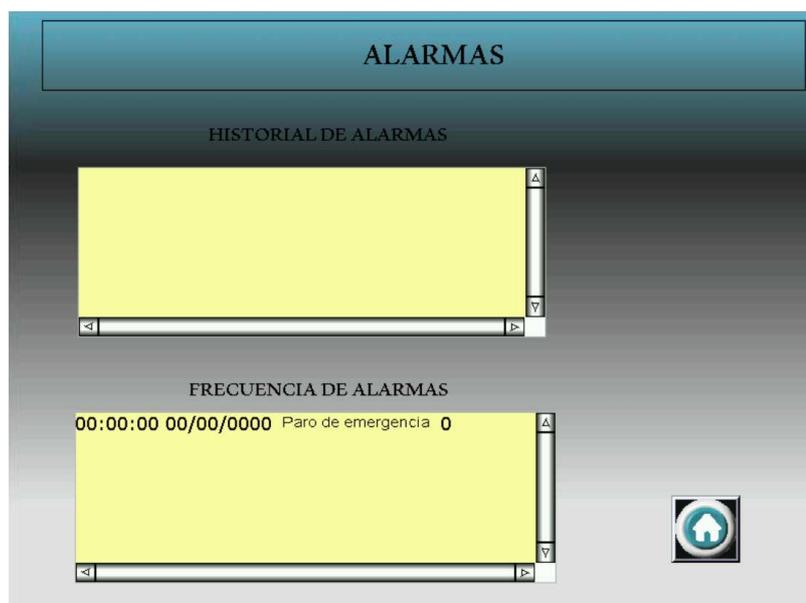


Figura 96 Servicio técnico - Alarmas

Y finalmente la pantalla de **ACERCA DE** muestra los nombres de los responsables intelectuales del proyecto (Figura 97).



Figura 97 Pantalla de ACERCA DE

CAPÍTULO V

5. Pruebas y análisis de resultados

Posteriormente de la selección, diseño y construcción de los elementos de la máquina, el proyecto culmina con el ensamblaje de todos los sistemas, dando como resultado final la máquina que se observa en la Figura 98



Figura 98 Ensamble final de máquina de comprobación IP

5.1 Calibración de sensores

Posterior al ensamblaje es necesario realizar la calibración de los sensores, por lo cual se utilizaron dispositivos patrones dependiendo la magnitud física que se desea medir.

Debido a que en la prueba IPX3 e IPX4 se solicita que el dispositivo 2 trabaje en un rango de 50 a 150 KPa de presión, y para las pruebas desde la IPX3 hasta la IPX6 se tiene un rango de caudal de $\pm 5\%$ del valor establecido, por lo que la histéresis en todos los transmisores no incorpora un gran error en la medición real de las variables ya que se tiene un amplio rango en el que puede trabajar.

5.1.1 Calibración del transmisor de presión

Para la calibración del transmisor de presión se usó como dispositivo patrón un manómetro diferencial. El instrumento ayudó a asignar valores de presión a los datos digitales que recibe el PLC provenientes del sensor de presión. Este escalamiento se lo realizó en la programación del PLC con el objetivo de desplegarlo directamente en el HMI.

El manómetro diferencial usado para la calibración tiene las características que se muestran en la Tabla 92.

Tabla 92

Características de manómetro patrón

Manómetro Diferencial Análogo

Rango de medición: 0 – 100 PSI

Apreciación : 2 PSI

Carátula : 2in

Conexión al proceso de ¼ in

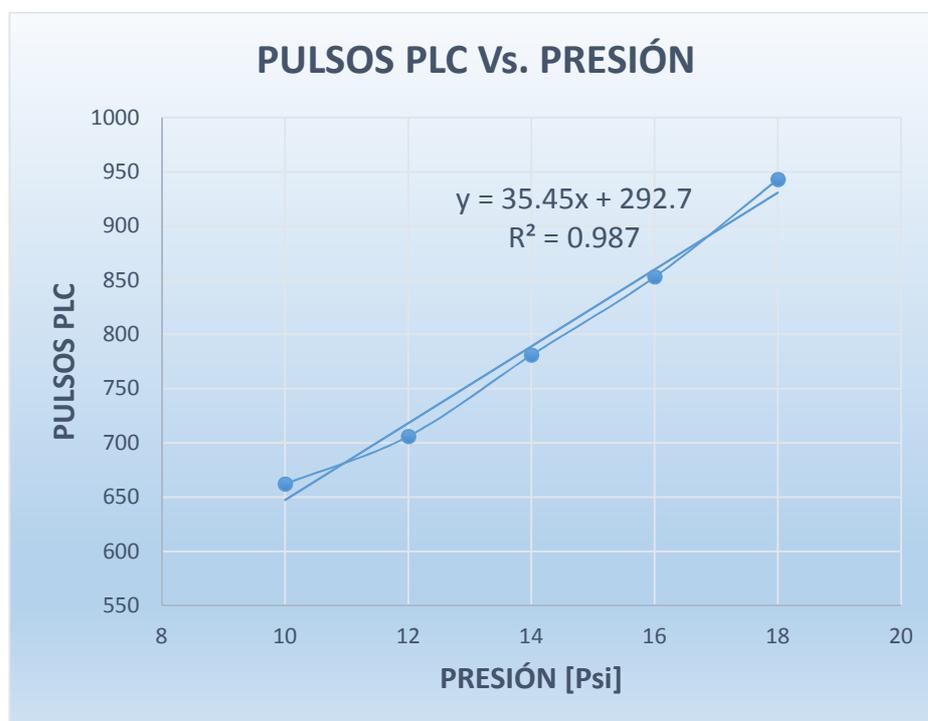
En el proceso de calibración, igualmente, se hizo uso de la válvula reguladora de presión la cual permitió mantener la presión constante y ayudó a realizar la toma de varios datos en distintos valores de presión. Estos datos que se recopilaron se los puede observar en la Tabla 93.

Tabla 93***Datos recopilados de presión para la calibración del transductor***

Presión visualizada en el manómetro diferencial	Valor digital obtenido en el PLC		
	Dato 1	Dato 2	Dato 3
10	662	675	669
12	706	705	710
14	781	785	787
16	853	859	872
18	943	945	948

Con los datos de la Tabla 93 de las características del transmisor se puede corroborar su linealidad, por lo que los datos tomados debido a su repetitividad son confiables para realizar el debido escalamiento (

Figura 99) en la programación del PLC.

**Figura 99 Cuadro Pulsos PLC vs Presión**

5.1.2 Calibración del caudalímetro de 1/2in y 1in

Para la calibración de los caudalímetros se usó un recipiente, el cual contaba con una escala en litros. Se llenó el recipiente hasta una cierta medida en un tiempo determinado y se tomaron los valores digitales en el PLC provenientes de los caudalímetros. Estos valores se los puede observar en la Tabla 94 para el caudalímetro de 1/2in y en la Tabla 95 para el caudalímetro de 1in.

Tabla 94

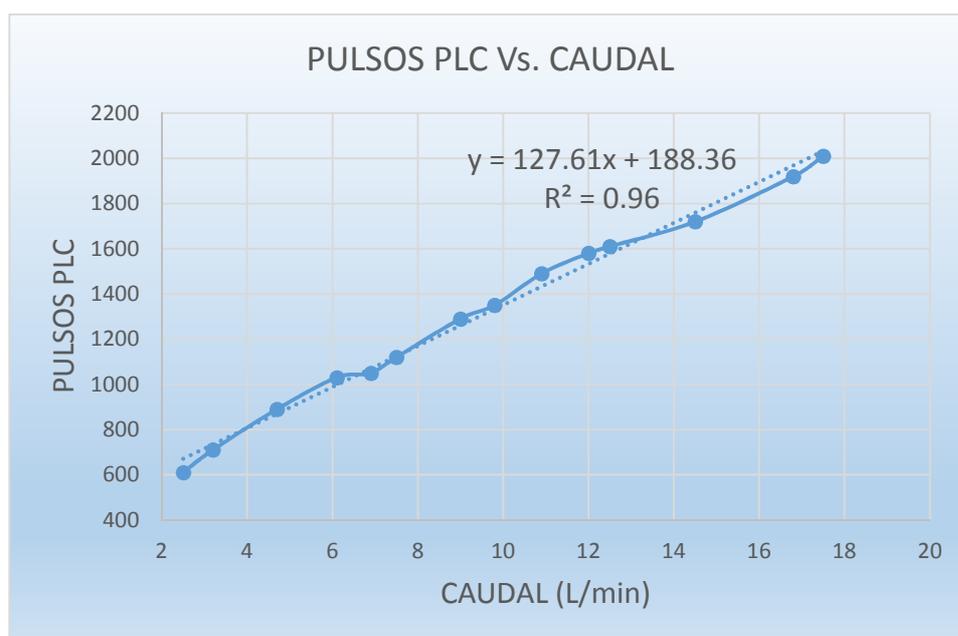
Datos recopilados para la calibración del caudalímetro de 1/2in

Volumen [l]	Tiempo [seg]			Caudal promedio [l/min]	Valor obtenido en el PLC		
	Dato 1	Dato 2	Dato 3		Dato 1	Dato 2	Dato 3
3	10.33	10.35	10.28	17.52	2011	2015	2010
3	10.75	10.81	10.71	16.81	1926	1929	1931
3	12.49	12.44	12.41	14.56	1715	1718	1724
3	14.43	14.48	14.45	12.54	1615	1618	1610
3	15.05	15.10	15.07	12.01	1585	1576	1581
3	16.52	16.54	16.63	10.91	1490	1494	1494
3	18.33	18.38	18.36	9.80	1341	1344	1350
3	20.01	20.05	20.1	9.01	1287	1281	1290
3	20.08	21.01	20.47	7.55	1129	1120	1125
3	25.77	25.63	25.50	6.92	1048	1052	1058
3	29.61	29.55	29.50	6.10	1038	1031	1042
3	38.29	38.31	38.38	4.72	888	893	891
3	56.33	56.30	56.25	3.36	712	711	715
3	72.05	72.10	72.15	2.58	610	608	611

Tabla 95**Datos recopilados para la calibración del caudalímetro de 1in**

Volumen [l]	Tiempo [seg]			Caudal promedio [l/min]	Valor obtenido en el PLC		
	Dato 1	Dato 2	Dato 3		Dato 1	Dato 2	Dato 3
3	1.51	1.49	1.44	125.2	1671	1679	1675
3	1.61	1.59	1.56	115.42	1545	1543	1551
3	1.62	1.64	1.59	109.34	1495	1500	1505
3	1.92	1.81	1.87	97.43	1408	1401	1410
3	2.15	2.04	2.12	88.58	1231	1235	1238
3	2.51	2.40	2.44	75.31	1161	1165	1171
3	2.98	2.95	2.84	63.57	1115	1110	1108
3	2.95	3.00	2.91	53.4	945	949	951
3	4.35	4.25	4.26	41.99	938	931	935
3	5.40	5.50	5.45	33.21	851	855	860
3	7.87	7.82	7.87	22.92	700	703	708

Con los datos obtenidos en las pruebas de calibración y las características de los sensores de 1/2in y 1in que se muestran en la Figura 100 y en la Figura 101 respectivamente se puede comprobar la linealidad de los sensores y se puede realizar el escalamiento y asignación de valores en la programación del PLC.

**Figura 100 Cuadro Pulsos PLC vs Caudal caudalímetro de 1/2in**

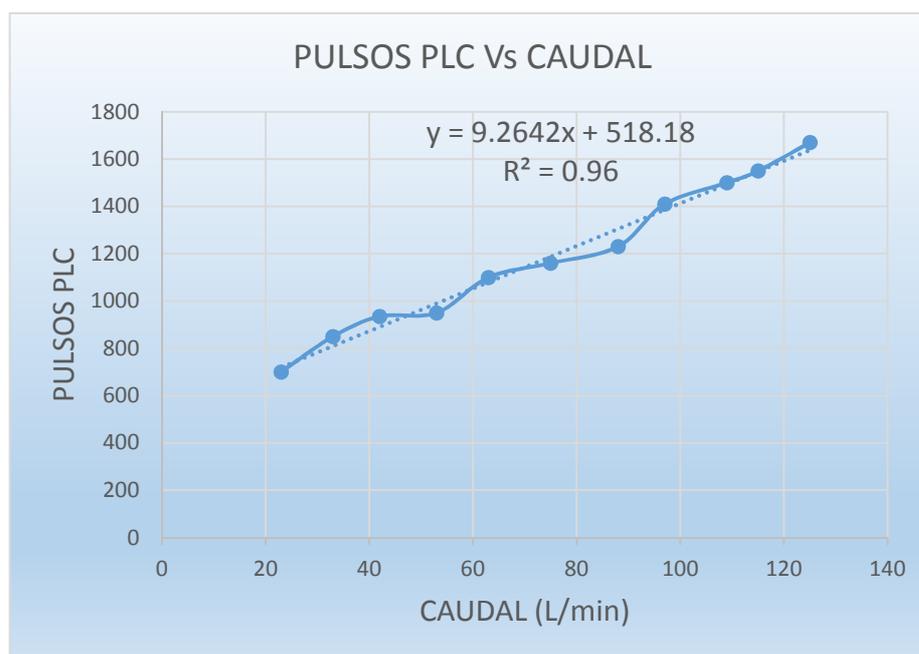


Figura 101 Cuadro Pulsos PLC vs Caudal caudalímetro de 1in

5.1.3 Calibración del encoder superior

El encoder superior se lo usa para medir indirectamente la distancia entre la parte más sobresaliente de la sección superior del gabinete con la base inferior del dispositivo 1 para pruebas IPX1 e IPX2.

Se tomó el número de pulsos enviados por el encoder cuando el dispositivo de pruebas ha recorrido una distancia de 5 milímetros, los datos tomados se muestran en la Tabla 96

Tabla 96

Datos para el cálculo de la distancia recorrida del dispositivo 1

Distancia recorrida [mm]	Pulsos enviados por el encoder		
	Dato 1	Dato 2	Promedio
5	1020	1015	1018

Los valores de las distancias necesarias para cada uno de los gabinetes con respecto al dispositivo 1, se encuentran en la Tabla 97

Tabla 97***Datos recopilados para la calibración del encoder superior***

Gabinete	Distancia [mm]	Pulsos con gabinete a 90°		Distancia a recorrer [mm]	Pulsos con gabinete a 15°	
		Dato 1	Dato 2		Dato 1	Dato 2
I-0311		11260	11263	30	6105	6110
I-0312		11262	11259	21	4274	4279
I-0313		11255	11250	21	4276	4270
I-0314		11254	11254	20	4070	4065
I-0315	200	11250	11253	21	4274	4271
I-0316		11254	11258	20	4071	4068
I-0317		11250	11252	17	3462	3469
I-0318		11248	11253	21	4270	4279
I-0319		11254	11254	17	3459	3465
I-0319-1		11253	11259	17	3460	3463

5.2 Pruebas y análisis de resultados

Las pruebas se las realizaron en primera instancia sin gabinetes y únicamente se tomó la precaución de que se cumplan las condiciones establecidas en la Norma IEC-60529.

En el Anexo 4 se puede encontrar la recopilación de resultados obtenidos de todas las variables en todas las pruebas.

5.2.1 Pruebas con gabinetes

Se pusieron a prueba un grupo de gabinetes con protección IP64 fabricados por INSELEC CIA. LTDA, para lo cual se tomó en cuenta los puntos críticos como cerradura y esquinas (Figura 102) por donde se presumiría podría ingresar el fluido. A esta sección del gabinete se le colocó el papel testigo como se muestra en la Figura 102

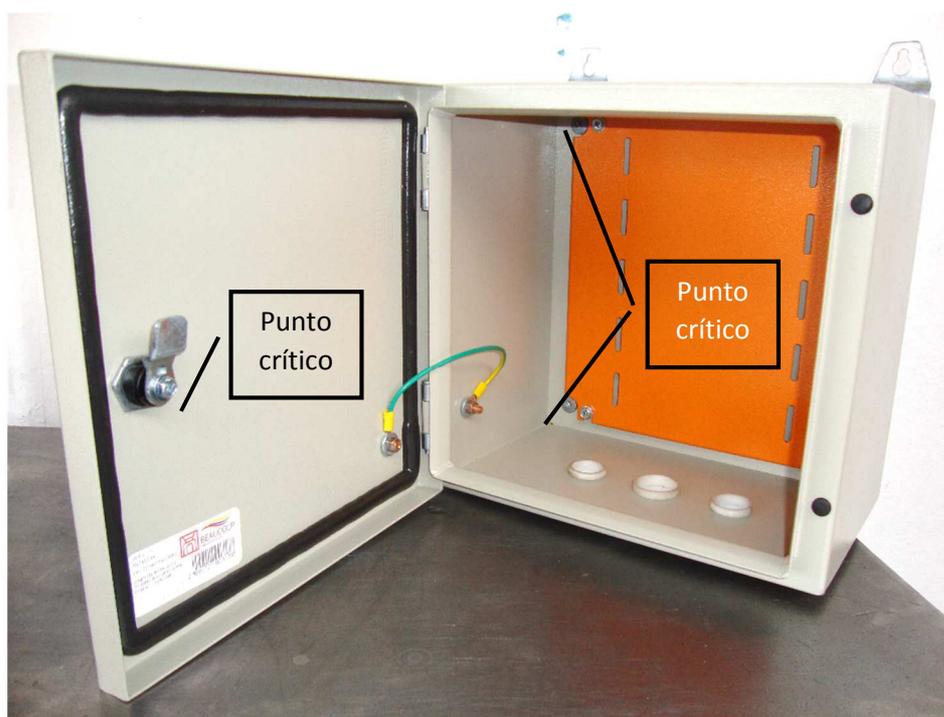


Figura 102 Puntos críticos de ingreso de agua



Figura 103 Gabinete con papel testigo

En total se realizaron pruebas a un grupo de 3 gabinetes de servicio pesado con código I-0312, I-0313 e I-0314, los cuales se encontraban disponibles para realizar las pruebas el día 9 de enero del 2014 a las 3PM.

Se inició por la prueba IPX1 la cual fue culminada obteniendo resultados satisfactorios en los 3 gabinetes. En la Figura 104 se puede

observar la inspección final realizada al gabinete I-0313 después de la prueba IPX1, en la cual se observó que el papel testigo no mostró ningún rastro significativo de agua.

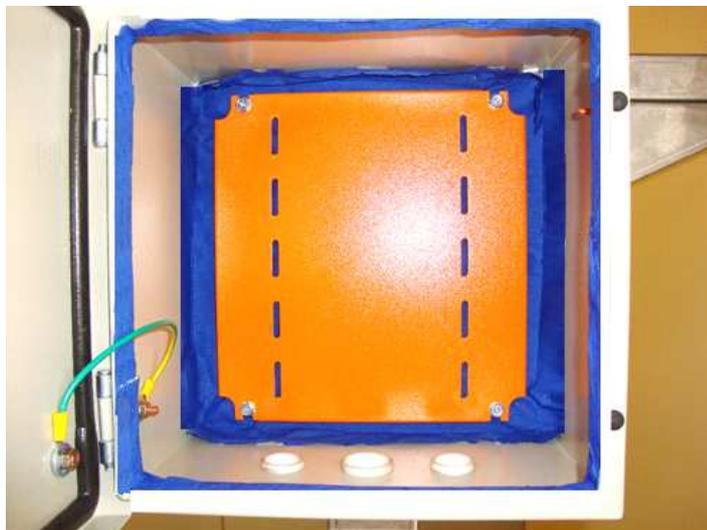


Figura 104 Inspección final gabinete I-0311 - Prueba IPX1



Figura 105 Inspección final puerta I-0311 - Prueba IPX1

Inmediatamente se realizó la prueba IPX2 en la cual tampoco se observó ningún rastro de agua en el interior de los 3 gabinetes. La muestra la Figura 106 inspección final realizada al gabinete I-0313.



Figura 106 Inspección final de la prueba IPX2

A continuación se realizó la prueba IPX3 y en la inspección final realizada a los 3 gabinetes se constató que el papel testigo aún seguía sin ningún rastro significativo de agua.

Posteriormente, se realizó la prueba IPX4 en la cual los gabinetes I-0312 e I-0314 no presentaron ningún problema, pero el gabinete I-0313 presentó una pequeña mancha en el papel testigo ubicado en su interior. En la Figura 107 y Figura 108 se puede observar la mancha en el papel testigo, sin embargo esto no se puede considerar como que el gabinete no cumple con el grado de protección IPX4, ya que la Norma IEC-60529 también menciona en su numeral 14.3 que "de existir ingreso de agua dentro de un recinto el mismo puede considerarse válido si la cantidad de agua ingresada no afectase el correcto funcionamiento del gabinete o de los dispositivos que se encuentren en su interior." (IEC, 1999) p.53)



Figura 107 Inspección final puerta gabinete I-0313 - Prueba IPX4

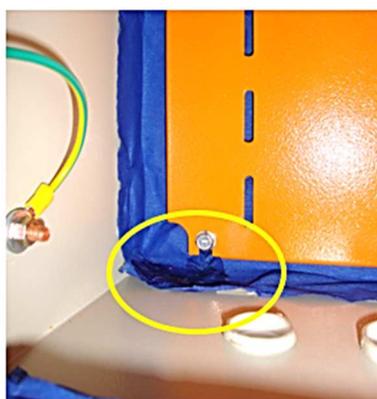


Figura 108 Inspección final gabinete I-0313 - Prueba IPX4

Por lo que, la mancha encontrada en el papel testigo no es un peligro para el correcto funcionamiento del gabinete o de los equipos que se encontrasen en su interior.

Finalmente, se realizó la prueba IPX5 e IPX6, al gabinete I-0313, en la cual se encontró que el papel testigo se encontraba totalmente mojado como se puede observar en la Figura 109 de forma similar sucedió para los gabinetes I-0312 y I-0314. En este caso la cantidad de agua ingresada al gabinete si supone un peligro para cualquier dispositivo eléctrico o electrónico que pudiese situarse en su interior por lo cual ninguno de los 3 gabinetes cumple con la protección IPX5.



Figura 109 Inspección final gabinete I-0313 - Prueba IPX5

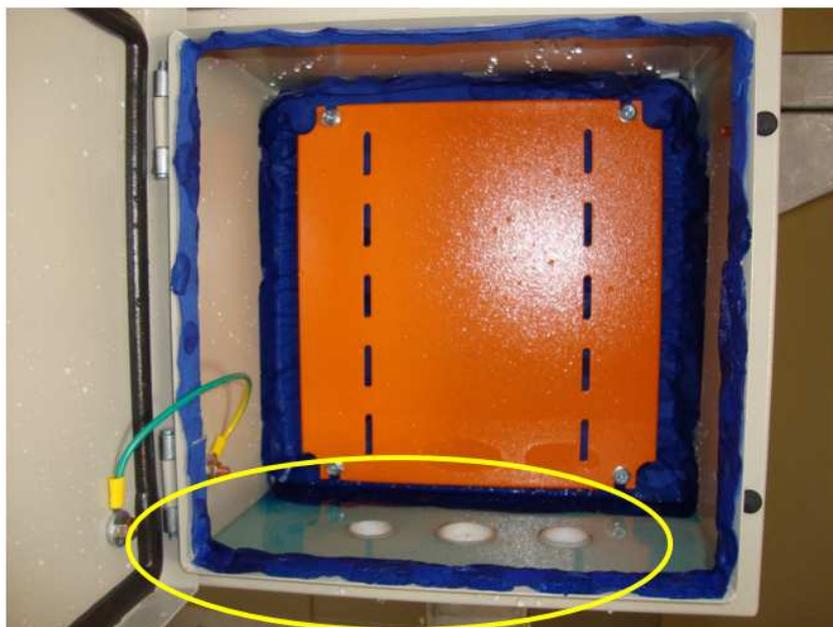


Figura 110 Inspección final gabinete I-0313 - Prueba IPX6

5.3 Interpretación de resultados - gabinetes

Realizando un análisis del resultado de la prueba IPX5 y con una segunda prueba se logró determinar que el agua ingresa por los pernos remachables que sirven para sujetar el doble fondo de los gabinetes.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que los gabinetes cumplen únicamente hasta la protección IPX4, la cual también se encuentra impresa en la etiqueta del producto como se puede observar en la Figura 111. Con este procedimiento se logró confirmar que efectivamente INSELEC CIA. LTDA. fabrica sus productos con los estándares de la Norma IEC-60529 y que sus gabinetes cumplen con el grado de protección IP que se muestra en su etiqueta.



Figura 111 Etiqueta de especificación de protección IP de gabinetes de servicio pesado de INSELEC CIA. LTDA.

Fuente: (Inselec Cia Ltda., 2012)

5.4 Funcionamiento del sistema

Después de haber realizado las diferentes pruebas a los gabinetes, se comprobó el correcto funcionamiento de la máquina.

Para el correcto funcionamiento de la máquina se toman en consideración lo siguiente:

- Verificar el voltaje de alimentación a toda la máquina (220V Trifásico)
- Verificar que la llave de paso de agua al tanque esté abierta
- Verificar que el interruptor de la máquina y el de la bomba estén encendidos, y verificar que el desagüe de la máquina no se encuentre con objetos extraños
- Mantener lubricado los agarres rápidos para su correcto funcionamiento

Para el correcto funcionamiento de las pruebas se toman en consideración lo siguiente:

- Realizar una inspección previa del gabinete
- Colocar el gabinete como estaría en su lugar de funcionamiento
- Asegurar el gabinete por sus cuatro lados al soporte
- Forrar correctamente los gabinetes con el papel testigo

CAPITULO VI

6. Análisis económico y financiero

El financiamiento total del proyecto es por parte de la empresa, por lo que al tratarse de una empresa privada, la construcción de la máquina se traduce en un egreso y esto tiene un significado y un efecto dentro de la estructura contable y financiera.

El análisis financiero ayuda a la empresa a diagnosticar el costo total que se invirtió en el proyecto, para lo cual se realiza la recopilación de gastos que se encuentra detallada en la Tabla 98.

Tabla 98
Recopilación de gastos

Elementos	Gastos USD
Materia prima: planchas de acero galvanizado, ejes de acero, pintura	3500
Elementos hidráulicos, neumáticos: válvulas, tubos y accesorios PVC, mangueras, bomba	2000
Elementos de control: Protecciones, PLC , variadores, sensores, actuadores	1650
Mecanizado	650
Extras	200
TOTAL	8000

El beneficio que obtiene la empresa al implementar este proyecto es de contar con un sistema normalizado de verificación para ratificar que sus productos cumplen con el grado de protección que indica su respectiva etiqueta, mas no está envuelto en el proceso mismo de producción razón por la cual no se realiza un análisis profundo de costo/beneficio.

CAPÍTULO VIII

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Se implementó la máquina de comprobación del segundo número característico de la norma IEC-60529, la cual está en la capacidad de realizar las pruebas desde la IPX1 hasta la IPX6 para gabinetes de dimensiones máximas de 600x600x200mm.
- La fabricación de la máquina se basó en los requerimientos de la norma IEC-60529 por lo que indirectamente se puede comprobar la norma NTE INEN 2569, las mismas que exigen para la prueba IPX1 un caudal de 1mm/min $\pm 5\%$, y distancia de 200mm desde el dispositivo de prueba hasta el gabinete, de los cuales los valores experimentales obtenidos oscilaban en el rango de 0.98mm/min a 1.04 mm/min y 200mm respectivamente. En la prueba IPX2 se establecen valores para el caudal de 3mm/min $\pm 5\%$ y una distancia de 200mm desde el dispositivo de prueba hasta el punto más sobresaliente del gabinete, de los cuales los valores experimentales obtenidos estuvieron en el rango de 2.9mm/min a 3.1 mm/min y 200mm respectivamente. Para la prueba IPX3 e IPX4 se establecen valores para el caudal de 10L/min $\pm 5\%$, con una presión en un rango de 50 a 150KPa y una distancia de 300mm a 500mm desde el dispositivo de prueba hasta el punto más sobresaliente del gabinete, de los cuales los valores prácticos obtenidos estuvieron en el rango de 9.7 l/min a 10.2 l/min, 80KPa y 310 a 480mm respectivamente. Para la prueba IPX5 e IPX6 se requieren 12.5 l/min $\pm 5\%$, y 100 l/min $\pm 5\%$, respectivamente, a una distancia de 2.5 a 3 m con relación al gabinete de lo cual experimentalmente se obtuvieron 11.5 a 12.4l/min y 96 a 100.4 l/min.
- Aplicando ingeniería concurrente, se dividió el proyecto en nueve módulos funcionales llamados, montaje/desmontaje, abastecimiento de agua a los dispositivos 1,2,3,4, uso y posicionamiento del dispositivo 1, uso de dispositivo 2, uso de dispositivo 3 y 4 , giro e inclinación de la

base, desarrollo de pruebas, inspección y análisis de resultados. Tres módulos tuvieron soluciones únicas que se encontraron inmersas en la norma y se debían seguir estrictamente. Los seis módulos restantes obtuvieron más de una solución y por medio de criterios de selección se determinaron las soluciones mejor puntuadas para cada caso.

- Para las piezas mecánicas más críticas como son el soporte de gabinetes, plato giratorio y el eje motor se realizaron análisis de esfuerzos máximos del material, factor de seguridad y deflexión. Se obtuvieron para el soporte de gabinetes un esfuerzo máximo de 21.88 MPa, deflexión máxima de 0.11mm y un factor de seguridad de 8.36. Para el plato giratorio se obtuvo un esfuerzo máximo de 53MPa, factor de seguridad mínimo 3.93, y deflexión de 0.006mm. Finalmente, para el eje del motor se obtuvo un esfuerzo máximo de 1.02KPa y un factor de seguridad de 4.79. Comparando todos estos valores con el esfuerzo máximo de 206Mpa del acero AISI 304 se determinó que los diseños propuestos son confiables para la aplicación que fueron desarrollados,
- Se construyeron los siguientes subsistemas: estructura externa, estructura interna ,mecanismo de elevación de dispositivo 1, soporte de gabinetes, carro de agarre rápido , sistema motriz de la base, mecanismo de inclinación , soporte de mecanismo de inclinación, acorde a las medidas y tolerancias de los planos elaborados. Se dimensionó y seleccionó los elementos de los sistemas hidráulico, neumático y de control obtenidos en el diseño tomando en cuenta la disponibilidad de los elementos en el mercado.
- Se realizó la comprobación a los gabinetes con protección IPX4 ya que su producción es en serie los cuales cumplieron satisfactoriamente con el grado designado en su etiqueta, sin embargo la máquina también está en la capacidad de funcionar correctamente en la comprobación de productos con grado de protección IPX5 e IPX6 que son fabricados bajo pedido.
- Los valores establecidos por la norma IEC-60529 son supervisados durante el transcurso de todas las pruebas y se los pueden visualizar

en todo momento en la pantalla HMI, si existe alguna variación que no permita que los valores cumplan con lo establecido, la máquina está programada para corregir la anomalía y mantener estos parámetros dentro de los límites. De no lograr este control presentará alarmas con el objetivo de poner en aviso al operario para que tome las acciones correctivas pertinentes y que se repita la prueba.

7.2 Recomendaciones

- Para la comprobación de gabinetes de dimensiones mayores a las que no fueron contempladas en el proyecto se las debe llevar a cabo dentro de un laboratorio. Para lo cual la máquina da la flexibilidad de remover fácilmente los dispositivos de pruebas.
- Para un mejor control de caudal de las pruebas IPX1 e IPX2 se podría modificar el diseño de las perforaciones en el dispositivo 1, cambiándolas por boquillas desmontables del mismo diámetro interno. Esto con el objetivo de distribuir de mejor manera el agua y facilitar el mantenimiento en todo el dispositivo. Debido a la sedimentación del agua las perforaciones tienden a obstruirse.
- Como alternativa para la medición de la distancia entre el dispositivo 1 y el gabinete se podría reemplazar el encoder con un sensor laser con el objetivo de medir directamente la distancia, ya que el encoder mide el ángulo de giro del eje del mecanismo de elevación y lo relaciona con la distancia recorrida del dispositivo 1.
- Para tener un mejor acabado superficial de las boquillas de las pruebas IPX5 e IPX6 se las debería elaborar en acero inoxidable.
- En la construcción de la estructura interna se debería realizar con tubo estructural cuadrado y no con perfiles de acero doblados, con el objetivo de mejorar la estabilidad de la máquina.
- Para mayor confiabilidad en la medición de las variables del sistema se recomienda utilizar sensores que posean certificados de calibración de origen.

BIBLIOGRAFÍA

- Airtac. (2014). *2W Series Valve*. Obtenido de http://en2.airtac.com/pro_det.aspx?c_kind=4&c_kind2=19&c_kind3=40&c_kind4=47&c_kind5=82&id=107
- Ami bearings Inc. (2014). *Screw Locking Bearing Insert*. Obtenido de <http://catalog.amibearings.com/item/spherical-o-d-normal-duty-set-screw-bearing-insert/t-screw-locking-bearing-insert-uc200-ucw200-series/uc204-12>
- Ávila, G. (1997). *Hidráulica General Voúmen 1 Fundamentos*. México D.F.: Editorial Limusa S.A.
- Belimo Aircontrols. (2006). *Documentación Técnica Válvulas de Control Caracterizado Electrónicas CCV*. Nueva York.
- Bodine electric Co. (2014). *Double Reduction Gearmotor*.
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2008). En *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA.
- Camozzi. (2014). Obtenido de <http://catalogue.camozzi.com/CATALOGUES/CCC-GENCAT/00053/PDF/ENG.2.7.20.pdf>
- Carrillo, R., Cortéz, H., & Neira, O. (2004). *Medición de Presión*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Dawes, C. (1981). *Electricidad industrial*. Barcelona: Reverté.
- Delta Electrónics . (2014). *Delta industrial automation*. Taiwan.
- Grainger. (2014). *Gatos de servicio*. Obtenido de <http://www.grainger.com.mx/articulos/gato-mecanico-tijera-1-ton-mikels-WS6AGM7>
- Harper, E. (2003). *El ABC del control electrónico de las máquinas eléctricas*. México D.F: LIMUSA.
- Harper, E. (2005). *Curso de transformadores y motores de inducción*. México D.F: LIMUSA.
- IEC, I. E. (1999). *Degrees of protection provided by enclosures (Segunda ed.)*. Geneva.
- Importaciones Plasticas LOMA S.A. (2005). Obtenido de <http://www.iploma.com/02.htm?sessionid=3126358787994832>
- INEN. (2011). *Grado de protección proporcionado por los gabinetes, tableros, racks o cualquier recinto que contenga equipos eléctricos o electrónicos (CODIGO IP). Requisitos e Inspección*. Quito.
- Inselec Cia Ltda. (16 de Marzo de 2012). *Catálogo de Productos BEAUCOUP*. Obtenido de <http://www.inselec.com.ec/content/catalogo/Download/Beacoup.pdf>
- Ivan Bohman. (2013). *Catálogo general 2013*. Quito.

- Leo Group Co. Ltd. (2014). Obtenido de http://www.leogroup.cn/en/products_secondlist.php?284
- LS. (2008). *Starter IE5*. Obtenido de http://www.lscontrol.com.ar/pdf/ie5_esp.pdf
- Mindman. (2014). Obtenido de http://www.mindman.com.tw/en/itempic_show.php?itemid=29
- Mott, R. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada* (Cuarta edición ed.). Mexico: Pearson.
- Noncon. (2010). *Jingmen Nonon Instrument Technology*. Obtenido de <http://www.flowmeter-noncon.com/en/product-detail.php?ProId=34>
- NTN Co. (2009). Ball and Roller bearings. En C. N. 2202-IX/E.
- Protex. (2014). *Protex fasteners*. Obtenido de <http://www.protex.com/TCP-BMFH-036-025-SS-toggle-clamp-plunger-action-stainless-steel-natural>
- Tecval. (2012). *Valvulas de control para agua*. Obtenido de http://tecvalexport.com/documents/agua/DS05_Honeywell.pdf
- Wika. (2014). *Hoja técnica WIKA PE 81.50*. Obtenido de http://www.wika.es/upload/DS_PE8150_es_es_1580.pdf
- Yumo. (2010). *Yueqing Ying's rotary encoder*. Obtenido de <http://www.rotaryencoder-yumo.com/product/html/?91.html>