



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA  
MÁQUINA PARA LAVADO AUTOMÁTICO DE INSTRUMENTAL  
DE VIDRIO UTILIZADO EN EL LABORATORIO DE  
INMUNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS  
ARMADAS - ESPE**

**AUTOR: NOBOA CASTILLO ESTEBAN ALEJANDRO**

**DIRECTOR: ING. TAPIA ZURITA, MELTON EDMUNDO MSc.**

**SANGOLQUÍ**

**2016**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Certifico que el presente trabajo de titulación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA PARA LAVADO AUTOMÁTICO DE INSTRUMENTAL DE VIDRIO UTILIZADO EN EL LABORATORIO DE INMUNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE” realizado en su totalidad por el señor: NOBOA CASTILLO ESTEBAN ALEJANDRO; ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas –ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor NOBOA CASTILLO ESTEBAN ALEJANDRO para que lo sustente públicamente en fin de obtener su título como Ingeniero Mecatrónico.



---

Ing. Melton Edmundo Tapia Zurita MSc.  
DIRECTOR



## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, NOBOA CASTILLO ESTEBAN ALEJANDRO, con cédula de identidad N° 100264879-6 e ID: L00310351 declaro que este trabajo de titulación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA PARA LAVADO AUTOMÁTICO DE INSTRUMENTAL DE VIDRIO UTILIZADO EN EL LABORATORIO DE INMUNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mí autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

### DESARROLLADO POR:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Esteban D. Noboa', written over a horizontal line.

Noboa Castillo Esteban Alejandro

C.C.: 100264879-6



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## AUTORIZACIÓN

Yo: NOBOA CASTILLO ESTEBAN ALEJANDRO.

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA PARA LAVADO AUTOMÁTICO DE INSTRUMENTAL DE VIDRIO UTILIZADO EN EL LABORATORIO DE INMUNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE”, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi total autoría y responsabilidad.

Una firma manuscrita en tinta azul que dice "Esteban A. Noboa".

Noboa Castillo Esteban Alejandro

C.C.: 100264879-6

## **DEDICATORIA**

A Dios que me ha guiado por el camino del bien. A mis señores padres Washington y Consuelo, que para mí han representado un apoyo incondicional en todo momento y a mi abuela Rosita ahora fallecida que ha sido un pilar fundamental en mi niñez y en mi vida universitaria.

**Esteban Noboa**

## **AGRADECIMIENTO**

Al padre Dios que me ha guiado por siempre por buen camino y me ha dado salud, bienestar y protección ante las adversidades.

A mis padres, Washington y Consuelo, que me han dado la vida y han sabido criarme de la mejor manera para llegar a ser un buen profesional, un buen hijo, un buen amigo y un buen hermano; por brindarme su amor paternal y apoyo incondicional en los momentos buenos y malos de mi vida.

A mi hermana Karen que ha sabido estar presente en momentos realmente importantes y aunque nuestra relación de hermanos no sea la mejor le agradezco por cada momento.

A mi fallecida abuela Rosita quien ha sido una de las personas más importantes en mi vida, ha sabido contribuir con sus enseñanzas para formarme como una persona con buenos valores como respeto, lealtad y generosidad, le agradezco por todo aquello y por el apoyo brindado en mi niñez y en mi vida universitaria.

A las demás personas de mi familia que de una u otra manera han sabido estar conmigo y han estado pendientes de mi desarrollo como persona y como estudiante.

A mis amigos del colegio por todos los momentos compartidos por acompañarme en este largo trayecto hasta cumplir mi meta y brindarme su ayuda y amistad sincera cuando lo he necesitado.

A todos los docentes y profesores los cuales compartieron conmigo sus conocimientos y enseñanzas hasta lograr la meta de ser profesional y dejarme un legado de enseñanzas y experiencias útiles para afrontar los retos como profesional.

**Esteban Noboa**

## ÍNDICE

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
RESUMEN .....	xviii
ABSTRACT.....	xix
SIGLAS UTILIZADAS.....	xx
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2. ANTECEDENTES .....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO.....	4
1.5. OBJETIVOS .....	5
1.5.1. Objetivo General .....	5
1.5.2. Objetivos Específicos.....	5
1.6. METODOLOGÍA .....	5
1.7. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO .....	6
CAPÍTULO 2.....	8
FUNDAMENTO TEÓRICO .....	8
2.1 DESCRIPCIÓN .....	8
2.2 AUTOMATIZACIÓN .....	8
2.1.1. Automatización temprana: .....	9
2.1.2. Automatización moderna: .....	9
2.1.3. Etapas de la Automatización .....	10
2.1.4. Uso en la Informática.....	11
2.3 MÁQUINAS AUTOMÁTICAS .....	12
2.3.1 Sistema Mecánico .....	12
2.3.2 Instrumentación Electrónica .....	13
2.3.3 Sistemas de Control .....	15

2.3.4	Actuadores .....	16
2.4	MICROCONTROLADORES ( $\mu$ C o MCU) .....	19
2.5	ARDUINO .....	20
2.5.1	Lenguaje de programación.....	22
2.5.2	Arduino MEGA 2560.....	22
2.6	INTERFAZ DE VISUALIZACIÓN .....	23
2.6.1	Display (visualizador) de 7 segmentos .....	23
2.6.2	Control de los display .....	25
2.7	HIGIENE Y ASEO EN LABORATORIO .....	25
2.7.1	Conceptos relacionados a la limpieza y desinfección .....	25
2.7.2	Normas que rigen la limpieza y desinfección .....	26
2.7.3	Limpieza de material de laboratorio .....	26
2.7.4	Seguridad al trabajar con material de laboratorio .....	27
2.7.5	Riesgos al trabajar con material de laboratorio.....	29
2.7.6	Lavado del material vítreo .....	30
2.8	EL AGUA .....	30
2.8.1	Dureza del agua.....	30
2.8.2	Turbidez del agua.....	31
2.9	MATERIAL VÍTREO .....	32
2.9.1	Sílice Vítrea (material para vidrio de laboratorio) .....	33
2.9.2	Choque térmico en material vítreo.....	33
2.9.3	Temperatura de Transición Vítrea (Tg) .....	34
2.9.4	Utilidades del vidrio.....	35
2.10	LAVADO DE MATERIAL SANITARIO .....	35
2.10.1	Limpieza .....	35
2.10.2	Detergentes y Jabones.....	36
2.10.3	Limpieza por lavado.....	37
2.11	EQUIPOS SIMILARES EXISTENTES.....	39
2.11.1	Lavadora marca REOTERM GW6090: .....	39
2.11.2	Lavadora desinfectadora marca MATACHANA LAB 600.....	39
2.11.3	Lavadora termodesinfectadora marca MATACHANA LAB 680 .....	40
CAPÍTULO 3.....		42
DISEÑO MECATRÓNICO.....		42
3.1	IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES PARA LA MÁQUINA .....	42
3.2	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	42
3.3	DISEÑO MECÁNICO.....	47

3.3.1	Planteamiento de conceptos iniciales para el prototipo .....	47
3.3.2	Preselección de materiales por criterios ponderados.....	49
3.3.3	Estudio del material preseleccionado de cada componente .....	79
3.3.4	Simulación de cargas y Esfuerzos en software Solidworks .....	84
3.4	DISEÑO DE COMPONENTES HIDRÁULICOS .....	103
3.4.1	Explicación del diagrama hidráulico.....	105
3.4.2	Distribución de los componentes en la máquina.....	106
3.4.3	Selección y dimensionamiento de mangueras, tuberías y válvulas.....	107
3.4.4	Selección de bombas.....	112
3.4.5	Selección del termo-actuador del dispensador (jabonera).....	126
3.5	DISEÑO DE COMPONENTES POR TRANSFERENCIA DE CALOR .....	127
3.5.1	Selección del calentador de agua .....	127
3.5.2	Análisis de convección forzada (Selección de Niquelina y Ventilador).....	128
3.6	DISEÑO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO .....	133
3.6.1	Selección del motor para el mecanismo de secado .....	133
3.6.2	Selección del circuito de potencia.....	137
3.6.3	Diseño y selección del circuito de la fuente de energía .....	144
3.6.4	Diseño y selección de circuitos de control para sensores y actuadores.....	150
3.6.5	Selección de cables de los elementos de potencia .....	156
3.6.6	Diseño de la placa PCB.....	157
3.7	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL .....	161
3.7.1	Tipo de control implementado .....	161
3.7.2	Instrumentación y Sensores .....	164
3.7.3	Funcionamiento del panel de mandos .....	167
3.7.4	Código de programación.....	168
3.7.5	Códigos de error.....	168
CAPÍTULO 4.....		170
CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN .....		170
4.1	DETERMINACIÓN DE PIEZAS DEFECTUOSAS DE LA LAVADORA RECICLADA.....	170
4.2	MANUFACTURA DE LAS PIEZAS .....	172
4.2.1	Cámara de lavado.....	173
4.2.2	Módulo de secado de secado.....	173
4.3	PRENSAMBLES DE LOS MÓDULOS .....	178
4.3.1	Caja de secado.....	178
4.3.2	Placas protectoras de cables.....	178

4.3.3	Ensamble de la cámara a la estructura .....	179
4.3.4	Colocación de los brazos de aspersión.....	179
4.3.5	Adecuación de la Tapa Superior de la lavadora.....	180
4.3.6	Impermeabilización de la caja de secado .....	180
4.3.7	Adaptación de los paneles laterales para la carcasa exterior.....	181
4.3.8	Pintura de los componentes.....	182
4.4	MONTAJES HIDRÁULICOS.....	183
4.5	INSTALACIONES ELÉCTRICAS .....	183
4.6	FABRICACIÓN DE LA PLACA ELECTRÓNICA .....	187
4.7	FABRICACIÓN DE LA MASCARILLA DEL PANEL .....	189
4.8	ENSAMBLAJE FINAL DE LA MÁQUINA .....	190
CAPÍTULO 5.....		191
PRUEBAS FUNCIONALES Y ANÁLISIS DE COSTOS .....		191
5.1	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES .....	191
5.1.1	Curvas de funcionamiento del termistor NTC .....	191
5.1.2	Pruebas de funcionamiento de la válvula de entrada .....	192
5.1.3	Pruebas de funcionamiento las bombas .....	192
5.1.4	Pruebas del servomotor en el mecanismo de la caja.....	193
5.1.5	Pruebas de hermeticidad e impermeabilización .....	194
5.1.6	Pruebas de eficiencia en el secado y desinfección .....	195
5.2	GRÁFICAS DE LOS CONTROLES IMPLEMENTADOS .....	195
5.2.1	Gráfica temperatura vs tiempo (calentador).....	195
5.2.2	Gráfica temperatura vs tiempo (niquelina) .....	196
5.3	ANÁLISIS DE COSTOS.....	197
CAPÍTULO 6.....		200
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		200
6.1	CONCLUSIONES .....	200
6.2	RECOMENDACIONES.....	202
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		203

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Máquina Lavavajillas de Josephine Cochrane (1886).....	2
Figura 2.- Esquema general de un sistema.....	15
Figura 3.- Esquema general de un sistema de control <sup>2</sup> .....	16
Figura 4.- Partes y Desensamble de un Servomotor .....	18
Figura 5.- Tren de pulsos para control de un servomotor .....	18
Figura 6.- Tarjeta del controlador Arduino MEGA 2560 .....	22
Figura 7.- Identificación Simbólica en un display 7 segmentos .....	24
Figura 8.- Representación display 7 segmentos ánodo común .....	24
Figura 9.- Representación display 7 segmentos ánodo común .....	25
Figura 10.- Transparencias de agua en función de la turbidez [medida en NTU] .....	32
Figura 11.- Ciertos tipos de vidrio, composición y características .....	34
Figura 12.- Matraz Erlenmeyer.....	35
Figura 13.- Factores que intervienen en la limpieza .....	36
Figura 14.- Mapa Conceptual: Tipos de Lavado de Instrumental.....	38
Figura 15.- Fotografía Lavadora de laboratorio REOTERM GW6090 .....	39
Figura 16.- Fotografía Lavadora de laboratorio MATACHANA LAB600 .....	40
Figura 17.- Fotografía Lavadora de laboratorio MATACHANA LAB680 <sup>12</sup> .....	41
Figura 18.- Propuesta inicial de distribución interna del prototipo.....	46
Figura 19.- Concepto 1 del prototipo para máquina lavadora.....	47
Figura 20.- Concepto 2 del prototipo de máquina lavadora-termodesinfectadora .....	48
Figura 21.- Partes de la base de la lavadora.....	49
Figura 22.- Partes de la cámara interna de lavado .....	52
Figura 23.- Brazos de Aspersión Inferior (arriba) y Superior .....	54
Figura 24.- Identificación de Partes, rejilla o cesta.....	58
Figura 25.- Identificación de partes, conjunto de filtros .....	61
Figura 26.- Placa Lateral.....	64
Figura 27.- Partes de la Puerta .....	66
Figura 28.- Partes de la estructura Principal .....	66
Figura 29.- Riel .....	71
Figura 30.- Partes de la caja y mecanismo de secado .....	72
Figura 31.- Partes de la tapa superior.....	77
Figura 32.- Simbología y Propiedades Mecánicas del plástico ABS.....	80
Figura 33.- Propiedades mecánicas para aceros inoxidables (EN 10088-2).....	81
Figura 34.-Curva Esfuerzo Deformación en Acero Inox. y al Carbono .....	82
Figura 35.- Propiedades y características del polipropileno .....	82
Figura 36.- Propiedades de algunos aceros según norma europea.....	83
Figura 37.- Diagrama de la Tapa Inferior de la cámara .....	84
Figura 38.- Tapa Inferior para simulacion-Tensiones.....	85
Figura 39.- Tapa Inferior para simulacion-Desplazamientos.....	85
Figura 40.- Tapa Inferior para simulacion-Deformaciones Unitarias .....	86
Figura 41.- Tapa Inferior para simulacion-Factor de Seguridad.....	86
Figura 42.- Diagrama de la U principal de la cámara .....	87
Figura 43.- U principal para simulacion-Tensiones.....	88
Figura 44.- U principal para simulacion-Desplazamientos.....	89
Figura 45.- U principal para simulacion-Deformaciones Unitarias .....	89
Figura 46.- U principal para simulacion-Factor de Seguridad.....	90
Figura 47.- Diagrama de la Tapa superior de la cámara .....	90

Figura 48.- Tapa Superior de la cámara para simulacion-Tensiones .....	92
Figura 49.- Tapa Superior de la cámara para simulacion-Desplazamientos .....	92
Figura 50.- Tapa Superior para simulacion-Deformaciones Unitarias .....	93
Figura 51.- Tapa Superior para simulacion-Factor de Seguridad .....	93
Figura 52.- Diagrama de la estructura de anclaje de la máquina .....	94
Figura 53.- Estructura de Anclaje para simulacion-Tensiones .....	95
Figura 54.- Estructura de Anclaje para simulacion-Desplazamientos .....	95
Figura 55.- Estructura de Anclaje para simulacion-Deformación Unitaria .....	96
Figura 56.- Estructura de Anclaje para simulacion-Factor de Seguridad .....	96
Figura 57.- Diagrama del ensamble del ventilador .....	97
Figura 58.- Malla de los Sólidos.- Ensamble Ventilador .....	98
Figura 59.- Ensamblaje del Ventilador – Tensiones .....	99
Figura 60.- Ensamblaje del Ventilador – Desplazamientos .....	99
Figura 61.- Ensamblaje del Ventilador – Deformaciones Unitarias .....	100
Figura 62.- Ensamblaje del Ventilador – Factor de Seguridad .....	100
Figura 63.- Curva (Tensión/Nº ciclos) para el tambor del motor.....	101
Figura 64.- Curva (Tensión/Nº ciclos) para el eje del motor .....	101
Figura 65.- Curva (Tensión/Nº ciclos) para la hélice del ventilador.....	102
Figura 66.- Ensamblaje del Ventilador – Daño por fatiga .....	103
Figura 67.- Ensamblaje del Ventilador – Vida del material.....	103
Figura 68.- Esquema del circuito hidráulico instalado.....	104
Figura 69.- Diagrama Explicativo de la localización de los componentes .....	106
Figura 70.- Diagrama de conexión Grifo - Manguera de Admisión .....	107
Figura 71.- Grafica de ayuda para seleccionar el tamaño de tuberías.....	108
Figura 72.- Manguera Estándar para lavadoras .....	108
Figura 73.- Propiedades del agua frente a varias temperaturas.....	109
Figura 74.- Válvula de entrada.- Localización y Apariencia .....	110
Figura 75.- Disyuntor de aire (aliviador de presiones) .....	111
Figura 76.- Brazo de Aspersión (cuerpo y partes) .....	113
Figura 77.- Diagrama hidráulico de la tubería del aspersor superior .....	116
Figura 78.- Diagrama de Moody para determinar el factor de fricción .....	118
Figura 79.- Coeficiente de resistencia (expansión gradual) .....	119
Figura 80.- Bomba de Lavado Implementación en Tubería .....	123
Figura 81.- Bomba de drenaje, apariencia real (3 vistas).....	125
Figura 82.- Termoactuador .....	126
Figura 83.- Mecanismo del dispensador .....	127
Figura 84.- Calentador de agua implementado .....	127
Figura 85.- Diagrama de elementos que intervienen en la convección forzada.....	128
Figura 86.- Correlaciones de conv. forzada, conducto circular, flujo externo .....	131
Figura 87.- Diagrama de fuerzas para dimensionar servomotor .....	134
Figura 88.- Diagrama del servomotor a ser implementado.....	136
Figura 89.- Alimentación conexiones y ciclo de trabajo del servomotor.....	137
Figura 90.- Conexiones de Potencia y Control del SSR .....	137
Figura 91.- Implementación del SSR en el prototipo de la máquina .....	138
Figura 92.- SSR implementado con pasta térmica y anclado a la estructura .....	139
Figura 93.- SSR con protección por sobre corriente y sobrecalentamiento .....	140
Figura 94.- Módulo de relés para la etapa de potencia .....	141
Figura 95.- Diagrama esquemático del circuito.- Módulo de relés .....	142
Figura 96.- Diagrama esquemático de la conexión para el calentador.....	142

Figura 97.- Catálogo CAMSCO de relés encapsulados electromagnéticos .....	143
Figura 98.- Relé encapsulado (3 vistas) e implementación.....	144
Figura 99.- Esquema de la fuente de energía en bloques funcionales.....	144
Figura 100.- Transformador de Vac etiquetado entradas/salidas.....	146
Figura 101.- Esquema de las 2 primeras etapas de la fuente .....	146
Figura 102.- Puente de diodos utilizado (1[A]) .....	147
Figura 103.- Diagrama de una fuente con regulador.....	148
Figura 104.- Reguladores y voltajes en la Fuente implementada .....	149
Figura 105.- Convertidor DC/DC LM2596 para Arduino .....	149
Figura 106.- Diagrama de la fuente: Diseño Definitivo.....	150
Figura 107.- Circuito detector de encendido (puerta y niquelina) .....	150
Figura 108.- Especificaciones técnicas del motor del ventilador (SE8888) .....	152
Figura 109.- Circuito dimmer con variación de 2 posiciones de velocidad.....	152
Figura 110.- Circuito para lectura de la señal: sensor de turbidez .....	153
Figura 111.- Circuito para lectura de la señal: termistor NTC.....	154
Figura 112.- Circuito accionamiento del Buzzer (alarmas) .....	154
Figura 113.- Características eléctricas: transistor 2N3904 .....	154
Figura 114.- Circuito para activar el ventilador del SSR.....	155
Figura 115.- Área transversal y diámetros para cables AWG.....	157
Figura 116.- Gráficas para diseño de circuitos Impresos.....	158
Figura 117.- Modelo Esquemático de circuitos de alimentación y control [ISIS] .....	159
Figura 118.- Modelo PCB de circuitos de alimentación y control [ARES].....	160
Figura 119.- Sistema de lazo cerrado (Control Calentador) .....	161
Figura 120.- Control del Calentador .....	161
Figura 121.- Control de la Niquelina .....	162
Figura 122.- Sistema de lazo cerrado (Control Niquelina) .....	162
Figura 123.- Temperaturas y tiempos para desinfección .....	163
Figura 124.- Presóstato (2 vistas y descripción de terminales).....	164
Figura 125.- Diagrama de instalación: Caudalímetro y Presóstato.....	165
Figura 126.- Sensor de Turbidez Implementado.....	166
Figura 127.- Sensor de Turbidez: Estructura Interna y PCB propia .....	166
Figura 128.- Panel de Mandos de la Lavadora-Termodesinfectadora Etiquetado .....	167
Figura 129.- Procedimiento para corte, doblez y soldadura por punto .....	172
Figura 130.- Procesos realizados en la cámara de lavado.....	173
Figura 131.- Proceso de elaboración para el cuadro soldado.....	173
Figura 132.- Proceso de limado de la caja interna de secado.....	174
Figura 133.- Persianas fabricadas .....	174
Figura 134.- Piezas impresas en 3D y ensamble de persianas .....	175
Figura 135.- Fabricación de enlace rígido y ensamble en la caja .....	176
Figura 136.- Proceso para acoplar el servo al mecanismo de persianas .....	176
Figura 137.- Placas soporte del servomotor y placas 'L' de la niquelina .....	177
Figura 138.- Proceso de elaboración de la caja exterior .....	177
Figura 139.- Fabricación de las rieles .....	178
Figura 140.- Ensamblajes de la caja interna de secado.....	178
Figura 141.- Placas protectoras de cables (contra agua) y montaje .....	178
Figura 142.- Ensamble y montaje de la cámara a la estructura.....	179
Figura 143.- Ensamble de los brazos de aspersion a las tuberías.....	179
Figura 144.- Proceso de corte por láser de la tapa superior .....	180
Figura 145.- Proceso de Impermeabilización de la caja superior .....	181

Figura 146.- Proceso de Modificación de los paneles laterales .....	181
Figura 147.- Resumen: fabricación del módulo de secado .....	182
Figura 148.- Pintura de las partes modificadas .....	182
Figura 149.- Montaje de elementos hidráulicos .....	183
Figura 150.- Conexiones eléctricas de los actuadores .....	183
Figura 151.- Partes del prototipo: Vista inferior .....	184
Figura 152.- Verificación y colocación de la PCB de la botonera .....	184
Figura 153.- Alargamiento de cable y recubrimiento con termoencogible .....	184
Figura 154.- Proceso de conexión de la etapa de potencia .....	185
Figura 155.- Verificación y reemplazo de partes de la 1ra. botonera .....	185
Figura 156.- Reparación y reemplazo de interruptores magnéticos.....	185
Figura 157.- Ensamble del dispensador e identificación de las partes.....	186
Figura 158.- Ensamblajes incluidos en la puerta .....	186
Figura 159.- Protecciones sobre corriente en las cargas de potencia.....	186
Figura 160.- Protecciones térmicas y conexiones de relés y niquelina.....	187
Figura 161.- Colocación de la pasta térmica en el relé de estado sólido.....	187
Figura 162.- Colocación de conectores molex y etiquetado de cables.....	187
Figura 163.- Proceso de fabricación de la PCB .....	188
Figura 164.- Perforación y soldadura de componentes en la PCB.....	188
Figura 165.- Comparación de las PCB: modelo 3D ARES vs real .....	189
Figura 166.- Implementación de ventiladores y de las PCB en la caja.....	189
Figura 167.- Mascarilla para el panel de mandos .....	190
Figura 168.- Apariencia final del prototipo .....	190
Figura 169.- Curvas Teóricas del Funcionamiento del Termistor (R-T) .....	191
Figura 170.- Curva Real del Termistor Implementado .....	191
Figura 171.- Flujo de Agua con la Válvula de Entrada accionada.....	192
Figura 172.- Acción del Aspersor Inferior con la Bomba encendida.....	193
Figura 173.- Prueba de Funcionamiento del Servomotor .....	193
Figura 174.- Modelos Planteados para la hermetización .....	194
Figura 175.- Curva Temperatura-Tiempo para el agua.....	196
Figura 176.- Curva Temperatura-Tiempo para el aire .....	196

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales Familias de Microcontroladores.....	20
Tabla 2 Modelos Arduino .....	21
Tabla 3 Características Tarjeta Arduino ATmega 2560 .....	22
Tabla 4 Valores de densidad de cada tipo de agua.....	30
Tabla 5 Necesidades consultadas con el usuario laboratorista.....	42
Tabla 6 Especificaciones concluyentes en base a necesidades del usuario.....	43
Tabla 7 Estudio comparativo de especificaciones en equipos similares existentes .....	44
Tabla 8 Especificaciones iniciales del prototipo.....	46
Tabla 9 Criterios para selección de material del cuerpo frontal.....	50
Tabla 10 Criterios detallados para el cuerpo frontal .....	50
Tabla 11 Conclusión (Material cuerpo frontal).....	51
Tabla 12 Criterios para selección de material de plataforma y placa.....	51
Tabla 13 Criterios detallados para plataforma y placa.....	51
Tabla 14 Conclusión (Material plataforma central y placa posterior) .....	52
Tabla 15 Criterios para selección de material de toda la cámara .....	53
Tabla 16 Criterios detallados para toda la cámara .....	53
Tabla 17 Conclusión (Material toda la cámara).....	53
Tabla 18 Criterios para material del brazo de aspersión superior .....	54
Tabla 19 Criterios detallados para brazo superior y acople .....	55
Tabla 20 Conclusión (Material brazo de aspersión superior y acople).....	55
Tabla 21 Criterios para material del brazo de aspersión inferior .....	55
Tabla 22 Criterios detallados para brazo de aspersión inferior.....	56
Tabla 23 Conclusión (Material brazo de aspersión inferior) .....	56
Tabla 24 Criterios para material del acople a tapa inferior.....	56
Tabla 25 Criterios detallados para acople a tapa inferior.....	57
Tabla 26 Conclusión (Material acople a tapa inferior) .....	57
Tabla 27 Criterios para material de las varillas para la estructura .....	58
Tabla 28 Criterios detallados para varillas para la estructura .....	58
Tabla 29 Conclusión (Material varillas para la estructura).....	59
Tabla 30 Criterios para material de las ruedas .....	59
Tabla 31 Criterios detallados para las ruedas.....	60
Tabla 32 Conclusión (Material de las ruedas) .....	60
Tabla 33 Criterios para material del filtro principal.....	61
Tabla 34 Criterios detallados para las ruedas.....	61
Tabla 35 Conclusión (Material del filtro principal) .....	62
Tabla 36 Criterios para material del filtro de partículas gruesas .....	62
Tabla 37 Criterios detallados para el filtro de partículas gruesas .....	62
Tabla 38 Conclusión (Material del filtro para partículas gruesas).....	63
Tabla 39 Criterios para material del filtro de partículas finas.....	63
Tabla 40 Criterios detallados para el filtro de partículas gruesas .....	63
Tabla 41 Conclusión (Material del filtro para partículas gruesas).....	64
Tabla 42 Criterios para material de la placa lateral.....	65
Tabla 43 Criterios detallados para la placa lateral .....	65
Tabla 44 Conclusión (Material de la placa lateral) .....	65
Tabla 45 Criterios para material de los pilares de anclaje .....	66
Tabla 46 Criterios detallados para los pilares de anclaje .....	67
Tabla 47 Conclusión (Material de los pilares de anclaje).....	67

Tabla 48	Criterios para material del mecanismo de pivote.....	67
Tabla 49	Criterios detallados para el mecanismo de pivote.....	68
Tabla 50	Conclusión (Material del mecanismo de pivote) .....	68
Tabla 51	Criterios para material de la placa interior.....	69
Tabla 52	Criterios detallados para la placa interior .....	69
Tabla 53	Conclusión (Material de la placa interior) .....	69
Tabla 54	Criterios para material de la placa exterior .....	70
Tabla 55	Criterios detallados para la placa exterior.....	70
Tabla 56	Conclusión (Material de la placa exterior).....	70
Tabla 57	Criterios para material de las rieles.....	71
Tabla 58	Criterios detallados para las rieles .....	71
Tabla 59	Conclusión (Material de las rieles) .....	72
Tabla 60	Criterios para material para el cuadro soldado y enlaces rígidos.....	73
Tabla 61	Criterios detallados para el cuadro soldado y enlaces rígidos.....	73
Tabla 62	Conclusión (Material para el cuadro soldado y enlaces rígidos) .....	73
Tabla 63	Criterios para material para soportes y acoples de persianas.....	74
Tabla 64	Criterios detallados para soportes y acoples de persianas.....	74
Tabla 65	Conclusión (Material para enlaces rígidos) .....	74
Tabla 66	Criterios para material para las persianas y pasadores.....	75
Tabla 67	Criterios detallados para las persianas y pasadores .....	75
Tabla 68	Conclusión (Material para las persianas y pasadores) .....	75
Tabla 69	Criterios para material para los soportes corredizos .....	76
Tabla 70	Criterios detallados para los soportes corredizos .....	76
Tabla 71	Conclusión (Material para placas los soportes corredizos).....	76
Tabla 72	Criterios para material para la tapa .....	77
Tabla 73	Criterios detallados para la tapa.....	77
Tabla 74	Conclusión (Material para la tapa).....	78
Tabla 75	Criterios para material para los soportes.....	78
Tabla 76	Criterios detallados para los soportes .....	78
Tabla 77	Conclusión (Material para los soportes) .....	79
Tabla 78	Materiales a utilizarse en el prototipo de la lavadora.....	79
Tabla 79	Datos técnicos de la Válvula de entrada .....	110
Tabla 80	Velocidades de flujo recomendables para sistemas de fluidos .....	113
Tabla 81	Coeficiente de resistencia: Contracción Súbita.....	120
Tabla 82	Singularidades para tuberías de la bomba de lavado .....	120
Tabla 83	Datos técnicos de la Bomba de lavado .....	123
Tabla 84	Singularidades para tuberías de la bomba de desagüe .....	124
Tabla 85	Datos técnicos de la Bomba de drenaje .....	125
Tabla 86	Datos técnicos del termoactuador .....	126
Tabla 87	Datos técnicos del Calentador de Agua .....	127
Tabla 88	Datos para el aire a presión atmosférica .....	130
Tabla 89	Masas e inercias de los componentes en la caja de secado.....	134
Tabla 90	Especificaciones técnicas del Servomotor Pro MG995 .....	136
Tabla 91	Datos técnicos del SSR.....	138
Tabla 92	Actuadores conectados al módulo de relés y sus especificaciones .....	140
Tabla 93	Especificaciones técnicas del módulo de relés .....	141
Tabla 94	Consumos de voltaje y de corriente de las cargas.....	145
Tabla 95	Especificaciones técnicas del convertidor DC/DC .....	149
Tabla 96	Descripción de las conexiones del circuito:.....	158

Tabla 97 Mediciones de resistencia del termistor:.....	165
Tabla 98 Especificaciones técnicas del sensor de turbidez:.....	166
Tabla 99 Descripción de los botones del panel de mandos:.....	167
Tabla 100 Componentes Funcionales de la lavadora reciclada: .....	170
Tabla 101 Condiciones Óptimas para los procesos por convección .....	195
Tabla 102 Costos Directos .....	197
Tabla 103 Costos de Mano de Obra.....	199
Tabla 104 Costos Indirectos.....	199
Tabla 105 COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO.....	199

## **RESUMEN**

El presente proyecto constituye el diseño y la construcción del prototipo de una lavadora-desinfectadora automática que tiene como finalidad realizar de manera eficiente el lavado, secado y desinfección de material vítreo utilizado en el laboratorio de inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE habla sobre conceptos básicos de limpieza y desinfección en instrumental utilizado en laboratorio conforme a los parámetros establecidos en la Norma UNE-EN-ISO 15883. Contenido en los 2 primeros capítulos se encuentre información generalizada de los conceptos necesarios que se debe conocer para comprender los procesos que la máquina va a llevar a cabo. En el capítulo 3 se aborda el diseño, selección y simulación de todos y cada uno de los componentes que intervendrán en el sistema mecatrónico implementado, todo el diseño se desarrolló a fin de satisfacer las necesidades del usuario pero sin dejar de lado las consideraciones de diseño robusto y amigable con el medio ambiente. La tercera parte (capítulo 4) comprende la construcción e instalación de los componentes mecánicos y electrónicos, así como también la explicación del sistema de control de temperatura implementado tanto para el agua (calentamiento para el lavado) como para el aire (secado y desinfección). En los últimos 2 capítulos se detalla el protocolo de pruebas a las que fue sometida la máquina para la formulación de conclusiones, recomendaciones y posibles mejoras futuras para aumentar la eficiencia de los procesos realizados por el prototipo.

### **PALABRAS CLAVES**

- PROTOTIPO
- AUTOMÁTICA
- LAVADO
- DESINFECCIÓN
- MATERIAL VÍTREO
- MÁQUINA

## **ABSTRACT**

This project is the design and construction of the prototype of an automatic washer-disinfector, which aims to perform efficiently washing, drying and disinfecting glass material used in the laboratory of immunology at the University of the Armed Forces - ESPE talks on basics of cleaning and disinfecting equipment used in laboratory according to the parameters established in the UNE-EN-ISO 15883. Content in the first two chapters generalized information necessary concepts that should be known to understand the processes it is found that the machine will perform. In chapter 3 the design, selection and simulation of every one of the components that will be involved in implementing mechatronic system is addressed, the entire design was developed to meet user needs but without neglecting the design considerations robust and environmentally friendly. The third part (Chapter 4) comprises the construction and installation of mechanical and electronic components as well as the explanation of the system of temperature control implemented for both water (heating for washing) as for air (drying and disinfection) . In the last 2 chapters protocol tests that the machine was subjected to formulate conclusions, recommendations and possible future improvements to increase the efficiency of the processes performed by the prototype is detailed.

### **KEYWORDS**

- PROTOTYPE
- AUTOMATIC
- WASHED
- DISINFECTION
- GLASSWARE
- MACHINE

**SIGLAS UTILIZADAS**

2da.	segunda
A/D	Análogo Digital
aprox.	Aproximadamente
Fig.	Figura
ej.	Ejemplo
LCD	liquid crystal display
ms	milisegundos
mW	milivatios
N/A	No aplica
PC	Computador u ordenador
s.f.	sin fecha
sust.	Sustancias
uW	microvatios

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo para la obtención del título de ingeniero mecatrónico es un proyecto de investigación que va a facilitar el lavado, secado y desinfección de instrumental de vidrio, para evitar que los estudiantes que realizan las prácticas en el laboratorio puedan reemplazar esta tarea tediosa e insegura por un proceso automático.

En esta nueva era se han descubierto y desarrollado distintos materiales, equipos y dispositivos tanto mecánicos como electrónicos que permiten al ser humano desarrollar e inventar máquinas para mejorar la eficiencia de procesos, trabajos y actividades, mejorando la calidad de vida de las personas.

El desarrollo tecnológico se ha catapultado a fin de satisfacer las necesidades que se le presentan al ser humano; la higiene y aseo tanto personal como de las cosas que utiliza es una de ellas, en la actualidad existen diversos tipos de máquinas que automatizan procesos, trabajos y actividades de ésta índole, sin ser la excepción en nuestro caso el aseo de instrumental de vidrio. Hoy en la actualidad es más común encontrar productos elaborados de alta calidad a precios reducidos.

El prototipo de ésta máquina se realizó pensando tanto en su diseño mecánico y electrónico como en la automatización e instrumentación para el proceso a desarrollar, basándose en lineamientos de diseño pertinentes para dicha aplicación. El equipo es muy funcional y necesario debido a que reduciría la interacción del personal y el tiempo empleado para el lavado, secado y desinfección, optimizando el proceso para reemplazar el trabajo manual que se lleva a cabo por laboratoristas y la simplificación de riesgos que conlleva el manipular dicho material con reactivos químicos para lavarlo a mano, sintetizando todo en una máquina que realice ciclos de lavado automáticos, además de procesos de desinfección y secado eficientes.

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el laboratorio de inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, no existe un dispositivo que facilite el manejo, limpieza e higiene del instrumental de vidrio utilizado en las prácticas de laboratorio. Por lo cual, se planteó

el diseño y construcción de un prototipo capaz de realizar labores de lavado, secado y desinfección, con diseño amigable con el ambiente, de fácil e intuitivo manejo y que cumpla con las normas de higiene y seguridad.

## 1.2. ANTECEDENTES

Desde la antigüedad el ser humano se ha visto en la necesidad de crear máquinas y dispositivos que le ayuden a realizar las tareas diarias para sustituir el trabajo de las personas. Como una de las más importantes invenciones se desarrollaron las lavadoras, dispositivos que ayudan con el aseo e higiene de los objetos de uso diario del ser humano, en éste ámbito se han desarrollado dependiendo de la aplicación distintos tipos de lavadoras, ya sea de ropa, automóviles, vajillas, material de laboratorio, material hospitalario, etc. Como breve reseña general, se tiene como registro que la primera patente de lavadoras de ropa tuvo lugar en Inglaterra en 1691 clasificándose como: Máquinas de lavar y escurrir, luego en Alemania se plantea un diseño (1767, Jacob Schäffer). Posteriormente en Inglaterra se desarrolló una máquina de lavar hecha de madera, con forma de tinaja impulsada por manivela (1782, Henry Siedger). En 1855 se implementó una máquina para lavar y secar ropa de hospitales en Crimea y en 1880 aparecen las primeras lavadoras que calientan agua. Direccionándonos al proyecto podemos citar la patente del primer lavavajillas completamente mecánico (1886, Josephine Cochrane) ampliando así el campo de acción de las lavadoras y enfocando la tarea del lavado a otros objetos (referirse a la Figura 1). Posterior vino la invención de un motor eléctrico compacto (1888, Nikola Tesla), lo cual marcó una nueva era en los aparatos en base a energía mecánica.



**Figura 1.- Máquina Lavavajillas de Josephine Cochrane (1886) (SIBYLA, 2013)**

Con esta invención, se creó la primera lavadora eléctrica en USA, acoplando un motor eléctrico que impulsaba un tambor (1901, Alva Fisher). En 1945, luego de la 2da. Guerra Mundial empieza comercialización de lavadoras en el mundo occidental. En 1960 se incorporó temporizadores y pocos años después, microprocesadores, dando lugar a dispositivos y aparatos más compactos, sofisticados y amigables con el usuario. (Dominguez, 2012)

La evolución estética y funcional de la lavadora, ha sido muy importante, sobre todo en los últimos años, con la aplicación de la microelectrónica. En el Ecuador se empezaron a comercializar lavadoras de ropa aproximadamente en la década de los 70's reemplazando la manera manual de lavar, en años posteriores con el avance tecnológico se abarataron costos y las máquinas evolucionaron, ampliando el campo de acción de las lavadoras.

Dada la necesidad en los laboratorios de trabajar con reactivos y por ende con envases por lo general de vidrio para sus experimentos, nació la necesidad de realizar el aseo de dicho material sin poner en riesgo la integridad de los laboratoristas ni desperdiciar tiempo y recursos en el lavado, por lo cual se crearon las máquinas de lavado para laboratorio que para el Ecuador se empezaron a comercializar aproximadamente entre los años del 2000 al 2005.

El departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura, específicamente el área de Biotecnología, planteó éste como tema de proyecto considerando que en él existen pocos equipos que realizan labores relacionadas a la limpieza de instrumental con la finalidad de que los reactivos peligrosos no entren en contacto con los practicantes al lavarlos, el desarrollo del prototipo representa una adquisición tecnológica de gran valor ya que en laboratorio no existe ninguna máquina específicamente de éstas características hasta el momento.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto de grado se desarrollará con el fin de satisfacer la necesidad básica del aseo de instrumental de vidrio, de manera que si no se lo implementa se podría poner en riesgo la integridad de los laboratoristas, además de atentar a la bioseguridad y en consecuencia provocar serios problemas en la salud de la comunidad universitaria.

Los beneficios del proyecto para la institución, específicamente para el área de Biotecnología, se centran en la facilidad de lavado y desinfección que proporciona la máquina debido a la existencia de un volumen considerable de material de vidrio utilizado en cada experiencia y aplicando normas internacionales de bioseguridad para lavadoras-termodesinfectadoras. Además de ahorrar tiempo, agua y recursos a los laboratoristas.

#### **1.4. ALCANCE DEL PROYECTO**

El trabajo consta en desarrollar el prototipo de una máquina lavadora de material vítreo partiendo de todos los lineamientos de diseño, para lo cual es preciso el dimensionamiento de todos los componentes: mecánicos (estructura interna, estructura externa, mecanismo de la puerta, mecanismo de persianas, anclajes, sujeción de los motores, etc.), eléctrico-electrónicos (tarjeta de control, circuitos de potencia, circuitos de control, PCB, actuadores, relés, circuitos de cada sensor, etc.), para de ésta manera conformar todos los componentes en un solo dispositivo mecatrónico capaz de automatizar la labor de lavado y desinfección de instrumental de vidrio.

La construcción del prototipo parte de un equipo de lavado antiguo, del cual fueron estudiados todos y cada uno de los elementos que lo conformaban para determinar la idoneidad de los mismos y poder reutilizarlos en el nuevo prototipo, posterior a lo cual se seleccionó e implementó correctamente los elementos diseñados (anclajes, motores, placas electrónicas, conexiones eléctricas, etc.), para finalizar con los procesos de hermetización y reajustes. Los entregables son el prototipo con su respectivo manual de usuario, los beneficiarios (practicantes del laboratorio de inmunología) podrán verificar la entrega de un producto de calidad que cumple las normas de bioseguridad según las cuales fue construido.

La máquina se caracteriza por ser automática y garantiza un alto grado de aseo en el material, cuenta con una etapa de secado por incremento de temperatura lo cual provoca la evaporación de los residuos de agua impregnados en el material. Está construida únicamente para el material de vidrio de laboratorio ya que el diseño se desarrolló conforme las medidas y geometrías de dicho material, tiene una capacidad

de 72,6 litros y puede lavar a la vez 10 tipos de probetas de vidrio entre tubos de ensayo, vasos de precipitación y pipetas.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. Objetivo General**

- Realizar el diseño y construcción del prototipo de una máquina lavadora automática de instrumental de vidrio, para el laboratorio de inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos.
- Desarrollar la programación de control del proceso de la máquina.
- Aplicar las normas técnicas en cuanto al diseño e implementación del prototipo en sitio tomando como punto de referencia las normas de bioseguridad que gobiernan a las máquinas lavadoras-termodesinfectadoras.

## **1.6. METODOLOGÍA**

La metodología debe enfocarse en la sinergia entre el sistema mecánico, eléctrico y de control para que trabajen a la par y de forma coordinada conformar un concepto mecatrónico final que garantice la realización de un producto de calidad; para el caso de éste proyecto se elegirá el método científico-experimental, tomando en consideración los siguientes parámetros:

- Hipótesis.- Formulando propuestas iniciales para generar los primeros conceptos más adecuados para la fabricación de la máquina de lavado de material de vidrio para el laboratorio de Inmunología.
- Comprobación de hipótesis.- Discernir todas las propuestas iniciales analizando todas y cada una de ellas, haciendo énfasis en las ventajas y desventajas que brinden, es indispensable la ayuda de software de diseño y cálculos ingenieriles, por tanto se define la etapa de diseño y simulación.

- **Diseño Final.**- Se obtendrá mediante toda la información recopilada, los conceptos para definir un diseño definitivo y la ejecución e implementación del mismo, en ésta fase de la metodología se realiza la manufactura, implementación y ensamble del concepto definitivo.
- **Análisis de resultados.**- Realización de las pruebas una vez implementada la máquina tanto pruebas iniciales como pruebas de la máquina en sitio (laboratorio de inmunología), en este tipo de máquina es muy importante la iteración, puesto que se repetirá las veces necesarias los procesos, hasta alcanzar los valores óptimos en tiempos y temperaturas, tanto para los ciclos de lavado como secado y desinfección, además de incluir una inspección constante de los controles de temperatura implementados.

## **1.7. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO**

Este proyecto consta de 6 capítulos completamente definidos. En el primer capítulo se detalla las generalidades del proyecto, introducción, objetivos que se requiere alcanzar, alcance al que va a llegar y el valor o importancia del mismo.

En segundo capítulo se estudiará el fundamento teórico de los sistemas que conforman el prototipo de la lavadora automática, las ventajas de automatizar este proceso, las principales variables que intervienen en el lavado y las normas de bioseguridad con las que debe ser fabricada la máquina.

El tercer capítulo aborda detalladamente el diseño, partiendo de las necesidades del usuario (laboratoristas) posterior a lo cual mediante directrices de diseño y con la ayuda de cálculos y simulaciones se determinará cada componente mecánico, actuador, sensor y demás componentes eléctricos y electrónicos para el sistema, además del control de variables y la programación.

En el cuarto capítulo se hace hincapié en la manufactura y construcción de los componentes de la máquina posterior a lo cual se detallará el montaje e instalación de los elementos definitivos que la conformarán.

En el quinto capítulo se detalla las pruebas realizadas con la lavadora-termodesinfectadora en todos sus procesos además del estudio de resultados lo cual permitirá concluir si las metas planteadas se cumplieron satisfactoriamente.

Finalmente el capítulo 6 queda específicamente apartado para la formulación de conclusiones y recomendaciones finales para el prototipo, además se sugerirá posibles mejoras.

Como anexos se incluirán los planos, diagramas y manuales necesarios para la construcción, montaje, instalación y mantenimiento del equipo.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 2.1 DESCRIPCIÓN

Desde hace tiempo el ser humano ha intentado automatizar procesos, actividades y trabajos tediosos o peligrosos para él. Las máquinas automáticas son una herramienta que soluciona esta necesidad en esta era tecnológica.

Debemos diferenciar entre máquinas automáticas y robots; una máquina automática es aquella que realiza un trabajo o actividad de manera controlable y que no necesita más de un operario para su funcionamiento y control, generalmente funcionan con requerimientos y especificaciones del usuario; el robot en cambio es una máquina con mayor grado de complejidad, que realiza no solo una sino varios trabajos o actividades, tienen mayor flexibilidad para realizar diferentes tareas según la industria y no obligatoriamente necesitan de un operario para su funcionamiento.

#### 2.2 AUTOMATIZACIÓN

Automatización viene del griego Automatos (Actuar por sí mismo). Antiguamente la mecanización era una versión de automatización. Expertos catalogaron a la automatización como poderosa y de gran impacto en la civilización y humanidad, sin embargo acarrea riesgos. La automatización envuelve máquinas, herramientas y dispositivos para realizar un conjunto de actividades de manera independiente (sin la intervención del ser humano).

*Elementos de la automatización: plataforma + autonomía + proceso + fuente de poder*

Autómata (automaton).- Máquina con fuente de poder propia; puede realizar complicadas series y decisiones sin intervención humana, en respuesta a programas y estímulos externos. AL-ZAJARI diseñó el 1er autómata (1206) como un juego de muñecos (hoy llamados ROBOTS).

Robot: Dispositivo mecánico capaz de realizar tareas de manipulación y locomoción bajo control automático, a diferencia del autómata puede realizar

operaciones específicas como: cirugía, servicio, soldadura, etc. General Motors (1961) implementó el primero en fábrica automotriz.

Cibernética: Es el acto de aplicar tecnología para imitar o replicar los sistemas biológicos de control.

Inteligencia artificial: Es parte fundamental de la Automatización y da la habilidad a la máquina para percibir anticipadamente nuevas condiciones y decidir qué acción aplicar. Trabaja sin intervención humana y puede combinar varias mentes de humanos para tener un mejor desempeño.

### **2.1.1. Automatización temprana:**

Ha sido desarrollada desde años antiguos para reducir esfuerzos y riesgos, y fueron aplicados en áreas como mecánica, fluidos, infraestructura, etc., por medio del uso de comunicaciones y la computadora.

Algunos investigadores definen a la automatización como el reemplazo de trabajadores por tecnología, pero no es así, ya que ellos son los encargados del mantenimiento y mejoras a futuro de la máquina.

### **2.1.2. Automatización moderna:**

Con el paso del tiempo la automatización es vista como la sustitución de diversas ramas de ingeniería, porque combina esfuerzos y decisiones humanas.

<p style="text-align: center;">AUTOMATIZACION = MECANIZACION + PROCESOS CONTINUOS + CONTROL AUTOMÁTICO + RACIONALIZACION ECONÓMICA, SOCIAL Y TECNOLÓGICA.</p>
---

Se busca realizar varias aplicaciones con diferentes niveles de complejidad desarrolladas por una sola máquina, incrementando la productividad. La realimentación permite regular procesos según el objetivo planteado y considerando ingenierilmente tecnologías para aspectos económicos y sociales, incluyendo factores humanos y desechos. La automatización es necesaria debido a la mejora de: facilidad, productividad, seguridad, calidad, economía y accesibilidad, tanto en procesos como en productos fabricados.

El ser humano no puede manejar ciertas actividades que se realizan en escalas muy pequeñas, tampoco procesar la información en capacidades grandes y rápidas, ni operar en ambientes no seguros. La automatización reduce los costos de trabajo, los tiempos intermedios en trabajos, ofrece accesos a personas discapacitadas, y en general mejoran la calidad de vida.

Dominios de la automatización: Hace uso de transferencias y ensamblajes en forma lineal adoptadas por las industrias, en las que constan varias estaciones de trabajo con el uso de robots bajo sistemas de control por PC para tener una buena comunicación y así desarrollar múltiples tareas para una producción masiva.

Generaciones de la automatización.- Antes del control automático se tiene procesos autónomos haciendo uso de una realimentación básica. Antes del control por PC hay mejor estabilidad, seguridad y toma de decisiones complejas por lo que es difícil tener una comunicación sin la PC. Con el control automático por PC hay un gran impacto en cuanto al control automático y su efectividad.

Casos de automatización: Son 10 casos los que muestran en el uso de la automatización los cuales van desde turbinas de vapor, bioreactores, ensamblajes automáticos hasta tratamiento de aguas y subestaciones de energía, etc. La automatización es creada por personas para personas ya que inspira el trabajo creativo, creando nuevas soluciones, reduciendo el tiempo, incrementando la productividad y eficiencia (24/7), reduciendo riesgos y simplificando la actividad y tareas del hombre. El nivel de automatización depende de la habilidad intelectual y creatividad del hombre que lo diseñe.

### **2.1.3. Etapas de la Automatización**

La división del trabajo (reducción de un proceso a sus fases independientes más pequeñas), se desarrolló en el siglo XVIII, y fue analizada por primera vez por Adam Smith (economista) en 1776. En la fabricación, la división de trabajo incrementó la productividad y redujo el nivel de especialización en los obreros. Como siguiente etapa de evolución a la automatización fue la mecanización. La simplificación (por división) de trabajo permitió el diseño y construcción de máquinas que reproducían los movimientos del trabajador. Con el avance de la tecnología de transferencia

energética, las máquinas especializadas se motorizaron, aumentando su eficacia productiva, además dio lugar al sistema fabril de producción, ya que tanto trabajadores como máquinas debían estar situados junto a la fuente de energía. La máquina de transferencia sirvió como un dispositivo para transportar piezas de una máquina herramienta hasta otra, colocándolas de manera adecuada para la siguiente operación de maquinado (FMS).

Realimentación.- Constituye un elemento importante en mecanismos de control automático, ya que dota a la máquina de la capacidad de autocorrección. Un ciclo de realimentación consiste en un dispositivo mecánico, neumático o electrónico que detecta una magnitud física (temperatura, velocidad, etc.) la compara, y ejecuta programas para mantener la medición en un rango aceptable. Mediante éste bucle, las máquinas se ponen en marcha, paran, aceleran o disminuyen velocidad, cuentan, inspeccionan, comprueban, comparan y miden, lo cual se aplica a gran variedad de operaciones.

#### **2.1.4. Uso en la Informática**

La invención del ordenador (PC) facilitó el uso de ciclos de realimentación en procesos de fabricación, y con esto el desarrollo de máquinas controladas numéricamente (controladas por papel perforado o cintas magnéticas) y centros de maquinado (máquinas herramientas con diferentes operaciones de maquinado).

La combinación de microprocesadores y computadoras catapultó la tecnología de diseño y fabricación asistidos por computadora (CAD/CAM). En los que el diseñador traza e indica las dimensiones de la pieza con la ayuda de un Mouse, un lápiz óptico u otro dispositivo, Una vez terminado el boceto, el ordenador genera las instrucciones al centro de maquinado para fabricar la pieza. Los sistemas flexibles de manufactura (FMS) llevaron la automatización a las empresas con volúmenes de producción bajos. Con una computadora se supervisa y dirige todo el funcionamiento de la fábrica, desde la programación de cada fase hasta el surgimiento de los niveles de inventario y utilización de herramientas.

## 2.3 MÁQUINAS AUTOMÁTICAS

Son máquinas que buscan la racionalización en los procesos y su automatización, y así poder brindar soluciones óptimas y profesionales a necesidades tanto en la industria como en el hogar. En su mayoría están compuestas de:

- Sistema mecánico
- Instrumentación electrónica
- Sistema de control
- Actuadores

### 2.3.1 Sistema Mecánico

Forma la parte física de la máquina, estructura en la cual se desarrolla el proceso o actividad. El sistema mecánico está constituido por componentes, dispositivos o elementos que transforman o transmiten el movimiento desde fuentes que lo generan, al transformar distintos tipos de energía. Se caracterizan por presentar elementos o piezas sólidas, con el objeto de realizar movimientos por acción o efecto de una fuerza o torque. En ocasiones, pueden asociarse con sistemas eléctricos y producir movimiento a partir de motores eléctricos.

En los sistemas mecánicos se utilizan distintos elementos relacionados para transmitir un movimiento. Estos pueden ser:

- *Activos*.- Desarrollan alguna actividad o son piezas móviles en la máquina.
- *Pasivos*.- Aquellos que se encuentran estáticos.

Mecanismos simples: Se emplean para compensar una fuerza resistente o levantar un peso en las condiciones más favorables. Es decir, realizar un mismo trabajo con una fuerza aplicada menor. La máquina se diseña para conseguir que las fuerzas aplicadas sean las deseadas, en consonancia con la fuerza resistente a compensar o el peso de la carga. Como ejemplo tenemos: Polea simple; Palanca; Polipasto; Torno.

Sistemas de transmisión: Son encargados de transmitir movimientos de giro entre ejes alejados. Están formados por un árbol motor (conductor), un árbol resistente (conducido) y otros elementos intermedios, que dependen del mecanismo particular.

Una manivela o un motor realizan el movimiento necesario para provocar la rotación del mecanismo.

Las diferentes piezas del mecanismo transmiten este movimiento al árbol resistente, solidario a los elementos que realizan el trabajo útil. El mecanismo se diseña para que las velocidades de giro y los momentos de torsión implicados sean los deseados, de acuerdo con una relación de transmisión determinada. Por ejemplo tenemos: Tornillo sin fin, Engranaje cónico, Engranaje recto, Articulación universal, Cadenas, Enlaces rígidos, etc.

Sistema de transformación: Son los que convierten movimientos rectilíneos (lineales) en movimientos de rotación (giro), y viceversa. Con un diseño adecuado de los elementos del sistema, se pueden conseguir las velocidades lineales o de giro deseadas. Como por ejemplo tenemos: Biela – Manivela; Tornillo – Tuerca; Leva; Piñón – Cremallera; Acople entre ruedas.

### 2.3.2 Instrumentación Electrónica

A fin de automatizar un proceso, la instrumentación juega un papel importante para un correcto funcionamiento del sistema. La instrumentación se encarga del manejo y control de actuadores o elementos electrónicos y eléctricos; sirven además para la medición y procesamiento de variables físicas y químicas, para realizar un monitoreo del proceso. Se aplica en el sensado y procesamiento de la información proveniente de variables físicas y químicas, a partir de las cuales realiza el monitoreo y control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas. Se dividen en:

#### 2.3.2.1 Sensores

Tomar una variable física o química y la transforman en señal electrónica para su procesamiento, se distinguen dos clases:

- Pasivos: necesitan energía externa para su funcionamiento, entre ellos podemos encontrar resistivos, capacitivos e inductivos.
  - *Resistivos*: son los que transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de su resistencia eléctrica. Un ejemplo puede ser un termistor, que sirve para medir temperaturas.

- *Capacitivos*: son los que transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la capacidad de un condensador.
- *Inductivos*: son los que transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la inductancia de una bobina. Un ejemplo puede ser una bobina con el núcleo móvil.
- Activos: no necesitan de energía externa, entre ellos tenemos fotorresistencias, fotodiodos, sensor de efecto Hall, entre otros.

### 2.3.2.2 Acondicionadores

La señal de salida de un sensor no basta para ser procesada, se requiere de una amplificación para adaptar sus niveles a los del resto de la circuitería. Un ejemplo es el amplificador de instrumentación, que es inmune a cierto tipo de ruido.

No sólo hay que adaptar niveles, también puede que la salida del sensor no sea lineal o incluso que ésta dependa de las condiciones de funcionamiento (temperatura ambiental o tensión de alimentación) por lo que es necesario linealizar el sensor y compensar sus variaciones. La compensación puede ser por hardware o software.

Un ejemplo clásico de acondicionador es el puente de Wheatstone, en el que se sustituyen una o varias impedancias del puente por sensores. A continuación típicamente se coloca un amplificador.

Entre el acondicionador y el siguiente paso en el proceso de la señal puede haber una cierta distancia o un alto nivel de ruido, por lo que una señal de tensión puede verse afectada. En este caso se debe adecuar la señal para su transporte, por ejemplo transmitiendo por un protocolo de comunicación adecuada (por ejemplo: 4-20mA).

### 2.3.2.3 Digitalización

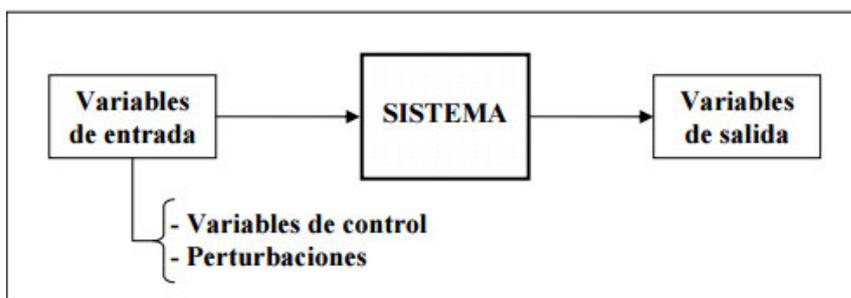
Para procesar una señal de forma eficaz hay que convertir la señal en digital. La instrumentación también estudia la conversión analógica-digital, así como la conversión digital-analógica. Por otra parte también pueden usarse técnicas de multiplexación de señales en el caso que haya más de una.

La digitalización o conversión A/D, consiste en tomar periódicamente medidas de la amplitud de una señal; por ejemplo, la que proviene de un micrófono.

En el “muestreo” y la “retención”, la señal aún es analógica, puesto que aún puede tomar cualquier valor. No obstante, a partir de la “cuantificación”, cuando la señal ya toma valores finitos, la señal ya es digital. Los cuatro procesos tienen lugar en un conversor A/D.

### 2.3.3 Sistemas de Control

Un sistema dinámico es un ente que recibe acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones son las denominadas variables de salida. Las acciones externas al sistema se dividen en dos grupos, variables de control, que se pueden manipular, y perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control. Un sistema típico se ilustra en la Figura 2:



**Figura 2.- Esquema general de un sistema (Catalunya, 2016)**

Un sistema de control se caracteriza por la presencia de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. Tiene como objetivo conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados.

Un sistema de control ideal cumple los siguientes requisitos:

1. Garantiza estabilidad y es robusto frente a perturbaciones y errores.
2. Es eficiente, según el control de variables, sin desempeños bruscos.
3. Es implementable y cómodo de operar en tiempo real con un ordenador.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- Sensores.- Permiten conocer los valores de las variables medidas.
- Controlador.- Utilizando valores determinados por los sensores y el valor de referencia, calcula la acción para modificar las variables de control.

- Actuador.- Mecanismo que se acciona para modificar las variables de control en el proceso.

El diagrama de un sistema de control típico se ilustra en la Figura 3:

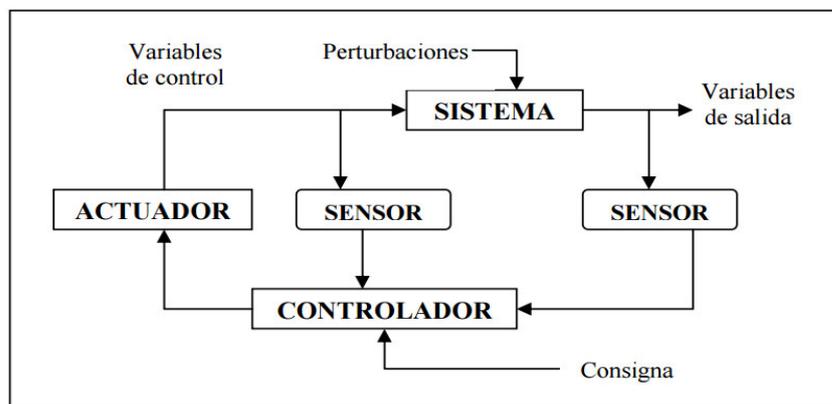


Figura 3.- Esquema general de un sistema de control (Catalunya, 2016)

Existen dos clases de sistemas de control:

- Sistema de lazo abierto: La acción de control se calcula conociendo la dinámica del sistema, el valor de referencia y estimando perturbaciones. El lazo abierto puede compensar los retrasos inherentes del sistema anticipándose a las necesidades del usuario. Sin embargo, el lazo abierto generalmente es insuficiente, debido a los errores del modelo y a los errores en la estimación de las perturbaciones. Por ello, es común la asociación de lazo cerrado-lazo abierto, para compensar los errores.
- Sistema de lazo cerrado: La acción de control se calcula en función del error medido entre la variable controlada y el valor de referencia. Las perturbaciones, son consideradas indirectamente sobre las variables de salida. El lazo cerrado puede aplicarse a cualquier variable controlada. La mayoría de sistemas de control que se desarrollan en la actualidad son en lazo cerrado.

#### 2.3.4 Actuadores

Es todo dispositivo capaz de transformar energía, sea hidráulica, neumática o eléctrica a fin de activar una acción dentro de un proceso automatizado. Comandado por un controlador en función del cual se da la orden para accionar el elemento final de control (ej.: válvula). Los principales actuadores son:

- Actuadores Hidráulicos.- Trabajan en base de fluidos puestos a una presión y existen tres grandes grupos:
  - *Cilindro hidráulico:* Por su función se clasifican en 2 tipos: de simple efecto (emplea fuerza hidráulica para empujar y una fuerza externa para contraer) o doble efecto (utiliza la fuerza hidráulica para empujar y contraer, el dispositivo que permite su accionar es un solenoide (funciona a manera de un relé pero con un muelle para retornar a su estado natural).
  - *Motor hidráulico:* El movimiento rotatorio es generado mediante la presión, se clasifican en dos grupos: de tipo rotatorio (los engranajes se accionan por aceite a presión) y de tipo oscilante (se mueve por oscilación de un pistón y tiene una mayor eficiencia).
  - *Motor oscilante con pistón axial:* Absorbe determinado volumen de fluido a presión y lo devuelve al circuito al instante que se precise.
  
- Actuadores Neumáticos: Son mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico. Existe mayor compresión que en los hidráulicos (ej.: diafragmas, fuelles, músculos artificiales). Algunos tipos:
  - Cilindro de simple efecto, doble efecto, con engranaje y de émbolo.
  - Motor neumático con veleta y Multiveleta.
  - Motor rotatorio con pistón.
  
- Actuadores Electrónicos: Son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en robots. (servomotores AC son actuadores del futuro por su precisión y rápido mantenimiento).

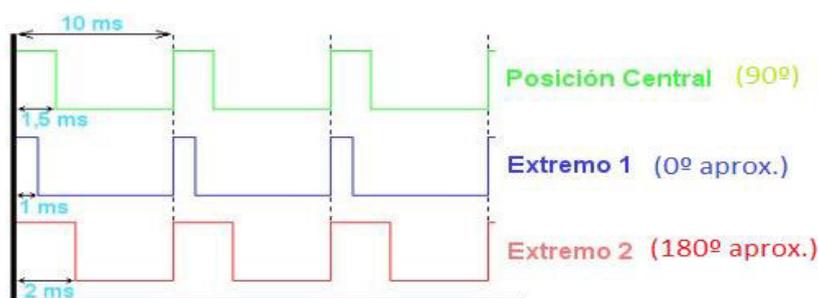
**Servomotor:** Dispositivo de dimensiones compactas que consta de un eje de rendimiento controlado, el mismo que puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada, de manera que mientras exista señal en la línea de entrada, se mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia la posición angular también, se utilizan para posicionar superficies de control como movimiento de palancas, pequeños ascensores, timones, mecanismos y en robots (radio control). Los Servos son útiles en robótica debido a sus

dimensiones pequeñas, su circuito de control interno que brinda buenas prestaciones en torque y potencia, y bajo consumo eléctrico. Consta de: circuito de control, motor, juego de piñones y caja. De los 3 cables, uno es alimentación Vcc (5V), conexión a tierra GND y control. Las partes y montaje de los elementos del servomotor se ilustra en la Figura 4:



**Figura 4.- Partes y Desensamblado de un Servomotor**

Funcionamiento.- El motor interior del servo tiene: circuitos de control y un potenciómetro conectado al eje central del servo motor, éste permite supervisar el ángulo actual del motor, así si el eje está en el ángulo incorrecto, rota hasta conseguir el requerido y luego se apaga. El rango normal de rotación es  $180^\circ$ . El voltaje aplicado al motor es proporcional a la distancia que requiera recorrer (control proporcional). El factor limitante del servo es el valor final del potenciómetro y los límites mecánicos. Si el servo zumba, significa que está siendo forzado. El ángulo determinado por la duración del pulso aplicado al cable de control (PCM Modulación codificada de Pulsos). El servo espera un pulso cada 20 ms. La longitud del pulso determinará los giros de motor. La Figura 5 describe la generación de un tren de pulsos de un servomotor:



**Figura 5.- Tren de pulsos para control de un servomotor (González, 2003)**

- Actuadores Eléctricos: Su estructura es más simple que los hidráulicos o neumáticos, y utiliza solamente energía eléctrica como fuente de poder, además son versátiles ya que la transmisión de señales se los realiza por cable.

Comprenden una amplia gama de modelos y se utilizan fácilmente con motores eléctricos dependiendo la aplicación (ej.: pistón eléctrico mediante válvula eléctrica). En la era moderna se ha innovado en la robótica con la invención alambres musculares para realizar movimientos silenciosos.

- Actuadores Piezoeléctrico: Son dispositivos que a partir de un fenómeno piezoeléctrico producen movimiento con posicionamiento de precisión mediante la aplicación de un campo eléctrico al material. Existen varios tipos, como: tipo pila; tipo “Flexure” y combinados (Posicionamiento de alto rango).

## 2.4 MICROCONTROLADORES ( $\mu$ C o MCU)

Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las instrucciones grabadas en su memoria; compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior 3 unidades funcionales: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida. Algunos microcontroladores pueden utilizar palabras de cuatro bits y funcionan a velocidad de reloj (desde 4 kHz), tienen consumo de baja potencia (mW o  $\mu$ W). En general, está a la espera de un evento (pulso) o una interrupción; de manera que el consumo energético durante el reposo es de (nW).

Un microcontrolador recién fabricado no contiene datos en memoria ROM. Para permitir el control de algún proceso se genera o crea y luego se graba en la EEPROM o equivalente algún programa, el cual puede ser escrito en lenguaje ensamblador u otro lenguaje; pero para que el programa sea grabado en la memoria del  $\mu$ C, debe ser codificado en hexadecimal, y así funcionar alimentado con el voltaje adecuado y asociado a dispositivos analógicos y discretos para su funcionamiento.

Las familias de las principales marcas de microcontroladores se detallan en la Tabla 1:

**Tabla 1.**  
**Principales Familias de Microcontroladores (Wikipedia, 2016)**

EMPRESA	8 BITS	16 BITS	32 BITS
Atmel	AVR (mega y tiny) 89Sxxxx familia similar 8051		SAM7 (ARM7TDMI) SAM3 (ARM Cortex-M3) SAM9 (ARM926) AVR32
Intel	MCS-48(familia 8048) MCS51(familia 8051) 8xC251	MCS96, MXS296	
Microchip	Familia 10f2xx Familia 12Cxx Familia 12Fxx, 16Cxx y 16Fxx 18Cxx y 18Fxx	PIC24F, PIC24H y dsPIC30FXX, dsPIC33F con motor dsp integrado	PIC32
Renesas (antes Hitachi, Mitsubishi)	78K H8	H8S 78K0R R8C R32C/M32C/M16C	RX V850 SuperH SH-Mobile H8SX
STMicroelectronics	ST 62 ST 7		STM32 (ARM7)
Texas Instruments	TMS370	MSP430	C2000, Cortex-M3 (ARM), TMS570 (ARM)

## 2.5 ARDUINO

“Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.” (Arduino, 2015)

El hardware es una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. El software es un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque es ejecutado en la placa.

Desde 2012, Arduino se utiliza también con microcontroladoras CortexM3 de ARM de 32 bits. ARM y AVR no son plataformas compatibles, pero se pueden programar con el mismo IDE de Arduino y programar sin cambios de plataforma.

Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a software tal como Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data. Las placas se pueden montar a mano o adquirirse. El entorno de desarrollo integrado es libre (gratis).

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus entradas analógicas y digitales, puede controlar luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador.

También cuenta con su propio software que se puede descargar de su página oficial (<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>) que ya incluye los drivers de todas las tarjetas disponibles lo que hace más fácil la carga de códigos desde el computador. Algunos modelos de Arduino se detallan en la Tabla 2:

**Tabla 2.**  
**Modelos Arduino**

PLACAS		ESCUDOS (SHIELDS):	KITS:
Arduino Uno	<b>Arduino Mega 2560</b>	Arduino GSM Shield	The Arduino Starter Kit
Arduino Leonardo	Arduino Robot	Arduino Ethernet Shield	Arduino Materia 101
Arduino Due	Arduino Mini	Arduino WiFi Shield	Accesorios:
Arduino Yún	Arduino Nano	Arduino Wireless SD Shield	TFT LCD Screen
Arduino Tre (En Desarrollo)	LilyPad Arduino Simple	Arduino USB Host Shield	USB/Serial Light Adapter
Arduino Zero (En Desarrollo)	LilyPad Arduino SimpleSnap	Arduino Motor Shield	Arduino ISP
Arduino Micro	LilyPad Arduino	Arduino Wireless Proto Shield	Mini USB/Serial Adapter
Arduino Esplora	LilyPad Arduino USB	Arduino Proto Shield	
Arduino Mega ADK	Arduino Pro Mini		
Arduino Ethernet	Arduino Pro		

### 2.5.1 Lenguaje de programación

La plataforma Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el lenguaje de programación de alto nivel Processing similar a C++.

### 2.5.2 Arduino MEGA 2560

Es una placa electrónica basada en el ATMEGA 2560 (referirse a la Figura 6). Cuenta con:

- 54 pines digitales de entrada/salida (15 pueden ser usados como PWM).
- 16 entradas analógicas.
- 4 UARTS (puertos serie de Hardware).
- Un oscilador de cristal de 16 MHz.
- Conexión USB y conector de alimentación.
- Un header ICSP y un botón de reinicio.



**Figura 6.- Tarjeta del controlador Arduino MEGA 2560 (Arduino, Arduino MEGA 2560, 2016)**

**Tabla 3  
Características Tarjeta Arduino ATmega 2560**

Descripción	Valor
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada	7 – 12 V (recomendado) o 6 – 20 V (limites)
Corriente DC para pines E/S	40 mA
Corriente DC para pin 3.3 V	50 mA
Flash Memory	256 KB (8 KB para el gestor de arranque)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

### Comunicación:

El Arduino Mega2560 tiene una serie de instalaciones para la comunicación con un ordenador, otro Arduino, u otros microcontroladores. El Atmega2560 ofrece cuatro UART hardware para TTL (5V) de comunicación serie. El software de Arduino incluye un monitor serial que permite a los datos ser enviados hacia y desde el PC. Los LEDs RX y TX de la placa parpadean cuando se están transmitiendo datos vía USB desde el ordenador a la tarjeta.

### Programación:

Puede ser programado por el software de Arduino. Los Atmega2560 en el Arduino Mega viene precargado con un gestor de arranque que le permite cargar nuevo código a él sin el uso de un programador de hardware externo. Se comunica mediante el protocolo STK500 original. También puede pasar por alto el gestor de arranque y programar el microcontrolador a través de la cabecera ICSP usando Arduino ISP o similares.

### Características Físicas y Escudo de Compatibilidad:

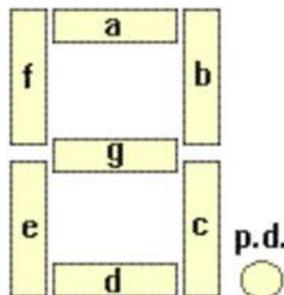
La longitud máxima y la anchura de la placa PCB Mega 2560 son 4 y 2.1 pulgadas, respectivamente, con el conector USB y el cable de poder se extiende más allá de la dimensión anterior. El Mega 2560 está diseñado para ser compatible con la mayoría de los escudos diseñados para el Uno, Diecimila o Duemilanove. Pines digitales 0 a 13 (y la AREF adyacente y pines GND), entradas analógicas de 0 a 5, el cabezal de alimentación y cabecera ICSP están en lugares equivalentes.

## **2.6 INTERFAZ DE VISUALIZACIÓN**

### **2.6.1 Display (visualizador) de 7 segmentos**

Este componente es utilizado para representar números o caracteres en gran parte de dispositivos electrónicos. Y aunque ahora la tendencia sea utilizar LCD's (por su bajo consumo), aún existen muchos que utilizan por simplicidad el display de 7 segmentos. Este elemento se ensambla de manera que se pueda activar cada segmento (diodo LED) por separado para lograr combinar elementos y representar todos los números en el display (del 0 al 9). El tipo de estos display más común es el de color, por

su fácil visualización. A cada elemento del display tiene se le asigna una letra que identifica su posición en el arreglo del display. (Referirse a la Figura 7).

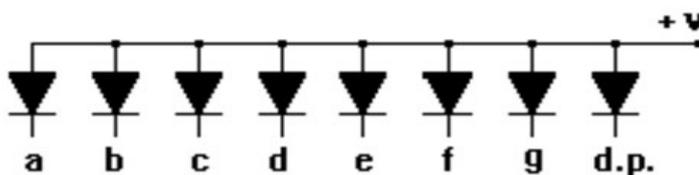


**Figura 7.- Identificación Simbólica en un display 7 segmentos (UNICROM, 2016)**

- Se activan los segmentos: “a/b/c/d/e/f/g” para el número “8”
- Se activan los segmentos: “a/b/c/d/e/f,” para el número “0”
- Se activan los segmentos: “a/b/d/e/g” para el número “2”
- Se activan los segmentos: “a/b/c/d/g” para el número “3”
- Se activan los segmentos: “a/b/c/d/f/g” para el número “9”
- p.d. representa el punto decimal.

### 2.6.1.1 El display ánodo común

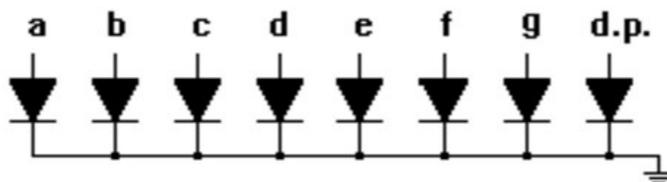
En él todos los ánodos de los diodos LED están unidos y conectados a la fuente de alimentación, es decir para activar cualquier elemento es preciso colocar a tierra el cátodo del elemento mediante una resistencia para limitar la corriente de funcionamiento. (Referirse a la Figura 8).



**Figura 8.- Representación display 7 segmentos ánodo común (UNICROM, 2016)**

### 2.6.1.2 El display cátodo común

En él todos los cátodos de los diodos LED están unidos y conectados a tierra, es decir para activar cualquier elemento es preciso colocar Vcc (tensión de la fuente) mediante una resistencia para limitar la corriente (referirse a la Figura 9).



**Figura 9.- Representación display 7 segmentos ánodo común**

### **2.6.2 Control de los display**

El control de los display (para el caso de éste proyecto se utilizará el display de cátodo común) se lo realizará a través de un microcontrolador Arduino MEGA. Además el operador podrá seleccionar el proceso (enjuague, lavado rápido, lavado exterior, lavado intensivo, secado) dependiendo de las necesidades del caso. Esto lo podrá realizar a través panel de control o botonera colocada en la parte superior de la cara frontal de la lavadora automatizada, pudiendo escoger así programas de lavado manuales (como los mencionados anteriormente) o automáticos (lavado completo automático y desinfección).

## **2.7 HIGIENE Y ASEO EN LABORATORIO**

### **2.7.1 Conceptos relacionados a la limpieza y desinfección**

- a) Esterilización: Proceso que destruye toda forma de vida microbiana. Un objeto estéril (microbiológicamente) está libre de microorganismos vivos.
- b) Desinfección: Es la destrucción, inactivación o remoción de aquellos microorganismos que pueden causar infección u ocasionar otros efectos indeseables; la desinfección no implica necesariamente esterilización.
- c) Desinfectante: Agente usualmente químico, que mata las formas en crecimiento de los microorganismos, pero no necesariamente las esporas. El término se refiere a sustancias utilizadas sobre objetos inanimados.
- d) Antiséptico: Sustancia que impide el crecimiento o la acción de los microorganismos, ya sea destruyéndolos o inhibiendo su crecimiento y actividad. Se aplica sobre superficies corporales.

- e) Sanitarizante: Agente que reduce la población microbiana a niveles seguros, según los requerimientos de salud pública. Se aplica en objetos inanimados de uso diario, por ejemplo utensilios y equipos para manipular alimentos, vasos, platos y otros objetos de uso similar.
- f) Germicida: Agente que mata a los microorganismos, pero no necesariamente a sus esporas.
- g) Bactericida: Agente que mata a las bacterias.
- h) Bacteriostático: Agente que inhibe el crecimiento de las bacterias, mientras permanece en contacto con ellas.
- i) Fungicida: Agente que mata los hongos.
- j) Virucida: Agente que destruye los virus.

### **2.7.2 Normas que rigen la limpieza y desinfección**

Para la elaboración y correcto dimensionamiento de partes del equipo de lavado y termodesinfección, es pertinente regirse a una norma establecida por organismos internacionales para equipos de esta índole, la normativa aplicable es: **NORMATIVA LAVADORAS DESINFECTADORAS UNE-EN-ISO 15883**, la cual tiene diferentes incisos, los cuales en forma general se describirán a continuación:

- UNE-EN-ISO 15883-1: Lavadoras desinfectadoras. Requisitos generales, definiciones y pruebas.
- EN-ISO 15883-2: Lavadoras desinfectadoras. Requisitos y pruebas para lavadoras desinfectadoras que emplean desinfección térmica para instrumentos quirúrgicos, equipos de anestesia, instrumentos canulados, utensilios, material de vidrio, etc. Esta parte afectaría expresamente a las lavadoras termodesinfectadoras de hospital.
- EN-ISO 15883-3: Lavadoras desinfectadoras. Requisitos y tests para lavadoras desinfectadoras que empleen desinfección térmica para contenedores de residuos humanos, afectando a los tradicionales lavacañas.
- EN-ISO 15883-4: Lavadoras desinfectadoras. Requisitos y tests para lavadoras desinfectadoras que empleen desinfección química para endoscopios termosensibles.

### **2.7.3 Limpieza de material de laboratorio**

Antes de realizar cualquier trabajo en el laboratorio es necesario mantener siempre limpio el material y la mesa de trabajo. El material debe estar limpio y seco antes de empezar cualquier experimento.

La limpieza del material se debe realizar inmediatamente después de cada operación ya que es mucho más fácil y además se conoce la naturaleza de los residuos que contiene.

Para limpiar un objeto, en primer lugar se quitan los residuos sólidos (si los hubiera en un recipiente adecuado) con una espátula o varilla y después se limpia. El agua con jabón es uno de los mejores métodos de limpieza. En ciertas experiencias se utilizan ácidos, bases o disolventes orgánicos para eliminar todos los residuos difíciles. La última operación de lavado consiste en enjuagar todo el material con agua destilada. El material limpio se seca en un soporte adecuado inclinado o vertical, colocando el material boca abajo, o bien se utiliza un dispositivo de secado apropiado, todo esto siguiendo las normas pertinentes.

#### **2.7.4 Seguridad al trabajar con material de laboratorio**

Debido a las características del trabajo que se realiza en el laboratorio se pueden provocar accidentes de diversa índole, como incendios, explosiones, intoxicaciones y quemaduras. Debe disponerse, por tanto, de elementos de actuación adecuados para que estos efectos puedan ser controlados. Aquí algunas precauciones y normas:

##### Precauciones

- Identificar los riesgos en el área de trabajo y determinar si se requiere de cierto tipo de equipo de protección.
- Elegir el equipo de seguridad con base a la información dada por el proveedor, ya que el equipo seleccionado debe proporcionar un grado de protección mayor que el requerido.

##### Normas Personales

- Durante la estancia en el laboratorio el alumno debe llevar obligatoriamente gafas de seguridad y bata. Los lentes de contacto pueden resultar peligrosos. Los guantes deberán utilizarse durante la manipulación de productos cáusticos.
- El pelo largo se lo debe llevar recogido.

- No se dejar en el laboratorio mochilas, abrigos, bolsos.
- Prohibido fumar o consumir alimentos o bebidas en el laboratorio.
- No se debe llevar a la boca ningún producto químico, para conocer su sabor, ni tampoco tocarlos con las manos.
- Hay que lavarse las manos y quitarse la bata antes de salir del laboratorio.

#### Normas para la utilización de productos químicos

- Evitar el contacto de productos químicos con la piel. No pipetear con la boca, se debe utilizar embudos para trasvasar líquidos y pipetas.
- Si accidentalmente se vierte un ácido u otro producto químico corrosivo se debe consultar al profesor.
- Para detectar el olor de una sustancia, no se debe colocar la cara directamente sobre el recipiente: utilizando la mano abierta como pantalla, es posible hacer llegar una pequeña cantidad de vapor hasta la nariz. Los frascos deben cerrarse inmediatamente después de su uso.
- En la preparación de disoluciones debe agitarse de modo suave y controlado para evitar salpicaduras.
- Los ácidos requieren un cuidado especial. Manipularlos con precaución y en la vitrina. Cuando queramos diluirlos, nunca echaremos agua sobre ellos; siempre al contrario es decir, ácido sobre agua.
- Antes de utilizar cualquier producto, es necesario fijarse en los diagramas de seguridad de la etiqueta, para tomar las medidas preventivas oportunas.
- Cuando se caliente una sustancia en un tubo de ensayo, el extremo abierto del tubo no debe dirigirse a ninguna persona cercana a fin de evitar accidentes. Extremar las precauciones en el encendido de los mecheros, manteniendo la llama encendida sólo durante el tiempo necesario.
- En principio, si no se tiene otra información fiable, se debe suponer que todos los productos químicos son tóxicos, y que todos los disolventes orgánicos son inflamables debiendo mantenerlos alejados de las llamas.

#### Normas para la utilización de instrumentación

- Cuando se determinan masas de productos químicos con balanza se utilizará un recipiente adecuado.
- Mantener limpio y seco el lugar dónde se encuentre cualquier instrumento con contactos eléctricos. Leer instrucciones de uso.
- Debe revisarse el material de vidrio para comprobar posibles fisuras, especialmente antes de su uso a vacío o presión.
- En los montajes de reflujo y destilación hay que añadir el germen de ebullición (plato poroso) en frío, las juntas esmeriladas deben estar bien ajustadas. No abandonar nunca el puesto de trabajo mientras se esté llevando a cabo alguna reacción, destilación o medida.

#### Normas de trabajo

- No llenar los tubos de ensayo más de 2 o 3 cm.
- Utilizar siempre gradillas y soportes.
- No llevar material de vidrio ni productos en los bolsillos de la bata.
- No trabajar separado de la mesa de laboratorio.
- No inhalar nunca un producto químico.
- Manipular los productos químicos que puedan desprender vapores tóxicos o corrosivos en la vitrina de gases.
- No calentar líquidos en recipientes totalmente cerrados. Si el líquido es inflamable evitar el uso de llamas.
- Asegurar el enfriamiento del material que se ha calentado antes de sujetarlo con la mano.
- Asegurarse de la desconexión de aparatos, agua y gases al finalizar.
- Al finalizar una tarea, recoger materiales, reactivos y equipos.
- Antes de salir del laboratorio lavarse las manos con jabón y agua.

#### **2.7.5 Riesgos al trabajar con material de laboratorio**

- Físicos: temperatura extrema, objetos en movimiento, material punzocortante o abrasivo, ruido y radiaciones.
- Biológicos: material microbiológico, fluidos biológicos o restos de animales.

- Químicos: Manejo de productos químicos peligrosos como ácidos, bases, productos inflamables, explosivos, tóxicos, entre otros.

Se ha estimado que casi el 20% de todos los accidentes incapacitantes suceden en las manos. Sin dedos o manos, la habilidad para trabajar se reduce. Daños por contacto: causados con sustancias corrosivas, tóxicas, materiales biológicos, fuentes de electricidad, objetos calientes o fríos. Las sustancias tóxicas pueden ser absorbidas por la piel y entrar a la sangre.

### **2.7.6 Lavado del material vítreo**

El lavado del material es la última etapa de su limpieza pero la esencial para poder utilizar de nuevo cada uno de los instrumentos en las prácticas o investigaciones que se realicen en el laboratorio. En el lavado se debe tener consideraciones importantes para optimizar las tareas; estos aspectos son la dureza del agua y el detergente o detergentes a usar para el lavado.

## **2.8 EL AGUA**

Sustancia formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno ( $H_2O$ ), esencial para la supervivencia de todas las formas de vida. Cuando se dice 'agua' se refiere por lo general a su estado líquido, aunque existe en forma sólida (hielo) y su forma gaseosa (vapor). El agua cubre el 71 % de la superficie terrestre.

### **2.8.1 Dureza del agua**

El agua tiene la propiedad de disolver en cierto grado todas las sustancias que están en contacto con ella. La dureza del agua es una propiedad química del agua, que se determina por el porcentaje de minerales presentes en ella, lo cual puede impedir la formación de espuma con el jabón. La dureza del agua afecta a la salubridad, cuando la dureza aumenta, el agua pierde efectividad desinfectante.

**Tabla 4.**  
**Valores de densidad de cada tipo de agua**

Tipos de agua	Densidad (mg/l)	Tipos de agua	Densidad (mg/l)
Agua blanda	$\leq 17$	Agua dura	$\leq 180$
Agua levemente dura	$\leq 60$	Agua muy dura	$> 180$
Agua moderadamente dura	$\leq 120$		

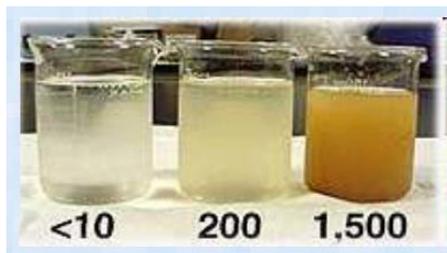
Existe la dureza temporal y permanente. La dureza temporal está formada por los bicarbonatos de Ca y Mg. La dureza permanente es atribuida a la presencia de sulfatos, cloruros y nitratos de Ca y Mg. La dureza total de las aguas naturales varía aproximadamente entre 10 y 1800 ppm de  $\text{CaCO}_3$ .

Existe un modo para eliminar la dureza y se lo llama ablandamiento o suavizado de aguas se lo realiza mediante un descalcificador. Puede llevarse a cabo utilizando carbonato de sodio (o de potasio) y cal, esto causa la precipitación del Ca como carbonato y del Mg como hidróxido.

Para determinar la dureza del agua se utilizan reactivos. Es necesario saber si el agua es dura, ya que la dureza provoca depósitos o incrustaciones de carbonatos en conductos de lavadoras, calentadores, y calderas. La calidad del agua también debe considerarse al seleccionar agentes limpiadores o desinfectantes, puesto que algunos sólo pueden ser usados con agua blanda. Es recomendable que cada hospital o laboratorio solicite un estudio del tipo de agua de su servidor local, para mayor duración de sus equipos e instrumental.

### 2.8.2 Turbidez del agua

La turbidez es una medida del grado de transparencia del agua, varía dependiendo de la cantidad de partículas en suspensión; mide la claridad del agua. Se define también como una medida de cuántos sólidos (arena, arcilla y otros materiales) hay en suspensión en el agua, mientras más sucia parezca el agua será mayor su grado de turbidez, representa una manera de medir la calidad del agua. La turbidez puede impactar ecosistemas acuáticos, afectando la fotosíntesis (Paso de la luz solar), la respiración y reproducción de la vida acuática. La transparencia del agua se ilustra en la Figura 10:



**Figura 10.- Transparencias de agua en función de la turbidez [medida en NTU] (González C. , 2011)**

Algunos parámetros definen la turbidez del agua son: Fitoplancton (plantas microscópicas); Partículas de suelo (tierra) suspendidas en el agua; Sedimentos depositados en el fondo; Descargas directas a cuerpos de agua (desagües); Crecimiento de las algas; Escorrentía urbana.

Un efecto de la turbidez es que las partículas suspendidas absorben calor de la luz solar, aumentando la temperatura en aguas turbias, y reduciendo el oxígeno en el agua. Además las partículas suspendidas permiten adhesión de metales pesados y compuestos tóxicos. Es necesario eliminar la turbidez para desinfectar el agua para consumo humano, esto añade costos de tratamiento de agua superficial.

La turbidez se mide en NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez. A través de un instrumento llamado nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90° (según norma EN 27027) cuando un rayo de luz pasa a través de agua. Según la Organización Mundial para la Salud (OMS), la turbidez del agua para consumo humano no debe ser más de 5 NTU (ideal <1 NTU).

## 2.9 MATERIAL VÍTREO

Se caracteriza por ser inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo, puede encontrarse en la naturaleza o puede ser producido por el ser humano. El vidrio común es utilizado para fabricar ventanas, lentes, botellas y una gran variedad de productos.

El vidrio es un material artificial que se obtiene a unos 1500 °C a partir de mezclas entre: arena de sílice (SiO<sub>2</sub>), carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y caliza (CaCO<sub>3</sub>) con un posterior enfriamiento. Desde el punto de vista industrial se puede lograr su fabricación por diversos métodos de moldeo, el vidrio tiene múltiples usos en la vida ordinaria, construcción, industria, tecnología, investigación, etc.

Sus principales propiedades son la transparencia e impermeabilidad ante líquidos y gases, así como su capacidad de ser inalterables por la mayoría de los ácidos. Además, dependiendo de la humedad, es un excelente aislante eléctrico a la vez que buen conductor del calor. Pero tiene como desventaja su alta fragilidad ante impactos.

El vidrio común contiene aproximadamente el 70-72% en peso de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). La materia prima principal es la arena (o arena de cuarzo) que contiene casi el 100% de sílice cristalina en forma de cuarzo.

### **2.9.1 Sílice Vítrea (material para vidrio de laboratorio)**

Al calentar lentamente el cuarzo, y una vez que llega a su punto de fusión a  $1723\text{ }^\circ\text{C}$  se obtiene un líquido incoloro y viscoso que al enfriarse con relativa rapidez, se convierte en una sustancia denominada vidrio de cuarzo. Éste presenta propiedades de gran utilidad y aplicación en múltiples disciplinas como: investigación científica, tecnológica, en la vida doméstica y en la industria. Las principales características son:

- Alta resistencia a ataques químicos (solo susceptible al ácido fluorhídrico), es utilizada como material de laboratorio.
- Densidad a temperatura ambiente relativamente alta ( $2,2\text{ g/cm}^3$ ); coeficiente de dilatación lineal muy bajo (a temperaturas  $< 1000\text{ }^\circ\text{C}$ ) es de  $5,1 \cdot 10^{-7}\text{ K}^{-1}$ , es decir permite calentarlo al rojo vivo y sumergir bruscamente en agua, sin que se fracture.

### **2.9.2 Choque térmico en material vítreo**

El agrietamiento o rotura se asocia a los cambios bruscos de temperatura, especialmente en materiales frágiles como vidrios y cerámicas, por ejemplo un enfriamiento provoca que las partes exteriores del material reduzcan su temperatura más rápidamente que las interiores y en consecuencia de la contracción térmica (en condiciones de baja conductividad térmica), la superficie tiende a contraerse más de lo que lo hace el núcleo, lo cual restringe la libre contracción superficial, dando lugar a tensiones mecánicas que provocan roturas o desconchados superficiales encontrados habitualmente en materiales frágiles. El choque térmico se debe a:

- a) restricciones a la dilatación o contracción
- b) gradientes de temperatura en el material

- c) cambios bruscos de fase (sólo en casos específicos)
- d) baja ductilidad en el material

La resistencia al choque térmico se puede medir experimentalmente por diversos procedimientos. Uno de ellos es la determinación del máximo salto de temperatura que puede soportar una pieza sin fracturarse al sumergirla en agua a temperatura ambiente. En los vidrios, en cambio, se determina por el número de sucesivos ciclos térmicos, inmersión en agua desde una temperatura dada calentamiento, que es capaz de aguantar sin fracturarse.

En el caso de materiales refractarios para servicio a alta temperatura (>1000°C) puede determinarse un índice analítico de resistencia al choque térmico 'Ir' que permite comparar materiales con fiabilidad, y cuyo valor depende tanto de características mecánicas como de las propiedades térmicas del material:

$$I_r = k \cdot R / \alpha E C_e \quad (2.1)$$

Dónde: k (conductividad térmica); R (carga de rotura);  $\alpha$  (coeficiente de dilatación); E (módulo de Young) y  $C_e$  (calor específico).

Para entender de mejor manera las propiedades del vidrio es preciso referirse a la Figura 11:

Vidrios	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Otros	Observaciones
Sílice (fundida)	99.5+							Difícil de fundir y de fabricar, pero útil hasta T de 1000°C. Muy ↓expansión y ↑ resist. al choque T
Sílice 96%	96,3	<0.2	<0.2		2.9	0.4		Fabricado a partir de vidrios relativamente suaves de borosilicato; se calienta para separar las fases de SiO <sub>2</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> lixiviación ácida de la fase B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> se calienta para consolidar los poros
Sodo-cálcicos: láminas vidrio 90% producción	71-73	12-14		10-12		0.5-1.5	MgO 1-4	Fácil fabricación. Múltiples usos, para ventanas, contenedores y bombillas eléctricas
Silicatos de Pb: electricos	63	7.6	6	0.3	0.2	0.6	PbO 21 Mg 0.2	Fácil. Fundir y con buenas prop. eléctricas. El ↑% Pb absorbe los RX, el alto índice de refracción es útil en lentes aromáticas. Vidrio para cristal decorativo
Alto contenido Pb	35		7.2				PbO 58	
Borosilicato expansión PIREX	80.5	3.8	0.4		12.9	2.2		↓ expansión, ↑ Rest.choque T y estabilidad química. Utilizado Ind Química

Figura 11.- Ciertos tipos de vidrio, composición y características (Callister, 1998)

### 2.9.3 Temperatura de Transición Vítrea (T<sub>g</sub>)

Es la temperatura a la que se da una transición termodinámica en materiales vítreos, presente en vidrios, polímeros y otros materiales inorgánicos amorfos, es decir que termodinámicamente no es propiamente una transición. La T<sub>g</sub> puede entenderse de forma simple comprendiendo que en esa temperatura el polímero deja de ser rígido

y comienza a ablandarse. En otras palabras si  $T < T_g$ , el material es considerado vidrio, y si  $T > T_g$  se considera un líquido subenfriado.

#### 2.9.4 Utilidades del vidrio

El vidrio como tal tiene una gran variedad de aplicaciones, orientándonos al proyecto uno de sus principales usos se los da en material de laboratorio, gran parte de equipos de laboratorios químicos y farmacéuticos (tubos de ensayo, vasos de precipitado, pipetas, matraces, condensadores, placas para microscopías) están elaborados en vidrio. Como variante en algunos casos se utilizan vidrios especiales, preparados para soportar elevadas temperaturas o determinadas agresiones químicas. Un ejemplo es el matraz Erlenmeyer (Figura 12).

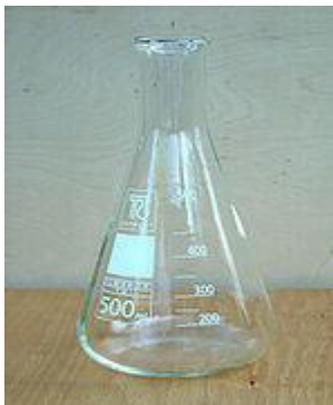


Figura 12.- Matraz Erlenmeyer (ZTF-FCT, 2014)

## 2.10 LAVADO DE MATERIAL SANITARIO

La condición para la desinfección y la esterilización de material sanitario es la limpieza del instrumental, además de la elección de materiales, productos y procedimientos de limpieza a utilizarse.

### 2.10.1 Limpieza

- Elimina materia orgánica y elimina nutrientes que favorecen el crecimiento bacteriano (hasta un 90 % de microorganismos).
- Reduce la carga microbiana y facilita el contacto con el desinfectante y el agente esterilizante y protege el material contra la corrosión



**Figura 13.- Factores que intervienen en la limpieza (Alonso, s.f.)**

La limpieza se lleva a cabo mediante agua a la que se le añaden jabones o detergentes:

### 2.10.2 Detergentes y Jabones

Jabón.- “Sustancia sólida, en polvo o líquida, que se mezcla con agua para limpiar la piel o la ropa y que resulta de la combinación de un álcali con los ácidos del aceite u otro cuerpo graso”. (Lengua, 2007)

Detergentes.- Dado que los jabones limitan la limpieza se desarrollaron los detergentes, los cuales tienen ciertas ventajas, son eficientes en aguas duras y son solubles en grasas y en agua. Existen de varios tipos:

- *Tensoactivos o surfactantes*.- Son sustancias que disminuyen la tensión superficial de un líquido o acción interfacial entre líquidos (superficie de contacto entre líquidos insolubles), aumentan el poder humectante.
- *Detergentes Neutros (pH 7)*.- No manchan el instrumental ni producen corrosión además pueden actuar en temperaturas bajas (40-60°C) pero tienen problemas con la formación de espuma o por la dureza del agua, además son inestables en muchas formulaciones ácidas.
- *Detergentes Ácidos*.- Limpieza rápida y efectiva, sin manchas y con mejoramiento de apariencia y adherencia de superficies. Sin embargo deben tomarse ciertas consideraciones, como: no exceder la dosis recomendada ni dejar sin neutralizar por mucho tiempo, para no deteriorar las superficies. Además puede corroer las superficies metálicas o de acero.

- *Detergentes Alcalinos y Neutros.*- Los alcalinos tienen un pH de 8 o más, además son corrosivos como cualquier ácido. Los neutros tienen un pH entre (7-7,9) y son poco corrosivos con la piel y con otros materiales (no se debe mezclar ácidos y álcalis, ya que las mezclas son muy violentas y tóxicas).
- *Detergentes Enzimáticos.*- Se utilizan para material contaminado con proteínas (sangre, pus, grasa, restos orgánicos, etc.), y aunque no tienen actividad desinfectante, actúan en menos tiempo y funcionan con pH 7. (Proteasa.- Eliminación de sangre y proteínas; Lipasa.- Degradación de aceites y grasas; Amilasa.- Degradación de azúcares).

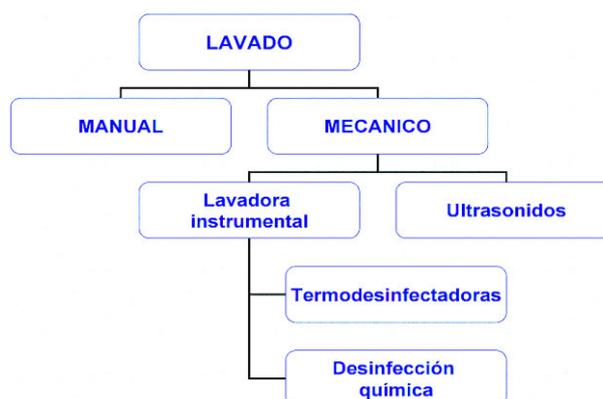
Para el desarrollo de éste proyecto, se trabajará con detergente NEUTRO y en líquido ya que se disuelve mejor que el sólido o en polvo. Se recomienda diluir la concentración del detergente dependiendo de los datos del fabricante para evitar daños en el instrumental. La cantidad de detergente que se coloque en el depósito para el lavado, también influirá en la cantidad de espuma y eficiencia de lavado.

### **2.10.3 Limpieza por lavado**

Limpieza Manual.- El procedimiento es: aclarado; inmersión en detergente líquido o enzimático; adición de desinfectante (Clorado [Corrosivo], Aldehído [Fija la materia], Amonio-Cuaternario); aclarado; secado y lubricado.

Limpieza Mecánica por Ultrasonidos.- El procedimiento es: Detergente específico (ultrasonidos); aplicación de detergente enzimático ( $T < 60^{\circ}\text{C}$ ) no aldehído ni espumante; Retirar solución una vez al día o cada vez que se requiera (dependiendo la turbidez) y aplicación final de agua destilada.

Algunos tipos de lavados se detallan en la Figura 14:



**Figura 14.- Mapa Conceptual: Tipos de Lavado de Instrumental (Alonso, s.f.)**

Limpieza en Lavadora-Termodesinfectadora.- Es necesario la utilización de varios productos:

- Inhibidores de corrosión (Fosfatos).- Dañan el medioambiente.
- Neutralizantes.- Luego del usar detergentes alcalinos, eliminan restos.
- Lubricantes.- Aceites de Parafina o mineras solubles en agua, evitan la corrosión.
- Abrillantadores.- Son surfactantes y favorecen el secado.
- Agua desmineralizada.- Evita el depósito de sales y minerales.

Limpieza en lavado por desinfección química.- Debe considerarse:

- La corrosión selectiva, la cual se debe a: altas concentraciones de sal (Cloruros); soluciones de Cloruro de Sodio; halógenos y sus iones (Yodo y Bromo); residuos orgánicos secos y contacto de instrumentos metálicos no inoxidable (Fresas, brocas, agujas, etc.).
- Aplicar limpieza inmediata luego de su uso, y en caso de un tratamiento húmedo sumergir el material en una solución (detergente+ desinfectante) para proteger al personal (nunca sumergir en soluciones con Cloruro de Sodio porque causa corrosión y óxido).
- Limpiar inmediatamente los restos con: nitrato de plata; preparados de Yodo y soluciones de mercurio y realizar una inmersión en agua desmineralizada siguiendo instrucciones del fabricante.
- Respecto a instrumentos nuevos es preciso lavarlos antes de ponerlos en uso, y desechar aquel material oxidado, gastado o con picaduras.
- La esterilización o desinfección no sustituyen a la limpieza.

## 2.11 EQUIPOS SIMILARES EXISTENTES

### 2.11.1 Lavadora marca REOTERM GW6090:

SMEG modelo grande con unas dimensiones de cámara 67x65x83.5 cm, y hasta tres niveles para el lavado, equipado con dos bombas dosificadoras peristálticas (opcionalmente hasta 5) y espacio para los tanques de detergente. Este modelo cuenta con 20 programas de lavado configurados, con la posibilidad de ampliar hasta 50 programas de lavado con 10 etapas configurables (referirse a la Figura 15).



**Figura 15.- Fotografía Lavadora de laboratorio REOTERM GW6090 (EXPOLABOR, s.f.)**

### 2.11.2 Lavadora desinfectadora marca MATACHANA LAB 600

- 1 puerta, 1 bomba de lavado.
- Dimensiones externas: 600x685x1685 (ancho-profundidad-altura).
- Dimensiones de cámara: 540 x 585 x 630 mm (200 l. útiles).
- Fabricación completa en acero inoxidable.
- Cámara, brazos de lavado y filtros en AISI 316.
- 20 programas estándar de laboratorios + 20 programas adicionales.
- 2 niveles de lavado/secado (superior ajustable entre 2 posiciones).
- 2 bombas para productos químicos con sensor de nivel.
- 3 conexiones de agua (fría, caliente y desmineralizada).
- Puerta manual abatible con visor de vidrio templado y alta resistencia.

- Condensador de vapor y descalcificador integrado.
- Secado por aire caliente con filtro.
- Entrada para sondas de validación.
- Sistema de registro independiente.
- Tensión trifásica 400 V/50 Hz.

(Referirse a la Figura 16).



**Figura 16.- Fotografía Lavadora de laboratorio MATACHANA LAB600 (MATACHANA, 2008)**

### **2.11.3 Lavadora termodesinfectadora marca MATACHANA LAB 680**

- 1 puerta manual, 2 bombas de lavado
- Dimensiones externas: 1140x915x1880 (ancho-profundidad-altura).
- Dimensiones de cámara: 810 x 710 x 1050 mm (600 l. útiles).
- Fabricación completa en acero inoxidable.
- Cámara, brazos de lavado y filtros en acero inoxidable AISI 316.
- Puerta manual abatible con visor de vidrio templado y alta resistencia.
- Pantalla LCD.
- 20 programas estándar de laboratorio + 20 programas adicionales.
- Secado por aire caliente con filtro HEPA.
- 4 niveles de lavado/secado (superiores ajustables hasta de 5 posiciones posibles).
- 3 conexiones de agua (fría, caliente y desmineralizada).
- Doble bomba de lavado.
- 2 bombas para productos químicos con sensor de nivel.
- Entrada para sondas de validación.

(Referirse a la Figura 17).



**Figura 17.- Fotografía Lavadora de laboratorio MACHANA LAB680  
(MACHANA, 2008)**

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO MECATRÓNICO

#### 3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES PARA LA MÁQUINA

Para determinar las necesidades del cliente se ha formulado la Tabla 5:

**Tabla 5.**  
**Necesidades consultadas con el usuario laboratorista**

Requerimientos de la máquina en base al lavado manual	
Cantidad aproximada de probetas a lavar: – 40 – <u>20</u> – 8	Tipos de recipientes de vidrio: – Solo pipetas – <u>Frascos, pipetas, vasos de precipitación, tubos de ensayo</u> – Frascos y tubos de ensayo
Frecuencia de lavado manual: – 30 recipientes/día – <u>8 recipientes/día</u> – 1 recipiente/día	Costo aproximado: – 3000 \$ – <u>1500 \$</u> – 600 \$
Frecuencia de lavado esperado por la máquina: – 40 recipientes/día – <u>30 recipientes/día</u> – 10 recipiente/día	Energía empleada: – Gasolina – <u>Electricidad</u> – Vapor
Tiempo de lavado manual empleado: – 10 recipientes/hora – <u>5 recipientes/hora</u> – 1 recipiente/hora	Tiempo de secado manual: – 10 recipientes/hora – <u>5 recipientes/hora</u> – 1 recipiente/hora
Tiempo de lavado esperado por la máquina: – 50 recipientes/hora – <u>20 recipientes/hora</u> – 5 recipiente/hora	Tiempo esperado de secado con máquina: – 50 recipientes/hora – <u>20 recipientes/hora</u> – 5 recipiente/hora

#### 3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

Después de analizadas las necesidades de los usuarios de la máquina de lavado para material de laboratorio se puede sintetizar los parámetros en base a los cuales apuntará

el diseño de la máquina, en la siguiente matriz (Tabla 6) que se procederá a corregir para representar dichas necesidades en términos que ayuden en el desarrollo de los conceptos iniciales de la máquina.

Para determinar el nivel de prioridad de cada necesidad se plantea la Tabla 6:

**Tabla 6.**  
**Especificaciones concluyentes en base a necesidades del usuario.**

Nº	Prioridad	Directriz	Frase	Correcto	Unidades
1	7	Dimensio- namiento	Tiene que ser pequeña y tener buenas funciones	Dimensiones compactas, funcional	[mm]
2	9	Energía	Debe funcionar a luz	Energía eléctrica	[V]/[A]
3	1	Funciona- miento	Debo saber cómo manejarla	Funcionamiento simplificado	[Nº Botones]
4	8	Manteni- miento	Debo poder desarmarla para limpiar	Fácil montaje / desmontaje	[Nº Piezas]
5	2	Costo	Debo poder pagarla	Económica	[\$]
6	6	Contami- nación Acústica	No debe hacer mucho ruido	Silenciosa	[dB]
7	5	Eficiencia	Que sea rápida	Proceso más eficiente	[min]
8	3	Capacidad	Debo poder lavar mucho	Alta capacidad de producción	[lt]/[piezas*t anda]
9	4	Operación	No debe romper el cristal ni causar daños a los laboratoristas	Segura, inofensiva con el usuario	[norma de seguridad]

La comparación en las características del prototipo a desarrollarse con algunas máquinas ya existentes en el mercado se puede resumir en la Tabla 7:

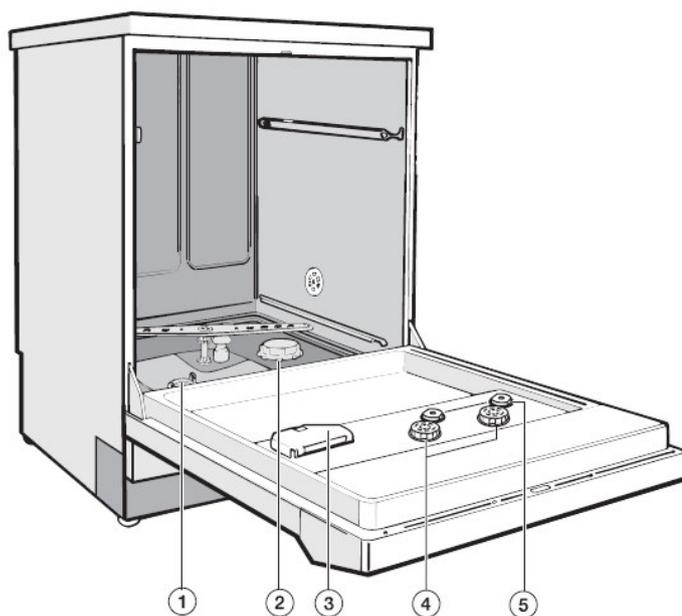
**Tabla 7.**  
**Estudio comparativo de especificaciones en equipos similares existentes**

# Métrica	Número de necesidad	Métrica	Impuestas	Unidades	LAVADORAS REOTERM		LAVADORAS MATACHANA				
					GW4090	GW6090	LAB 500 (C/D)	LAB 600	LAB 610	LAB 680	LAB 1000
1	3	Masa Total (Máx. 50 kg)	60	Kg	110	160	110	120	130	-	-
2	7	Capacidad (Aprox. 100 lt)	90	Lt	146	363	151	200	250	600	518
3	9	Voltaje-Frecuencia (110 V / 60 Hz)	115/60	V/Hz	230/50	230/50	400/50	400/50	400/50	400/50	400/50
4	9	Potencia (Máx. 2 HP)	1.8	HP	9	10	-	-	-	-	-
5	1	Número de Botones (Máx. 10 Unidades)	8	Unidades	11	13	7	7	7	7	Touch Panel (1 Botón)
6	1	Intuitiva	SI	Subj.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

<b>7</b>	5	Tiempo de limpieza (Máx. 60 min)	30	Min	50	60	50	50	50	40	40
<b>8</b>	8	Tiempo de mantenimiento técnico (Máx. 3 horas)	1.5	Horas	2	2.5	2	2	2.5	2.5	2.5
<b>9</b>	2	Precio (Máx. 1500 Dólares)	1200	\$	9852	12220					
<b>10</b>	2	Precio mantenimiento técnico (Máx. 40 Dólares)	30	\$	60	70	50	50	60	60	60
<b>11</b>	6	Ruido moderado (Máx. 50 dB)	48	dB	-	-	-	-	-	-	-
<b>12</b>	5	Tasa de producción (Mín. 15 piezas/hora)	20	Probeta/hora	20	30	20	25	30	35	35

**Tabla 8.**  
**Especificaciones iniciales del prototipo**

ESPECIFICACIONES	DIMENSIÓN
Tensión de Alimentación	110 [V]
Frecuencia de Operación	60 [Hz]
Potencia Nominal	1700 [W]
Corriente Nominal	15,5 [A]
Presión del agua (mínima/máxima)	(40-1000) [KPa]
Capacidad	(12-15) piezas/lavado
Peso	65 [Kg] aprox.
Dimensiones internas de la cámara (altura*ancho*profundidad)	(615*380*455) [mm] 106,3 [lt] (72,6 [lt] volumen efectivo)
Dimensiones totales de la máquina (altura*ancho*profundidad)	(850*450*580) [mm]



**Figura 18.- Propuesta inicial de distribución interna del prototipo**

- 1.- Conjunto de Filtros
- 2.- Orificio de Desagüe
- 3.- Dispensador de detergente
- 4.- Reservorio de abrillantador (agente de enjuague)
- 5.- Indicadores de nivel

### 3.3 DISEÑO MECÁNICO

#### 3.3.1 Planteamiento de conceptos iniciales para el prototipo

Partiendo de las ideas iniciales, las necesidades esperadas y los recursos disponibles, se realizará la formulación de 2 conceptos generales para la máquina con la ayuda del software CAD Solidworks:

##### 3.3.1.1 Diseño # 1.- Características y Bosquejo:

- Prototipo modular, hermeticidad media (Figura 19).
- Estructura 100% en acero Inoxidable (coste elevado).
- Cámara de lavado (parte inferior) con un solo brazo de aspersión, permite solamente programas de lavado comunes, ciclos manuales.
- Tiene poca capacidad de lavado (hasta 8 recipientes) y requiere extraer la canastilla luego del lavado para proceder con el secado (lo cual puede producir derrames de agua en el exterior).
- Material no reciclado ni reutilizado (manufactura completa).
- Dimensiones compactas, panel de mando lateral.
- Cámara de secado (caja superior).- Transferencia de calor por convección mediante niquelina, no permite desinfección.
- Alta factibilidad de Mantenimiento y mediana vida útil.
- Sus consideraciones abordan una pequeña parte de la norma UNE-EN-ISO 15883 para lavadoras termodesinfectadoras de laboratorio.

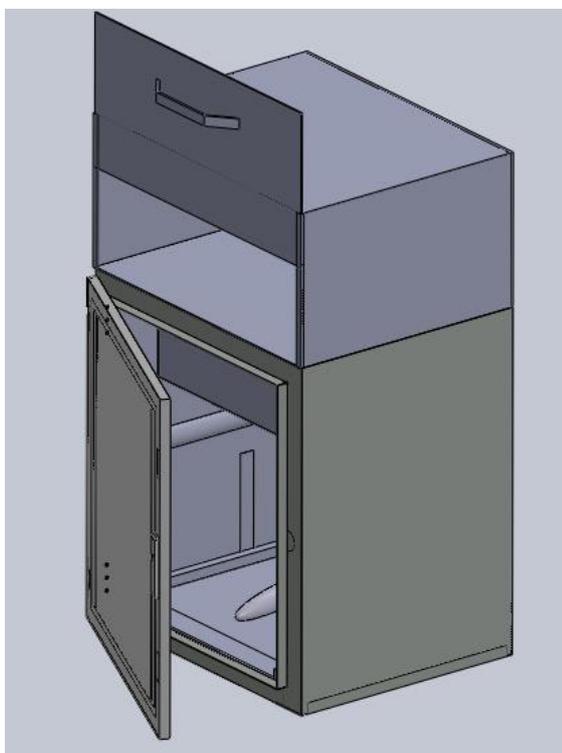


Figura 19.- Concepto 1 del prototipo para máquina lavadora

### 3.3.1.2 Diseño # 2.- Características y bosquejo:

- Prototipo modular, hermeticidad alta (Figura 20).
- Estructura en acero Inoxidable, plástico ABS y otros polímeros dependiendo de parámetros de diseño mecánico (lo cual permite abaratar costos de materia prima).
- Cámara de lavado con dos brazos de aspersión, y amplias dimensiones, permitiendo programas de lavado complejos y automáticos aumentando la eficiencia en el lavado.
- Tiene alta capacidad de lavado (hasta 15 recipientes por ciclo), no requiere extraer la canastilla para rutinas de secado o desinfección.
- En parte de la construcción se utilizó material reciclado de una máquina lavadora antigua, lo cual hizo factible partir de diseños hechos, ahorrar costos y trabajo en la materia prima (manufactura) además de crear un diseño amigable con el medio ambiente reduciendo los desechos en la construcción del prototipo.
- Dimensiones medianas, panel de mando frontal, diseño estético y fácil de utilizar (intuitivo y seguro con el usuario).
- Cámara de secado.- Acceso por apertura de un mecanismo de persianas, transferencia de calor por convección forzada por resistencia eléctrica y ventilador (admisión de aire filtrado).
- Alta factibilidad de mantenimiento y larga vida útil.
- Su diseño considera gran parte de las exigencias de la norma UNE-EN-ISO 15883 para lavadoras termodesinfectadoras de laboratorio.

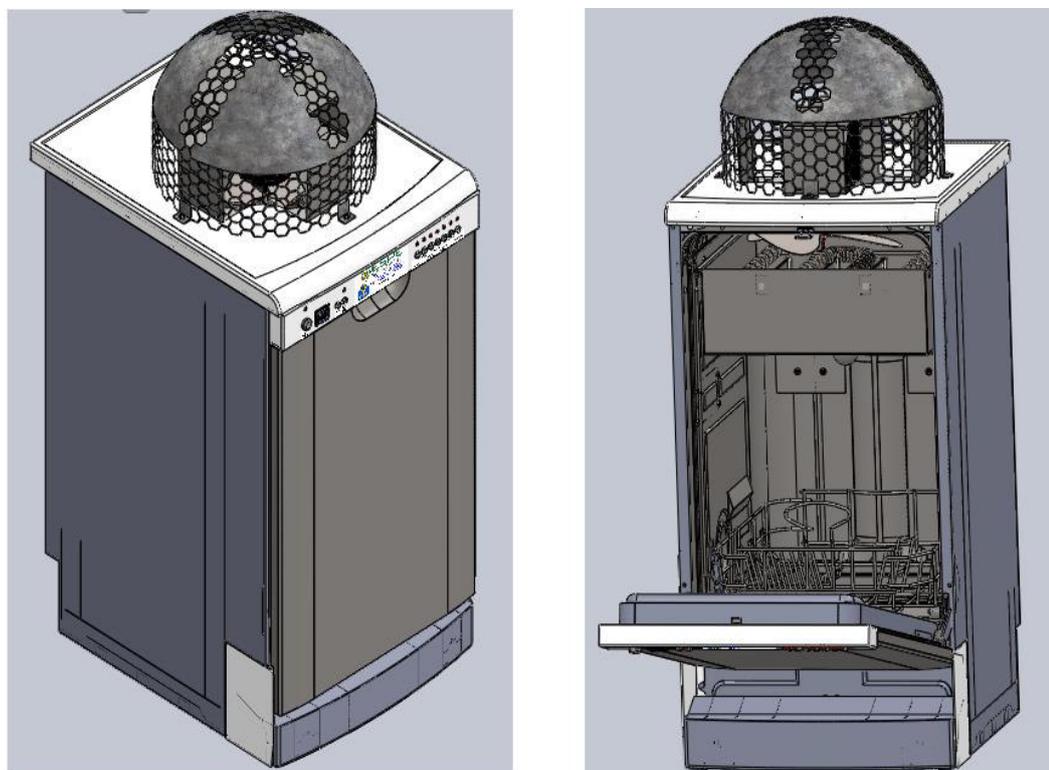


Figura 20.- Concepto 2 del prototipo de máquina lavadora-termodesinfectadora

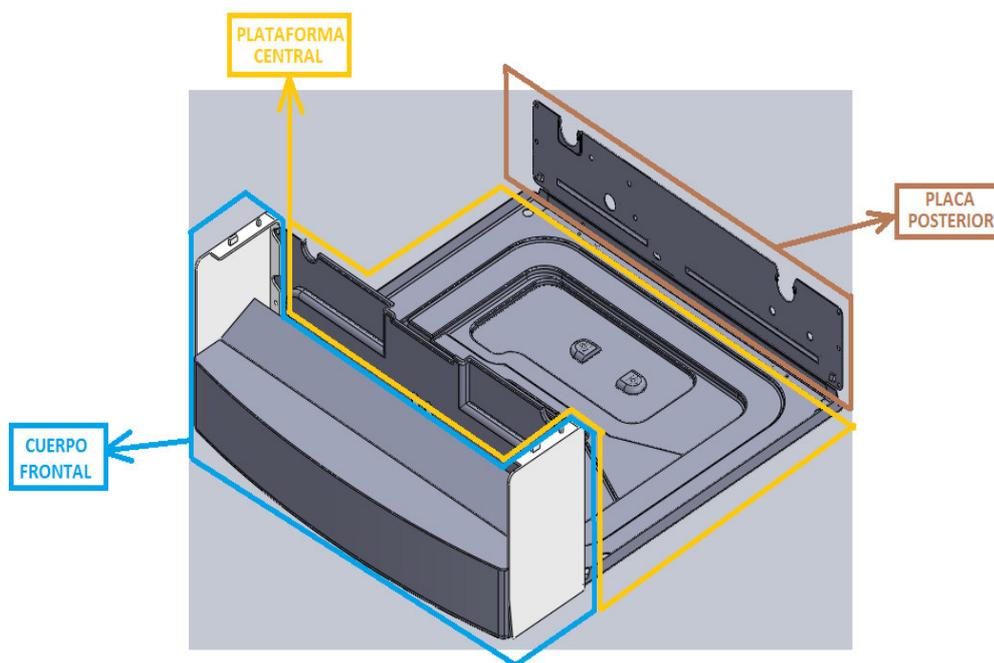
Una vez planteados ambos diseños y tomando en cuenta las características, ventajas y desventajas que ofrece cada concepto, se optó por la selección del concepto # 2 como el prototipo definitivo de la máquina, por lo cual, en adelante el diseño, selección de actuadores, sensores y demás análisis se regirá al diseño de éste concepto.

### 3.3.2 Preselección de materiales por criterios ponderados

*Dado que se dispone de una máquina lavadora antigua, y con la finalidad de abaratar costos y realizar un diseño amigable con el medio ambiente, se ha reutilizado y reciclado parte de éste equipo, determinándose para ello las partes útiles, por lo cual, para seleccionar los materiales y componentes a emplearse se partió de algunos elementos ya existentes, mientras que otros han sido diseñados desde 0.*

Dicho esto, es necesario plantear materiales candidatos y realizar un estudio de acuerdo a ciertos criterios, de esta manera a continuación se procederá a verificar mediante cálculos y simulaciones si los materiales aquí definidos se ajustan a las necesidades de la máquina lavadora de material de vidrio.

#### 3.3.2.1 Base



**Figura 21.- Partes de la base de la lavadora**

#### CUERPO FRONTAL:

*Solución A: Plástico ABS; Solución B: Polipropileno*

**Tabla 9.**  
**Criterios para selección de material del cuerpo frontal**

<b>Costo &gt; Resistencia (a Compresión) &gt; Estética</b>					
<b>CRITERIOS</b>	<b>Costo</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Estética</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Costo		5	5	11	<b>0,611</b>
Resistencia	0		2,5	3,5	<b>0,194</b>
Estética	0	2,5		3,5	<b>0,194</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

Posterior a los criterios, se evalúa cada una de las soluciones, en la tabla 10 detallando las ponderaciones conforme a criterios de selección:

**Tabla 10.**  
**Criterios detallados para el cuerpo frontal**

<b>Solución A &gt; Solución B</b>				
<b>COSTO</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

<b>Solución A &gt; Solución B</b>				
<b>RESISTENCIA</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

<b>Solución A = Solución B</b>				
<b>ESTÉTICA</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

Una vez evaluadas las alternativas, en la siguiente tabla se plantearán las conclusiones de acuerdo a la ponderación para ver la solución más viable.

**Tabla 11.**  
**Conclusión (Material cuerpo frontal)**

<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>Costo</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Estética</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A	0,524	0,166	0,097	0,787	<b>1</b>
Solución B	0,087	0,028	0,097	0,212	<b>2</b>
<b>Suma</b>				<b>1,00</b>	

Después de realizadas las simulaciones en software Solidworks y conforme a la selección de material de acuerdo a criterios ponderados, se determina que la solución A (**Plástico ABS**) más idóneo para la base de la lavadora, destacándose sobre la otra opción (polipropileno).

*Los siguientes análisis realizados se los llevará a cabo mediante el mismo procedimiento del ejemplo anterior, por tanto en adelante se mostrará un proceso resumido de selección de materiales.*

PLATAFORMA CENTRAL Y PLACA POSTERIOR:

*Solución A: Plástico ABS; Solución B: Acero Inoxidable*

**Tabla 12.**  
**Criterios para selección de material de plataforma y placa**

<b>Resistencia (a Compresión) &gt; Hermeticidad &gt; Estética</b>					
<b>CRITERIOS</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Hermeticidad</b>	<b>Estética</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Resistencia		2,5	5	8,5	<b>0,472</b>
Hermeticidad	2,5		5	8,5	<b>0,472</b>
Estética	0	0		1	<b>0,056</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 13.**  
**Criterios detallados para plataforma y placa**

<b>Solución A &lt; Solución B</b>				
<b>RESISTENCIA</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

Solución A < Solución B				
HERMETICIDAD	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
Suma			7	1

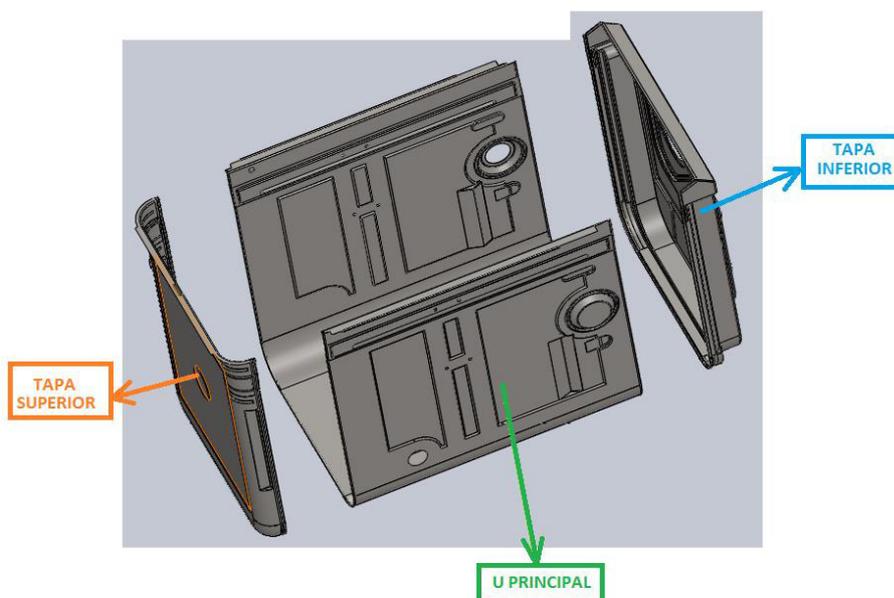
Solución A < Solución B				
ESTÉTICA	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>
Suma			7	1

**Tabla 14.**  
**Conclusión (Material plataforma central y placa posterior)**

Solución A < Solución B					
CONCLUSIÓN	Resistencia	Hermeticidad	Estética	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,067	0,067	0,028	0,162	2
Solución B	0,405	0,405	0,028	0,838	1

Las directrices concluyen que la solución B (**Acero Inoxidable**) responde de mejor manera a los requerimientos del diseño mecánico.

### 3.3.2.2 Cámara Interna de Lavado:



**Figura 22.- Partes de la cámara interna de lavado**

**Tabla 15.**  
**Criterios para selección de material de toda la cámara**

<b>Resistencia mecánica = Hermeticidad = Costo</b>					
<b>CRITERIOS</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Hermeticidad</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Resistencia		2,5	2,5	6	<b>0,333</b>
Hermeticidad	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Costo	2,5	2,5		6	<b>0,333</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 16.**  
**Criterios detallados para toda la cámara**

<b>Solución A &gt; Solución B</b>				
<b>RESISTENCIA</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

<b>Solución A &gt; Solución B</b>				
<b>HERMETICIDAD</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

<b>Solución A &lt; Solución B</b>				
<b>COSTO</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

**Tabla 17.**  
**Conclusión (Material toda la cámara)**

<b>Solución A &lt; Solución B</b>					
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Hermeticidad</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A	0,285	0,285	0,048	0,618	<b>1</b>
Solución B	0,048	0,048	0,285	0,381	<b>2</b>

Basándose en las simulaciones y a criterios ponderados, se concluye que la solución A (**Acero Inoxidable AISI 304**) es el material más adecuado.

### 3.3.2.3 Brazos de Aspersión:

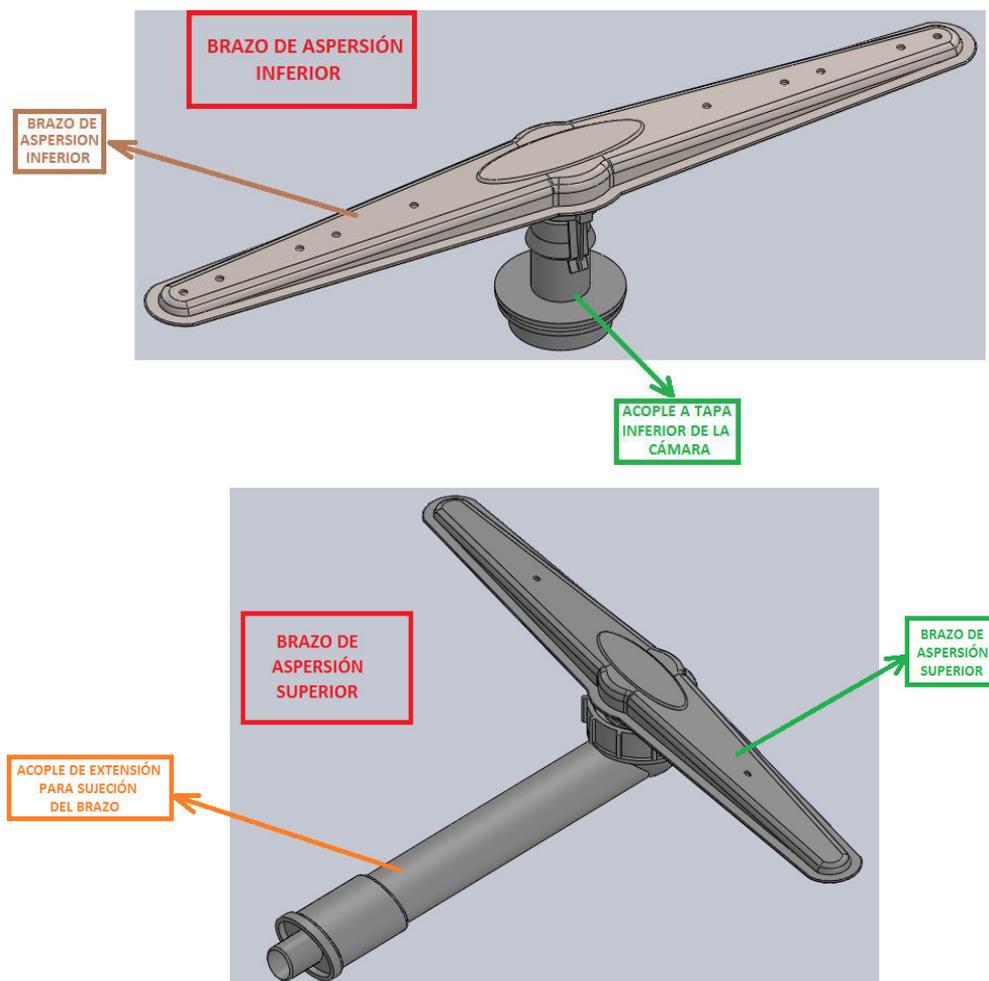


Figura 23.- Brazos de Aspersión Inferior (arriba) y Superior

#### BRAZO DE ASPERSIÓN SUPERIOR Y ACOPLÉ

Solución A: Polipropileno; Solución B: Plástico ABS

Tabla 18.

Criterios para material del brazo de aspersión superior

<u>Peso &gt; Hermeticidad &gt; Vida útil</u>					
CRITERIOS	Peso	Hermeticidad	Vida Útil	$\sum+1$	Ponderación
Peso		2,5	2,5	6	<b>0,333</b>
Hermeticidad	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Vida útil	2,5	2,5		6	<b>0,333</b>
			<b>Suma</b>	<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 19.**  
**Criterios detallados para brazo superior y acople**

Solución A > Solución B				
PESO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
Suma			7	1

Solución A > Solución B				
HERMETICIDAD	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
Suma			7	1

Solución A = Solución B				
VIDA ÚTIL	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>
Suma			7	1

**Tabla 20.**  
**Conclusión (Material brazo de aspersión superior y acople)**

Solución A > Solución B					
CONCLUSIÓN	Peso	Hermeticidad	Vida útil	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,286	0,286	0,167	0,739	<b>1</b>
Solución B	0,048	0,048	0,167	0,263	<b>2</b>

La selección de material de acuerdo al análisis realizado determina que la solución A (**Polímero Polipropileno**) es el material más idóneo.

#### BRAZO DE ASPERSIÓN INFERIOR

*Solución A: Acero Inoxidable; Solución B: Polímero Polipropileno*

**Tabla 21.**  
**Criterios para material del brazo de aspersión inferior**

Peso > Hermeticidad > Vida útil					
CRITERIOS	Peso	Costo	Vida Útil	$\Sigma+1$	Ponderación
Peso		2,5	5	8,5	<b>0,472</b>
Costo	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Vida útil	0	2,5		3,5	<b>0,194</b>

**Tabla 22.**  
**Criterios detallados para brazo de aspersión inferior**

Solución A = Solución B					
PESO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación	
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>	
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>	
Suma			7	1	
Solución A > Solución B					
COSTO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación	
Solución A		5	6	<b>0,857</b>	
Solución B	0		1	<b>0,143</b>	
Suma			7	1	

Solución A = Solución B					
VIDA ÚTIL	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación	
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>	
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>	
Suma			7	1	

**Tabla 23.**  
**Conclusión (Material brazo de aspersión inferior)**

Solución A > Solución B					
CONCLUSIÓN	Peso	Costo	Vida útil	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,236	0,285	0,097	0,618	<b>1</b>
Solución B	0,236	0,048	0,097	0,381	<b>2</b>

La solución A (**Acero Inoxidable AISI 304**) es el material que mejor responde a los requerimientos de diseño mecánico para el brazo inferior.

#### ACOPLE A TAPA INFERIOR DE LA CÁMARA

*Solución A: Polímero Polipropileno; Solución B: Acero Cromado*

**Tabla 24.**  
**Criterios para material del acople a tapa inferior**

Ductilidad < Hermeticidad < Estética					
CRITERIOS	Ductilidad	Hermeticidad	Estética	$\Sigma+1$	Ponderación
Ductilidad		2,5	5	8,5	<b>0,472</b>
Hermeticidad	2,5		5	8,5	<b>0,472</b>
Estética	0	0		1	<b>0,056</b>

**Tabla 25.**  
**Criterios detallados para acople a tapa inferior**

Solución A < Solución B				
<b>DUCTILIDAD</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			7	<b>1</b>

Solución A > Solución B				
<b>HERMETICIDAD</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			7	<b>1</b>

Solución A < Solución B				
<b>ESTÉTICA</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
<b>Suma</b>			7	<b>1</b>

**Tabla 26.**  
**Conclusión (Material acople a tapa inferior)**

Solución A < Solución B					
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>Ductilidad</b>	<b>Hermeticidad</b>	<b>Estética</b>	$\Sigma$	<b>Ponderación</b>
Solución A	0,405	0,405	0,008	0,818	<b>1</b>
Solución B	0,067	0,067	0,048	0,182	<b>2</b>

Se determinó que la solución A (**Polímero polipropileno**) es el material que más idóneo para el acople de sujeción del brazo inferior a la cámara.

### 3.3.2.4 Rejilla (Canasta para material de vidrio)

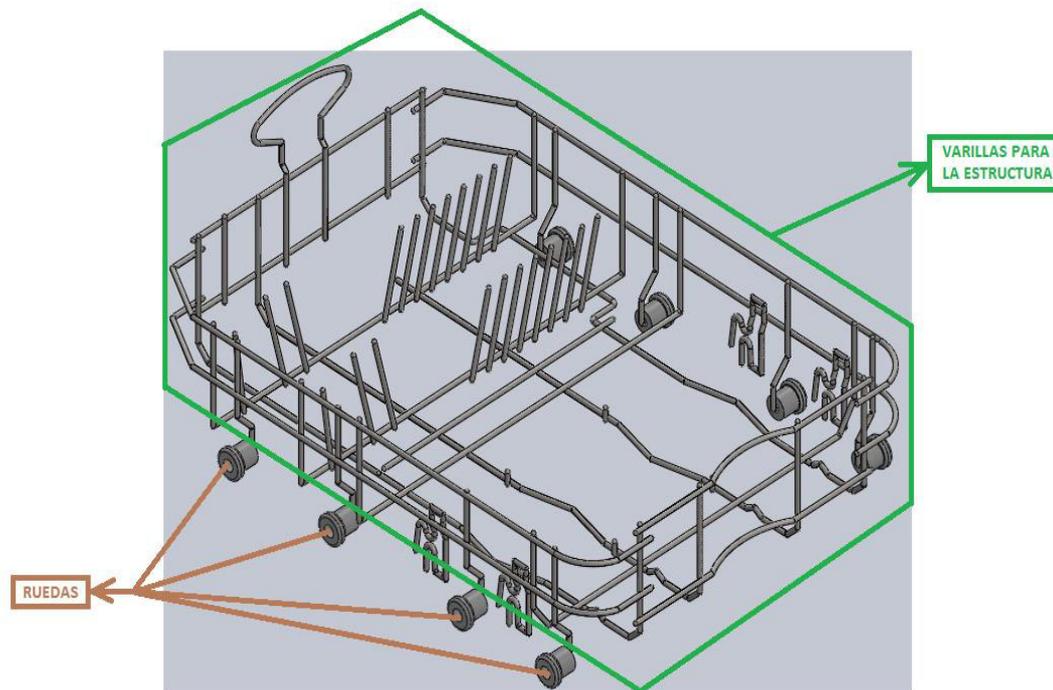


Figura 24.- Identificación de Partes, rejilla o cesta

#### VARILLAS PARA ESTRUCTURA

Solución A: Acero Cromado y Pintado; Solución B: Acero Inox. Pintado

Tabla 27.

Criterios para material de las varillas para la estructura

<u>Soldabilidad &gt; Flexibilidad &gt; Versatilidad y Estética</u>					
CRITERIOS	Soldabilidad	Flexibilidad	Versatilidad y Estética	$\Sigma+1$	Ponderación
Soldabilidad		2,5	5	8,5	<b>0,472</b>
Flexibilidad	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Versatilidad y Estética	0	2,5		3,5	<b>0,194</b>
			<b>Suma</b>	18	1

Tabla 28.

Criterios detallados para varillas para la estructura

Solución A < Solución B				
SOLDABILIDAD	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
		<b>Suma</b>	7	1

Solución A > Solución B				
<b>FLEXIBILIDAD</b>	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			7	<b>1</b>
Solución A < Solución B				
<b>VERSATILIDAD Y ESTÉTICA</b>	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
<b>Suma</b>			7	<b>1</b>

**Tabla 29.**  
**Conclusión (Material varillas para la estructura)**

Solución A < Solución B					
<b>CONCLUSIÓN</b>	Soldabilidad	Flexibilidad	Versatilidad y Estética	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,067	0,285	0,028	0,38	<b>2</b>
Solución B	0,405	0,048	0,166	0,62	<b>1</b>

La solución B (**Acero Inoxidable Pintado**) es el material que mejor responde a las necesidades de la máquina para la varilla de estructura del canasto.

## RUEDAS

*Solución A: Polímero Polipropileno; Solución B: Plástico ABS*

**Tabla 30.**  
**Criterios para material de las ruedas**

<u>Ductilidad &lt; Costo &lt; Estética</u>					
<b>CRITERIOS</b>	Ductilidad	Estética	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Ductilidad		5	2,5	8,5	<b>0,472</b>
Estética	0		0	1	<b>0,056</b>
Costo	2,5	5		8,5	<b>0,472</b>
<b>Suma</b>				18	<b>1</b>

**Tabla 31.**  
**Crterios detallados para las ruedas**

Solución A < Solución B				
DUCTILIDAD	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			7	<b>1</b>

Solución A > Solución B				
ESTÉTICA	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>
<b>Suma</b>			7	<b>1</b>

Solución A < Solución B				
COSTO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			7	<b>1</b>

**Tabla 32.**  
**Conclusión (Material de las ruedas)**

Solución A < Solución B					
CONCLUSIÓN	Ductilidad	Hermeticidad	Estética	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,405	0,028	0,405	0,838	<b>1</b>
Solución B	0,067	0,028	0,067	0,162	<b>2</b>

De acuerdo a las directrices por criterios ponderados, se concluye que la solución A (**Polímero polipropileno**) es el material más adecuado.

Nótese que algunos de los elementos que intervengan o tengan contacto con el agua además de los parámetros citados en cada matriz, se recomienda analizar otros parámetros, como la resistencia a la oxidación o la hermeticidad de ser el caso. También se debe tomar en cuenta si algún material tiene algún tipo de problema al entrar en contacto con emulsiones jabonosas o detergentes.

### 3.3.2.5 Filtros

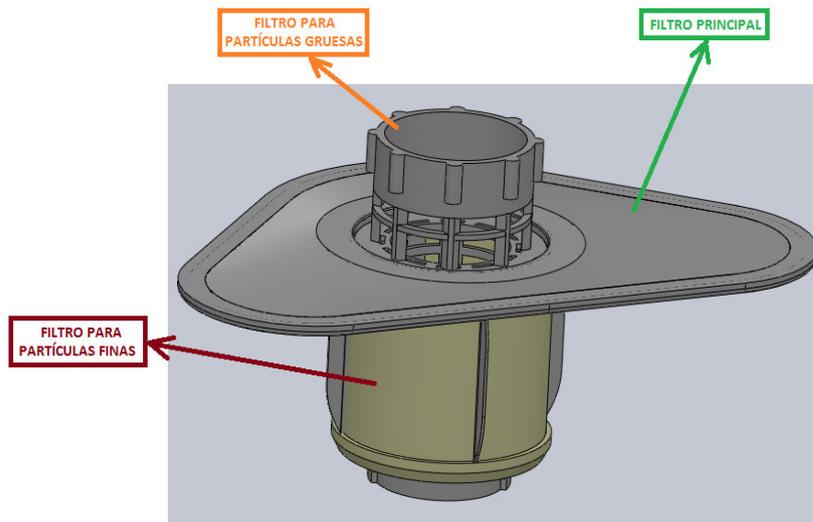


Figura 25.- Identificación de partes, conjunto de filtros

#### FILTRO PRINCIPAL

Solución A: Polímero; Solución B: Acero Inoxidable

Tabla 33.

Criterios para material del filtro principal

<u>Resistencia a la oxidación &gt; Hermeticidad &gt; Costo</u>					
CRITERIOS	Resistencia a oxidación	Hermeticidad	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Resistencia a oxidación		2,5	2,5	6	<b>0,333</b>
Hermeticidad	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Costo	2,5	2,5		6	<b>0,333</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

Tabla 34.

Criterios detallados para las ruedas

Solución A < Solución B				
RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>
Solución A = Solución B				
HERMETICIDAD	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

Solución A < Solución B				
<b>COSTO</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

**Tabla 35.**  
**Conclusión (Material del filtro principal)**

Solución A < Solución B					
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>Resistencia a Oxidación</b>	<b>Hermeticidad</b>	<b>Costo</b>	$\Sigma$	<b>Ponderación</b>
Solución A	0,048	0,167	0,048	0,263	<b>2</b>
Solución B	0,285	0,167	0,285	0,737	<b>1</b>

La solución B (**Acero Inoxidable**) es el mejor material para el diseño.

#### FILTRO PARTÍCULAS GRUESAS

*Solución A: Polímero polipropileno; Solución B: Plástico ABS*

**Tabla 36.**  
**Criterios para material del filtro de partículas gruesas**

<u>Flexibilidad &lt; Hermeticidad &lt; Estética</u>					
<b>CRITERIOS</b>	<b>Flexibilidad</b>	<b>Hermeticidad</b>	<b>Estética</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Flexibilidad		2,5	5	8,5	<b>0,472</b>
Hermeticidad	2,5		5	8,5	<b>0,472</b>
Estética	0	0		1	<b>0,056</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 37.**  
**Criterios detallados para el filtro de partículas gruesas**

Solución A < Solución B				
<b>FLEXIBILIDAD</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

Solución A > Solución B				
<b>HERMETICIDAD</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

Solución A < Solución B					
ESTÉTICA	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación	
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>	
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>	
Suma			7	1	

**Tabla 38.**  
**Conclusión (Material del filtro para partículas gruesas)**

Solución A < Solución B					
CONCLUSIÓN	Flexibilidad	Hermeticidad	Estética	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,405	0,236	0,028	0,669	<b>1</b>
Solución B	0,067	0,236	0,028	0,331	<b>2</b>

Se concluye que la solución A (**Polímero polipropileno**) es el material que mejor se adapta a las exigencias para el filtro de partículas gruesas.

#### FILTRO PARTÍCULAS FINAS

*Solución A: Polipropileno y Tela; Solución B: Acero cromado y malla metálica*

**Tabla 39.**  
**Criterios para material del filtro de partículas finas**

Resistencia a la oxidación > Vida útil > Factibilidad de Fabricación					
CRITERIOS	Resistencia a oxidación	Vida útil	Factibilidad de Fabricación	$\Sigma+1$	Ponderación
Resistencia a oxidación		2,5	5	8,5	<b>0,472</b>
Vida útil	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Factibilidad de Fabricación	0	2,5		3,5	<b>0,194</b>
Suma				18	1

**Tabla 40.**  
**Criterios detallados para el filtro de partículas gruesas**

Solución A < Solución B					
RESISTENCIA LA OXIDACIÓN	A	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A			5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0			1	<b>0,143</b>
Suma				7	1

Solución A > Solución B				
VIDA ÚTIL	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
<b>Suma</b>			7	<b>1</b>

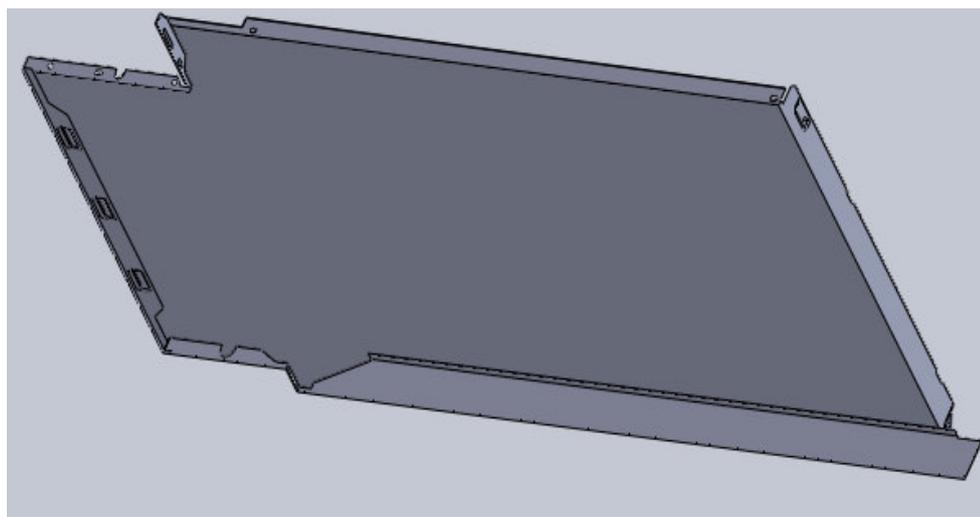
Solución A < Solución B				
FACTIBILIDAD DE FABRICACIÓN	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			7	<b>1</b>

**Tabla 41.**  
**Conclusión (Material del filtro para partículas gruesas)**

Solución A < Solución B					
CONCLUSIÓN	Resistencia a Oxidación	Vida útil	Factibilidad de Fabricación	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,405	0,048	0,166	0,62	<b>1</b>
Solución B	0,067	0,285	0,028	0,38	<b>2</b>

El estudio determina que la solución A (**Polipropileno y tela**) es el material que mejor responde a las necesidades para el filtro de partículas finas.

### 3.3.2.6 Placa Lateral



**Figura 26.- Placa Lateral**

*Solución A: Acero Inoxidable; Solución B: Acero Cromado*

**Tabla 42.**  
**Criterios para material de la placa lateral**

<b>Ductilidad &lt; Peso &lt; Costo</b>					
<b>CRITERIOS</b>	<b>Ductilidad</b>	<b>Peso</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Ductilidad		2,5	2,5	6	<b>0,333</b>
Peso	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Costo	2,5	2,5		6	<b>0,333</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 43.**  
**Criterios detallados para la placa lateral**

<b>Solución A &lt; Solución B</b>					
<b>DUCTILIDAD</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>	
Solución A		5	6	<b>0,857</b>	
Solución B	0		1	<b>0,143</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	

<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
<b>PESO</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>	
Solución A		5	6	<b>0,857</b>	
Solución B	0		1	<b>0,143</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	

<b>Solución A &lt; Solución B</b>					
<b>COSTO</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>	
Solución A		0	1	<b>0,143</b>	
Solución B	5		6	<b>0,857</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	

**Tabla 44.**  
**Conclusión (Material de la placa lateral)**

<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>Ductilidad</b>	<b>Peso</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A	0,285	0,285	0,048	0,619	<b>1</b>
Solución B	0,048	0,048	0,285	0,381	<b>2</b>

La solución A (**Acero Inoxidable**) es el material más idóneo según criterios ponderados de la estructura para la placa lateral.

### 3.3.2.7 Puerta y Estructura Principal

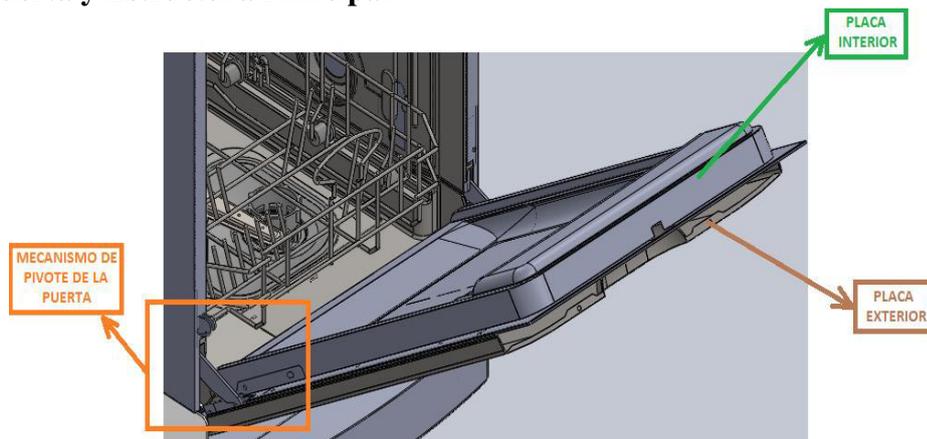


Figura 27.- Partes de la Puerta

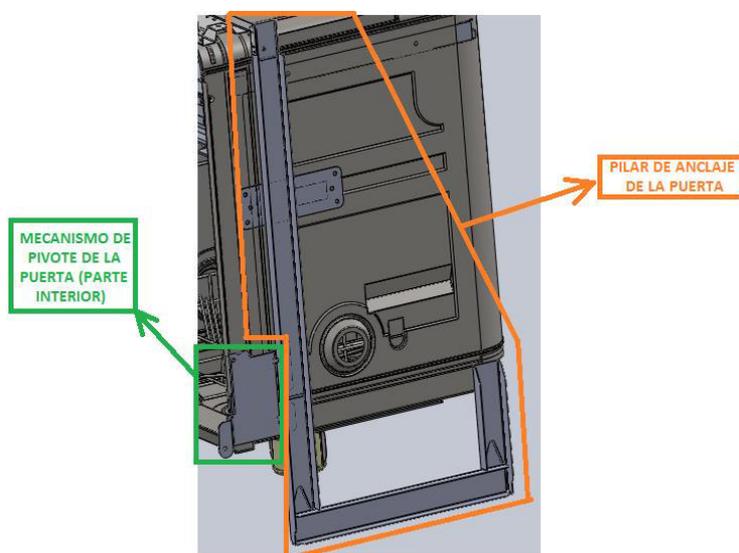


Figura 28.- Partes de la estructura Principal

#### PILARES DE ANCLAJE DE LA PUERTA

*Solución A: Acero al carbono; Solución B: Acero Inoxidable*

**Tabla 45.**

**Criterios para material de los pilares de anclaje**

<u>Ductilidad &lt; Peso &lt; Resistencia a la Fluencia</u>					
CRITERIOS	Ductilidad	Peso	Resistencia a la fluencia	$\sum$ + 1	Ponderación
Ductilidad		5	2,5	8,5	<b>0,472</b>
Peso	0		2,5	3,5	<b>0,194</b>
Resistencia a la Fluencia	2,5	2,5		6	<b>0,333</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 46.**  
**Criteriaos detallados para los pilares de anclaje**

Solución A > Solución B				
DUCTILIDAD	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
Suma			7	1

Solución A > Solución B				
PESO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
Suma			7	1

Solución A < Solución B				
COSTO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
Suma			7	1

**Tabla 47.**  
**Conclusión (Material de los pilares de anclaje)**

Solución A > Solución B					
CONCLUSIÓN	Ductilidad	Peso	Costo	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,405	0,166	0,048	0,619	1
Solución B	0,068	0,028	0,285	0,381	2

Se concluye que la solución A (**Acero al carbono**) es el material que mejor se adapta a las exigencias planteadas para los pilares de anclaje.

#### MECANISMO DE PIVOTE DE LA PUERTA

*Solución A: Acero al Carbono; Solución B: Acero Inoxidable*

**Tabla 48.**  
**Criteriaos para material del mecanismo de pivote**

Resistencia a la fluencia > Resistencia a la oxidación > Vida útil					
CRITERIOS	Resistencia a La fluencia	Resistencia a La oxidación	Vida útil	$\Sigma+1$	Ponderación
Resistencia a la fluencia		5	2,5	8,5	<b>0,472</b>
Resistencia a la oxidación	0		2,5	3,5	<b>0,194</b>

Vida útil	2,5	2,5		6	<b>0,333</b>
			<b>Suma</b>	18	1

**Tabla 49.**  
**Criterios detallados para el mecanismo de pivote**

Solución A > Solución B				
RESISTENCIA A LA FLUENCIA	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>
		<b>Suma</b>	7	1

Solución A > Solución B				
RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
		<b>Suma</b>	7	1

Solución A < Solución B				
VIDA ÚTIL	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>
		<b>Suma</b>	7	1

**Tabla 50.**  
**Conclusión (Material del mecanismo de pivote)**

Solución A < Solución B					
CONCLUSIÓN	Resistencia a la fluencia	Resistencia a La oxidación	Vida útil	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,236	0,166	0,165	0,57	<b>1</b>
Solución B	0,236	0,028	0,165	0,43	<b>2</b>

La solución A (**Acero al carbono**) es el material más idóneo para el mecanismo de pivote de la puerta.

### PLACA INTERIOR

*Solución A: Acero Inoxidable; Solución B: Acero cromado*

**Tabla 51.**  
**Crterios para material de la placa interior**

<b>Hermeticidad &lt; Peso &lt; Costo</b>					
<b>CRITERIOS</b>	<b>Hermeticidad</b>	<b>Peso</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Hermeticidad		2,5	5	8,5	<b>0,472</b>
Peso	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Costo	0	2,5		3,5	<b>0,194</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 52.**  
**Crterios detallados para la placa interior**

<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
<b>RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>	
Solución A		5	6	<b>0,857</b>	
Solución B	0		1	<b>0,143</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	
<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
<b>PESO</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>	
Solución A		5	6	<b>0,857</b>	
Solución B	0		1	<b>0,143</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	
<b>Solución A &lt; Solución B</b>					
<b>COSTO</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>	
Solución A		0	1	<b>0,143</b>	
Solución B	5		6	<b>0,857</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	

**Tabla 53.**  
**Conclusión (Material de la placa interior)**

<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>Hermeticidad</b>	<b>Peso</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A	0,405	0,285	0,028	0,718	<b>1</b>
Solución B	0,068	0,048	0,166	0,282	<b>2</b>

Basándose en los análisis realizados, la solución A (**Acero Inoxidable**) es el material que mejor se adapta a las exigencias planteadas para la placa interior.

PLACA EXTERIOR

Solución A: Acero Inoxidable; Solución B: Acero al carbono

**Tabla 54.**  
Criterios para material de la placa exterior

<b>Resistencia a la oxidación &lt; Peso &lt; Costo</b>					
CRITERIOS	Resistencia a oxidación	Peso	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Resistencia a oxidación		2,5	5	8,5	<b>0,472</b>
Peso	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Costo	0	2,5		3,5	<b>0,194</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 55.**  
Criterios detallados para la placa exterior

Solución A > Solución B					
RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación	
Solución A		5	6	<b>0,857</b>	
Solución B	0		1	<b>0,143</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	
Solución A > Solución B					
PESO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación	
Solución A		5	6	<b>0,857</b>	
Solución B	0		1	<b>0,143</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	
Solución A < Solución B					
COSTO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación	
Solución A		0	1	<b>0,143</b>	
Solución B	5		6	<b>0,857</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	

**Tabla 56.**  
Conclusión (Material de la placa exterior)

Solución A > Solución B					
CONCLUSIÓN	Resistencia a la oxidación	Peso	Costo	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,405	0,285	0,028	0,718	<b>1</b>
Solución B	0,068	0,048	0,166	0,282	<b>2</b>

La solución A (**Acero inoxidable**) es el material que mejor se adapta a las exigencias para la placa exterior de la puerta.

### 3.3.2.8 Rieles

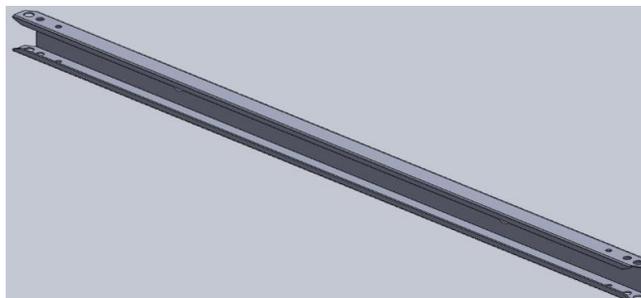


Figura 29.- Riel

Solución A: Acero Inoxidable; Solución B: Acero cromado

**Tabla 57.**  
Criterios para material de las rieles

<b>Resistencia a la Fluencia &lt; resistencia a la oxidación &lt; Impermeabilidad</b>					
CRITERIOS	Resistencia a la fluencia	Resistencia a la oxidación	Impermeabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Resistencia a la Fluencia		2,5	2,5	6	<b>0,333</b>
Resistencia a la oxidación	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Impermeabilidad	2,5	2,5		6	<b>0,333</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 58.**  
Criterios detallados para las rieles

Solución A < Solución B				
RESISTENCIA A LA FLUENCIA	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>
Solución A > Solución B				
RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

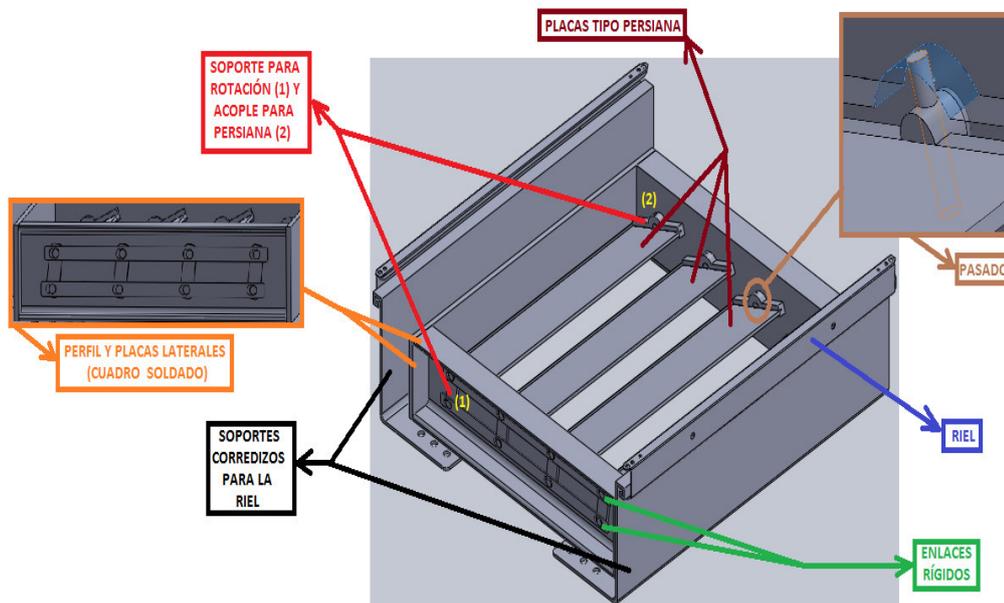
Solución A < Solución B				
IMPERMEABILIDAD	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
		<b>Suma</b>	7	1

**Tabla 59.**  
**Conclusión (Material de las rieles)**

Solución A > Solución B					
CONCLUSIÓN	Ductilidad	Peso	Costo	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,048	0,285	0,285	0,618	<b>1</b>
Solución B	0,285	0,048	0,048	0,381	<b>2</b>

De acuerdo a las directrices, la solución A (**Acero Inoxidable AISI 304**) es el material que mejor se adapta a las exigencias planteadas.

### 3.3.2.9 Mecanismo de Secado



**Figura 30.- Partes de la caja y mecanismo de secado**

#### PERFIL Y PLACAS LATERALES Y ENLACES RÍGIDOS

*Solución A: Acero Inoxidable; Solución B: Plástico ABS*

**Tabla 60.**  
**Criterios para material para el cuadro soldado y enlaces rígidos**

<b>Constante Elástica &gt; Vida útil &gt; Resistencia a la oxidación</b>					
CRITERIOS	Constante Elástica	Vida útil	Resistencia a Oxidación	$\sum+1$	Ponderación
Constante Elástica		2,5	2,5	6	<b>0,333</b>
Vida útil	2,5		5	8,5	<b>0,472</b>
Resistencia a Oxidación	2,5	0		3,5	<b>0,194</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 61.**  
**Criterios detallados para el cuadro soldado y enlaces rígidos**

<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
CONSTANTE ELÁSTICA	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Ponderación	
Solución A		5	6	<b>0,857</b>	
Solución B	0		1	<b>0,143</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	

<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
VIDA ÚTIL	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Ponderación	
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>	
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	

<b>Solución A &lt; Solución B</b>					
RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Ponderación	
Solución A		0	1	<b>0,143</b>	
Solución B	5		6	<b>0,857</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	

**Tabla 62.**  
**Conclusión (Material para el cuadro soldado y enlaces rígidos).**

<b>Solución A &lt; Solución B</b>					
CONCLUSIÓN	Constante Elástica	Vida útil	Resistencia a Oxidación	$\sum$	Ponderación
Solución A	0,285	0,236	0,028	0,55	<b>1</b>
Solución B	0,048	0,236	0,166	0,45	<b>2</b>

Después de realizado el análisis, se concluye que la solución A (**Acero Inoxidable AISI 304**) es el material más idóneo para el cuadro soldado.

## SOPORTES PARA ROTACIÓN Y ACOPLES PARA PERSIANAS

Solución A: Plástico ABS; Solución B: Acero Inoxidable

**Tabla 63.**

**Criterios para material para soportes y acoples de persianas**

<b>Constante Elástica &gt; Vida útil &gt; Resistencia a la oxidación</b>					
<b>CRITERIOS</b>	Constante Elástica	Vida útil	Resistencia a Oxidación	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Constante Elástica		2,5	2,5	6	<b>0,333</b>
Vida útil	2,5		5	8,5	<b>0,472</b>
Resistencia a Oxidación	2,5	0		3,5	<b>0,194</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 64.**

**Criterios detallados para soportes y acoples de persianas**

<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
<b>CONSTANTE ELÁSTICA</b>	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>	
Solución A		5	6	<b>0,857</b>	
Solución B	0		1	<b>0,143</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	

<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
<b>VIDA ÚTIL</b>	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>	
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>	
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	

<b>Solución A &lt; Solución B</b>					
<b>RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN</b>	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>	
Solución A		0	1	<b>0,143</b>	
Solución B	5		6	<b>0,857</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	

**Tabla 65.**

**Conclusión (Material para enlaces rígidos)**

<b>Solución A &lt; Solución B</b>					
<b>CONCLUSIÓN</b>	Constante Elástica	Vida útil	Resistencia a Oxidación	$\Sigma$	<b>Ponderación</b>
Solución A	0,285	0,236	0,028	0,55	<b>1</b>
Solución B	0,048	0,236	0,166	0,45	<b>2</b>

La solución A (**Plástico ABS**) es el material más adecuado para los soportes de rotación y acoples para las persianas.

### PLACAS TIPO PERSIANA Y PASADORES

*Solución A: Acero Inoxidable; Solución B: Plástico ABS*

**Tabla 66.**  
**Criterios para material para las persianas y pasadores**

<b>Ductilidad &lt; Peso &lt; Costo</b>					
<b>CRITERIOS</b>	<b>Ductilidad</b>	<b>Peso</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Ductilidad		2,5	2,5	6	<b>0,333</b>
Peso	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Costo	2,5	2,5		6	<b>0,333</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 67.**  
**Criterios detallados para las persianas y pasadores**

<b>Solución A &lt; Solución B</b>				
<b>DUCTILIDAD</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

<b>Solución A &gt; Solución B</b>				
<b>PESO</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

<b>Solución A &lt; Solución B</b>				
<b>COSTO</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

**Tabla 68.**  
**Conclusión (Material para las persianas y pasadores)**

<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>Ductilidad</b>	<b>Peso</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A	0,285	0,285	0,048	0,619	<b>1</b>
Solución B	0,048	0,048	0,285	0,381	<b>2</b>

La solución A (**Acero Inoxidable AISI 304**) es el material más idóneo para conformar las persianas según el diseño mecánico.

### SOPORTES CORREDIZOS PARA LA RIEL

*Solución A: Acero Inoxidable; Solución B: Plástico ABS*

**Tabla 69.**  
**Criterios para material para los soportes corredizos**

<b>Ductilidad &lt; Peso &lt; Costo</b>					
<b>CRITERIOS</b>	<b>Ductilidad</b>	<b>Peso</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Ductilidad		2,5	2,5	6	<b>0,333</b>
Peso	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Costo	2,5	2,5		6	<b>0,333</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 70.**  
**Criterios detallados para los soportes corredizos**

<b>Solución A &lt; Solución B</b>					
<b>DUCTILIDAD</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>	
Solución A		5	6	<b>0,857</b>	
Solución B	0		1	<b>0,143</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	
<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
<b>PESO</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>	
Solución A		5	6	<b>0,857</b>	
Solución B	0		1	<b>0,143</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	
<b>Solución A &lt; Solución B</b>					
<b>COSTO</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>	
Solución A		0	1	<b>0,143</b>	
Solución B	5		6	<b>0,857</b>	
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>	

**Tabla 71.**  
**Conclusión (Material para placas los soportes corredizos)**

<b>Solución A &gt; Solución B</b>					
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>Ductilidad</b>	<b>Peso</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Ponderación</b>
Solución A	0,285	0,285	0,048	0,619	<b>1</b>
Solución B	0,048	0,048	0,285	0,381	<b>2</b>

La solución A (**Acero Inoxidable AISI 304**) es el material más factible para los soportes corredizos para el riel.

### 3.3.2.10 Tapa Superior de la Lavadora

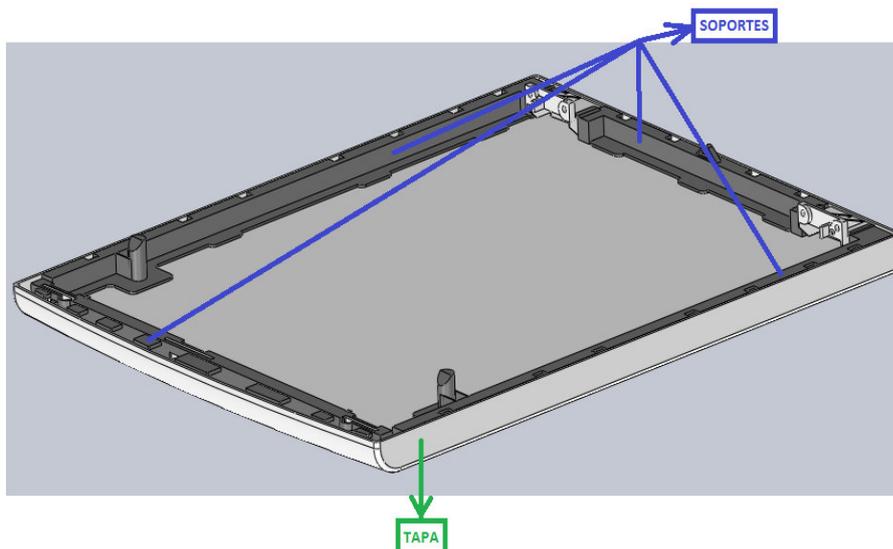


Figura 31.- Partes de la tapa superior

#### TAPA

Solución A: Polímero Polipileno; Solución B: Plástico ABS

**Tabla 72.**  
**Criterios para material para la tapa**

<u>Peso &gt; Elasticidad &gt; Costo</u>					
CRITERIOS	Peso	Elasticidad	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Peso		2,5	2,5	6	<b>0,333</b>
Elasticidad	2,5		2,5	6	<b>0,333</b>
Costo	2,5	2,5		6	<b>0,333</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 73.**  
**Criterios detallados para la tapa**

Solución A > Solución B				
PESO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

Solución A > Solución B				
ELASTICIDAD	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

Solución A < Solución B				
COSTO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
<b>Suma</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

**Tabla 74.**  
**Conclusión (Material para la tapa)**

Solución A < Solución B					
CONCLUSIÓN	Peso	Elasticidad	Costo	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,167	0,285	0,048	0,5	<b>1</b>
Solución B	0,167	0,048	0,285	0,5	<b>1</b>

El estudio determinó que tanto la solución A (**Polímero Polipropileno**) como la solución B (**Plástico ABS**) responden a los requerimientos exigidos.

### SOPORTES

*Solución A: Polímero Polipropileno; Solución B: Plástico ABS*

**Tabla 75.**  
**Criterios para material para los soportes**

Peso > Elasticidad > Costo					
CRITERIOS	Peso	Elasticidad	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Peso		2,5	5	8,5	<b>0,472</b>
Elasticidad	2,5		5	8,5	<b>0,472</b>
Costo	0	0		1	<b>0,056</b>
<b>Suma</b>				<b>18</b>	<b>1</b>

**Tabla 76.**  
**Criterios detallados para los soportes**

Solución A > Solución B				
PESO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		2,5	3,5	<b>0,5</b>
Solución B	2,5		3,5	<b>0,5</b>

Solución A > Solución B				
ELASTICIDAD	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		5	6	<b>0,857</b>
Solución B	0		1	<b>0,143</b>
<b>Suma</b>			7	1

Solución A < Solución B				
COSTO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	<b>0,143</b>
Solución B	5		6	<b>0,857</b>
<b>Suma</b>			7	1

**Tabla 77 Conclusión (Material para los soportes)**

Solución A < Solución B					
CONCLUSIÓN	Peso	Elasticidad	Costo	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,236	0,405	0,008	0,649	<b>1</b>
Solución B	0,236	0,068	0,048	0,352	<b>2</b>

Basándose en los criterios ponderados, se concluye que la solución A (**Polímero polipropileno**) es el material más idóneo para los soportes.

### 3.3.3 Estudio del material preseleccionado de cada componente

Los materiales preseleccionados de los cuales van a estar constituidos cada componente físico y estructural del prototipo son:

**Tabla 78**  
**Materiales a utilizarse en el prototipo de la lavadora**

MATERIAL	COMPONENTES DEL PROTOTIPO
<b>PLÁSTICO ABS MOLDEADO</b>	Cuerpo frontal y tapa.
<b>PLÁSTICO ABS IMPRESIÓN 3D</b>	Soportes para rotación y acoples para persianas.
<b>ACERO INOXIDABLE</b>	Plataforma central, placa posterior, placa exterior de la puerta, varillas para estructura de la rejilla o canasto, filtro principal y placas laterales.
<b>ACERO INOX. AISI 304</b>	Cámara principal de lavado, brazo de aspersion inferior, placa interior de la puerta, rieles, perfil y placas laterales del cuadro soldado, enlaces rígidos, persianas, pasadores y soportes corredizos para riel.

<b>POLÍMERO POLIPROPILENO</b>	Brazo aspersion superior, acople brazo superior, acople brazo inferior, ruedas del canasto, filtro para partículas gruesas, filtro para partículas finas, soportes para la tapa.
<b>ACERO AL CARBONO</b>	Pilares de anclaje y mecanismo de pivote de la puerta.

ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS).- Plástico resistente al impacto, se considera como plástico de ingeniería, porque su elaboración y procesamiento es más complejo que los plásticos comunes. La simbología para identificarlo se rige a la norma ISO 11469 (DIN 58840):



Propiedades	Método ASTM	Unidad	Grados de ABS			
			Alto impacto	Impacto medio	Bajo Impacto	Resistente al calor
<b>Mecánicas a 23°C</b>						
Resistencia al impacto, prueba Izod	D2546	J / m	375-640	215-375	105-215	105-320
Resistencia a la tensión	D638	Kg / mm <sup>2</sup>	3,3 - 4,2	4,2-4,9	4,2-5,3	4,2-5,3
elongación	D638	%	15-70	10-50	5-30	5-20
Módulo de tensión	D638		173-214	214-255	214-265	214-265
Dureza	D785	HRC (Rockwell)	88-90	95-105	105-110	105-110
Peso específico	D792		1,02-1,04	1,04-1,05	1,05-1,07	1,04-1,06
<b>Térmicas</b>						
Coefficiente de expansión térmica	D696	X 10 <sup>5</sup> cm / cm* °C	9,5-11,0	7,0-8,8	7,0-8,2	6,5-9,3

**Figura 32.- Simbología y Propiedades Mecánicas del plástico ABS (Plásticos, 2011)**

ACERO INOXIDABLE.- Constituye una aleación de acero con un mínimo del 10 % al 12 % de cromo contenido, pueden añadirse otros componentes como el molibdeno y el níquel. Tiene elevada resistencia a la corrosión pero puede ser susceptible a soluciones ácidas, se caracteriza por su estética, resistencia a altas temperaturas ( $T_{\text{fusión}}=800^{\circ}\text{C}$ ), buenas propiedades mecánicas y es completamente reciclable. Existen 4 familias:

- Acero inoxidable ferrítico
- Acero inoxidable martensítico
- Acero inoxidable austenítico
- Acero inoxidable Dúplex (austenítico-ferrítico).

	Grado	Producto <sup>1)</sup>	Espesor máximo (mm)	Mínima resistencia <sup>2)</sup> correspondiente al 0.2% (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia última a tracción (N/mm <sup>2</sup> )	Alargamiento de rotura (%)
Aceros inoxidables austeníticos básicos de cromo y níquel	1.4301	C	8	230	540 – 750	45 <sup>(3)</sup>
		H	13,5	210	520 – 720	45 <sup>(3)</sup>
		P	75	210	520 – 720	45
Aceros inoxidables austeníticos de molibdeno, cromo y níquel	1.4307	C	8	220	520 – 700	45
		H	13,5	200	520 – 700	45
		P	75	200	500 – 700	45
Aceros inoxidables austeníticos de molibdeno, cromo y níquel	1.4401	C	8	240	530 – 680	40
		H	13,5	220	530 – 680	40
		P	75	220	520 – 670	45
Aceros inoxidables austeníticos estabilizados	1.4541	C	8	220	520 – 720	40
		H	13,5	200	520 – 720	40
		P	75	200	500 – 700	40
Aceros inoxidables austeníticos bajos en carbono, altos en nitrógeno	1.4318	C	8	350	650 – 850	35
		H	13,5	330	650 – 850	35
		P	75	330	630 – 830	45
Aceros inoxidables dúplex	1.4362	C	8	450	650 – 850	20
		H	13,5	400	650 – 850	20
		P	75	400	630 – 800	25
	1.4462	C	8	500	700 – 950	20
		H	13,5	460	700 – 950	25
		P	75	460	640 – 840	25

Notas:

- 1) C=fleje laminado en frío, H=fleje laminado en caliente, P=chapa laminada en caliente
- 2) Propiedades transversales
- 3) Para material más estirado, los valores mínimos son un 5% más bajos

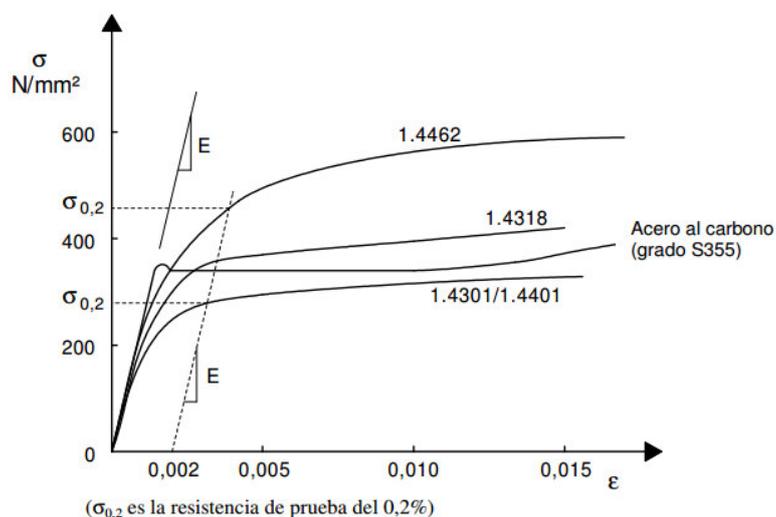
**Figura 33.- Propiedades mecánicas para aceros inoxidables: Norma EN 10088-2 (UPC, s.f.)**

Los grados austeníticos estándares, son 1.4301 (AISI 304) y 1.4401 (AISI 316). Estos contienen entre 17 y 18% de cromo y 8-11% de níquel. El grado 1.4301 es adecuado en ambientes rurales, urbanos y ligeramente industriales, mientras que el 1.4401 es un grado más aleado y por tanto recomendable en ambientes marinos e industriales. Sus versiones con bajo contenido en carbono son 1.4307 (AISI 304L) y 1.4404 (AISI 316L).

**301.-** Ofrece buenas propiedades de soldabilidad. Se emplea en partes de aviones ferrocarriles y trailers, y equipos para procesamiento de alimentos.

**304.-** Ideal para toda aplicación, buen desempeño en temperaturas altas (800-900° C) y buenas propiedades mecánicas, se emplea en equipo químico de proceso, accesorios para aviones, remaches, **equipo para hospitales**, etc.

**316.-** Resistente a la incluso con químicos agresivos, ácidos y salinos. Se emplea en equipo para procesamiento de alimentos, farmacéutico, textil, etc.



**Figura 34.-Curva Esfuerzo Deformación en Acero Inox. y al Carbono (UPC, s.f.)**

**POLIPROPILENO.-** Polímero termoplástico cristalino, se obtiene de polimerizar el propileno, tienen alta resistencia contra solventes químicos, álcalis y ácidos, es utilizado en varias aplicaciones, entre empaques de alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices, etc.

Propiedades Mecánicas		Propiedades Térmicas	
Alargamiento a la Rotura (%)	150-300. para bopp >50	Calor Específico (J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	1700 - 1900
Coefficiente de Fricción	0,1-0,3	Coefficiente de Expansión Térmica (x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	100-180
Dureza - Rockwell	R80-100	Conductividad Térmica a 23C (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0,1-0,22
Módulo de Tracción (GPa)	0,9-1,5. para bopp 2,2-4,2	Temperatura Máxima de Utilización (°C)	90-120
Resist. a la Abrasión ASTM D1044	13-16	Temperatura Mínima de Utilización (°C)	-10 a -60
Resistencia a la Tracción (MPa)	25-40. para bopp 130-300	Temp. de Deflexión en Caliente - 0.45MPa (°C)	100-105
Resistencia al Impacto Izod (J m <sup>-1</sup> )	20-100	Temp. de Deflexión en Caliente - 1.8MPa (°C)	60-65

**Figura 35.- Propiedades y características del polipropileno (Plásticos, 2011)**

**ACERO AL CARBONO.**- Se conoce como acero de construcción (tanto civil como mecánica), se aligera su peso en la fabricación en caso de aceros estructurales y se lo utiliza en general en elementos estructurales y de anclaje. Existen de algunos tipos:

- Acero dulce: 0,25% de carbono, resistencia mecánica de 48-55 kg/mm<sup>2</sup> y dureza de 135-160 HB. Se usa en: embutición, plegado, herrajes, etc.
- Acero semidulce: 0,35% de carbono, resistencia mecánica de 55-62 kg/mm<sup>2</sup> y dureza de 150-170 HB, Se usa en: Ejes, elementos de maquinaria, pernos, tornillos.
- Acero semiduro: 0,45% de carbono, resistencia mecánica de 62-70 kg/mm<sup>2</sup> y dureza de 180 HB. Se usa en: Ejes y elementos de máquinas, cilindros de motores.
- Acero duro: 0,55% de carbono, resistencia mecánica de 70-75 kg/mm<sup>2</sup>, y dureza de 200-220 HB. Se usa en: Ejes, transmisiones, tensores, piezas delgadas cargadas.

Norma	Calidades	Límite elástico mínimo R <sub>eH</sub>						Resistencia a la tracción R <sub>m</sub>		Alargamiento mínimo A $L_0 = 5,65 \cdot \sqrt{S_0}$ %				Ensayo de flexión por choque		
		MPa						MPa						Temperatura	Energía mín. absorbida	
		Espesor nominal (mm)						Espesor nominal (mm)		Espesor nominal (mm)				°C	J	
		≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤125	>3 ≤100	>100 ≤125	>3 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤100	>100 ≤125			
EN 10025-2: 2004	S235JR													+20	27	
	S235JO	235	225		215		195	360-510	350-500	26	25	24	22	0	27	
	S235J2*													-20	27	
	S275JR													+20	27	
	S275JO	275	265	255	245	235	225	410-560	400-540	23	22	21	19	0	27	
	S275J2*													-20	27	
	S355JR													+20	27	
	S355JO														0	27
	S355J2	355	345	335	325	315	295	470-630	450-600	22	21	20	18	-20	27	
	S355K2													-20	40	

**Figura 36.- Propiedades de algunos aceros según norma europea (Mecánica, s.f.)**

Una vez estudiadas las propiedades y considerados los fenómenos físicos y mecánicos que intervienen en la máquina se puede simular en software CAD/CAM las partes de la estructura sometidas a las condiciones más críticas de esfuerzos, realizar los cálculos respectivos y concluir para determinar el material y geometría adecuada de cada parte.

### 3.3.4 Simulación de cargas y Esfuerzos en software Solidworks

#### 3.3.4.1 Simulación de cargas en la cámara principal de lavado

TAPA INFERIOR (Referirse a la Figura 37)

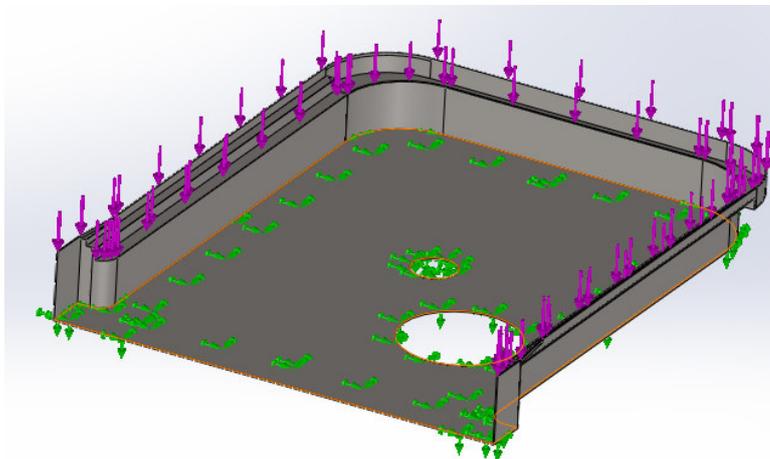
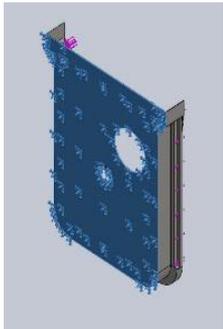


Figura 37.- Diagrama de la Tapa Inferior de la cámara

#### Propiedades volumétricas

Masa: 2.13126 kg  
 Volumen: 0.000266408 m<sup>3</sup>  
 Densidad: 8000 kg/m<sup>3</sup>  
 Peso: 20.8864 N

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Propiedades			
Fijo-1		Nombre:	AISI 304		
		Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal		
		Criterio de error predeterminado:	Desconocido		
		Límite elástico:	2.06807e+008 N/m <sup>2</sup>		
		Límite de tracción:	5.17017e+008 N/m <sup>2</sup>		
		Módulo elástico:	1.9e+011 N/m <sup>2</sup>		
		Coefficiente de Poisson:	0.29		
		Densidad:	8000 kg/m <sup>3</sup>		
		Módulo cortante:	7.5e+010 N/m <sup>2</sup>		
		Coefficiente de dilatación térmica:	1.8e-005 /Kelvin		
FUERZAS RESULTANTES					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción (N)	-0.246178	-0.142308	-235.4	235.4	

### TENSIONES DE VON MISES (Figura 38)

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	1.07615e-006 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 34032	33.2437 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 2831

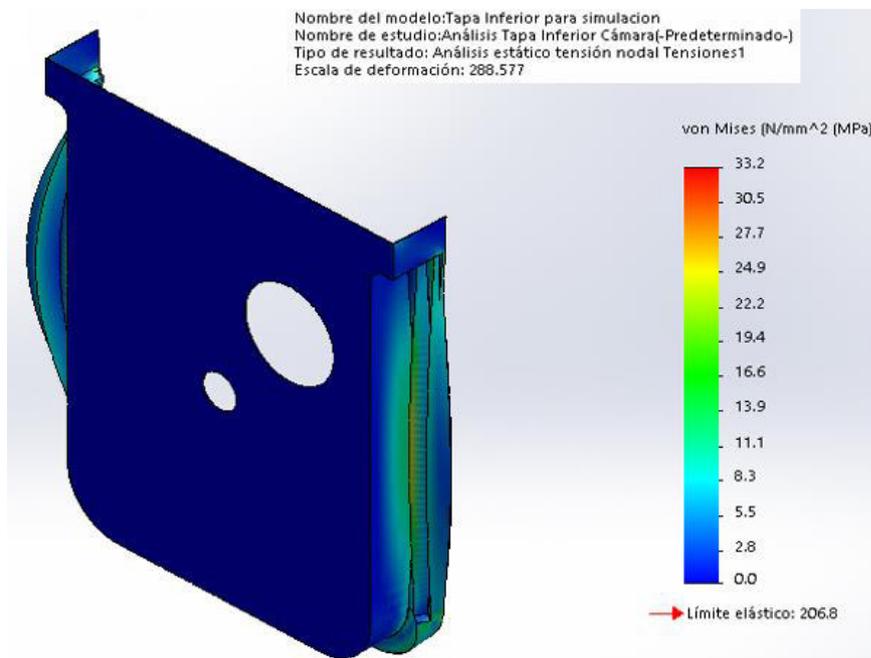


Figura 38.- Tapa Inferior para simulacion-Tensiones

### DESPLAZAMIENTOS (Figura 39)

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 8	0.219391 mm Nodo: 1939

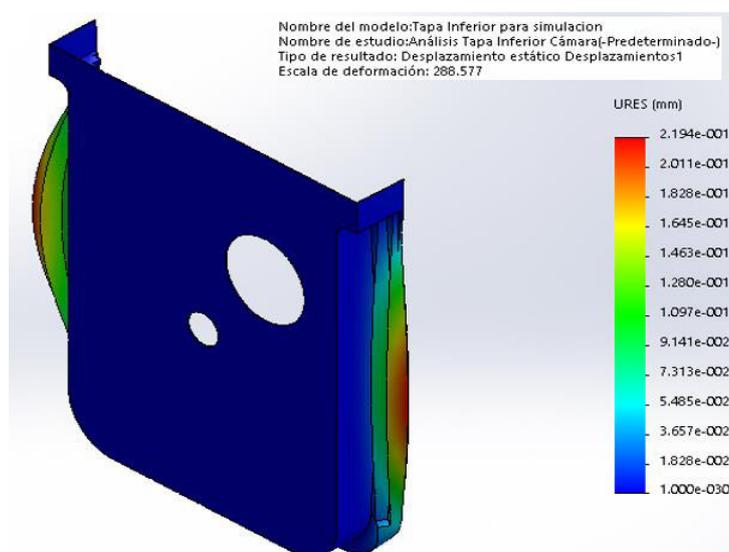
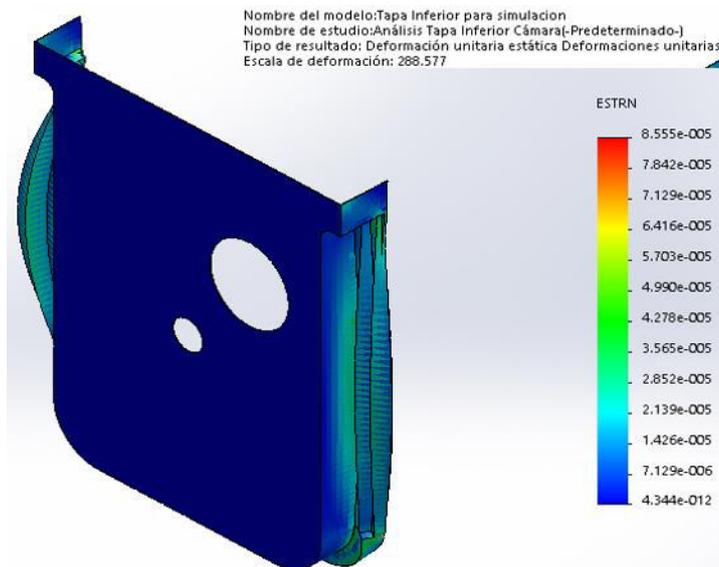


Figura 39.- Tapa Inferior para simulacion-Desplazamientos

**DEFORMACIONES UNITARIAS (Figura 40)**

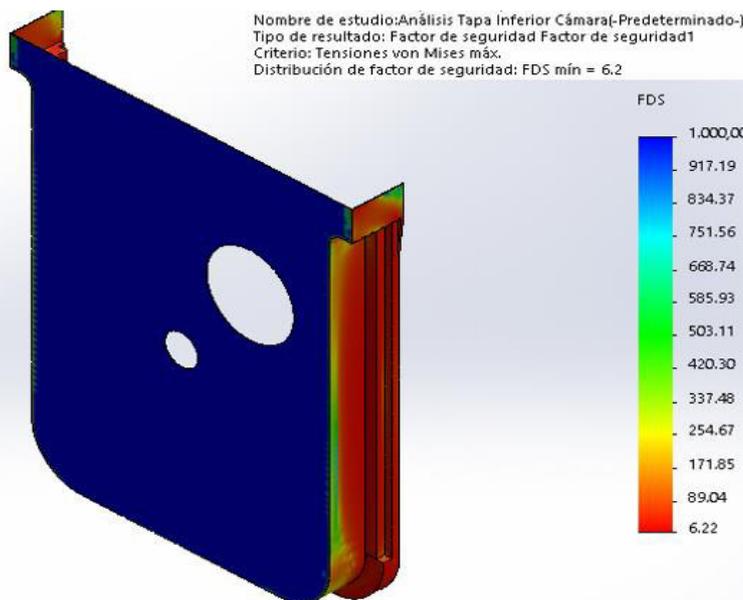
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	4.3442e-012 Elemento: 223	8.55506e-005 Elemento: 14663



**Figura 40.- Tapa Inferior para simulacion-Deformaciones Unitarias**

**FACTOR DE SEGURIDAD (Figura 41)**

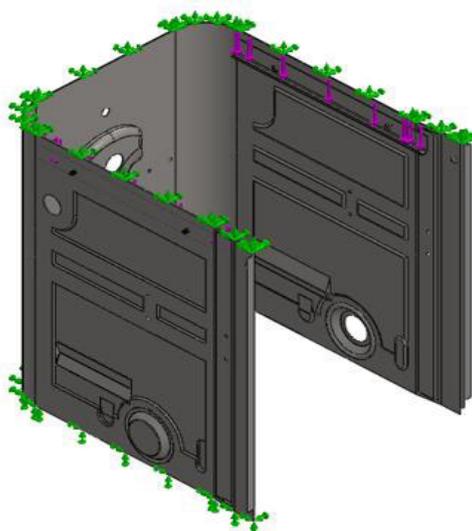
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Tensión de von Mises máx.	6.22095 Nodo: 2831	1000 Nodo: 1



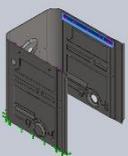
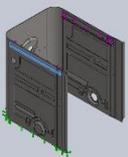
**Figura 41.- Tapa Inferior para simulacion-Factor de Seguridad**

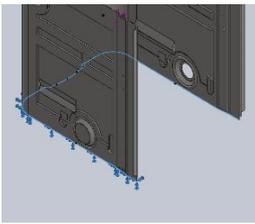
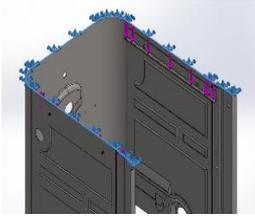
**CONCLUSIÓN.-** La simulación se realizó para 1 [mm] de espesor para una carga de 240 [N] (25 [kg]: peso de la cámara), pero debido a que la tapa real tiene un espesor de 0,5 [mm] se tomará las consideraciones respectivas, de forma que para tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias será tomado el doble del valor, lo cual da un resultado en el factor de seguridad de **3,11** adecuado para su diseño mecánico, por tanto se concluye que no muestra indicios de falla. Material y geometría del modelo son idóneos.

U PRINCIPAL (Referirse a la Figura 42)



**Figura 42.- Diagrama de la U principal de la cámara**

Sólido de referencia	Propiedades volumétricas
	Masa:0.134832 kg Volumen:1.6854e-005 m <sup>3</sup> Densidad:8000 kg/m <sup>3</sup> Peso:1.32136 N Fuerza Aplicada: 300 N (eje Y)
	Masa:0.134832 kg Volumen:1.6854e-005 m <sup>3</sup> Densidad:8000 kg/m <sup>3</sup> Peso:1.32136 N Fuerza Aplicada: 300 N (eje Y)
	Masa:8.8304 kg Volumen:0.0011038 m <sup>3</sup> Densidad:8000 kg/m <sup>3</sup> Peso:86.5379 N

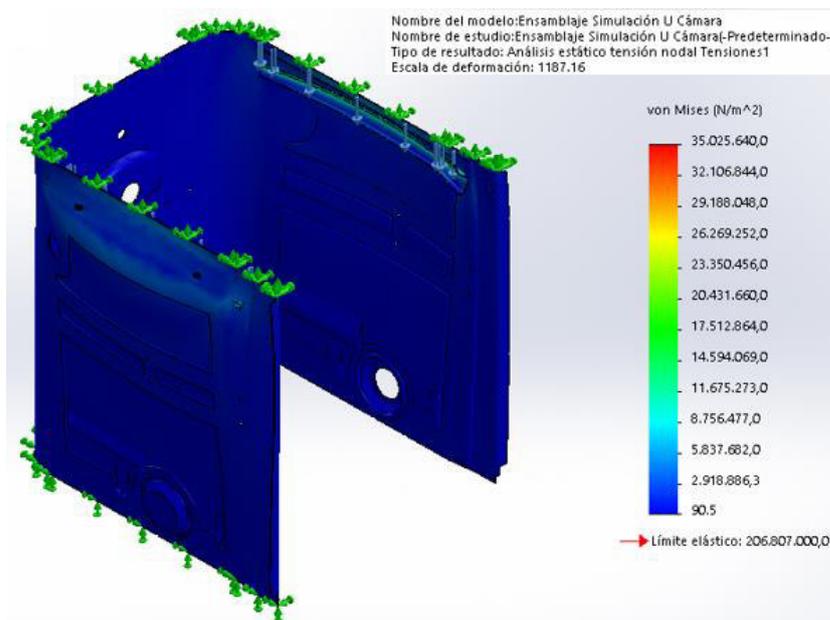
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Propiedades
Fijo-1 (f1)		Nombre: AISI 304 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises
Fijo-2 (f2)		Límite elástico: 2.06807e+008 N/m <sup>2</sup> Límite de tracción: 5.17017e+008 N/m <sup>2</sup> Módulo elástico: 1.9e+011 N/m <sup>2</sup> Coeficiente de Poisson: 0.29 Densidad: 8000 kg/m <sup>3</sup> Módulo cortante: 7.5e+010 N/m <sup>2</sup> Coeficiente de dilatación térmica: 1.8e-005 /Kelvin

FUERZAS RESULTANTES				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción (N) f1	-0.653746	44.7431	0.432836	44.75
Fuerza de reacción(N) f2	0.646533	555.248	-0.446427	555.248

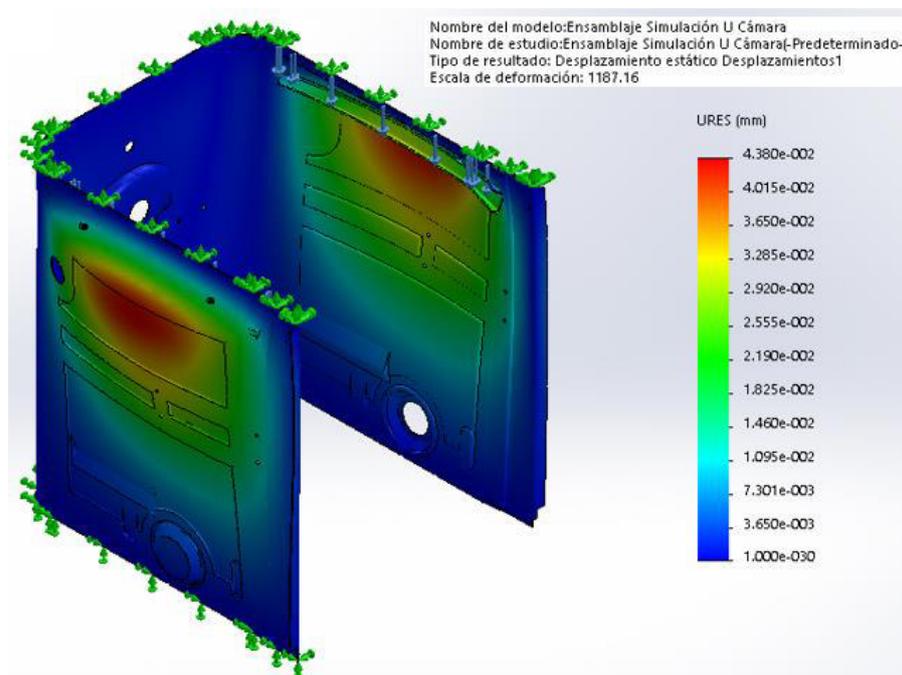
**TENSIONES DE VON MISES (Figura 43)**

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	90.4956 N/m <sup>2</sup> Nodo: 298583	3.50256e+007 N/m <sup>2</sup> Nodo: 53823



**Figura 43.- U principal para simulacion-Tensiones**

**DESPLAZAMIENTOS (Figura 44)**

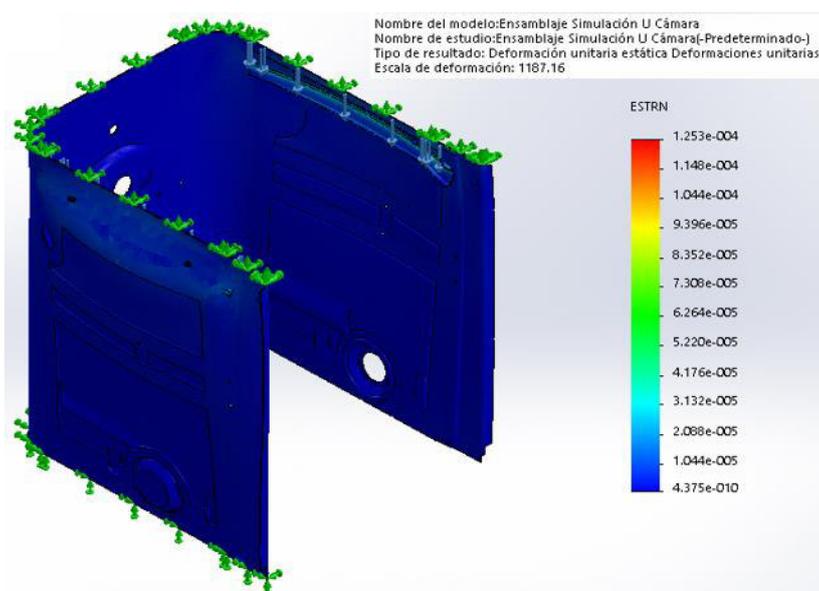


**Figura 44.- U principal para simulacion-Desplazamientos**

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 170287	0.0438035 mm Nodo: 202368

**DEFORMACIONES UNITARIAS (Figura 45)**

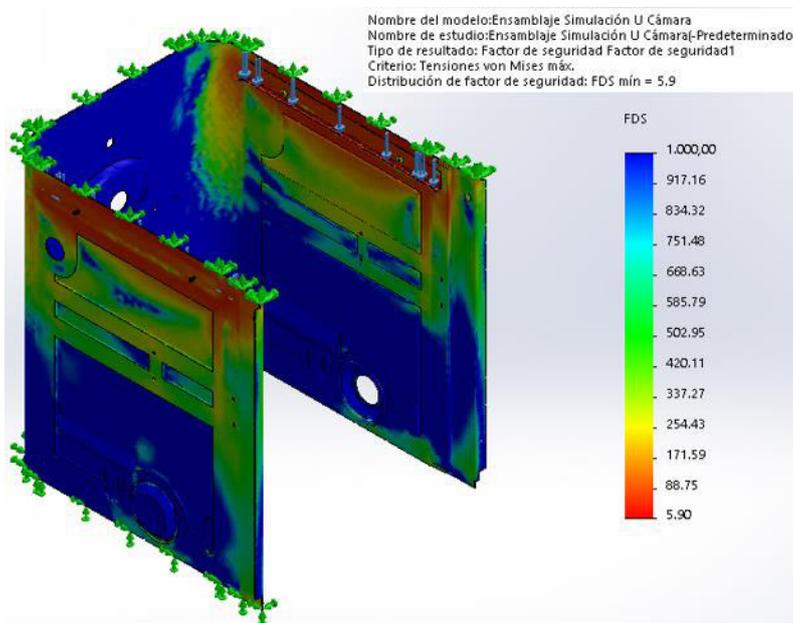
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	4.37541e-010 Elemento: 170659	0.000125283 Elemento: 38998



**Figura 45.- U principal para simulacion-Deformaciones Unitarias**

**FACTOR DE SEGURIDAD (Figura 46)**

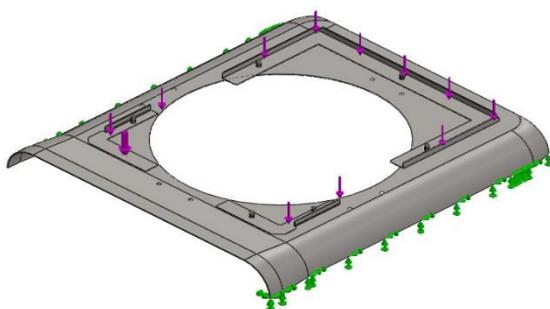
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Tensión de von Mises máx.	5.90445	1000
		Nodo: 53823	Nodo: 12



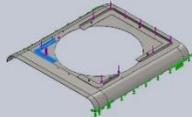
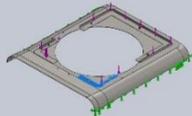
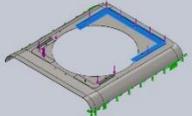
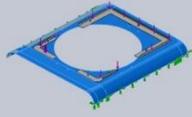
**Figura 46.- U principal para simulacion-Factor de Seguridad**

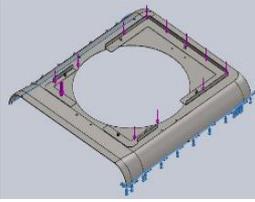
**CONCLUSIÓN.-** La simulación se realizó para 1 [mm] de espesor para una carga de 300 [N] (30,6 [kg]), pero debido a que la ‘U’ real tiene un espesor de 0,5 [mm] se tomará las consideraciones respectivas, de forma que para tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias será tomado el doble del valor, lo cual da un resultado en el factor de seguridad de **2,95** adecuado para su diseño mecánico, por tanto se concluye que no muestra indicios de falla. Material y geometría del modelo son idóneos para ser utilizados.

**TAPA SUPERIOR** (Referirse a la Figura 47)



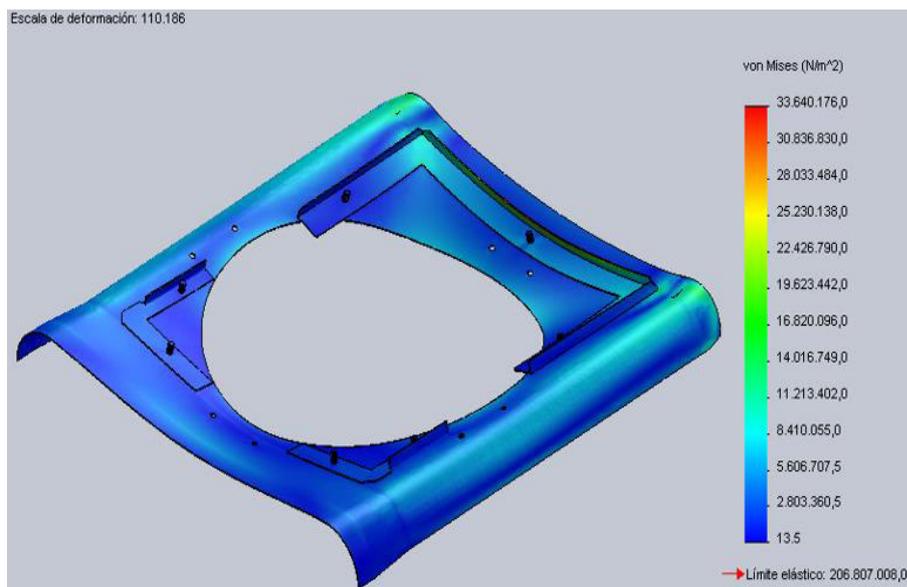
**Figura 47.- Diagrama de la Tapa superior de la cámara**

Nombre de documento y referencia	Propiedades volumétricas
	Masa:0.0280538 kg Volumen:3.50673e-006 m <sup>3</sup> Densidad:8000 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.274928 N
	Masa:0.0279098 kg Volumen:3.48873e-006 m <sup>3</sup> Densidad:8000 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.273516 N
	Masa:0.130715 kg Volumen:1.63394e-005 m <sup>3</sup> Densidad:8000 kg/m <sup>3</sup> Peso:1.28101 N
	Masa:1.032 kg Volumen:0.000129 m <sup>3</sup> Densidad:8000 kg/m <sup>3</sup> Peso:10.1136 N

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Propiedades		
Fijo-1		<p>Nombre: AISI 304</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Límite elástico: 2.06807e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p>Límite de tracción: 5.17017e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p>Módulo elástico: 1.9e+011 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p> <p>Densidad: 8000 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Módulo cortante: 7.5e+010 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.8e-005 /Kelvin</p>		
<b>FUERZAS RESULTANTES</b>				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
Fuerza de reacción(N)	0.0103388	59.9925	3.63886e-005	59.9925

### TENSIONES DE VON MISES (Figura 48)

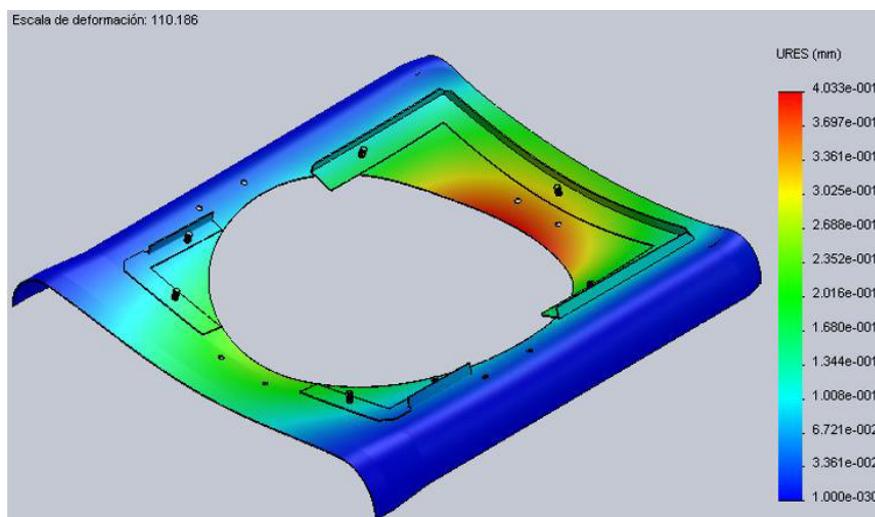
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones de von Mises	VON: Tensión de von Mises	13.5441 N/m <sup>2</sup> Nodo: 78551	3.36402e+007 N/m <sup>2</sup> Nodo: 6113



**Figura 48.- Tapa Superior de la cámara para simulacion-Tensiones**

#### DESPLAZAMIENTOS (Figura 49)

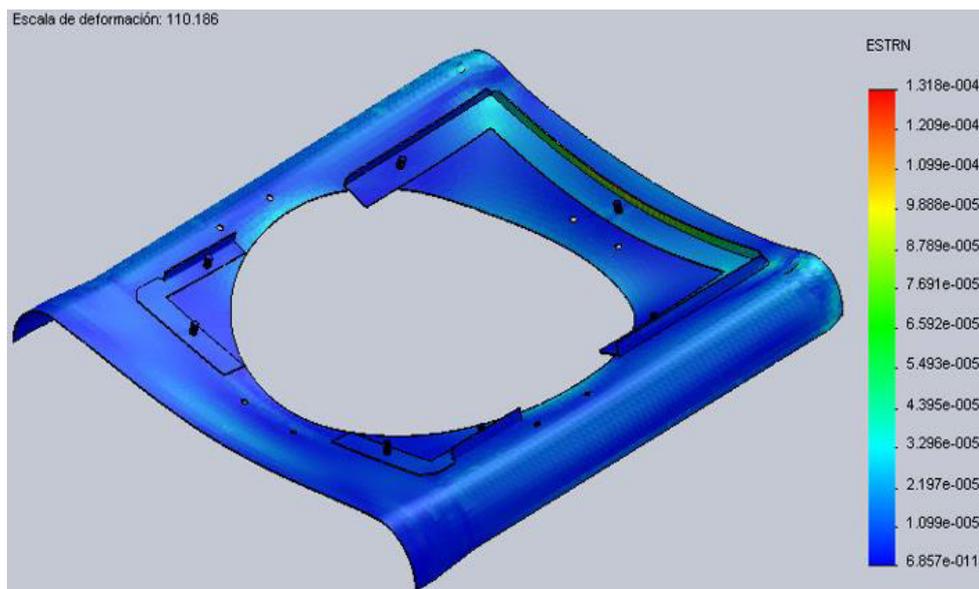
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 16554	0.403269 mm Nodo: 12733



**Figura 49.- Tapa Superior de la cámara para simulacion-Desplazamientos**

#### DEFORMACIONES UNITARIAS (Figura 50)

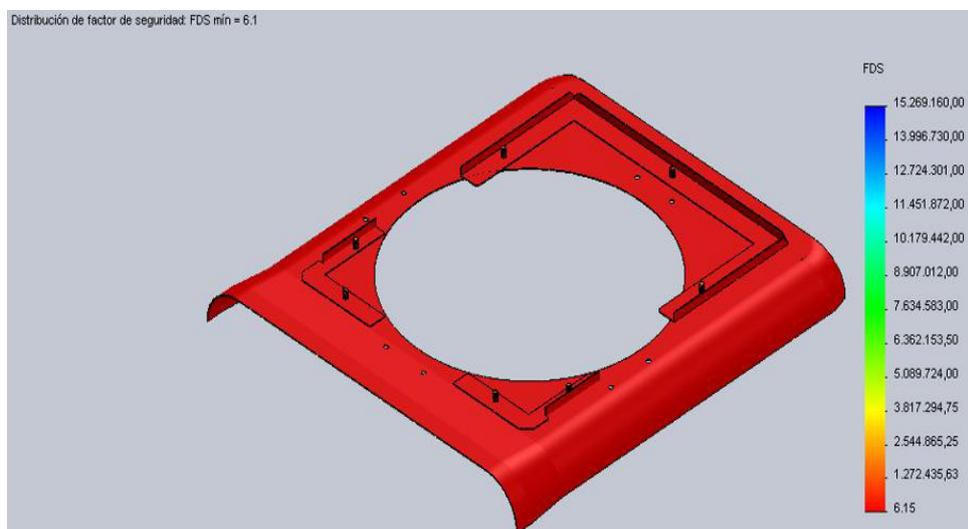
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	6.85728e-011 Elemento: 43854	0.000131841 Elemento: 5453



**Figura 50.- Tapa Superior para simulacion-Deformaciones Unitarias**

#### **FACTOR DE SEGURIDAD (Figura 51)**

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Tensión de von Mises máx.	6.14762	1.52692e+007
		Nodo: 6113	Nodo: 78551



**Figura 51.- Tapa Superior para simulacion-Factor de Seguridad**

**CONCLUSIÓN.-** Determinados los esfuerzos máximos, desplazamientos y deformaciones unitarias se concluye que la tapa superior a una máxima carga de 60[N] (6,2[kg]) no muestra indicios de falla y tiene un factor de seguridad adecuado para el diseño, por tanto el material y geometría son idóneos.

### 3.3.4.2 Simulación de cargas en la estructura de anclaje

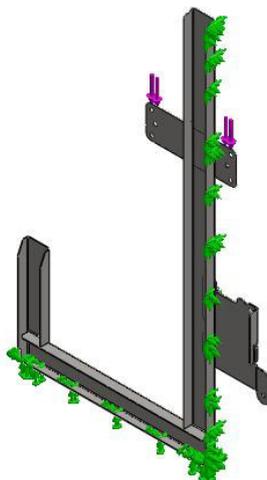
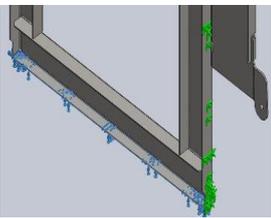
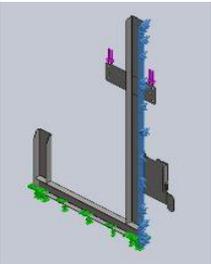


Figura 52.- Diagrama de la estructura de anclaje de la máquina

Propiedades volumétricas				
Masa: 1,794kg; Volumen: 0.000230 m <sup>3</sup> Densidad: 7800 kg/m <sup>3</sup> ; Peso: 17.6 N				
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Propiedades		
Fijo		Nombre:	Acero al carbono no aleado	
		Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal	
		Criterio de error predeterminado:	Desconocido	
		Límite elástico:	2.20594e+008 N/m <sup>2</sup>	
		Límite de tracción:	3.99826e+008 N/m <sup>2</sup>	
FUERZAS RESULTANTES				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.0247759	-0.0243441	0.000553801	0.0347388
Inamovible		Módulo elástico:	2.1e+011 N/m <sup>2</sup>	
		Coefficiente de Poisson:	0.28	
		Densidad:	7800 kg/m <sup>3</sup>	
		Módulo cortante:	7.9e+010 N/m <sup>2</sup>	
		Coefficiente de dilatación térmica:	1.3e-005 /Kelvin	
		Densidad:	7800 kg/m <sup>3</sup>	
FUERZAS RESULTANTES				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.0248023	300.015	-0.000555476	300.015

## FUERZAS DE REACCIÓN EN TODO EL SÓLIDO

Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
N	2.96235e-005	299.99	-1.3914e-006	299.99

## TENSIONES DE VON MISSES (Figura 53)

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	0 N/m <sup>2</sup> Nodo: 16447	1.85841e+007 N/m <sup>2</sup> Nodo: 131

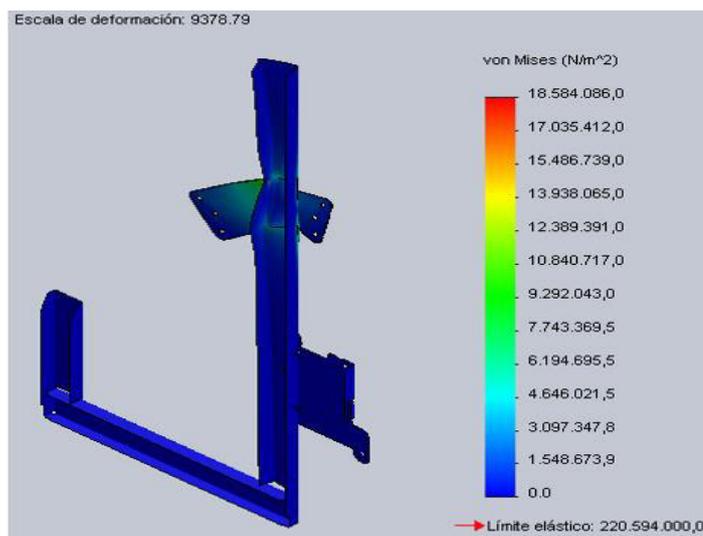


Figura 53.- Estructura de Anclaje para simulacion-Tensiones

## DEPLAZAMIENTOS (Figura 54)

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 13561	0.00830673 mm Nodo: 9066

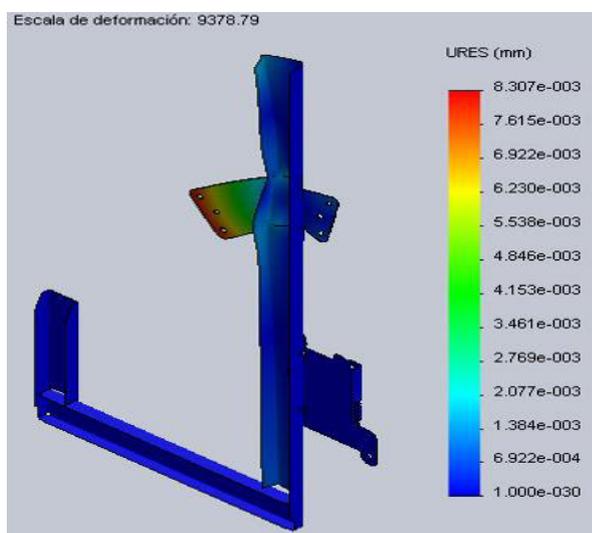
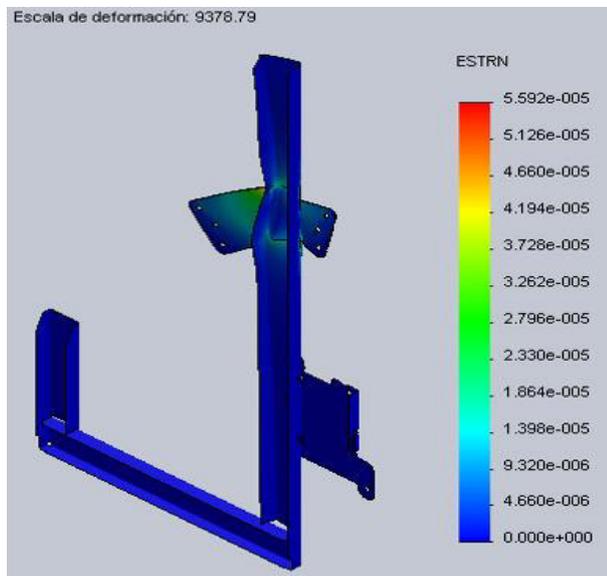


Figura 54.- Estructura de Anclaje para simulacion-Desplazamientos

**DEFORMACIONES UNITARIAS (Figura 55)**

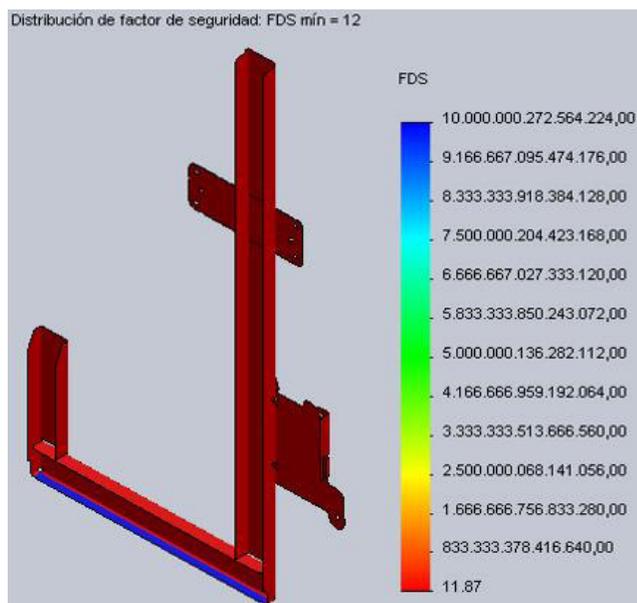
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0 Elemento: 17003	5.59194e-005 Elemento: 3776



**Figura 55.- Estructura de Anclaje para simulacion-Deformación Unitaria**

**FACTOR DE SEGURIDAD (Figura 56)**

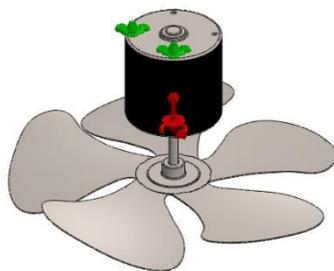
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Tensión de von Mises máx.	11.87 Nodo: 131	1e+016 Nodo: 16447



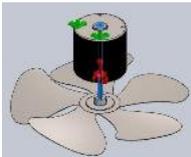
**Figura 56.- Estructura de Anclaje para simulacion-Factor de Seguridad**

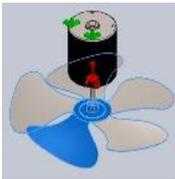
**CONCLUSIÓN.-** Una vez determinados los esfuerzos máximos, desplazamientos y deformaciones se concluye que los pilares de anclaje de la máquina a una máxima carga de 300 [N] (30,5 [kg]) no muestra indicios de falla y tiene un factor de seguridad adecuado para el diseño, por lo tanto, el material y la geometría planteados satisfacen las exigencias del prototipo.

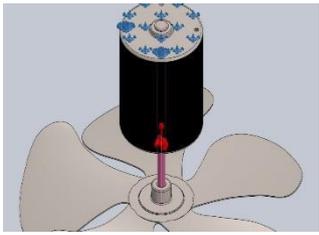
### 3.3.4.3 Simulación de cargas y fatiga en el eje del motor del ventilador



**Figura 57.- Diagrama del ensamblaje del ventilador**

Nombre de documento y referencia	Propiedades volumétricas	Propiedades	
	Masa:0.280991 kg Volumen:3.50057 e-005 m <sup>3</sup> Densidad:8027 kg/m <sup>3</sup> Peso:2.75371 N	Nombre:	AISI 316L Acero inoxidable
		Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
		Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de von Mises
		Límite elástico:	1.7e+008 N/m <sup>2</sup>
		Límite de tracción:	4.85e+008 N/m <sup>2</sup>
		Módulo elástico:	2e+011 N/m <sup>2</sup>
		Coefficiente de Poisson:	0.265
		Densidad:	8027 kg/m <sup>3</sup>
		Módulo cortante:	8.2e+010 N/m <sup>2</sup>
		Coefficiente de dilatación térmica:	1.65e-005 /Kelvin
	Masa:0.0707788 kg Volumen:8.84734 e-006 m <sup>3</sup> Densidad:8000 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.693632 N	Nombre:	AISI 316 Barra de acero inoxidable recocido (SS)
		Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
		Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de von Mises
		Límite elástico:	1.37895e+008 N/m <sup>2</sup>
		Límite de tracción:	5.5e+008 N/m <sup>2</sup>
		Módulo elástico:	1.93e+011 N/m <sup>2</sup>

		Coeficiente de Poisson: 0.3 Densidad: 8000 kg/m <sup>3</sup> Coeficiente de dilatación térmica: 1.6e-005 /Kelvin
	Masa:0.468146 kg Volumen:5.85183 e-005 m <sup>3</sup> Densidad:7999.98 kg/m <sup>3</sup> Peso:4.58783 N	Nombre: AISI 316 Chapa de acero inoxidable (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises Límite elástico: 1.72369e+008 N/m <sup>2</sup> Límite de tracción: 5.8e+008 N/m <sup>2</sup> Módulo elástico: 1.93e+011 N/m <sup>2</sup> Coeficiente de Poisson: 0.27 Densidad: 8000 kg/m <sup>3</sup> Coeficiente de dilatación térmica: 1.6e-005 /Kelvin

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Cargas		
Fijo		CENTRÍFUGA Centrífuga, Ref: Cara< 1 > Velocidad angular: -1100 rpm Aceleración angular: 0 rpm <sup>2</sup> GRAVEDAD Referencia: Planta Valores: 0 0 -9.81 Unidades: SI		
<b>FUERZAS RESULTANTES</b>				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
Fuerza de reacción(N)	-0.117606	8.05405	0.0192952	8.05494

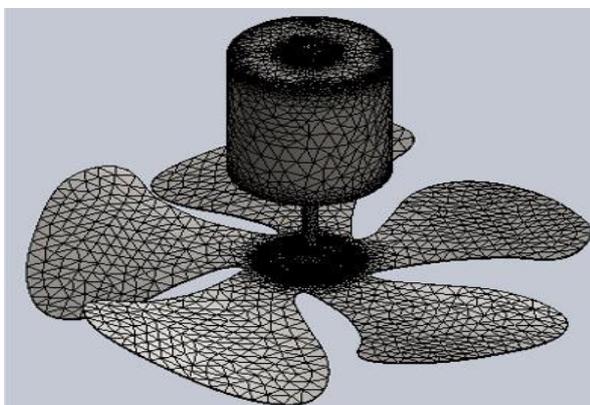


Figura 58.- Malla de los Sólidos.- Ensamble Ventilador

### FUERZAS DE REACCIÓN

Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
N	-0.117606	8.05405	0.0192952	8.05494

### TENSIONES DE VON MISSES (Figura 59)

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	76.4913 N/m <sup>2</sup> Nodo: 6274	1.46943e+008 N/m <sup>2</sup> Nodo: 110818

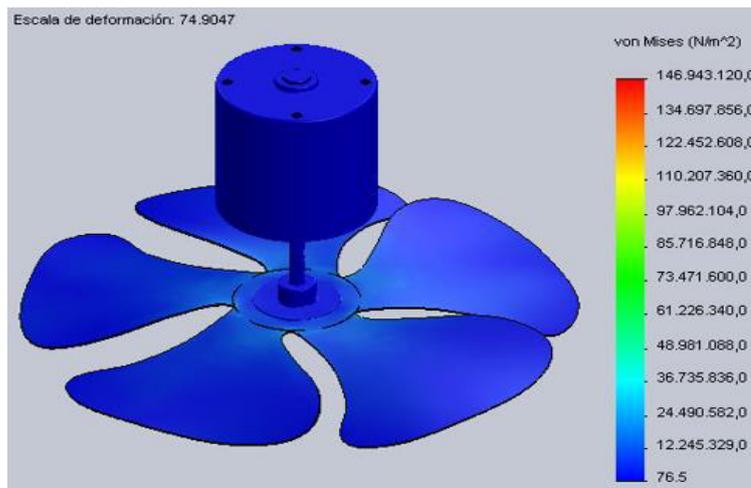


Figura 59.- Ensamblaje del Ventilador – Tensiones

### DEPLAZAMIENTOS DE FIBRAS (Figura 60)

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 250	0.393252 mm Nodo: 110773

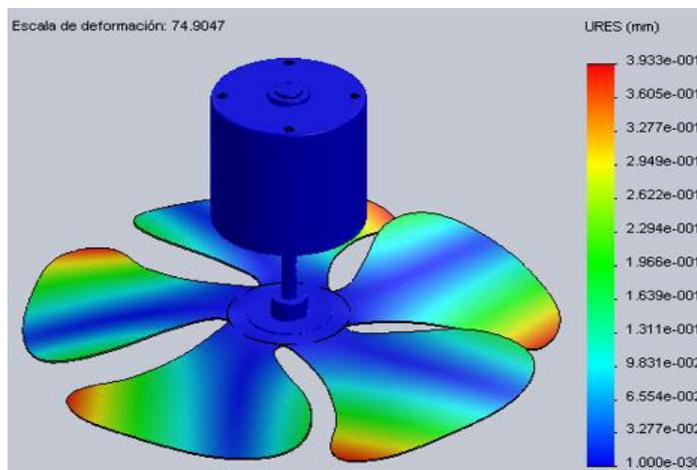
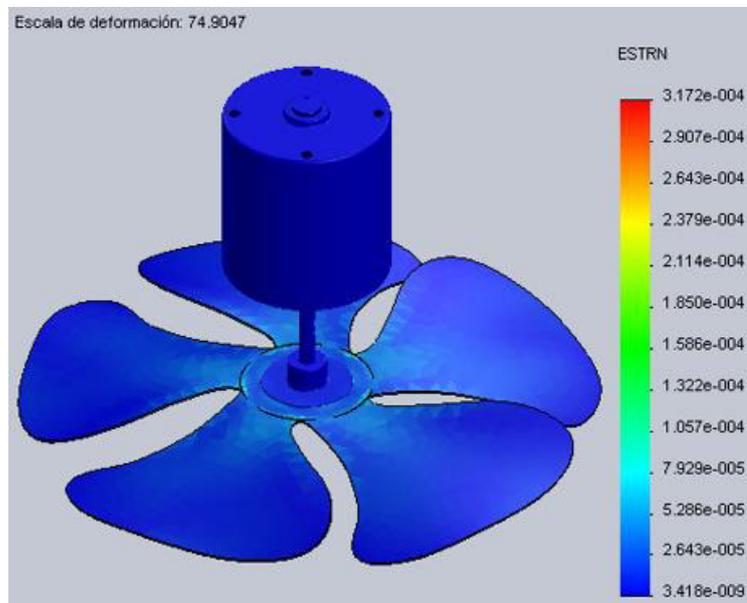


Figura 60.- Ensamblaje del Ventilador – Desplazamientos

**DEFORMACIONES UNITARIAS (Figura 61)**

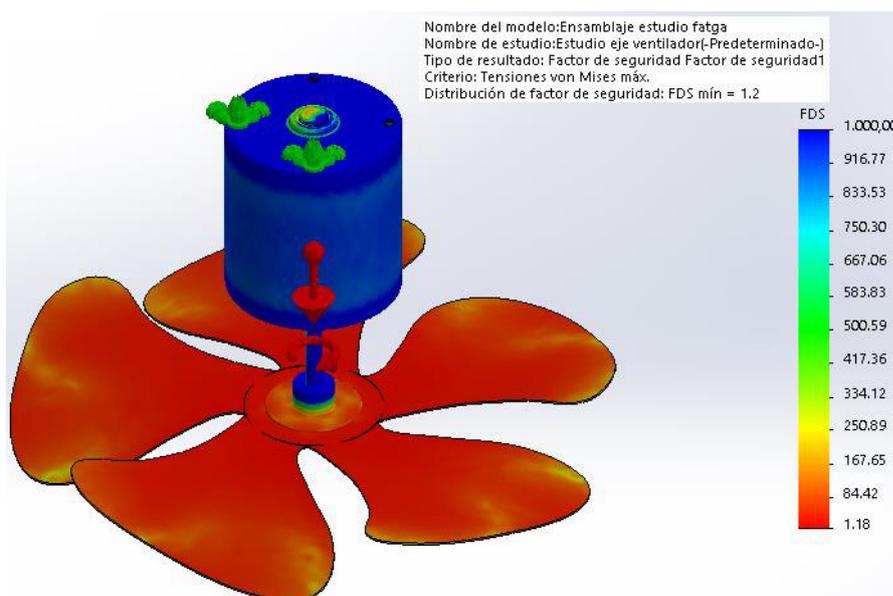
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.41755e-009 Elemento: 5939	0.000317156 Elemento: 60289



**Figura 61.- Ensamblaje del Ventilador – Deformaciones Unitarias**

**FACTOR DE SEGURIDAD (Figura 62)**

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Tensión de von Mises máx.	1.2 Nodo: 110818	2.22248e+006 Nodo: 6274

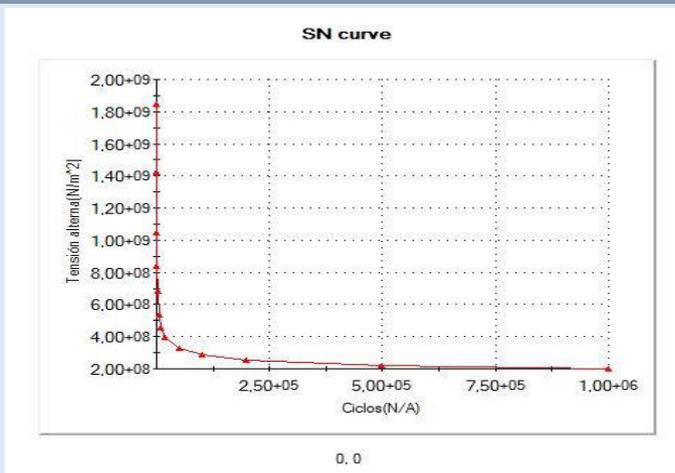


**Figura 62.- Ensamblaje del Ventilador – Factor de Seguridad**

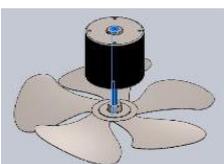
**CONCLUSIÓN.-** Un vez hecho el análisis estático de: esfuerzos máximos, desplazamientos, deformaciones y factor de seguridad y experimentando condiciones de gravedad y fuerza centrífuga en el modelo, se concluye que no muestra indicios de falla, por lo tanto, el siguiente análisis a realizarse será una simulación aplicando el criterio de falla de componentes por fatiga.

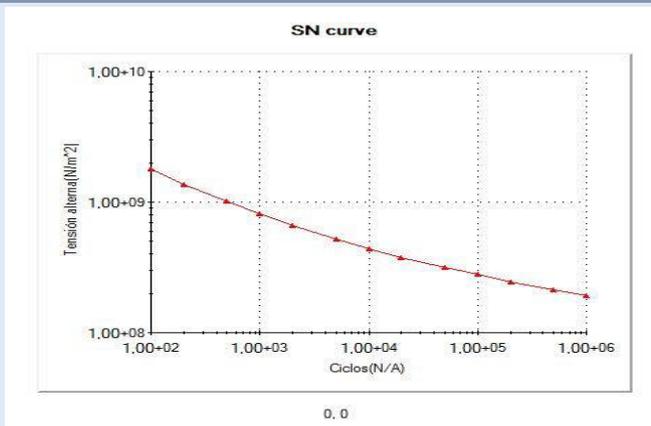
**ANÁLISIS A FATIGA**

Referencia de modelo	Propiedades
	<p>Nombre: AISI 316L Acero inoxidable                      Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal                      Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p>

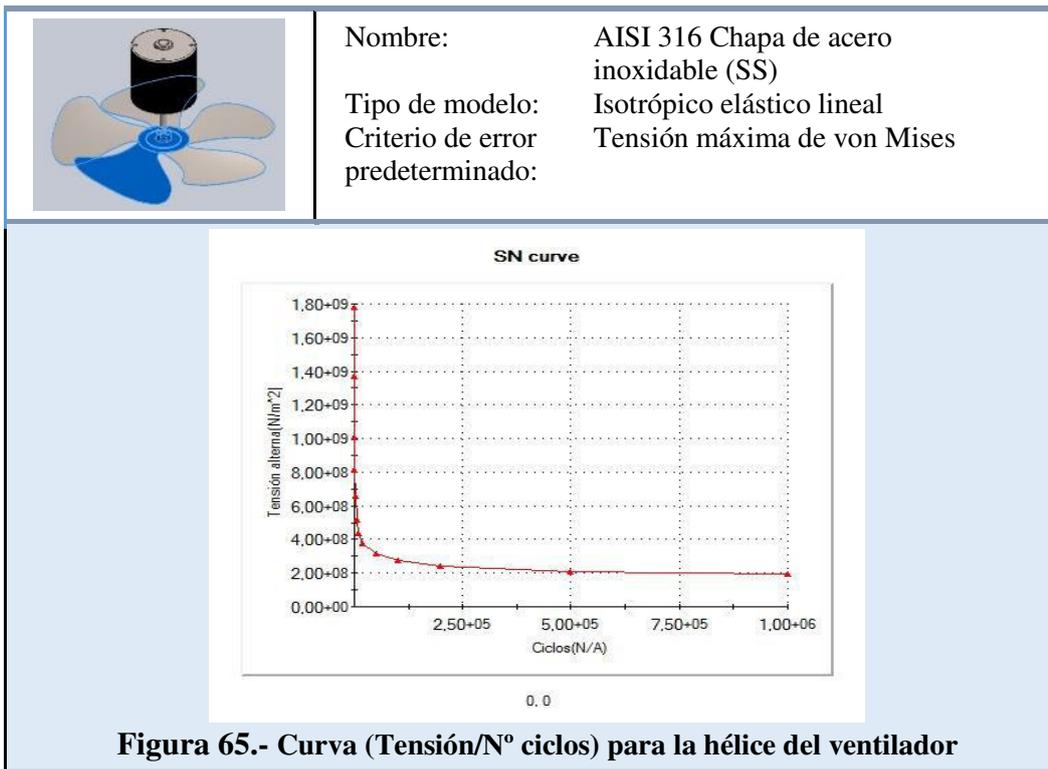


**Figura 63.-** Curva (Tensión/Nº ciclos) para el tambor del motor

	<p>Nombre: AISI 316 Barra de acero inoxidable recocido (SS)                      Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal                      Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p>
---	--



**Figura 64.-** Curva (Tensión/Nº ciclos) para el eje del motor



**Conclusión de las curvas Tensión / N° ciclos.-** Analizando el desarrollo de las curvas para el tambor del motor, eje del motor y hélice del ventilador se observa que tienen misma tendencia (semejante a una curva hiperbólica) de lo cual se puede interpretar que en el arranque del motor (hasta llegar a las rpm específicas) se presenta la mayor tensión, pero conforme avanza el número de ciclos (en el giro del motor) esta tensión tiende a bajar estabilizándose en un valor para cualquier valor de N° ciclos (por grande que éste sea), por tanto nos permite concluir que no se producirá fallo por fatiga en el eje del motor del ventilador. La teoría de fallo por fatiga determina que el fallo se produce entre 1 y 10<sup>6</sup> ciclos, es decir que después de éste valor se considera vida infinita.

A continuación se presentarán los resultados obtenidos en el software CAD Solidworks referente al análisis por fatiga tanto del daño como de la vida del material, partiendo de los siguientes datos:

Nombre del evento	Nº de ciclos	Velocidad del motor	Horas de Trabajo	Tipo de carga
Suceso (Cargas Análisis Estático)	1000000	1500 [rpm]	11 [horas]	Con base en O (LR=0)

### DAÑO POR FATIGA (Figura 66)

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados	Daño acumulado	100; Nodo: 1	100 ; Nodo: 1

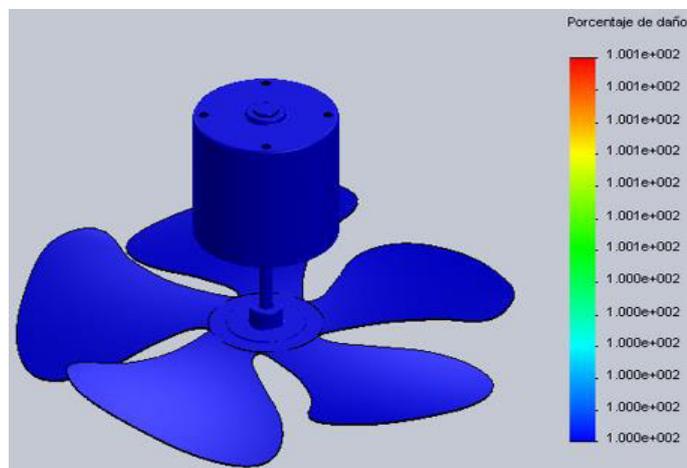


Figura 66.- Ensamblaje del Ventilador – Daño por fatiga

### VIDA DEL MATERIAL (Figura 67)

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados	Vida total	1e+006 ciclos Nodo: 1	1e+006 ciclos Nodo: 1

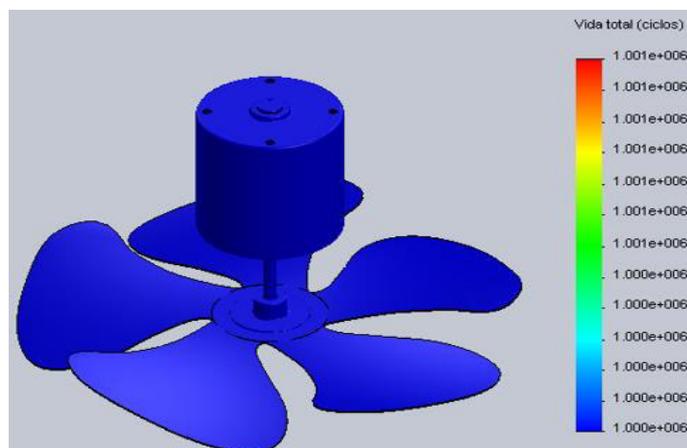


Figura 67.- Ensamblaje del Ventilador – Vida del material

## 3.4 DISEÑO DE COMPONENTES HIDRÁULICOS

Antes de partir con el diseño y selección de los componentes que tengan intervención con agua dentro del prototipo de la lavadora se expondrá el diagrama de los elementos interrelacionados en la Figura 68:

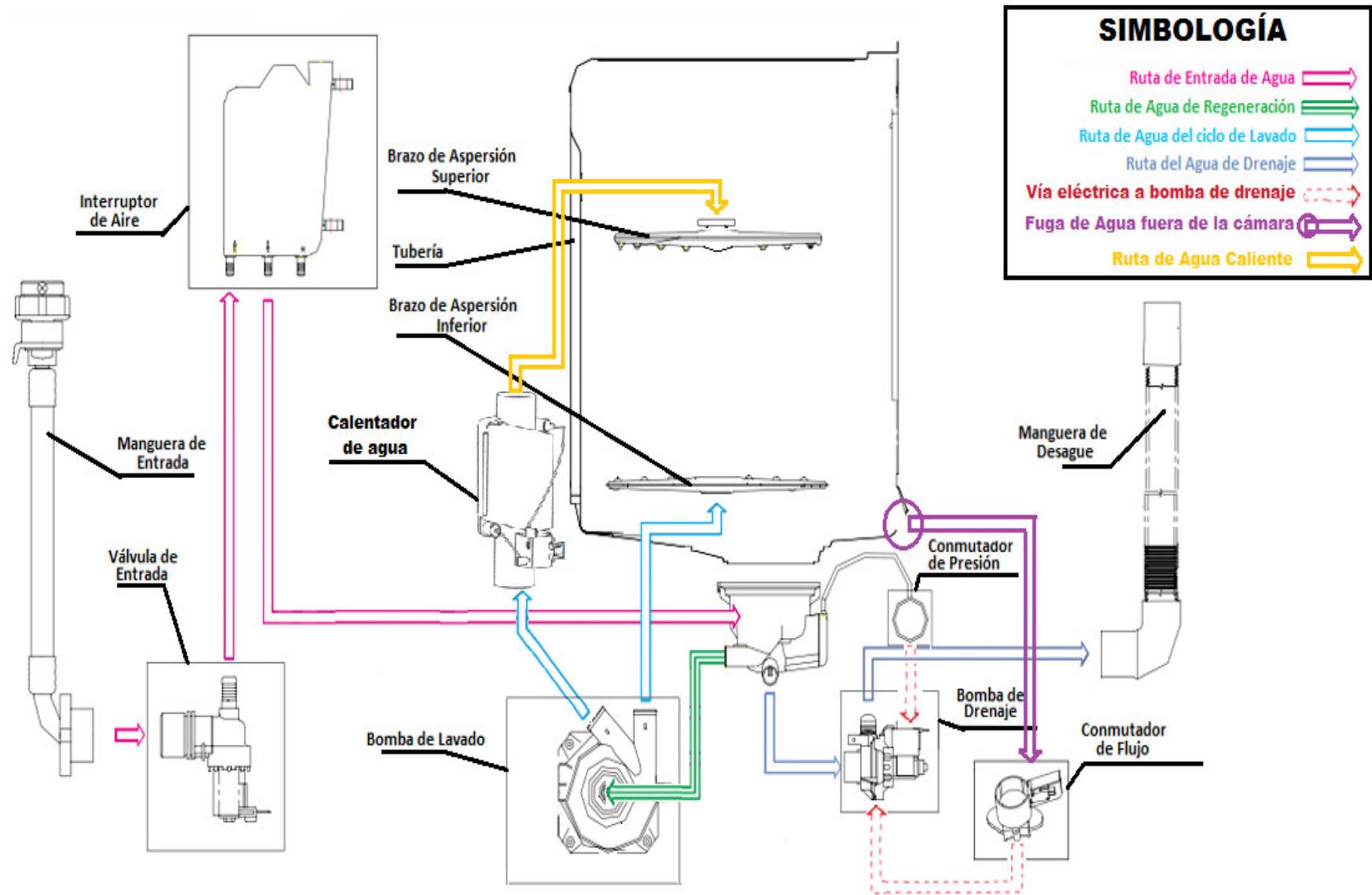


Figura 68.- Esquema del circuito hidráulico instalado

### 3.4.1 Explicación del diagrama hidráulico

#### PROCESO DE ENTRADA DE AGUA (Indicado por la ruta magenta)

La vía principal de admisión de agua se abre. El agua circula a través de la tubería de admisión a la cámara, empozándose en el sumidero. Durante esta fase, el disyuntor de aire actúa para aliviar la tensión por cualquier vacío que se haya generado fruto de algún proceso antiguo.

#### PROCESO DE CICLO DE LAVADO (indicado por la ruta celeste y verde)

La acción del ciclo de lavado es efectuada por el motor de la bomba de lavado. El agua obtiene la velocidad requerida mediante su paso a través de la bomba, siendo circulada a través de las tuberías, por las boquillas hasta ser rociado en el interior mediante los brazos de aspersión sobre las probetas de cristal, luego de lo cual el agua por gravedad se vuelve a alojar en el sumidero, lugar del cual la bomba de lavado vuelve a recircular el agua (ruta verde) reiniciando el ciclo las veces que sean necesarias, éste proceso permite el ahorro tanto de agua como de energía.

#### PROCESO DE CALENTAMIENTO DE AGUA (indicado por la ruta verde)

Durante el ciclo de lavado el agua proveniente de la bomba de lavado que va a ser destinada a rociarse en el brazo de aspersión superior, pasa por un proceso previo de calentamiento (hasta una  $T_{\text{máx}} = 60[^\circ\text{C}]$ ) lo cual se lleva a cabo mediante un dispositivo a base de niquelinas interiores que calientan el agua al ser circulada a través del interior del cuerpo siguiendo el principio de una ducha eléctrica.

#### PROCESO DE DETECCIÓN DE FALLOS (indicado por la ruta púrpura y roja)

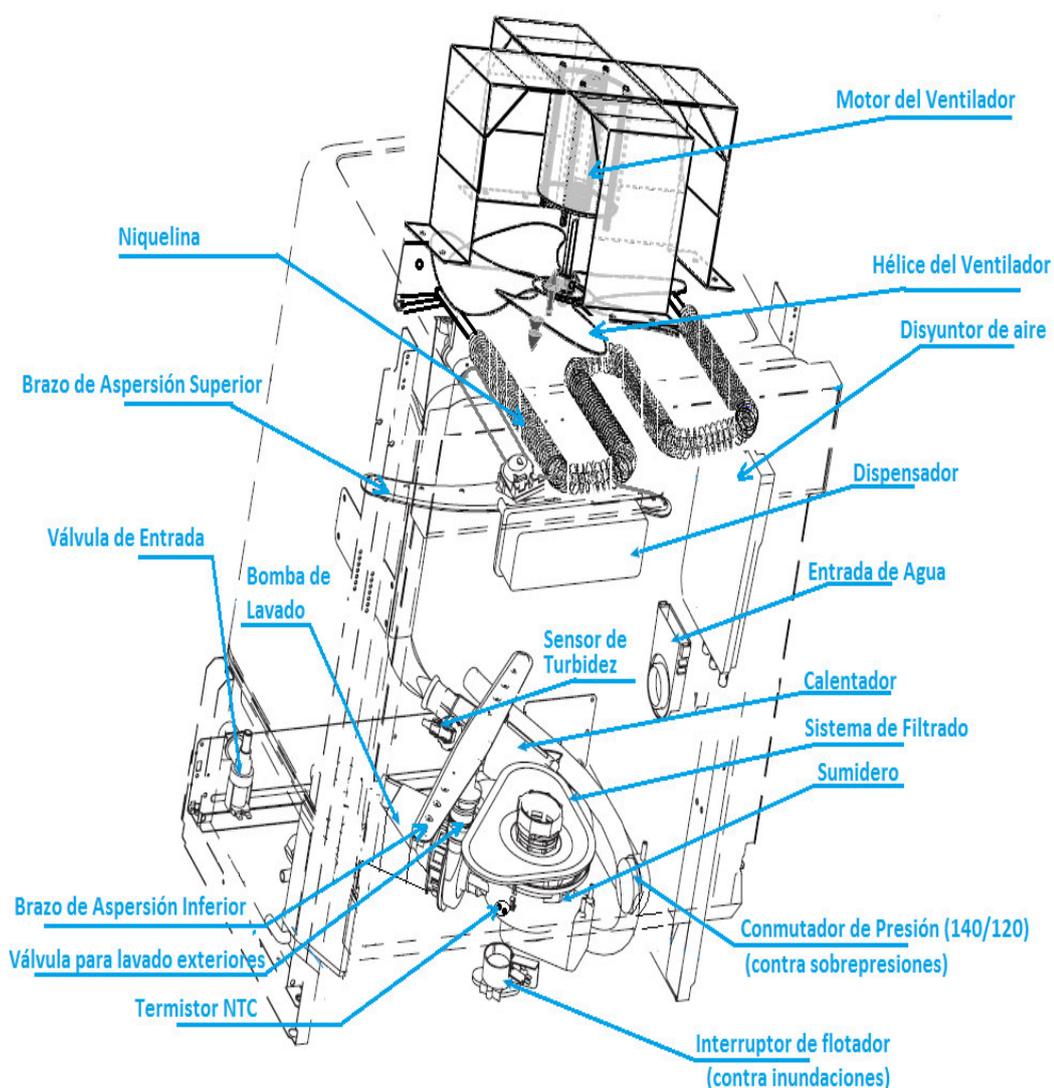
Durante, antes o después del proceso de lavado, en el caso de que existiere alguna fuga o filtración de agua fuera de la cámara principal de lavado (ruta púrpura) existen 2 sensores, el primero detecta una posible inundación en la parte inferior de la máquina (condición peligrosa debido a que allí se aloja toda la parte eléctrica-electrónica), mientras que el segundo sirve como detector de nivel, en el cuál si se excede una presión establecida se envía una señal para accionar la bomba de drenaje (ambos sensores entregan señales eléctricas actuando como conmutadores, la cual se indica con la ruta roja entrecortada).

#### PROCESO DE DRENAJE (indicado por la ruta azul oscuro)

Una vez que se hayan realizado las pruebas de lavado respectivo, y se hayan determinado las mejores condiciones para garantizar un proceso eficiente, se configuran los tiempos de lavado, recirculación y drenaje. Precisamente éste proceso finaliza cada conjunto de ciclos recirculados, es decir, cuando el agua haya sido utilizada y esté muy contaminada será drenada mediante una bomba que conducirá el agua residual al desagüe o cañería, para que agua nueva sea ingresada a la cámara de lavado y se reinicie el ciclo.

### 3.4.2 Distribución de los componentes en la máquina

Es importante antes de dimensionar cada componente, determinar la distribución y correlación física que existe entre cada parte, para lo cual se planteó un bosquejo organizado con la localización de cada dispositivo representado en la Figura 69:



**Figura 69.- Diagrama Explicativo de la localización de los componentes**

### 3.4.3 Selección y dimensionamiento de mangueras, tuberías y válvulas

Partiendo del hecho que la presión nominal máxima del sistema de tuberías doméstica es de 550 [KPa] (Norma NTE INEN 0967 [Grifería]) a un caudal de (aproximadamente 15 lt/min) y conocido que el diámetro de un grifo estándar tiene un valor de  $\frac{3}{4}$ " (19,05[mm]), se procede a calcular la velocidad del fluido (agua) que va a circular a través de la tubería de admisión.

$$Q = \frac{V}{t} = A * v \quad (3.4.1)$$

$$A = \pi * \left(\frac{D^2}{4}\right) \quad (3.4.2)$$

En donde:

Q [m<sup>3</sup>/s] = caudal del fluido

V [m<sup>3</sup>] = Volumen de fluido

t [s] = tiempo

v [m/s]= velocidad de circulación del fluido

A [m<sup>2</sup>] = Área de la sección de la manguera o tubería

D [m] = Diámetro de la manguera o tubería

Calculando parámetros del grifo (referirse a la Figura 70):

$$Q = 15 \left[\frac{lt}{min}\right] * \frac{1(m^3)}{1000(lt)} * \frac{1(min)}{60(s)} = 2,5 * 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s}\right] = 0,9 \left[\frac{m^3}{h}\right]$$

$$A_1 = \pi * \left(\frac{D_1^2}{4}\right) = \pi * \left(\frac{(0,01905)^2}{4}\right) = 2,85 * 10^{-4} [m^2]$$

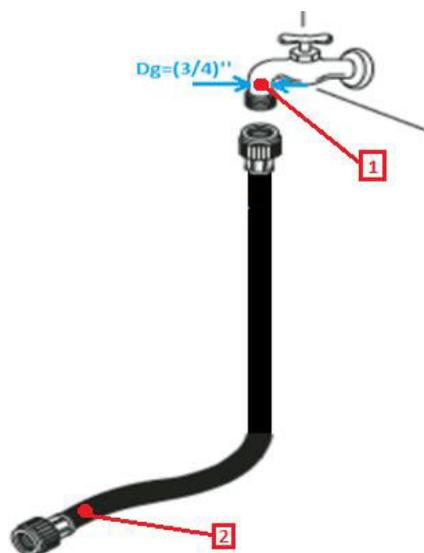
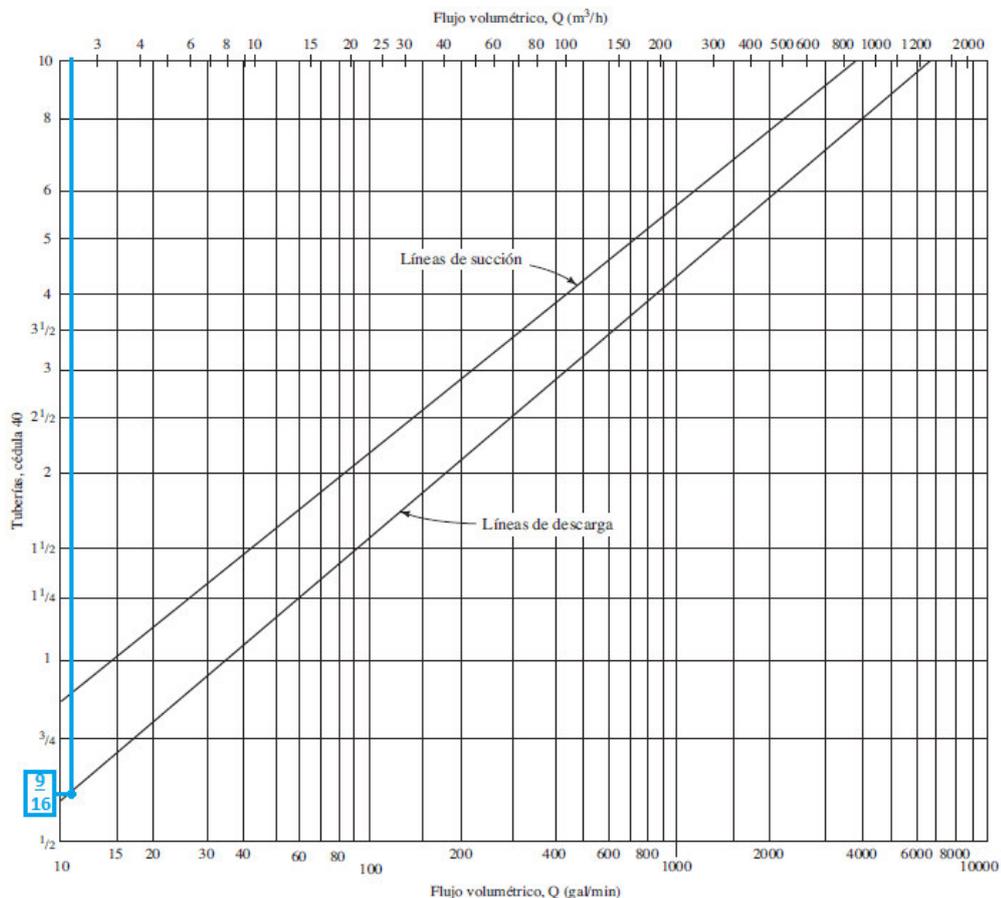


Figura 70.- Diagrama de conexión Grifo - Manguera de Admisión

Partiendo del caudal calculado anteriormente, podemos determinar el diámetro más idóneo para seleccionar la manguera de admisión, para lo cual podemos basarnos en la Figura 71 para tuberías y mangueras tomando como punto de partida el caudal a la salida del grifo en línea de descarga:



**Figura 71.- Grafica de ayuda para seleccionar el tamaño de tuberías (MOTT, 2006)**

Se concluye que para la manguera de admisión de agua es recomendable ( $\varnothing_{int} = 9/16'' = 14,2[mm]$ ), por tanto se consideró colocar una manguera estándar de lavadoras ( $\varnothing_{int} = 14,5[mm]$ ) (Referirse a la Figura 72).



**Figura 72.- Manguera Estándar para lavadoras**

Determinada la manguera de admisión se procede a calcular el área de la sección transversal a la salida de la manguera:

$$A_2 = \pi * \left(\frac{D_2^2}{4}\right) = \pi * \left(\frac{(0,0145)^2}{4}\right) = 1,65 * 10^{-4} [m^2]$$

De la ecuación del caudal se calcula la velocidad inicial del agua del grifo:

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{(2,5 * 10^{-4} [\frac{m^3}{s}])}{0,0285 [m^2]} = 0,877 [\frac{m}{s}]$$

Considerando que el caudal es constante, podemos decir que:

$$Q = A_1 * v_1 = A_2 * v_2 \quad (3.4.3)$$

Despejando:

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{(2,5 * 10^{-4} [\frac{m^3}{s}])}{1,65 * 10^{-4} [m^2]} = 1,52 [\frac{m}{s}]$$

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA						
Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kN/m <sup>2</sup> )	Viscosidad dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial (N/m)
0	9.805	999.8	1.98 · 10 <sup>6</sup>	1.781 · 10 <sup>-3</sup>	1.785 · 10 <sup>-6</sup>	0.0765
5	9.807	1000.0	2.05 · 10 <sup>6</sup>	1.518 · 10 <sup>-3</sup>	1.519 · 10 <sup>-6</sup>	0.0749
10	9.804	999.7	2.10 · 10 <sup>6</sup>	1.307 · 10 <sup>-3</sup>	1.306 · 10 <sup>-6</sup>	0.0742
15	9.798	999.1	2.15 · 10 <sup>6</sup>	1.139 · 10 <sup>-3</sup>	1.139 · 10 <sup>-6</sup>	0.0735
20	9.789	998.2	2.17 · 10 <sup>6</sup>	1.102 · 10 <sup>-3</sup>	1.003 · 10 <sup>-6</sup>	0.0728
25	9.777	997.0	2.22 · 10 <sup>6</sup>	0.890 · 10 <sup>-3</sup>	0.893 · 10 <sup>-6</sup>	0.0720
30	9.764	995.7	2.25 · 10 <sup>6</sup>	0.708 · 10 <sup>-3</sup>	0.800 · 10 <sup>-6</sup>	0.0712
40	9.730	992.2	2.28 · 10 <sup>6</sup>	0.653 · 10 <sup>-3</sup>	0.658 · 10 <sup>-6</sup>	0.0696
50	9.689	988.0	2.29 · 10 <sup>6</sup>	0.547 · 10 <sup>-3</sup>	0.553 · 10 <sup>-6</sup>	0.0679
60	9.642	983.2	2.28 · 10 <sup>6</sup>	0.466 · 10 <sup>-3</sup>	0.474 · 10 <sup>-6</sup>	0.0662
70	9.589	977.8	2.25 · 10 <sup>6</sup>	0.404 · 10 <sup>-3</sup>	0.413 · 10 <sup>-6</sup>	0.0644
80	9.530	971.8	2.20 · 10 <sup>6</sup>	0.354 · 10 <sup>-3</sup>	0.364 · 10 <sup>-6</sup>	0.0626
90	9.466	965.3	2.14 · 10 <sup>6</sup>	0.315 · 10 <sup>-3</sup>	0.326 · 10 <sup>-6</sup>	0.0608
100	9.399	958.4	2.07 · 10 <sup>6</sup>	0.282 · 10 <sup>-3</sup>	0.294 · 10 <sup>-6</sup>	0.0589

**Figura 73.- Propiedades del agua frente a varias temperaturas (Eddy, 2004)**

$$20 [^{\circ}\text{C}]: \quad \rho = 998,2 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] \text{ y } \mu = 1,102 * 10^{-3} \left[\frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}\right]$$

$$40 [^{\circ}\text{C}]: \quad \rho = 992,2 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] \text{ y } \mu = 0,653 * 10^{-3} \left[\frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}\right]$$

$$60 [^{\circ}\text{C}]: \quad \rho = 983,2 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] \text{ y } \mu = 0,466 * 10^{-3} \left[\frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}\right]$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli en la figura 70:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot Z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot Z_2 \quad (3.4.4)$$

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot [v_1^2 - v_2^2] + \rho \cdot g[Z_1 - Z_2]$$

$$P_1 = 550000 + \frac{1}{2}(992,2) \cdot [(0,877)^2 - (1,52)^2] + (992,2) \cdot (9,8)[1]$$

$$P_1 = 558952,87[Pa] = \mathbf{558,9[KPa]}$$

Luego de la manguera de entrada en la tubería del circuito hidráulico tenemos la válvula de entrada, la cual presenta las siguientes características (Figura 74):

### 3.4.3.1 Válvula de entrada

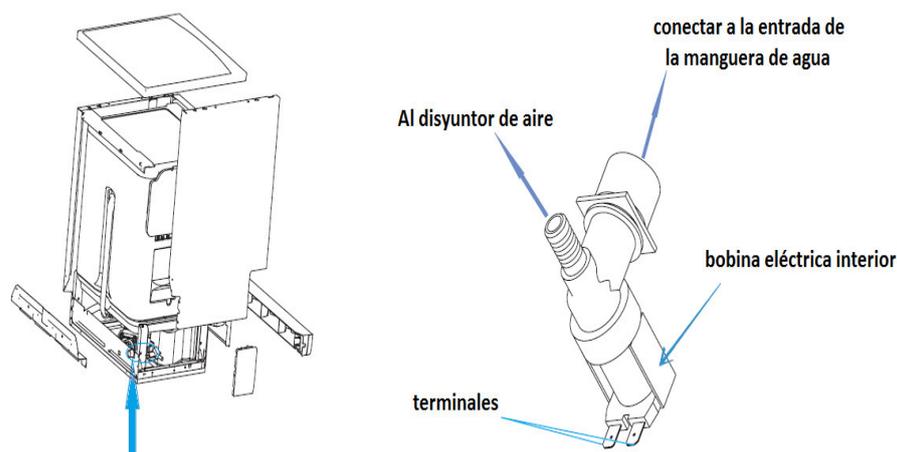


Figura 74.- Válvula de entrada.- Localización y Apariencia

Tabla 79.  
Datos técnicos de la Válvula de entrada

MAGNITUDES	CANTIDAD
<i>Voltaje nominal</i>	(110/220) [Vac]
<i>Frecuencia</i>	(50/60) [Hz]
<i>Resistencia</i>	Apróx: (3,4/4,3) [KΩ]
<i>Turno de trabajo</i>	100%ED T (25°C) 3min/5min T (60°C)
<i>Flujo</i>	4L/min ±15%
<i>Potencia</i>	6 [W]
<i>Presión de trabajo</i>	(0,04/1) [MPa]

Partiendo del hecho que la presión en la salida de la manguera de agua es de 558,9 [KPa], se puede decir que ésta válvula es idónea para ser conectada en la entrada de agua ya que su rango de operación oscila entre (400-1000) [KPa] y su caudal de salida es 4[lt/min] =  $6,67 \cdot 10^{-5}$  [m<sup>3</sup>/s]. Calculando la velocidad del fluido y la presión de flujo después de la válvula de entrada tenemos:

$$Q_{valv-ent} = 4 \left[ \frac{lt}{min} \right] = 6,67 * 10^{-5} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{(6,67 * 10^{-5} \left[ \frac{m^3}{s} \right])}{\frac{\pi * (0,011)^2 [m^2]}{4}} = \mathbf{0,702} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot [v_1^2 \cdot v_2^2]$$

$$P_1 = 558952,8 + \frac{1}{2} (998,2) \cdot [(0)^2 - (0,702)^2] = \mathbf{558,7 [KPa]}$$

A fin de regular la acumulación de presiones que puedan suscitarse dentro de la tubería de entrada (provocada por aire comprimido encerrado) se incorporó un componente que actúa a manera de una válvula de alivio de presiones, denominado disyuntor de aire, el cual disminuye la presión del fluido a nivel atmosférico (1[atm]) y de ésta manera aumenta la vida útil y la eficiencia tanto de componentes hidráulicos como de tuberías en el sistema Figura 75:



**Figura 75.- Disyuntor de aire (aliviador de presiones)**

### 3.4.4 Selección de bombas

Para empezar con el dimensionamiento de las bombas, es preciso analizar las condiciones a las que van a estar sometidas y realizar los cálculos de manera separada tanto para la bomba de desagüe como para la bomba de lavado.

#### 3.4.4.1 Bomba de lavado

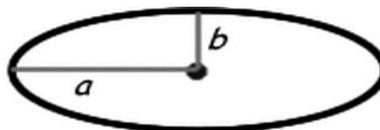
Para el diseño de una bomba se debe tomar en cuenta la geometría de las tuberías que van a transportar el fluido conducido, de manera que se empezará tomando como punto de referencia los brazos de aspersion y posteriormente se analizará la naturaleza y geometría de los 2 conductos por los que la bomba de lavado va a transportar el agua, empezando por el brazo de aspersion superior:

$$\begin{aligned}
 Q_{T \text{ bomba}} &= Q_1 + Q_2 & D_1 &= 22\text{mm} \\
 Q_1 &= \text{brazo asp. superior} & D_2 &= 22\text{mm} \\
 Q_2 &= \text{brazo asp inferior}
 \end{aligned}$$

Para simplificar el diseño y dada la condición de que algunas secciones de tubería para el brazo de aspersion superior son elipses, se propuso lo siguiente:

$$A_e = \pi \cdot a \cdot b \quad (3.4.5)$$

Área de una elipse:  $A_e = \pi \cdot a \cdot b \rightarrow$  Area tubería brazo aspersion



**Acople (espesor= 2 [mm])**

$$2a = 24 \rightarrow a = 12 \text{ mm}; 2b = 14 \rightarrow b = 7 \text{ mm}$$

$$A_{e1} = \pi(0,012\text{m})(0,007\text{m}) = 2,64 \cdot 10^{-4} [\text{m}^2]$$

Se plantea la siguiente igualdad para obtener el diámetro de una circunferencia equivalente y realizar los cálculos para una sola forma de tubería (circular):

$$A_{e1} = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow D_{eq} = 0,018 [\text{m}]$$

**Tubería (espesor= 2mm)**

$$2a = 30 \rightarrow a = 15\text{mm}; 2b=10 \rightarrow b = 5\text{mm}$$

$$Ae_2 = \pi(0,015m)(0,005m) = 2,36 \cdot 10^{-4} [m^2]$$

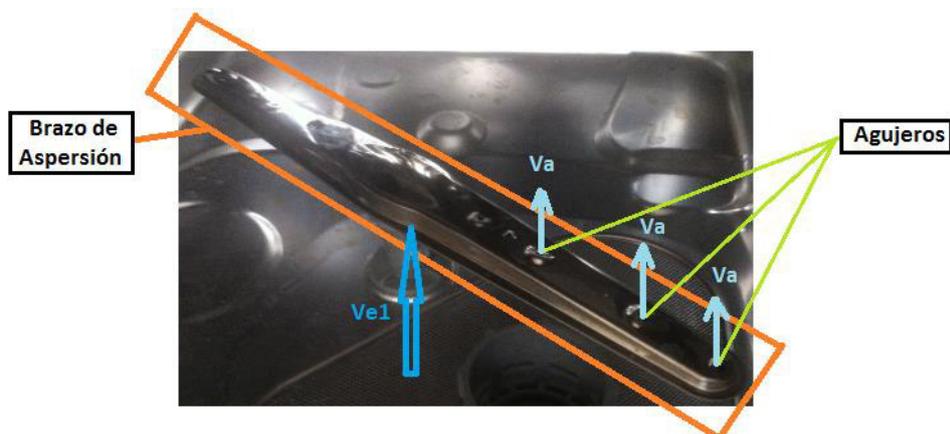
$$Ae = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow D_{eq} = 0,017 [m]$$

Para velocidades de entrada en cada tubo de aspersión se asume  $V_{ent} = 2 \left[ \frac{m}{s} \right]$ .

**Tabla 80 Velocidades de flujo recomendables para sistemas de fluidos**

Tipo de servicio	Rango recomendado de velocidad	
	pie/s	m/s
Líneas de succión	2-4	0.6-1.2
Líneas de retorno	4-13	1.5-4
Líneas de descarga	7-18	2-5.5

Siendo recomendable que para abastecimiento de líquidos, que la velocidad de flujo esté en el rango de (1,2-3) [m/s].



**Figura 76.- Brazo de Aspersión (cuerpo y partes)**

Aspersor Superior: (12 agujeros)

$$Qe_1 = Ae_1 \cdot Ve_1$$

$$\frac{Qe_1}{12} = Qa_1 \rightarrow \frac{Ae_1 \cdot Ve_1}{12} = Aa_1 \cdot Va_1$$

$$Va_1 = \left( \frac{Ae_1}{Aa_1} \right) \left( \frac{Ve_1}{12} \right)$$

Para:  $D_1 = 18mm$ :

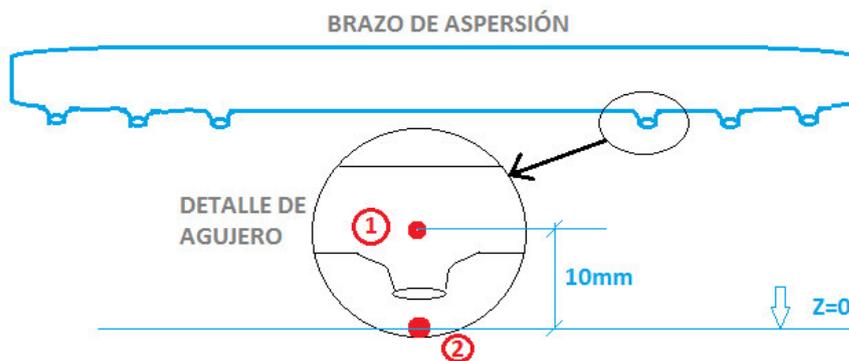
$$Ae_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi(0,018)^2}{4} = 2,545 \cdot 10^{-4} [m^2]$$

$$Ae_1 = \pi \cdot a \cdot b = \pi(0,0015m)(0,00075) = 3,5343 \cdot 10^{-6} (m^2)$$

$$Va_1 = \left( \frac{2,545 \cdot 10^{-4} [m^2]}{3,5343 \cdot 10^{-6} m^2} \right) \left( \frac{2 \left[ \frac{m}{s} \right]}{12} \right) \rightarrow Va_1 = 12 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Por lo tanto  $\rightarrow Qe_1 = Ae_1 \cdot Ve_1$

$$Qe_1 = \left( \frac{\pi(0,018^2)}{4} \right) \left( 2 \frac{m}{s} \right) = 5,09 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 30,6 \left( \frac{lt}{min} \right)$$



$$V_1 = 2 \left[ \frac{m}{s} \right]; V_2 = 13 \left[ \frac{m}{s} \right]; P_2 = 1 [atm] \rightarrow 101,325 [KPa]$$

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot [v_2^2 \cdot v_1^2] + \rho \cdot g [Z_2 - Z_1]$$

$$P_1 = 101325 + \frac{1}{2} (992,2) \cdot [(13)^2 \cdot (2)^2] + (992,2) \cdot (9,8) [-0,010]$$

$$P_1 = 183,084 [Pa] = \mathbf{183,08 [KPa]}$$

Aspersor inferior: (10 agujeros);  $V_{ent} = 5 \left[ \frac{m}{s} \right]$

$$Qe_2 = Ae_2 \cdot Ve_2$$

$$\frac{Qe_2}{10} \rightarrow 1 \text{ agujero}$$

$$\frac{Qe_2}{10} = Qa_2 \rightarrow \frac{Ae_2 \cdot Ve_2}{10} = Aa_2 \cdot Va_2$$

$$Va_2 = \left( \frac{Ae_2}{Aa_2} \right) \left( \frac{Ve_2}{10} \right)$$

Para:  $D_2 = 11mm$ :

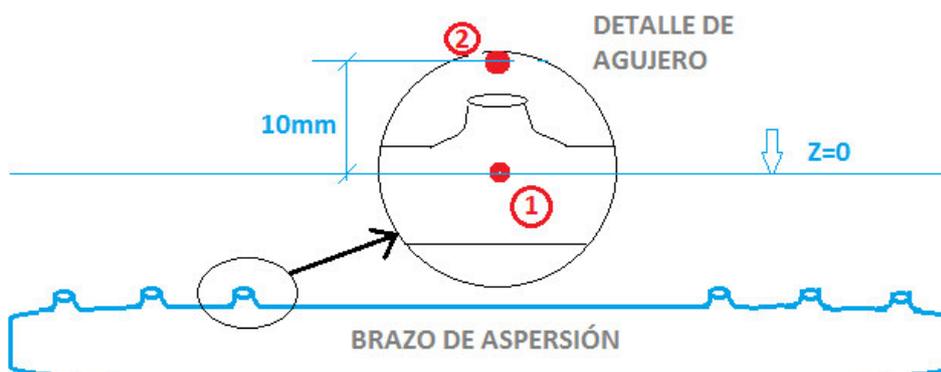
$$Ae_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi(0,011)^2}{4} = 9,5 \cdot 10^{-5} [m^2]$$

$$Aa_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi(0,0025)^2}{4} = 4,91 \cdot 10^{-6} [m^2]$$

$$Va_2 = \left( \frac{9.5 \cdot 10^{-5}}{4.91 \cdot 10^{-6}} \right) \left( \frac{5 \left[ \frac{m}{s} \right]}{10} \right) = 9,67 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$Qe_2 = Ae_2 \cdot Ve_2$$

$$Qe_2 = \left( \frac{\pi(0,011)^2}{4} \right) \left( 2 \frac{m}{s} \right) = 1,9 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 11,404 \left[ \frac{lt}{min} \right]$$



$$P_2 = 1[atm]; V_1 = 5 \left[ \frac{m}{s} \right]; V_2 = 9,67 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot [v_2^2 - v_1^2] + \rho \cdot g[Z_2 - Z_1]$$

$$P_1 = 101325 + \frac{1}{2} (998,2) \cdot [(9,67)^2 - 5^2] + (998,2) \cdot (9,8) [-0,010]$$

$$P_1 = 135615,62[Pa] = \mathbf{135,62[KPa]}$$

De manera que podemos definir el caudal para las prestaciones de la bomba:

$$QT_{bomba} = Q_1 + Q_2 = (30,6 + 11,4) \left[ \frac{16}{min} \right]$$

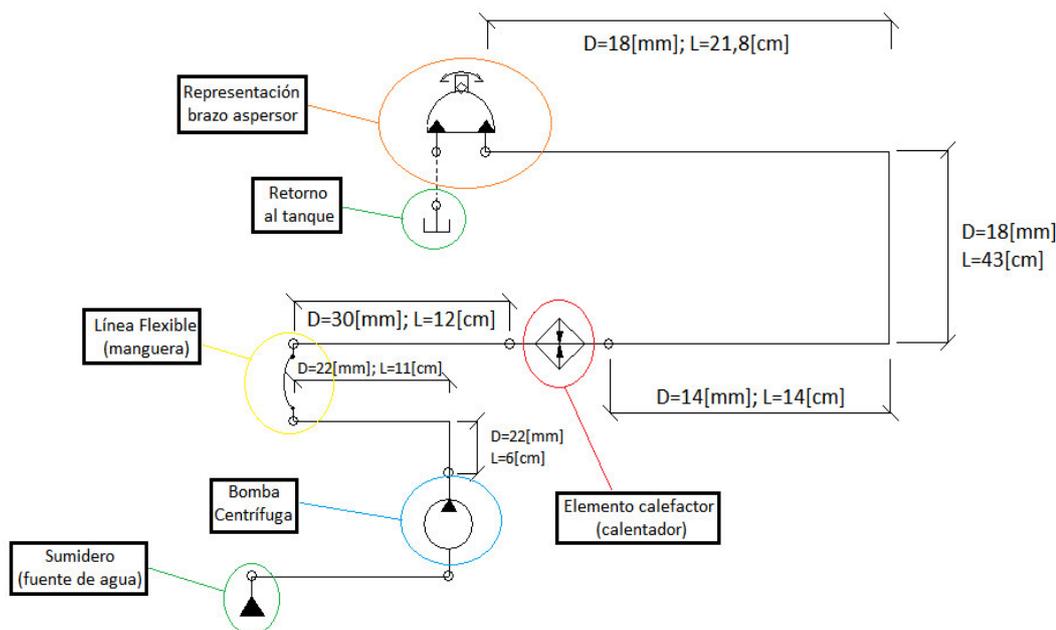
$$\boxed{QT_{bomba} = 42 \left[ \frac{lt}{min} \right] \approx 50 \left[ \frac{lt}{min} \right]}$$

Para el dimensionamiento de la bomba y cálculo de pérdidas, se analizarán los 2 tramos de consumo de agua por separado y para el resultado final se sumará y se determinará las especificaciones finales por el criterio de Hazen-Williams:

$$\text{DATOS: } QT_1 = 32 \left[ \frac{lt}{min} \right] = 1,92 \left[ \frac{m^3}{h} \right] = 5,33 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$T=40[^\circ C]; P_{depósito} = 1[atm] = 101,33[KPa]$$

$$P. final=190[KPa]; H=50[cm] = \mathbf{0,5[m]}$$



**Figura 77.- Diagrama hidráulico de la tubería del aspersor superior**

**ENTRADA 1:** Manguera de hule (caucho):

$$\phi_{int} = (22,30,26)[mm] \text{ (los que se muestran en la figura 77)}$$

$$v = 4 \left[ \frac{m}{s} \right]; \text{ Coeficiente Hazen-Williams } (C = 140);$$

$$L=39[cm]; \epsilon=0,009 \text{ (manning)}$$

Tubería plástica:

$$\phi_{int} = 18[mm]; v = 2 \left[ \frac{m}{s} \right]; C = 150; L = 68,8[cm]; \epsilon = 0,008$$

**ENTRADA 2:** Manguera de hule (caucho):

$$\phi = 22[mm]; v = 5 \left[ \frac{m}{s} \right]; C = 140; L = 9[cm]$$

$$Q=1,9 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right]; \epsilon = 0,009 \text{ (manning)}$$

$$J = 10,679(C)^{-1,85} \cdot (\phi)^{-4,87} \cdot (Q)^{1,85} \quad (3.4.6)$$

$$J_{caucho1} = 10,679(140)^{-1,85} \cdot (0,022)^{-4,87} \cdot (5,33 \cdot 10^{-4})^{1,85} = 0,119$$

$$J_{caucho2} = 10,679(140)^{-1,85} \cdot (0,022)^{-4,87} \cdot (1,9 \cdot 10^{-4})^{1,85} = 0,018$$

$$J_{plástico} = 10,679(150)^{-1,85} \cdot (0,018)^{-4,87} \cdot (5,33 \cdot 10^{-4})^{1,85} = 0,278$$

Pérdidas por fricción:

( 3.4.7 )

$$H_f = J * L$$

Caucho:  $H_{f_{c1}} = J_{c1} \cdot L_{c1} \rightarrow H_{c1} = (0,119)(0,39) = 0,046[m]$

$$H_{f_{c2}} = (0,018)(0,09) = 0,0016[m]$$

Plástico:  $H_{f_p} = (0,278)(0,688) = 0,191[m]$

$$H_{f_{total}} = H_{f_{c1}} + H_{f_p} = 0,046[m] + 0,191[m]$$

$$H_{f_{totalT1}} = 0,237[m]; H_{f_{totalT2}} = 0,0016[m]$$

Reynolds:

( 3.4.8 )

$$Re = \frac{V \cdot \phi}{\mu}$$

Donde: V= velocidad del agua

$\phi$  = diámetro de tubería [m]

$\mu$  = viscosidad cinemática

$$\mu_{(40^{\circ}C)} = 0,658 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{m^2}{s} \right]; \mu_{(20^{\circ}C)} = 1,003 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

Como se conoce que para todos los cálculos se tratará para flujo interno (tuberías), y:

$$Re \leq 2300 \text{ (Flujo Laminar)}$$

$$2300 \leq Re \leq 4000 \text{ (flujo transicional)}$$

$$Re \geq 4000 \text{ (flujo turbulento)}$$

Y para flujo turbulento, el fluido se encuentra totalmente desarrollado en tubería, si:

( 3.4.9 )

$$L_{h,turbulento} = 10D \text{ (Obtenido de Yunus-Cengel)}$$

$$Re_{cau1} = \frac{\left(4 \left[\frac{m}{s}\right]\right) (0,022[m])}{(0,658 \cdot 10^{-5}) \left[\frac{m}{s}\right]} = 133,738 \cdot 10^3$$

Corresponderá el análisis para flujo interno, turbulento y fluido completamente desarrollado, porque  $\phi_{int} = 22[mm]$  y  $L=39[cm]$ .

$$Re_{plast} = \frac{\left(2 \left[\frac{m}{s}\right]\right) (0,018[m])}{(0,658 \cdot 10^{-6}) \left[\frac{m^2}{s}\right]} = 109,422 \cdot 10^3$$

Corresponderá el análisis para flujo interno, turbulento y fluido completamente desarrollado, porque  $\phi_{int} = 18[mm]$  y  $L = 68,8[cm]$ .

$$Re_{cau2} = \frac{\left[5 \left[\frac{m}{s}\right]\right] (0,022[m])}{1,003 \cdot 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s}\right]} = 109,67 \cdot 10^3$$

Corresponderá el análisis para flujo interno, turbulento y fluido en desarrollo, porque  $\phi = 22[mm]$  y  $L = 9[cm]$ .

Por tanto en los 3 tramos analizados se podrán plantear las siguientes correlaciones:

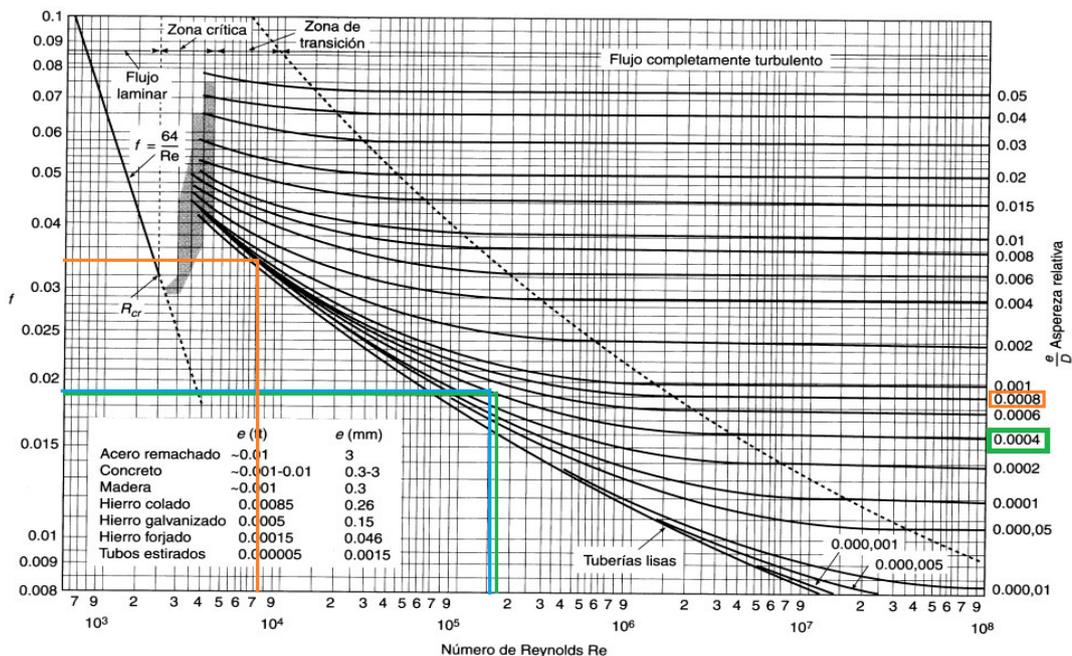
Rugosidad Relativa:

$$R_{rel} = \frac{\epsilon}{\phi * 1000} \tag{3.4.10}$$

$$R_{rel\ cau} = \frac{0,009}{0,022 * 1000} = 0,00041$$

$$R_{rel\ plast} = \frac{0,008}{0,018 * 1000} = 0,00044$$

A partir del diagrama de Moody podemos determinar los coeficientes ‘f’ ingresando con el número de Reynolds (abscisas) y con  $R_{rel}$  (ordenadas):



**Figura 78.- Diagrama de Moody para determinar el factor de fricción (Moody, 1944)**

Por lo tanto:  $f_{\text{caucho } 1,2} = 0,019$ ;  $f_{\text{plástico}} = 0,0192$

### Ensanchamientos y contracciones:

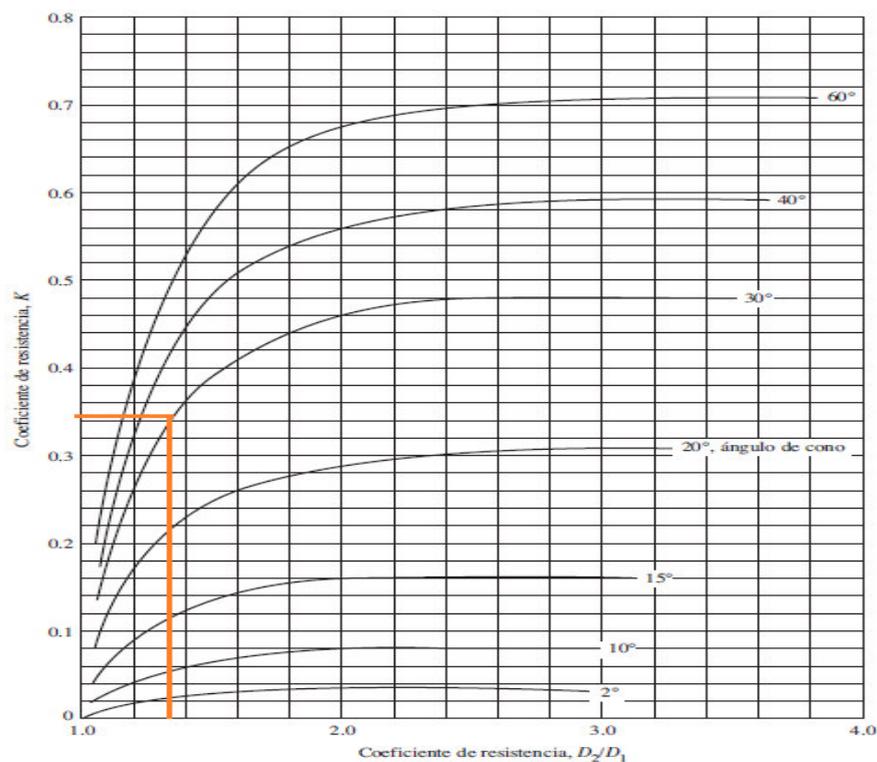


Figura 79.- Coeficiente de resistencia (expansión gradual) (MOTT, 2006)

Caucho (expansión gradual):  $D_1 = 22[\text{mm}]$ ;  $D_2 = 30[\text{mm}]$ ;  $\theta = 30^\circ$

$$\rightarrow \frac{D_2}{D_1} = \frac{30}{22} = 1,36, \text{ con este dato ingresamos en la figura anterior}$$

Y obtenemos:  $K = 0,35$

Caucho (contracción súbita):  $D_1 = 30[\text{mm}]$ ;  $D_2 = 26[\text{mm}]$

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{30}{26} = 1,154; \quad v = 4[\text{m/s}]$$

De la tabla siguiente obtenemos:  $K = 0,08$

**Tabla 81.**  
**Coefficiente de resistencia: Contracción Súbita (Brater, 1963)**

$D_1/D_2$	Velocidad $v_2$								
	0.6 m/s 2 pies/s	1.2 m/s 4 pies/s	1.8 m/s 6 pies/s	2.4 m/s 8 pies/s	3 m/s 10 pies/s	4.5 m/s 15 pies/s	6 m/s 20 pies/s	9 m/s 30 pies/s	12 m/s 40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.30
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
$\infty$	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

Plástico (contracción súbita):  $D_1 = 26[mm]$ ;  $D_2 = 18[mm]$

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{26}{18} = 1,22; \quad v = 2[m/s]$$

De la tabla anterior obtenemos:  $K = 0,07$

**Tabla 82.**  
**Singularidades para tuberías de la bomba de lavado**

SINGULARIDAD	CANTIDAD	COEFICIENTE	VALOR TOTAL (k)
Entrada	2	0,5	1
Codo (caucho) 1	3	1,3	3,9
Codo (plástico)	2	1,3	2,6
Ensanchamiento gradual (caucho) 1	1	0,35	0,35
Contracción súbita (caucho) 2	1	0,08	0,08
Contracción súbita (plástico)	1	0,07	0,07

Pérdidas por singularidades:

$$H_s = \frac{\sum K \cdot V^2}{2g} \cdot \frac{L}{\phi} \cdot f \quad (3.4.11)$$

Donde:  $H_s \rightarrow$  Pérdidas por singularidades

$K \rightarrow$  Coeficiente de pérdida de cada singularidad

$\phi \rightarrow$  Diámetro de tubería;  $g \rightarrow$  Gravedad

$V \rightarrow$  Velocidad del agua

$L \rightarrow$  Longitud de tubería

$f \rightarrow$  Factor de fricción del diagrama de Moody

$$\text{Datos: } L_{cau1} = 43 \text{ [cm]}; L_{plast} = 64,8 \text{ [cm]}; L_{cau2} = 9 \text{ [cm]}$$

$$H_{S_{cau1}} = \frac{(0,5 + 3,9 + 0,35) \cdot \left(4 \left[\frac{m}{s}\right]\right)}{2(9,8)} \cdot \frac{(0,43)}{(0,022)} \cdot 0,019 = 0,36[m]$$

$$H_{S_{plástico}} = \frac{(2,6 + 0,07) \cdot \left(2 \left[\frac{m}{s}\right]\right)}{2(9,8)} \cdot \frac{(0,648)}{(0,018)} \cdot 0,0192 = 0,188[m]$$

$$H_{S_{caucho2}} = \frac{(0,5 + 0,08) \cdot \left(5 \left[\frac{m}{s}\right]\right)}{2(9,8)} \cdot \frac{(0,09)}{(0,022)} \cdot 0,019 = 0,012[m]$$

$$H_{S_{total1}} = H_{S_{cau1}} + H_{S_{plástico}}$$

$$H_{S_{total1}} = 0,36 + 0,188 = \mathbf{0,548[m]}$$

$$H_{S_{total2}} = H_{S_{caucho2}} = \mathbf{0,012[m]}$$

La pérdida por diferencia de altura (Hg) viene dada por la ubicación de la bomba, hasta la ubicación de la tubería:  $\rightarrow Hg = 43 \text{ cm} = 0,43[m]$

$$H_{total1} = H_{f_{total1}} + H_{S_{total1}} + Hg \quad (3.4.12)$$

$$\therefore H_{total1} = 0,237[m] + 0,548[m] + 0,43[m] = \mathbf{1,215[m]}$$

$$H_{total2} = H_{f_{total2}} + H_{S_{total2}} + Hg$$

$$H_{total2} = 0,0016 + 0,012 = \mathbf{0,014[m]}$$

Potencia de la bomba:

**Ecuación de Bernoulli (pérdida total)**

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_b = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_{total}$$

Donde:  $P \rightarrow$  Presión del sistema en el punto

$\rho \rightarrow$  Densidad del agua

$g \rightarrow$  Gravedad

$V \rightarrow$  Velocidad del fluido en el punto

$Z \rightarrow$  Altura del punto de estudio respecto del nivel de referencia

$H_b \rightarrow$  Pérdidas de la bomba

Para tubería 1:

$$HB_1 = (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \left( \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} \right) + ht_1$$

$$HB_1 = (0,43 - 0) + \frac{0^2 - 2^2}{2(9,8)} + \left( \frac{183000 - 101325}{(992,2)(9,8)} \right) + 1,215 = \mathbf{9,8(m)}$$

Para tubería 2:

$$HB_2 = (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \left( \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} \right) + ht_1$$

$$HB_2 = (0,09 - 0) + \frac{0^2 - 5^2}{2(9,8)} + \left( \frac{135610 - 101325}{(992,2)(9,8)} \right) + 0,014 = \mathbf{2,3(m)}$$

$$P_1 = HB_1 * \gamma * Q_1; \text{ Donde: } (\gamma = \rho * g) \quad \mathbf{(3.4.13)}$$

$$P_1 = (9,8[m]) \left( 992,2 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \right) \left( 9,8 \frac{m}{s^2} \right) (5,3 \cdot 10^{-4}) \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$P_1 = 50,4 \left[ \frac{kg \cdot m^3}{s^2 \cdot s} \right] = \left[ \frac{J}{s} \right] \rightarrow \mathbf{P_1 = 50,4[w]}$$

$$P_2 = HB_2 \cdot \gamma \cdot Q_2$$

$$P_2 = (2,3[m]) \left( 992,2 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \right) \left( 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] \right) (1,9 \cdot 10^{-4}) \left[ \frac{m^3}{s} \right] = \mathbf{4,2[w]}$$

Eficiencia:  $\eta = 0,9 \quad (90\%)$

$$P_{N-bomba} = P_1 + P_2$$

$$P_{N-bomba} = 50,4 + 4,2 = \mathbf{54,6[w]}$$

$$P_{N-bomba} = P_B \cdot \eta \quad \mathbf{(3.4.14)}$$

$$P_B = \frac{54,6}{0,9}$$

$$\boxed{P_{B-bomba} = 60,6 [w]}$$

**Tabla 83.**  
**Datos técnicos de la Bomba de lavado**

ÍTEMS	Welling YXW45-2F
<i>Voltaje nominal</i>	(110/220) [Vac]
<i>Frecuencia</i>	(50/60) [Hz]
<i>Resistencia</i>	Bobina principal: (93,10±7%) [Ω] Bobina asistente: (95,99±7%) [Ω]
<i>Altura de salida (entrega)</i>	1,5 [m]
<i>Rendimiento de salida (entrega)</i>	≥ 60 l/min
<i>Corriente de bloqueo del rotor</i>	(1,2[A] ±10%)
<i>Corriente de operación</i>	(0,95[A] ±10%)
<i>Capacitor</i>	10[μF] ±5%; (50/60)[Hz]
<i>Potencia de la Bomba</i>	(1/8 [HP] ≈ 93[W])

Por lo tanto se concluye que la bomba seleccionada para la función de lavado cumple con los requerimientos establecidos para el sistema. La bomba implementada de ilustra en la Figura 80:



**Figura 80.- Bomba de Lavado Implementación en Tubería**

#### 3.4.4.2 Bomba de drenaje

Ya que se trata de una bomba de drenaje, para el diseño se partió de:

$$V = 1 \left[ \frac{m}{s} \right]; D_{int} = 20[mm]$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = \left( \frac{(\pi(0,02)^2)}{4} \right) [m^2] * \left( 1 \left[ \frac{m}{s} \right] \right) = 3 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 18 \left[ \frac{lt}{min} \right]$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \rho g Z_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \rho g Z_2$$

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho[V_2^2 - V_1^2] + \rho g(Z_2 - Z_1)$$

$$P_1 = 101325 + \frac{1}{2}(992,2)[0^2 - 1^2] + (992,2)(9,8)(-1)$$

$$P_1 = 92,097,54[P_a] = 92,1[KPa]$$

Tubería plástica (datos):

$$\phi_{int} = 20[mm]; V=1\left[\frac{m}{s}\right]; C=150; L = 187[cm]; \epsilon = 0,008$$

$$J = 10,679C^{-1,85}\phi^{-4,87}.Q^{1,85}$$

$$J = 10,679(150)^{-1,85}.(0,02)^{-4,87}.(3,14.10^{-4})^{1,85} = 0,062$$

$$Hf = J.L = (0,062)(1,87[m]) \rightarrow Hf = 0,11[m]$$

$$Re = \frac{V.\phi}{\mu} = \frac{\left(1\frac{m}{s}\right)(0,02[m])}{0,658.10^{-6}\left[\frac{m^2}{s}\right]} = 30,4.10^3$$

Corresponderá el análisis para flujo interno, turbulento y fluido en desarrollo, porque  $\phi = 20[mm]$  y  $L = 187[cm]$ .

Por tanto en los 3 tramos analizados se podrán plantear las siguientes correlaciones:

$$R_{rel} = \frac{\epsilon}{\phi.1000_T} = \frac{0,009}{(0,02)(1000)} = 0,00045$$

En base al diagrama de Moody de la figura 75:  $f = 0,018$

**Tabla 84.**  
**Singularidades para tuberías de la bomba de desagüe**

SINGULARIDAD	CANTIDAD	COEFICIENTE	VALOR TOTAL (k)
Entrada	1	0,5	1
Salida	1	1	1
Codo	2	1,3	2,6

$$H_s = \frac{\sum K.V^2}{2g} \cdot \frac{L}{\phi} \cdot f$$

$$H_s = \left(\frac{(4,1)(1)^2}{2(9,8)}\right) \cdot \left(\frac{1,87}{0,02}\right) (0,018) = 0,35[m]; H_g = 1[m]$$

$$H_{Total} = H_f + H_s + H_g = (0,11 + 0,35 + 1) \rightarrow H_{Total} = 1,4[m]$$

$$H_B = (Z_2 - Z_1) + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} + \frac{(P_2 - P_1)}{\rho g} + h_T$$

$$H_B = (1) + \frac{(1^2 - 0^2)}{2(9,8)} + \frac{(92097,54 - 101325)}{(992,2)(9,8)} + 1,4$$

$$H_B = 1,5[m]$$

$$P = H_B \cdot \gamma \cdot Q$$

$$P = (1,5[m]) \left( 992,2 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \right) \left( 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] \right) \left( 3,14 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \right)$$

$$P_N = 4,58[w]$$

$$si \eta = 0,8 \text{ (80\%)}$$

$$P_B = \frac{P_N}{\eta} = \frac{4,58[w]}{0,8}$$

$$\boxed{P_B = 5,72[w]}$$

**Tabla 85**  
**Datos técnicos de la Bomba de drenaje**

MAGNITUD	CANTIDAD
<i>Voltaje nominal</i>	(110/220) [Vac]
<i>Frecuencia</i>	(50/60) [Hz]
<i>Resistencia</i>	(150 a 220) [ $\Omega$ ]
<i>Altura de salida (entrega)</i>	1 [m]
<i>Rendimiento de salida (entrega)</i>	$\geq 18$ [l/min]
<i>Potencia Nominal</i>	<b>6 [W]</b>

Por lo tanto se concluye que la bomba seleccionada para el drenaje cumple con los parámetros establecidos de diseño para la máquina.



**Figura 81.- Bomba de drenaje, apariencia real (3 vistas)**

### 3.4.5 Selección del termo-actuador del dispensador (jabonera)

El dispensador es el componente muy importante, ya que es el encargado del almacenaje y suministro tanto del detergente como del agente de enjuague (abrillantador) en los procesos de lavado. Este dispositivo fue reciclado de la lavadora antigua de la que se partió para el diseño, sin embargo para comprender el funcionamiento del mismo, podemos explicar de manera general el funcionamiento del mismo.

El dispensador está compuesto de un termoactuador (elemento principal del dispensador), un mecanismo que comunica el movimiento del termoactuador a las compuertas que abren los almacenadores de detergente y abrillantador y de un sensor (interruptor magnético + imán flotador) que detecta la presencia o ausencia de líquido abrillantador en el dispensador.

El termoactuador es un dispositivo provisto de un piezoeléctrico, un muelle o resorte de retorno y el termoactuador propiamente dicho que al ser alimentado por corriente eléctrica (AC) aumenta la temperatura y se dilata, extendiendo un vástago y permitiendo la salida del mismo para empujar el mecanismo y abrir las compuertas dispensadoras (Figura 82).

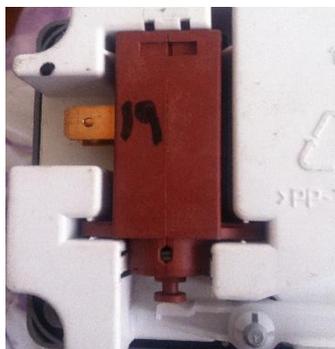
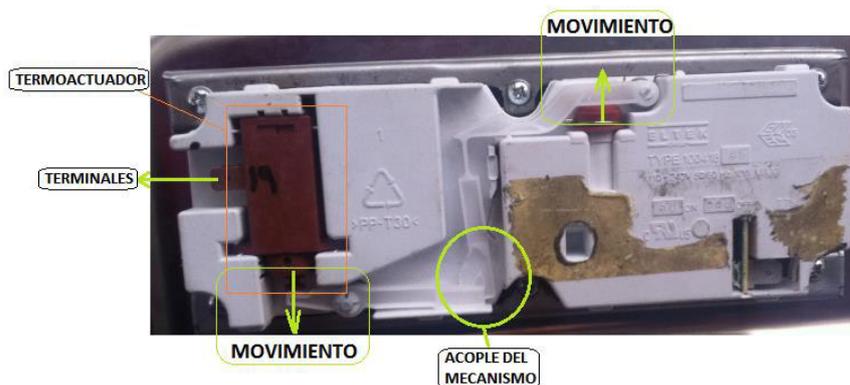


Figura 82.- Termoactuador

**Tabla 86**  
**Datos técnicos del termoactuador**

<b>MAGNITUD</b>	<b>CANTIDAD</b>
<i>Voltaje nominal</i>	(110/220) [Vac]
<i>Frecuencia</i>	(50/60) [Hz]
<i>Resistencia</i>	(≈1200) [ $\Omega$ ]
<i>Potencia Nominal</i>	10 [w]



**Figura 83.- Mecanismo del dispensador**

### 3.5 DISEÑO DE COMPONENTES POR TRANSFERENCIA DE CALOR

#### 3.5.1 Selección del calentador de agua

Dada la condición que se dispone de una lavadora antigua, la misma que tenía incorporado un calentador de agua, el cual después de ser sometido a pruebas para determinar su correcto funcionamiento, dio como resultado un desempeño adecuado para la aplicación en el prototipo, por tanto se decidió mantener dicho calentador a fin de simplificar el diseño, construcción y abaratar costos, no obstante para posibles mejoras o cambios posteriores de la máquina se presentará las especificaciones técnicas y una fotografía del calentador en la tubería (Figura 84).

**Tabla 87.**  
**Datos técnicos del Calentador de Agua**

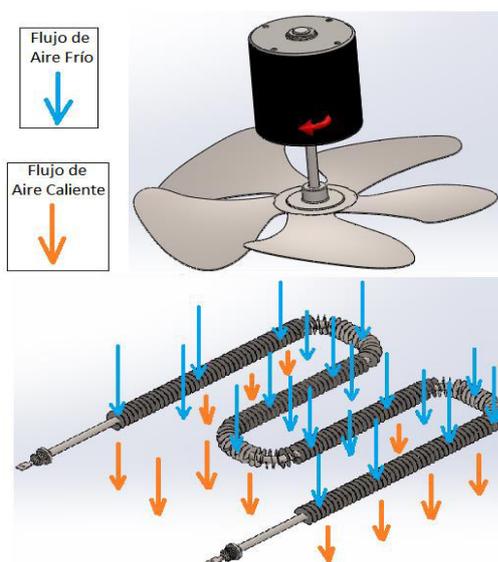
MAGNITUD	CANTIDAD
<i>Voltaje nominal</i>	110/220 [Vac]
<i>Potencia nominal</i>	1800 [W]
<i>Resistencia</i>	(29.265±1.463) [ $\Omega$ ]
<i>Termostato 1</i>	98 [°C]
<i>Termostato 2</i>	229 [°C]



**Figura 84.- Calentador de agua implementado**

### 3.5.2 Análisis de convección forzada (Selección de Niquelina y Ventilador)

El sistema de secado y desinfección para el prototipo de la máquina lavadora, se desarrolla mediante el fenómeno de convección forzada, en el cual el aire conducido por un ventilador es obligado a pasar a través de una niquelina (resistencia eléctrica) a una alta temperatura entregando aire a una temperatura resultante a fin de realizar ya sea el secado o desinfección de probetas. Para empezar con el diseño se parte de la implementación de un ventilador comercial con un motor a 110V, de 1500 [rpm], cuyo diámetro de aspas es 12'' (305[mm]) con un pitch (ángulo de ataque de las hojas) de 24°. Este dispositivo se utiliza principalmente en la ventilación para extraer o inyectar aire, o sistemas de refrigeración o calefacción, lo cual lo hace idóneo para este prototipo. Se ilustra en la Figura 85:



**Figura 85.- Diagrama de elementos que intervienen en la convección forzada**

Para determinar la cantidad de energía necesaria para calentar el aire que fluye hacia la cámara de lavado desde los 20 [°C] hasta una temperatura final, se determina el diámetro efectivo utilizado del ventilador para inyectar el aire a través de la niquelina:

$$\Phi_{efectivo} = \Phi_{aspas} = \Phi_{total} - \Phi_{núcleo} \quad (3.5.1)$$

$$\Phi_{aspas} = 305(mm) - 60(mm) = 245[mm]$$

$$\rightarrow \Phi_{aspas} [pulg] = 9,65''$$

Realizando el análisis para el secado, con el ventilador tenemos que:

$$\Phi_{aspa} = 245[mm] = 0,245[m]$$

$$V_{aire} = \frac{\phi_{aspas.RPM.\pi}}{720} \quad (3.5.2)$$

$$V_{aire} \left( \frac{pies}{s} \right) = \frac{(9,65) * (1500) x \pi}{720} = 63,16 \left[ \frac{pies}{s} \right]$$

$$63,16 \left[ \frac{pies}{s} \right] \left[ \frac{12 pulg}{1 pie} \right] \left[ \frac{0,0254 m}{1 pulg} \right] \rightarrow V_{aire} = 19,251 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$\phi_{tubo} = 8mm; \phi_{aleta} = 22mm$$

$$\phi_{prom} = \frac{\phi_{tubo} + \phi_{aleta}}{2} = \frac{30[mm]}{2} = 0,015[m]$$

Aire: Temperatura 20°C

$$Velocidad = 19,25 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

En el control de la niquelina están configurados los siguientes valores:

Para el secado: (T=60[°C]); para la desinfección: (T=90[°C])

Para el aire:

$$R_1 = \frac{1}{h_{\infty} A_o} \rightarrow A_o = 2\pi \cdot r_o \cdot L \quad (3.5.3)$$

$$L = 2(280) + 2(220) + 2(90) + 80 = 1260[mm]$$

$$L = 1,26[m]$$

$$A_o = (2\pi) \cdot (7,5 \cdot 10^{-3}[m]) \cdot (1,26[m]) = 0,0594[m^2]$$

Para poder plantear las correlaciones para el cálculo de los elementos que intervienen en la convección forzada es preciso definir la temperatura de película a la cual se va a trabajar:

$$T_{película} = T_{media} = \frac{T_{máx} + T_{min}}{2} \quad (3.5.4)$$

$$T_{película} = \frac{90 + 20}{2} = 55[°C] = 328,15[°K]$$

**Tabla 88.**  
**Datos para el aire a presión atmosférica (Incropera, 1999)**

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m <sup>2</sup> )	$v \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709

Interpolando:

$$\frac{(350 - 328,15)}{(328,15 - 300)} = \frac{0,995 - \rho}{\rho - 1,1614} \rightarrow \rho_{55^\circ C} = 1,07 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\frac{(350 - 328,15)}{(328,15 - 300)} = \frac{208,2 - u}{u - 184,6} \rightarrow u_{55^\circ C} = 197,89 \left[ \frac{kg}{m \cdot s} \right]$$

$$\frac{(350 - 328,15)}{(328,15 - 300)} = \frac{0,707 - Pr}{Pr - 0,7} \rightarrow Pr_{55^\circ C} = 0,704 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$T [^\circ C]$	$\mu \left[ \frac{kg}{m \cdot s} \right]$	$\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$	$Pr$
20	$1,825 \cdot 10^{-5}$	1,204	0,7309
55	$1,979 \cdot 10^{-5}$	1,07	0,704

$$Re = \rho \cdot V_{\text{aire}} \cdot \frac{d}{\mu}$$

$Re \rightarrow$  número de Reynolds

$\rho \rightarrow$  densidad del aire

$V \rightarrow$  velocidad del aire

$d =$  diámetro del ducto

$\mu =$  viscosidad dinámica del aire

$$\text{Para } 328 [^\circ K]: Re = \frac{(1,07 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]) \cdot (19,251 \left[ \frac{m}{s} \right]) \cdot (0,015 [m])}{(1,979 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{kg}{m \cdot s} \right])} = 15612,86$$

$$Pr = 0,704$$

Corresponderá el análisis para flujo externo, turbulento y fluido completamente desarrollado.

Por tanto se podrá plantear las siguientes correlaciones:

Conducto circular, flujo perpendicular				
Nº	Correlación	Condiciones de aplicación	Tª Propiedades	Nombre
11	$\overline{Nu_D} = C Re_D^m Pr^{1/3}$ (Tabla 6.2.1)	Medio, $0,4 < Re_D < 4 \cdot 10^5$ , $0,7 \leq Pr$	Tª media de película	Hilpert
12	$\overline{Nu_D} = C Re_D^m Pr^n (Pr/Pr_s)^{1/4}$ (Tabla 6.2.2)	Medio, $1 < Re_D < 10^6$ , $0,7 < Pr \leq 500$ , $n = 0,37 (Pr \leq 10)$ , $n = 0,36 (Pr > 10)$	Tª, menos Pr <sub>s</sub> a T <sub>s</sub>	Zhukauskas
13	$\overline{Nu_D} = 0,3 + \frac{0,62 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}}{[1 + (0,4/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \left[ 1 + \left( \frac{Re_D}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$	Medio, $Re_D Pr > 0,2$	Tª media de película	Churchill y Berstein

- La temperatura media de película es la media aritmética de las temperaturas de película.  
 - Para la correlación (12) las propiedades se evalúan a la temperatura exterior del fluido, salvo Pr que se evalúa a la temperatura superficial.  
 - Las correlaciones para transferencia de masa pueden obtenerse sustituyendo en las correlaciones anteriores Nu y Pr por Sh y Sc respectivamente.

Re <sub>D</sub>	C	m
0,4 - 4	0,989	0,330
4 - 40	0,911	0,385
40 - 4000	0,683	0,466
4000 - 40000	0,193	0,618
40000 - 400000	0,027	0,805

Re <sub>D</sub>	C	m
1 - 40	0,75	0,4
40 - 1000	0,51	0,5
10 <sup>3</sup> - 2 · 10 <sup>5</sup>	0,26	0,6
2 · 10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	0,076	0,7

**Figura 86.- Correlaciones de conv. forzada, conducto circular, flujo externo (Sevilla, 2014)**

De acuerdo al criterio de Hilpert:

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad (3.5.5)$$

Cuando:  $0,4 < Re < 4 \cdot 10^5$ ;  $0,7 \leq Pr$

Para 55°C:  $Re = 15612,86$

Se cumple que:  $4000 < Re < 40000$

→  $c = 0,193$ ;  $m = 0,618$

$$Nu = (0,193) \cdot (15612,86)^{0,618} \cdot (0,704)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 67,04$$

Coeficiente de transferencia de calor

$$Nu = \frac{h_{\infty} \cdot L_c}{K_{fluido}} \rightarrow h_{\infty} = \frac{Nu \cdot K_{fluido}}{L_c} \quad (3.5.6)$$

Donde:

$h_{\infty}$  → Coeficiente de transferencia de calor por convección

$Nu$  → Número de Nusselt

$k_{\text{fluido}} \rightarrow$  Conductividad térmica del aire

$L_c =$  Longitud de la niquelina

$$60^{\circ}\text{C}: h_{\infty} = \frac{Nu \cdot k_{\text{fluido}}}{L_c} = \frac{(67,04) \left(0,02808 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{K}}\right]\right)}{1,26[\text{m}]}$$

$$h_{\infty} = 1,494 \left[\frac{\text{W}}{^{\circ}\text{K} \cdot \text{m}^2}\right]$$

$$R1 = \frac{1}{h_{\infty} \cdot A_o} = \frac{1}{\left(1,494 \left[\frac{\text{W}}{^{\circ}\text{K} \cdot \text{m}^2}\right]\right) (0,0594[\text{m}^2])} = 11,27 \left[\frac{^{\circ}\text{K}}{\text{W}}\right]$$

$$\text{Dado que: } 1^{\circ}\text{K} = 1^{\circ}\text{C} + 273 \rightarrow \left[\frac{^{\circ}\text{K}}{\text{W}}\right] \left(\frac{1^{\circ}\text{C}}{(274,15)^{\circ}\text{K}}\right)$$

$$\therefore R1 = 0,0411 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}\right]$$

Una vez determinada la capacidad calórica de la resistencia, podemos determinar la potencia de la misma. Para alcanzar la temperatura de  $60[^{\circ}\text{C}]$  la potencia de la resistencia se determinaría:

$$P = \frac{T}{R1} = \frac{60[^{\circ}\text{C}]}{0,041 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}\right]} \rightarrow P = 1459,7[\text{W}]$$

Refiriendo a unidades eléctricas:

$$P = V \cdot i \rightarrow i = \frac{P}{V} \quad (3.5.7)$$

$$\rightarrow i = \frac{1460[\text{W}]}{110[\text{V}]} = 13,27[\text{A}]$$

$$P = \frac{V^2}{R} \rightarrow R = \frac{(110[\text{V}])^2}{1460[\text{W}]} \rightarrow R = 8,29[\Omega]$$

#### DESINFECCION:

Una vez calculada la potencia de la niquelina, calcularemos la velocidad a la que debe estar el ventilador para alcanzar una  $T = 90 [^{\circ}\text{C}]$  para la desinfección, entonces partimos de:

$$h_{\infty} = 1,494 \left[\frac{\text{W}}{^{\circ}\text{K} \cdot \text{m}^2}\right] \rightarrow Nu = \frac{h_{\infty} \cdot L_c}{K_{\text{fluido}}}$$

$$\text{Para } 90^{\circ}\text{C} \rightarrow K_{\text{aire}} = 0,03024 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{K}} \right]; Pr_{\text{aire}} = 0,7132$$

$$Nu = \frac{1,494 \left[ \frac{\text{W}}{^{\circ}\text{K} \cdot \text{m}^2} \right] \cdot (1,2[\text{m}])}{0,0302 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{K}} \right]}$$

$$Nu = \mathbf{59,36}$$

Conocidos Nu y Pr podemos calcular Re; ( $C = 0,193$ ;  $m = 0,618$ )

$$Re = \sqrt[m]{\frac{Nu}{C \cdot Pr^{\frac{1}{3}}}} = \left[ \frac{59,36}{(0,193)(0,7132)^{\frac{1}{3}}} \right]^{0,618} = \mathbf{12733,9}$$

Conocido Reynolds, podemos calcular la velocidad del aire:

$$V_{\text{aire}} = \frac{Re \cdot \mu}{\rho \cdot D};$$

$$V_{\text{aire}} = \frac{(12733,9)(2,2 \cdot 10^{-5}) \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right]}{\left( 0,9718 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \right) (0,015[\text{m}])} = \mathbf{19,28 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]} = \mathbf{63,25 \left[ \frac{\text{pies}}{\text{s}} \right]}$$

Conocido  $V_{\text{aire}}$  podemos calcular  $W_{\text{aspas}}$ :

$$W[\text{rpm}] = \frac{V_{\text{aire}} \cdot 720}{\phi_{\text{aspas}} \cdot \pi} = \frac{(63,25)(720)}{(9,65)(\pi)} = \mathbf{1500[\text{rpm}]}$$

**CONCLUSION:** La velocidad del motor, tanto para el secado como para la desinfección es de 1500 [rpm] (100% V motor), por tanto no es necesaria ninguna reducción de velocidad en el motor para alcanzar la temperatura de desinfección, basta con condicionar en el control del proceso.

## 3.6 DISEÑO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

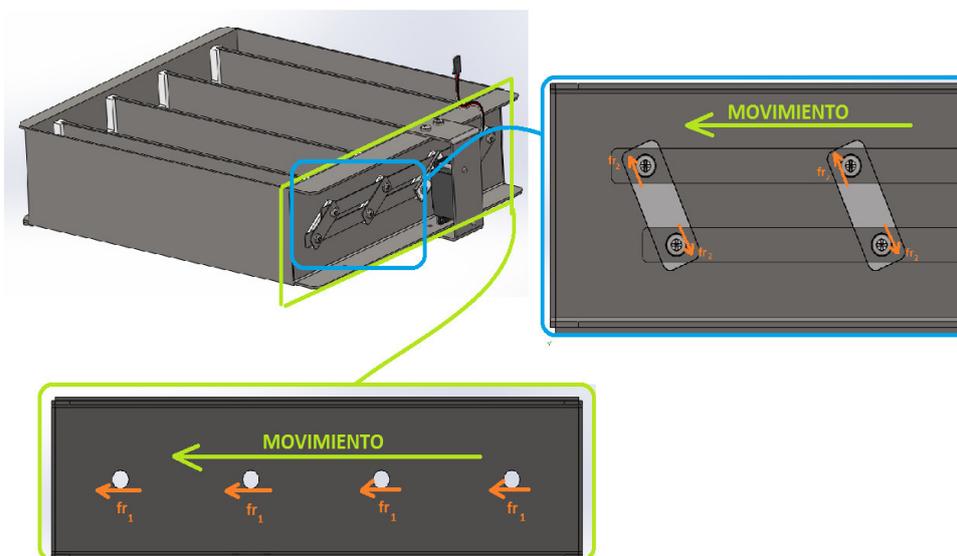
### 3.6.1 Selección del motor para el mecanismo de secado

A fin de realizar una correcta selección del servomotor para el mecanismo de persianas (empieza normalmente cerrado para ciclos de lavado y se abre únicamente para rutinas de secado y desinfección) es necesario determinar las fuerzas y momentos involucrados que provoquen resistencia al movimiento (como pesos e inercias propios de cada elemento).

**Tabla 89.**  
**Masas e inercias de los componentes en la caja de secado**

Elemento Involucrado	Masa [gr]	No elementos	Inercia por unidad [gr.mm <sup>2</sup> ]	Masa Total [gr]	Inercia Total [gr.mm <sup>2</sup> ]
Persiana	251	4	114085,74	1004	456342,8
Placa seguro	17	8	934,5	136	7476
Acople de pivote	5	8	435,8	40	3486,4
Soporte de persiana	10	8	3.144,3	80	25154,4
Enlace rígido	35	4	No aplica	140	No aplica
			<b>Σ</b>	<b>1400</b>	<b>492459,6</b>

Para simplificar la complejidad en los cálculos se determinó las masas y momentos inerciales de cada componente en el ensamblaje respecto a su centro de gravedad en software SOLIDWORKS con la finalidad de, con estos datos, realizar una sumatoria y determinar la prestación de torque necesaria que deberá tener el motor a implementarse.



**Figura 87.- Diagrama de fuerzas para dimensionar servomotor**

$$1kgf \rightarrow 9,8N \rightarrow \left[ kg - \frac{m}{s^2} \right]$$

$$\mu_{acero\ plast} = 0,74$$

$$Fr_1 = \mu \cdot N \quad (3.6.1)$$

$$Fr_1 = (0,74)(1,4[kg]) \left(9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right)$$

$$Fr_1 = 10,46[N] \rightarrow Fr \approx 1,04[Kgf]$$

En los enlaces rígidos: (4 enlaces rígidos; 16 puntos de contacto)

$$Fr_2 = (0,74)(0,14[kg]) \left(9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right)$$

$$Fr_2 = 1,02[N] \rightarrow Fr \approx 0,104[Kgf]$$

$$\sum \tau_r = \sum Fr_i \cdot r_i \quad (3.6.2)$$

$$\sum \tau_r = (1,04[Kgf])(0,7[cm]) + 4(0,104)(0,8[cm]) = \mathbf{1,061[Kgf \cdot cm]}$$

$$\sum F_t = m \cdot a_t; \text{ Donde: } a_t = r \cdot \alpha \quad (3.6.3)$$

$$\sum \tau = \sum F_t \cdot r = m \cdot a_t \cdot r = m \cdot r^2 \cdot \alpha$$

$$\sum \tau = I \cdot \alpha \quad (3.6.4)$$

Calculando la aceleración angular para el servomotor (asumiendo  $t=0,1[s]$ ):

$$Si w = \frac{60^\circ}{0,25} \left[\frac{\pi rad}{180^\circ}\right] = 5,24 \left[\frac{rad}{s}\right]; \alpha = 52,4 \left[\frac{rad}{s^2}\right]$$

$$I = 492459,6 [gr \cdot mm^2] \left[\frac{1kg}{1000gr}\right] \left[\frac{1m^2}{(1000mm)^2}\right] = 0,000493[Kg \cdot m^2]$$

$$\rightarrow \sum \tau = (0,000493[kg \cdot m^2]) \left(52,4 \left[\frac{rad}{s^2}\right]\right) = 0,02583[N \cdot m]$$

$$\tau_I = 2,583[N \cdot cm] \rightarrow \tau_I = \mathbf{0,264[kgf \cdot cm]}$$

$$\tau_T = \sum \tau_r + \tau_I = (1,061 + 0,264)[kgf \cdot cm] = \mathbf{1,33 [kgf \cdot cm]}$$

Debido a que el torque calculado es en condiciones ideales de manufactura y ensamblaje, se debe tomar en cuenta que para condiciones reales de diseño referidas a las prestaciones del servomotor, se ha tomado un factor de

seguridad de 4, considerando las tolerancias, ajustes y fuerzas adicionales que se dan al momento de ensamblar y hermetizar la caja de secado.

$$\therefore \tau_{real} = 4\tau_T = 4(1,33[\text{kgf}\cdot\text{cm}])$$

$$\tau_{real} = 5,32[\text{kgf}\cdot\text{cm}]$$

Por lo tanto el servomotor seleccionado es el siguiente Figuras (88-89):

### MG995 High Speed Metal Gear Dual Ball Bearing Servo

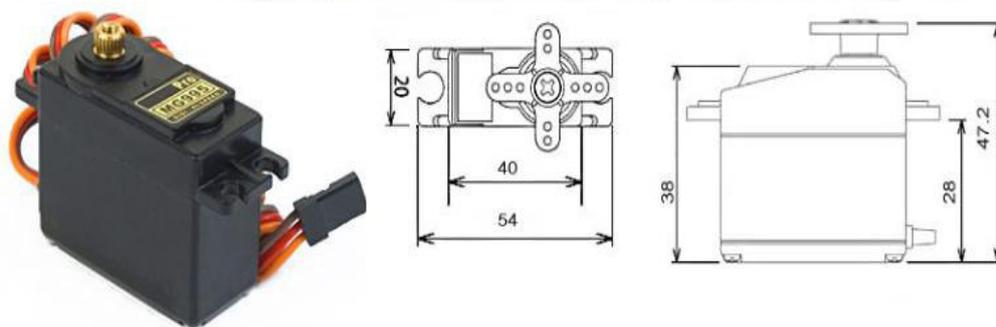


Figura 88.- Diagrama del servomotor a ser implementado

Tabla 90.  
Especificaciones técnicas del Servomotor Pro MG995

Ítem	Magnitud	Ítem	Magnitud
Peso	55 [gr]	Voltaje de operación	(4,8-7,2) [V]
Dimensiones	(40,7*19,7*42,9) [mm]	Ancho de banda muerta	5[μs]
Torque (Par)	8,5 [kgf*cm] (4,8V) 10 [kgf*cm] (6V)	Diseño con rodamiento de bolas a prueba de choques.	
Velocidad de operación	0,2s/60° (4,8V) 0,16s/60° (6V)	Rango de temperatura de trabajo	(0-55)[°C]

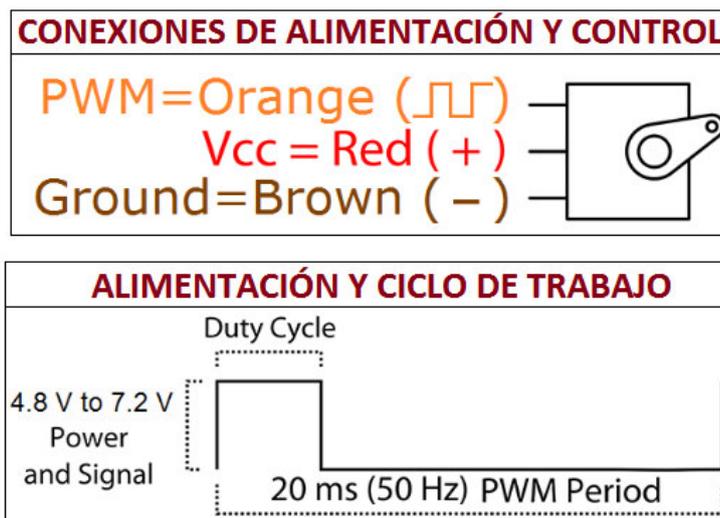


Figura 89.- Alimentación conexiones y ciclo de trabajo del servomotor

### 3.6.2 Selección del circuito de potencia

#### 3.6.2.1 Relé de Estado Sólido o SSR (Control de la Niquelina)

Elemento interruptor que permite el paso de la eléctrica a la carga que se encuentra conectada, se acciona mediante una pequeña corriente. Este dispositivo presta las condiciones de control adecuadas manipular electrónicamente cargas de alta potencia (como la resistencia de 1400W para este prototipo). El control será ON/OFF a través del diseño de una placa electrónica de control encargada de enviar la señal eléctrica necesaria para activar éste elemento, las conexiones obedecen al esquema de la Figura 90:

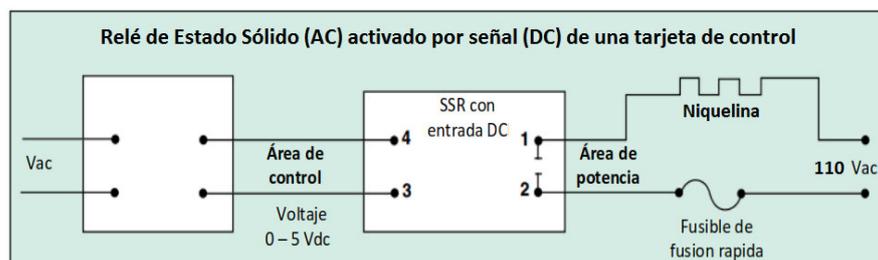


Figura 90.- Conexiones de Potencia y Control del SSR

Una vez determinadas las conexiones y definido el tipo de relé (SSR) a utilizarse para el control de la resistencia eléctrica de 1400W, se procederá a ver la corriente nominal mínima que deberá tener el SSR para que sea idóneo para ésta aplicación en función de la carga.

$$P_{el\u00e9ctrica} = i_{CARGA}^2 * R \quad (3.6.5)$$

$$i_{CARGA} = \sqrt{\frac{P_{el\u00e9ctrica}}{R}} = \sqrt{\frac{(1400[W])}{8,3333[\Omega]}} = 12,96[A] \approx 13[A]$$

Debido a que la corriente de carga es aproximadamente 13 [A], para la selecci\u00f3n del SSR se tomar\u00e1 un factor de seguridad de 1,5:

$$i_{SSR} = i_{CARGA} * 1,5 = (13 * 1,5)$$

$$i_{SSR} = 19,5 [A]$$

Conclusi\u00f3n: El requerimiento de corriente m\u00ednima de operaci\u00f3n para el rel\u00e9 que va a controlar la niquelina es de 19,5[A], por lo cual comercialmente se ha elegido un SSR que tiene una corriente de operaci\u00f3n aproximada de 25 [A].

**Tabla 91**  
**Datos t\u00e9cnicos del SSR**

SSR MODELO FOTEK-25DA		
Datos de entrada	<i>Voltaje de Operaci\u00f3n</i>	(3-32) [Vdc]
	<i>Voltaje de encendido/apagado</i>	ON>2,4V; OFF<1V
	<i>Corriente de accionamiento</i>	7,5 [mA]/12V
	<i>M\u00e9todo de Control</i>	Accionamiento de cruce por cero.
Datos de salida	<i>Voltaje de Operaci\u00f3n</i>	(20-380) [Vac]
	<i>Ca\u00edda de Voltaje</i>	1,6 V (25°C)
	<i>M\u00e1xima Corriente de Operaci\u00f3n</i>	27,5 [A]
	<i>Tiempo de Respuesta</i>	<10[ms]
	<i>Peso</i>	107[gr]
	<i>Material</i>	Pl\u00e1stico



**Figura 91.- Implementaci\u00f3n del SSR en el prototipo de la m\u00e1quina**

Al momento de la implementación del SSR en el prototipo se debe tomar en cuenta varias consideraciones a fin de proteger, aumentar la vida útil y garantizar el correcto y efectivo funcionamiento de los componentes.

Para que un SSR trabaje correctamente debe estar acompañado de un elemento disipador de calor (para el caso de éste prototipo se lo ha anclado al pilar de anclaje de la estructura del prototipo) y provisto de pasta térmica para garantizar una eficiente disipación de calor del relé, además de lo cual se ha incluido la colocación de un fusible (para protección por sobre corriente).



**Figura 92.- SSR implementado con pasta térmica y anclado a la estructura**

Para calcular la corriente del fusible se plantea la siguiente ecuación:

$$i_{FUSIBLE} = 1,45 * i_{CARGA} \quad (3.6.6)$$

$$i_{FUSIBLE} = 1,45 * 13$$

$$\boxed{i_{SSR} = 18,85 [A]}$$

Comercialmente el valor más aproximado para el fusible es de 20[A]. Como requerimiento adicional para proteger al SSR se implementó un ventilador pequeño para ayudar a evacuar el calor producido por el relé en operación.



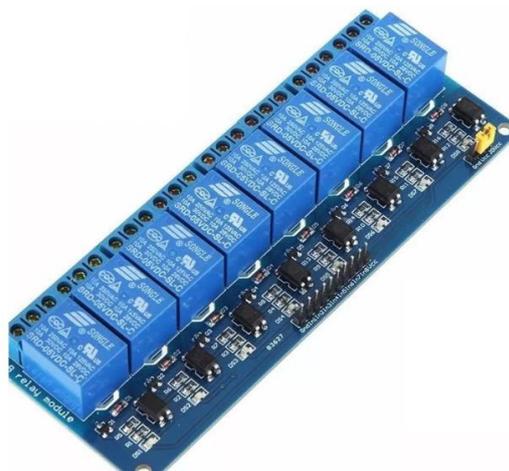
**Figura 93.- SSR con protección por sobre corriente y sobrecalentamiento**

### 3.6.2.2 Módulo de relés de 8 canales (para Arduino):

Éste módulo se utiliza en múltiples aplicaciones y sirve como un dispositivo para comandar los actuadores del sistema o servir como una etapa intermedia entre control y potencia, es el que lleva a cabo los comandos provenientes del microcontrolador, ya que dependiendo de la señal que reciba (control) activa o desactiva las salidas del relé. Para la realización de éste proyecto específicamente fue necesario un módulo de 8 relés, los cuales son independientes uno de otro y serán los encargados de comandar los siguientes actuadores (referirse a tabla 92):

**Tabla 92**  
**Actuadores conectados al módulo de relés y sus especificaciones**

Actuador	Voltaje [Vac]	Corriente [mA]
Válvula de Entrada	110	60
Bomba de lavado	110	950
Bomba de Drenaje	110	60
Termoactuador	110	110
Válvula de exteriores	110	60
Relé electromagnético	110	200
Ventilador	110	1030



**Figura 94.- Módulo de relés para la etapa de potencia**

**Tabla 93**  
**Especificaciones técnicas del módulo de relés**

<b>MAGNITUD</b>	<b>CANTIDAD</b>
<i>Voltaje nominal (Control)</i>	(3,3-5) [Vdc]
<i>Voltaje nominal (Potencia)</i>	(110/220) [Vac] (50/60 [Hz])
<i>Corriente máxima en los contactos (Potencia)</i>	10 [A]
<i>Corriente para señal de control</i>	90 [mA] máx.
<i>Número de relés</i>	8
<i>Modo de Activación</i>	En bajo (0[V])

Como se observó en la tabla 92, a excepción del calentador ningún actuador excede en su consumo el valor de 10 [A], por lo tanto el módulo de relés es ideal para esta aplicación, el número de cargas son 7, quedando un relé disponible para cualquier carga que se le pueda adicionar.

La activación de los Relés es por medio de optoacopladores, por lo cual son activados en bajo ('0' o GND), posee alta inmunidad al ruido eléctrico, rápida respuesta y protección de circuito por medio de diodos, la explicación del circuito se la detalla a continuación en la Figura 95:

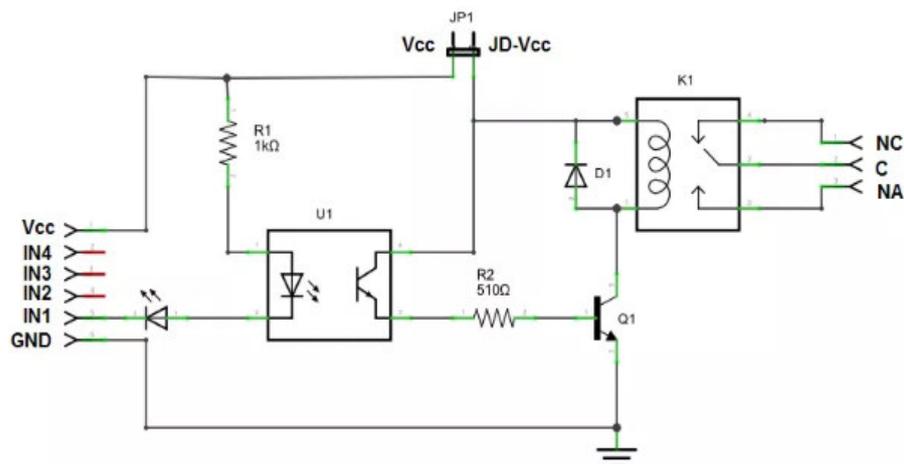


Figura 95.- Diagrama esquemático del circuito.- Módulo de relés

### 3.6.2.3 Relé Electromagnético (Control del calentador):

Para realizar el control ON/OFF del elemento calentador de agua se ha destinado un relé electromagnético por su simplicidad de uso y facilidad de control no obstante para comandar el control del calentador debido a la corriente que maneja la carga fue necesario 2 etapas de control, como se detalla en la Figura 96:

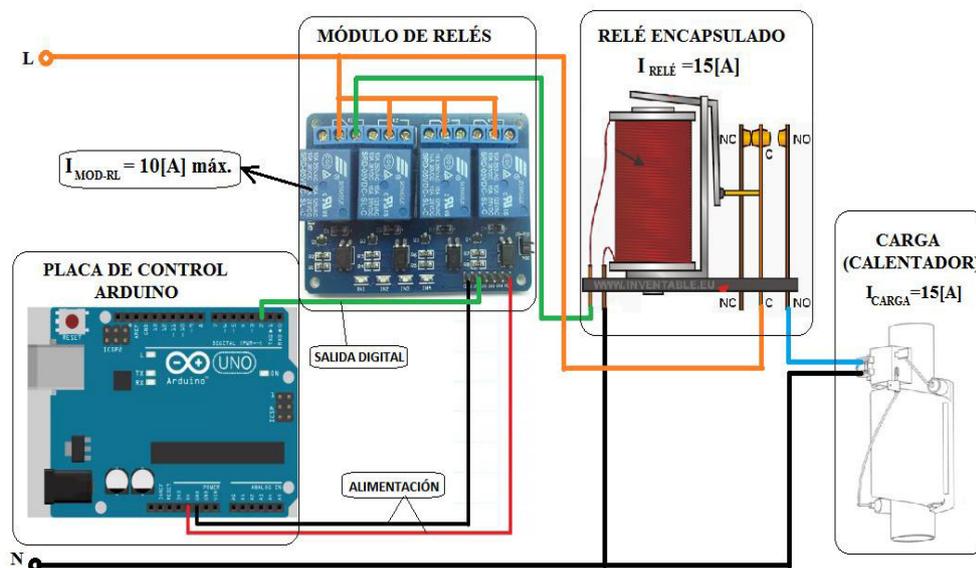


Figura 96.- Diagrama esquemático de la conexión para el calentador

Debido a que la corriente de trabajo de la carga (calentador de agua), excede la corriente nominal de trabajo máxima para los relés del módulo fue necesario la adecuación de un relé electromagnético que trabaja hasta una corriente nominal de 15 [A] en sus contactos, haciéndolo adecuado para la implementación del control

ON/OFF a la carga. A continuación mediante cálculos se definirá la corriente real del calentador cuando trabaja únicamente el primer termostato.

$$P_{Total-Calentador} = 1800[W]$$

$$P_{Utilizada-Term1} \approx 1120[W]$$

$$\therefore I_{Utilizada-Term1} = \frac{1120[W]}{110[V]} = 10,2[A]$$

Para relés encapsulados electromagnéticos:

$$I_{rt} = I_n * 1,25 \quad (3.6.7)$$

Donde:

$$I_{rt} = \text{Corriente nominal del relé}$$

$$I_n = \text{Corriente nominal de la carga}$$

$$\rightarrow I_{rt} = (10,2) * 1,25 = 12,75[A]$$

Tomando como referencia el catálogo de relés CAMSCO:



TIPO: L4 PATILLAS PLANAS]SERIE MY]çA				
REFERENCIA	VOLTAJE	CONTACTOS CONMUTADOS	CORRIENTE	CARTON
MY-4-12 VDC	12 VDC	4NA - 4NC	3 AMP	50
MY-4-24 VDC	24 VDC	4NA - 4NC	3 AMP	50
MY-4-12 VAC	12 VAC	4NA - 4NC	3 AMP	50
MY-4-24 VAC	24 VAC	4NA - 4NC	3 AMP	50
MY-4-110 VAC	110 VAC	4NA - 4NC	3 AMP	50
MY-4-220 VAC	220 VAC	4NA - 4NC	3 AMP	50
PYF-14AE	BASE DE 14 HUECOS PLANOS PARA MY-4			10
TIPO: 8 PINES PLANOS]SERIE LY] L5A]LOA				
REFERENCIA	VOLTAJE	CONTACTOS CONMUTADOS	CORRIENTE	CARTON
LY-2-12 VDC	12 VDC	2NA - 2NC	10/10 AMP	50
LY-2-24 VDC	24 VDC	2NA - 2NC	10/10 AMP	50
LY-2-12VAC	12 VAC	2NA - 2NC	10/10 AMP	50
LY-2-24 VAC	24 VAC	2NA - 2NC	10/10 AMP	50
LY-2-110 VAC	110 VAC	2NA - 2NC	10/10 AMP	50
LY-2-220 VAC	220 VAC	2NA - 2NC	10/10 AMP	50
PTF-08AE	BASE DE 8 HUECOS PLANOS PARA LY-2			10
TIPO: L4 PINES PLANOS]SERIE LY]LOA				
REFERENCIA	VOLTAJE	CONTACTOS CONMUTADOS	CORRIENTE	CARTON
LY-4-12 VDC	12 VDC	4NA - 4NC	10 AMP	20
LY-4-24 VDC	24 VDC	4NA - 4NC	10 AMP	20
LY-4-12 VAC	12 VAC	4NA - 4NC	10 AMP	20
LY-4-24 VAC	24 VAC	4NA - 4NC	10 AMP	20
LY-4-110 VAC	110 VAC	4NA - 4NC	15 AMP	20
LY-4-220 VAC	220 VAC	4NA - 4NC	15 AMP	20
PTF-14AE	BASE DE 14 HUECOS PLANOS PARA LY-4			10

**Figura 97.- Catálogo CAMSCO de relés encapsulados electromagnéticos (S.A.C., 2016)**

Se toma el relé LY4 de accionamiento AC que cumple con los requisitos de corriente para la carga.

De la misma manera que para el SSR para proteger el relé magnético por sobre corriente se procede a la selección de un fusible.

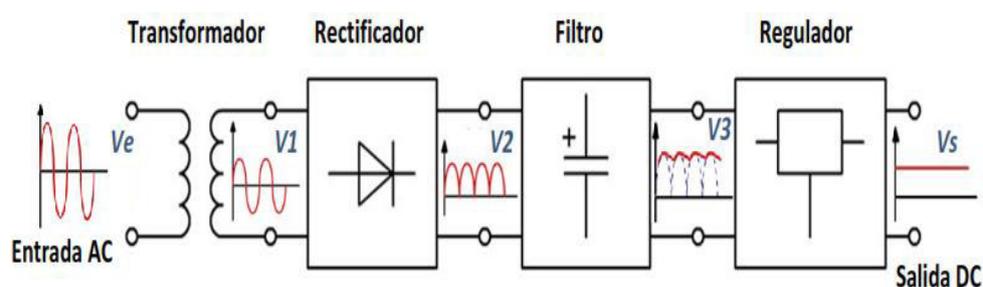
$$i_{FUSIBLE} = 1,45 * 10,2 = 14,79 [A] \approx 15[A]$$



**Figura 98.- Relé encapsulado (3 vistas) e implementación**

### 3.6.3 Diseño y selección del circuito de la fuente de energía

Una fuente de alimentación DC proporciona una tensión constante tratando de ser lo más estable posible, si se parte de una señal AC es necesario algunos elementos para lograr dicha estabilidad, como rectificador, filtros y reguladores, la limitación en corriente de la fuente la proporciona la corriente total de todas las cargas que vaya a manejar, de manera generalizada su esquema se muestra en la Figura 99:



**Figura 99.- Esquema de la fuente de energía en bloques funcionales**

Para partir del diseño primero se debe determinar la corriente máxima que debe tener la fuente, esta corriente es la sumatoria de las corrientes de todas las cargas a las que va a alimentar:

**Tabla 94**  
**Consumos de voltaje y de corriente de las cargas**

Carga	Cantidad	Voltaje [V]	Corriente Total [mA]
Tarjeta Arduino MEGA 2560	1	9 ( $V_{in}$ )	760 (20[mA] por salida (38 salidas))
Ventiladores para PCB	2	12	300
Servomotor	1	5	100
Buzzer	1	5	20
Termistor NTC	1	5	5
Optoacoplador Puerta	1	5	50
Optoacoplador Niquelina	1	5	50
Sensor de turbidez	1	5	30
Sensor Dallas DS18B20	1	5	5
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>1320</b>

Por lo tanto la fuente debe ser capaz de generar múltiples voltajes (5,9, 12) [V] con una capacidad en corriente mínima de 1320[mA], por tanto a continuación se detallará el diseño de la misma partiendo de éste requerimiento.

#### ETAPA 1.- Reducción de Voltaje AC

Sabiendo que la red eléctrica doméstica en Ecuador nos da una Amplitud de 110 [Vac], se toma éste valor para empezar con el diseño de la fuente (Observar la etapa de  $V_e$  a  $V_1$  de la figura 99):

$$V_{out-Trans} = V_{out-Fuente} + 2 * V_{diodo} + \%_{riso} \quad (3.6.8)$$

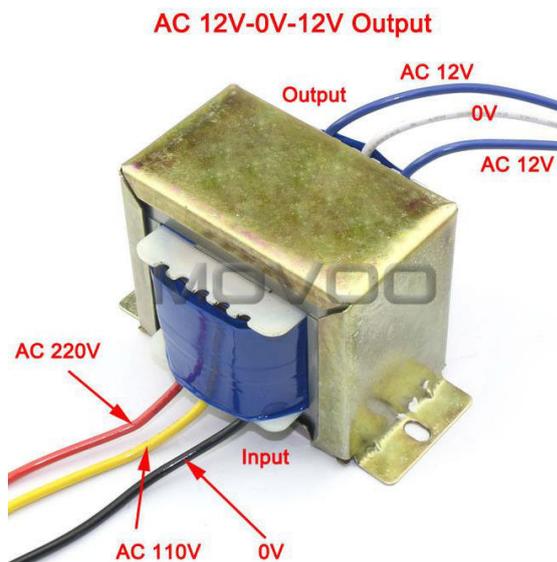
$$V_{out-Trans} = 15 + 2(0,7) + (1,2)(0,5) = 17[V]$$

$$V_{Trans-comercial} = \sqrt{2} * V_{out-transf}$$

$$V_{Trans-comercial} = \sqrt{2} * 17 = 24,04[V] \approx 24[V]$$

$$I_{out} = 1,5[A]; \rightarrow I_{out-Trans} = 1,35 * (1,5) = 2,02[A] \approx 2[A]$$

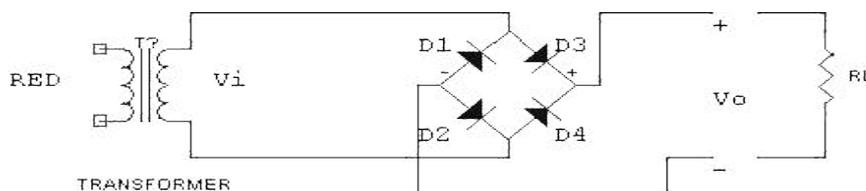
Para lo cual es necesario la utilización de un transformador que toma (110/220 [Vac]) en la entrada y (-12/0/12 [Vac]) en la salida, con una capacidad de 2[A].



**Figura 100.- Transformador de Vac etiquetado entradas/salidas**

### ETAPA 2.- Rectificación de la señal de voltaje

En ésta etapa se utiliza un rectificador, el más usado es el llamado rectificador en puente, su esquema es el de la Figura 101:



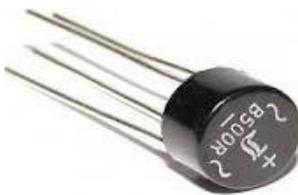
**Figura 101.- Esquema de las 2 primeras etapas de la fuente**

Si  $V_i$  es positiva los diodos D2 y D3 conducen, siendo la salida  $V_o$  igual que la entrada  $V_i$ . Si  $V_i$  es negativa los diodos D1 y D4 conducen, y se invierte la tensión de entrada  $V_i$  haciéndola positiva, el resultado es una señal rectificada (referirse a la señal  $V_2$  de la figura 99). El rectificador más utilizado es el puente de diodos, el cual tiene cuatro terminales, 2 para entrada en alterna del transformador, uno la salida positiva y otro la negativa. Las marcas suelen ser:

~ Entradas en alterna; + Salida positiva; - Salida negativa o masa.

$$I_{diodo} = \frac{I_{out-trans}}{2} \quad (3.6.9)$$

$$I_{diodo} = \frac{2[A]}{2} = 1[A]$$



**Figura 102.- Puente de diodos utilizado (1[A])**

Caída de tensión en los diodos.- Cuando un diodo está conduciendo, tiene una caída de tensión de entre 0,7 voltios y 1 [V], por lo tanto la tensión de salida en un transformador queda de la siguiente manera:

$$V_{max} = \sqrt{2} * V_{out-transf} - V_{diodos} \quad (3.6.10)$$

Donde:

$$V_{max} = \sqrt{2} * 17 - 2(0,8) = 22,44[V]$$

### ETAPA 3.- Filtro Capacitivo:

El filtro capacitivo es el filtro más común y seguro, basta con añadir un condensador en paralelo con la carga (RL), este filtro es aplicable también para usarlo después de un rectificador en puente (Referirse al bloque entre las señales V2 y V3 de la figura 99).

$$V_{pi} = V_{out-trans} + \%_{seguridad} \quad (3.6.11)$$

$$V_{pi} = 1,2 * 24 = 28,8[V]$$

$$V = \frac{V_{pi}}{2} - V_{diodo} \quad (3.6.12)$$

$$V = \frac{28,8}{2} - 1,6 = 12,8[V]$$

Asumiendo para el cálculo del capacitor un %riso del 5% ( $V_{out}=15[V]$ ):

$$V_{rme} = (5\%) * V_{out} = (5\%) * 15 = 0,75[V]$$

$$\Delta V_o = (3,5) * (V_{rms}) = (3,5) * (0,75) = 2,63[V]$$

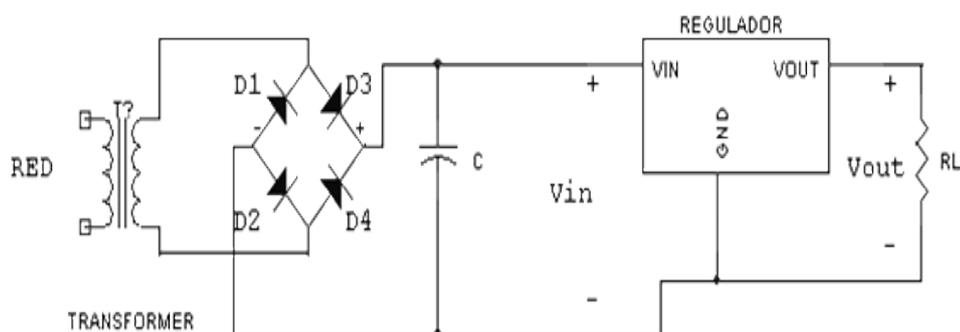
$$C = \frac{I_{out}}{200 * \Delta V_o} \quad (3.6.13)$$

$$C = \frac{1,5}{200 * 2,63} = 2852[\mu F]$$

El valor comercial para capacitores electrolíticos más cercano al valor del cálculo es de 3300 [μF].

#### ETAPA 4.- Regulación de Voltaje a DC

Un regulador o estabilizador es un circuito encargado de reducir el rizado y de proporcionar un valor exacto en la tensión de salida. Los reguladores integrados de tres terminales son los más sencillos y baratos, En este esquema se muestra el diagrama de una fuente provista con un regulador de voltaje.

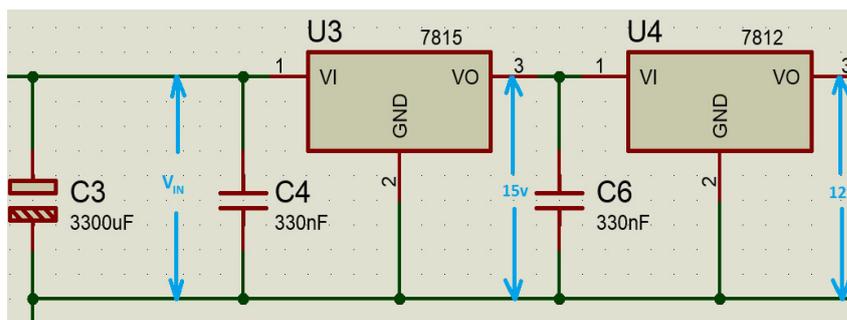


**Figura 103.- Diagrama de una fuente con regulador**

El funcionamiento de un regulador sigue los siguientes preceptos:

- $V_{out}$  y GND tienen un valor fijo, que dependerá del modelo de regulador.
- La corriente que entra o sale por GND es prácticamente nula y no se toma en cuenta para analizar el circuito.
- La tensión de entrada al regulador ( $V_{in}$ ) deberá ser siempre 2 o 3 [V] superior a la de  $V_{out}$  para asegurarnos el correcto funcionamiento.
- En ciertas ocasiones para garantizar el correcto funcionamiento del regulador es necesario un condensador adicional en los terminales  $V_{in}$  a más del capacitor de salida de la fuente.

Para el diseño de la fuente se ha decidido poner 2 reguladores de la serie 78XX en cascada a fin de no saturar un sólo regulador y que la disipación de calor se produzca adecuadamente para proteger el circuito de alimentación (referirse a la Figura 104):



**Figura 104.- Reguladores y voltajes en la Fuente implementada**

#### ETAPA ADICIONAL.- Convertidor DC/DC

A fin de simplificar el diseño de la fuente y realizar un circuito versátil se ha implementado un convertidor DC/DC para Arduino para tomar el voltaje de entrada 12[V], y reajustarlo con este dispositivo a una salida de 9[V], para posterior a lo cual tomar éste voltaje como  $V_{in}$  de la tarjeta de control Arduino MEGA 2560 y obtener de ésta todas las alimentaciones a los sensores debido a que son de bajo consumo. Planteado éste diseño nos permite también realizar todas o la mayoría de las conexiones de control a la placa Arduino para dejar en el diseño de la placa PCB simplemente los circuitos de alimentación y circuitos para acondicionamiento, envío o recepción de señal (Figura 105).



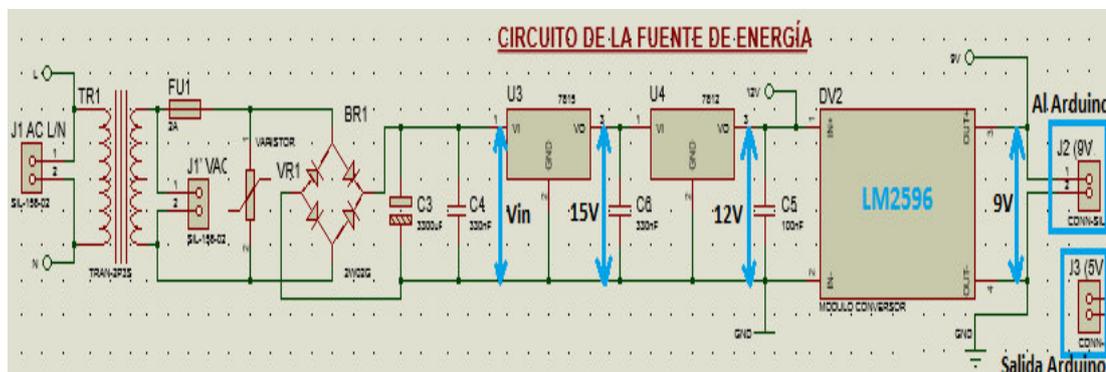
**Figura 105.- Convertidor DC/DC LM2596 para Arduino**

**Tabla 95**

#### **Especificaciones técnicas del convertidor DC/DC**

MAGNITUD	CANTIDAD
<i>Modelo</i>	LM2596
<i>Voltaje de Entrada</i>	(4,5-40) [Vdc]
<i>Salida Ajustable de Voltaje</i>	(1,23-37) [Vdc]
<i>Corriente máxima con carga</i>	3 [A]
<i>Frecuencia de Switching</i>	150 [KHz]

Con la implementación de éste convertidor tendríamos a disposición salidas con 3 voltajes distintos, para cargas que necesiten 12[V], 9[V] y 5[V] respectivamente, quedando el diseño definitivo como en la siguiente figura:



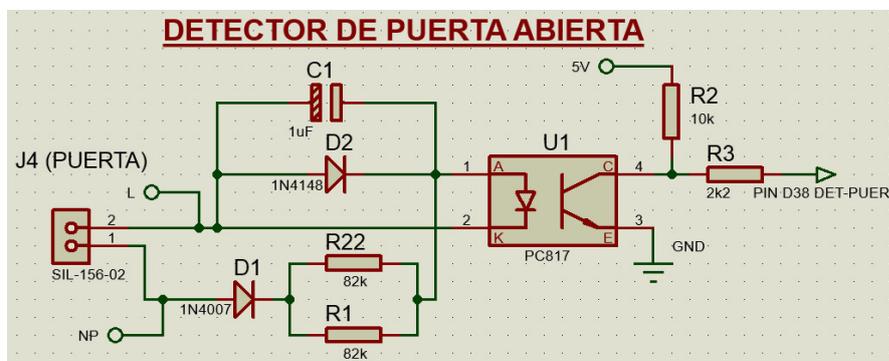
**Figura 106.- Diagrama de la fuente: Diseño Definitivo**

NOTA: El controlador será la Tarjeta Arduino Mega 2560 (Para ver las especificaciones referirse al ítem 2.4.2 del capítulo 2 de éste documento).

### 3.6.4 Diseño y selección de circuitos de control para sensores y actuadores

#### 3.6.4.1 Circuito para señales de la puerta y la niquelina:

Con la finalidad de validar los errores en el sistema fue necesario obtener las señales provenientes de la puerta y la niquelina, y debido a que la señal que manejan ambas cargas es AC se requirió acondicionar ésta señal para convertirla en una DC con un circuito más sencillo que el de una fuente en base de un optoacoplador, el mismo se presenta en la siguiente figura (este mismo circuito se aplica tanto para detector de puerta como de niquelina y se refiere al diagrama de la Figura 107):



**Figura 107.- Circuito detector de encendido (puerta y niquelina)**

Para tener una idea de cómo funciona el circuito, podemos decir que un Optoacoplador es un circuito integrado compuesto generalmente por un diodo LED y un fototransistor unidos de tal forma que cuando una señal eléctrica circula a través del LED haciendo que brille, la luz que este emite es recibida por la base del fototransistor.

En resumen, al energizar el diodo LED el transistor cierra el circuito y la señal de voltaje medida a la salida de R3 será 0 [V] caso contrario mientras no se energice el LED la señal de voltaje a la salida de R3 será 5[V].

Respecto al análisis del circuito tenemos la alimentación  $V_{ac}=110[V]$  en el conector J6; las resistencias de 82 [K $\Omega$ ] en paralelo ( $R_{eq} = 41[K\Omega]$ ) sirven para limitar la corriente que va a alimentar al LED del optoacoplador, el Diodo 1N4007 es un diodo de potencia para soportar el voltaje de entrada (110[V]) el cual actúa como un rectificador de media onda, el diodo 1N 4148 es un diodo de alta velocidad.

$$V = i * R \quad ( 3.6.14 )$$

$$i = \frac{V - 2 * V_{Diodo}}{R_{eq}} = \frac{110 - 2(0,7)}{41000} = 2,65[mA]$$

*La potencia mínima de las resistencias en el LED debe ser:*

$$P = V * i = (108,6[V]) * (2,65[mA]) = 0,3[W]$$

Por lo tanto las resistencias que van entre los terminales 1 y 2 del optoacoplador deben tener un mínimo de **0,3 [W]**, comercialmente hablando deben ser resistencias de al menos (1/2 [W]).

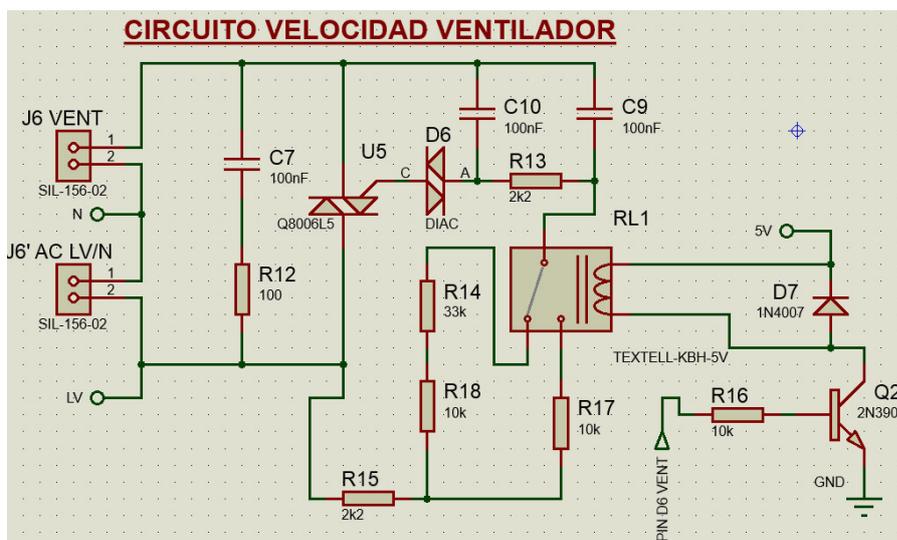
#### **3.6.4.2 Circuito para validar las velocidades del ventilador de secado:**

Dada la necesidad que la velocidad del ventilador para el secado debe ser diferente que para el proceso de desinfección se diseñó un circuito en base de un circuito DIMMER para cargas AC que tiene 2 posiciones de velocidad, de manera que para el secado, la velocidad del ventilador sea la máxima mientras que para la desinfección la velocidad debe ser menor para que el entorno interior pueda alcanzar una mayor temperatura. El circuito se diseñó partiendo del motor del ventilador, mostrado en la Figura 108:



**Figura 108.- Especificaciones técnicas del motor del ventilador (SE8888)**

Una vez analizada la carga se dimensionó el valor de los elementos y con el fin de tener 2 velocidades fijas, una máxima (secado) y una al 90% de la máxima (desinfección) se planteó el circuito de la Figura 109:



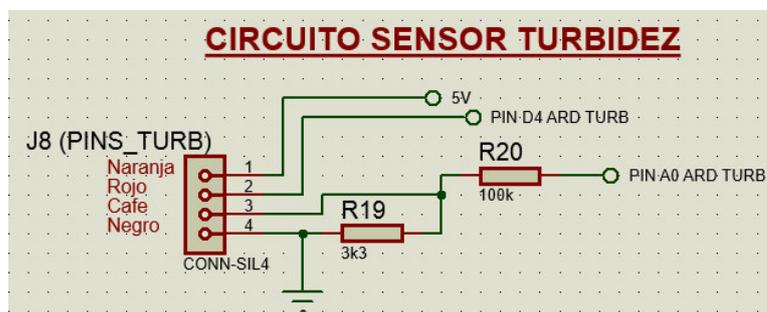
**Figura 109.- Circuito dimmer con variación de 2 posiciones de velocidad**

Éste circuito es un Dimmer pero se lo utilizó a manera de un VARIAC, y en las pruebas realizadas en protoboard dio buenos resultados, el TRIAC implementado en el circuito fue un BT137, la carga (ventilador) va en el conector 'J6 VENT' y la alimentación (110 [Vac]) se conecta en 'J6 AC LV/N', los elementos que intervienen en la alimentación del TRIAC deben tener una potencia mínima de (1/2 [W]). La selección de la velocidad se realiza por conmutación del relé RL1 el cual toma uno u otro valor

de resistencias dependiendo del camino que tome la corriente y la selección de ese camino lo tiene la activación o no de la bobina del relé.

### 3.6.4.3 Circuito para acondicionar la señal del sensor de turbidez

Además del circuito propio de acondicionamiento de señal analógica que proviene del sensor de turbidez, es necesario la colocación de resistencias entre sus pines para recibir la señal correcta (según datasheet del sensor) tal como se muestra en la Figura 110:



**Figura 110.- Circuito para lectura de la señal: sensor de turbidez**

En el diagrama se muestra en el conector J8 los colores de los cables provenientes del circuito propio del sensor de turbidez, en donde la señal que recibirá el microcontrolador es el pin 'A0' representado en la figura.

### 3.6.4.4 Circuito para el sensor de temperatura del agua (Termistor NTC)

Este circuito no es más que un divisor de tensión para la lectura de la señal analógica provocada por la variación de la resistencia del termistor dependiendo de la variación de temperatura, se lo llama NTC (Coeficiente de temperatura negativo) porque en este sensor, el valor de la resistencia disminuye cuando la temperatura aumenta, es decir la temperatura y la señal sensada son inversamente proporcionales. Los terminales del termistor deben ser conectados en 'J7', el diodo sirve como protección para evitar corrientes parásitas inversas y la resistencia R11 de 2,2 [KΩ] sirve para limitar la corriente de la señal proveniente del termistor (sensor para control de temperatura del agua) para proteger la integridad de la tarjeta de control.

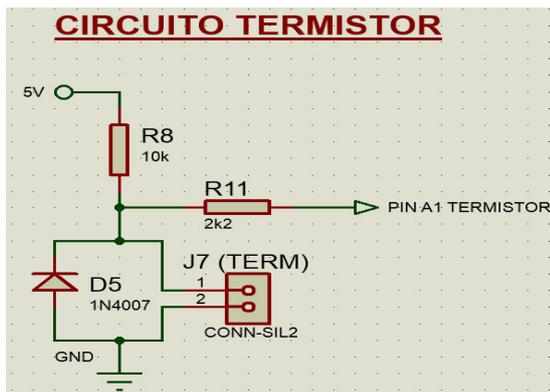


Figura 111.- Circuito para lectura de la señal: termistor NTC

3.6.4.5 Circuito para accionamiento del Buzzer en caso de alarmas

Para activación de las alarmas en caso de que se presente un error o finalización del proceso en el sistema es necesario la implementación de un Buzzer o zumbador, el cual necesita de un circuito para su activación y desactivación, el siguiente circuito utiliza un transistor común 2N3904 en corte y saturación, para activar o desactivar la carga que para éste caso sería el del Buzzer (referirse a la Figura 112):

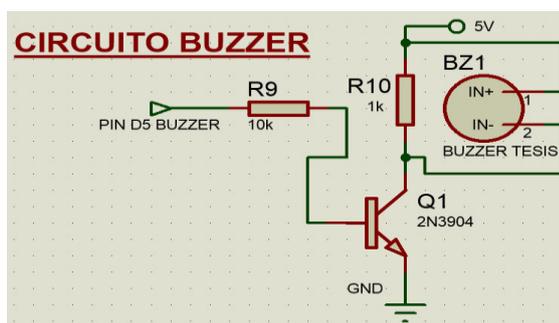


Figura 112.- Circuito accionamiento del Buzzer (alarmas)

**Electrical Characteristics**  $T_a=25^{\circ}C$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$I_{CBO}$	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$		15		nA
$h_{FE}$	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$ $I_C=100mA, I_B=5mA$		90 200	250 600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$ $I_C=100mA, I_B=5mA$		700 900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$ $V_{CE}=5V, I_C=10mA$	580	660	700 720	mV
$f_T$	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz
$C_{ob}$	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.5	6	pF
$C_{ib}$	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF
NF	Noise Figure	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$ $f=1KHz, R_G=2K\Omega$		2	10	dB
	: BC546/547/548	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$ $R_G=2K\Omega, f=30\sim 15000MHz$		1.2	4	dB
	: BC549/550			1.4	4	dB
	: BC549			1.4	3	dB
	: BC550			1.4	3	dB

Figura 113.- Características eléctricas: transistor 2N3904

El cálculo de las resistencias (con los parámetros mostrados en la figura 113) para el transistor 2N3904 se presenta a continuación:

$V_{BE}(sat)$  es la tensión para saturar el transistor

$$\rightarrow V_{sat} = 0,7[V]; I_{sat} = 0,5[mA]$$

Por simple ley de ohm:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{(5 - 0,7)[V]}{0,5[mA]} = 8600[\Omega]$$

La resistencia comercial más aproximada es de  $R = 10[K\Omega]$

El cálculo de la resistencia de base será de mucha utilidad ya que en varias partes de la placa tenemos presentes el mismo circuito, utilizándolo al transistor para corte y saturación para activar o desactivar zonas del circuito o cargas puntuales.

#### 3.6.4.6 Circuito para accionamiento del ventilador para el SSR

El relé de estado sólido (SSR) implementado maneja una carga de alta potencia (niquelina), por lo cual en su funcionamiento presenta un calentamiento considerable, por lo cual se determinó la colocación de un ventilador sobre el mismo para ayudar a disipar el calor producido en su ciclo de trabajo y que no se comprometa la parte electrónica que en su interior contiene, el circuito comanda un relé que decidirá en que momento el ventilador debe empezar a trabajar, para éste caso el relé se activará solamente durante el ciclo de trabajo de la niquelina, es decir en procesos de secado y desinfección, el circuito de control es (Figura 114):

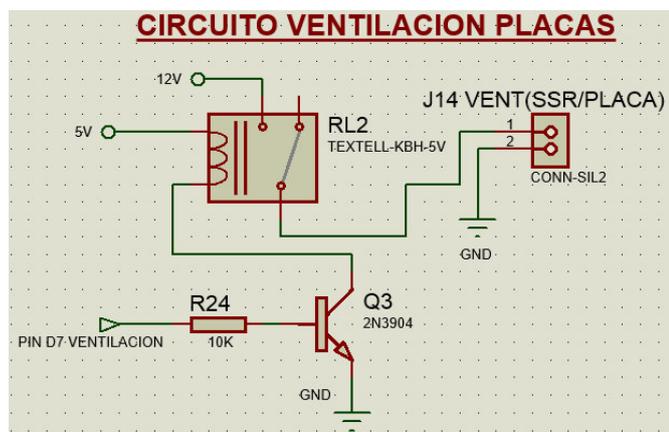


Figura 114.- Circuito para activar el ventilador del SSR

### 3.6.5 Selección de cables de los elementos de potencia

Antes de seleccionar el calibre de los cables que se van a utilizar, se debe considerar las caídas de tensión en las líneas de potencia. Para calcular la caída de tensión máxima admisible se utiliza la siguiente fórmula:

$$\Delta V = \frac{V * \% \Delta V}{100} \quad (3.6.15)$$

Donde:  $\Delta V$ : Caída de tensión máxima admisible

$V$ : tensión de línea nominal

$\% \Delta V$ : Porcentaje de caída de tensión permitida

$$\Delta V = \frac{110 * 2}{100} = 2,2[V]$$

La longitud total considerando el largo del cable de alimentación (2,5[m]), el cable enrollado (2[m]) y el cable más largo a la carga más alejada (3[m]):

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 = 2,5 + 2 + 3 = 7,5[m]$$

Para determinar la condición más crítica de corriente demandada al cable de alimentación se tomará en cuenta para el proceso de desinfección, en donde toma acción el ventilador ( $i=1,04[A]$ ), la niquelina ( $i=13,2[A]$ ) y tomando en cuenta la máxima corriente demandada por el transformador de la fuente (2[A]), podemos determinar la corriente máxima que va a utilizar la máquina para éste proceso que es el más demandante refiriéndose a potencia eléctrica:

$$I_T = I_{CARGAS} + I_{FUENTE} = 1,04 + 13,2 + 2 = 16,24[A]$$

Una vez determinada la corriente máxima, podemos determinar la sección transversal para la elección del cable:

$$A = \frac{2 * \rho * I * L}{\Delta V} \quad (3.6.16)$$

Donde:  $A$ : Área transversal del cable conductor [ $mm^2$ ]

$\rho$ : Resistividad del cable conductor  $\left[ \frac{\Omega * mm^2}{m} \right]$

$I$ : Corriente en la línea [A]

$L$ : Longitud total del conductor al nodo más lejano [m]

$\Delta V$ : Caída de tensión máxima admisible

$$\rightarrow A = \frac{2 * (0,01724) * (16,24) * (7,5[m])}{2,2} = 1,91[mm^2]$$

El cable utilizado para interconectar las cargas deberá ser un **AWG14**:

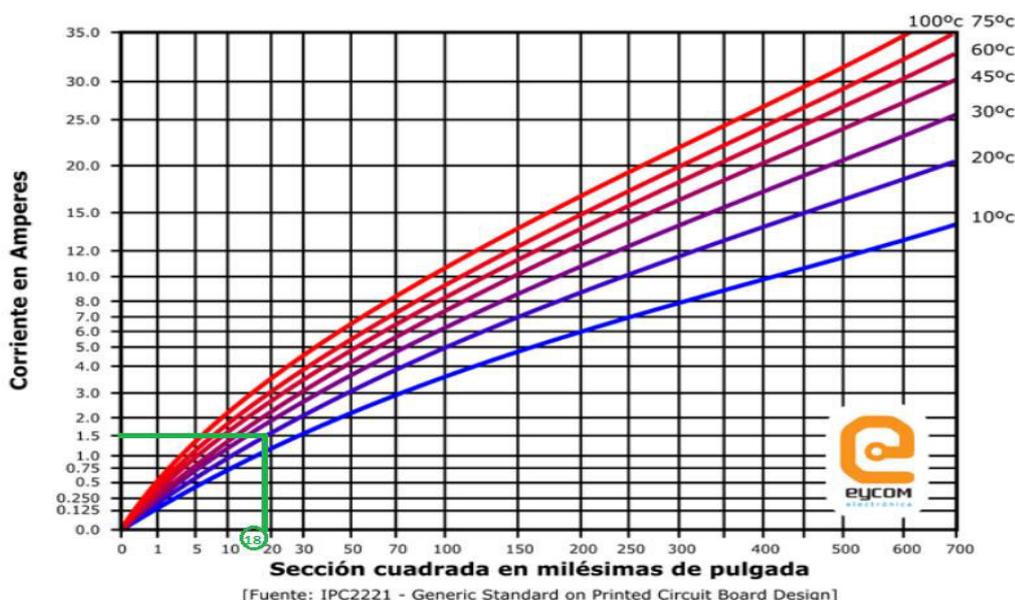
AWG	Sección mm <sup>2</sup>	aprox.en	Diámetro(mm)	AWG	Sección mm <sup>2</sup>	aprox.en	Diámetro(mm)
38	0,0080		0,10	4	21,20		5,20
36	0,0217		0,13	2	33,60		6,54
34	0,0201		0,16	1	42,20		7,35
30	0,0509		0,25	1/0	53,30		8,25
28	0,0810		0,32	2/0	67,40		9,26
26	0,1290		0,40	3/0	85,00		10,4
24	0,2050		0,51	4/0	107,00		11,7
22	0,3260		0,64	250	127,00		12,7
20	0,5180		0,81	300	152,00		13,9
18	0,8230		1,02	350	177,00		15,0
16	1,3100		1,29	400	203,00		16,1
14	2,0800		1,63	500	253,00		17,9
12	3,3100		2,05	600	304,00		19,7
10	5,2600		2,59	700	354,00		21,2
8	8,3700		3,26	750	380,00		22,0
6	13,30		4,12	800	405,00		22,7

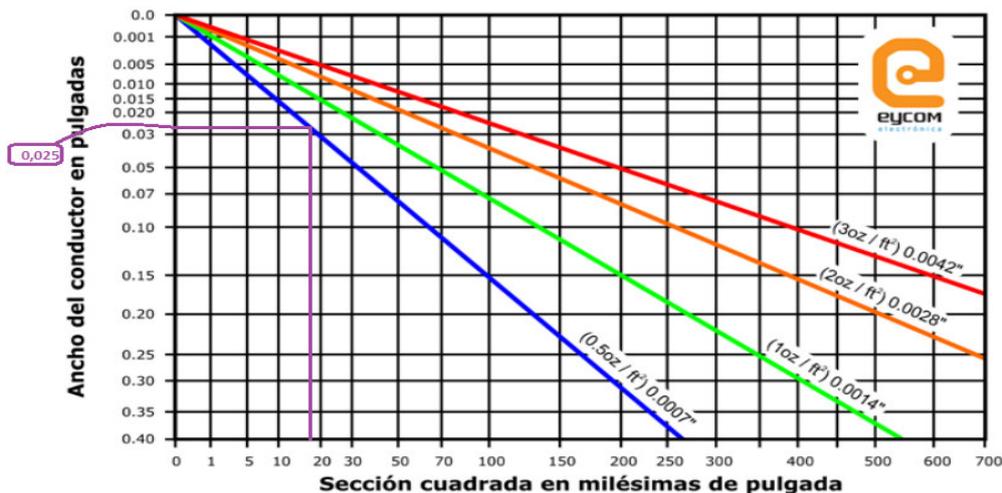
Figura 115.- Área transversal y diámetros para cables AWG (Electropar, 2016)

### 3.6.6 Diseño de la placa PCB

La placa de circuito impreso es el centro de control de la lavadora, en la cual se receipta y se procesa la señal proveniente de los componentes, se envía órdenes de acuerdo a la información de retroalimentación.

El diseño, y simulación de los circuitos de alimentación y control para este proyecto fueron desarrollados en el software Proteus 8 Professional, posterior a lo cual fue probado en un protoboard y finalmente implementado en una PCB. Para dimensionar el ancho de las pistas, asumiendo un  $\Delta T_{m\acute{a}x} = 20^{\circ}C$  y sabiendo que la corriente máxima es 1,5A:





**Figura 116.- Gráficas para diseño de circuitos Impresos (Electrónica, 2015)**

Se obtuvo una sección de  $18 \text{ th}^2$ , por tanto el ancho mínimo debe ser 25th.

**Tabla 96**  
**Descripción de las conexiones del circuito:**

ETIQUETA	FUNCIÓN
J1 AC/LN	Alimentación de la Fuente (Línea y Neutro)
J2 (9V ARDUINO)	Salida de convertidor DC (Vin de la placa Arduino)
J3 (5V ARDUINO)	Salida de Arduino para alimentación de 5V
J4 PUERTA	Señal de la puerta para detección
J5 (NIQ)	Señal de la niquelina para detección
J6 VENT ; J6' AC LV/N	Alimentación del Ventilador y Ventilador
J7 TERM	Termistor NTC
J8 PINS_TURB	Pines de la placa del sensor de turbidez
J7/8 (PUERTA/NIQ)	Pines digitales 38 y 42 del Arduino
J8' (S_TURB)	Pin Analógico 0 y digital 4 del Arduino
J9 (CAUD_MT)	Caudalímetro
J10 (DET_INUND)	Detector de Inundaciones
J11 (DET_ABR)	Detector de Agente de enjuague
J9'/10'/11' (CAUD/DET_INU/DET_ABR)	Pines digitales 39, 40 y 41 del Arduino
J12 (DALLAS)	Sensor Dallas DS18B20
J7'/12' (ARD TERM/DALLAS)	Pin analógico 1 para termistor y digital 2 para Dallas
J13 (SERVO)	Conexión del Servomotor (Alimentación y control)
J9/11/13'(V_VENT/BUZ/SERVO)	Pines digitales 3 (control servo), 5 (ventilador de placas) y 6 (buzzer)

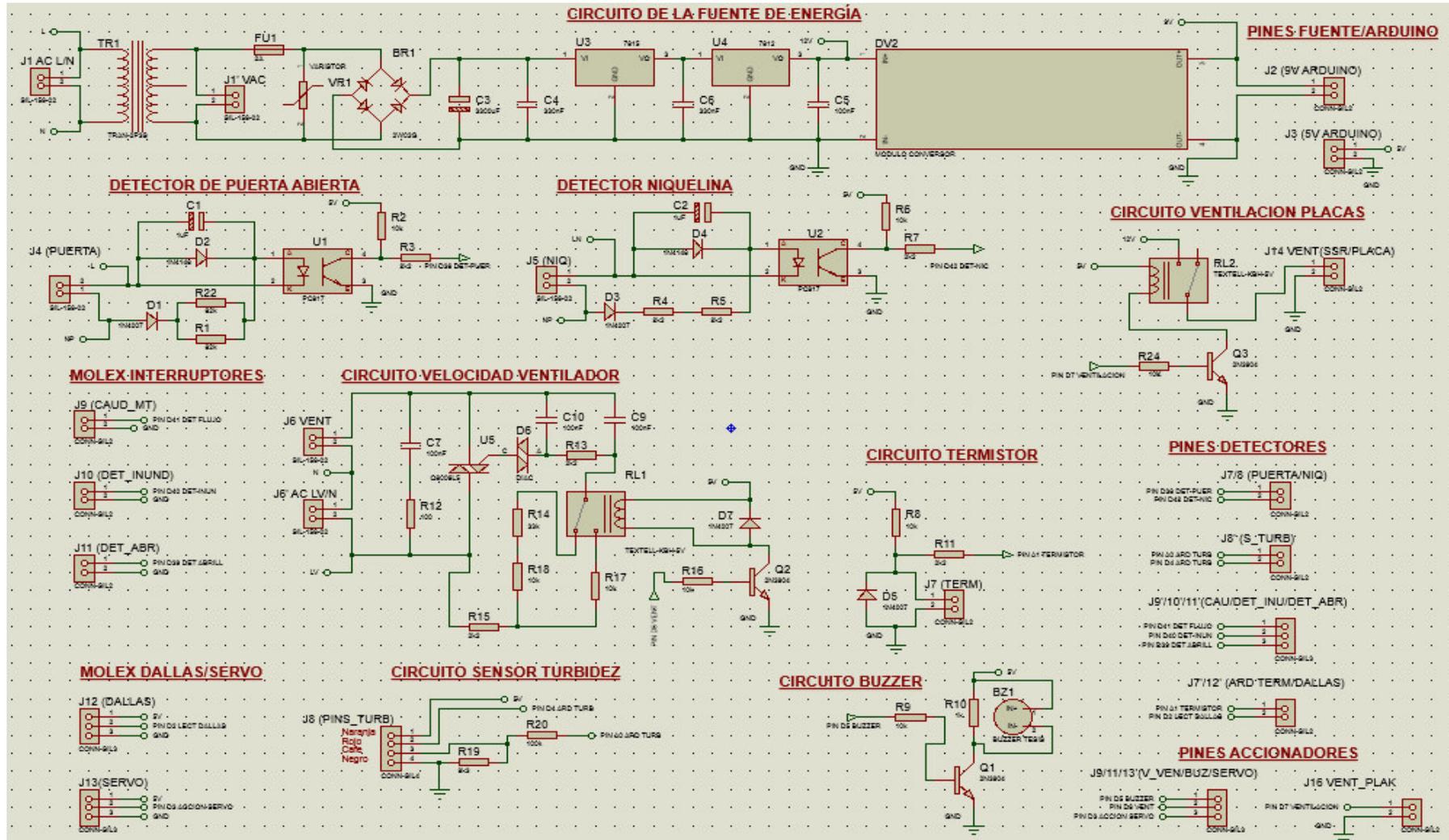


Figura 117.- Modelo Esquemático de circuitos de alimentación y control [ISIS]

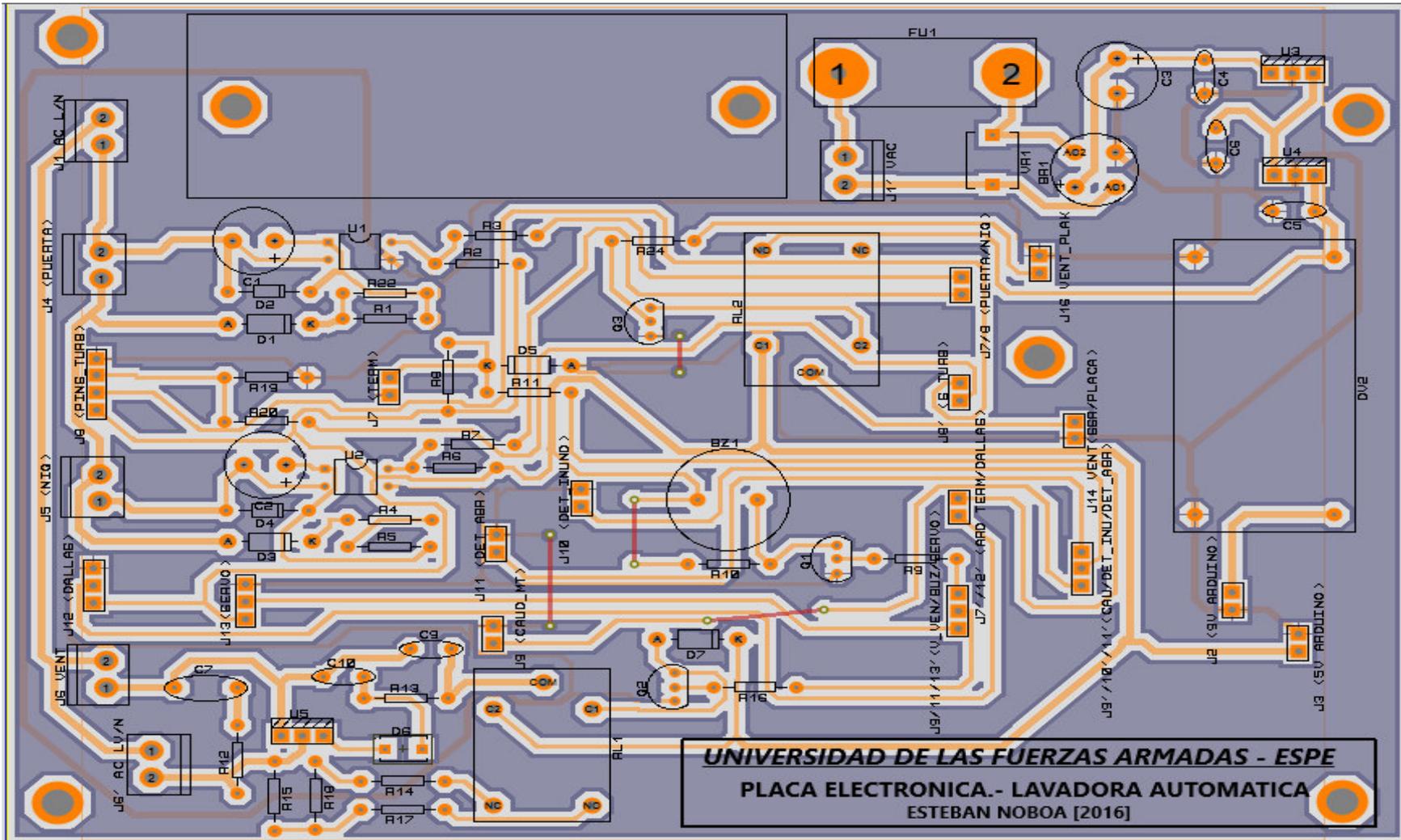


Figura 118.- Modelo PCB de circuitos de alimentación y control [ARES]

### 3.7 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

#### 3.7.1 Tipo de control implementado

A fin de facilitar el diseño e implementación del control de variables en el proceso se optó por un control ON/OFF para los 2 controles de temperatura tanto del agua (calentador) como del aire (niquelina).

##### 3.7.1.1 Control implementado en el calentador

En la figura 120 se observa que el calentador permanecerá encendido (en caso de que el programa de lavado así lo requiera) hasta que el valor de la temperatura sea 2° mayor a la seteada, entonces se apagará y, cuando se dé el descenso del valor y la temperatura sea inferior al S.P. el calentador se volverá a encender. El sensor que retroalimentará éste sistema es el termistor (sensado de temperatura del agua) (Fig. 119).

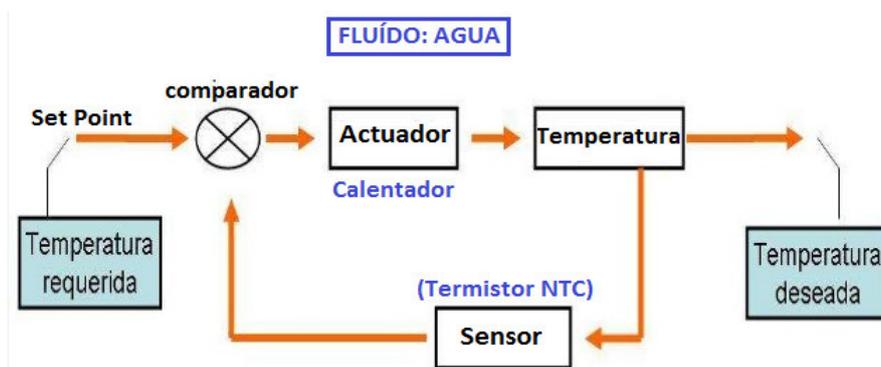


Figura 119.- Sistema de lazo cerrado (Control Calentador)

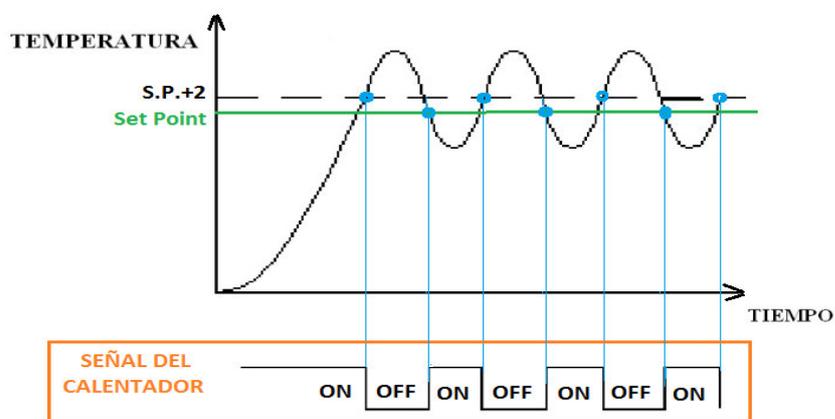
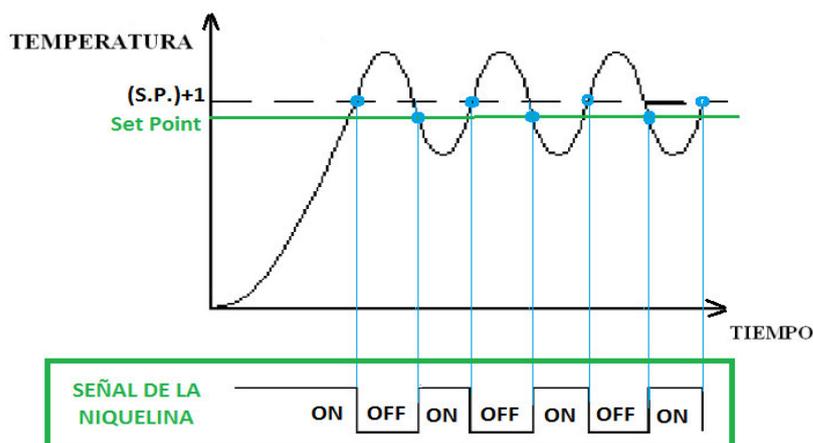


Figura 120.- Control del Calentador

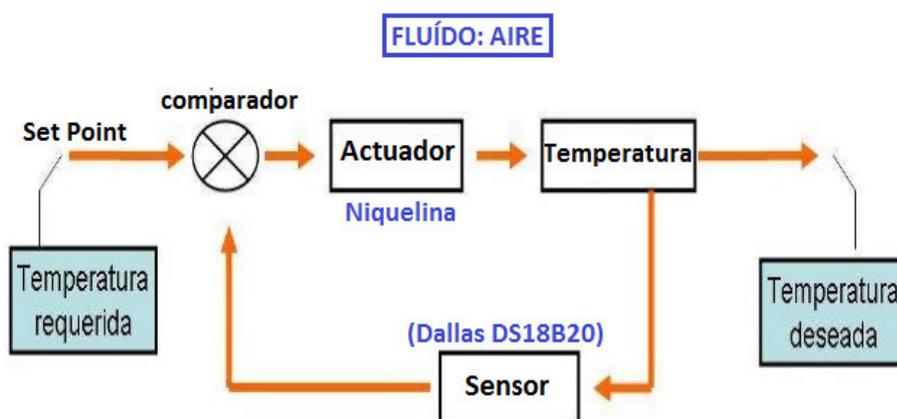
La temperatura del agua para todos los programas de lavado sigue los parámetros establecidos de la norma UNE-EN-ISO 15883 para las lavadoras termodesinfectadoras de laboratorio que dice que un lavado eficiente se realiza con una temperatura de agua (40-60[°C]) para que los jabones o detergentes actúen adecuadamente.

### 3.7.1.2 Control implementado en el calentador



**Figura 121.- Control de la Niquelina**

Descripción.- En la figura podemos observar que la niquelina permanecerá encendida (solo para programas de secado y desinfección) hasta que el valor de la temperatura del aire sea 1° mayor a la seteada, entonces se apagará y, cuando se dé el descenso del valor y la temperatura baje del S.P. la niquelina se volverá a prender (Figura 122).



**Figura 122.- Sistema de lazo cerrado (Control Niquelina)**

Cabe recalcar que únicamente para el programa de desinfección, se han seteado tiempos de encendido y apagado del ventilador así como también la velocidad del

mismo a fin de aumentar la eficiencia en el incremento de temperatura para minimizar tiempos y a la postre ahorro de energía (la mejor eficiencia se ha determinado en base a pruebas).

La determinación de la temperatura para el secado se lo configuró en base a pruebas realizadas sobre las probetas, pero para la desinfección por aire caliente según la norma de las lavadoras desinfectadoras UNE-EN-ISO 15883 dice que las Termodesinfectadoras consiguen limpieza térmica cuando alcanza  $T > 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se mantiene durante un tiempo determinado; los parámetros dependen del valor  $A_0$ , que es la eficacia de desinfección térmica en [s], lo cual se define en la siguiente fórmula:

$$A_0 = \sum \frac{10(T - 80)}{Z} \quad (3.7.1)$$

Donde:  $A_0$ : Valor de A cuando Z equivale a 10 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

t: Intervalo de tiempo escogido [s]

T: Temperatura de la carga [ $^{\circ}\text{C}$ ]

A fin de alcanzar la eficacia letal, se definen 2 circunstancias:

- Para instrumental en contacto con piel intacta (sin incluir virus de hepatitis resistentes al calor), es preciso una  $A_0 \geq 600$  [s].
- En condiciones de epidemia, (incluyendo el virus de la hepatitis B), es preciso una  $A_0 = 3000$  [s].

(Referirse a los parámetros de la Figura 123):

Temperatura $^{\circ}\text{C}$	$A_0$ 600 seg	$A_0$ 3000 seg
95 $^{\circ}$		1'30"
93 $^{\circ}$	30"	2'30"
90 $^{\circ}$	1'	5'
85 $^{\circ}$	3'10"	16'
80 $^{\circ}$	10'	50'

**Figura 123.- Temperaturas y tiempos para desinfección (Alonso, s.f.)**

Para el caso del prototipo se pretenderá llegar a los valores encerrados.

### 3.7.2 Instrumentación y Sensores

#### 3.7.2.1 Caudalímetro (Conmutador de Flujo)

Es un sensor incorporado en la tubería de admisión que comunica a la válvula de entrada con la cámara de lavado, su función es medir el flujo del agua que ha entrado en el equipo.

Está constituido de una lámina reed con un interruptor magnético y un imán flotador suspendido en la carcasa del caudalímetro incorporado en la tubería, el cual ante la presencia de agua se mueve provocando discontinuidades en la señal del interruptor magnético que se traduce como un tren de pulsos electrónicos que se enviarán al microcontrolador para ser interpretados.

Éste sensor es importante ya que puede prevenir fallos en la máquina por avería ya sea en la válvula de entrada o pobre caudal de ingreso del grifo conectado, en caso de detectarse algún desperfecto, el equipo notificará al usuario con una alarma correspondiente al error E3.

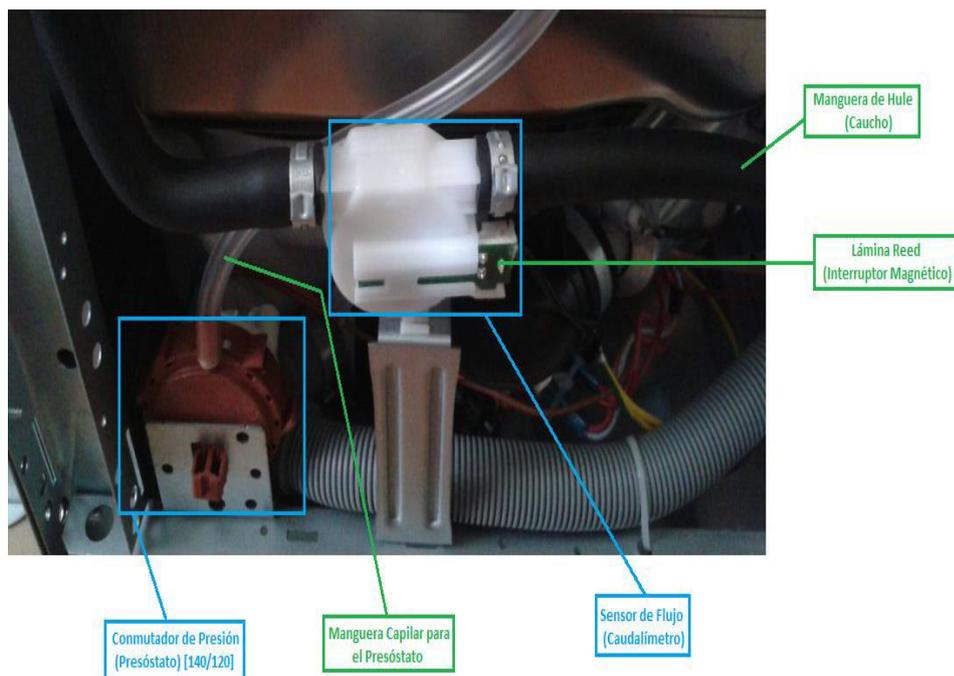
#### 3.7.2.2 Interruptor de presión (presóstato)

El interruptor de presión marca ELBI serie 140/120 consiste en un diafragma móvil y un disco los cuales dependiendo de la presión comunicada por la manguera capilar provocan un cambio en los contactos. Este dispositivo puede ser calibrado para setear o restablecer los niveles de presión. La principal aplicación es el control del nivel de agua en los equipos, o la protección contra inundaciones.



**Figura 124.- Presóstato (2 vistas y descripción de terminales)**

A continuación se presentarán los dos sensores implementados (Fig. 125):



**Figura 125.- Diagrama de instalación: Caudalímetro y Presóstato**

### 3.7.2.3 Termistor NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo)

Es una resistencia variable cuyo valor decrece a medida que aumenta la temperatura (es decir que su conductividad es directamente proporcional a la temperatura). Éste sensor trabaja en un rango de temperatura pequeño ya que su aplicación así lo requiere.

La relación entre la resistencia y la temperatura no es lineal, sino exponencial. El termistor implementado está integrado en el sumidero y es utilizado para la medición de la temperatura del agua en la tubería.

**Tabla 97**  
**Mediciones de resistencia del termistor:**

Temp. [°C]	Resistencia [KΩ]	Temp. [°C]	Resistencia [KΩ]
15	17,48	50	4,144
20	12,12	60	3,011
25	10	70	2,224
30	8,299	80	1,667
40	5,807	85	1,451

### 3.7.2.4 Sensor de turbidez/caudal

Se utiliza para la determinación precisa de la turbidez del agua basado en un principio óptico, debido a que incorpora un foto transistor y un fotodiodo que pueden medir las diferencias en el paso de luz a través de un líquido, es comúnmente utilizado en equipos de lavado. El sensor implementado está directamente montado en la manguera próxima al sumidero para obtener periódicamente y de manera precisa el grado de turbidez del agua que circula en unidades de NTU.



Figura 126.- Sensor de Turbidez Implementado

Tabla 98

Especificaciones técnicas del sensor de turbidez:

MAGNITUD	CANTIDAD
<i>Voltaje de alimentación</i>	5 [Vdc]
<i>Corriente de trabajo</i>	30 [mA]
<i>Tiempo de respuesta</i>	< 500 [ms]
<i>Cables de conexión</i>	Blanco(out);Rojo(+);Amarillo(-)
<i>Voltaje de Salida</i>	(0,4-5) [V]



Figura 127.- Sensor de Turbidez: Estructura Interna y PCB propia

### 3.7.3 Funcionamiento del panel de mandos



Figura 128.- Panel de Mandos de la Lavadora-Termodesinfectadora Etiquetado

Tabla 99

Descripción de los botones del panel de mandos:

BOTÓN #	FUNCIÓN / PROGRAMA	DESCRIPCIÓN
1	Encendido/ Apagado	Es el interruptor principal de la máquina, la enciende o apaga.
2	Posponer Inicio	Posterga el inicio de cualquier programa de lavado, secado o desinfección (debe ser presionado antes de seleccionar el programa que se va a ejecutar).
3	Inicio/Pausa	Pausa o reanuda el proceso desde el momento en que haya sido interrumpido, generalmente se lo utiliza en caso de que se requiera ingresar más material vítreo o recargar la cesta.
4	Enjuague*	Ciclo de llenado de tanque; Control de calentador (40°); Acción de la bomba de lavado; Acción de la bomba de drenaje; Alarma de fin de proceso.
5	Lavado Rápido*	Doble ciclo de llenado de tanque; Control de calentador (40°); apertura del dispensador de detergente; doble ciclo de la bomba de lavado; doble ciclo de la bomba de drenaje; Alarma de fin de proceso.
6	Lavado Exterior*	Doble ciclo de llenado de tanque; Control de calentador (40°); apertura del dispensador de detergente; cierre de la válvula de exteriores; triple ciclo de la bomba de lavado; triple ciclo de la bomba de drenaje; apertura de persianas; Control de niquelina (50°); Ventilador a alta velocidad; Alarma de fin de proceso.
7	Lavado Intensivo*	Triple ciclo de llenado de tanque; Control de calentador (50°); apertura del dispensador de detergente; triple ciclo de la bomba de lavado; triple ciclo de la bomba de drenaje; apertura de persianas; Control de niquelina (60°); Ventilador a alta velocidad; Alarma de fin de proceso.

<b>8</b>	Lavado Automático*	[Triple ciclo de llenado de tanque; Control de calentador (50°); apertura del dispensador de detergente; triple ciclo de la bomba de lavado; triple ciclo de la bomba de drenaje] ← (Éste ciclo se repite las veces que lo determine el sensor de turbidez); apertura de persianas; Control de niquelina (60°); Ventilador a alta velocidad; Alarma de fin de proceso.
<b>9</b>	Secado**	Control de la niquelina (60°); Velocidad del ventilador seteada en alta; Ventilador encendido en todo el proceso; Alarma de fin de proceso.
<b>10</b>	Desinfección**	Control de la niquelina (90°); Velocidad del ventilador seteada en baja; 9 ciclos de intermitencia del ventilador (encendido 4min, apagado 45s); Alarma de fin de proceso. [Duración ≈ 1 hora]

NOTA: \* empiezan con las persianas cerradas por ser programas de lavado; \*\* empiezan con las persianas abiertas por ser ciclos en los que interviene el ventilador; en todos estos procesos se da un ciclo previo de drenaje para eliminar restos del lavado anterior.

### 3.7.4 Código de programación

La plataforma utilizada para desarrollar el algoritmo y código de programación fue la plataforma del software libre ARDUINO para programación de tarjetas de control de Arduino, se basa en lenguaje C de programación.

NOTA: Debido a la extensión del código de programación el código completo se lo encontrará en el ANEXO 3 de éste documento.

### 3.7.5 Códigos de error

Para determinar las condiciones peligrosas o anómalas dentro de los procesos tanto de lavado, como de secado y desinfección surgió la necesidad de plantear 4 tipos de errores, los cuales se definirán a continuación:

#### 3.7.5.1 'E1': Desbordamiento

En cualquier momento, si el interruptor de flotador se acciona, ocurrirá un 'E1'. Cuando esto ocurre la bomba de drenaje trabajará por aproximadamente 1 minuto y todos los demás actuadores serán detenidos inmediatamente. Al mismo tiempo, la alarma zumbará intensa e intermitentemente, al mismo tiempo en los display se indicará 'E1'. El nivel de prioridad E1 es el más alto. La operación E1 es válida incluso después de activadas otras operaciones de error.

### **3.7.5.2 ‘E2’: Fallo de funcionamiento de la niquelina**

Cuando se ha enviado la señal para activar la niquelina (por medio del control del SSR) y la niquelina no se ha activado ocurrirá un E2, este error compara la señal de control de la niquelina con la señal de voltaje (AC) que llega a la misma, lo cual puede producirse por defecto en el fusible, un cable roto o los conectores de la niquelina flojos. Cuando ocurre un E2 la alarma zumbará intensa e intermitentemente, al mismo tiempo en los display se indicará ‘E2’

### **3.7.5.3 ‘E3’: Poco o nulo caudal de agua en la manguera de admisión**

Si la válvula de entrada ha sido abierta durante 10 segundos pero la cantidad de agua no ha alcanzado su valor deseado (medida por pulsos mediante el caudalímetro) ocurriría un ‘E3’. Cuando ocurre un E3 la alarma zumbará intensa e intermitentemente, al mismo tiempo en los display se indicará ‘E3’

### **3.7.5.4 ‘E4’: Posible fallo en el calentador de agua**

Si se ha enviado la señal que activa al calentador de agua pero no se presenta un incremento considerable al menos de 2[°C] en el agua durante el primer minuto de encendido el calentador se presentará un E4, lo cual puede provocarse debido a un desperfecto en el calentador, un cable roto o los conectores flojos en el mismo. Cuando ocurre un E4 la alarma zumbará intensa e intermitentemente, al mismo tiempo en los display se indicará ‘E4’.

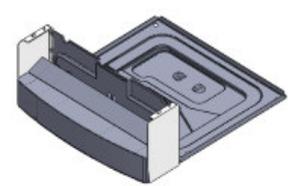
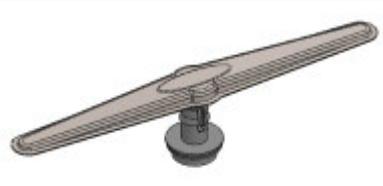
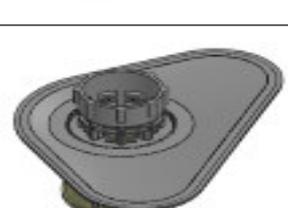
## CAPÍTULO 4

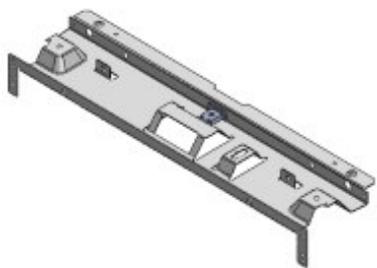
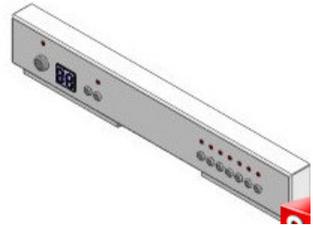
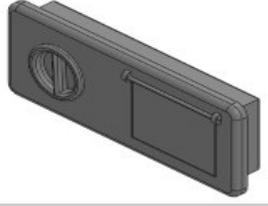
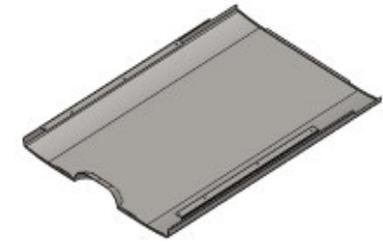
### CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

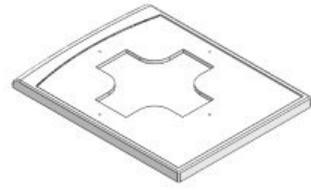
#### 4.1 DETERMINACIÓN DE PIEZAS DEFECTUOSAS DE LA LAVADORA RECICLADA

En la tabla 100 se detalla cuáles de los componentes de la lavadora antigua están en condiciones buenas para la construcción e implementación en el prototipo y cuáles de las partes deben ser renovadas:

**Tabla 100**  
**Componentes Funcionales de la lavadora reciclada:**

	IMAGEN	COMPONENTE	ESTADO
<b>ELEMENTOS DE LA PARTE ESTRUCTURAL DE LA MÁQUINA</b>		Ensamble de la base de la lavadora	Buenas condiciones, se puede reutilizar
		Placa Baja	Buenas condiciones, se puede reutilizar
		Ensamble Brazo de Aspersión Inferior	Buenas condiciones, se puede reutilizar
		Ensamble Cámara de lavado	Buenas condiciones, pero es necesario modificarla para acoplar ventilador
		Conjunto de filtrado	Buenas condiciones, se puede reutilizar

	Soporte de Sujeción Superior	Buenas condiciones pero es necesario modificarla para las bases del ventilador
	Placas Laterales para la carcasa	Buenas condiciones pero es necesario modificación para acople de resortes
	Panel de la lavadora	Buenas condiciones pero es necesario pintarlo
	Dispensador de detergente	Buenas condiciones de uso se puede reutilizar
	Pilares de anclaje	Buenas condiciones de uso, se puede reutilizar
	Placa interior de la puerta	Buenas condiciones de uso, se puede reutilizar
	Placa exterior de la puerta	Buenas condiciones de uso, se puede reutilizar

		Sistema de sujeción de la puerta	Buenas condiciones de uso, se puede reutilizar
		Tapa superior de la máquina	Buenas condiciones pero es necesario modificarla para incluir el ventilador

La mayoría de los elementos que conforman el armazón o la parte estructural de la máquina se pueden reciclar y reutilizar debido a que éstos no están sujetos a desgaste ni están en contacto con el agua (a excepción de la cámara de lavado), los criterios de análisis para determinar si los elementos están aún funcionales se basaron en: integridad mecánica (que no se encuentren rotos o fragmentados), oxidación (para elementos metálicos) y estética (que no se encuentren deformados o descuadrados). Los elementos estructurales que no están presentes en el cuadro anterior fue necesario su reemplazo o fabricación.

#### 4.2 MANUFACTURA DE LAS PIEZAS

Los procesos de manufactura involucrados en la fabricación de piezas tanto para la caja de secado como para la modificación y acople de nuevas piezas se realizó en el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, entre los cuales constan: doblado, corte, taladrado, fresado, limado, esmerilado y soldadura de punto. El procedimiento del corte por cizalla, doblado y la máquina de soldadura por punto se presentan en la Figura 129:



**Figura 129.- Procedimiento para corte, doblado y soldadura por punto**

#### 4.2.1 Cámara de lavado

Para la cámara de lavado se partió de una cuba de acero inoxidable AISI 304 de espesor 0,5 [mm] ya existente, a partir de la cual se realizó adecuaciones para completar el diseño final del prototipo.

Los procesos realizados en la cámara de lavado fueron: corte con tijera de tol (circulo azul de la figura), soldadura (punto 1 de la figura) y limado (para eliminar aristas vivas), tal como se muestran en la Figura 130:

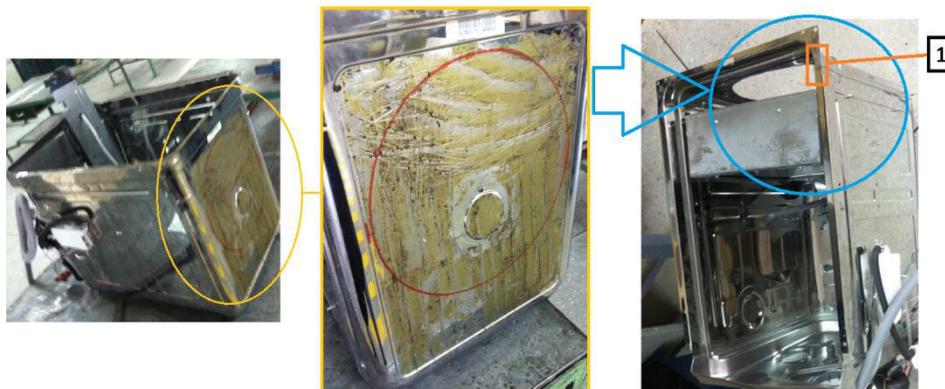


Figura 130.- Procesos realizados en la cámara de lavado

#### 4.2.2 Módulo de secado de secado

##### 4.2.2.1 Caja de secado

###### Cuadro principal

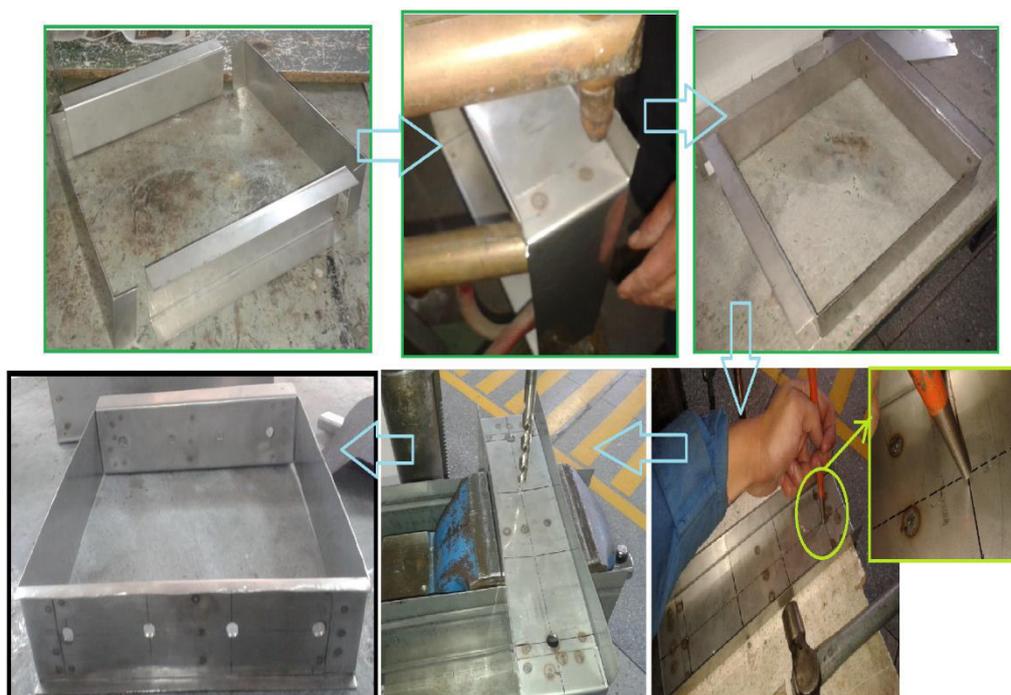


Figura 131.- Proceso de elaboración para el cuadro soldado

El proceso inicia cortando la plancha de acero inoxidable AISI 304 posterior a lo cual se dobla a las dimensiones diseñadas; seguidamente viene la soldadura por punto es necesario que antes de asegurar la soldadura se cerciore de que las piezas cuadren y encajen perfectamente (la soldadora se pone a media capacidad y el tiempo de pedal es  $\approx 2s$ ); luego que el cuadro quede unido, se procede a tomar medidas para realizar el graneteado y taladrado en el taladro de banco (la broca para taladrar acero inoxidable debe ser de cobalto y el proceso debe realizarse con refrigerante), para finalizar se lima y lija las aristas vivas, esquinas y viruta excedente, como se muestra:



**Figura 132.- Proceso de limado de la caja interna de secado**

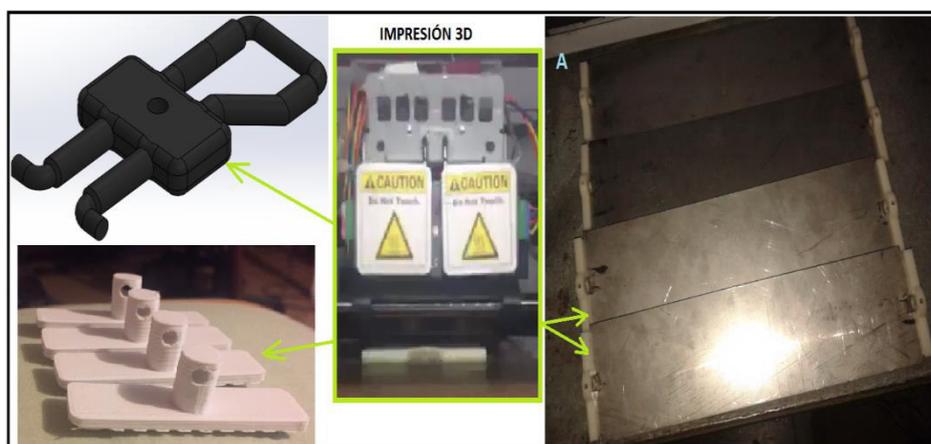
Persianas.- El proceso de fabricación de las persianas comienza con el corte de la plancha de acero AISI 304 en las dimensiones de cada persiana, en total son 4, luego de eso es necesario utilizar una tijera de tol para cortar cada extremo de la misma ya que el diseño en esa parte tiene pequeños cortes, una vez realizados todos los cortes se procede al doblado de los bordes más largos limado (Figura 133).



**Figura 133.- Persianas fabricadas**

Soportes de las persianas, acoples para pivote y gancho de la puerta.- Estos 3 componentes a diferencia de los citados anteriormente están hechos con plástico ABS,

su fabricación fue realizada por una impresora en 3D en una densidad máxima para garantizar una alta vida útil y a la vez permitir flexibilidad en el sistema, los 2 primeros son los encargados de transmitir el movimiento a las persianas, las cuales se abrirán o cerrarán dependiendo de la necesidad (lavado o secado). En el soporte, las persianas van asentadas y fijas, mientras que los acoples para pivote son los encargados de transmitir el movimiento por medio de enlaces rígidos desde el servomotor, el medio de enlace entre soportes y acoples va a ser un pasador (tornillo), el gancho de la puerta es el elemento mecánico encargado de asegurar el cierre de la puerta y a la vez provocar el giro de una mini leva en el mecanismo de cierre de la puerta lo cual activa un fin de carrera, el cual servirá para sensar la posición de la puerta, a continuación se presenta su fabricación y montaje, Figura 134:



**Figura 134.- Piezas impresas en 3D y ensamble de persianas**

Enlaces rígidos, Placas tapa y placa de acople al servomotor.- La fabricación de éstas 3 piezas se basan principalmente en 3 procesos: corte de la plancha de acero AISI 304, dobléz conforme a las dimensiones del diseño y taladrado de los huecos con las brocas de cobalto con la ubicación y diámetro del diseño, parte del proceso se detalla a continuación, en las Figuras 135 y 136:

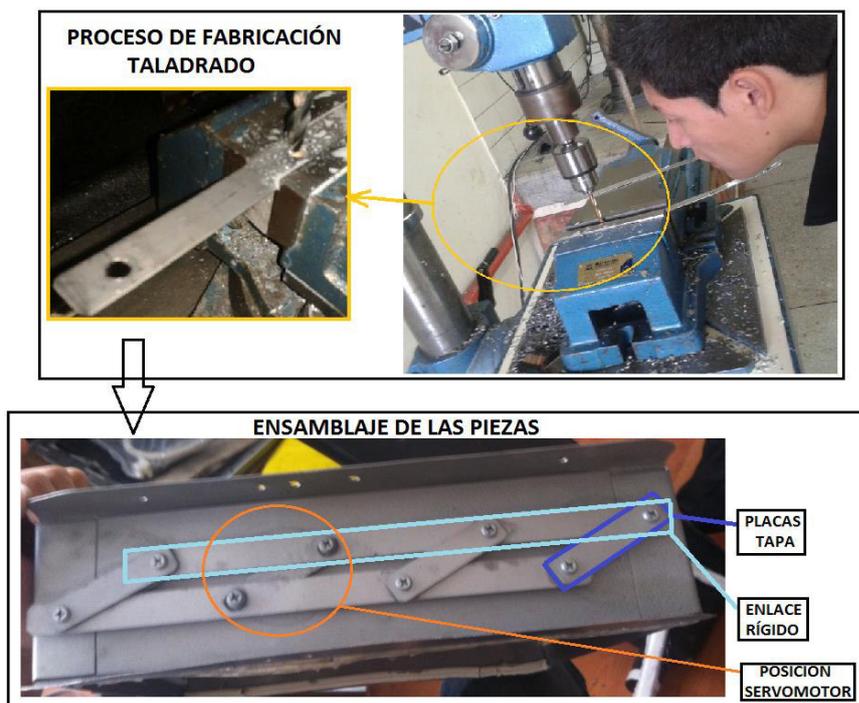


Figura 135.- Fabricación de enlace rígido y ensamble en la caja

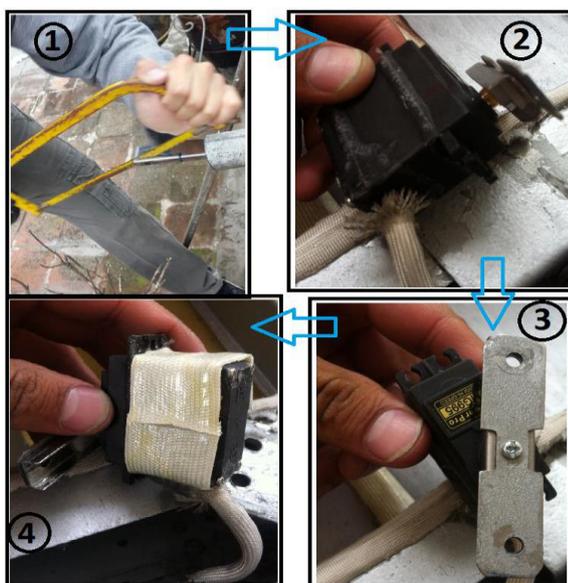


Figura 136.- Proceso para acoplar el servo al mecanismo de persianas

Para que el servomotor se acople al mecanismo propuesto fue necesario la fabricación de una pieza específica la cual embona en el accesorio del eje del servomotor (foto 2), el proceso parte de corte, limado, calibración de medidas, ajustes y ensamble (foto 3), como protección debido a la temperatura de la niquelina y del aire se forró la carcasa del servomotor con espaguete térmico (foto 4).

Placa soporte del servomotor y Placa 'L'.- Los procesos para fabricación involucrados son: corte, taladrado y limado (Fig. 137):



**Figura 137.- Placas soporte del servomotor y placas 'L' de la niquelina**

#### 4.2.2.2 Soporte Exterior

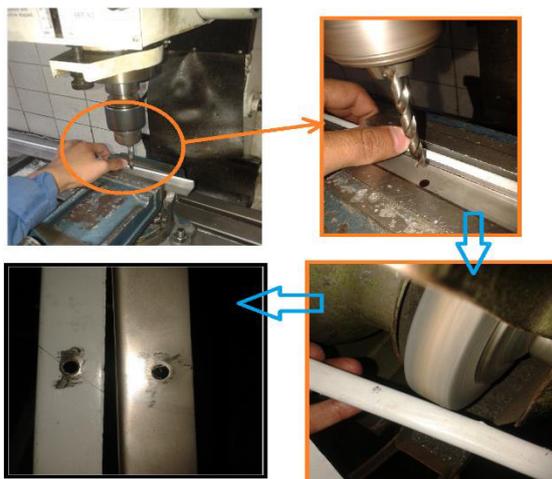
Para la caja exterior que va a sostener la caja interior de secado (que contiene las persianas) se inició su fabricación con la ayuda de: Corte, doblado, soldadura, corte con amoladora, limado y lijado en ese orden:



**Figura 138.- Proceso de elaboración de la caja exterior**

#### 4.2.2.3 Rieles

Los rieles se elaboraron en acero AISI 304 mediante procesos de: corte, doblado, taladrado y limado, parte del proceso se ilustra en la figura 139:

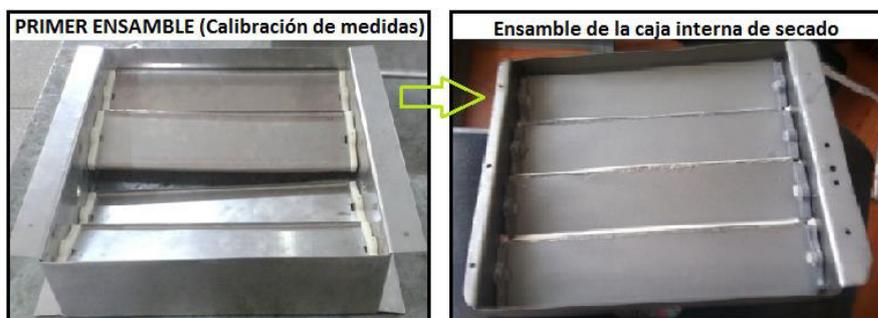


**Figura 139.- Fabricación de las rieles**

### 4.3 PREENSAMBLES DE LOS MÓDULOS

En ésta sección se realizaron pre-ensambles de la máquina para facilitar el ensamble total, los procesos involucrados en la mayoría son: limado, lijado, calibración de medidas, apreciación de tolerancias y colocación de pernos de ajuste; por lo tanto en los ítems a continuación solo se detallarán figuras:

#### 4.3.1 Caja de secado



**Figura 140.- Ensamblajes de la caja interna de secado**

#### 4.3.2 Placas protectoras de cables



**Figura 141.- Placas protectoras de cables (contra agua) y montaje**

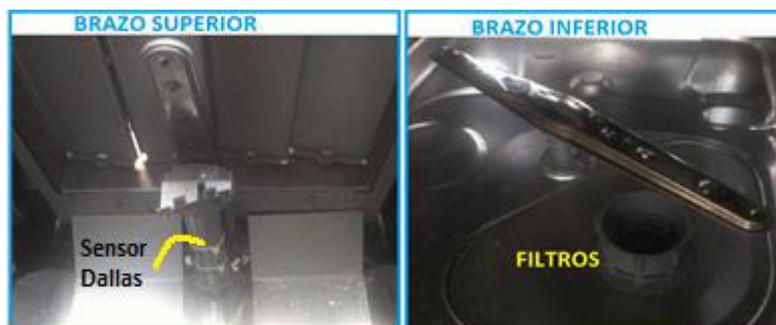
### 4.3.3 Ensamble de la cámara a la estructura



**Figura 142.- Ensamble y montaje de la cámara a la estructura**

- Etapa 1: Se colocó la placa soporte de sujeción superior (la cual fue sometida a un proceso de fresado para realizar el surco para el soporte del ventilador), además se anclo los pilares a la cámara por medio de pernos M5 inoxidables; se fabricaron y colocaron piezas anti-vibración (tapa superior) para disminuir las vibraciones provocadas por el ventilador, y por último se colocó el soporte de ventilador y el ventilador, todo ajustando con pernos M5 de acero inoxidable.
- Etapa 2: Se colocaron los resortes que van a amortiguar la apertura de la puerta para que ésta al momento de abrirse no se caiga bruscamente, la tensión de éstos depende desde donde esté sujeto su extremo superior, lo cual se determinó en base a pruebas, y como adicional se ensambló el mecanismo de la puerta y la placa interior de la misma.
- Etapa 3: Se procedió a forrar todas las paredes exteriores de la cámara de lavado para aislarla tanto térmica como acústicamente.

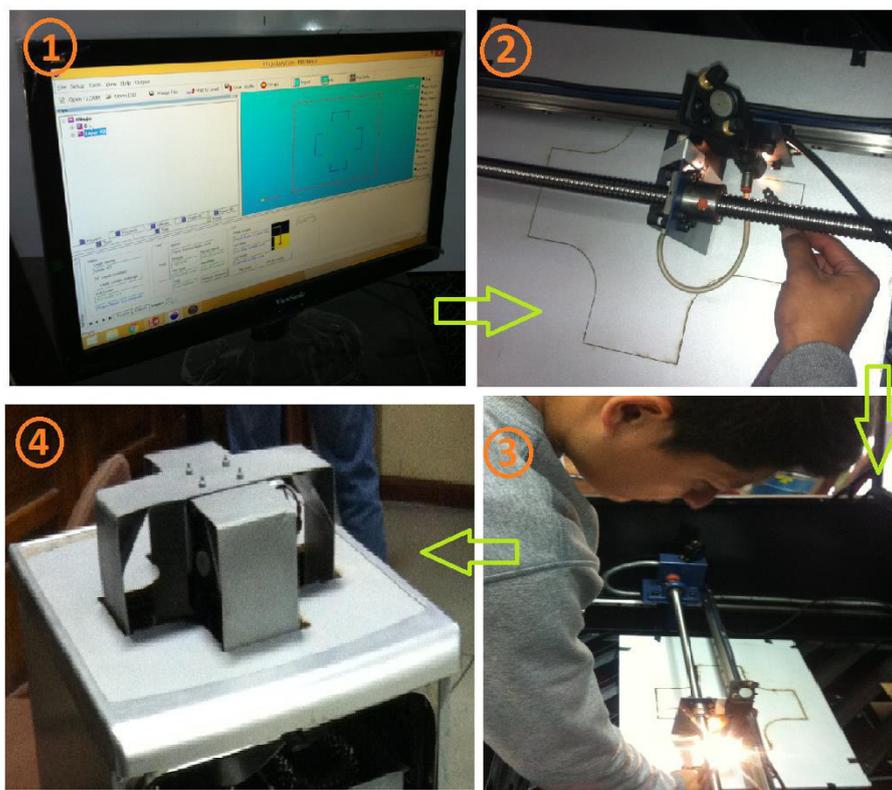
### 4.3.4 Colocación de los brazos de aspersión



**Figura 143.- Ensamble de los brazos de aspersión a las tuberías**

### 4.3.5 Adecuación de la Tapa Superior de la lavadora

En la tapa superior fue necesario un corte para acoplar el soporte del ventilador, el proceso se realizó mediante la máquina de corte por láser del laboratorio de Máquinas y Herramientas, el proceso consta de diseño, corte por láser, lijado y ensamble, como se detalla en la figura 144:

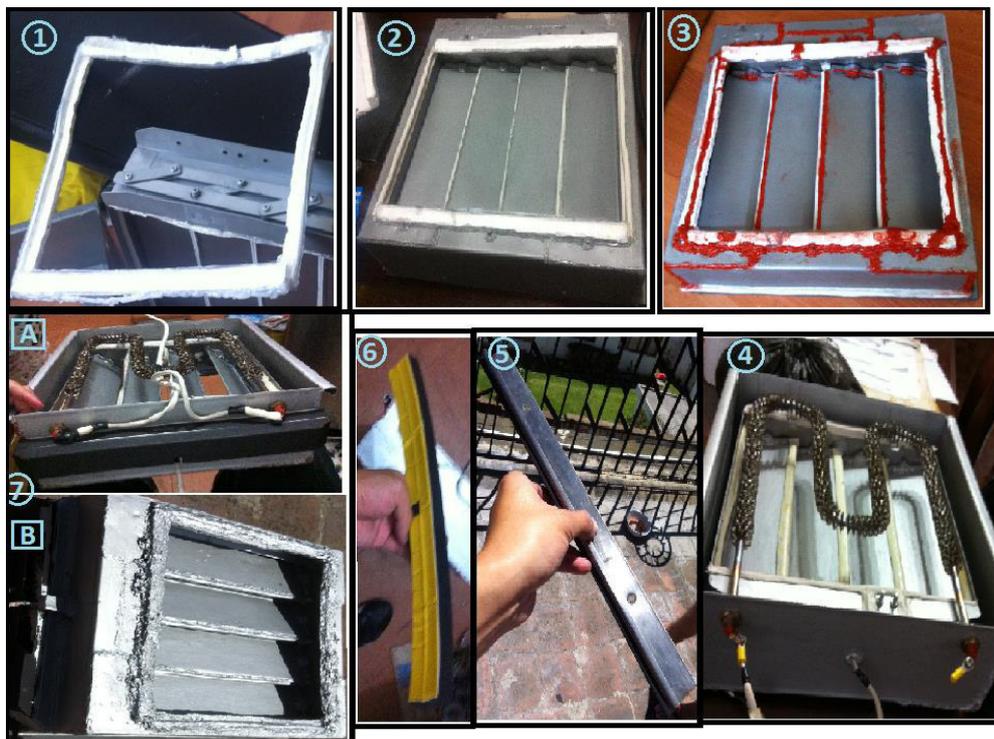


**Figura 144.- Proceso de corte por láser de la tapa superior**

### 4.3.6 Impermeabilización de la caja de secado

Para iniciar el proceso de Impermeabilización para evitar que el agua proveniente de los aspersores no pase hacia arriba y no tenga contacto con los cables o ponga en amenaza la integridad del motor del ventilador fue necesario un estudio de materiales, para lo cual se decidió partir de un marco de espuma Flex unida con silicona [foto 1]; luego se fijó al marco inferior con silicona transparente [foto 2]; debido a que la silicona dio malos resultados se reemplazó la silicona transparente por silicona resistente a altas temperaturas [foto 3]; en la parte superior de la caja los filos se las persianas y bordes de caja se los cubrió con sellador de ventanas, forrando dicho sellador con espagueti térmico [foto 4]; se observó filtración de agua entre la pared interna de la cámara y los rieles por tanto se colocó caucho resistente a alta temperatura en el filo de los rieles [foto 5]; finalmente en la parte posterior de la caja (lugar de

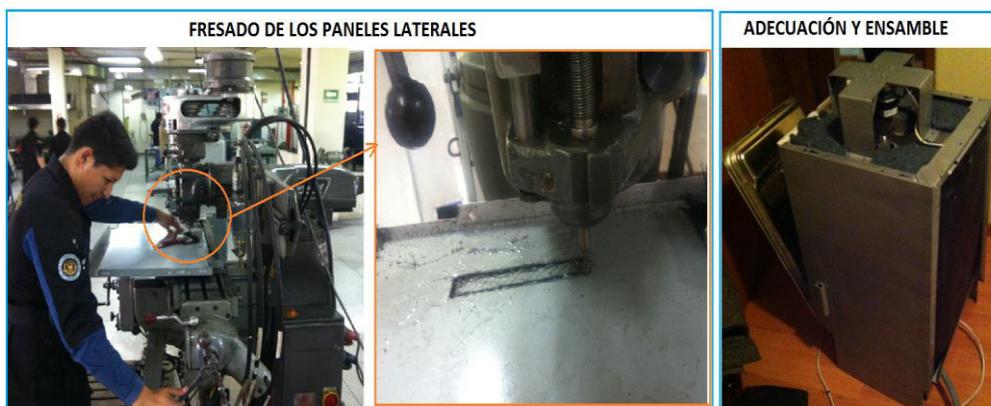
donde salen los cables de niquelina y servomotor) se colocó caucho, realizándose así una hermetización completa con buenos resultados (Figura 145).



**Figura 145.- Proceso de Impermeabilización de la caja superior**

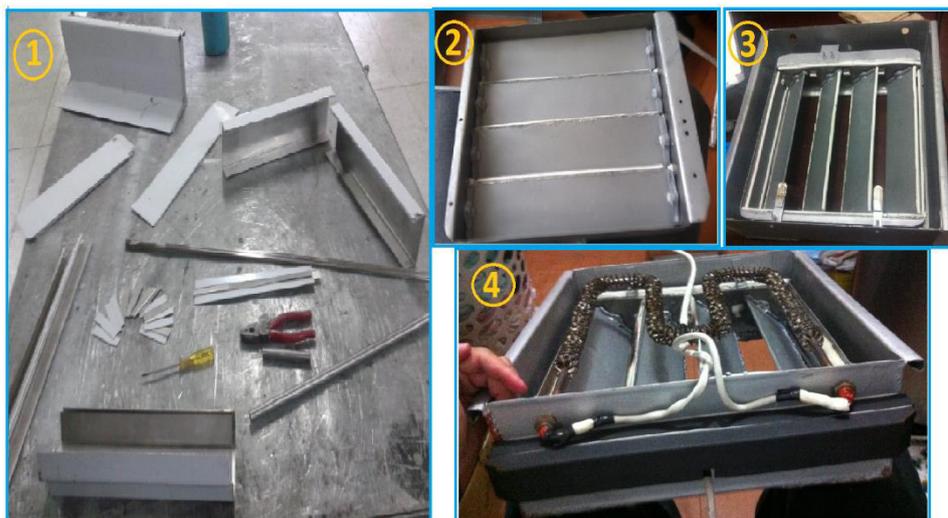
#### 4.3.7 Adaptación de los paneles laterales para la carcasa exterior

Dadas las dimensiones y diámetro exterior de los resortes que sirven de amortiguamiento para el descenso de la puerta (cuando se abre) fue necesario modificar los paneles laterales de la carcasa exterior de la lavadora, los procesos realizados fueron: fresado, corte, doblado y suelda.



**Figura 146.- Proceso de Modificación de los paneles laterales**

La figura 147 resumirá el procedimiento tomado para conformar la caja de secado hasta su fase final:



**Figura 147.- Resumen: fabricación del módulo de secado**

#### 4.3.8 Pintura de los componentes

El proceso final para la manufactura y fabricación de las partes y piezas implementadas en la máquina es el proceso de pintura, el cual se llevó a cabo, dependiendo de la parte a pintar, para realizar éste proceso fue necesario un estudio de la pintura de manera que no sea soluble a ninguna solución que vaya a tomar contacto con ella, el procedimiento tomado se indica en la figura 148 a continuación:



**Figura 148.- Pintura de las partes modificadas**

#### 4.4 MONTAJES HIDRÁULICOS

Los componentes que se encuentran a continuación son los componentes nuevos que han sido montados en el prototipo, entre los cuales constan los siguientes: válvula de entrada de agua [A]; Bomba de Drenaje [B]; Bomba de Lavado [C] y Sensor de turbidez [D] tal como se indica en la figura 149:

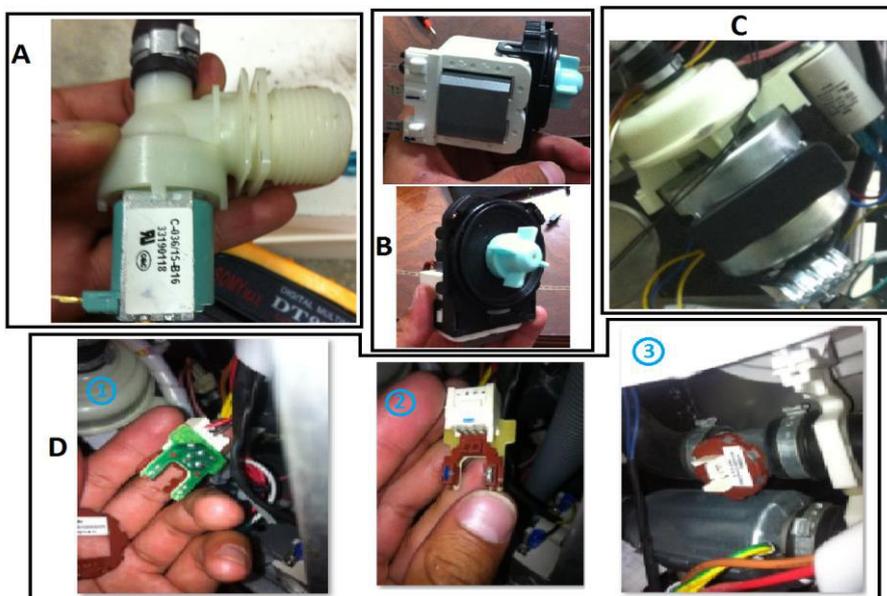


Figura 149.- Montaje de elementos hidráulicos

#### 4.5 INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Respecto de las instalaciones eléctricas de la máquina lo primero que se realizó es la colocación de los conectores FASTON y la conexión de los mismos en los terminales de los siguientes actuadores: Calentador (1); Bomba de lavado (2); Bomba de drenaje (3); válvula de exteriores (4); válvula de entrada (5):

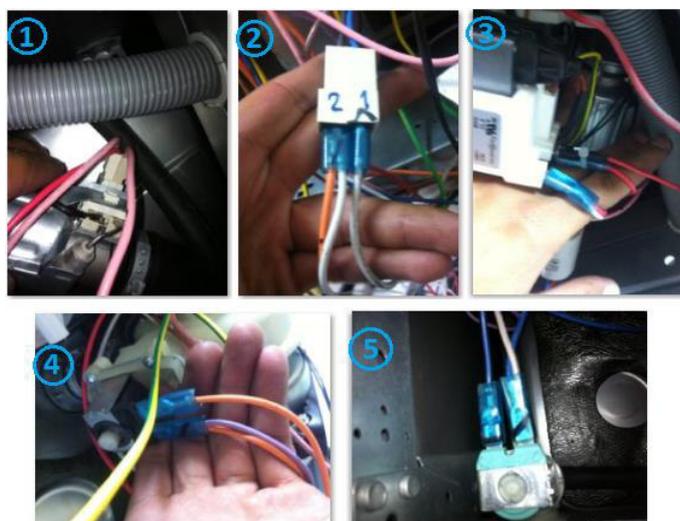
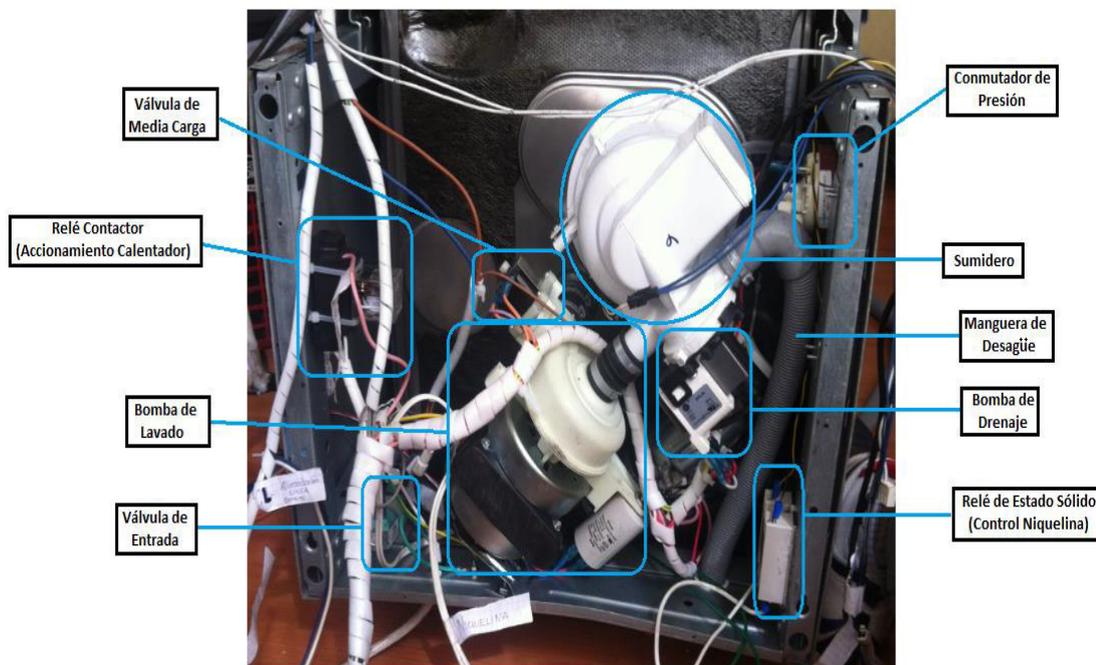
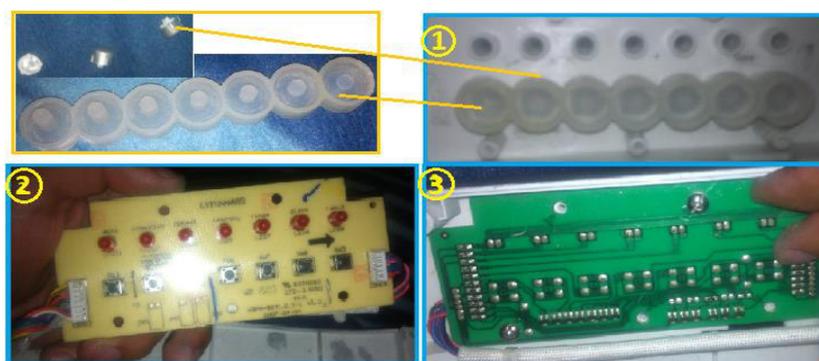


Figura 150.- Conexiones eléctricas de los actuadores

Después de cerciorarse que todas las conexiones tanto de los sensores como de los actuadores han sido conectados correctamente (para el diagrama eléctrico general referirse al ANEXO 2 de éste documento) se procede a organizar los cables con ayuda del cobertor espiral, quedando como se indica en la figura 151:



**Figura 151.- Partes del prototipo: Vista inferior**



**Figura 152.- Verificación y colocación de la PCB de la botonera**



**Figura 153.- Alargamiento de cable y recubrimiento con termoencogible**

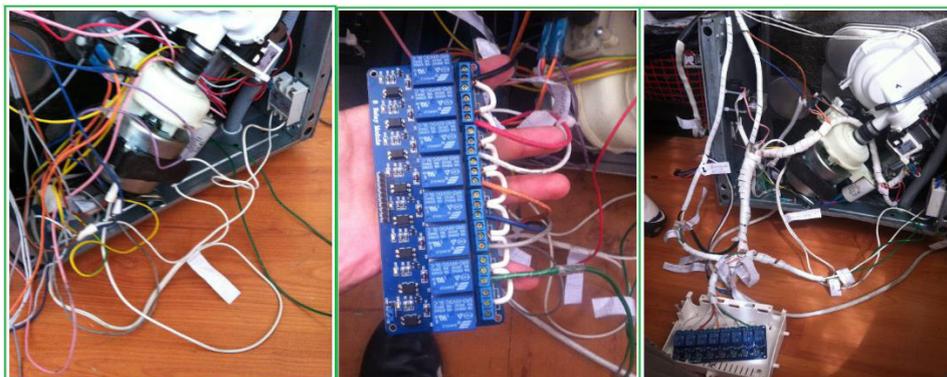


Figura 154.- Proceso de conexión de la etapa de potencia

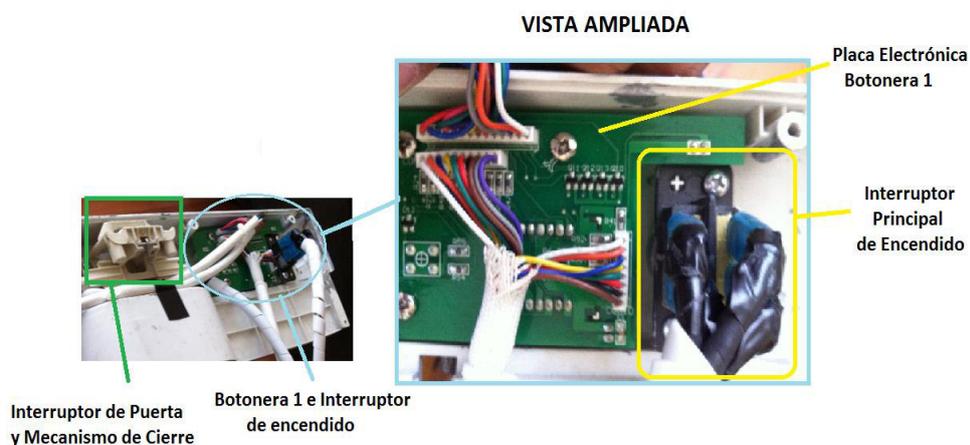


Figura 155.- Verificación y reemplazo de partes de la 1ra. botonera



Figura 156.- Reparación y reemplazo de interruptores magnéticos

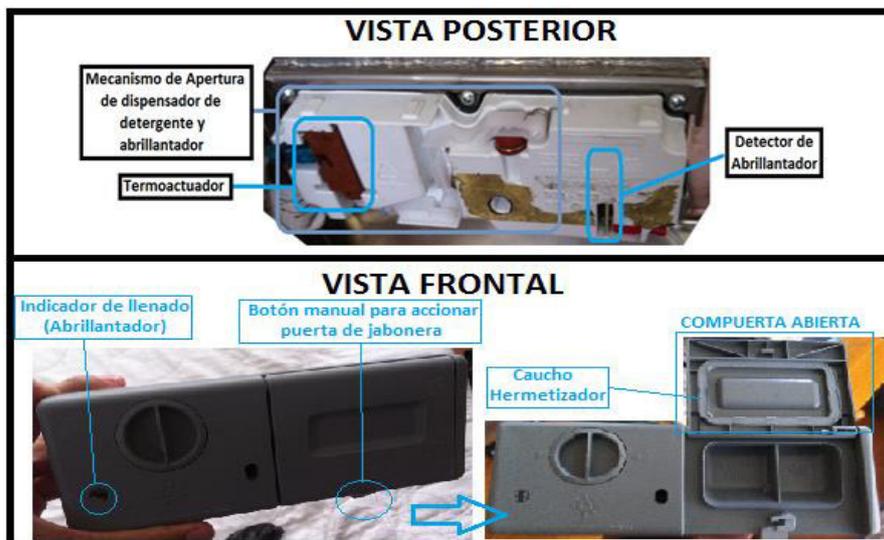


Figura 157.- Ensamble del dispensador e identificación de las partes



Figura 158.- Ensamblajes incluidos en la puerta

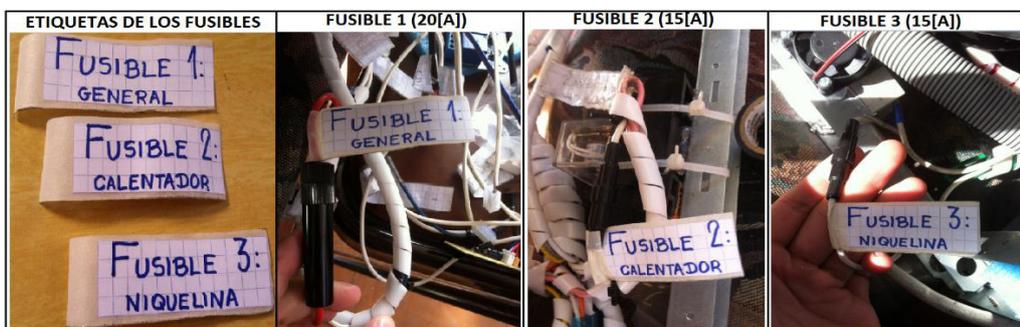


Figura 159.- Protecciones sobre corriente en las cargas de potencia



Figura 160.- Protecciones térmicas y conexiones de relés y niquelina

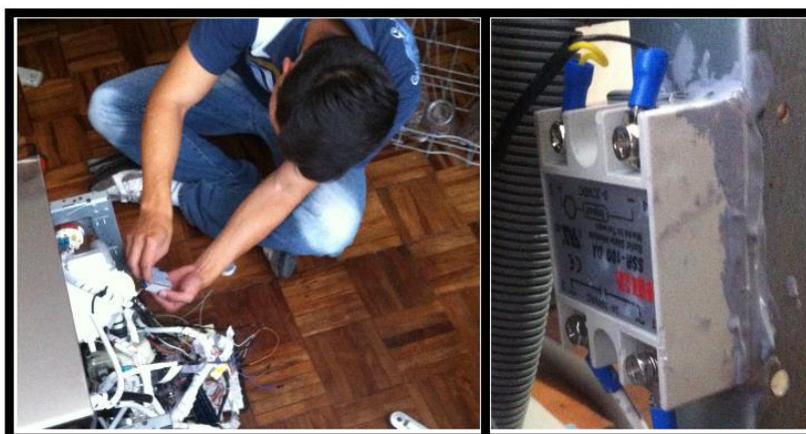


Figura 161.- Colocación de la pasta térmica en el relé de estado sólido

#### 4.6 FABRICACIÓN DE LA PLACA ELECTRÓNICA

En ésta sección se detallará todo el proceso de fabricación de la placa de alimentación: colocación de conectores, ensamblaje de los circuitos de potencia, control y alimentación en una sola caja de control (Figuras 162-163):

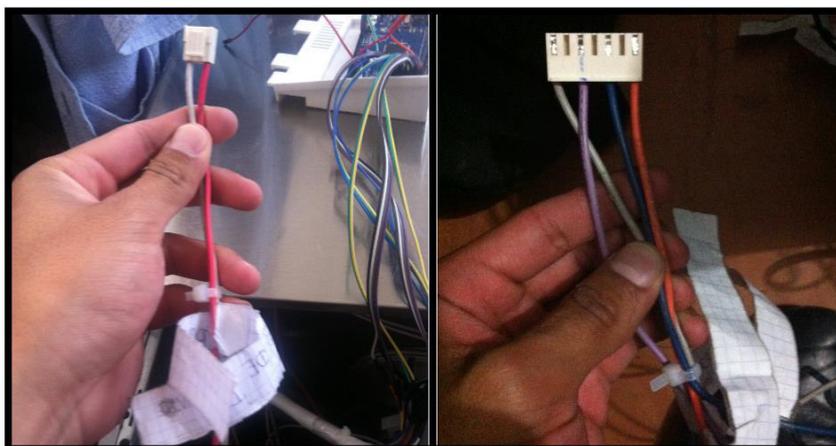
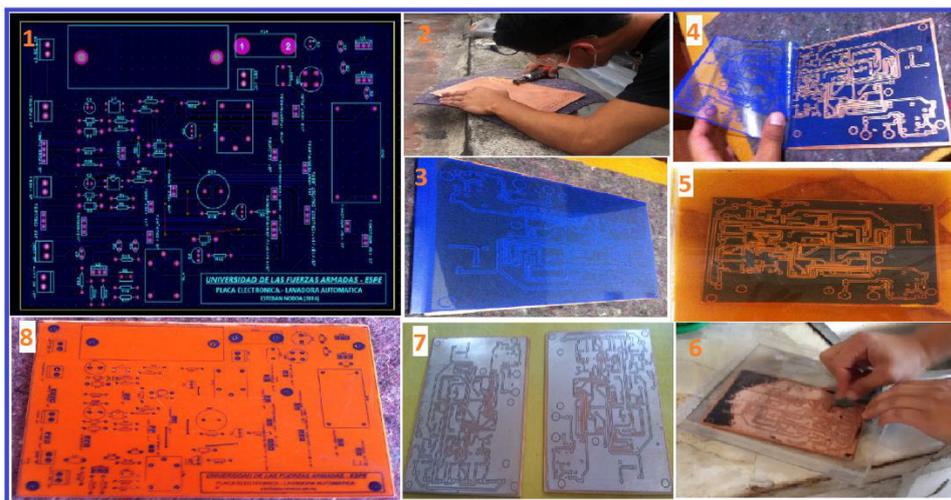
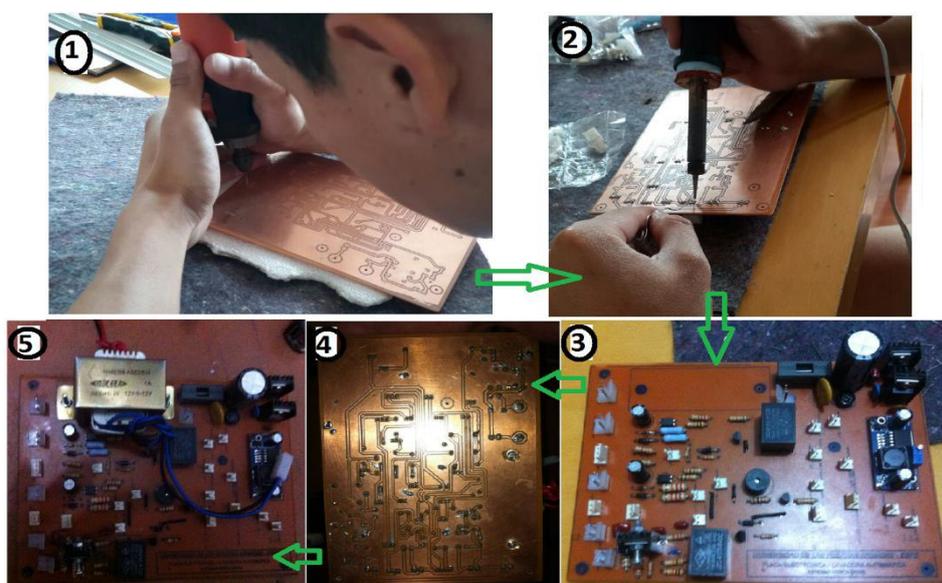


Figura 162.- Colocación de conectores molex y etiquetado de cables



**Figura 163.- Proceso de fabricación de la PCB**

Para fabricar la PCB de alimentación, entradas y salidas se parte del diseño en ARES (1); luego se corta la baquelita de las dimensiones del circuito (2); se imprime el diseño en papel de transferencia térmica y se impregna en la baquelita con una plancha (3); una vez impregnado el diseño se despegar con cuidado el papel transfer y se corrigen errores de pistas con marcador indeleble (4); se sumerge la baquelita en ácido y se mueve para disolver el cobre que está sin tinta (5); una vez hecho el ataque químico se retira la tinta sobrante con tinner y una esponja (6); secamos con cuidado la placa y tenemos el diseño de las pistas (7); finalmente para facilidad de colocación de los componentes se repite el paso 3 y 4 en la cara opuesta a las pistas haciendo cuadrar con los Paths (8).



**Figura 164.- Perforación y soldadura de componentes en la PCB**

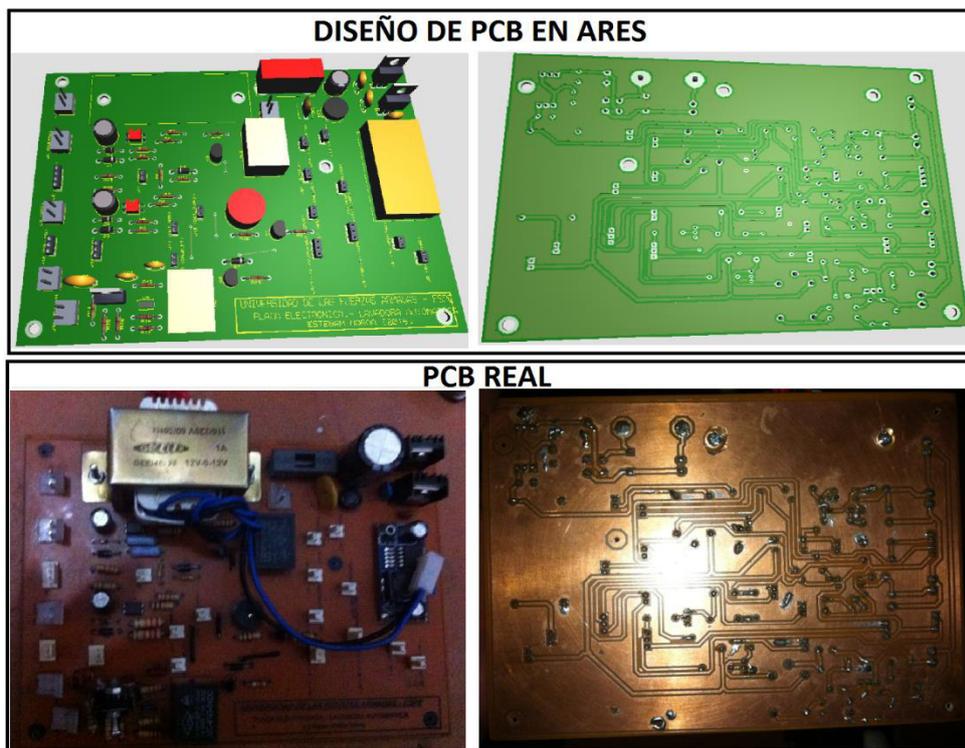


Figura 165.- Comparación de las PCB: modelo 3D ARES vs real

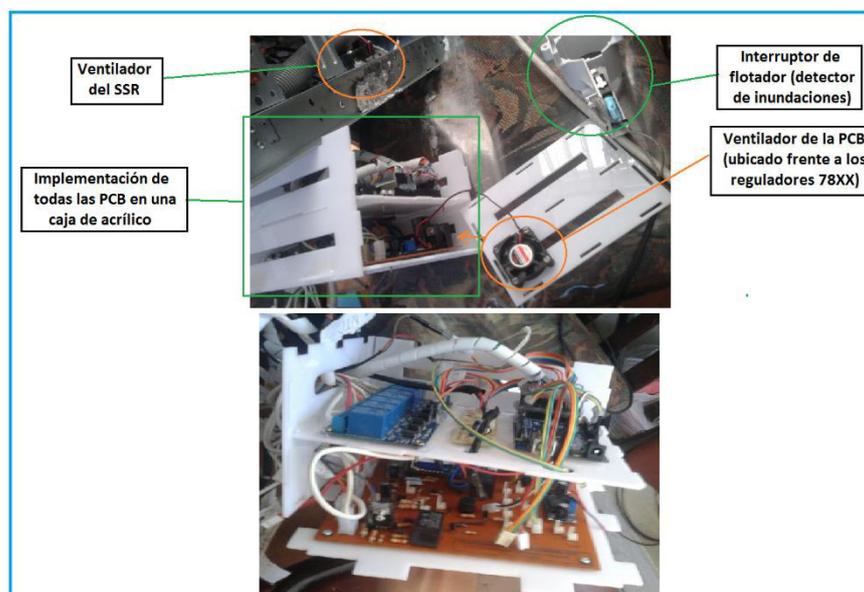


Figura 166.- Implementación de ventiladores y de las PCB en la caja

#### 4.7 FABRICACIÓN DE LA MASCARILLA DEL PANEL

Para la fabricación de la mascarilla del panel fueron necesarios 3 procesos: diseño (1), impresión (2) y corte por láser (3), el material utilizado fue lámina mica con cara adhesiva, los procesos mencionados se detallan a continuación:



Figura 167.- Mascarilla para el panel de mandos

#### 4.8 ENSAMBLAJE FINAL DE LA MÁQUINA



Figura 168.- Apariencia final del prototipo

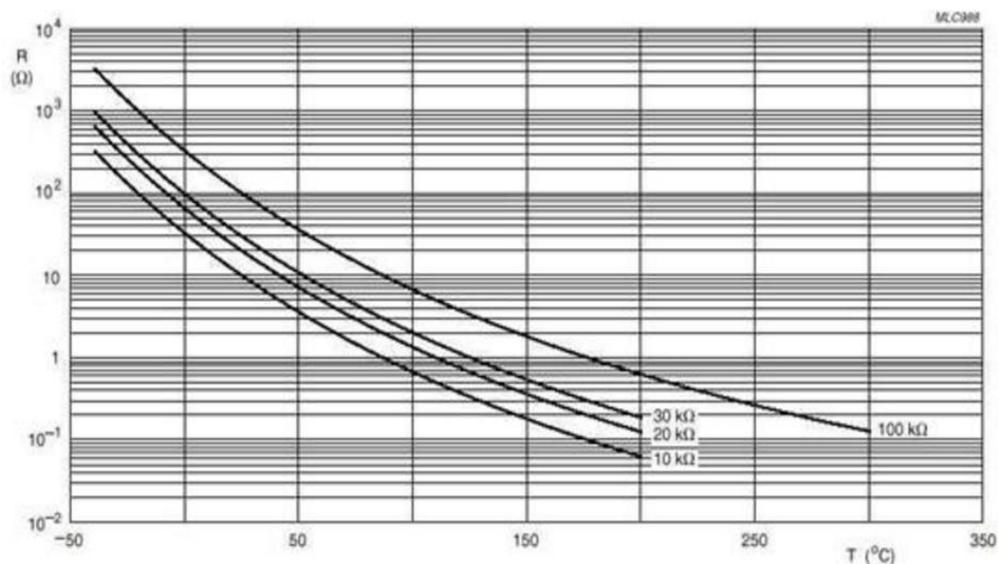
## CAPÍTULO 5

### PRUEBAS FUNCIONALES Y ANÁLISIS DE COSTOS

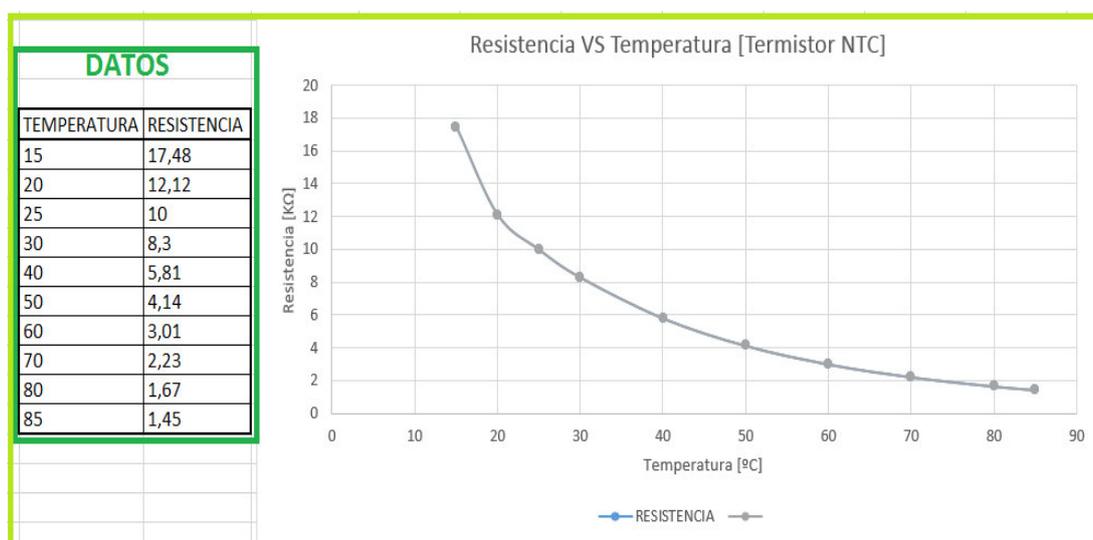
#### 5.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES

##### 5.1.1 Curvas de funcionamiento del termistor NTC

En las siguientes gráficas (Figuras 169-170) se comparan las curvas real-vs teórica para el sensor Termistor NTC:



**Figura 169.- Curvas Teóricas del Funcionamiento del Termistor (R-T)**



**Figura 170.- Curva Real del Termistor Implementado**

Como se puede determinar de ambas figuras, el comportamiento del sensor de temperatura del agua (Termistor NTC) obedece a las curvas esperadas, por lo tanto se concluye que el funcionamiento del termistor es el adecuado.

### 5.1.2 Pruebas de funcionamiento de la válvula de entrada

Las pruebas de los actuadores hidráulicos del prototipo se las hizo netamente de manera experimental, comprobando mediante pruebas con agua si cumplían con los resultados esperados, en la Figura 171 se ilustra la entrada de agua a la cámara, lo cual indica un correcto funcionamiento en la válvula de entrada.



**Figura 171.- Flujo de Agua con la Válvula de Entrada accionada**

### 5.1.3 Pruebas de funcionamiento las bombas

Referente a las bombas implementadas se determinó en la bomba de lavado si la presión y caudal entregados por la bomba Welling YXW 45-2F era la necesaria para alimentar a los 2 brazos aspersores, mientras que para la bomba de drenaje B30-3A se realizó el mismo análisis a fin de que el agua sea evacuada por la manguera de desagüe. Ambas bombas dieron resultados favorables, para la bomba de lavado se ilustra en la Figura 172:



**Figura 172.- Acción del Aspersor Inferior con la Bomba encendida**

#### **5.1.4 Pruebas del servomotor en el mecanismo de la caja**

Con la finalidad de determinar si el servomotor tower-pro MG995 cumple con los requerimientos para el prototipo fue sometido a pruebas de funcionamiento con la ayuda de un pequeño circuito en base de un divisor de tensión con potenciómetro del cual obtenía la señal (analógica) el microcontrolador y la traducía a posición, como se ilustra en la Figura 173:



**Figura 173.- Prueba de Funcionamiento del Servomotor**

### 5.1.5 Pruebas de hermeticidad e impermeabilización

Antes de seleccionar los materiales involucrados en la hermetización e impermeabilización se deben considerar todas las variables involucradas en los procesos, por ejemplo: la hermetización debe tomar en cuenta:

- En los procesos donde se involucre agua, el mecanismo de la caja de secado ubicada en la parte superior de la cámara debe evitar que durante el lavado los chorros de los aspersores se filtre o pase a través de las persianas, ya que de otro modo podría comprometer la integridad de los componentes eléctricos-electrónicos allí alojados.
- En los procesos de secado y desinfección se maneja aire y convección y conducción de calor a través de los elementos metálicos del prototipo, de manera que los materiales utilizados para hermetizar deben ser capaces de soportar temperaturas considerables sin sufrir alteraciones o daños.

Se realizaron pruebas y a continuación se muestra en antes y después de la impermeabilización implementada (Figura 174):

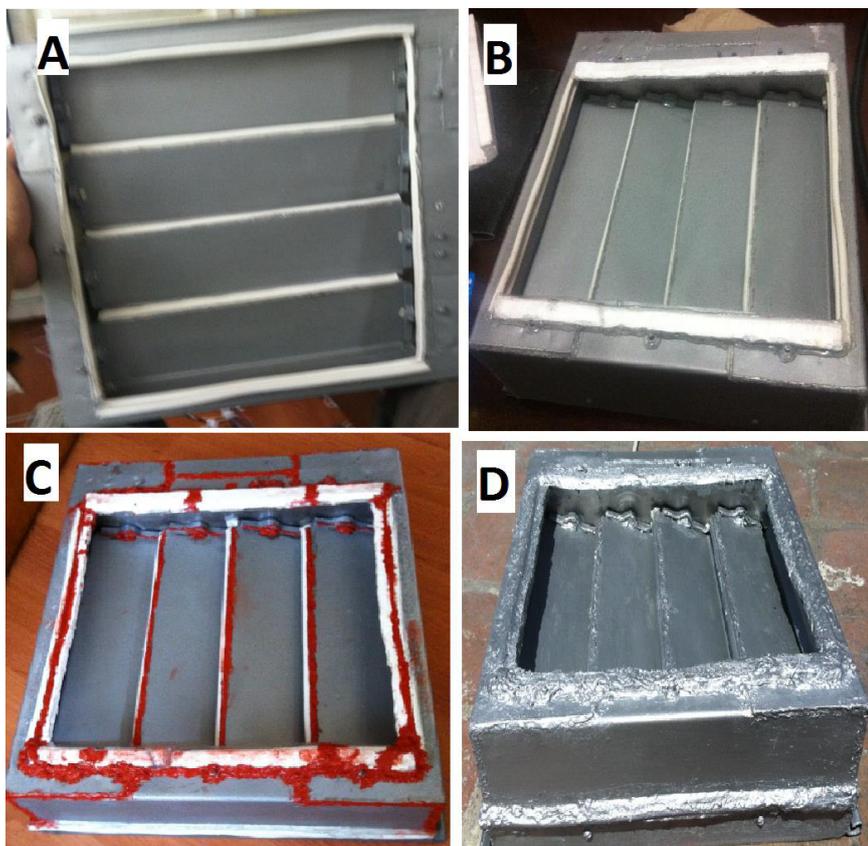


Figura 174.- Modelos Planteados para la hermetización

Como se observa en la figura anterior, se planteó primero un modelo [A] en el cuál se utilizó sellador de ventanas y silicona común, pero éste modelo dio resultados negativos en cuando al bloqueo de agua, ya que se filtraba agua y se inundaba la caja de secado; seguidamente el modelo [B] con marco de espuma Flex y silicona común dio buenos resultados con el agua pero muy malos con el incremento de temperatura debido a que la silicona se derretía y caía por gravedad al fondo de la cámara (por tanto hubiese manchado las probetas); finalmente se sustituyó la silicona común por una de alta resistencia a la temperatura, obteniéndose así resultados favorables tanto para bloqueo de agua como a alta temperatura sin embargo se vio afectada la estética, no obstante después de realizar pruebas con varios tipos de pintura la pintura automotriz (para los autos) dio resultados favorables dando lugar al cuarto y último modelo [D] que fue el que se encuentra implementado.

### 5.1.6 Pruebas de eficiencia en el secado y desinfección

El programa de secado y desinfección se lo realizó experimentalmente para determinar la magnitud óptima de temperatura y tiempo en cada uno de los casos, los resultados más favorables fueron los siguientes:

**Tabla 101**  
**Condiciones Óptimas para los procesos por convección**

Proceso	Temperatura de control (S.P.)	Velocidad del ventilador (rpm)
SECADO	60 [°C]	1500 [RPM] (96%)
DESINFECCIÓN (referirse al valor $A_0$ )	85 [°C]	1395 [RPM] (90%) (Intermitencias de funcionamiento para un eficiente incremento $\Delta T$ )

## 5.2 GRÁFICAS DE LOS CONTROLES IMPLEMENTADOS

### 5.2.1 Gráfica temperatura vs tiempo (calentador)

A continuación podemos observar en la gráfica real Temperatura Vs Tiempo que la señal de control de la onda de salida respecto al Set-Point obedece al comportamiento esperado (indicado en la figura 175):

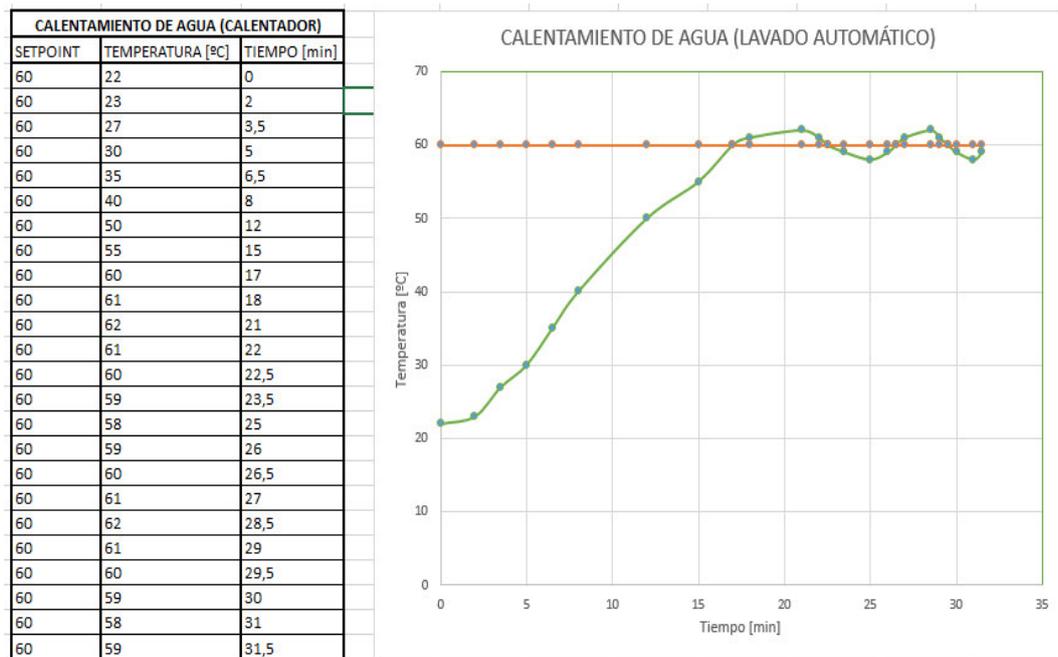


Figura 175.- Curva Temperatura-Tiempo para el agua

5.2.2 Gráfica temperatura vs tiempo (niquelina)

La siguiente curva (Figura 176) para el control en la niquelina, obedece a la señal de control esperada en la figura 121, en donde la onda de salida respecto al Set-Point se estabiliza con una diferencia de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ :

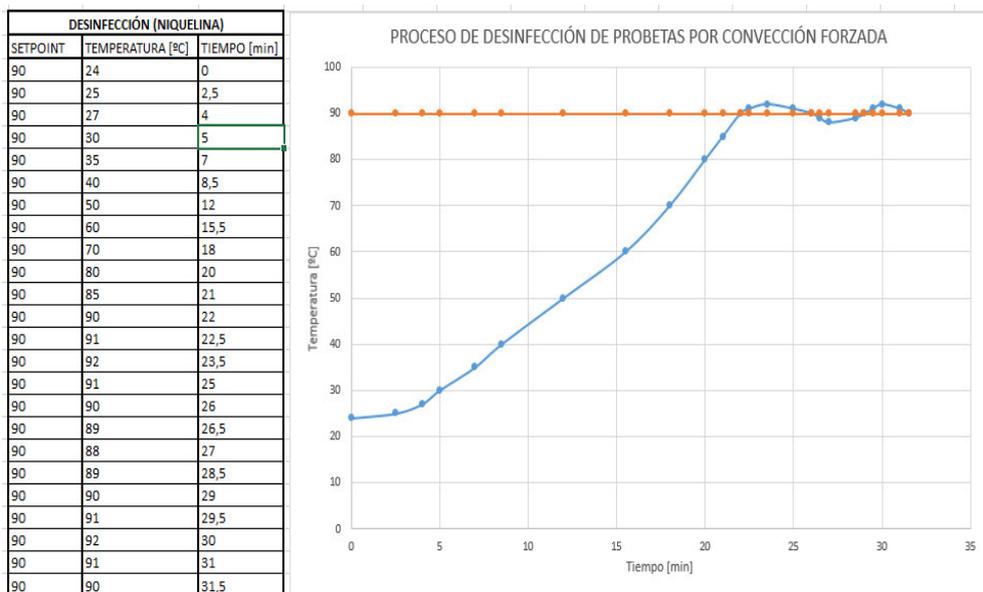


Figura 176.- Curva Temperatura-Tiempo para el aire

### 5.3 ANÁLISIS DE COSTOS

**Tabla 102.**  
**Costos Directos**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V/UNITARIO [\$]	V/TOTAL [\$]
Plancha de acero inoxidable (1,22x 2,44 x 0.Ø)cms.	1	100,00	100,00
Módulo De Relés de 8 canales	1	15,00	15,00
Servo motor metálico Mg-995 de 10 kg. x cm.	1	16,00	16,00
Relé de estado sólido de 50A	1	15,00	15,00
Electroválvula solenoide 110 V	1	25,00	25,00
Conjunto motor bomba de lavado, serie YXW45-2F (110V)	1	110,00	110,00
Conjunto acople, brazo de aspersión superior	1	30,00	30,00
Sensor de turbidez para lavadora	1	20,00	20,00
Relé de potencia Camsco Serie LY4 AC/AC (110/220 V) 15A	1	25,00	25,00
Domo alámbrico	1	10,00	10,00
Tela para filtraje y forrado del Domo	1	5,00	5,00
Tornillos para toda la estructura	100	0.15	15,00
Niquelina con aletas para calefacción 1400W/110V	1	140,00	140,00
Resorte 40 [cm] longitud	2	5,00	10,00
Tela para aislamiento acústico y térmico (1 m <sup>2</sup> )	3	2,50	7,50
Sensor Dallas DS18B20 para temperatura con recubrimiento	1	5,00	5,00
Motor de Ventilador SE8888- 110V 60 Hz(1/8, 1/12, 1/20 [HP])	1	55,00	55,00
Hélice para ventilador, 5 hojas, diámetro 12"; 24° pitch	1	24,00	24,00
Piezas del mecanismo de secado impresas en 3D	18	3,05	55,00
Interruptor magnético para el caudalímetro y detector de abrillantador	4	1,50	6,00
Conmutador bipolar de encendido para lavadoras 110V- 15A	1	8,00	8,00
Espagueti térmico Ø 6 mm(1m)	4	2,50	10,00
Brocas de cobalto para acero inoxidable varios diámetros	7	2,00	14,00
Manguera de entrada de agua para lavadora 1,5 [m]	1	7,00	7,00
Impresión y corte: mascarilla de panel en lámina adhesiva	2	3,00	6,00
Ventilador para placa electrónica 4 cm x 4 cm (110 mA-5Vdc)	2	3,00	6,00
Impresión 3D del gancho de la puerta	3	3,00	9,00

Canasto porta-probetas	1	25,00	25,00
Espagueti termo-encogible negro, diámetro 3 y 6 mm	4	1,50	6,00
Funda de amarra plástica (50 unidades)	2	2,50	5,00
Transformador 2A- (110/220 Vac) (-12/0/12 Vdc)	1	7,00	7,00
Convertidor de DC/DC – Easy-Bot para Arduino	1	6,00	6,00
Baquelita fibra de vidrio 21 x 30 cm	1	9,00	9,00
Relé de (5/12Vdc)	4	1,50	6,00
Conectores molex varias medidas	25	0,50	12,50
Componentes electrónicos para la placa de alimentación	-	-	21,00
Papel transferible para placas electrónicas	2	1,50	3,00
Brocas para placa electrónica varios diámetros	4	0,30	1,20
Organizador espiral para cables, blanco Ø=12mm (L=1m)	10	0,90	9,00
Estaño delgado para suelda de placas electrónicas (1m)	5	0,30	1,50
Pasta para soldar (pomo)	1	3,00	3,00
Caja de pasta térmica gris	1	2,00	2,00
Tubo de silicona resistente a altas temperaturas color rojo	2	2,60	5,20
Pintura automotriz gris (1/2 lt)	3	3,00	9,00
Tinner ( 1 lt)	4	1,50	6,00
Caucho para hermetización 5 x 3 cm (1 m)	3	3,00	9,00
Tarjeta de control Arduino Mega 2560	1	55,00	55,00
Rollo de cinta doble faz ABRO (2m)	5	1,87	9,35
Fusibles para protección por sobre-corriente	4	0,25	1,00
Porta-fusibles para cable	3	0,80	2,40
Plancha y corte de acrílico para la caja de circuitos electrónicos, espesor 4 mm	7	4,28	30,00
Sellador blanco para hermetizar ventanas 3/8 x 5 m	2	7,00	14,00
Barras finas de silicona transparente 30x0,8 cm	2	2,80	5,60
Spray de pintura negra	1	5,00	5,00
Terminales para cable	15	0,25	3,75
Cable AWG # 14 (1m)	10	1,00	10,00
Cables para Arduino, terminales varios	40	0,25	10,00
Borneras industriales 20A	12	0,33	4,00
Lavadora de segundo uso	1	320,00	320,00
<b>TOTAL</b>			<b>1.365,00</b>

**Tabla 103.**  
**Costos de Mano de Obra**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V/TOTAL [\$]
Costos de fabricación y ensamblaje	-	50,00
Corte, doblado, taladrado, torneado, soldadura, limado, esmerilado y amolado	-	730,00
Hermetización	-	40,00
<b>TOTAL</b>		<b>820,00</b>

**Tabla 104.**  
**Costos Indirectos**

DESCRIPCION	CANTIDAD	V/UNITARIO [\$]	V/TOTAL [\$]
Disco de Zirconio 4 ½ x 7/8"	1	-	4,09
Disco de corte 4 ½"	2	-	7,60
Lija grano fino	5	-	3,75
Lija grano medio	5	-	3,75
Asesoría	N/A	-	100,00
Transporte	N/A	-	40,00
Otros	N/A	-	30,00
<b>TOTAL</b>		-	<b>189,19</b>

**Tabla 105.**  
**COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO**

DESCRIPCION	CANTIDAD	V/UNITARIO [\$]	V/TOTAL [\$]
Subtotal gastos generales			1.365,00
Subtotal Mano de Obra			820,00
Subtotal Costos Indirectos			189,19
<b>TOTAL GENERAL DE GASTOS:</b>			<b>2.374,19</b>

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El presente capítulo contiene un compendio de conclusiones y recomendaciones logradas una vez realizado este proyecto, consta también de posibles mejoras sugeridas con el fin de que los conocimientos expuestos en el presente documento sean comprendidos de la mejor manera:

#### **6.1 CONCLUSIONES**

- Para desarrollar el diseño de una máquina que se utiliza en laboratorio se debe partir de parámetros de diseño puntuales, lo más importante a tomar en cuenta son las necesidades presentadas por los usuarios, para el caso de éste proyecto de los usuarios en el laboratorio de inmunología.
- El estudio de la norma que rige en el diseño y fabricación para lavadoras termodesinfectadoras de laboratorio (UNE-EN-ISO 15883) permitió conocer un enfoque general en el que debe ser desarrollado el prototipo, entre lo más destacado está: los tipos de detergente, consideraciones de tratamiento con el agua (durezas y temperaturas de lavado), sistema de convección (temperatura de desinfección), parámetros para aumentar la eficiencia en procesos de lavado y secado, diseño amigable con el medio ambiente, consideraciones de alarmas y señales de error del sistema, etc.
- Con ayuda de herramientas de diseño CAD/CAM/CAE y, con la finalidad de realizar análisis estáticos, dinámicos, hidráulicos y térmicos se logró determinar adecuadamente geometrías, medidas y capacidades de los elementos a ser implementados en la construcción del prototipo; de la misma manera con software afines para diseño eléctrico, electrónico y de control se obtuvo un diseño final de circuitos, sistemas, elementos, componentes y placas de potencia y control que gobernarán el sistema mecatrónico de la máquina.
- En base a las pruebas y al análisis de variables involucradas en cada proceso tales como: hermeticidad, secado, limpieza, desinfección, solubilidad de detergentes, lavado, con distintas variaciones en tiempos y temperaturas tanto para el agua como para el aire, se obtuvo como resultados que:

- Los materiales más idóneos para hermetizar son cauchos y siliconas resistentes a altas temperaturas además de selladores.
- Los detergentes que aumentan la eficiencia tanto en el lavado como en el secado son los detergentes neutros ( $7 \leq \text{pH} \leq 7,9$ ) ya que no manchan el instrumental ni producen corrosión (pH: medida de acidez o alcalinidad).
- La limpieza consta de 3 fases bien definidas: prelavado (enjuague agua fría), lavado ( $40^\circ\text{C} \leq T \leq 60^\circ\text{C}$ ), y desinfección (alcanzar una temperatura requerida y mantenerla, generalmente:  $T > 80^\circ\text{C}$ ).
- La desinfección térmica de materiales se obtiene con temperaturas de trabajo ( $T > 80^\circ\text{C}$ ), el tiempo se determina en función del coeficiente  $A_0$  (eficacia de la desinfección térmica).
- El secado del material se lo realiza una vez se vea satisfecha la necesidad de limpieza en el instrumental y debe ser hecha de manera íntegra.
- La variable principal a considerarse en máquinas automáticas para lavado de instrumental es la turbidez (medido en NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez) debido a que nos da una idea de cuan sucia está el agua de desecho, por lo cual fue indispensable retroalimentar el sistema con una lectura de un sensor de turbidez (en las rutinas de lavado automático).
- La máquina cumple con las exigencias de diseño pre-establecidas, comprendiendo 7 programas (5 de lavado 2 de convección por aire) tiene la retroalimentación de 4 sensores (temperatura agua, temperatura aire, turbidez, caudalímetro), 4 detectores (puerta, niquelina, abrillantador, inundaciones) y 9 actuadores (bombas, válvulas, dispensador, calentador, niquelina, servomotor y buzzer) que interactúan entre sí para conformar un sistema eficiente para lavado y desinfección de instrumental de laboratorio.
- Los procesos de secado y desinfección deben ser configurados y programados (en tiempos y temperaturas) en base a pruebas de funcionamiento, para el caso del prototipo en el secado se logró una máxima eficiencia con:  $T = 60^\circ\text{C}$ ; Ventilador (96% rpm), mientras que para la desinfección:  $T = 90^\circ\text{C}$ ; Ventilador (88% rpm), además se redujo en tiempo de incremento en la temperatura de desinfección incluyendo tiempos muertos de operación del ventilador.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Como una mejora en la interfaz usuario-máquina del proyecto, se sugiere reemplazar el modo de visualización del usuario en prototipos futuros, de forma que en lugar de display de 7 segmentos y botones de mando, se coloque una pantalla táctil, en éste proyecto se implementaron botones y display por ahorro de costos.
- En procesos de lavado en los que intervenga el agua como disolvente, es recomendable realizar un suavizado (reducción de dureza) y purificado de agua, con la finalidad de aumentar la eficiencia en el lavado, la mayoría de sistemas suavizadores de agua son a base soluciones salinas.
- Se sugiere implementar una válvula de no-retorno en la tubería de desagüe con el fin de preservar la vida útil de la bomba de drenaje y aumentar la eficiencia de éste proceso, para el caso de éste prototipo no se la instaló por dificultad de implementación en la tubería, para mejoras futuras se debe considerar reemplazar la manguera de drenaje junto con la instalación de dicha válvula.
- La tarjeta Arduino Mega 2560 es una placa de gama media de la marca Arduino que tiene cierto limitante en cuanto a las funciones que ofrece para registro y obtención de históricos. Para una correcta inspección y seguridad del proceso en todo momento, se sugiere reemplazar la tarjeta de control para incluir en el programa un registro de históricos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Çengel Y., Cimbala J. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: Editorial McGRAW-HILL. 1ª Edición.
- Incropera F., Dewitt. D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México: Editorial Prentice Hall, 4a. ed.
- King, H.W., Brater E.F. (1963). *Handbook of Hydraulics*. Nueva York: Editorial McGraw-Hill. 5ª. Edición.
- Metcalf & Eddy Inc. (1995). *Ingeniería de aguas residuales*. México: Editorial McGraw Hill. 3ª Edición.
- Mott Robert L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. USA: Editorial PRENTICE HALL, 6ª Edición.
- Rashid M., Gonzales V. & Suárez A. (2004). *Electrónica de Potencia*. USA: Editorial Pearson Education.
- Shigley Joseph. (1990). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. USA: Editorial McGRAW-HILL, 5ª Edición.
- (2009). Bloc de Mecatrónica. *Automatización de Procesos*. Recuperado en 2015 de: <http://mecatronica.blogcindario.com/2009/07/00015-automatizacion-de-procesos.html>
- (2011). Polarización del transistor NPN en saturación. Recuperado en febrero del 2016 de: <https://cuningan.wordpress.com/2011/02/15/polarizacion-de-transistor-npn-en-saturacion/>
- (2011). *Tecnología de los plásticos.- ABS*. Recuperado en noviembre del 2015 de: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/abs.html>
- (2015). *Agua Dura*. Recuperado en noviembre del 2015 de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_dura](https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_dura)
- (2015). *Microcontrolador*. Recuperado en diciembre del 2015 de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>
- (2016). *Vidrio*. Recuperado en diciembre del 2015 de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Vidrio>
- (s.f.). *Características mecánicas del acero*. Recuperado en enero del 2016 de: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>
- (s.f.). *Sistemas de Control*. Recuperado en noviembre del 2015 de: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3330/5/34059-5.pdf>

- (s.f.). *Flujo a Presión*. Recuperado en marzo del 2016 de:  
[http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/ayudas\\_fpresion.pdf](http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/ayudas_fpresion.pdf)
- Alonso M. (s.f.). *Proceso de lavado de material sanitario*. Recuperado en 2016 de:  
<http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Organismos/ServicioAragonesSalud/Documentos/docs2/Areas/Informaci%C3%B3n%20al%20pro>
- ARDUINO GENUINO. (2015). *Productos de Arduino*. Recuperado en diciembre del 2015 de: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
- ARDUINO GENUINO. (2015). *Arduino mega 2560*. Recuperado en diciembre del 2015 de: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- Blanco F. (s.f.). *Hornos de Resistencias*. Recuperado en febrero del 2016 de:  
<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.HornosResistencia.RESISTENCIAS.CALENTAMIENTO.pdf>
- Bonnet, Suministros y Maquinarias. (s.f.). *Clasificación de los aceros inoxidable*s. Recuperado en noviembre del 2015 de:  
<http://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf>
- Chavez O. (1987). *Diseño, construcción y pruebas de un ventilador de flujo axial*. Recuperado en noviembre del 2015 de:  
[http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D\\_Tesis\\_PDF/D-8115.pdf](http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-8115.pdf)
- Ecured. (1997). *Identificación de metales*. Recuperado en noviembre del 2015 de:  
[http://www.ecured.cu/Identificaci%C3%B3n\\_de\\_metales](http://www.ecured.cu/Identificaci%C3%B3n_de_metales)
- Electro Jordan S.A. (2016). *CAMSCO, Switchboard Instruments*. Recuperado en marzo 2016 de: [https://issuu.com/electrojordan/docs/electrojordan\\_camsco](https://issuu.com/electrojordan/docs/electrojordan_camsco)
- Electrónica UNICROM. (2016). *Display de 7 segmentos*. Recuperado en febrero del 2016 de: <http://unicrom.com/display-de-7-segmentos/>
- Electropar. (2016). *Escalas*. Recuperado en marzo del 2016 de:  
<http://www.electropar.com.py/pdf/electricidad/Escalas.pdf>
- Expolabor. (s.f.). *Lavadoras de vidraria para Laboratorios.- ReoTerm*. Recuperado en enero del 2016 de:  
[http://www.expolabor.com.br/noticias\\_reoTerm\\_77%20.html](http://www.expolabor.com.br/noticias_reoTerm_77%20.html)
- Eycom Electrónica (2015). *Cálculo de capacidad de corriente en pistas de PCB*. Recuperado en abril del 2016 de:  
[http://www.eycom.com.ar/tecnica/descargas/Calculo\\_capacidad\\_de\\_corriente\\_en\\_pistas.pdf](http://www.eycom.com.ar/tecnica/descargas/Calculo_capacidad_de_corriente_en_pistas.pdf)

- González V. (2002). *Servomotores*. Recuperado en octubre del 2015 de:  
[http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/ctrl\\_rob/robotica/sistema/motor es\\_servo.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motor es_servo.htm)
- González C. (2011). *La Turbidez*. Recuperado en octubre del 2015 de:  
<http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>
- LABCONCO. (2000). *Lavadoras para material de vidrio de Laboratorio*. Recuperado en 2015 a través de: [http://www.amazon.com/SteamScrubber-Undercounter-Laboratory-Glassware-Washer/dp/B006CPRS8Y/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1423587952&sr=8-1&keywords=laboratory+glassware+washer](http://www.amazon.com/SteamScrubber-Undercounter-Laboratory-Glassware-Washer/dp/B006CPRS8Y/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1423587952&sr=8-1&keywords=laboratory+glassware+washer)
- Matachana. (2008). *Washing disinfectors: Laboratory Sector*. Recuperado en 2015 de  
<http://www.matachanagroup.com/english/index.php/products/washing-and-disinfection/laboratories.html>
- Miliarium. (2008). *Cálculo de pérdidas de carga en tuberías*. Recuperado en febrero del 2016 de:  
<http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp>
- Morocho R., Punín M. (2008). *Control Digital de temperatura de una Ducha Eléctrica*. Recuperado en marzo del 2016 de:  
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/control-digital-apertura-temperatura-ducha/control-digital-apertura-temperatura-ducha2.shtml>
- Omron Electronics S.A. (s.f.). *Relés de Estado Sólido*. Recuperado en noviembre del 2015 de: <http://www.reitec.es/Pdf/documentacion6.pdf>
- fesional%20del%20SALUD/Calidad/I%20JornadaTrabajoEsterilizacionSalud/01-Taller\_1.pdf
- Ramirez Y. (2010). *Servomotores*. Recuperado en octubre del 2015 de:  
<http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores.shtml>
- Renedo C.-Universidad de Cantabria. (s.f.). *Sistemas Energéticos: Ventiladores*. Recuperado en enero del 2016 de:  
<http://personales.unican.es/renedoc/Traspereancias%20WEB/Trasp%20Sist%20Ener/04%20Ventiladores.pdf>
- Salvador Escoda S.A. (s.f.). *Manual Práctico de Ventilación.- Catálogo Técnico*. Recuperado en febrero del 2016 de:  
<http://www.salvadorescoda.com/tecnico/VE/Manual-Ventilacion.pdf>

- SIBYLA. (2013). *El primer lavavajillas de la historia*. Recuperado en octubre del 2015 de: <http://quhist.com/lavavajillas-josephine-cochrane/>
- SI-Educa.net. (2012). *Calor absorbido o cedido por un cuerpo*. Recuperado en febrero del 2016 de: <http://www.si-educa.net/intermedio/ficha37.html>
- Soler & Palau. (s.f.). *Manual Práctico de Ventilación.- Sistemas de Ventilación*. Recuperado en marzo del 2016 de: [http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf)
- Soto V. (s.f.). *Automatización*. Recuperado en septiembre del 2015 de: <http://www.monografias.com/trabajos76/automatizacion/automatizacion.shtml>
- Universidad de Sevilla. (2014). *Colección de tablas, gráficas y ecuaciones de Transmisión de calor*. Recuperado en febrero del 2016 de: [http://www.esi2.us.es/~jfc/Descargas/TC/Coleccion\\_tablas\\_graficas\\_TC.pdf](http://www.esi2.us.es/~jfc/Descargas/TC/Coleccion_tablas_graficas_TC.pdf)
- Universidad Politécnica de Catalunya. (2015). *Esquema general de un sistema*. Recuperado en enero del 2016 de: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3330/5/34059-5.pdf>
- UPC. (s.f.). *Propiedades del acero inoxidable*. Recuperado en enero del 2016 de: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3319/55868-4.pdf?sequence=4>
- Valcarce A. (2014). *Física: Momento de Inercia y aceleración angular*. Recuperado en marzo del 2016 de: [http://www.astro.puc.cl/~avalcarc/FIS109A/17\\_MomentoInercia.pdf](http://www.astro.puc.cl/~avalcarc/FIS109A/17_MomentoInercia.pdf)
- VIDRA FOC. (2012). Catálogo, Instrumentación. *Lavadoras para Laboratorio*. Recuperado en 2015, de: <http://www.vidrafoc.com/vidrafoc/es/Categoria/-281-419-/lavadoras-para-laboratorio.aspx?PageIndex=3>
- William D. Callister Jr. (1998). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales.- Vidrios, composición y propiedades*. Recuperado en octubre del 2015 de: [http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/bloque-v/Tema16-Vidrios\\_composicion.pdf](http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/bloque-v/Tema16-Vidrios_composicion.pdf)
- ZTF-FCT. (2014). *Emil Erlenmeyer, Creador del matraz*. Recuperado en noviembre del 2015 de: <https://ztfnews.wordpress.com/2014/01/22/emil-erlenmeyer-creador-del-matraz/>