

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DESALINIZADORA DE AGUA MARINA QUE  
REQUIERE UN BAJO CONSUMO ENERGÉTICO PARA EL MUNICIPIO DE LA  
TOLA.**

**JENNIFER ALEJANDRA ÁLAVA PARRADO  
CESAR DAVID GÓMEZ MONTOYA**

**Proyecto integral de grado para optar al título de  
ingeniero Químico e ingeniero Mecánico**

**Orientadores**

**Jaime Arturo Calvache  
Ingeniero Químico  
Libardo Mendoza Geney  
Ingeniero Mecánico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA Y MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2021**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado 1. Juan Sandoval Herrera

Jurado 2. Diego Avendaño Rodríguez

---

---

---

Bogotá D.C, mayo 2021

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

Concejero Institucional

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

**Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretario General

**Dr. JOSE LUIS MACIAS RODRIGUEZ**

Decano Facultad de Ingeniería

**Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director Programa Ingeniería Química

**Dra. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA**

Director Programa Ingeniería Mecánica

**Dra. MARIA ANGELICA ACOSTA PEREZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

En esta ocasión quiero agradecer inicialmente a mis padres y mi abuela, quienes me apoyaron en cada paso de mis estudios, forjándome, acompañándome y dedicando gran parte de su tiempo a mi realización personal; a mi familia que siempre estuvo pendiente de mí y animándome a dar lo mejor.

Agradezco al Ingeniero Jaime Arturo Calvache por darme la confianza y apoyo para la correcta culminación de este trabajo, los días y noches de trabajos y correcciones que finalmente dan frutos.

Principalmente he de agradecer a mi compañero César Gómez M. quien estuvo desde un principio conmigo, en la elaboración de este trabajo, siendo uno de los principales creadores y promotores de las ideas aquí planteadas; no pude tener mejor compañero, no solo en el proyecto de grado sino en la vida, agradezco tantas cosas que me has enseñado y los momentos que has creado, haciendo de la vida lo mejor.

Jennifer Alejandra Álava Parrado

## **AGRADECIMIENTOS**

En este espacio agradezco a mis padres y hermanos por brindarme el apoyo, atención y tiempo, me significo la llegar a este punto, agradezco por la fortaleza y alternativas de solución que me brindaron a lo largo de mi carrera y por la formación que me dieron desde sus propias enseñanzas.

Agradezco a mi director de tesis el ingeniero Libardo Mendoza Geney por la guía en este proceso de elaboración del proyecto y por las materias que me dicto durante la carrera, a los diferentes profesores de la Universidad América por estructurar conocimientos de ingeniería en mí.

Para finalizar agradezco enormemente a mi compañera de tesis Jennifer Alejandra Álava Parrado quien fue motor durante la carrera, me enseñó casi tanto como un docente no solo para ser ingeniero sino también para ser persona, que evidencio gran compromiso con la realización del proyecto como en cada materia cursada juntos, por la paciencia que me brindo, y el apoyo incondicional.

César Gómez Montoya

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>18</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>20</b>
1.1. Problemática del agua	20
1.2. Municipio de la Tola	23
1.2.1. <i>Ubicación</i>	23
1.2.2. <i>Situación social</i>	25
1.2.3. <i>Recursos y servicios</i>	25
1.3. Desalinización	28
1.3.1. <i>Procesos de desalinización</i>	29
1.4. Agua	38
1.4.1. <i>Salinidad</i>	39
1.4.2. <i>Aspectos microbiológicos</i>	40
1.4.3. <i>Características del agua salada (marina) en el municipio</i>	40
1.4.4. <i>Relación de la densidad en función de la salinidad y la temperatura del agua</i>	41
1.5. Especificaciones para el municipio La Tola	42
1.5.1. <i>Generalidades del agua</i>	42
1.5.2. <i>Calidad del agua marina</i>	44
1.5.3. <i>Características microbiológicas</i>	44
1.6. Diseño conceptual	45
<b>2. VARIABLES DEL PROCESO</b>	<b>50</b>
2.1. Temperatura	50
2.2. Presión	51
2.3. Volumen	52
2.4. Salinidad	52
2.5. Propiedades coligativas	53
<b>3. DISEÑO BÁSICO</b>	<b>54</b>
3.1. Selección del proceso	54
3.2. Planteamiento del proceso escogido	60
3.3. Caracterización del proceso	63
3.3.1. <i>Diagrama de caja negra del proceso</i>	65

3.3.2. <i>Primer volumen de control</i>	66
3.3.3. <i>Segundo volumen de control</i>	72
3.3.4. <i>Perfil de temperatura para el condensador</i>	79
3.3.5. <i>Análisis segunda ley de la termodinámica</i>	82
3.3.6. <i>Análisis exergía</i>	87
3.4. <b>Diseño preliminar</b>	91
3.4.1. <i>Potencia de la resistencia</i>	91
3.4.2. <i>Tiempo de proceso</i>	94
3.4.3. <i>Presión y potencia</i>	95
3.4.4. <i>Correcciones del condensador y eficiencia</i>	99
3.5. <b>Diagrama de operación para el proceso</b>	102
3.6. <b>Representación termodinámica para el proceso:</b>	105
3.7. <b>Eficiencia del proceso</b>	106
<b>4. DISEÑO DETALLADO</b>	108
4.1. <b>Resistencia de esfuerzos generados por presión negativa</b>	108
4.1.1. <i>Análisis para elementos finitos</i>	109
4.1.2. <i>Simulación de esfuerzos</i>	110
4.1.3. <i>Diseño de la bomba</i>	113
4.2. <b>Diseño de resorte</b>	118
4.3. <b>Elección del material para el caucho</b>	125
4.3.1. <i>Nitrilo (NBR)</i>	126
4.3.2. <i>Copolíéster termoplásticos (TPC-ET)</i>	126
4.3.3. <i>Comparación de las alternativas</i>	127
4.4. <b>Elección del material para los componentes metálicos</b>	130
4.5. <b>Elección del material para las manijas</b>	134
4.6. <b>Manual de operación</b>	135
4.6.1. <i>Instalación, Mantenimiento y Operación</i>	135
4.7. <b>Vida útil del equipo</b>	135
<b>5. ANÁLISIS FINANCIERO Y RECOMENDACIONES PARA DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL</b>	137
5.1 <b>Análisis financiero</b>	137
5.1.1. <i>Estudio de costos</i>	137
5.1.2. <i>Costos de ingeniería</i>	137
5.1.3. <i>Costos de fabricación</i>	138



5.1.4. <i>Inversión</i>	139
5.1.5. <i>Comparación de alternativas</i>	140
5.1.6. <i>Análisis costo beneficio</i>	143
5.2. <b>Impacto ambiental</b>	144
5.2.1. <i>Prácticas generales</i>	145
5.2.2. <i>Efecto en los organismos marinos</i>	145
5.2.3. <i>Aspectos ambientales</i>	145
5.2.4. <i>Matriz de importancia</i>	147
5.2.5. <i>Matriz CONESA</i>	148
5.2.6. <i>Evaluación de los métodos de disposición de salmuera</i>	150
5.2.7. <i>Efecto ambiental del manejo del equipo cuando al acabar su vida útil</i>	151
5.2.8. <i>Disposición de residuos</i>	152
6. <b>CONCLUSIONES</b>	154
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	156
<b>ANEXOS</b>	169

## LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1 Diagrama de Fisher, causa y efecto Escases de agua potable en el municipio de la Tola	22
Figura 2 Mapa de La Tola, Nariño	23
Figura 3 Mapa Zona costera del municipio de La Tola	24
Figura 4 Servicios con los que cuenta cada vivienda y número de personas por vivienda en el municipio de La Tola	26
Figura 5 Precipitación promedio mensual de lluvia en el municipio de La Tola	28
Figura 6 Destilación multi-efecto (DME)	31
Figura 7 Destilación de múltiples etapas (DSME)	32
Figura 8 Destilación solar	33
Figura 9 Destilación separación por congelación	34
Figura 10 Electrodiálisis (ED)	35
Figura 11 Destilación por Ósmosis iónica	36
Figura 12 Ósmosis inversa	37
Figura 13 Destilación por ultrafiltración (UF)	38
Figura 14 Relación de la densidad con la temperatura y salinidad	42
Figura 15 Probabilidad de precipitación diaria en el municipio de La Tola	43
Figura 16 Punto de ebullición del agua	51
Figura 17 Comparación de los procesos para el tratamiento del agua marina, de acuerdo a la evaluación de los requerimientos para la máquina	57
Figura 18 Comparación de los procesos para el tratamiento del agua marina, de acuerdo a la evaluación de los requerimientos técnicos para la máquina	58
Figura 19 Matriz QFD, Análisis de los requerimientos y procesos para la máquina	59
Figura 20 Diseño preliminar maquina desalinizadora de agua marina	62
Figura 21 Esquema planteado para la máquina desalinizadora	65
Figura 22 Diagrama de caja negra para la máquina)	65
Figura 23 Primer volumen de control (Contenedor)	68
Figura 24 Volumen de control 2	73
Figura 25 Balance de masa Segundo volumen de control	73
Figura 26 Resistencias térmicas para el condensador	76

<b>Figura 27 Perfil de temperatura para el condensador</b>	<b>81</b>
<b>Figura 28 Variación de la temperatura a lo largo de una aleta circular</b>	<b>81</b>
<b>Figura 29 Balance entropía primer volumen de control</b>	<b>84</b>
<b>Figura 30 Balance entropía segundo volumen de control</b>	<b>86</b>
<b>Figura 31 Exergía en el primer volumen de control</b>	<b>88</b>
<b>Figura 32 Exergía por calor</b>	<b>90</b>
<b>Figura 33 Sistema resistencia aislante</b>	<b>92</b>
<b>Figura 34 Aleta de espiga rectangular</b>	<b>100</b>
<b>Figura 35 Diagrama de estado para el proceso</b>	<b>102</b>
<b>Figura 36 Diagrama termodinámico del proceso de vacío</b>	<b>105</b>
<b>Figura 37 Diagrama termodinámico del proceso de calentamiento</b>	<b>106</b>
<b>Figura 38 Diseño de la máquina desalinizadora</b>	<b>108</b>
<b>Figura 39 Simulación de esfuerzos para la tapa - condensador</b>	<b>111</b>
<b>Figura 40 Simulación de esfuerzos para la cámara de calentamiento</b>	<b>112</b>
<b>Figura 41 Simulación de esfuerzos para la cámara de condensado</b>	<b>113</b>
<b>Figura 42 Diagrama de cuerpo libre sección manillar</b>	<b>115</b>
<b>Figura 43 Distancia entre la carga y el punto de estudio</b>	<b>116</b>
<b>Figura 44 Sección transversal de estudio</b>	<b>116</b>
<b>Figura 45 Pistón con válvula anti retorno</b>	<b>119</b>
<b>Figura 46 Ensamble pistón de vacío</b>	<b>125</b>

## LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1 Servicios públicos y riesgo sanitario de la población en La Tola	26
Tabla 2 Propiedades del agua marina en el municipio de La Tola	41
Tabla 3 Parámetros de entrada del diseño	64
Tabla 4 Valores iniciales para el cálculo del primer volumen de control	69
Tabla 5 Valores termodinámicos y resultados para el primer volumen de control propiedades para el agua pura	70
Tabla 6 Constantes para la correlación del agua salada	71
Tabla 7 Valores termodinámicos y resultados para el primer volumen de control propiedades para el agua de mar	72
Tabla 8 Características segundo volumen de control (condensador)	77
Tabla 9 Resistencias y longitud del tubo para cada material	78
Tabla 10 Datos perfil de temperatura para el condensador	80
Tabla 11 Características primer volumen de control para el cálculo de entropía	85
Tabla 12 Características segundo volumen de control para el cálculo de entropía	86
Tabla 13 Valores exergía para el primer volumen de control	89
Tabla 14 Exergía condensador	90
Tabla 15 Características del sistema resistencia - aire	93
Tabla 16 Comparación aislantes para la resistencia eléctrica	93
Tabla 17 Volúmenes de las diferentes secciones de la máquina	96
Tabla 18 Iteraciones del proceso en el pistón	98
Tabla 19 Valores preliminares del condensador	100
Tabla 20 Correcciones y eficiencia del condensador	101
Tabla 21 Dimensiones del condensador	102
Tabla 22 Características físicas de las piezas	109
Tabla 23 Análisis de cargas en las piezas	110
Tabla 24 Esfuerzos y factor de seguridad en la tapa - condensador	110
Tabla 25 Esfuerzos y factor de seguridad en la cámara de calentamiento	111
Tabla 26 Esfuerzos y factor de seguridad en la cámara de condensado	112
Tabla 27 Constantes A y m de algunos materiales para resortes	121
Tabla 28 Módulos de elasticidad	123

<b>Tabla 29 Constante de espiras según sus extremos</b>	<b>123</b>
<b>Tabla 30 Comparación propiedades del resorte calculado y de catálogo</b>	<b>124</b>
<b>Tabla 31 Comparación de las alternativas para la elección del caucho</b>	<b>128</b>
<b>Tabla 32 Influencia de los elementos de aleación en el aluminio 6061</b>	<b>131</b>
<b>Tabla 33 Propiedades mecánicas del aluminio 6061-T6</b>	<b>132</b>
<b>Tabla 34 Propiedades tecnológicas del aluminio 6061</b>	<b>133</b>
<b>Tabla 35 Propiedades mecánicas de la Baquelita</b>	<b>135</b>
<b>Tabla 36 Costos ingeniería del proyecto</b>	<b>137</b>
<b>Tabla 37 Costos de fabricación prototipo</b>	<b>139</b>
<b>Tabla 38 Estimación volumen de agua potable diario necesario para el municipio de La Tola</b>	<b>140</b>
<b>Tabla 39 Costo anual suministro de agua potable para el municipio de La Tola, mediante carro tanques</b>	<b>140</b>
<b>Tabla 40 Licitación sistema de acueducto</b>	<b>141</b>
<b>Tabla 41 Costos de conexión de un sistema de acueducto</b>	<b>142</b>
<b>Tabla 42 Costo del uso de la máquina por año</b>	<b>142</b>
<b>Tabla 43 Comparación costo anual por vivienda</b>	<b>143</b>
<b>Tabla 44 Análisis costo beneficio de la máquina desalinizadora frente a las alternativas</b>	<b>143</b>
<b>Tabla 45 Matriz de importancia ambiental (Metodología CONESA)</b>	<b>147</b>
<b>Tabla 46 Importancia ambiental</b>	<b>148</b>
<b>Tabla 47 Matriz CONESA maquina desalinizadora</b>	<b>149</b>

### LISTA DE SIMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidades</b>
$q$	Potencia de la resistencia eléctrica promedio	kJ
$\dot{m}$	Flujo másico del agua de mar por hora (por proceso)	kg/h
$t_1$	Tiempo necesario para llevar la masa de agua salada a calor sensible	S
$t_2$	Tiempo necesario para llevar la masa de agua salada a calor latente	S
$t_{total}$	Tiempo total del proceso	S
$m_{in}$	Masa de agua salada que ingresa a la maquina	Kg
$m_{out}$	Masa de vapor que sale del primer volumen de control	Kg
$m_1$	Masa de agua de mar en el sistema	Kg
$m_2$	Masa de vapor en el primer volumen de control	Kg
$m_3$	Masa de vapor que ingresa al tubo condensador ( $m_{out}$ )	Kg
$m_4$	Masa de agua desalada condensada	Kg
$T_0$	Temperatura en el punto muerto	K
$T_1$	Temperatura ambiente en el municipio de La Tola	K
$T_2$	Temperatura alcanzada por el agua marina en la maquina	K
$P$	Presión del sistema	kPa
$C_p$	Calor específico	kJ/kg K
$h_{fg}$	Entalpia de vaporización	kJ/kg
$h_{out}$	Entalpia de salida del primer tanque (tanque de evaporación)	kJ/kg
$h_0$	Entalpia en el punto muerto	kJ/kg
$h_1$	Entalpia agua de mar	kJ/kg
$h_2$	Entalpia vapor generado en el primer tanque	kJ/kg
$h_3$	Entalpia vapor que ingresa al condensador	kJ/kg
$h_4$	Entalpia liquido condensado	kJ/kg
$h_{sw}$	Correlación entalpia del agua de acuerdo a su salinidad	kJ/kg
$h_w$	Entalpia del agua pura	kJ/kg
$u_1$	Energía interna del agua de mar	kJ/kg
$u_2$	Energía interna del vapor	kJ/kg
$S$	Salinidad	mg/L
$\alpha_{1-10}$	Constantes correlación entalpía másica del agua de mar	-
$r_1$	Radio interno del tubo condensador	m
$r_2$	Radio externo del tubo condensador	m
$T_{vapor}$	Temperatura del vapor en el condensador	K
$T_{ambiente}$	Temperatura ambiente	K
$R$	Resistencia a la transferencia de calor	(m <sup>2</sup> k/W)/m
$R_1$	Resistencia térmica del vapor al interior del sistema	(m <sup>2</sup> k/W)/m
$R_2$	Resistencia térmica del tubo condensador	(m <sup>2</sup> k/W)/m
$R_3$	Resistencia térmica del ambiente	(m <sup>2</sup> k/W)/m
$A_{vapor}$	Área del tubo condensador en contacto con el vapor	m <sup>2</sup>
$A_{aire}$	Área del tubo condensador en contacto con el ambiente	m <sup>2</sup>
$L$	Longitud del tubo condensador	m
$k$	Coefficiente de conductividad térmica del material del tubo condensador	W/m k

$h_{aire}$	Coeficiente convectivo del aire	W/m <sup>2</sup> K
$h_{agua}$	Coeficiente convectivo del agua	W/m <sup>2</sup> K
$e$	Espesor del tubo condensador	m
$T_{int}$	Temperatura vapor	K
$T_{ext}$	Temperatura ambiente	K
$T_{media}$	Temperatura media entre el ambiente y el vapor	K
$T_{(x)}$	Variación de la temperatura en un punto dado en la longitud del tubo	K
$T_{\infty}$	Temperatura en la punta del condensador más alejada de la unión con el tanque	K
$T_b$	Temperatura en la unión entre el condensador y el tanque que calentamiento	K
$h$	Coeficiente de convección del aire en la superficie de la aleta	W/m <sup>2</sup> K
$k$	Conductividad del tubo	k/m K
$p$	Perímetro del condensador	m
$Ac$	Área del condensador	m
$S_0$	Entropía en el punto muerto	kJ/kg K
$S_1$	Entropía del agua de m	kJ/kg K
$S_2$	Entropía del vapor	kJ/kg K
$S_3$	Entropía del vapor que ingresa al condensador	kJ/kg K
$S_4$	Entropía liquido condensado	kJ/kg K
$Q_k$	Calor emanado del sistema al ambiente durante la condensación	kJ/h
$T_k$	Temperatura ambiente, agua al condensar	K
$X_{masa}$	Exergía primer volumen de control	kJ
$X_{calor}$	Exergía segundo volumen de control	kJ
$g$	Gravedad en la tierra ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )	m/s <sup>2</sup>
$\sigma_1$	Esfuerzo en el eje X	Kpa
$\sigma_2$	Esfuerzo en el eje Y	kPa
$\sigma_{max}$	Esfuerzo máximo	kPa
$\sigma_{min}$	Esfuerzo mínimo	kPa
$\sigma_{eq}$	Esfuerzo por energía de la distorsión	kPa
$F_i$	Fuerza inicial del resorte	N
$F$	Fuerza de trabajo para el resorte	N
$y_i$	Desplazamiento por precarga	m
$k_r$	Constante del resorte	N/m
$y$	Desplazamiento por carga del resorte	M
$S_{ult}$	Esfuerzo ultimo	MPa
$S_y$	Esfuerzo de fluencia	MPa
$C$	Índice del resorte	-
$K_B$	factor de aumento de esfuerzo cortante de Bergsträsser	-
$r_s$	Esfuerzo cortante	MPa
$Na$	Numero de espiras activas	-
$G$	Módulo de elasticidad	Gpa

<b><i>D</i></b>	Diámetro de resorte	m
<b><i>d</i></b>	Diámetro del alambre	m
<b><i>L<sub>s</sub></i></b>	Longitud del resorte sin cargas	m
<b><i>L<sub>o</sub></i></b>	Longitud del resorte considerando los extremos en contacto	m
<b><i>n<sub>0-9</sub></i></b>	Numero de moles en cada ciclo del pistón	mol
<b><i>P<sub>0-9</sub></i></b>	Potencia requerida para cada ciclo del pistón	W
<b><i>p<sub>0-9</sub></i></b>	Presión interna alcanzada en cada ciclo del pistón	Pa



## RESUMEN

Este documento es el informe final del trabajo de grado titulado “Diseño de una máquina desalinizadora de agua marina que requiere un bajo consumo energético para el municipio de La Tola”, cuyo objetivo principal es diseñar conceptualmente una máquina desalinizadora de agua marina, que requiera un bajo consumo energético, para el municipio de La Tola.

Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica de los diferentes procesos de desalinización, así mismo se establecieron las variables principales tanto del proceso de desalinización como del agua marina de corrientes cercanas al municipio, determinando las condiciones y características de trabajo, presión, salinidad y temperatura.

De acuerdo con las necesidades y características del agua en el municipio de La Tola se establece el proceso de desalinización al vacío con el fin de reducir los requerimientos energéticos del producto en el proceso de vaporización. Por consiguiente, se estableció el modo funcional y las condiciones finales para el diseño del proceso, realizando un análisis matemático apoyado en la termodinámica, al mismo tiempo se elaboró el diseño de la máquina desalinizadora, con el fin de que el producto final cumpla con los requerimientos de agua para consumo humano.

Debido a las múltiples implicaciones que conlleva la potabilización del agua marina y el manejo de máquinas, se llevó a cabo el desarrollo de manuales de operación y mantenimiento, facilitando el uso y duración de la máquina desalinizadora por el usuario, así mismo se planteó una serie de recomendaciones para el uso, manejo y tratamiento tanto de la máquina como de los productos; con base en las características de diseño se calcularon los costos para la elaboración y puesta en marcha de la máquina desalinizadora.

**PALABRAS CLAVES:** potabilización de agua marina, desalinización, diseño conceptual, consumo energético.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el acceso a agua potable se ha convertido en un recurso de difícil acceso para gran parte de la población mundial. Colombia es un país privilegiado, debido a que cuenta con gran oferta de recursos hídricos gracias a su ubicación geográfica, cuenta con zonas costeras con facilidad para acceder al agua marina, siendo un 45% de su territorio agua salada; sin embargo, no se cuenta con una adecuada y equilibrada distribución de este recurso.

Municipios como La Tola se ven constantemente en la necesidad de solicitar ayuda por parte de diversas entidades y organizaciones que brinden apoyo y permitan mejorar los suministros de agua en la región, ya que no cuentan con acueductos, ni libre acceso al agua potable. Es por eso que este trabajo se enfoca en el aprovechamiento del acceso al agua marina que tiene el municipio, con el fin de suministrar una solución factible y de bajo costo para la población, mediante el planteamiento de una maquina desalinizadora de agua marina que permita abastecer las necesidades de agua para consumo de una familia promedio.

Los procesos de desalinización producen agua dulce mediante la separación de las sales del agua de mar o salobre, además de poseer un alto potencial para compensar la demanda de agua dulce; la desalinización de agua de mar es uno de los campos más prometedores.

Existen diferentes métodos de desalinización, el más común a nivel industrial es la ósmosis inversa. El proceso requiere de filtración y re mineralización para el producto final, lo que aumenta considerablemente la complejidad del proceso, por lo que una alternativa a este proceso es la destilación, cuyos requerimientos en cuanto a procesamiento son menores; sin embargo, la demanda energética del proceso es mayor, por lo que la implementación del vacío en la desalinización genera mejores rendimientos en cuanto a volúmenes tratados, ya que ayuda a solventar los gastos energéticos de producción; por lo anterior el proyecto tomará el proceso de destilación al vacío.

# OBJETIVOS

## Objetivo general

Diseñar una máquina desalinizadora de agua marina, que requiera un bajo consumo energético, para el municipio de La Tola.

## Objetivos específicos

1. Establecer las variables del proceso para la desalinización del agua
2. Establecer el modo funcional y las condiciones de proceso por medio del desarrollo matemático.
3. Diseñar la máquina portátil de destilación para desalinizar agua marina
4. Desarrollar manuales de operación y mantenimiento
5. Realizar la evaluación financiera y las recomendaciones para disminuir el impacto ambiental

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. Problemática del agua

En la actualidad el planeta cuenta con aproximadamente con 1386 millones de km<sup>3</sup> de agua, pese a que la cantidad de agua a lo largo de los años no ha disminuido considerablemente; el 97% de esta es agua salada y sólo el 2,5% del agua que existe en la Tierra se considera dulce, así mismo; la cantidad de agua dulce en un 90% se encuentra en la Antártida (Sólo el 0,5% de agua dulce se encuentra en depósitos subterráneos y el 0,01% en ríos y lagos) y el 0,007% del agua existente en la Tierra es potable (cifra que año tras año debido a la contaminación se reduce) [1]. Actualmente la producción de agua desalada en el mundo es de más de 24 millones de metros cúbicos diarios abasteciendo a más de 100 millones de personas. Debido al aumento exponencial de la población a nivel mundial aumenta la necesidad de buscar alternativas viables y sustentables para la producción de grandes cantidades de agua potable, el aprovechamiento de los recursos hídricos es una de las metas a corto plazo más necesarias para lograr mantener la calidad de vida tal como la conocemos [2]. La falta de agua potable causa la muerte de 1,7 millones de infantes por año, debido a enfermedades como cólera, disentería y malaria, más del 60% de la humanidad vive en zonas de escasez de recursos hídricos, incluso en los países que realizan progresos, todavía existen deficiencias respecto al aprovechamiento de recursos [3].

La escasez de agua potable en poco tiempo puede llegar a causar graves amenazas para la seguridad mundial, ya que tanto el suministro como la renovación del agua en el mundo sufre cada vez más dificultades; por lo cual el poseer la capacidad de acceso y/o purificación de esta se ha convertido en un factor fundamental como fuente de poder a nivel internacional, del mismo modo a nivel interno cada país requiere de suficientes recursos hídricos, la capacidad de satisfacer esta necesidad ha generado la gran demanda de nuevas técnicas para su tratamiento y producción a pequeña y gran escala [4].

La desalinización del agua de mar es una de las campañas sociales y ambientales más coherentes enfocadas en el abastecimiento de recursos hídricos, es por ello que se han generado diversos métodos de desalinización (congelación,

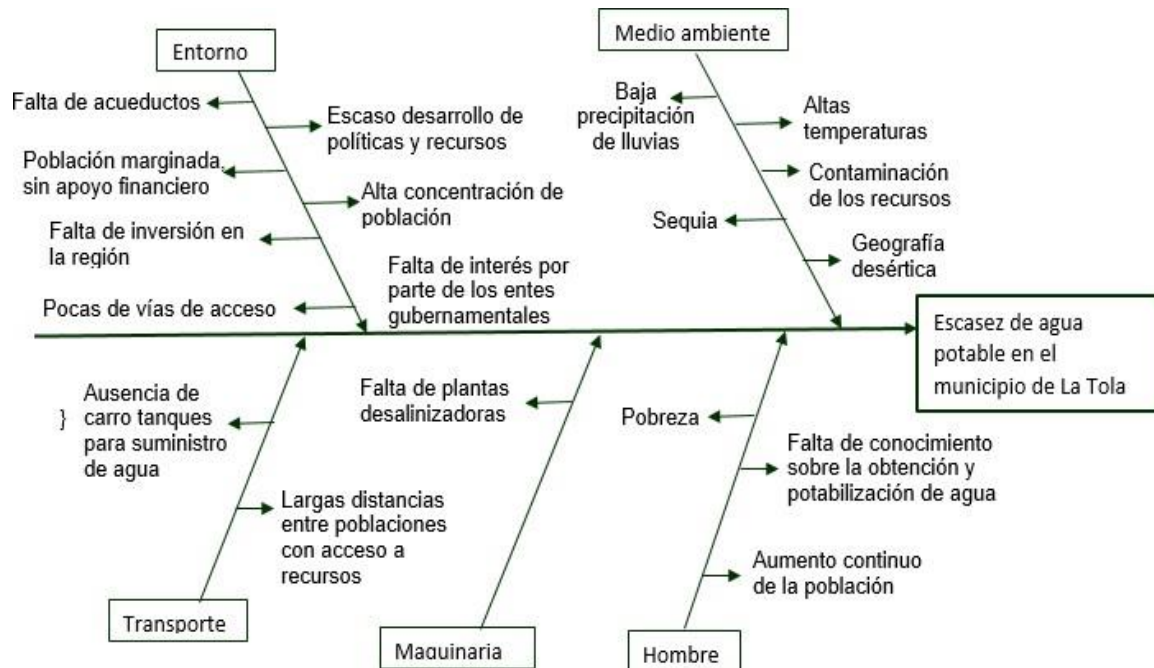
electrodialisis, ósmosis inversa, destilación, energía solar), países como Arabia Saudita han convertido el proceso de desalinización en su fuerza vital, contando con la mayor planta desalinizadora del mundo, la de Ras Al-Khair, en donde se emplea el método de evaporación térmica, produciendo más de 1 millón de metros cúbicos de agua dulce al día (cantidad suficiente para abastecer a 4 millones de personas, asumiendo únicamente usos domésticos) [5] [6]; el ideal a largo plazo es implementar sistemas de desalinización por destilación en la mayor parte de las zonas costeras en el mundo, mejorando no solo la calidad de vida de la población sino también aumentando la cantidad de recursos para la creciente población [7].

Colombia es uno de los países que, por su ubicación geográfica, tiene acceso al Mar Caribe en el norte y al Océano Pacífico en el occidente, siendo un 45% de su territorio agua salada, 14 de sus 32 departamentos (Atlántico, Bolívar, Magdalena, Córdoba, Sucre, Guajira, Cauca, Antioquia, Valle del Cauca, Nariño, Chocó, San Andrés, Providencia y Santa Catalina), poseen zona marino costera, es decir su acceso al recurso hídrico resulta ilimitado si su tratamiento se lleva a cabo. Actualmente grupos como EPM a lo largo del 2015 llevaron a cabo procesos de desalinización en países latinoamericanos, abasteciendo en un 63% de agua potable a países como Chile (650 a 850 litros por segundo), sin embargo dichos proyectos requieren de una inversión de más de 21 millones de dólares en aplicación y adecuación de territorio para iniciar la planta; un proyecto de tal magnitud en Colombia resulta inaccesible debido a la escasez de recursos financieros y energéticos para las zonas costeras, pese al grave desabastecimiento hídrico de dichas zonas.

El municipio de La Tola no cuenta con los recursos ni características suficientes para lograr un correcto y eficiente acceso al agua potable, tal como muestra en el diagrama de Fisher, figura 1, [8] la población carece de condiciones ambientales, recursos tanto naturales, sociales y económicos con los cuales por si misma mejorar su condición e impedir la escasez de agua potable [9].

**Figura 1.**

*Diagrama de Fisher, causa y efecto Escases de agua potable en el municipio de la Tola*



**Nota.** La figura representa el diagrama de causa y efecto respecto a la escasez de agua potable en el municipio de La Tola, evidenciando las falencias y características de la zona y la población.

Actualmente diferentes entidades e investigadores intentan llevar a cabo procesos de desalinización de grandes cantidades de agua potable. El grupo EPM, junto con su jefe de Proyectos de Aguas Antofagasta, se ha enfocado en la producción de agua desalada en Latinoamérica (Chile) en su planta desaladora Norte, la planta más grande en América Latina, mediante un tratamiento biológico con membranas captan los residuos de sodio y otros compuestos en el agua; el proyecto es de utilidad para el país dando la oportunidad de acceso a agua desalada a millones de familias; sin embargo, el alto costo energético y económico de esta planta en el país requiere de una reevaluación para su puesta en marcha en países con menos recursos y poca capacidad energética.

Del mismo modo, a nivel mundial la planta de desalinización, Ras Al-Khair es una de las mayores productoras de agua desalada en el mundo, empleando el método de ósmosis inversa [7].

## 1.2. Municipio de la Tola

### 1.2.1. Ubicación

La Tola es un municipio colombiano ubicado en el departamento de Nariño, al suroccidente de la nación. Se sitúa a 460 kilómetros de San Juan de Pasto, la capital del departamento, limitando por el norte con el Océano Pacífico, como se evidencia en la figura 2, por el sur con Magüí, por el oriente con El Charco y por el occidente con Olaya Herrera. Su altura sobre el nivel del mar es de 20 metros. De acuerdo con el IDEAM su temperatura media es de 28 grados y su precipitación media anual es de 4 250 milímetros [10] .

Actualmente su área municipal es de 459 kilómetros cuadrados y cuenta con 8 571 habitantes con una densidad de población de 18,7 hab./km<sup>2</sup>. [11].

### Figura 2.

*Mapa de La Tola, Nariño*



**Nota.** Mapa de Nariño, referenciando la ubicación del municipio de La Tola. Tomado de: Alcaldía De La Tola Nariño. (octubre 16, 2017). “Rendición de cuentas”. [En Línea]. Disponible: <http://www.latola-narino.gov.co/tema/control/informes-de-gestion-evaluacion-y-auditoria>.

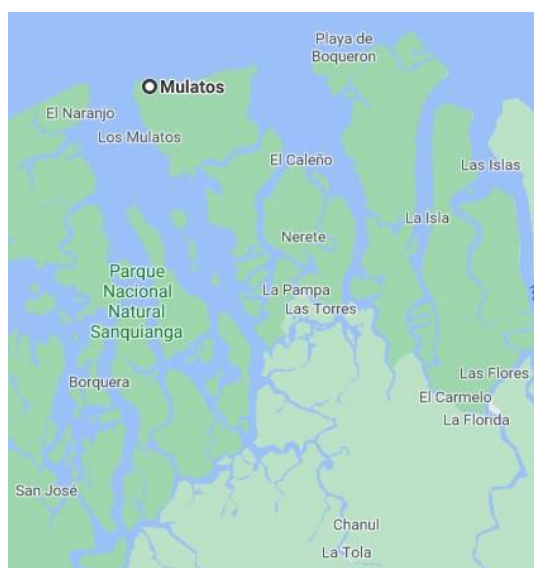
La población cuenta con acceso al mar por la mayoría de sus habitantes, debido a que la economía en el municipio se basa principalmente en la pesca, practicada

por el 65% de los pobladores, sumado a ello cerca del 97% de la población cuenta con una embarcación de fibra de vidrio, mientras que las restantes tienen canoa o potrillo de madera, haciendo así factible la recolección de agua marina para su tratamiento por la población. [12] [13].

Del mismo modo de acuerdo a la caracterización poblacional realizada por el DANE [14] cerca del 72% de la población se encuentra en la zona urbana (Cabecera) del municipio [15] por lo que la cercanía a la zona limítrofe con el mar es de 12,5 km [13], el proyecto se plantea principalmente para las poblaciones rurales costeras del municipio comprendidas por las comunidades de Mulatos, Amarales, Nerete, el Caleño, San Antonio que constituyen el concejo comunitario de Playas Unidas [12], debido a su cercanía al mar, tal como se evidencia en la figura 3; siendo mínimo el desplazamiento para la recolección de agua, facilitando a la población el transporte constante de agua marina desde la costa para su posterior tratamiento.

### Figura 3.

*Mapa Zona costera del municipio de La Tola*



**Nota.** Mapa ubicación Zona costera del municipio, Mulatos Google maps. (2020). "Punta Mulatos". [En Línea]. Disponible: <https://www.google.com/maps/search/punta+mulatos+la+tola/@2.6549698,-78.3082096,14z/data=!3m1!4b1?hl=es>

El proyecto no implica específicamente su desarrollo en el sector costero de La Tola, siendo posible llevarse a cabo en todo el municipio y demás comunidades



costeras que cuenten con las capacidades humanas, recursos y medios necesarios para abastecerse de agua marina

### **1.2.2. Situación social**

El departamento de Nariño ha sido sumamente afectado por el conflicto armado, provocando en sus diferentes municipios como La Tola un atraso económico y social que de manera directa e indirecta ha traído pobreza y baja calidad de vida a los miembros del municipio. Una de las grandes falencias del municipio es la ausencia de un sistema de acueducto y alcantarillado que suministre agua potable a la población. Este ha sido uno de los planes de gobierno recurrentes de los alcaldes que han pasado por el municipio, sin lograr implementarlo. [8]

### **1.2.3. Recursos y servicios**

Con base en el estudio realizado por el Instituto Departamental de Salud de Nariño en 2011, “Caracterización de las condiciones de salud y laborales de los trabajadores del sector informal del municipio de la Tola” [16] y los censos realizados por el DANE, contemplados en la figura 3, el 79% de la población en el municipio cuenta con acceso al servicio eléctrico, siendo más del 50% las familias conformadas por más de 4 personas como se puede apreciar en la siguiente figura [14].

**Figura 4.**

*Servicios con los que cuenta cada vivienda y número de personas por vivienda en el municipio de La Tola*



**Nota.** Representación gráfica de los hogares y servicios con los que cuenta cada vivienda en el municipio de La Tola. Tomado de: Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2010). “Boletín censo general Municipio de la Tola”. [En Línea].

Disponible:

[https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL\\_PDF\\_CG2005/52390T7T000.PDF](https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/52390T7T000.PDF)

Por medio de la tabla 1, se reitera la falta del servicio de acueducto y alcantarillado, dado que implica un riesgo en la salud de la población y por ende es un servicio que requiere especial atención.

**Tabla 1.**

*Riesgo sanitario de la población en La Tola*

Riesgo sanitario		Porcentaje
Cuenta con instalaciones sanitarias	si	5
	no	95
		100
El agua que consume es limpia	si	14
	no	86
		100

**Nota.** Resultados encuesta municipal de La Tola respecto a la calidad de los servicios sanitarios. Tomado de: Instituto Departamental de Salud de Nariño. (2011). "Caracterización de las condiciones de salud y laborales de trabajadores del sector informal del departamento de nariño 2011". [En Línea]. Disponible: [http://idsn.gov.co/site/web2/images/documentos/riesgos\\_laborales/LA\\_TOLA/INFORME%20CARACTERIZACION%20SECTOR%20INFORMAL%20LA%20TOLA.pdf](http://idsn.gov.co/site/web2/images/documentos/riesgos_laborales/LA_TOLA/INFORME%20CARACTERIZACION%20SECTOR%20INFORMAL%20LA%20TOLA.pdf).

**Tabla 2.**

*Servicios con los que cuenta cada vivienda*

Presencia de servicios públicos en la vivienda	
Energía	99
Acueducto	0
Alcantarillado	0
Teléfono móvil	75
Gas	54

**Nota.** Servicios públicos con los que cuenta cada familia en el municipio de La Tola. Tomando de: Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2010). "Boletín censo general Municipio de la Tola". [En Línea]. Disponible: [https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL\\_PDF\\_CG2005/52390T7T000.PDF](https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/52390T7T000.PDF)

#### **1.2.4. Calidad del agua**

La implementación de un sistema de acueducto viable ha sido planteada numerosas veces, debido a la baja capacidad económica y poca ayuda que recibe

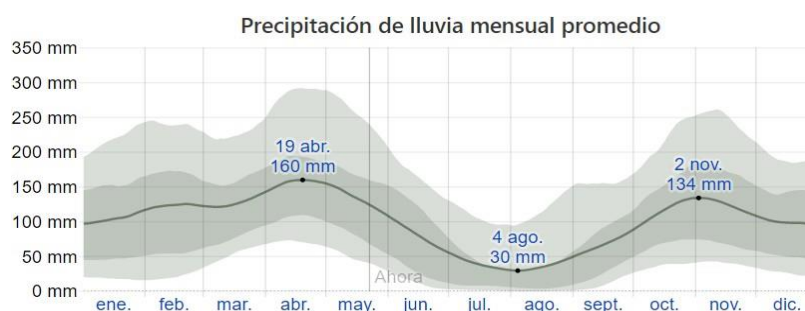
el municipio por parte del gobierno, solo el 23 % de la población del departamento cuenta con servicio de acueducto con agua de baja calidad, como lo afirma directora del Departamento De Salud, Elizabeth Trujillo, en su informe respecto a la calidad del agua para el departamento de Nariño [17]. Esta condición se ve agravada por la condición de sequía.

Las fuentes hídricas cercanas a la población del municipio se reducen al río La Tola, aguas lluvias y el océano Pacífico, cabe resaltar que ninguna de estas fuentes es un recurso de agua apta para el consumo humano de manera directa, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud las aguas lluvias han de ser recolectadas y empleadas con el único fin de suplir actividades hídricas de limpieza y aseo correspondientes a actividades alejadas del consumo humano; los índices de contaminación y bajo control de salubridad para la recolección que no solo hacen del agua poco apta para el consumo sino que se crea un problema latente para la salud de la población, del mismo modo la minería ilegal que se practica en las cercanías al río la Tola también es un factor contaminante [18].

Así mismo, de acuerdo con estudios climatológicos realizados por la empresa Cedar Lake Ventures, La Tola cuenta con baja precipitación anual de lluvias, la precipitación promedio de aguas lluvias para el municipio alcanza un máximo de 95 mm/año, como se observa en la figura 4, por lo que es una zona semidesértica, limita en gran medida la posibilidad de la recolección de aguas lluvias, de acuerdo con el análisis de precipitación la captación de aguas lluvias es posible en determinadas y escasas épocas del año, en los meses de abril y noviembre. [19]

## Figura 5.

### Precipitación promedio mensual de lluvia en el municipio de La Tola



**Nota.** Diagrama precipitación mensual promedio de lluvia en el municipio de la Tola. Tomado de: Weatherspark. (2016, diciembre 12). “Clima promedio en La Tola”. [En Línea]. <https://es.weatherspark.com/y/20047/Clima-promedio-en-La-Tola-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Una de las soluciones de los locales fue la instalación de una casa aguatera con un tanque avispa el cual nunca estuvo en funcionamiento, las familias del municipio en invierno recolectan el agua lluvia y en verano recogen el agua de pozos elaborados por ellos mismos cerca a sus hogares, pese a esto la calidad y capacidad de las fuentes empleadas no es la suficiente para suplir la demanda de todo el municipio. [20] [13]

### 1.3. Desalinización

La desalinización se describe como el proceso de separación de minerales o sales disueltas de aguas salobres o de mar [21] el contenido de estos en el agua se indica como TDS (Total Dissolved Solids) o Salinidad, que expresa la concentración de estos en miligramos por litro (mg/L)], separa tanto sales como sustancias dañinas de corrientes de agua sea marina o residual, y así convertirlas en aguas adecuadas para consumo humano, industrial o de riego [22].

La Organización Mundial de la Salud, junto con otros organismos, establece un máximo de 500 mg/L [23]. Las aguas salobres se consideran entre 500 y 15.000 mg/L; y las aguas por sobre 15.000 mg/L se clasifican como agua de mar, y en general se encuentra en el rango de 33.000 a 45.000 mg/L. [24].

Existen diversas tecnologías desarrolladas en la actualidad para desalinizar el agua de mar, todas pretenden reducir la concentración de sales disueltas del agua de mar, diferenciándose por las características de acuerdo con: el tipo de energía, diseño y producción.

### **1.3.1. Procesos de desalinización**

Existen diferentes clasificaciones para los procesos de desalación, una de las clasificaciones más útiles es mediante dos grupos de procesos, los que implican un cambio de fase y aquellos que no. [25].

1- Procesos que implican un cambio de fase:

- Destilación simple
- Destilación en Múltiple Efecto
- Flash en Múltiple Efecto
- Congelación
- Compresión de vapor.

2- Procesos sin cambios de fases

- Ósmosis Inversa
- Electrodialisis

Los tipos de desalinización de agua marina varían principalmente en el consumo energético, costo de operación e impacto ambiental [26]:

#### **Procesos de cambio de fase:**

Los procesos de cambio de fase emplean un principio de separación en el que las condiciones termodinámicas son escogidas de tal manera que la separación entre los componentes sea factible, mediante un cambio de fase en uno de los componentes de la mezcla inicial, finalmente las fases son separadas en dos fases simples con diferentes composiciones.

1.3.1.i. Destilación Simple. La destilación es la operación de separación más antigua y la operación unitaria más ampliamente utilizada en la industria, por lo que se ha

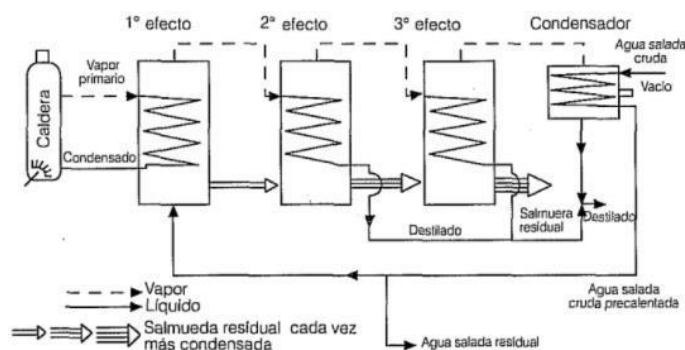
implementado en múltiples tareas de separación alterando en diferentes medidas algunas de sus características de acuerdo a los procesos y características de los componentes a separar, de dichos procesos varían principalmente en el consumo energético, costo de operación e impacto ambiental [27].

1.3.1.ii. Destilación Multiefecto (DME). La destilación multiefecto es el procedimiento más antiguo, empleado comúnmente para desalinizar grandes volúmenes de agua de mar. En este proceso la cantidad de energía que puede ser almacenada en el agua a su temperatura de ebullición decrece cuando disminuye la presión [28]. Es por ello que cuando el agua de mar a su temperatura de ebullición fluye a un recipiente con menor presión, el exceso de energía contenido en el líquido produce evaporación. Este flujo de energía que sale del líquido causa que la temperatura del agua de mar o salobre descienda hasta el valor correspondiente al de saturación en esa nueva presión. Así, la primera etapa es alimentada con vapor externo (70 - 80 °C) y en el resto de las etapas se va utilizando el calor de condensación producido en la etapa anterior, tal como se muestra en la figura 5. De esta forma se eleva la temperatura del agua del mar desde unos 22°C hasta la temperatura del vapor de alimentación. Simultáneamente, el condensado (agua desalinizada) va perdiendo temperatura hasta casi igualar, en la salida del proceso, a la del mar. Este proceso se caracteriza por el hecho de que toda la energía es suministrada al líquido antes de que la ebullición tenga lugar y que durante la evaporación no se suministra energía adicional [29].

Cuantos más efectos se tengan, mayor es la utilización de la energía aportada; pero también mayor es el costo de la instalación. Existe un número de efectos óptimo para cada caso. Este es menor cuanto más barato es el vapor primario. El número de efectos suele variar entre 3 y 12 aunque a veces pueden ser más numerosos [30].

**Figura 6.**

*Destilación multi-efecto (DME)*



**Nota.** Esquema destilación multi-efecto, triple efecto. Tomado de: F. Arreguín Cortés y A. Martín Domínguez, “ Desalinización del agua”, *Ingeniería hidráulica en México*, vol. 15, no 1, pp.27-49, ene, 2000, DOI: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/720/0206.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

1.3.1.iii. Destilación de Múltiples etapas (DSME). Es similar a la destilación multiefecto, en este proceso las etapas sucesivas están sometidas a un vacío creciente, por lo que el agua salada, cuando pasa de una etapa a la siguiente, soporta la evaporación en toda su masa, llamada por esta razón “súbita”. Para este proceso el agua de la corriente de alimentación debe tener un tratamiento previo para prevenir la incrustación de sales en los tubos de transferencia de calor, ya que puede ocasionar graves daños en la producción reduciendo la transferencia de calor del vapor al agua con sales [30].

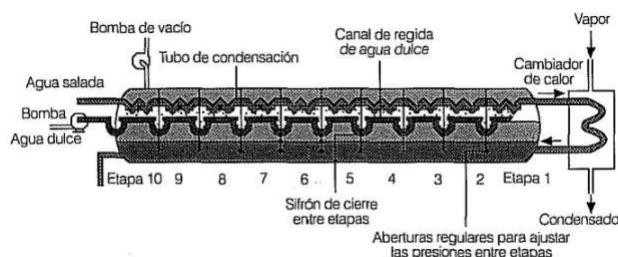
En el procedimiento el agua salada es calentada a presión hasta cerca de la temperatura de ebullición y es introducida por un orificio en una cámara a presión ligeramente menor a la de saturación, donde parte del agua se evapora instantáneamente, enfriando el líquido residual, el líquido pasa a otra cámara, donde puede seguir evaporándose por estar a presión aún menor, y así sucesivamente, este proceso se puede observar en la figura 6. El calor de condensación de los vapores formados sirve para precalentar el flujo alimentado que circula a contracorriente.



En este proceso el número de etapas implementadas varía entre 20 y 60, convirtiéndose en uno de los procesos de destilación de agua marina más usados a nivel industrial para tratar grandes cantidades.

**Figura 7.**

*Destilación de múltiples etapas (DSME)*



**Nota.** Diagrama destilación multietapa. Tomado de: F. Arreguín Cortés y A. Martín Domínguez, “ Desalinización del agua”, *Ingeniería hidráulica en México*, vol. 15, no 1, pp.27-49, ene, 2000, DOI: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/720/0206.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

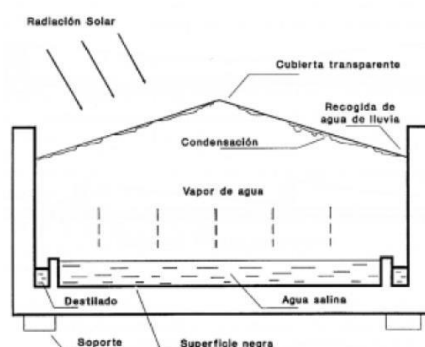
1.3.1.iv. Destilación solar. Para este proceso el aporte de la energía es gratuito. La producción de agua dulce por este sistema es similar a lo que ocurre en la naturaleza durante el ciclo del agua, para mantener el balance hidrológico; se trata de aprovechar el efecto de calentamiento de la radiación solar para producir vapor en una cámara de poca profundidad con una cubierta transparente el calor es absorbido y se transmite a toda la cámara evaporando el agua para posteriormente condensarse sobre el cristal del techo y recogerse en unos canales laterales, el sistema de destilación se muestra a continuación en la figura 7. Es un proceso adecuado para satisfacer necesidades individuales, familiares o de pequeños grupos además de poder ser empleado para agua de mar o salobre [27].

Los tipos de desalinización se diferencian por costos, impacto ambiental, calidad del producto y energía consumida. Mediante comparación entre procesos térmicos y de membranas, se encontraron las diferentes tecnologías existentes para desalar agua de mar, número de plantas instaladas, tecnología utilizada, fuentes de abastecimiento, y uso del agua desalinizada, siendo la fuente de abastecimiento

más utilizada es agua de mar con 60%, agua salobre 22%. Los sectores beneficiados con agua desalinizada son municipales con 66% e industrial con 23%. [22] Por lo cual encontrar un método factible y de bajo costo para la desalinización del agua marina es un proyecto de gran relevancia y acogida por las poblaciones costeras más necesitadas.

### Figura 8.

#### Destilación solar



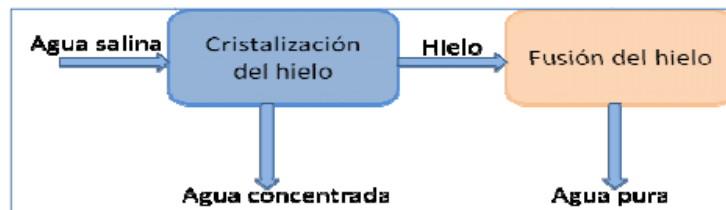
**Nota.** Esquema destilación solar mediante radiación en domo de vidrio Tomado de: E. Zarza Moya, “Desalinización de agua del mar mediante energías renovables”, *Plataforma solar de Almería*, vol. 1, no. 2, pp. 199-225, ene, 2001, DOI: file:///C:/Users/HP/Downloads/Dialnet-DesalinizacionDelAguaDelMarMedianteEnergiasRenovab-566687.pdf

1.3.1.v. Separación por congelación. Proceso basado en el concepto de que el agua al ser congelada estará libre de sales por lo que posterior a su congelación los cristales de agua son tratados con agua dulce. El proceso de congelación requiere de congeladores especiales ya que de otra manera el consumo energético resulta más costoso. Un proceso similar emplea la pulverización del agua cruda (pre enfriada a temperaturas cercanas a la congelación) en una cámara a la presión de vapor del agua, parte del agua introducida se evapora generando un cambio de temperatura que congela el líquido restante para formar los cristales de hielo, mientras que el vapor es extraído y comprimido para ayudar a fundir los cristales en etapas posteriores, tal como se ejemplifica en la figura 9. [31].

El proceso requiere un gran gasto debido a que es necesaria la generación de vacío a través de un compresor de vapor, cuya instalación y mantenimiento presentan elevados costos, es posible trabajar con hidrocarburos inmiscibles en agua que permiten reducir la presión sin mayores gastos en vacío.

**Figura 9.**

*Destilación separación por congelación*



**Nota.** Representación de la destilación por congelación mediante diagrama de bloques. Tomado de: M. Contreras Fernandez, *Obtención de agua potable a partir de agua de mar por congelación – fusión*, tesis mSc Facultad de Ingenierías, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2012, Disponible: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18378/Memoria.pdf>

### **Procesos sin cambio de fase**

1.3.1.vi. Electrodiálisis (ED). En este proceso los iones son transferidos debido al flujo de una corriente eléctrica directa a través de una membrana selectiva catiónica - aniónica) a una solución menos o más concentrada que la inicial; para este proceso suelen existir membranas porosas solo a los cationes (aniónicas) y otras solo a los aniones (catiónicas). Las celdas de electrodiálisis son cámaras divididas en compartimentos mediante una serie de membranas paralelas separadas a 1 mm una de la otra, intercalando entre catiónicas y aniónicas, de manera que en los extremos de la celda se aplique una diferencia de potencial.

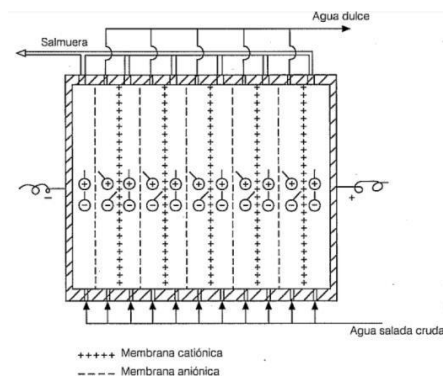
Para llevar a cabo la separación el agua cruda penetra en los espacios que hay entre membranas. De acuerdo con el sentido establecido de la corriente, uno de los espacios pierde salinidad mientras los contiguos aumentan la suya. Recogiendo por separado el agua de los espacios alternados se obtiene agua dulce por un lado y salmuera por el otro.

En la electrodiálisis inversa (EDI), la polaridad de los electrodos se invierte cíclicamente cada o minutos, cambiando la dirección de movimiento de los iones entre las membranas, y el agua pasa de forma alternativa por membranas catiónicas y aniónicas. Esto provee una limpieza frecuente y automática de los depósitos formados en la superficie de la membrana, los iones entre membranas y el proceso se pueden evidenciar en la figura 9.

El proceso de electrodiálisis por sí solo no genera la total eliminación de sales, por lo que para obtener el mejor efecto se dispone de un proceso en cascada de celdas de electrodiálisis, el proceso no es lo suficientemente competente para tratar agua marina ya que en la electrodiálisis el consumo de energía es proporcional al contenido de sólidos disueltos. No se tratan por electrodiálisis aguas con más de 5000 ppm, igualmente los costos aumentan al ser las membranas costosas y sensibles a la polarización e incrustación por altas corrientes [21].

**Figura 10.**

*Electrodiálisis (ED)*



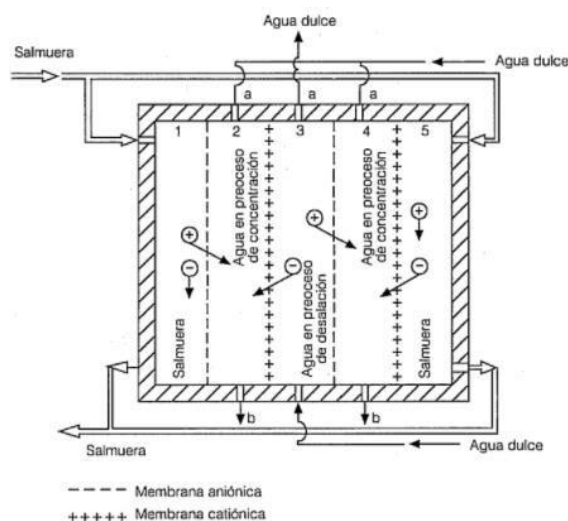
**Nota.** Esquema de una célula de electrodiálisis en el proceso de desalinización del agua. Tomado de: F. Arreguín y A. M. Domínguez, “Desalinización del agua”, *Repositorio institucional del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, vol. XV, no. 1, pp. 27-49, abr 2000, [En Línea]. Disponible: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/720/0206.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

1.3.1.vi. Ósmosis iónica. Es una variante del proceso de electrodiálisis, que en vez de consumir energía eléctrica consume energía mecánica o química. En los compartimentos extremos comunicados, se introduce una salmuera o agua salobre

a presión, la cual cede cationes al compartimento inicial y aniones al final. Estos compartimentos, así como el central, están alimentados por agua salobre. Entre los compartimentos existe un desequilibrio iónico, que obliga a que el agua del compartimento pierda iones, desalinizándose, como se evidencia en la figura 10. La salmuera introducida en los compartimentos exteriores y centrales debe mantenerse más concentrada que el agua de alimentación [30].

**Figura 11.**

*Destilación por Ósmosis iónica*



**Nota.** Esquema proceso osmótico, desalinización del agua. Tomado de: F. Arreguín y A. M. Domínguez, “Desalinización del agua”, *Repositorio institucional del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, vol. XV, no. 1, pp. 27-49, abr 2000, [En Línea]. Disponible:

<http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/720/0206.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

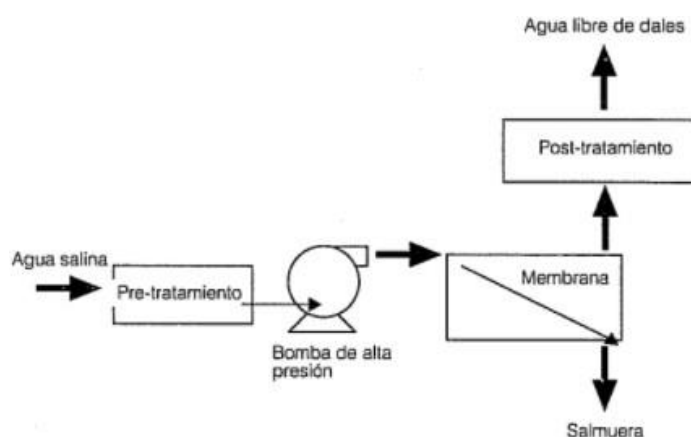
1.3.1.viii. Osmosis inversa. El proceso de ósmosis inversa es el método más sencillo para desalar, y el que parece acercarse a los mejores rendimientos energéticos. Durante el proceso las soluciones menos concentradas se desplazan, por diferencia de energía potencial, hacia las más concentradas a través de una membrana semipermeable sin necesidad de aplicar ninguna fuerza externa; basándose en las propiedades de las membranas semipermeables de dejar pasar con más facilidad el agua dulce que la salada, creándose así una diferencia de potencial hidráulico entre esos dos líquidos cuando cada uno se sitúa a un lado de la membrana, como se

observa en la figura 11. El aumento de la presión en el lado del agua salada permite su paso al compartimento menos salino, dejando atrás parte de las sales.

Este proceso manifiesta problemas debido a la obtención de membranas baratas y resistentes a la presión diferencial, así mismo las membranas pierden permeabilidad si el agua original lleva un exceso de sílice, hierro o materia orgánica por lo que se requiere un tratamiento previo del agua marina, el agua de alimentación debe tener una turbidez y contenido de materias en suspensión muy bajo [30].

## Figura 12.

### Ósmosis inversa



**Nota.** Diagrama de flujo de un sistema de ósmosis inversa, desalinización del agua. Tomado de: F. Arreguín y A. M. Domínguez, "Desalinización del agua", *Repositorio institucional del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, vol. XV, no. 1, pp. 27-49, abr 2000, [En Línea]. Disponible: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/720/0206.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

1.3.1.ix. Ultrafiltración (UF). Es un proceso en el cual se implementan membranas semipermeables para separar macromoléculas de una solución, en este el tamaño y forma de cada una de las mezclas en solución son importantes para su retención y separación, las membranas empleadas son más porosas y resisten presiones entre 70 y 700 kPa, la destilación por ultrafiltración requiere de un diseño y reconocimiento detallado de los componentes a tratar, es un proceso ampliamente usado en la industria requiriendo de grandes espacios para llevarlo a cabo tal como se muestra en la figura 12 con el proceso de ultrafiltración con membrana en espiral [32].

### Figura 13.

*Destilación por ultrafiltración (UF)*



**Nota.** Ilustración de ultrafiltración con membrana en espiral en la industria. Tomado de Ministerio De Sanidad y Política Social, 2017, “Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano”. Disponible: [https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Guia\\_desalacion.pdf](https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Guia_desalacion.pdf)

1.3.1.x. Cambio iónico. Basado en la propiedad de algunas resinas catiónicas saturadas con hidrógeno, debido a su intercambio por cationes de agua y ciertas resinas aniónicas saturadas con iones hidroxilo al cambiar este por los aniones de agua. El proceso consiste en pasar el agua cruda por una columna con resina catiónica y otra con resina aniónica, obteniendo así agua pura. Al agotar la capacidad de intercambio de las resinas, éstas pueden regenerarse con reactivos adecuados, por ejemplo,  $H_2SO_4$  o  $HCl$  para las catiónicas y  $NaOH$  para las aniónicas [33]. Sin embargo, el costo de los reactivos de regeneración es muy elevado, lo que hace que el intercambio iónico únicamente sea útil para producir agua de elevada pureza a partir de aguas poco salinas (menos de ppm de residuo seco), pero no a partir de aguas salobres o saladas, por lo que su uso para el tratamiento de agua marina no es posible [26].

**1.4. Agua** En su estado usual tal como se encuentra en las fuentes naturales el agua no es pura debido a que su origen es variable en cuanto a su composición, siendo necesario realizar diversos tratamientos, de acuerdo con el grado de potabilización necesario y la fuente de recolección de la misma, de este modo lograr que sea apta para el consumo; mediante el control detallado de las características [34]

### **1.4.1. Salinidad**

La salinidad del agua corresponde al contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua. La salinidad promedio de los grandes cuerpos de agua, mares y océanos se encuentra entre 33 y 37 g/L dependiendo de la cercanía a fuentes de agua dulce, corrientes de agua, aumento o disminución del cuerpo de agua, por factores como el viento, precipitación y demás condiciones climáticas que favorecen la salinización o desalinización [35].

1.4.1.i. Efecto del agua salada en aleaciones de aluminio. El aluminio es un metal activo que se protege de forma natural formando una capa de óxido de aluminio con la presencia del O<sub>2</sub> atmosférico, esta capa tiene un espesor de 20 a 100 Angstrom siendo estable debido a su fácil regeneración, en caso de que se rompa, generando resistencia a la corrosión, potenciándose con distintos tratamientos de recubrimiento para brindar mayor protección y conservación del material.

Los factores principales que influyen en la estabilidad de la capa son: pH (entre 4 y 8,5), la temperatura y la presencia de sustancias que formen complejos solubles o sales insolubles que favorecen la integridad y adherencia de la película de óxido mejorando la resistencia a la corrosión. [36]

### **Protección ante la corrosión:**

El aluminio es un material pasivable por lo que el deterioro local de la capa pasiva es frecuente, generando formas típicas de corrosión que afectan la superficie metálica dando lugar a penetraciones considerables sin apenas pérdida de masa, de manera que se hace necesario un método de protección. Algunos de los más frecuentes son:

- Protección catódica: Es uno de los métodos más empleados ya que puede proteger otros metales cuando se encuentran en medios acuosos, al trabajar con aluminio es recomendable la protección con ánodos de sacrificio, que incorpora otro metal más activo que el aluminio, de forma que la corrosión se centrará en el ánodo de metal añadido. [36]



- Protección anódica: Es un método que fuerza el desarrollo de películas de pasivación sobre la superficie para protegerlo y separarlo del medio agresivo, mediante el paso de una corriente anódica suficiente como para mantener el aluminio en zona de pasividad. [36]
- Recubrimientos: Interpone una barrera física entre el material a proteger y el medio agresivo, ya sea mediante recubrimientos: metálicos, inorgánicos u orgánicos. [36]

1.4.1.ii. Efecto del agua salada en elastómeros. De acuerdo con estudios realizados en 1998 en la patente a nombre de Luis Carlos Zambrano Valdivia, se considera que el tiempo de contacto de agua salada con los elastómeros al superar los 35 minutos, pasado este lapso, la calidad del material es inversamente proporcional al tiempo transcurrido. [37]

#### **1.4.2. Aspectos microbiológicos**

Son un factor de riesgo para la salud debido a que las aguas naturales generalmente contienen una mezcla de microorganismos autóctonos del medio y microorganismos patógenos provenientes de efluentes de aguas residuales, procesos industriales y actividades agrícolas, que constituyen un riesgo potencial para la salud humana. Según la Organización Mundial de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente cuando las temperaturas se elevan considerablemente se favorece el desarrollo de patógenos, cuando la salinidad del mar aumenta disminuye la diversidad biológica ocasionando serios problemas con los organismos acuáticos [38].

#### **1.4.3. Características del agua salada (marina) en el municipio**

Las características de la mezcla de agua salada varían de acuerdo a la zona geográfica a estudiar por lo que es necesaria su caracterización con el fin de evaluar su comportamiento ante los procesos de desalinización. [39] [40]

**Tabla 3.**

*Propiedades del agua marina en el municipio de La Tola*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Temperatura	22	°C
Presión	101325	Pa
Salinidad	35-37	g/L
pH	7,5 – 8,4	-

**Nota.** Esta tabla muestra las propiedades físicas y químicas del agua salada en la costa del municipio de La Tola. Tomado de: J. Barreras Carballo, *Resistencia a la corrosión de la aleación de aluminio A361 recubierta por sol-gel*, proyecto de investigación. Facultad de Ingenierías, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España, 2003, Disponible: <https://burjcdigital.urjc.es/handle/10115/865#preview> y La Ciencia para Todos, “El océano y sus recursos ii. las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química”, Fondo de Cultura Económica, [En línea]. Disponible: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/oceano2.html>

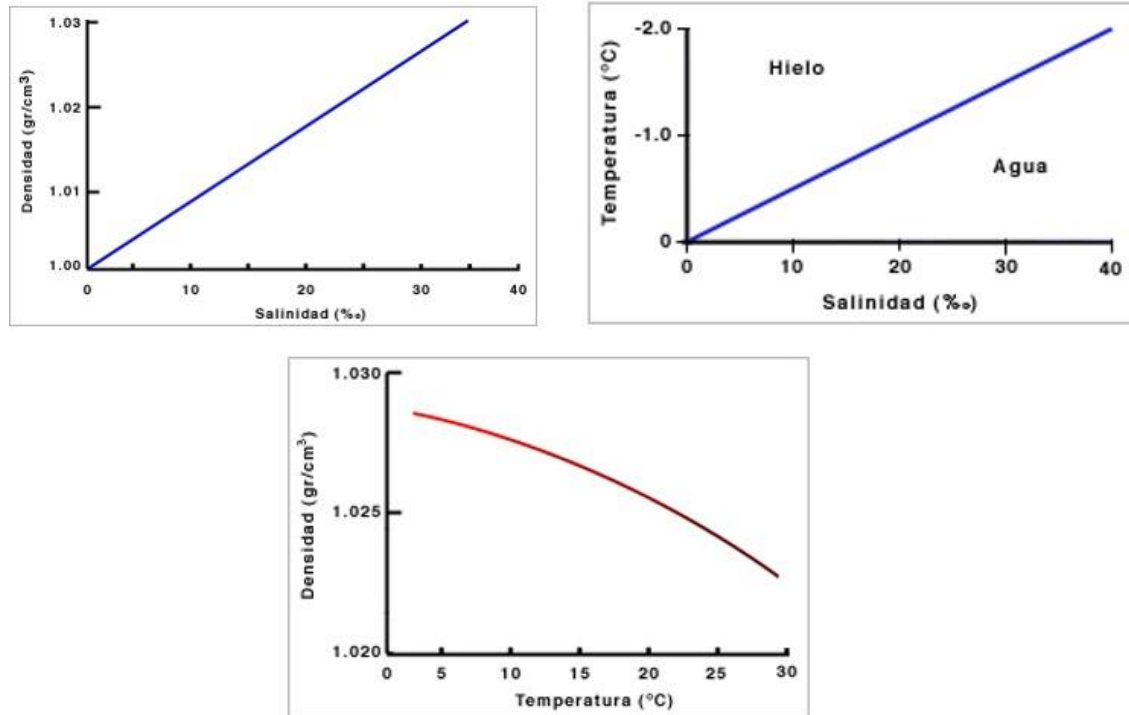
#### **1.4.4. Relación de la densidad en función de la salinidad y la temperatura del agua**

La densidad es una propiedad del agua que se encuentra determinada por la temperatura y la salinidad. Debido a procesos biológicos para su análisis es importante entender cuándo la densidad es controlada por la salinidad o por la temperatura ya que esto también explica la correlación entre el pH y la temperatura y/o salinidad.

Es conocido que la densidad es función de temperatura y salinidad, a presión constante, de esta manera es posible afirmar que la densidad del agua marina está directamente relacionada con la profundidad de la columna de agua, reconociendo que a mayor profundidad la temperatura disminuye ya que se presenta un aumento en la concentración salina, que con base en las propiedades coligativas de la disolución el punto de fusión se reduce; siendo la densidad inversamente proporcional a la temperatura y directamente proporcional a la salinidad, tal como se muestra en la figura 13. [41] [42]

**Figura 14.**

*Relación de la densidad con la temperatura y salinidad*



**Nota.** Graficas relación comportamiento de la densidad, temperatura y salinidad del agua. Propiedades del agua de mar. Tomado de: Pontificia Universidad Católica de Chile, (s.f), “Curso Geografía del mar” [En línea]. [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/geo\\_mar/html/h34.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h34.html)

## 1.5. Especificaciones para el municipio La Tola

### 1.5.1. Generalidades del agua

Las condiciones oceanográficas del pacífico tropical de Colombia exponen frecuentemente comunidades biológicas a diferentes alteraciones físicas y biológicas que modifican su organización e interrelación, así como la estabilidad temporal de las corrientes de agua; variables físicas como temperatura, salinidad, turbidez y velocidad de las corrientes pueden modular procesos de asentamiento, tasa de crecimiento y la estructura de cualquier comunidad marina.

Mediante estudios locales de las condiciones oceanográficas de la región pacífica colombiana, como se observa en la figura 13 la precipitación de aguas lluvias en el municipio no es constante, se describen diferentes características de la zona como: una temperatura media de 26°C, con humedad relativa de 90%, siendo los períodos

climáticos de lluvia de mayo a octubre con un periodo de precipitaciones menores en mayo y diciembre a febrero de 4 y 8 m<sup>3</sup>/año, una circulación superficial de agua de flujo entre 0.07 y 0.42 m /s, promedios de temperatura del agua superficial entre 19,8 °C – 20,3 °C, registrándose el mínimo valor en 18,5 °C en los meses de Julio y Agosto; asimismo las características químicas demuestran un mayor incremento de los cloruros encontrados en el agua durante el mes de Abril con 27,11 mg/L y pH 8. [39]

**Figura 15.**

*Probabilidad de precipitación diaria en el municipio de La Tola*



**Nota.** Gráfico de precipitación diaria en el municipio de La Tola. Tomado de: Weatherspark. (2016, diciembre 12). "Clima promedio en La Tola". [En Línea]. <https://es.weatherspark.com/y/20047/Clima-promedio-en-La-Tola-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Existen dos períodos de las condiciones oceanográficas en la capa superficial (0-50 m) de la columna de agua: un período cálido y de baja salinidad superficial entre mayo y diciembre (profundidad termoclina 47 m) y un período frío y salino entre enero y abril (profundidad termoclina 7,5 m); de mayo a diciembre se tiene un periodo cálido de baja salinidad con temperatura estándar de 22°C de 0 a 47 m de profundidad y un periodo frío de alta salinidad entre enero y abril con una columna de agua de 7,5 m [39].

El estudio oceanográfico demuestra la dinámica oceanográfica del entorno

marino: es fuertemente influenciado por su proximidad a la zona continental, procesos climático-oceanográficos de mesoescala, estarían afectando drásticamente las condiciones de la columna de agua en una escala anual y por consiguiente los diferentes ecosistemas bentónicos submareales que se desarrollen en esta importante área natural protegida del Pacífico Oriental Tropical colombiano isla Gorgona [39].

### **1.5.2. Calidad del agua marina**

Según estadísticas presentadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) la costa pacífica del territorio colombiano ha sido altamente afectada por los fenómenos climáticos de El Niño y La Niña, en cuanto a la precipitación, influenciada por índices microclimáticos ENSO (patrón climático que consiste en la oscilación de los parámetros meteorológicos del Pacífico ecuatorial cada cierto número de años, llamado El Niño-Oscilación del Sur), la calidad del agua de la franja marino costera. [43].

Los cambios en la calidad del agua en algunos casos se deben a las alteraciones en la precipitación de aguas lluvias. La cantidad de precipitaciones aumenta la capacidad de dilución de contaminantes, provocando un mayor arrastre de nutrientes; mientras que la disminución en las precipitaciones reduce la dilución de los contaminantes provenientes de descargas puntuales, así como el incremento de temperaturas y la pérdida de oxígeno en las fuentes de agua.

### **1.5.3. Características microbiológicas**

De acuerdo con diferentes análisis y muestreos de la zona costera pacífica colombiana se determinó que el valor promedio diurno de salinidad fue de 25,39 UPS (Unidades Prácticas de Salinidad) o gramos de sal por litro, para todas las estaciones, profundidades y muestreos. Los valores superficiales oscilaron entre 19 y 31,5 UPS. Estos valores son normales para las aguas de la ensenada, según trabajos realizados en el Pacífico colombiano que registran salinidades entre 13 y 35 UPS. El análisis de varianza mostró diferencias significativas de la salinidad superficial entre los muestreos, según el test de Kruskal-Wallis. [10]

Considerando las variaciones en la salinidad en la zona debidas a las entradas de agua dulce continental y por las lluvias locales y la escorrentía de las zonas de manglar y selváticas, especialmente en julio y agosto. El aumento en la salinidad depende de los flujos de agua marina, ya sean vaciantes o de llenado (según el comportamiento mareal). En todos los muestreos las tres estaciones registraron los mayores valores de salinidad en la profundidad de compensación. Esto se debe posiblemente a la poca influencia de las lluvias en las aguas profundas; el agua salobre penetra por el fondo debido a su mayor densidad, es otra posible explicación a la mayor salinidad en las aguas de fondo.

Para el periodo de muestreo considerado, la comunidad fitoplanctónica se caracterizó por la preponderancia de las diatomeas, la baja abundancia de organismos y la elevada diversidad de especies, condiciones propias de ambientes oligotróficos costeros. Las variaciones en la composición de la comunidad ocurrieron principalmente entre muestreos, mientras que los cambios entre estaciones y profundidades y entre el día y la noche fueron menos intensos. Las variables fisicoquímicas que tuvieron cambios significativos entre muestreos fueron la salinidad y el oxígeno disuelto superficiales y por tanto pudieron influir sobre las modificaciones en la comunidad de microalgas [10].

### **1.6. Diseño conceptual**

El diseño de procesos es un procedimiento que aplica e integra varias técnicas de ingeniería, economía y principios científicos para crear un proceso que fabrique un producto específico; se fundamenta en generar, seleccionar y ordenar adecuadamente una serie de operaciones que transforman las materias primas en productos o sistemas útiles. Los principales documentos para el diseño conceptual son: el diagrama del proceso y su descripción, tablas de balances de materia y energía, hojas con la descripción del tipo y dimensiones de los principales equipos, junto con un análisis de los costos de los equipos y de operación del proceso; de manera que más de la mitad del costo del producto o sistema se determina con el diseño conceptual inicial que incluye, los materiales, los equipos, así como la forma y el orden en que se usan. [44].

El diseño conceptual puede ser entendido como el plan para crear algo un aparato, un edificio, una organización, una fábrica, etc., esto implica poner en un documento escrito, ordenado y comprensible el paso a paso y la manera del desarrollo del proyecto; sobre entendiendo el proyecto como el marco de trabajo para crear el diseño, orientado por objetivos claros y concretos hasta su cumplimiento, concluye con la entrega de un informe técnico de acuerdo con los tiempos especificados en donde se evidencie:

1. Las bases de diseño
2. Los diagramas de flujo del proceso y descripción del proceso
3. La lista de equipos y hojas de datos de los equipos
4. Los requerimientos de servicios y diagramas de servicios
5. Los diagramas de tuberías e instrumentación
6. El diseño preliminar de equipos principales
7. Las especificaciones de desfogue, seguridad y control
8. {Las especificaciones de manejo de efluentes desechables
9. Los estimados de la inversión y costo de la planta.

Por lo que el diseño conceptual es un plan descriptivo y completo para crear algo, a nivel químico es el conjunto de acciones para que algo cambie en etapas sucesivas, mediante la secuencia de transformaciones químicas y físicas para que las materias primas se conviertan en productos con mayor valor que los materiales a partir de los que se obtienen. Las operaciones de los procesos químicos son de muy diversa índole, entre las principales se cuentan, la reacción, la destilación, calentamiento, compresión y transferencia de masa

Para el diseño básico de procesos es indispensable implementar estrategias de diseño, ya sea mediante la formulación de modelos matemáticos y su solución con programación matemática a partir de una estructura general que contenga todas las alternativas de diseño; sin embargo la naturaleza no lineal de las ecuaciones y la consideración simultánea de todas las alternativas posibles, conduce a un conjunto de muchas ecuaciones no lineales que dificultan el proceso de selección; la segunda estrategia se basa en la jerarquía de decisiones que a partir de propuestas

simples llega al diagrama completo del proceso, con el fin de descomponer el problema de diseño en subproblemas mediante:

1. Decidir entre proceso continuo o intermitente.
2. Definir la estructura de entrada y salida
3. Definir la estructura de reactores y reciclo
4. Definir la estructura del sistema de separadores
5. Diseñar el sistema que permita la integración de energía en una red de intercambiadores de calor.

El diseño de los procesos pasa por tres etapas: Etapa I. Diseño conceptual. Etapa II: Diseño detallado y Etapa III. Diseño mecánico. **[44]**.

Durante la primera etapa de diseño se procede según la jerarquía propuesta por Douglas en 1988 que permite la toma de decisiones mediante juicios y la elección entre varias alternativas de proceso. Se usan heurísticas como guías y métodos aproximados para la definición y dimensionamiento de los equipos, siendo posible evaluar la viabilidad económica del proyecto para poder continuar con la segunda etapa del diseño, implementar la ingeniería de detalle y cálculo riguroso de las dimensiones de los equipos, es en esta etapa donde se eliminan las suposiciones de la etapa inicial (diseño básico), por lo que se logra la simplificación de cálculos y enriquecer el diagrama de proceso al ubicar los instrumentos necesarios, para lograr cumplir las especificaciones de diseño, de manera que al realizar nuevamente la evaluación financiera el producto aún resulte rentable y se pueda continuar con la etapa final, hacer los planos de los diseños estructurales, mecánicos y de servicios.

Del mismo modo, el diseño y desarrollo de procesos en ingeniería es todo un proceso, comienza con el análisis de las necesidades, en donde se obtienen unas especificaciones preliminares. A medida que el proceso avanza mediante la definición, análisis, síntesis, etc. **[45]**, las especificaciones del problema se dan cada vez más detalladas hasta obtener las especificaciones finales, al contar con toda la información es posible iniciar la construcción de prototipos y programación de pruebas. El proceso de diseño es de carácter iterativo, ya que se descubren nuevos datos o se adquieren nuevas perspectivas que exigen repetir algunos de los pasos



anteriores. Durante el diseño, sin contar la fase creativa de invención, se necesita de bastante información, recopilar, procesar y comunicar la información.

La factibilidad económica en la elaboración de una solución al problema planteado es un factor importante para considerar, ya que el diseñador no recibe un problema sino la situación de la misma, y es bajo estas circunstancias que tendrá que desarrollar definiciones claras de los problemas totales [44]. Una vez entendida la situación del problema, se pueden percibir las dificultades reales y se puede iniciar la formulación de preguntas apropiadas [45].

Al ser un proceso iterativo, el diseño en ingeniería pretende establecer como resultado concluyente el sistema que contenga todos los requerimientos funcionales y las tolerancias de forma simplificada [46], con el objetivo de acortar el proceso de producción desde el concepto, el diseño es orientado a la planificación, concepción y desarrollo de un conjunto de sistemas que satisfagan las necesidades preestablecidas de manera que la propuesta de solución sea económica, productiva, con un largo ciclo de vida y cumpla con los requerimientos energéticos, sin descuidar la ergonomía, la facilidad de fabricación y ensamble y las restricciones expuestas por el mismo problema, normativas y tecnologías. [47].

Existen dos modos de diseñar: el modo habitual y el modo conceptual, el primero consiste en replicar un sistema y según los requerimientos se ajusta y se amolda con las condiciones establecidas; el segundo modo de diseño se realiza de forma creativa, tal como se mencionó previamente, dichos modos de diseño contemplan la planificación, el desarrollo del concepto o la identificación, el diseño a nivel de sistema es decir el modelado, las pruebas de refinamiento relacionado a la estandarización, y la producción. [48].

Por lo anterior es posible afirmar que para llevar a cabo el proyecto de diseño es necesario buscar referentes de los cuales guiarse. Para evaluar las diferentes alternativas es necesario aplicar criterios acordes a la situación, que diferencien las alternativas encontradas, [49] entre más alternativas existan se tiene una mayor probabilidad de encontrar una solución satisfactoria, de igual forma existen necesidades cuyas soluciones no han sido planteadas en su totalidad es decir no

hay una gran variedad de referentes directos, es decir, no se han elaborado modelos que contemplen todos los factores que se requieren en la alternativa de solución que se busca, es en este caso el punto de inicio para la etapa de diseño es el desarrollo de un diseño conceptual.

El diseño conceptual consiste en un proceso mental, está ligado al pensamiento creativo y de exploración, donde se condensan de otros referentes los modos funcionales que competen a la alternativa de solución, para posteriormente serán usados y combinados con los subconjuntos adicionales para ofrecer una línea de funciones y pasos al proceso que den la solución completa del problema, con el fin de conseguir una estructura que sirva de ayuda para la etapa de diseño.

La solución obtenida por este método se lleva a cabo de una forma ordenada sistemática y lógica lo que significa que obedece a las leyes naturales mientras cumple sus funciones, obedece a un orden mental que contempla todas las condicionantes del proceso de manera que se logren plantear las diferentes heurísticas, para encontrar las mejores alternativas, lo cual dirige al diseño en un único sentido, al ser la primera base para la generación de una alternativa viable, que dé solución a una necesidad, sin un modelo previo o del cual basarse para ajustar, de esta forma se realiza un proyecto confiable.

## **2. VARIABLES DEL PROCESO**

En el diseño de un sistema de destilación al vacío que no presenta variaciones en los flujos de agua, se requiere establecer, de acuerdo con las condiciones geográficas, las condiciones de presión y temperatura. Este requerimiento es de suma importancia debido a que el desempeño y el consumo energético del sistema de destilación dependen de las fluctuaciones de presión y temperatura, como variables principales.

Para el proceso planteado por medio del sistema de destilación y la energía aportada, en forma de calor, se logra mantener valores específicos constantes de manera que se cumplan las características necesarias para llevar a cabo la destilación.

### **2.1. Temperatura**

En los procesos de destilación, la temperatura es uno de los factores principales a evaluar y caracterizar, puesto que la relación entre perfiles de temperatura y presión permite la separación, destilación de diversos componentes.

La generación de agua dulce mediante el uso de presiones de vacío, permite que la ebullición del agua ocurra a temperaturas menores y por tanto se requiere un menor gasto energético. El agua se calienta de manera homogénea y rápida dentro del tanque principal alcanzando temperaturas menores a 100°C, de acuerdo a la presión establecida en el sistema, para posteriormente mediante un sistema de refrigeración condensarse, eliminando en el proceso sal y residuos.

El agua puede ser llevada a punto de burbuja (ebullición) con temperaturas menores a 70°C, mediante destiladores, con bajos volúmenes a destilar, especialmente para aplicaciones de consumo doméstico, siendo denominados sistemas de baja temperatura.

En la mayoría de los casos los tanques de destilado no emplean refrigerantes, puesto que el cambio de temperatura que permite la condensación del vapor

destilado se logra con valores superiores a un rango de 3 a 5°C, [50] debido a que el vapor generado se encuentra como vapor saturado.

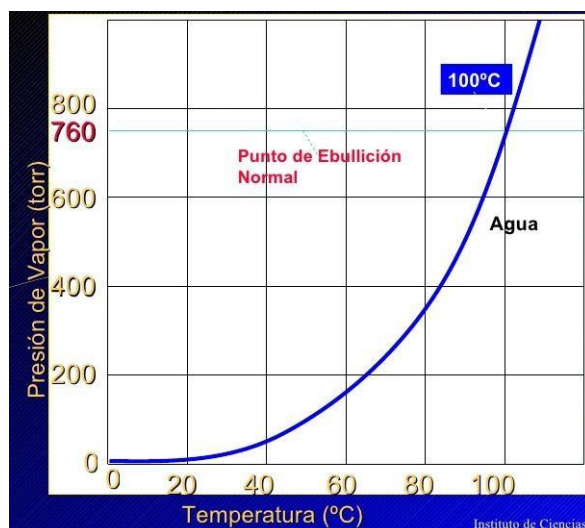
## 2.2. Presión

El manejo de bajas presiones permite reducir considerablemente el rango de temperatura para la evaporación del agua, como se evidencia en la gráfica de la figura 14, la temperatura de ebullición del agua varía al variar la presión a la que es sometida.

Con base en estudios la relación entre la presión y la temperatura óptimas dependerá del tamaño y capacidades del tanque de destilación siendo la relación entre presión y temperatura de ebullición en promedio de -17 in Hg para un punto de burbuja de 39,6°C, [51] así mismo el análisis de diferentes condiciones para evaluar la relación de presión y punto de burbuja presenta la siguiente figura [52]:

**Figura 16.**

*Punto de ebullición del agua*



**Nota.** Gráfica de punto de ebullición, en función de presión contra temperatura. Tomado de: J. Huayamave, "Líquidos", presentado a la clase de Química general I Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales, Mexico, jun, 30, 2009. [Diapositivas] Disponible: <https://es.slideshare.net/moiss17/3b-capitulo-no-3b>

Con base en la gráfica se evidencia que a menor presión menor será la

temperatura requerida para llevar a punto de ebullición, por lo que a bajas presiones no solo se requieren menores temperaturas, sino que también se reduce el tiempo de evaporación, ya que al apagar el sistema la variación de temperatura favorece la condensación de manera inmediata.

### **2.3. Volumen**

Para determinar la eficiencia y factibilidad de los proyectos, es necesario considerar la cantidad de agua tratada en el proceso, esta cantidad varía de acuerdo con el tipo de proceso empleado y la cantidad de sales y sólidos disueltos en el líquido, por lo que las propiedades coligativas de los componentes se ven afectadas.

Así mismo es necesario considerar como parámetro fundamental de dimensionamiento la cantidad de agua que se requiere para una familia promedio para su consumo. Como se mencionó anteriormente en las viviendas del municipio se cuenta con familias de entre 5 a 7 personas en la mayoría de ellas [14] y es recomendable tomar 2 L de agua diarios es decir que se debe contar con una producción de 12 L diarios como mínimo con la posibilidad de obtener más por día [53].

### **2.4. Salinidad**

La salinidad promedio para el agua de mar es de 35 g/L, varía según la zona geográfica a evaluar, las zonas tropicales suelen presentar mayor salinidad, las corrientes de agua fría y diversas precipitaciones fluviales producidas entre abril y agosto en la costa colombiana, fomentan la reducción de salinidad [39].

Los procesos de destilación pueden llegar a lograr una concentración de sal cercana al 9%, la pérdida de producto por evaporación llega a generar una reducción promedio de 96% por lo que el proceso se hace ineficiente, es por ello que desde 1952 se han realizado procesos en los que se aumenta la cantidad de producto destilado en los que mediante la condensación. [54]

## 2.5. Propiedades coligativas

Las propiedades coligativas de las disoluciones promueven cambios en el comportamiento de la mezcla tales como: el descenso de la presión de vapor, la elevación ebulloscópica, el descenso crioscópico y la presión osmótica; en su mayoría se dan en función de la naturaleza del soluto y otras del disolvente que la compone, por lo que son función del número de partículas **[55]**.

Para el tratamiento de agua salina la propiedad más relevante radica en el aumento de la presión ebulloscópica, debido a las propiedades cristalinas de la sal (compuesto no volátil), la mezcla de agua marina presenta un punto de ebullición mayor al del agua pura, proporcional a la molalidad de la mezcla, tal como lo evidencia la ley de Raoult **[56]**.

## 3. DISEÑO BÁSICO

### 3.1. Selección del proceso

Para una elección adecuada del proceso a emplear en la máquina se evaluaron las características necesarias para su implementación, los requerimientos de calidad y los atributos técnicos, mediante una matriz QFD (despliegue de la función calidad), con el fin de seleccionar el proceso mejor adaptado a las necesidades de la población del municipio; evaluando tres parámetros fundamentales: Los parámetros de calidad, las características de calidad y los atributos técnicos.

Los parámetros de calidad: Siendo los requerimientos necesarios de acuerdo a la población y condiciones ambientales para el tratamiento de agua marina:

- **Proceso rápido:** Con el fin de tener agua potable en un tiempo menor de manera que el proceso pueda realizarse continuamente tratando la mayor cantidad de agua marina.
- **Proceso económico:** Debido a la situación de pobreza de la población se busca un proceso cuya ejecución no se afecte mayormente la calidad de vida del usuario.
- **Resistencia:** El proceso debe de soportar diferentes condiciones ambientales, además de ser viable en condiciones precarias.
- **Accesible a la población de bajos recursos:** Los materiales y gasto tanto del proceso como de elaboración de la máquina deben de ser acorde a los recursos de la población y entes gubernamentales para el municipio.
- **Fácil mantenimiento:** El proceso ha de ser práctico al igual que su mantenimiento, de modo que la población pueda realizarlo correctamente sin la necesidad de implementar técnicas o conocimientos complejos.
- **Uso práctico:** Ha de ser un proceso intuitivo con la menor interacción posible del usuario.
- **Bajo impacto ambiental:** La baja contaminación de recursos ambientales permite el aprovechamiento continuo y a largo plazo de la máquina, sin afectar negativamente la flora y fauna presentes en el sector.

- Capacidad de adaptación al entorno: El proceso ha de ser posible en entornos diferentes, permitiendo el uso de la máquina en diferentes regiones.
- Volúmenes a tratar: La capacidad de agua a tratar permite reducir la cantidad de procesos a realizar para cubrir las necesidades de agua potable de una familia.
- Poco requerimiento de instalación: Para favorecer la implementación de la máquina, la instalación debe ser un procedimiento rápido y fácil.

Al valorar la importancia de cada requerimiento se identificó la accesibilidad de la máquina para la población como uno de los factores más relevantes para la elección.

Las características de calidad: Maneras y cualidades para lograr cumplir los requerimientos de la máquina.

- Materiales: Siendo la principal característica de la máquina, no solo influyen directamente en la eficiencia del proceso, sino que se ve condicionado por las capacidades económicas para su fabricación.
- Presupuesto: Es el factor limitante de todo proyecto interfiere en la elección del proceso, materiales y manufactura.
- Mantenimiento asertivo: El correcto uso y cuidado de la máquina permiten alargar su vida útil y eficiencia.
- Manejo de presiones de vacío: Debido a que el proyecto pretende implementar un nuevo modelo de desalinización en la máquina.
- Ratio de mejora continua: El proceso planteado en la máquina debe de poder ser mejorado y perfeccionado con el paso del tiempo.
- Competitividad: La máquina ha de contar con mejores características de proceso frente a otras alternativas, manifestando la capacidad de adaptación y mejora ante las situaciones y ambientes adversos.
- Contribución gubernamental: El apoyo de entes del gobierno se consideró como una característica favorecedora, teniendo en cuenta el artículo 365 en la constitución política de Colombia el cual señala que los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del estado, por lo que implementar una solución a dicha problemática es interés tanto de la comunidad como del mismo estado.



Como se muestra en el diagrama QFD se destaca la relación entre las características requeridas para el proceso demostrando la competitividad, los materiales y el presupuesto los factores con mayor relevancia para el planteamiento del proceso de la máquina.

Los atributos técnicos: En los que se evalúan las características técnicas del proceso, con el objetivo de comparar las alternativas a nivel técnico, evaluándolas de acuerdo a su desempeño como bueno (B), regular (R) y malo (M).

- Alto índice de pureza
- Volumen de la máquina
- Volumen a tratar
- Velocidad del proceso
- Manejo práctico
- Costo del proceso
- Facilidad de instalación

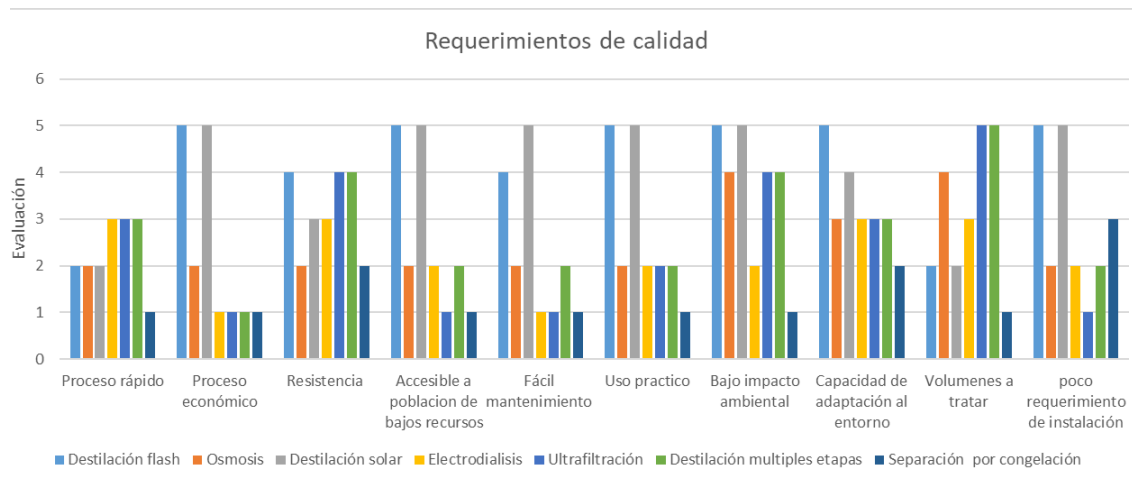
La matriz QFD compara los procesos de tratamiento de agua marina de acuerdo a los requerimientos por parte del usuario y a nivel técnico, las características ideales necesarias para elaborar la máquina.

Como se evidencia en los gráficos de requerimientos de calidad los procesos de destilación flash y solar destacan en la mayoría de las características evaluadas, por lo cual se adaptan a las características y condiciones de la población en el municipio, siendo económicos, prácticos, de fácil manejo e instalación generando el menor impacto ambiental; al ser procesos que dependen de las características termodinámicas del agua y los tiempos del cambio de fase y purificación, mediante la condensación, son sobrepasados respecto a la velocidad de operación y los volúmenes a tratar, por otros procesos con mayor infraestructura y tecnología.

La practicidad del proceso en el caso de la destilación flash y solar se adaptan a las condiciones precarias del municipio, limita la cantidad de agua a tratar y la velocidad del proceso, puesto que no es posible implementar plantas de tratamiento de agua.

**Figura 17.**

*Comparación de los procesos para el tratamiento del agua marina, de acuerdo a la evaluación de los requerimientos para la máquina*

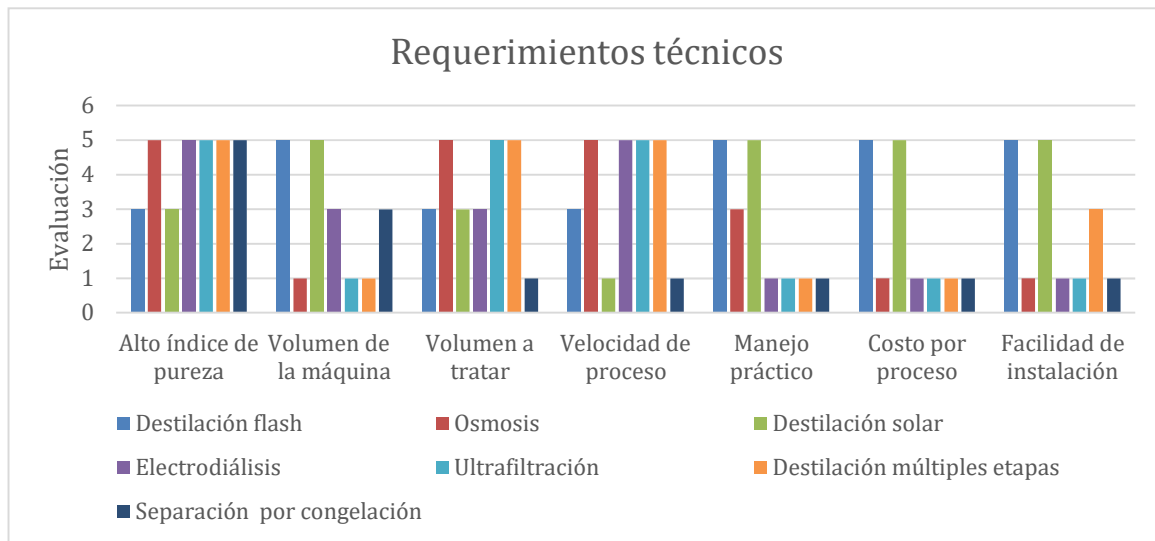


**Nota.** Se muestra la gráfica en donde se evalúan los requerimientos de calidad de diferentes procesos de desalinización.

A nivel técnico los procesos de destilación flash y solar resultan menos aptos frente a las características deseadas para el producto, sobresalen por su practicidad y bajo costo, gracias a ello son los más favorables para implementar en el diseño del proceso de la máquina.

**Figura 18.**

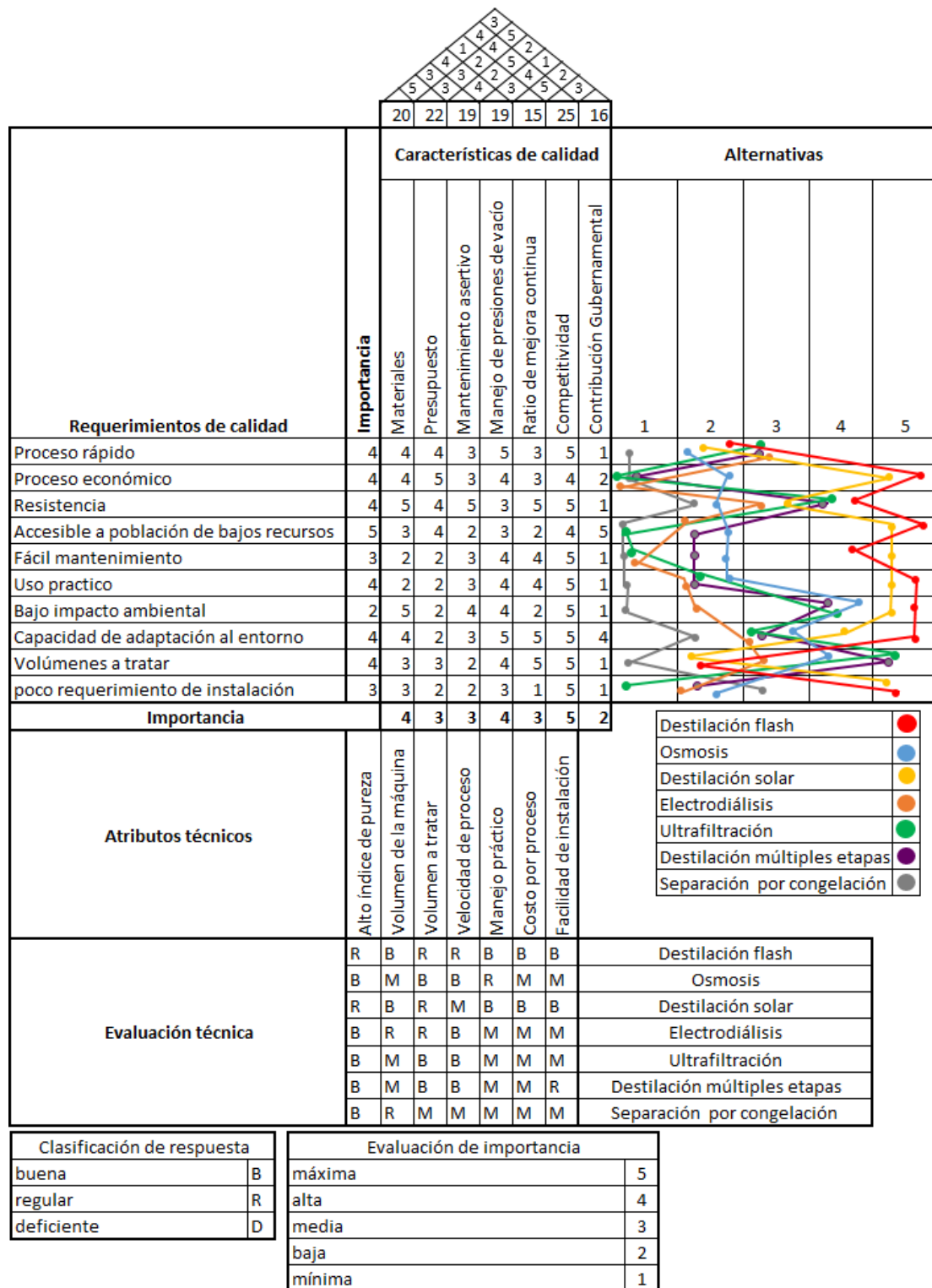
*Comparación de los procesos para el tratamiento del agua marina, de acuerdo a la evaluación de los requerimientos técnicos para la máquina*



**Nota.** Grafica comparativa de los requerimientos técnicos de los principales procesos de destilación.

**Figura 19.**

*Matriz QFD, Análisis de los requerimientos y procesos para la máquina*



**Nota.** Matriz QFD de los requerimientos y procesos necesarios de la máquina para su implementación y diseño

Una vez establecida la importancia de cada uno de los requerimientos y parámetros fundamentales y evaluados los procesos de tratamiento del agua marina en la matriz QFD, se determinaron la destilación flash y solar como los procesos con mejor evaluación, superando a los demás en la mayoría de requerimientos, siendo favorecidos por la capacidad para llegar a ser implementado por población de escasos recursos.

Al contrastar los procesos elegidos con las características de la calidad la destilación flash presenta mejores atributos en cuanto a la competitividad manifestando mayor adaptación a diversos ambientes al no necesitar de condiciones ambientales constantes, como lo es la luz solar.

### **3.2. Planteamiento del proceso escogido**

Para el proceso se plantea el uso de una destilación flash de única etapa; en el proceso de destilación el cambio de fase de uno de los componentes, en nuestro caso agua salada, es una etapa que requiere de una gran cantidad de energía en la forma de calor que puede seguidamente ser removida con facilidad del sistema para que el componente regrese a su fase inicial, líquido, y así lograr la separación de la sal y el agua, alimentados en dos corrientes.

Este tipo de destilación es uno de los métodos más efectivos para el tratamiento de agua salada, ya que la mayoría de especies químicas presentes en el agua salada no son volátiles a las temperaturas comúnmente empleadas, por lo que en la destilación el cambio de fase para el agua permite que la mayoría de las sustancias contaminantes permanezcan en la salmuera en lugar del condensado. Así mismo la destilación logra reducir la salinidad típica del agua hasta una diezmilésima parte; por lo que mientras la salinidad del agua de mar es de 35.000 ppm, la del destilado es del orden de 4 ppm o inferior. [25]

Para el proceso es necesario aclarar que el término destilación no se emplea en el sentido habitual de separación, con respecto a la separación de dos o más sustancias, líquidos volátiles mutuamente solubles; para ingeniería química la

separación de dos componentes no volátiles es denominada evaporación, pese a ello para la desalación de este tipo es permitido emplear el término destilación. [25]. El proceso de destilación simple se lleva a cabo en 3 pasos básicos:

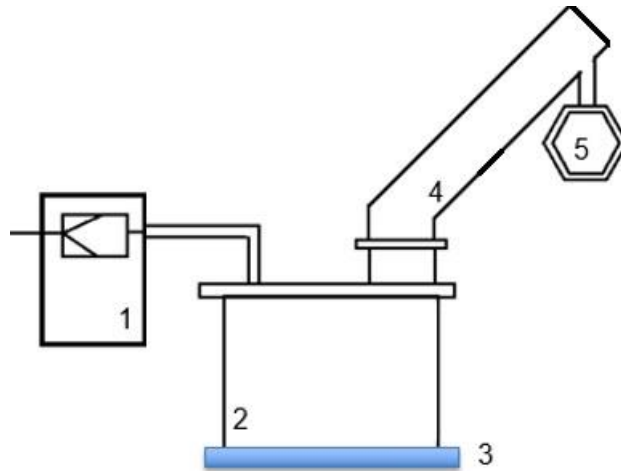
1. Adición de calor, a una masa de agua salada para la formación de vapor.
2. Separación de la fase líquida y vapor de agua.
3. Condensado del vapor, por medio de la eliminación de calor, mediante un tubo condensador, que permite el contacto del vapor con una superficie a temperatura ambiente (inferior a la del vapor de agua).

El diseño preliminar, observado en la figura 15 básico de la máquina planteada contempla

1. Una bomba manual para la generación de vacío, por parte del usuario.
2. Una cámara en la que se introduce inicialmente el agua salada filtrada por el usuario para eliminar las partículas y materiales contaminantes.
3. Una resistencia eléctrica estándar de cocina en la parte inferior de la cámara, que suministra el calor necesario para la evaporación del agua marina.
4. Un tubo condensador en la tapa de la cámara, en donde ingresa el vapor proveniente de la cámara y por la diferencia de temperaturas se condensa el vapor.
5. Por la geometría y ubicación del tubo condensador el agua destilada cae y se almacena en una segunda cámara unida al condensador, destinada a almacenar el agua para consumo.

**Figura 20.**

*Diseño preliminar maquina desalinizadora de agua marina*



**Nota.** Esquema diseño preliminar de la máquina desalinizadora del agua marina

El proceso implementa la denominada destilación flash, o destilación súbita, mediante la exposición del agua salada a una presión menor a la de saturación a temperatura ambiente, al disminuir la presión el agua se evapora a la temperatura de saturación correspondiente a la presión de trabajo tal como se evidencia en la figura 14 [52]. De esta manera se logra la evaporación parcial súbita, mediante un proceso de transferencia de calor en la que el gas toma del líquido caliente el calor necesario para realizar la evaporación, mientras la fase líquida se enfría.

El proceso consta de una cámara en la que se suministra agua salada, proveniente del mar, en la cámara mediante una bomba manual que lleva a una presión inferior a la saturación, posteriormente el líquido en el interior (agua marina) es expuesto a una resistencia para su calentamiento,; de esta manera el vacío junto con el aumento de temperatura permiten la disminución del punto de evaporación del agua, los vapores producidos tienen una mínima cantidad de salmuera y son condensados en la parte superior del mecanismo, mientras la salmuera se mantiene almacenada en la parte inferior del tanque, para su posterior recolección.

### 3.3. Caracterización del proceso

El proceso planteado varía de acuerdo a las condiciones ambientales, por lo que es necesario especificar los parámetros físico-químicos, microbiológicos y de entrada del diseño: [42] [57]

- **Salinidad y masa de sal:** Se relaciona directamente con la presencia o ausencia de organismos y peces, la profundidad aumenta junto con la salinidad, disminuyendo la temperatura marina, tal como se mencionó anteriormente.
- **Contenido biológico:** Los indicadores bacterianos de contaminación se miden por medio de los coliformes y se relacionan con la posible presencia de microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades por transmisión hídrica. El análisis de coliformes totales determina la calidad bacteriológica, los valores presentados en el estudio para el sector se mantienen inferiores a 2000 NMP/100 mL estando entre los límites de la normativa 0,97-A (Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua).
- **Contaminantes:**
  - **Turbidez:** Debida a la presencia de material suspendido y coloidal, materia orgánica e inorgánica finamente dividida como plancton y otros organismos microscópicos.
  - **Fosfatos:** La presencia de iones fosfato son factor limitante para el crecimiento del plancton en los océanos.
  - **Sulfatos:** La presencia de sulfatos se relaciona con aguas duras, con mayor presencia de metales.
  - **Amonio:** Relacionado con las excreciones de animales marinos y la descomposición de compuestos orgánicos nitrogenados, provenientes a su vez de organismos muertos debido al ciclo del nitrógeno en las corrientes marinas.
- **pH:** Determina que el agua marina tiene carácter alcalino, El agua alcalina, neutraliza naturalmente los ácidos en el cuerpo, resultando ser benéfica para el consumo humano [58].
- **Presión y temperatura de operación:** El valor establecido para la presión de vacío en la máquina fue calculado a partir de la relación entre la presión ambiente y la presión al interior de la máquina, según la potencia necesaria por



ciclo, de esta manera mediante las tablas termodinámicas se establece la relación de presión para la iteración de la temperatura de saturación. [55].

**Tabla 4.**

*Parámetros de entrada del diseño*

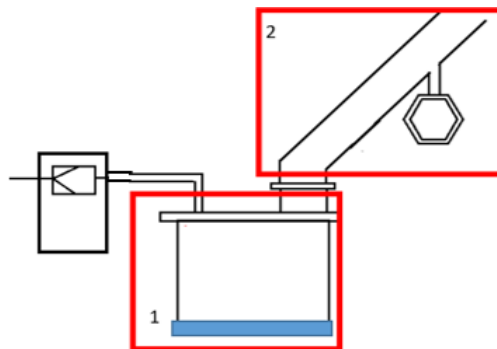
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fuente</b>
Concentración de sal	35 – 37	g/L	[39]
Masa de sal	70 – 74	G	[39]
Contenido biológico			
Coliformes totales	1,8	número más probable/100 mL NMP/100 mL	[57]
Contaminantes			
Turbidez (material suspendido y coloidal)	0,64	unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)	[57]
Fosfatos	1,7	mg/L	[57]
Sulfatos	200	mg/L	[57]
Amonio	0,1	mg/L	[57]
Ph	8,2 – 8,28	-	[57]
Presión ambiente	101,325	kPa	[39]
Presión de vacío en la maquina	18,44	kPa	[55]
Temperatura ambiente	27	°C	[39]
Temperatura agua marina	22	°C	[39]
Temperatura de operación	58,52	°C	[55]
Volumen de agua	2	L	Elección de diseño
Masa de agua	1,99	Kg	Elección de diseño
Densidad promedio del agua	1.0267	g/cm <sup>2</sup>	[42]

**Nota.** Parámetros de entrada para el proceso de desalinización a considerar para el diseño.

Para un completo análisis del proceso se llevó a cabo la segmentación del proceso en la máquina en dos volúmenes de control, representados en la figura 16 de acuerdo con el proceso que se lleva a cabo en cada uno:

**Figura 21.**

*Esquema planteado para la máquina desalinizadora*



**Nota.** Esquema general para la máquina desalinizadora concepto, evidenciando los volúmenes de control a lo largo del proceso

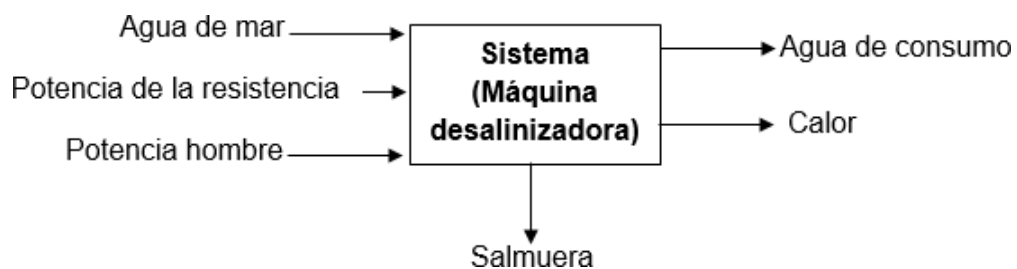
### 3.3.1. Diagrama de caja negra del proceso

El diagrama de caja negra estudia las entradas y salidas o respuestas del sistema de manera general sin tener en cuenta su funcionamiento interno, plantea la manera en que el proceso interactúa con el medio [59], siendo así una representación simple de la estructura de las funciones. [60]

Por lo anterior para tener una visión general inicial del proceso se llevó a cabo el diagrama de caja negra como se muestra a continuación.

**Figura 22.**

*Diagrama de caja negra para la máquina*



**Nota.** Diagrama de caja negra del proceso

Con base en el diagrama se evidencia la necesidad de una fuente que proporcione la cantidad mínima de 2 litros de agua salada (para tratar), una persona y una resistencia eléctrica u otro mecanismo capaz de generar energía calorífica de manera que se obtenga con la máquina agua para consumo con un bajo contenido de sal, energía calorífica desaprovechada en el proceso y como producto de desecho salmuera.

### **3.3.2. Primer volumen de control**

El primer volumen de control contempla el volumen del tanque, sometido a vacío, para su posterior calentamiento con el fin de llevar el agua de mar a temperatura de saturación y posterior evaporación.

La cámara será llevada a una presión de 18,44 kPa mediante un sistema de vacío externo, seguidamente y manteniendo la presión constante, por medio de una resistencia eléctrica estándar domestica de 750 W de potencia, se eleva la temperatura hasta alcanzar la saturación (58,52 °C).

Para este volumen de control se contemplan las características termodinámicas del agua y los requerimientos energéticos de esta, mediante el uso de tablas de propiedades termodinámicas, asumiendo un estado saturado para el compuesto en todo momento [55].

Teniendo en cuenta que el proceso de calentamiento se compone de 2 etapas, cada una con un requerimiento calorífico diferente: inicialmente el calor sensible que se necesita para aumentar la temperatura del agua sin afectar su estado, estructura molecular y el calor latente que representa la energía requerida para cambiar de fase, de líquido a gaseoso (denominado calor de vaporización).

Con el fin de determinar el tiempo necesario para el proceso, se emplean las ecuaciones de calor sensible y calor latente, para determinar los tiempos 1 y 2 respectivamente.

**Tiempo 1:** Cambio de temperatura

Los datos de referencia para este cálculo son: la potencia de la resistencia eléctrica de cocina ( $q$ ), el flujo másico es igual a 2 litros, de los cuales se espera obtener al menos 1 litro de agua desalada; de acuerdo a los requerimientos diarios por persona (equivalentes a 2 kg de agua), así mismo se plantean los cálculos para requerir de dos ciclos por persona. Con base en lo anterior se toma la ecuación para calor sensible, ecuación 1, despejando de esta el tiempo necesario para llevar a punto de burbuja la masa indicada. [55]

**Ecuación 1 Calor sensible**

$$q = m C_p \Delta T \quad \text{Ec. 1 [61]}$$

Para nuestro caso la determinación del tiempo del proceso se despeja el tiempo en el cual la masa suministrada aumentara su temperatura hasta alcanzar la temperatura de saturación de acuerdo con la presión de 18,44 kPa, 58,52 °C.

$$q = \frac{m}{t_1} C_p \Delta T$$

$$t_1 = \frac{m C_p \Delta T}{q}$$

$$t_1 = \frac{2\text{kg} * 4,182 \text{ kJ}/\text{kgK} * (58,52 - 22)^\circ\text{C}}{0,75\text{kW}} = 407,09\text{s}$$

**Tiempo 2: Cambio de fase**

Teniendo en cuenta la necesidad de evaporar como mínimo 1 litro de agua, se procede con el cálculo del calor latente [55], referido al necesario para la evaporación del agua, mediante la ecuación 2.

**Ecuación 2 Calor Latente**

$$q = m h_{fg} \quad \text{Ec. 2 [61]}$$

Para la determinación del tiempo del proceso se despeja el tiempo en el cual la masa suministrada, en nuestro caso se asume un kilogramo como mínimo, para llevarlo a cambio de fase, de líquido a vapor.

$$q = \frac{m}{t_2} h_{fg}$$

$$t_2 = \frac{m}{q} h_{fg}$$

$$t_2 = \frac{1\text{kg} * 2360,611 \text{ kJ/kg}}{0,75\text{kW}} = 3147,481\text{s}$$

De esta manera el tiempo total de uso de la resistencia por proceso es equivalente a 59,24 minutos.

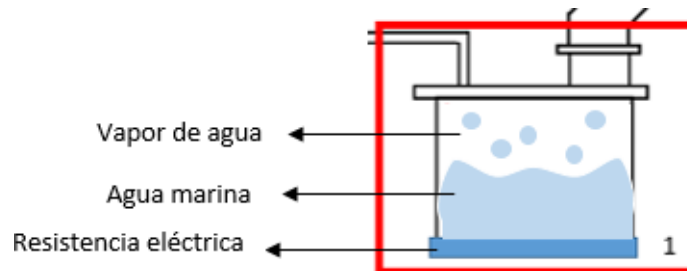
$$t_{total} = 3147,481\text{s} + 407,09\text{s} = 3554,573\text{s}$$

$$t_{total} = 59,24 \text{ minutos}$$

Para lograr calcular la cantidad de agua marina evaporada que pasara al condensador se realiza un balance de materia y energía para el primer volumen de control, figura 22, en donde se evidencian los principales productos a interactuar dentro del tanque.

### Figura 23.

*Primer volumen de control (Contenedor)*



**Nota.** Esquema primer volumen de estudio

La tabla 4 evidencia las características preliminares del contenedor, junto con las cargas y valores estimados con los que contara cada producto en su interior.

**Tabla 5.**

*Valores iniciales para el cálculo del primer volumen de control*

					Fuente
Volumen	2	L			Elección de diseño
m1	1,997	Kg			Elección de diseño
Q	0,75	kW	2700	kJ/h	[62]
T1	22	°C	295,15	K	[39]
T2	58,52	°C	331,67	K	[55]
P	0,182	Atm	18,443	kPa	[55]

**Nota.** Valores preliminares para el primer volumen de control.

**Balance de masa:** Teniendo en cuenta que no existe flujo al ingreso del contenedor, el valor de entrada de masa será 0, así como la acumulación, según la ley de conservación de la materia, tal como se muestra en la ecuación 3.

***Ecuación 3 Balance de masa primer volumen de control***

$$\textit{entrada} - \textit{salida} + \textit{generacion} = \textit{acumulacion} \quad \text{Ec. 3 [55]}$$

Por lo cual para el tanque de calentamiento y evaporación la masa que sale del sistema es igual a la masa que cambia de fase.

$$- m_{out} = \Delta m$$

$$- m_{out} = m_2 - m_1$$

Se despeja de esta manera la masa que cambia de fase para el primer sistema.

$$m_2 = m_1 - m_{out}$$

**Balance de energía:** Para el balance de energía se tiene en cuenta que el sistema no genera energía en el proceso, siendo considerada la energía de entrada como la potencia de la resistencia en el tiempo que durara cada proceso, empleando la ecuación 4.

***Ecuación 4 Balance de energía primer volumen de control***

$$\textit{entrada} - \textit{salida} + \textit{generacion} = \textit{acumulacion} \quad \text{Ec. 4 [55]}$$

$$q - (m_{out}h_{out}) = (m_2u_2 - m_1u_1)$$

Remplazando el balance de masa en el balance de energía:

$$q - (m_{out}h_{out}) = ((m_1 - m_{out})u_2 - m_1u_1)$$

$$q + m_1u_1 = (m_1u_2 - m_{out}u_2) + (m_{out}h_{out})$$

$$q + m_1u_1 - m_1u_2 = (-m_{out}u_2) + (m_{out}h_{out})$$

$$q + m_1u_1 - m_1u_2 = m_{out}(h_{out} - u_2)$$

$$\frac{q + m_1u_1 - m_1u_2}{(h_{out} - u_2)} = m_{out}$$

Para llevar a cabo los balances se realizó la comparación entre la cantidad de agua que sale del primer volumen tomando agua pura y agua de mar, determinando así el efecto de la variación en las características termodinámicas en el sistema.

Inicialmente tomando los datos termodinámicos para el agua pura, como se muestra en la tabla 3, los cálculos se basaron en las características normales para el agua sin considerar el efecto de la salinidad [55].

**Tabla 6.**

*Valores termodinámicos y resultados para el primer volumen de control propiedades para el agua pura*

Variable es de entrada	Valor	Unidades	Fuente
m1	1,99712414	Kg	Elección de diseño
Q	0,75	kW	[62]
T1	22	°C	[39]
T2	58,52	°C	[55]
P1	0,182022	Atm	[39]
P2	0,182022	Atm	[39]

Variable	Valor	Unidades	Fuente
h1	94,002	kJ/kg	[55]
h2	2361,77	kJ/kg	[55]
u1	92,155	kJ/kg	[55]
u2	2209,589	kJ/kg	[55]
h out	1227,886	kJ/kg	Ecuaciones 3 y 4

**Tabla 6.** Continuación

m out	1,592	Kg	Ecuaciones 3 y 4
m2	0,405	Kg	Ecuaciones 3 y 4

**Nota.** Resultados termodinámicos para el primer volumen de control, tomando agua pura.

La masa evaporada que pasa al condensador es 1,592 kg, en caso de emplear agua pura o con concentraciones mínimas de sal.

Para la obtención de las características termodinámicas del agua de mar los cálculos se basaron en las correlaciones planteadas por Mostafa H. Sharqawy, siguiendo la ecuación 5 cuya validez aplica para un rango de temperatura entre 10 y 120°C y entropía entre 0 y 0,12 kg/kg; tomando una temperatura de 22°C y una salinidad 27,11 mg/L junto con los valores de la tabla 4 para la correlación. [63].

**Ecuación 5 Correlaciones Entalpía para el agua de mar**

$$h_{sw} = h_w - S * (a_1 + a_2 * S + a_3 * S^2 + a_4 * S^3 + a_5 * T + a_6 * T^2 + a_7 * T^3 + a_8 * S * T + a_9 * S^2 * T + a_{10} * S * T^2) \quad \text{Ec. 5 [63]}$$

**Tabla 7**

*Constantes para la correlación del agua salada*

Constante	Valor
a1	-23480
a2	315200
a3	2803000
a4	-14460000
a5	7826
a6	-44,17
a7	0,2139
a8	-19910
a9	27780
a10	9728

**Nota.** Análisis termodinámico de procesos de desalación de agua de mar basados en ósmosis directa, entalpía másica del agua de mar. Tomado de: M. H. Sharqawy y S. M. Zubair, "Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data", *Desalination and Water Treatment*, vol. 16, no. 1-3, pp- 354-358, 2010, DOI: 10.5004/dwt.2010.1079



Para la determinación de la entalpia se confirmó que los rangos de temperatura del sistema eran aptos para la correlación establecida, así como la aproximación de la salinidad para el agua en la costa del municipio, 27,11 mg/L [39], dando como resultado la tabla 5.

**Tabla 8.**

*Valores termodinámicos y resultados para el primer volumen de control propiedades para el agua de mar*

Variable	Valor	unidad	Fuente
h1	93,998	kJ/kg	Ecuación 5
h2	2361,761	kJ/kg	Ecuación 5
u1	93,998	kJ/kg	Ecuación 5
u2	2361,761	kJ/kg	Ecuación 5
h out	1227,879	kJ/kg	Ecuación 5

m out	1,643	Kg	Ecuaciones 3 y 4
m2	0,354	Kg	Ecuaciones 3 y 4

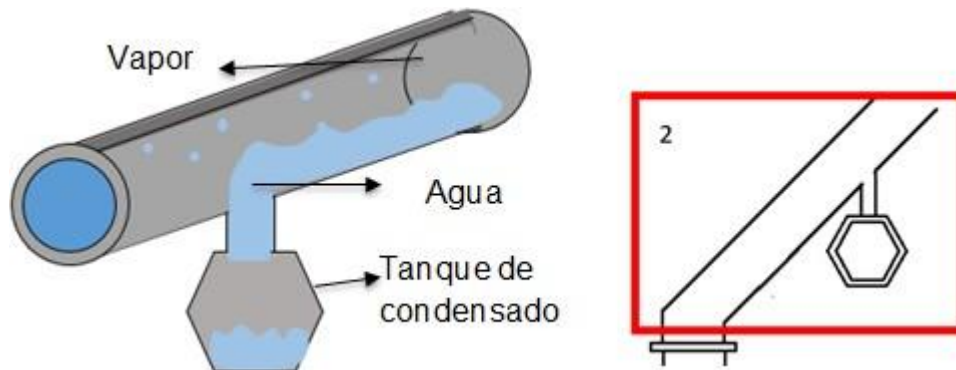
**Nota.** Resultados termodinamicos para el primer volumen de control, tomando para ello agua marina con valores similares a los de la costa del municipio de La Tola

Al emplear agua marina con una concentración de sal baja, la masa evaporada por el sistema es de 1,643 kg, siendo el proceso factible para su reproducción, ya que todo el vapor suministrado al segundo volumen de control será condensado, para emplearse finalmente como agua apta para consumo.

### **3.3.3. Segundo volumen de control**

El segundo volumen de control contempla el área del tubo en la parte superior de la tapa del tanque, en donde se llevará a cabo la condensación del vapor, tal como se muestra en la figura 18; en esta sección de la máquina el vapor a condensar tendrá las mismas características que el agua pura, debido a que en la evaporación pierde las sales y electrolitos iniciales.

**Figura 24.**  
*Volumen de control 2*

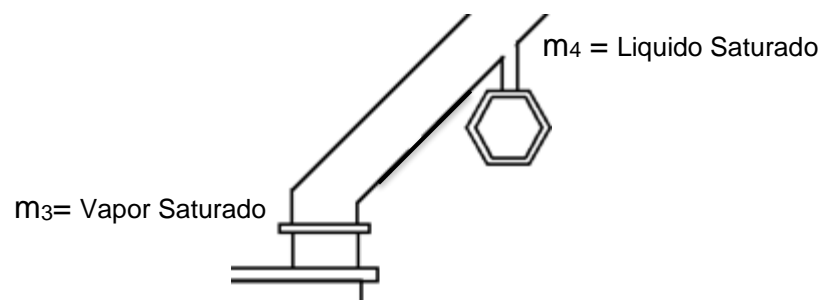


**Nota.** Representación segundo volumen de control para el proceso en la máquina

Para este volumen de control se consideran los balances de masa y energía, considerando que el objetivo de esta sección es la condensación de todo el vapor que ingresa.

**Balance de masa:** Teniendo en cuenta toda la masa del vapor de agua va a ser condensada a lo largo de la tubería, se considera una masa constante en el sistema; la masa que ingresa es considerada vapor saturado, mientras que la masa de salida pese a ser la misma es considerado liquido saturado, por lo cual en la figura 19 y en la ecuación 6, los valores para la masa 3 ( $m_3$ ) y masa 4 ( $m_4$ ) serán iguales, variando solo el estado en el que se encuentran.

**Figura 25.**  
*Balance de masa Segundo volumen de control*



**Nota.** Esquema balance de masa en el segundo volumen de control

**Ecuación 6 Balance de masa para el segundo volumen de control**

$$\text{entrada} - \text{salida} + \text{generacion} = \text{acumulación} \qquad \text{Ec. 6 [55]}$$

De esta manera se considera que toda la masa que ingresa al segundo volumen de control, como vapor, se condensa.

$$\mathbf{entrada = salida}$$

$$\mathbf{m_3 - m_4 = 0}$$

$$\mathbf{m_3 = m_4 = m}$$

**Balance de energía:** Para el balance de energía se tiene en cuenta que el sistema requiere eliminar la energía calorífica suministrada para el cambio de fase, por lo que se toman como cero la energía acumulada y la generación de energía (puesto que no presenta reacciones); del mismo modo se consideran irrelevantes para el análisis la energía cinética, potencial y el trabajo dando como resultado es el balance mostrado en la ecuación 7.

***Ecuación 7 Balance de energía segundo volumen de control***

$$\mathbf{entrada - salida + generacion = acumulación} \quad \text{Ec. 7 [55]}$$

$$\mathbf{q = (m_3h_3 - m_4h_4)}$$

Con base en el balance de masa se reemplazan los valores en la ecuación

$$\mathbf{q = m_3(h_3 - h_4)}$$

$$\mathbf{q = m(h_3 - h_4)}$$

El signo para el calor es negativo debido a que se considera como la pérdida de calor por el sistema, igualmente se consideran como estados de saturación estados 3 y 4 para vapor y liquido respectivamente, por lo que la diferencia de sus entalpías será la misma que para el cambio de fase:

$$\mathbf{q = m h_{fg}}$$

Con base en lo anterior es necesario evaluar las características térmicas del sistema y los requerimientos energéticos del vapor para eliminar la energía suministrada por la resistencia para la evaporación, en el primer volumen de control, por lo que se calcula la pérdida calorífica de tubo, mediante las resistencias del aire,

ambiente y el vapor de agua en el sistema, con el uso de tablas de propiedades termodinámicas, para el compuesto en estado saturado [55].

Teniendo en cuenta La ley de Fourier (ecuación 8) para la conducción a través de un tubo, junto con la Ley de Ohm (ecuación 9) para la resistencia que presenta un sistema con diversos componentes (resistencias) al flujo de calor, es posible unificar las dos ecuaciones y obtener la expresión de la conducción para un cilindro.

**Ecuación 8 Ecuación de Fourier para tubos**

$$q = \frac{2\pi Lk(T_{vapor} - T_{ambiente})}{Ln(r_2/r_1)} \quad \text{Ec. 8 [55]}$$

Siendo:

T la temperatura

L la longitud del tubo

r los radios interno y externo

**Ecuación 9 Ecuación Ley de Ohm para el flujo de calor**

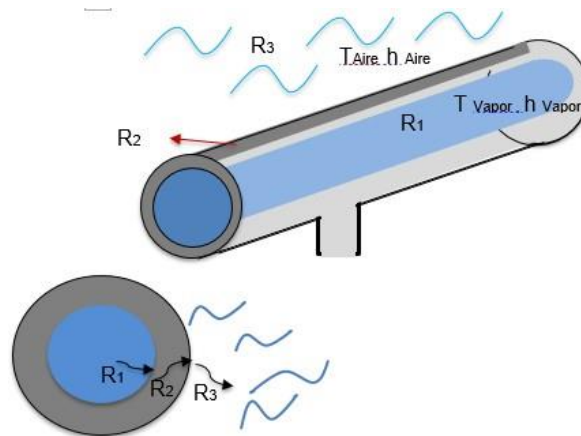
$$q = \frac{\Delta T}{\sum R} = \frac{\text{Diferencia de potencial termico}}{\text{Resistencia termica del sistema}} \quad \text{Ec. 9 [55]}$$

Tomando como resistencias del sistema las transferencias de calor por convección al interior (agua) y exterior (aire) del sistema, junto con la conducción de calor a través del tubo, resistencias planteadas en la figura 20.

$$\begin{aligned} \text{Resistencia vapor} &= R_1 = \frac{1}{h_v A_v} \\ \text{Resistencia tuberia} &= R_2 = \frac{Ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi * k * L} \\ \text{Resistencia aire ambiente} &= R_3 = \frac{1}{h_{aire} A_{aire}} \end{aligned}$$

**Figura 26.**

*Resistencias térmicas para el condensador*



**Nota.** Representación de las resistencias en el tubo condensador

Dando como resultado la expresión de pérdida de calor para el sistema:

**Ecuación 10 Expresión pérdida de calor a través de la tubería**

$$q = \frac{2\pi L (T_{vapor} - T_{ambiente})}{\frac{1}{h_{agua} r_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{k_1} + \frac{1}{h_{aire} r_2}} \quad \text{Ec. 10 [55]}$$

Donde:

h corresponde al coeficiente convectivo del fluido (agua y del aire)

k corresponde al coeficiente conductivo del tubo

De esta manera se determina la longitud de la tubería, despejando de la ecuación 10:

$$L = \frac{q * \left( \frac{1}{h_{agua} r_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{k_1} + \frac{1}{h_{aire} r_2} \right)}{2\pi (T_{vapor} - T_{ambiente})}$$

De acuerdo con la bibliografía el valor adecuado para el coeficiente convectivo para el vapor de agua saturado es de 6000 W/m<sup>2</sup> K [64] [65], y para el aire se emplea el coeficiente convectivo calculado a partir de la ecuación 11 con los valores de temperatura correspondientes al funcionamiento en estado estacionario, siendo

(k/e) el cociente entre la conductividad térmica (W/mK) y el espesor del tubo condensador (m). [66] [67].

**Ecuación 11 Coeficiente convectivo para el aire**

$$h = \left(\frac{k}{e}\right) \frac{T_{int} - T_{ext}}{T_{media} - T_{int}} \quad \text{Ec. 11 [67]}$$

**Tabla 9.**

*Características segundo volumen de control (condensador)*

Variable	Valor	Unidad	Fuente
Diámetro	0,11	M	[68]
T <sub>vapor</sub>	331,67	K	[55]
T <sub>ambiente</sub>	300,15	K	[39]
T <sub>tubo</sub>	315,91	K	Relación de temperaturas
r1	0,045	m	[68]
r2	0,055	m	[68]
Espesor	0,01	m	Relación diámetros
q latente	3878,706	W	Ecuación 7

**Nota.** Características termodinámicas para el condensador

Debido a que el coeficiente convectivo del tubo se ve afectado de acuerdo al material empleado, se contemplan 3 posibles materiales, acero inoxidable, aluminio y cobre [55].

**Tabla 10.***Resistencias y longitud del tubo para cada material*

Aluminio			Cobre			Acero inoxidable			Fuente
h aire	25000	W/m <sup>2</sup> K	h aire	38500	W/m <sup>2</sup> K	h aire	1630	W/m <sup>2</sup> K	Ec 11
h agua	6000	W/m <sup>2</sup> K	h agua	6000	W/m <sup>2</sup> K	h agua	6000	W/m <sup>2</sup> K	[69]
K	250	W/m K	K	385	W/m K	K	16,3	W/m K	[69]
R1 agua	4,E-03	(m <sup>2</sup> K/W)/m	R1 agua	4,E-03	(m <sup>2</sup> K/W)/m	R1 agua	4,E-03	(m <sup>2</sup> K/W)/m	Ec 9
R2 tubo	8,E-04	((m <sup>2</sup> K/W)/m)	R2 tubo	5,E-04	(m <sup>2</sup> K/W)/m	R2 tubo	1,E-02	(m <sup>2</sup> K/W)/m	Ec 9
R3 aire	7,E-04	(m <sup>2</sup> K/W)/m	R3 aire	5,E-04	(m <sup>2</sup> K/W)/m	R3 aire	1,E-02	(m <sup>2</sup> K/W)/m	Ec 9

L	0,1025	M	L	0,09199 37	M	L	0,532 1	m	Ec 10
	10,25	Cm		9,199	Cm		53,21	Cm	Ec 10

**Nota.** Características del tubo condensador empleando diferentes materiales

Tanto el aluminio como el cobre son los materiales que generan una longitud apta para el diseño preliminar de la máquina, por lo que se estima una longitud de 11 a 12 cm para el condensador, posteriormente se comparan los materiales en cuanto a diseño y costos.

La elección del material del condensador se basó en la capacidad del material para soportar la oxidación debido a la alta carga iónica del agua y las posibles alteraciones que genera el ambiente húmedo del municipio junto con las características termodinámicas de conductividad y la relación que estas presentan al momento de calcular la longitud necesaria para la condensación (pérdida del calor latente en el vapor saturado), por lo que los materiales elegidos inicialmente, aluminio, cobre y acero inoxidable, se caracterizan por valores de conductividad térmica altos, resistencia a la corrosión y maleabilidad para su manejo al momento de formar el condensador.

Con base en las propiedades se calcularon las longitudes necesarias para condensar el vapor generado en el tanque de calentamiento, por lo que el aluminio se eligió como el material con un mejor comportamiento y menor longitud requerida,

siendo el condensador un tubo de 0,11 m de diámetro, espesor de 0,01m y una longitud de 0,147m.

### **3.3.4. Perfil de temperatura para el condensador**

Se plantea el diseño conceptual de la máquina, tomando el comportamiento del condensador como una aleta circular, ya que va a perder calor a través de toda su superficie, de esta manera es posible evaluar el perfil de temperatura a lo largo del condensador, considerando que las temperaturas, inicial (base unida al tanque de calentamiento) y final (extremo expuesto al ambiente) corresponden a los límites de temperatura del tubo.

Al contemplar el comportamiento del condensador como una aleta es posible realizar un perfil de temperatura, en donde se evidencia el cambio de temperatura desde la unión con el tanque principal hasta el final del condensador. Para determinar el perfil de temperatura se toman parejas de datos longitud del condensador – temperatura.

Se evalúa el condensador como una aleta en donde la transferencia de calor se da considerando el tubo condensador junto con el vapor como una unidad, cuya temperatura se encuentra en equilibrio, a la temperatura del vapor, generando una transferencia de calor dada la diferencia de temperatura del tubo respecto al ambiente; la operación de condensación no cuenta con generación de calor en el tubo, asumiendo constantes y uniformes la conductividad el tubo y el coeficiente de convección en la superficie de la aleta, en la mayoría de caso la convección no es uniforme en el material, debido a la longitud del condensador la variación se considera mínima e insuficiente para generar cambios considerables en el perfil.

Por lo anterior y considerando la punta del condensador a temperatura ambiente se satisface la ecuación diferencial de variación de temperatura [61], expresada en la ecuación 12:

#### **Ecuación 12 Diferencial de variación de temperatura**

$$\frac{T(x) - T_{\infty}}{T_b - T_{\infty}} = e^{-x \sqrt{\frac{hp}{kA_c}}} \quad \text{Ec. 12 [61]}$$



Siendo:

$T(x)$ : La variación de la temperatura en un punto dado en la longitud del tubo

$T_{\infty}$ : La temperatura en la punta del condensador más alejada de la unión con el tanque

$T_b$ : La temperatura en la unión entre el condensador y el tanque que calentamiento

$h$ : El coeficiente de convección del aire en la superficie de la aleta

$k$ : La conductividad del tubo (aluminio)

$p$ : El perímetro del condensador ( $p = \pi D$ )

$Ac$ : área del condensador ( $Ac = \pi D^2/4$ )

Tomando como referentes los datos del condensador, se genera la tabla 8 con los valores preliminares para el cálculo del perfil de temperatura, teniendo en cuenta el delta de x como la variación de la longitud a través del tubo condensador:

**Tabla 11.**

*Datos perfil de temperatura para el condensador*

Variable	valor	Unidad	Fuente
$T_b$	331,67	K	Relación temperaturas
$T_{\infty}$	300,15	K	[39]
$h_{\text{vapor}}$	6000	W/m <sup>2</sup> K	[69]
$k$	250	W/m K	[69]
Perimetro	0,345	m	Ecuación 12
$Ac$	0,0095	m <sup>2</sup>	Ecuación 12
Delta x	0,1	Cm	Variación establecida para el análisis

**Nota.** Datos de entrada para el perfil de temperatura del condensador

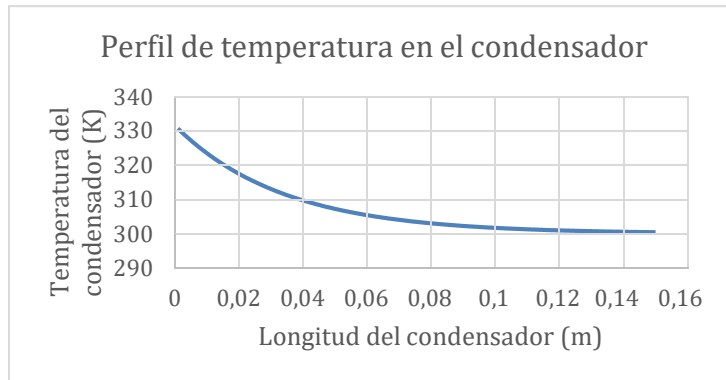
Despejando la variación de la temperatura de la ecuación 12 se obtiene:

$$T(X) = T_{inf} + (T_b - T_{inf}) * e^{-x * \sqrt{\frac{hp}{kAc}}}$$

Reemplazando los valores en la ecuación y calculando la variación a lo largo del tubo se obtiene la gráfica de la figura 21, con el perfil de temperatura.

**Figura 27.**

*Perfil de temperatura para el condensador*

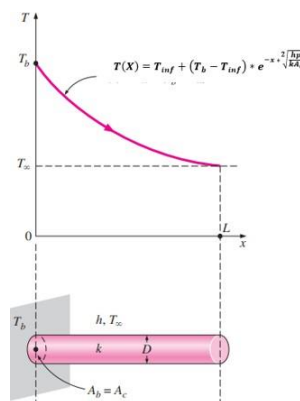


**Nota.** Perfil de temperatura en función de la longitud del condensador.

De acuerdo con el perfil se demuestra que la temperatura del condensador, a mayor distancia del tanque de calentamiento y evaporación, disminuye hasta alcanzar el equilibrio con la temperatura ambiente, demostrando así que las temperaturas del tubo junto con el vapor transportado en su interior disminuyen su temperatura hasta igualar la temperatura ambiente, 27°C, por lo que el vapor saturado fácilmente será condensado a lo largo del tubo, confirmando un comportamiento del condensador similar al de una aleta, cuyo comportamiento está representado en la figura 28.

**Figura 28.**

*Variación de la temperatura a lo largo de una aleta circular*



**Nota.** Aleta circular larga de sección transversal uniforme y la variación de la temperatura a lo largo de ella, Transferencia de calor y masa cuarta edición, 2007 Y. A. Cengel y J Ghajar, *Transferencia de calor y masa fundamentos y aplicaciones*, 4ª. Ed., México: Mc Graw Hill, 2004

### 3.3.5. Análisis segunda ley de la termodinámica

El análisis de entropía permite determinar si un proceso puede ser llevado a cabo, teniendo en cuenta la desigualdad de Clausius [55], expresada como se muestra en la ecuación 13:

#### **Ecuación 13 Desigualdad de Clausius**

$$W_c = \oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad \text{Ec. 13 [55]}$$

Donde la integral cíclica siempre ha de ser menor o igual a cero, siendo una desigualdad válida durante todos los ciclos (reversibles e irreversibles).

De acuerdo con Kelvin-Planck “ningún sistema puede producir una cantidad neta de trabajo mientras opera en un ciclo e intercambia calor con un solo depósito de energía térmica”.

Para todo proceso es necesario conocer la generación de entropía del sistema expresada como:

#### **Ecuación 14 Generación de entropía en el sistema**

$$S_{\text{entrada}} - S_{\text{salida}} + S_{\text{generada}} = \Delta S_{\text{sistema}} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \right) \quad \text{Ec. 14 [55]}$$
$$S_{\text{salida}} - S_{\text{entrada}} + \Delta S_{\text{sistema}} = S_{\text{generada}} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \right)$$

La determinación de cambio de entropía de un sistema en un proceso determinado implica evaluar la entropía inicial y final del proceso, determinando su diferencia, de acuerdo con la ecuación 15:

#### **Ecuación 15 Diferencia de entropía**

$$\Delta S_{\text{sistema}} = S_{\text{final}} - S_{\text{inicial}} = S_2 - S_1 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \right) \quad \text{Ec. 15 [55]}$$

Teniendo en cuenta que la entropía es una propiedad que varía únicamente con los cambios en el sistema, de manera que el resultado de entropía generada por un sistema puede interpretarse de tres maneras:

1. Integral mayor a cero: si el proceso es irreversible, indica que es llevado en el sistema de manera espontánea o natural
2. Integral igual a cero: Siendo un proceso reversible, para todos los procesos que no se apartan del equilibrio
3. Integral negativa: Indica que el proceso planteado es imposible en la realidad.

El sistema de la máquina planteada fue dividido en dos sistemas de control, evaluando para cada uno la entropía generada de manera que se demostrara la viabilidad del proceso cumpliendo con la desigualdad de  $S_{generada} \geq 0$ .

**3.3.5.i.** Primer volumen de control. Se considera un volumen cerrado debido a que no involucra flujo másico a través de sus fronteras, como se representa en la figura 23, el sistema del primer volumen de control corresponde al tanque de calentamiento y evaporación, en el cual no se presenta flujo de ingreso al sistema, por lo que el cambio de entropía se define como la diferencia entre entropía inicial y final. El cambio de entropía en sistemas cerrados se genera por la transferencia de entropía debida a la transferencia de calor y la generación de entropía al interior de las fronteras, ecuación 16. [55].

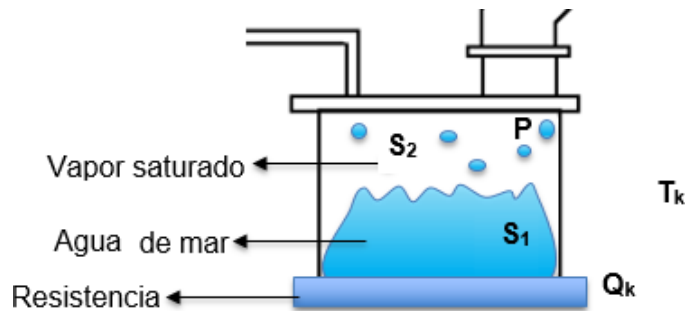
***Ecuación 16 Cambio de entropía en sistemas cerrados***

$$\sum \frac{Q_k}{T_k} + S_{gen} = \Delta S_{sistema} = S_2 - S_1 \left( \frac{kJ}{K} \right) \quad \text{Ec. 16 [55]}$$

$$\sum \frac{Q_k}{T_k} + S_{gen} = \Delta s_{sistema} = m (s_2 - s_1) \left( \frac{kJ}{K} \right)$$

**Figura 29.**

*Balance entropía primer volumen de control*



**Nota.** Representación de entropía en el primer volumen de control, cámara de calentamiento.

Con base en lo anterior los datos correspondientes al análisis de la entropía generada en el primer volumen de control, figura 29, corresponden a la transferencia de calor entre el sistema (debida a la resistencia y la temperatura del ambiente) y la diferencia de entropía del sistema correspondiente a los valores tanto del vapor generado como del agua de mar suministrada.

$Q_k$ = Calor suministrado por la resistencia

$T_k$ = Temperatura del ambiente

$S_1$ = Entropía del agua de mar

$S_2$ = Entropía vapor generado

$m_1$ = Masa ingresada al sistema

Por lo cual para el cálculo de la entropía generada se define como la ecuación 17:

***Ecuación 17 Entropía generada primer volumen de control***

$$S_{gen} = \Delta S_{sistema} - \sum \frac{Q_k}{T_k} \quad \text{Ec. 17 [55]}$$

Los valores respectivos de las características, condiciones y cálculo de la entropía se muestran en la tabla 11.

**Tabla 12.**

*Características primer volumen de control para el cálculo de entropía*

Variable	valor	Unidad	Fuente
Q <sub>k</sub>	2700	kJ/h	[62]
T <sub>k</sub>	295,15	K	[39]
S <sub>1</sub>	0,804	kJ/kg K	[70]
S <sub>2</sub>	7,944	kJ/kg K	[70]
P (Presión)	18,443	KPa	[39]
m <sub>1</sub>	1,997	Kg	Elección de diseño
S <sub>gen</sub>	5,112	kJ/K	Ecuación 17

**Nota.** Valores preliminares para el cálculo de entropía en el primer volumen de control.

La entropía del sistema es superior a cero por lo que, de acuerdo al análisis anteriormente planteado, el sistema representa un proceso posible e irreversible debido a que con los valores de presión y temperatura dentro de la cámara de calentamiento el vapor no puede condensarse.

3.3.5.ii. Segundo volumen de control. El segundo volumen de control para el sistema corresponde al tubo condensador, representado en la figura 24, analizado como un sistema de tubería, cuya operación es considerada estacionaria, por lo cual no experimenta cambio en su entropía, de manera que la relación de balance para el balance de entropía representando el flujo estacionario mediante la ecuación 18:

**Ecuación 18 Entropía generada segundo volumen de control**

$$\sum \frac{Q_k}{T_k} + \sum m_1 s_1 - \sum m_2 s_2 + S_{gen} = \frac{dS_{CV}}{dt} \quad \text{Ec. 18 [55]}$$

De manera que la expresión  $\frac{dS_{CV}}{dt}$  al ser un flujo estacionario será cero por lo que la expresión para la ecuación se puede reescribir como:

$$S_{gen} = m_2 s_2 - m_1 s_1 - \frac{Q_k}{T_k}$$

Para el sistema planteado la ecuación de entropía generada se plantea como:

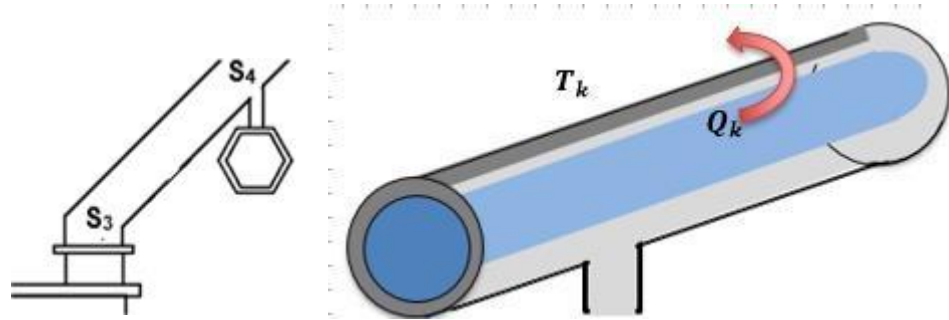
$$S_{gen} = m_4 s_4 - m_3 s_3 - \frac{Q_k}{T_k}$$

Q<sub>k</sub>= Calor emanado del sistema al ambiente debido al proceso de condensación.

$T_k$ = Temperatura ambiente, agua al condensar.  
 $m_{in}$ = masa de vapor que ingresa al sistema.  
 $s_3$ = entropía del vapor.  
 $s_4$ = entropía del agua líquida.

**Figura 30.**

*Balance entropía segundo volumen de control*



**Nota.** Representación balance de entropía para el tubo condensador

Calculando la entropía:

$$S_{gen} = m (s_4 - s_3) - \left( \frac{Q_k}{T_k} \right)$$

Al resolver el cálculo de entropía para el condensador los valores de las condiciones del segundo volumen se muestran en la tabla 12.

**Tabla 13.**

*Características segundo volumen de control para el cálculo de entropía*

Variable	Valor	Unidades	Fuente
$Q_k$	3676,1116	kJ	Ecuación 7
$T_k$	300,1500	K	[39]
$m_1$	1,5573	kg	Elección de diseño
$s_3$	7,9440	kJ/kg K	[70]
$s_4$	0,8030	kJ/kg K	[70]
$S_{gen}$	1,1271	kJ/kg K	Ecuación 18

**Nota.** Características del condensador para el cálculo de la entropía.

La entropía para el segundo sistema de control (condensador) es positiva determinando así que el proceso de condensación en el tubo es un proceso factible de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica.

Con base en los análisis de entropía del sistema completo se determina que el funcionamiento de la máquina es factible termodinámicamente, por lo cual es posible continuar con el diseño mecánico y dimensionamiento de la unidad.

### **3.3.6. Análisis exergía**

De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica establece limitaciones en cuanto a la cantidad de trabajo que un sistema puede realizar, determinar el potencial de trabajo útil de una cantidad dada de energía en algún estado especificado permite conocer la disponibilidad o energía disponible, esta propiedad es llamada exergía, cantidad máxima de energía que puede transformarse en trabajo útil.

La exergía, como la energía, puede transferirse de o hacia un sistema como: calor, trabajo y flujo másico. Esta transferencia se manifiesta en la frontera del sistema cuando la exergía la cruza, representa la exergía ganada o perdida por un sistema durante un proceso. [55].

Durante el proceso planteado para la máquina desalinizadora se plantean dos volúmenes de control, en los cuales se analizó la exergía del sistema y la viabilidad del proceso.

#### **Primer volumen de control:**

El primer volumen de control de la máquina se fundamenta en la transferencia de exergía por masa en el tanque de evaporación, debido a que en el tanque se genera un cambio de fase en donde determinada cantidad de agua marina pasa a vapor, la masa contiene exergía, así como energía y entropía, y los contenidos de éstas en un sistema son proporcionales a la masa, como se muestra en la figura 25, por lo que la exergía en este sistema de control se determina mediante la ecuación 19 de transferencia de masa: [71]

#### ***Ecuación 19 Transferencia de exergía por masa***

$$X_{masa} = mT \quad \text{Ec. 19 [55]}$$



Siendo  $T$

$$T = (\mathbf{h} - \mathbf{h}_0) - T_0(\mathbf{s} - \mathbf{s}_0) + \frac{V^2}{2} + g\mathbf{z}$$

Donde la transferencia relacionada con energía cinética y potencial es despreciable en el sistema:

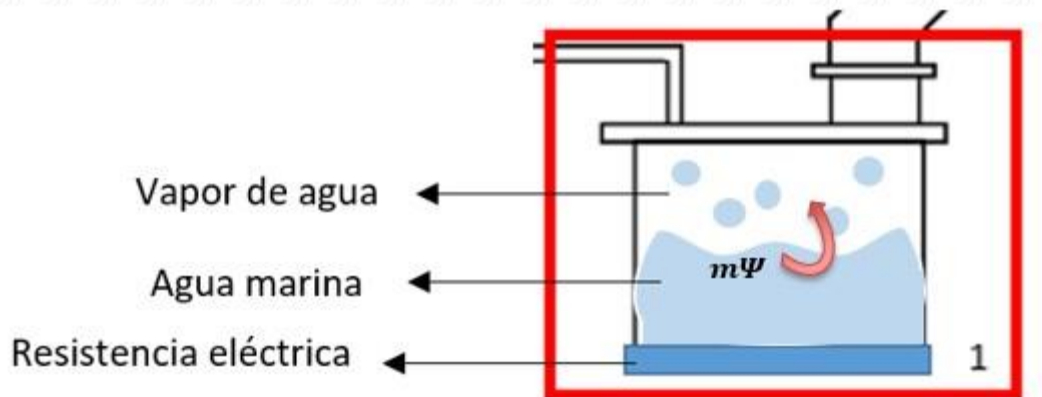
$$\Delta T = T_2 - T_1 = [(\mathbf{h}_2 - \mathbf{h}_0) - T_0(\mathbf{s}_2 - \mathbf{s}_0)] - [(\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}_0) - T_0(\mathbf{s}_1 - \mathbf{s}_0)]$$

Tomando para los valores de exergía del sistema en la tabla 11:

- 0 el punto muerto del sistema, en donde se logra igualar las condiciones ambientales
- 1 Las condiciones del agua de mar
- 2 Las condiciones del vapor de agua generado

### Figura 31.

*Exergía en el primer volumen de control*



**Nota.** Representación exergía en la cámara de calentamiento

**Tabla 14.***Valores exergía para el primer volumen de control*

Variable	Valor	Unidad	Fuente
m <sub>1</sub>	1,997	kg	Elección de diseño
h <sub>0</sub>	417,5	kJ/kg	Ecuaciones 4 y 5
h <sub>1</sub>	93,999	kJ/kg	Ecuaciones 4 y 5
h <sub>2</sub>	2361,761	kJ/kg	Ecuaciones 4 y 5
T <sub>0</sub>	300,15	K	[39]
s <sub>0</sub>	1,303	kJ/kg K	[70]
S <sub>1</sub>	0,803	kJ/kg K	[70]
S <sub>2</sub>	7,944	kJ/kg K	[70]

T 1	1644,073	kJ/kg	Ecuación 19
T 2	1768,712	kJ/kg	Ecuación 19
X <sub>masa</sub>	248,9196	kJ	Ecuación 19

**Nota.** Resultados exergía en la cámara de calentamiento

Con base en el análisis energético de la cámara de evaporación, se establece la posibilidad de llevar a cabo el proceso tanto de calentamiento como evaporación del agua marina son posibles, al obtener un valor positivo de exergía el sistema está desperdiciando parte de la energía suministrada, por lo cual es posible aprovechar la energía del sistema en otros procesos externos a la máquina; además la exergía en este sistema al ser tomada como exergía de masa permite el análisis específico del cambio de fase para el agua salada, estableciendo que en el proceso son desperdiciados 248,92 kJ.

**Segundo volumen de control:**

El trabajo máximo que puede obtenerse es equivalente a la eficiencia de Carnot  $n_c = \frac{T_0}{T}$ , [55], siendo la representación de la fracción de una fuente térmica a la temperatura del sistema, que puede ser convertida en trabajo, en todo sistema es posible producir trabajo a partir de calor a temperaturas superiores a la temperatura ambiente, por lo cual la transferencia de calor se relaciona con la transferencia de exergía de calor, ecuación 20. [71].

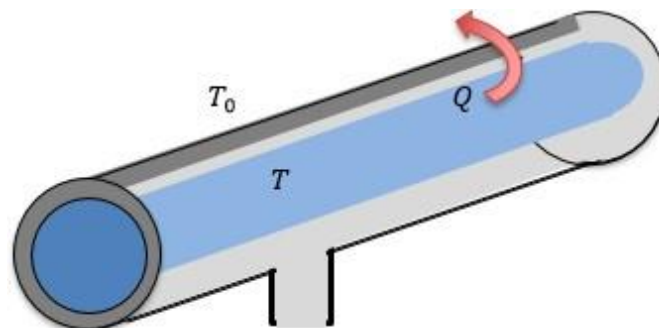
**Ecuación 20 Transferencia de exergía por calor**

$$X_{calor} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q \quad \text{Ec. 20 [55]}$$

Por lo que para el análisis exergético del segundo volumen de control se plantea la transferencia mediante energía calorífica desde el tubo condensador, teniendo en cuenta el equilibrio con la temperatura del vapor y su interacción con el ambiente, como se observa en la figura 32.

**Figura 32.**

*Exergía por calor*



**Nota.** Representación exergía en el segundo volumen de control, tubo condensador

Tomando los valores del tubo condensador y de acuerdo al análisis exergético por calor del sistema, los valores calculados se muestran en la tabla 14.

**Tabla 15.**

*Exergía condensador*

Variable	Valor	Unidad	Fuente
Q	3878,706	W	Ecuación 7
T0	300,15	K	[39]
T <sub>int</sub>	331,67	K	[55]
X <sub>calor</sub>	368,6097	kJ	Ecuación 20

**Nota.** Valores termodinámicos de exergía en el segundo volumen de control

El análisis de exergía en el condensador se basa en un análisis calorífico debido al cambio de temperatura generado por el tubo, disminuyendo la temperatura del vapor hasta igualar la temperatura ambiente, la energía del sistema que se pierde

hacia el ambiente es de 368,6 kJ de manera que el sistema está funcionando correctamente y además puede ser empleado en procesos diferentes.

El análisis exergético permite determinar la viabilidad de los procesos realizados en cada etapa, sin embargo, el potencial de trabajo no empleado por el sistema (exergía) en nuestro caso no será estudiado debido a que la máquina operará en hogares cuya infraestructura no es adecuada para aprovechar eficientemente la exergía disponible, tal como lo se haría en procesos industriales.

### 3.4. Diseño preliminar

Realizada la caracterización termodinámica y térmica del proceso se verifica la viabilidad con el propósito de generar el diseño detallado, dicha viabilidad comprende el consumo de energía contra el tiempo, medidas del condensador junto con el alcance del vacío con el sistema manual.

#### 3.4.1. Potencia de la resistencia

El municipio de La Tola dispone del servicio de electricidad, tal como se menciona anteriormente, por lo que es necesario confirmar si el municipio dispone de la potencia para realizar el proceso para la obtención de 12 litros diarios de agua desalada.

Aunque son 12 litros diarios la operación de la maquina debe ser inferior a 24 horas, Asumimos que se producirá un litro por hora para la operación continua de 12 horas al día

$$V = 12 L / dia$$

$$dia = 12 h$$

$$V = \frac{12 L}{12 h} = 1 \frac{L}{h} = 2,78 * 10^{-7} m^3 / s$$

$$\rho_{H2O} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$m = 2,78 * 10^{-7} \frac{m^3}{s} * 1000 \frac{kg}{m^3} = 2,78 * 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

A una presión atmosférica la entalpia de evaporación  $h_{fg} = 2257,5 \text{ kJ/kg}$

La potencia requerida para este caso

$$\text{Potencia minima requerida} = 2257,5 \text{ kJ/kg} * 2,78 * 10^{-4} \text{ kg/s} = 0,6275 \text{ kW}$$

El resultado nos indica el valor de la potencia mínima de la resistencia eléctrica (Fogón) que se debe disponer para realizar el proceso diariamente. Las resistencias eléctricas más populares en diferentes puntos de venta son de 1000W y 750W [72], se asume que se dispone de resistencias de 750W en La Tola; por lo cual la resistencia establecida anteriormente en la sección 3.2.1 cumple con los requerimientos del proceso

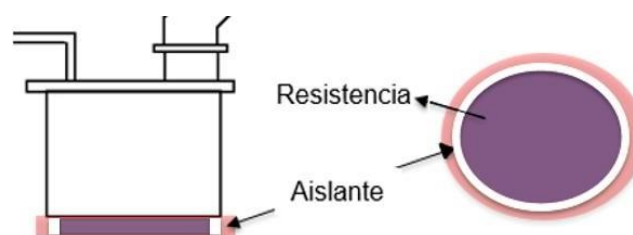
Por lo que para aprovechar la totalidad de la potencia de la resistencia se considera emplear un aislante alrededor de la resistencia, como se muestra en la figura 27, de manera que la pérdida de energía se reduzca, haciendo más eficiente el proceso en el contenedor; para el cálculo se emplea la ley de Fourier junto con la ley de Ohm para cilindros, teniendo en cuenta la resistencia a la convección presentada entre el aislante y el aire ambiente, mediante la ecuación 21 se calcula el calor perdido por el sistema entre la resistencia y el ambiente, empleando un aislante.

**Ecuación 21 Calor desprendido por la resistencia al ambiente mediante el uso de un aislante**

$$q = \frac{2\pi L(T_{vapor} - T_{ambiente})}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{Lk} + \frac{1}{h_{aire}r_2}} \quad \text{Ec. 21 [61]}$$

**Figura 33.**

*Sistema resistencia aislante*



**Nota.** Representación de la ubicación de la resistencia y aislante en el sistema

Para el análisis del proceso de pérdida de calor entre la resistencia y el ambiente los valores del sistema se consideraron las mismas características, tanto de la resistencia, espesor del aislante y variables del ambiente, planteando para el análisis el coeficiente conductivo de los materiales aislantes, como se muestra en la tabla 14; realizando la comparación de ambos materiales, corcho y polietileno en la tabla 15.

**Tabla 16.**  
*Características del sistema resistencia - aire*

Característica	Valor	Unidad	Fuente
coeficiente conductivo del corcho	0,771	C/W	[61]
coeficiente conductivo del polietileno	0,896	C/W	[61]
coeficiente conductivo de la fibra de vidrio	1,105	C/W	[61]
Espesor	0,02	m	[62]
Área de contacto	0,0603	m <sup>2</sup>	Ecuación 21
Radio de la resistencia	0,12	m	Ecuación 21
Altura de la resistencia	0,02	m	[62]
Coeficiente convectivo del aire	25000	W/m <sup>2</sup> K	[61]
T <sub>resistencia</sub>	773,15	K	[62]
T <sub>aire</sub>	295,15	K	[39]

**Nota.** Características sistema y materiales para la elección del aislante

**Tabla 17.**  
*Comparación entre aislantes para la resistencia eléctrica*

Material	calor perdido			Fuente	
corcho	282,483	W	0,282	kW	Ecuación 21
Polietileno	263,045	W	0,263	kW	Ecuación 21
fibra de vidrio	235,900	W	0,235	kW	Ecuación 21

**Nota.** Comparación de las pérdidas de calor de los aislantes

Para la selección del material más adecuado para el aislante, la principal característica a evaluar es que el material tenga una baja conductividad térmica y el costo de cada material, de esta manera la cantidad de materiales a elegir se reduce; seguidamente se requiere un análisis en el que se determine el calor perdido por la superficie de los materiales, además de considerar la resistencia a altas temperaturas. En este caso el material con mejores características para el proceso es la fibra de vidrio que al ser comparada con el corcho y el polietileno tiene menores valores de una conductividad y pérdida de calor, así mismo soporta altas

temperaturas por lo que la posibilidad de fusión en presencia de temperaturas de hasta 1000 °F (537,7 °C) [73], siendo el material adecuado para aislar la pérdida de calor de la resistencia, del mismo modo es necesario recalcar que la resistencia no se encuentra en contacto directo con el aislante por lo que la temperatura de contacto que tiene el aislante será menor a 500 °C.

Adicionalmente debido a que el sistema consta de una cámara de calentamiento conectada a una cámara de condensación por medio de un condensador, la distancia de separación entre las cámaras y la radiación que genera la fuente de energía al sistema, hace que la cámara de condensado reciba el calor de la resistencia lo cual provocaría que se calentara y retrase el proceso de condensación, razón por la cual consideramos que es necesario bloquear la radiación hacia la cámara de condensado por medio de un ladrillo aprovechando su característica aislante y así evitar el calentamiento del producto condensado

### **3.4.2. Tiempo de proceso**

Con dicha potencia se procede a recalcular el tiempo en el que se evapora un litro de agua para corregir las estimaciones considerando que la temperatura ambiente en La Tola en promedio es de 27°C y el agua al nivel del mar hierve a 100 grados, el cálculo del tiempo en el que tarda desde temperatura ambiente hasta el punto de ebullición, en la etapa de calor sensible se calcula por medio de la siguiente formula [8].

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$t_1 = \frac{2kg \cdot 4,182 \text{ kJ/kgK} \cdot (100 - 22)^\circ\text{C}}{0,75kw} = 869,856s$$

El tiempo de evaporación total es decir el tiempo de cambio de fase sumado el tiempo de calentamiento se calcula mediante la siguiente formula.

$$Q = m \cdot h_{fg}$$

$$t_2 = \frac{1\text{kg} * 2256,5 \text{ kJ/kg}}{0,75\text{kW}} = 3008,666\text{s}$$

$$t_{total} = 3008,666\text{s} + 869,856\text{s} = 3878,52266\text{s}$$

La corrección del tiempo es una adición de 7 minutos por cada litro, con dicho valor se puede estimar el costo del proceso mensual en cuanto a la facturación por el consumo de energía eléctrica.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de operacion } \left(\frac{\text{h}}{\text{mes}}\right) &= \frac{3878,5266\text{s}}{3600\text{s}} * 1\text{h} * 12 \text{ und} * 30 \text{ mes}^{-1} \\ &= 387,8522\text{h/mes} \end{aligned}$$

$$\text{Consumo mensual} = 0,750\text{kW} * 387,8522 \frac{\text{h}}{\text{mes}} = 290,88915\text{kWh/mes}$$

En el municipio el promedio de costo de comercialización es de 291,15 \$/kWh [74] [75] por consiguiente el precio de la operación mensual es de:

$$\text{Costo mensual} = 291,15 \text{ cop/kWh} * 290,88915 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} = 84692,3 \text{ cop/mes}$$

El cálculo anterior fue realizado para un proceso de evaporación en condiciones atmosféricas de presión constantes, con el propósito de comparar el tiempo y el costo a presiones de vacío.

### 3.4.3. Presión y potencia

Es necesario realizar el cálculo de la presión de vacío que se obtiene en el interior del sistema por medio de un pistón de dos pulgadas y media de diámetro con una carrera aproximada de quince centímetros, inicialmente se halla el volumen de aire en la cámara sin contar los dos litros de agua que se introducen para destilar la geometría general de todas las partes son cilíndricas por lo que su volumen interno se calcula como la suma del volumen de los diferentes cilindros.

#### ***Ecuación 22 Volumen de un cilindro***

$$V = \pi r^2 L$$

Ec. 22 [61]



**Tabla 18.**

*Volúmenes de las diferentes secciones de la máquina*

Sección	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Fuente
Unión	728849,496	Ecuación 22
Cámara de condensado	1005831,154	Ecuación 22
Condensador	24033,184	Ecuación 22
Cámara de calentamiento	2927964,353	Ecuación 22
Total	4686678,186	Ecuación 22

**Nota.** Caracterización de los volúmenes de las secciones de la máquina

Como resultado se obtiene que el volumen del aire en el sistema que a la vez contiene el agua a destilar es igual a 2,686 L, es necesario calcular la potencia que es disponible para realizar el vacío por ello se tuvo en cuenta recomendaciones de la ARL Sura en cuanto a manipulación y manejo de cargas, en las cuales resalta que no se debe superar una carga de 25 kg ni cargarla continuamente una altura mayor a 25 cm [74], con las variables establecidas asumimos un tiempo en el que puede hacer dicho ejercicio sin riesgo a lesionarse y por medio de la siguiente ecuación calculamos la potencia que ofrece un usuario, valor que a su vez es necesario no sobrepasar durante el ejercicio.

***Ecuación 23 Potencia que puede proporcionar una persona***

$$P_{\text{hombre}} = \frac{m * d * g}{t} \quad \text{Ec. 23}$$

$$P_{\text{hombre}} = \frac{25\text{kg} * 0,25\text{m} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{10\text{s}} = 6,131 \text{ W}$$

Para el cálculo del vacío se utiliza la ecuación de gases ideales debido a que resulta ser una aproximación aceptable para este caso, teniendo como condiciones iniciales la presión atmosférica junto con el volumen y la temperatura ambiente como constantes, dado que el vacío se realiza antes de calentar el agua marina. Se inicia con el cálculo de las moles del volumen inicial, posteriormente se extrae las moles correspondientes al volumen del pistón considerando que las moles se distribuyen uniformemente en todo el volumen como paso siguiente se resta a las moles del volumen inicial, las moles que se encuentran en el pistón, y con dicho resultado se calcula la nueva presión de esta forma iteramos, este procedimiento se

repite cuidando que la potencia del ejercicio no supere la potencia que puede proporcionar el usuario.

#### Ecuación 24 Presión que ejerce un gas

$$PV = nRT \quad \text{Ec. 24 [55]}$$

El estado inicial en la cámara es una presión atmosférica con un volumen de 2,686 L a una temperatura ambiente de 27°C dicha presión de una atmosfera es ejercida por un número de moles dentro de la cámara la cual no sufre de filtraciones, calculamos el número de moles de aire.

$$n_0 = \frac{1 \text{ atm} * 2,686 \text{ L}}{0,082057 \text{ atm L} / \text{K mol} * 300,15 \text{ K}} = 0,109 \text{ mol}$$

El proceso de extracción del aire consiste en aumentar el volumen que ocupan las moles calculadas previamente y expulsar las moles que ocupan el volumen del pistón.

$$n_1 = \frac{0,109 \text{ mol} * 0,325 \text{ L}}{3,012 \text{ L}} = 0,0117 \text{ mol}$$

La nueva cantidad de moles en la cámara corresponde a la resta entre las moles iniciales y las moles extraídas por el pistón.

$$n_1 = n_0 - n_{e1} = 0,0972 \text{ mol}$$

La presión que se ejerce en la cámara por la nueva cantidad de moles está dada por

$$p_1 = \frac{0,0972 \text{ mol} * 0,082057 \text{ atm L} / \text{K mol} * 300,15 \text{ K}}{2,686 \text{ L}} = 0,891 \text{ atm}$$

La presión calculada corresponde a la presión interna después de un ciclo de trabajo del pistón, una vez calculada la presión se calcula la potencia necesaria para realizar dicho ciclo para ello se considera la fuerza ejercida por la diferencia de presiones entre la presión atmosférica y la presión interna en el área de contacto del pistón, con el respectivo desplazamiento de la carrera del pistón y el peso del embolo considerando también que el trabajo se realiza a lo largo de 5 segundos.

Previo a ello calculamos el peso del conjunto móvil en el pistón por medio del programa de diseño, como resultado tenemos.

$$P_1 = \frac{((101325Pa - 90370,198Pa) * 0,00222m^2 + 4,341N) * 0,146m}{5s} = 0,8408W$$

A continuación, se presenta la tabla producto de las iteraciones realizadas la cual representa las condiciones del proceso de vacío en cada ciclo del pistón y el consumo de potencia.

**Tabla 19.**

*Iteraciones del proceso en el pistón*

Ciclo	Presión (atm)	n (mol)	Presión (Pa)	Fuerza eje Y (N)	Potencia (W)	Fuente
0	1	0,1091	101325			Ecuación 24
1	0,892	0,0973	90370,198	28,683	0,841	Ecuación 24
2	0,795	0,0868	80599,780	50,393	1,477	Ecuación 24
3	0,709	0,0774	71885,695	69,756	2,045	Ecuación 24
4	0,633	0,0690	64113,738	87,026	2,551	Ecuación 24
5	0,564	0,0616	57182,050	102,428	3,003	Ecuación 24
6	0,503	0,0549	50999,784	116,165	3,405	Ecuación 24
7	0,449	0,0490	45485,918	128,417	3,764	Ecuación 24
8	0,400	0,0437	40568,185	139,345	4,085	Ecuación 24
9	0,357	0,0390	36182,136	149,091	4,370	Ecuación 24
10	0,318	0,0347	32270,287	157,783	4,625	Ecuación 24
11	0,284	0,0310	28781,369	165,535	4,853	Ecuación 24
12	0,253	0,0276	25669,657	172,450	5,055	Ecuación 24
13	0,226	0,0246	22894,369	178,616	5,236	Ecuación 24
14	0,202	0,0220	20419,134	184,117	5,397	Ecuación 24
15	0,180	0,0196	18211,509	189,022	5,541	Ecuación 24

**Nota.** Cálculo iterativo del proceso en el pistón

$$5,541 W < 6,131 W$$

Como se puede apreciar después de las iteraciones dadas la potencia necesaria en el sistema no supera la potencia que puede generar una persona siendo posibles 15 ciclos del pistón que representan una presión interna en la cámara de 18,211 kPa a una temperatura de saturación de 58,52°C y una entalpia de evaporación de 2360,611 kJ/kg.

Basados en los cálculos preliminares del tiempo necesario para llevar el proceso, siendo un estimado de 59,24 minutos, en las condiciones de vacío se obtiene una disminución de aproximadamente 5 min por proceso con respecto al proceso de destilación a presiones atmosféricas.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de operacion } \left( \frac{h}{mes} \right) &= \frac{3554,573s}{3600s} * 1h * 12 und * 30 mes^{-1} \\ &= 355,45 h/mes \end{aligned}$$

$$\text{Consumo mensual} = 0,750kW * 355,45 \frac{h}{mes} = 266,59kWh/mes$$

$$\text{Costo mensual} = 291,15 \frac{cop}{kWh} * 266,59 \frac{kWh}{mes} = 77618,54 \frac{cop}{mes}$$

$$\text{Ahorro mensual} = 84692,37 \frac{cop}{mes} - 77618,54 \frac{cop}{mes} = 7073,82 \frac{cop}{mes}$$

Implementar el sistema de vacío al proceso de destilación representa un ahorro de 7073,82 pesos colombianos al mes.

#### **3.4.4. Correcciones del condensador y eficiencia**

Con base en los cálculos preliminares para el balance para el segundo volumen de control (condensador), empleando las ecuaciones para aletas de espiga de perfil rectangular, mostrada en la figura 28, se corrige la longitud del tubo condensador y se calcula su eficiencia, tal como se muestra en la tabla 15, asumiendo un comportamiento de aleta, debido a que el sistema entre el vapor saturado y el tubo se considera en equilibrio. [61].

**Tabla 20.**

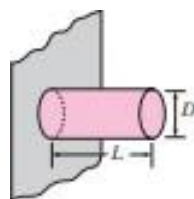
*Valores preliminares del condensador*

Variable	Valor	Unidad	Fuente
$h_{\text{Vapor}}$	6000	W/m <sup>2</sup> k	[69]
K	250	W/m k	[69]
$T_{\text{ingreso al condensador}}$	331,67	K	[39]
$T_{\text{extremo}}$	300,15	K	[39]
D	0,11	M	Ecuación 12
L	0,12	M	Ecuación 12
q	3878,705798	W	Ecuación 7
p Perimetro	0,345575192	m	Ecuación 12
Ac	0,041469023	m <sup>2</sup>	Ecuación 12

**Nota.** Características preliminares del condensador

**Figura 34.**

*Aleta de espiga rectangular*



**Nota.** Eficiencia y áreas de superficie de configuraciones comunes de aletas, Aletas de espiga de perfil rectangular, conducción de calor. Tomado de: Y. A. Cengel y J Ghajar, *Transferencia de calor y masa fundamentos y aplicaciones*, 4<sup>a</sup>. Ed., México: Mc Graw Hill, 2004

Teniendo en cuenta para el cálculo de las dimensiones de la aleta como se muestra en las ecuaciones 24 y 25.

**Ecuación 25 Área de un cilindro**

$$A = 2\pi rL \quad \text{Ec. 25 [61]}$$

**Ecuación 26 Perímetro para el extremo de la aleta**

$$p = 2\pi r \quad \text{Ec. 26 [61]}$$

Asumiendo comportamiento como aleta de espiga de perfil rectangular, las correcciones para el tubo se plantean en las ecuaciones 26 a la 29 y en la tabla 16.

**Ecuación 27 Corrección de la masa para el condensador**

$$m = \sqrt{\frac{Ah}{kD}} \quad \text{Ec. 27 [61]}$$

**Ecuación 28 Longitud corregida del condensador**

$$L_c = L + \frac{D}{4} \quad \text{Ec. 28 [61]}$$

**Ecuación 29 Área del condensador**

$$A_{aleta} = \pi D L_c \quad \text{Ec. 29 [61]}$$

**Ecuación 30 Eficiencia del condensador como aleta**

$$\text{Eficiencia } \eta_{aleta} = \frac{\tan mL_c}{mL_c} \quad \text{Ec. 30 [61]}$$

**Tabla 21.**

*Correcciones y eficiencia del condensador*

Correcciones			Fuente
M	29,542	M	Ecuación 26
Lc	0,1475	M	Ecuación 27
A <sub>aleta</sub>	0,05097	m <sup>2</sup>	Ecuación 28
<b>η</b>	22,94	%	Ecuación 29

**Nota.** Valores corregidos del condensador para el segundo volumen de control

Con base en los cálculos y tomando en cuenta que el condensador ha de comportarse como una aleta para la pérdida de calor la longitud adecuada corresponde a 14,7 cm por lo que en el diseño se contará con 15 cm de longitud dando la holgura necesaria de seguridad, para un trabajo con una eficiencia de 22%, los valores para el dimensionamiento del condensador se muestran en la tabla 21.

**Tabla 22.**

*Dimensiones del condensador*

Variable	Valor	Unidad	Fuente
Largo	0,1475	M	Ecuación 27
Área	0,051	m <sup>2</sup>	Ecuación 28
D <sub>interno</sub>	0,09	M	[68]
D <sub>externo</sub>	0,11	M	[68]
Espesor	0,01	M	Relación diámetros
Material	Aluminio		
Eficiencia	0,229	23%	Ecuación 29

**Nota.** Características tubo condensador.

### 3.5. Diagrama de operación para el proceso:

El diagrama de operación se identifica los puntos en las etapas del proceso, indica la secuencia de estados del proceso en la máquina, con el fin de mostrar el paso a paso en la máquina, para un entendimiento total del proceso.

**Figura 35.**

*Diagrama de estado para el proceso*

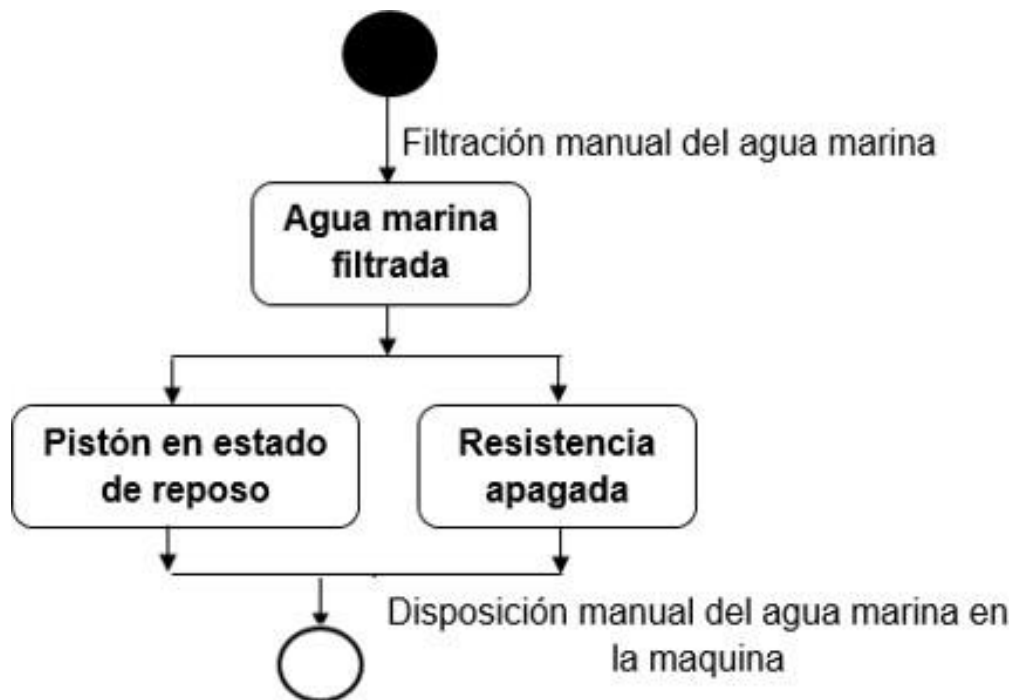


Figura 35. Continuación

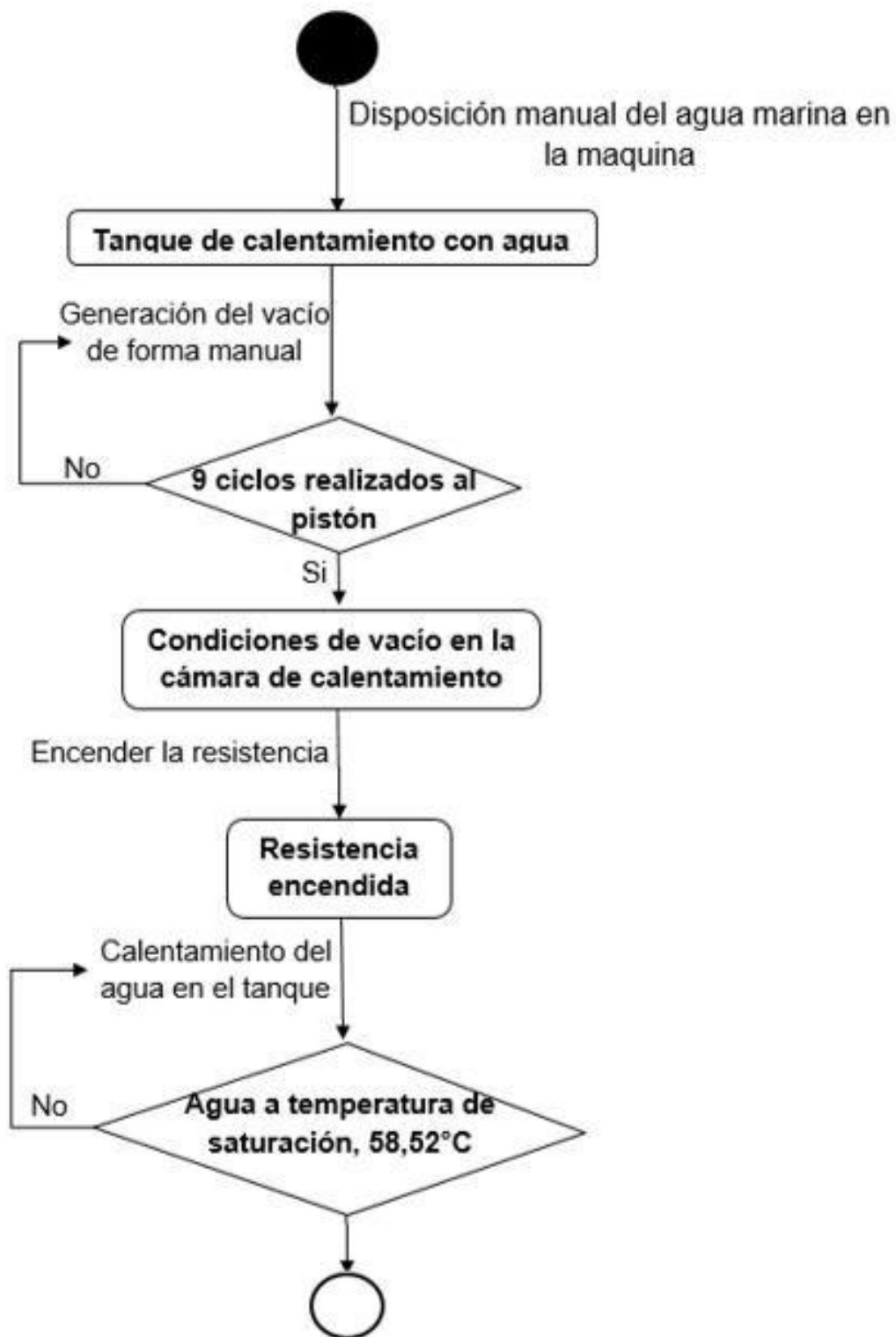
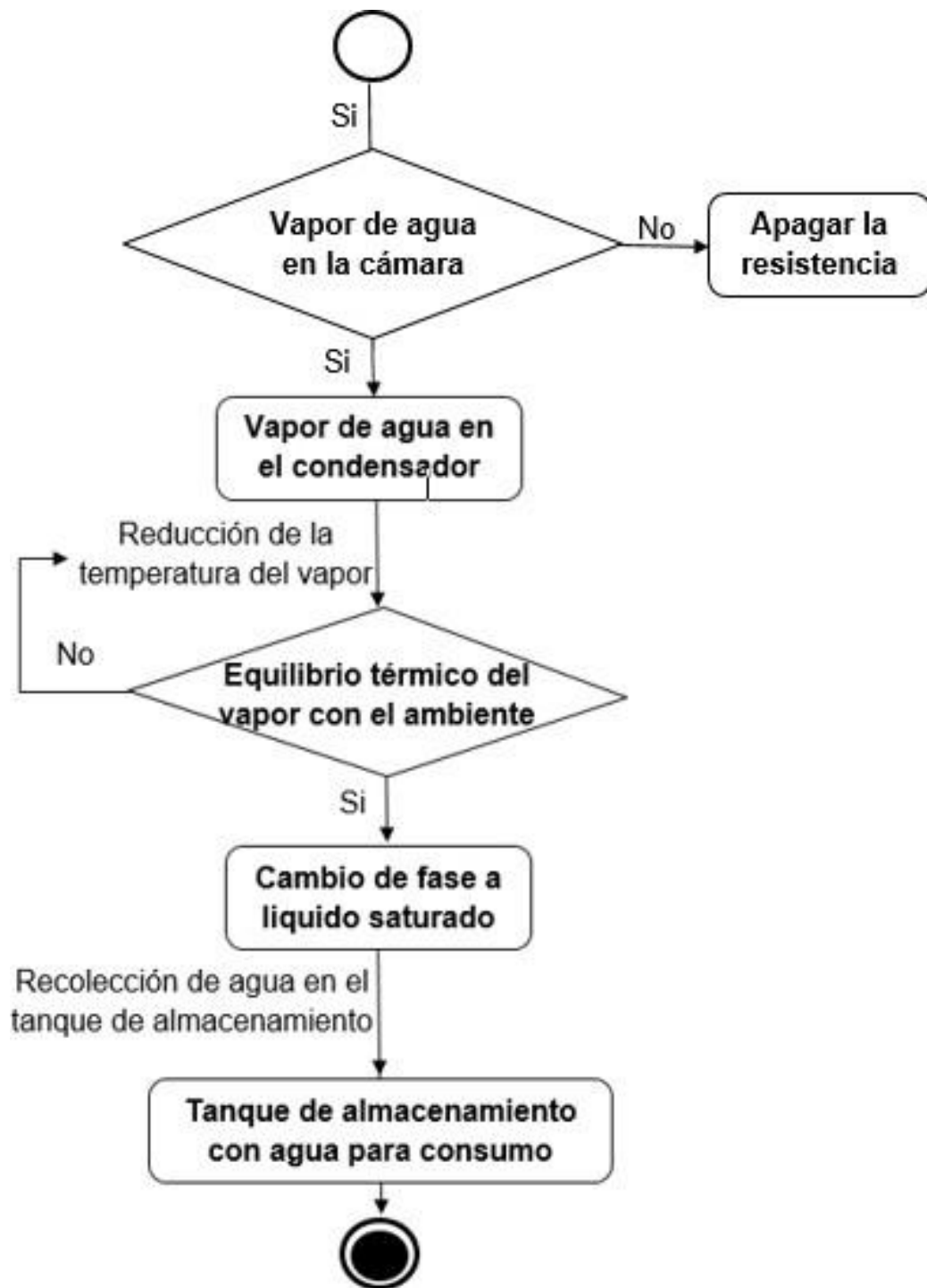




Figura 35. Continuación



**Nota.** Diagrama del proceso de la máquina

Como se observa en el diagrama el proceso inicia una vez se tiene el agua marina recolectada, un volumen de 2 litros de agua para cada proceso, se establece como condición inicial la filtración del agua con el fin de reducir la cantidad de

material en la mezcla de agua marina; ya con el agua filtrada es posible operar la maquina introduciendo el líquido en el primer tanque (tanque de calentamiento), se continúa con la generación del vacío manual con un total de 9 ciclos en el pistón, de esta manera el tanque de calentamiento se encuentra a la presión establecida de trabajo y es posible encender la resistencia eléctrica para llevar el agua marina a temperatura de saturación, el vapor generado pasa por el tubo condensador en donde llega al equilibrio térmico con la temperatura ambiente lo que permite nuevamente su paso de vapor saturado a liquido saturado almacenándose en el segundo tanque.

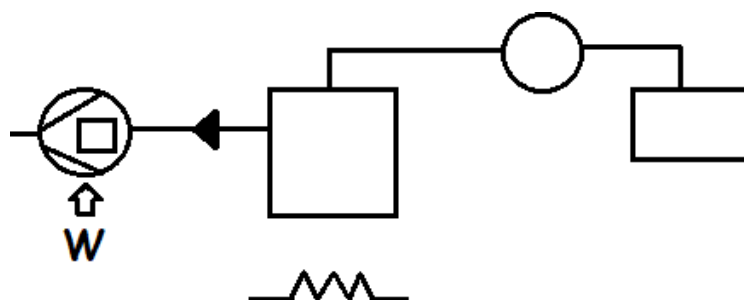
### 3.6. Representación termodinámica para el proceso:

Con base en el análisis termodinámico se realizó el diagrama total de la máquina estableciendo las principales entradas y salidas de energía en el proceso segmentado en dos etapas: la generación de vacío y el calentamiento.

La generación de vacío en las cámaras de la maquina tal como se muestra en la figura implica la aplicación de una fuerza externa sobre una bomba de vacío retirando así el aire en la cámara. En esta etapa del proceso la fuente de calor no se encuentra encendida, por lo que la cámara de calentamiento aun no inicia el proceso para la evaporación del agua salada.

**Figura 36.**

*Termodinámica del proceso de vacío*

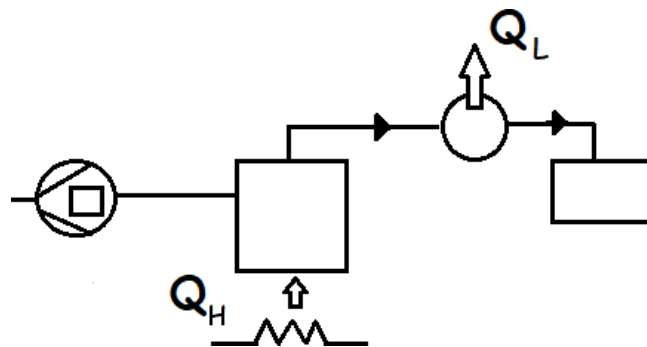


**Nota.** Diagrama termodinámico del proceso para la generación de vacío

El proceso de calentamiento requiere del suministro de energía calorífica por medio de una resistencia, ubicada en la parte inferior del tanque de calentamiento, de manera que el agua marina en su interior sea evaporada y posteriormente condensada al eliminar energía calorífica en el condensador; durante este proceso se tiene en cuenta que el vacío ya ha sido realizado por lo que la operación y trabajo sobre la bomba no se deben llevar a cabo en esta etapa.

**Figura 37.**

*Termodinámica del proceso de calentamiento*



**Nota.** Diagrama termodinámico del proceso de calentamiento

### 3.7. Eficiencia del proceso

La efectividad global de los equipos también llamada OEE (Overall Equipment Effectiveness), es un indicador que representa la capacidad real de producción, el rendimiento del proceso y la disponibilidad de la máquina. Es una herramienta integral de evaluación eficaz para la toma de decisiones referentes al sistema productivo. [76]

El cálculo y análisis de la eficiencia del proceso para la máquina desalinizadora se representa en la fórmula 31.

#### Ecuación 31 Eficiencia del proceso

$$Eficiencia = \frac{Producción\ real}{Capacidad\ de\ producción} \quad Ec. 31 [76]$$

$$Eficiencia = \frac{Tiempo\ productivo * Capacidad\ real}{Tiempo\ productivo * Capacidad\ estándar}$$

Teniendo en cuenta que el proceso estima un tiempo productivo de 60 minutos de operación con una capacidad real de producción de 1,643 litros de agua potable por cada 2 litros de agua suministrada.

$$Eficiencia = \frac{60 \text{ min} * 1,643 \text{ L}}{60 \text{ min} * 2 \text{ L}} = 0,8215 * 100\%$$

$$Eficiencia = 82,15\%$$

La eficiencia del proceso es de 82% siendo adecuado para la producción, teniendo en cuenta que no es posible tener una eficiencia del 100% debido a que parte del agua a tratar es sal haciendo imposible transformar toda el agua suministrada en agua potable, la eficiencia hace competitivo al proceso de operación de la máquina, respecto a las cantidades de producto final.

## 4. DISEÑO DETALLADO

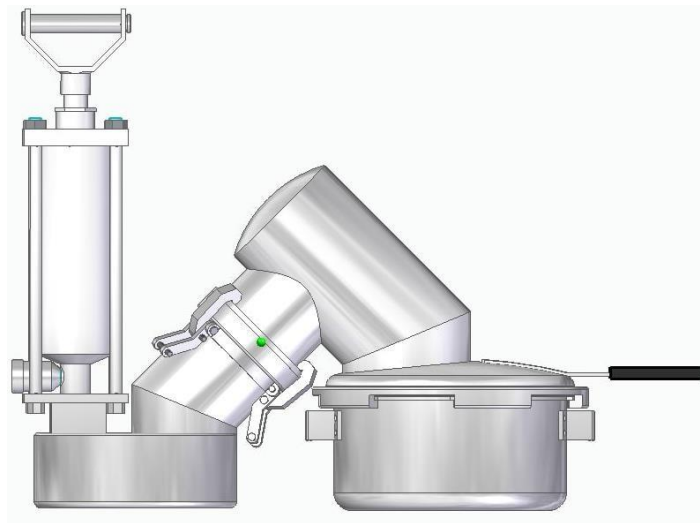
El diseño detallado contempla un análisis de la máquina, especificando y representando de manera concreta el funcionamiento y características de cada una de las partes.

### 4.1. Resistencia de esfuerzos generados por presión negativa

Para evaluar el riesgo por colapso de la máquina al tratar con presiones negativas se evalúan los esfuerzos que serán soportados por cada pieza mediante el uso del software Solid Edge (219.00.01.006 x64) y Femap (11.3.1) [77]. Inicialmente se reconocen las partes de la máquina como un conjunto tal como se muestra en la figura.

**Figura 38.**

*Diseño de la máquina desalinizadora*



**Nota.** Representación de la máquina desalinizadora

Posteriormente se resaltan las características físicas de cada pieza mediante un estudio estático lineal por elementos finitos, para obtener los resultados de esfuerzos de cada una de las piezas con mayor precisión, teniendo en cuenta que el material de todas las piezas es aluminio 6061-T6; se considera el factor de

seguridad aplicada en calderas ya que estas son las máquinas que presentan mayor riesgo, puesto que involucran la presión. [61].

**Tabla 23.**

*Características físicas de las piezas*

	<b>Pieza</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Volumen (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso (mN)</b>	<b>Fuente</b>
Tapa condensador		2,638	972855,534	25856,165	[77]
Cámara de calentamiento		0,751	277053,316	7363,412	[77]
Cámara de condensado		1,48	545784,483	14505,642	[77]

**Nota.** Caracterización de las piezas de la máquina

#### **4.1.1. Análisis para elementos finitos**

Las cargas en la pieza son el resultado del análisis de la presión atmosférica junto con la presión interna, el peso de las piezas, para el caso de la cámara de condensado el peso del pistón; sin tener en cuenta la presión hidrostática ejercida por la masa del agua al interior ya que minimiza el esfuerzo en el cuerpo al contrarrestar la carga de la presión atmosférica.

**Tabla 24.***Análisis de cargas en las piezas*

<b>Pieza</b>	<b>Tipo de carga</b>	<b>Valor de carga</b>	<b>Dirección de carga</b>	<b>Opción de dirección de la carga</b>	<b>Fuente</b>
Tapa condensador	Presión	82,9 kPa	Compresiva	Perpendicular a la cara	[77]
	Gravedad	981 cm/s <sup>2</sup>	(0,0,1)	A lo largo del vector	[77]
Cámara de calentamiento	Presión	82,9 kPa	Compresiva	Perpendicular a la cara	[77]
	Gravedad	981 cm/s <sup>2</sup>	(0,0,1)	A lo largo del vector	[77]
Cámara de condensado	Presión	82,9 kPa	Compresiva	Perpendicular a la cara	[77]
	Fuerza	1,66 e <sup>4</sup> mN	(0,1,0), por entidad	A lo largo del vector	[77]
	Gravedad	981 cm/s <sup>2</sup>	(0,0,1)	A lo largo del vector	[77]

**Nota:** Caracterización de las cargas en las piezas con base en el software Solid Edge, ST9. [XML], Online, Siemens, 2019

#### **4.1.2. Simulación de esfuerzos**

Empleando el software Solid Edge (219.00.01.006 x64) y Femap (11.3.1) [77], se simuló los esfuerzos en cada una de las piezas obteniendo así el desplazamiento y factor de seguridad. El esfuerzo máximo para cada pieza se representa en cada imagen con las letras A, B y C respectivamente.

- Tapa – condensador

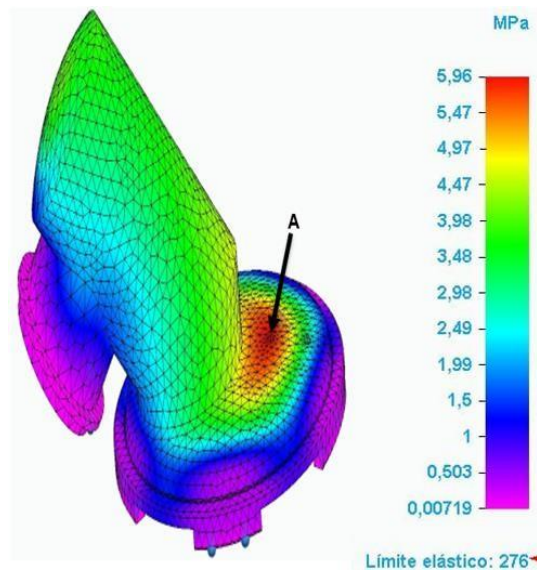
**Tabla 25.***Caracterización esfuerzos tapa - condensador*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>	<b>Fuente</b>
Factor de seguridad	3,62	[77]
Dx (mm)	5,28e <sup>-07</sup>	[77]
Dy (mm)	0,00877	[77]
Dz (mm)	0,00177	[77]
Esfuerzo máximo (MPa)	5,96	[77]

**Nota.** Esfuerzos y factor de seguridad de la tapa condensador, mediante el software Solid Edge, ST9. [XML], Online, Siemens, 2019

**Figura 39.**

*Simulación de esfuerzos para la tapa - condensador*



**Nota.** Esfuerzos en la tapa- condensador mediante el software Solid Edge, ST9. [XML], Online, Siemens, 2019

La tapa condensador presenta un punto crítico en la zona superior, para su análisis se tomó como puntos fijos las conexiones entre los demás elementos la cámara de calentamiento y la cámara de condensado.

- Cámara de calentamiento

**Tabla 26.**

*Caracterización esfuerzos en la cámara de calentamiento*

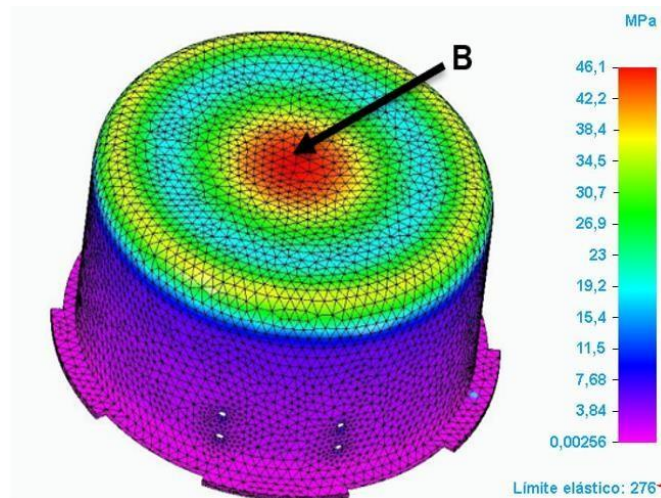
Característica	Valor	Fuente
Factor de seguridad	5,99	[77]
Dx (mm)	$2,48e^{-05}$	[77]
Dy (mm)	0,000686	[77]
Dz (mm)	0,662	[77]
Esfuerzo máximo (MPa)	46,1	[77]

**Nota.** Esfuerzos y factor de seguridad de la cámara de calentamiento, mediante el software Solid Edge, ST9. [XML], Online, Siemens, 2019



**Figura 40.**

*Simulación de esfuerzos para la cámara de calentamiento*



**Nota.** Esfuerzos en la cámara de calentamiento mediante el software Solid Edge, ST9. [XML], Online, Siemens, 2019

Para su análisis se contó como punto fijo el punto de conexión con la tapa condensador.

- Cámara de condensado

**Tabla 27.**

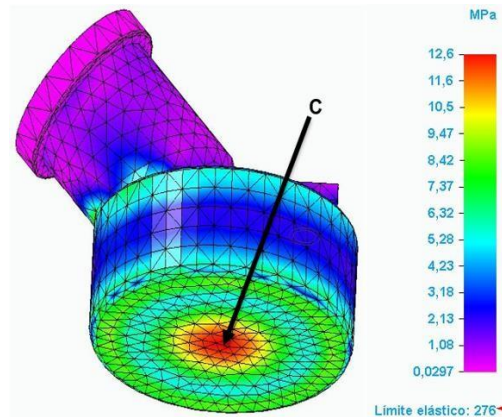
*Caracterización esfuerzos en la cámara de condensado*

Característica	Valor	Fuente
Factor de seguridad	21,9	[77]
Dx (mm)	$5,85e^{-04}$	[77]
Dy (mm)	0,13	[77]
Dz (mm)	0,0392	[77]
Esfuerzo máximo (MPa)	12,6	[77]

**Nota.** Esfuerzos y factor de seguridad de la cámara de condensado, mediante el software Solid Edge, ST9. [XML], Online, Siemens, 2019

**Figura 41.**

*Simulación de esfuerzos para la cámara de condensado*



**Nota.** Esfuerzos en la cámara de condensado mediante el software Solid Edge, ST9. [XML], Online, Siemens, 2019

Para su análisis se contó como punto fijo el punto de conexión con el condensador.

De acuerdo a los datos obtenidos en el simulador para las cámaras se establece como punto crítico el centro externo de la cámara de calentamiento debido a que concentra la mayor cantidad de presión al ser una superficie lisa ya que la geometría presenta mayor resistencia cilíndrica y esférica.

El resultado indica que, para dicho sistema con el esfuerzo de fluencia del aluminio, con las cargas aplicadas y el espesor seleccionado el sistema cumple satisfactoriamente.

#### **4.1.3. Diseño de la bomba**

Para el dimensionamiento de la bomba se considera principalmente el espacio y la proporción con el conjunto general, razón por la cual el pistón no sobre sale de la base de apoyo sobre la cámara de condensado, se considerando también un diámetro de tubo estándar para la camisa, el diseño del conjunto se basa en el diseño de pistones neumáticos siendo este lo más fiel posible, lo importante del pistón es al final su volumen y los ciclos necesarios para cumplir con la demanda de vacío para este caso lo cual se calculó anteriormente, se encuentran pistones de infinidad de tamaños y para esta aplicación se implementó un sistema anti retorno

con una bifurcación para evitar filtraciones de aire del ambiente al interior del sistema.

A continuación, se realiza el cálculo de esfuerzos [78] para la sección del manillar del pistón puesto que este está sometido a la carga provocada la diferencia de presiones y el peso del embolo considerando que es una carga distribuida en dos puntos por lo que se toma la mitad de la carga para la sección, todo con el fin de calcular el factor de seguridad con el esfuerzo ultimo y el área efectiva que para este caso es el área de sección transversal del manillar menos el área proyectada del pasador.

$$\begin{aligned} \text{Carga admisible} &= \frac{1}{2} * ((101325Pa - 90370,19Pa) * 0,00222m^2 + 4,34N) \\ &= 14,33N \end{aligned}$$

$$\text{Carga ultima} = \sigma_{ult} * A_{efect}$$

$$A_{efect} = ((25 - 15) * 10^{-3}m) * 10 * 10^{-3}m = 0,0001m^2$$

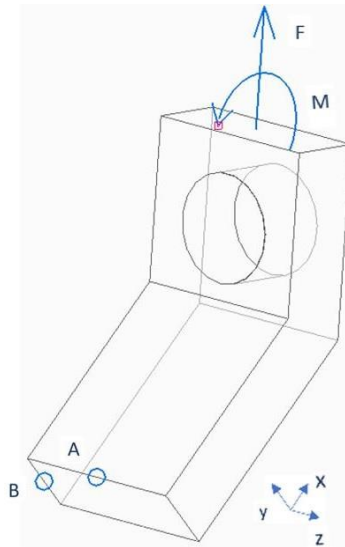
$$\text{Carga ultima} = 275790Pa * 0,0001m^2 = 27,57N$$

$$Fs = \frac{\text{Carga ultima}}{\text{Carga admisible}} = \frac{27,57N}{14,33N} = 1,92,4$$

Una vez establecida la validez del esfuerzo en el área de sección transversal más reducida, se calculará el esfuerzo producido por la carga en la base del mismo manillar con el propósito de determinar su resistencia frente a la carga misma y al momento producido, en la sección con un grado de inclinación de 45° por lo que se ajusta el eje condenado a esta área de sección transversal y se descompone la fuerza aplicada en la cara de interés analizando los esfuerzos producidos en dos puntos de la sección como se aprecia en la siguiente figura cabe resaltar que la cara de estudio se encuentra fijo.

**Figura 42.**

*Diagrama de cuerpo libre sección manillar*



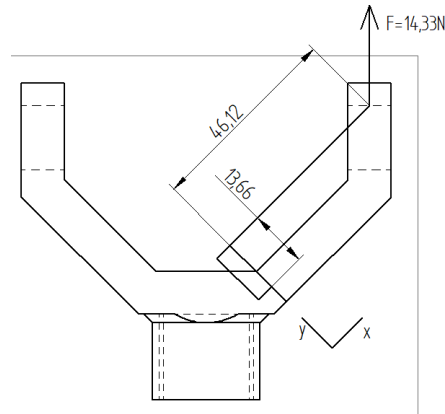
**Nota.** Representación de la sección de manillar mediante diagrama de cuerpo libre

Se calcula el momento considerando el ángulo de inclinación y las distancias desde la fuerza hasta la sección de interés y se determina la fuerza de trabajo para este elemento; para el desarrollo de este análisis se toma como referencia uno de los apoyos del pasador del manillar ya que es una pieza simétrica y se secciona como se evidencia en la figura 42, con el fin de analizar los esfuerzos en el cambio de sección.

$$F = \frac{1}{2} * (101325Pa - 90370,198Pa) * 0.0022m^2 + 4,341N = 14,33N$$

**Figura 43.**

*Distancia entre la carga y el punto de estudio*



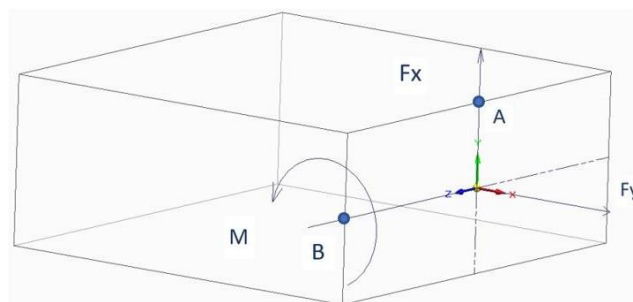
**Nota.** Representación distancia entre la carga y uno de los apoyos del pasador del manillar

El momento toma como vector distancia las cotas proporcionadas en la figura 43.

$$M_z = (46 * 10^{-3}i + 13,66 * 10^{-3}j) \times (14,33 * \cos(45) i + 14,33 * \sin(45)) = 0,328 Nm (k)$$

**Figura 44.**

*Sección transversal de estudio*



**Nota.** Esfuerzos en la sección transversal sobre la cara de estudio.

Se evaluaron los esfuerzos en el punto A y B señalados en la figura 44, considerando la figura para hallar el centroide y el momento de inercia.

$$Q_A = A_i * \bar{y}$$

$$Q_A = 10 * 10^{-3}m * 12,5 * 10^{-3}m * 6,25 * 10^{-3}m = 7,81 * 10^{-7}m^3$$

$$I_z = \frac{b * h^3}{12}$$

$$I_z = \frac{10 * 10^{-3}m * (25 * 10^{-3}m)^3}{12} = 1,30 * 10^{-8}m^4$$

$$\sigma_A = \frac{Fy}{A} + \frac{M_z * c}{I_z}$$

$$\sigma_A = \frac{10,13N}{2,5 * 10^{-4}m^2} - \frac{0,328 Nm * 5 * 10^{-3}m}{1,30 * 10^{-8}m^4} = -85432Pa \text{ (compression)}$$

$$r_A = \frac{T * c}{J} + \frac{V * Q}{I * t} = 0$$

$$r_A = 0$$

Se realiza el mismo procedimiento para el punto en B

$$Q_B = 5 * 10^{-3}m * 25 * 10^{-3}m * 2,5 * 10^{-3}m = 3,12 * 10^{-7}m^3$$

$$I_y = \frac{h * b^3}{12}$$

$$I_y = \frac{25 * 10^{-3}m * (10 * 10^{-3}m)^3}{12} = 2,08 * 10^{-9}m^4$$

$$\sigma_B = \frac{10,13N}{2,5 * 10^{-4}m^2} = 40520Pa$$

$$F_{SA} = \frac{276MPa}{40,520} = 6,81$$

$$r_B = \frac{10,13N * 3,12 * 10^{-7}m^3}{2,08 * 10^{-9}m^4 * 25 * 10^{-3}m} = 60780Pa$$

Para el esfuerzo cortante y el esfuerzo de compresión se comparará con los esfuerzos admisibles de acuerdo a Aluminum Association [79] de 76 MPa y 234 MPa respectivamente para el aluminio 6061-T6

$$r_{admissible} > r_B$$

$$76 \text{ MPa} > 60,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{admissible} > \sigma_A$$

$$234 \text{ MPa} > 85,43 \text{ MPa}$$

Para el vástago de la bomba el esfuerzo se calcula con la carga completa y el área de sección transversal del vástago.

$$\sigma_{vastago} = \frac{28,66 \text{ N}}{\pi * (10 * 10^{-3})^2 \text{ m}^2} = 91227,61 \text{ Pa}$$

$$Fs = \frac{276 \text{ MPa}}{91,22 \text{ MPa}} = 3,025$$

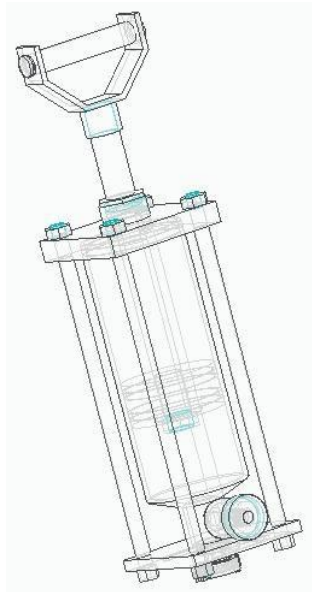
Finalmente la conexión entre la bomba y la cámara de condensación se logra por medio de una estructura en “U” que permite encajar en forma de macho hembra entre la placa inferior del pistón y la estructura sobresaliente en la cámara de condensación, esto permite la alineación entre el ducto de la bomba y la sección de tubo en la cámara que junto con el acople axial se evitan las filtraciones de aire y una posible desconexión ya que la misma estructura en “U” brinda la estabilidad en el pistón sin ninguna desviación en su eje, la sección al ser un tipo de “U” permite al usuario manipular el acople lo necesario para ubicarlo en su posición ya que este solo se manipula en un extremo ya que el pasador facilita que se opere de un solo lado por el que se da el espacio en la sección en “U”.

#### 4.2. Diseño de resorte

En el componente del pistón se requiere del sistema mecánico para generar las condiciones de vacío del sistema de manera que no permita filtraciones, por ello se selecciona unas esferas de caucho, ubicadas en la sección de anti retorno, que al halar del pistón impidan el paso de aire en el conducto que da con la atmosfera y cuando se introduce el embolo en el pistón el bloqueo se de en el conducto que está conectado directamente con la cámara que contiene el agua salada.

**Figura 45.**

*Pistón con válvula anti retorno*



**Nota.** Representación diseño válvula anti retorno en la bomba de vacío

Como se puede apreciar en la figura 30 el sistema requiere de un mecanismo que posicione la esfera de corcho en el conducto horizontal, debido al riesgo de un incorrecto funcionamiento a la hora de bloquear para evitar las filtraciones, es por ello por lo que se procede a diseñar un resorte que ayude a posicionar la esfera de bloqueo mientras el pistón está en reposo y cuando se retira aire de la cámara.

La precarga del resorte está dada por el peso de la esfera de caucho y la presión mínima que alcanza el sistema aplicada en el área del conducto, y se permite su accionamiento del resorte con presiones superiores a la atmosférica únicamente.

**[80]**

$$F_i = 0,0000017671m^3 * 420 \frac{kg}{m^3} + 18443,39pa * 0,00007697m^2 = 1,426N$$

$$F = 0,00007697m^2 * 101325pa = 7,799N$$

Una vez calculadas las dos fuerzas de precarga y carga definimos el desplazamiento del resorte desde la posición de precarga hasta la posición final, que para este caso será de 5 mm para evitar un desajuste entre la esfera y el



resorte, el desplazamiento que provoca únicamente la precarga está dada por la siguiente ecuación.

**Ecuación 32 Desplazamiento provocado por la precarga**

$$y_i = \frac{c}{\frac{F}{F_i} - 1} \quad \text{Ec. 31}$$

Donde c es la distancia de desplazamiento desde la posición de precarga hasta la posición final esperada por la carga de trabajo.

$$y_i = \frac{0,005m}{\frac{7,79968N}{1,42699N} - 1} = 0,00111961m$$

Esto con el propósito de hallar la constante del resorte K.

**Ecuación 33 Constante k del resorte**

$$k = \frac{F_i}{y_i} \quad \text{Ec. 32}$$

$$k = \frac{1,42699N}{0,00111961m} = 1274,53 \text{ N/m}$$

Por consiguiente, la deformación en la operación se calcula en la ecuación 33, con la fuerza aplicada y la constante del resorte.

**Ecuación 34 Deformación en la operación**

$$y = \frac{F}{k} \quad \text{Ec. 33}$$

$$y = \frac{7,79968N}{1274,53 \text{ N/m}} = 0,0061196m$$

Por la aplicación seleccionamos un material inoxidable con un calibre igual a 1mm, La fórmula para calcular el esfuerzo último en resortes está dada por la ecuación 34.

**Ecuación 35 Esfuerzo último en resortes**

$$S_{ult} = \frac{A}{d^m} \quad \text{Ec. 34}$$

La constante A y m se encuentran en la tabla 18 de resultados experimentales para el material de acero inoxidable con un diámetro de 1mm.

**Tabla 28.**

*Constantes A y m de algunos materiales para resortes*

Constantes Ay m de Algunos Materiales para Resortes						Fuente
Material	ASTM	Exponente m	Diámetro d	A	Costo relativo	<b>[80]</b>
	Num	M	mm	Mpa*mm <sup>m</sup>		
Alambre de piano	A228	0,145	0,10 - 6,5	2211	2,6	
Alambre T y R en aceite	A229	0,187	0,5 - 12,7	1855	1,3	
Alambre trefilado duro	A227	0,190	0,7 - 12,7	1783	1,0	
Alambre al cromo vanadio	A232	0,168	0,8 - 11,1	2005	3,1	
Alambre al cromo silicio	A401	0,108	1,6 - 9,5	1974	4,0	
Alambre acero inoxidable 302	A313	0,146	0,3 - 2,5	1867	7,6 - 11	
		0,263	2,5 - 5	2065		
		0,478	5 - 10	2911		
Alambre bronce reforzado	B159	0	0,1 - 0,6	1000	8,0	
		0,028	0,6 - 2	913		
		0,064	2,7 - 5	932		

**Nota.** Propiedades de materiales para resortes para estimar esfuerzo ultimo  $S_{ult}$ . Tomado de: R. L. Norton, *Diseño de máquinas*, 4a. ed., México, Prentice Hall, 2014

$$A = 1867 \text{Mpa} * \text{mm}^m$$

$$m = 0.146$$

Como resultado de esfuerzo ultimo para el material con esta dimensión es de:

$$S_{ult} = \frac{1867 \text{Mpa} * \text{mm}^m}{1 \text{mm}^{0.146m}} = 1867 \text{Mpa}$$

El esfuerzo de fluencia se obtiene, usando el factor  $k_{ss} = 0,35$  el recomendado para dicho material según la teoría de la distorsión.

**Ecuación 36 Esfuerzo de fluencia**

$$S_y = k_{ss} * S_{ult} \tag{Ec. 35}$$

$$S_y = 0,35 * 1867 \text{Mpa} = 653,45 \text{MPa}$$

El diámetro del resorte para la aplicación es de 11,25 mm debido al diámetro de la esfera de bloqueo y al diámetro del conducto, seguido hallamos el índice del resorte.

$$C = \frac{D}{d} = \frac{11,25}{1mm} = 11,25$$

Para resortes se recomienda un índice entre  $4 \leq C \leq 12$ .

El factor de aumento de esfuerzo cortante de Bergsträsser  $K_B$ .

**Ecuación 37 Factor de aumento de esfuerzo cortante de Bergsträsser**

$$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3} \quad \text{Ec. 36}$$

$$K_B = \frac{4 * 11,25 + 2}{4 * 11,25 - 3} = 0,9791$$

El esfuerzo cortante se calculó por la ecuación 37.

**Ecuación 38 Esfuerzo cortante**

$$\tau_s = K_B \frac{8(1 + 0,15) * F * D}{\pi * d^3} \quad \text{Ec. 37}$$

$$\tau_s = 0,9791 \frac{8(1 + 0,15) * 7,79968N * 0,01125m}{\pi * (0,001m)^3} = 251,6077 MPa$$

Calculamos las espiras activas del resorte mediante la ecuación 38.

**Ecuación 39 Espiras activas**

$$Na = \frac{Gd^4y_i}{8D^3F_1} \quad \text{Ec. 38}$$

Considerando el dato faltante G el módulo de elasticidad en cortante

**Tabla 29.***Módulos de elasticidad*

Material ASTM núm	Módulo de cortante, G		Módulo en tensión, E		Fuente
	Psi	GPa	Psi	GPa	
Acero estirado en frío A227	11,5 x 10 <sup>6</sup>	79,3	28,6 x 10 <sup>6</sup>	197	<b>[80]</b>
Alambre para instrumentos musicales A228	11,85 x 10 <sup>6</sup>	81,7	29,0 x 10 <sup>6</sup>	200	
Templado en aceite A229	11,2 x 10 <sup>6</sup>	77,2	28,5 x 10 <sup>6</sup>	196	
Al cromo-vanadio: A-231	11,2 x 10 <sup>6</sup>	77,2	28,5 x 10 <sup>6</sup>	196	
Al cromo-silicio: A401	11,2 x 10 <sup>6</sup>	77,2	29,5 x 10 <sup>6</sup>	203	
Aceros inoxidables: A313					
Tipos 301, 304, 316	10,0 x 10 <sup>6</sup>	69,0	28,0 x 10 <sup>6</sup>	193	
Tipo 17-7 PH	10,5 x 10 <sup>6</sup>	72,4	29,5 x 10 <sup>6</sup>	203	
Latón de resortes: B134	5,0 x 10 <sup>6</sup>	34,5	15,5 x 10 <sup>6</sup>	103	
Bronce fosforado: B159	6,0 x 10 <sup>6</sup>	41,4	15,0 x 10 <sup>6</sup>	103	
Cobre al berilio: B197	7,0 x 10 <sup>6</sup>	48,3	17,0 x 10 <sup>6</sup>	117	
Monel y K-Monel	9,5 x 10 <sup>6</sup>	65,5	26,0 x 10 <sup>6</sup>	179	

**Nota.** Módulo de elasticidad en cortante (G) y en tensión (E) de alambres de resorte. Tomado de: R. L. Norton, *Diseño de máquinas*, 4a. ed., México, Prentice Hall, 2014

$$Na = \frac{69 * 10^9 pa * (0,001m)^4 * 0,00111961m}{8 * (11,25m)^3 * 7,79968N} = 4,7527$$

El número de espiras totales consiste en adicionar a las espiras activas las espiras de los extremos, de acuerdo a la ecuación 37, que para este caso son en escuadra para superficies planas, considerando los valores de espiras de acuerdo a sus extremos como se plantea en la tabla.

**Tabla 30.***Constante de espiras según sus extremos*

	Q	Q'	Fuente
Extremos sencillos	0	1	<b>[80]</b>
Extremos sencillos, esmerilados	1	1	
Extremos a escuadra o cerrados	2	3	
Extremos a escuadra y esmerilados	2	1	

**Nota.** Valores de Q de acuerdo al tipo de extremos de los resortes. Tomado de: R. L. Norton, *Diseño de máquinas*, 4a. ed., México, Prentice Hall, 2014

**Ecuación 40 Número de espiras totales**

$$N_t = Na + Q \quad \text{Ec. 39}$$

$$N_t = 4,7527 + 2 = 6,7527$$

Por último, se calcula la longitud del resorte sin cargas, mediante la ecuación 41.

**Ecuación 41 Longitud del resorte sin cargas**

$$L_s = (Na + Q) * d \quad \text{Ec. 41}$$

$$L_s = (4,7527 + 3) * 0,001m = 0,007752m$$

$$L_o = L_s + 1,15 * y = 0,007752m + 1,15 * 0,0061196m = 0,01479m$$

Con el resorte se garantiza que la presión necesaria en el interior debe ser siempre superior a la atmosférica para que el resorte inicie su compresión.

Una vez calculadas las propiedades del resorte se procede a buscar en catálogos comerciales una referencia que posea las mismas características, las principales que son la constante del resorte la longitud sin carga, el diámetro externo, el diámetro del alambre y que sea del mismo material, el resorte de la marca *lee springs* [81] que cumple con los parámetros es el LC 032FF 03 a continuación mediante la tabla se comparan los resultados de cálculos y las propiedades del resorte en el catálogo.

**Tabla 31.**

*Propiedades del resorte calculado y de catálogo*

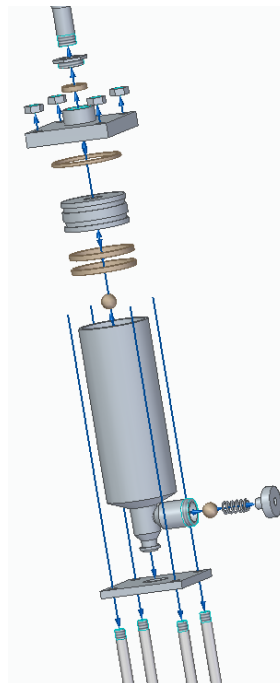
Propiedades	LC 032FF 03	Resorte calculado
Longitud sin carga (mm)	15,88	14,790
Constante (Kgf/mm)	0,149	0,129t9
Diámetro externo (mm)	11,1	11,25
Diámetro alambre (mm)	0,81	1
Material	Acero inoxidable	Acero inoxidable

**Nota.** Comparación de las propiedades calculadas del resorte con el catalogo

El resorte se encuentra en la camisa del pistón en el conducto horizontal debido a que se requiere de una carga para posicionar la esfera que hace de bloqueo en esta sección ya que por sí misma no logra posicionarse ni mantenerse en dicha posición, la otra esfera no requiere de pistón dado que la gravedad y la forma cónica permiten que se realice el bloqueo. En la figura 31 se presenta en forma general el conjunto del pistón que realiza el vacío en el sistema, las medidas de cada pieza se presentan en los planos anexos.

#### **Figura 46.**

*Ensamble pistón de vacío*



**Nota.** Representación para el ensamble del pistón

El resorte cumple la función de posicionar la esfera de bloqueo al momento de hacer succión con el pistón para de esta forma tener un flujo de aire en una dirección fuera del sistema, en caso de presentarse una sobre presión en el interior del sistema el resorte se acciona a la fuerza de la presión atmosférica en la dirección de compresión del resorte.

#### **4.3. Elección del material para el caucho**

Una de las consideraciones principales al elegir el elastómero en cualquier aplicación son: la resistencia a la abrasión, las capacidades dinámicas, resistencia

al desgaste mecánico, debido a que la resistencia a la abrasión es una de las características más importantes para la elección del caucho a emplear en la máquina se eligieron los elastómeros Nitrilo (NBR), Poliuretano (TPU) y Elastómeros de poliéster (TPC-ET / TPEE). [82]

#### **4.3.1. Nitrilo (NBR)**

Usado principalmente en procesos que requieran resistencia a aceites y solventes, en mangueras, líneas de combustible, juntas tóricas, juntas y sellos y las excelentes propiedades de resistencia a la abrasión del elastómero aumentan su idoneidad en estas áreas. [82]

#### **Aplicaciones:**

En el sector automotriz

- Producción de mangueras
- Sellos de junta tórica y membrana
- En el campo industrial
- Recubrimiento de rodillos de moldeo
- Tuberías hidráulicas
- Cintas transportadoras
- Juntas para sistemas hidráulicos.
- Sellado, especialmente para aceites y gasolina (hidrocarburos alifáticos y aromáticos).

#### **4.3.2. Copoliéster termoplásticos (TPC-ET)**

Es un elastómero de poliéster termoplástico, combina las ventajas de productos de caucho vulcanizado con la facilidad de transformación de los termoplásticos. Se basa en un elastómero termoplástico de éter-éster (TPC-ET) con segmentos duros de poliéster, tereftalado de polibutileno y segmentos blandos de poliéter, lo cual le brinda mejores características como:

- Mejores prestaciones mecánicas, especialmente en condiciones de mayor esfuerzo
- Excelente recuperación de forma,

- Equilibrio entre rigidez y propiedades a baja temperatura
- Estabilidad térmica resultante
- Excelentes capacidades de procesado

### **Aplicaciones:**

Al presentar un procesamiento fácil y económico es un material comúnmente usado en aplicaciones exigentes que requieren un alto rendimiento mecánico o debido a la temperatura de trabajo de las piezas.

- Piezas que requieren excelente resistencia a la flexión en un amplio rango de temperatura de uso.
- Aplicaciones de precisión.
- Botas de unión de velocidad constante, sellos de tapa de aceite y gas, conductos de aire, engranajes, artículos deportivos, etc.
- Conducto de aire y aguas, sellos, retenes, juntas, botas, cinturones, mangueras, cables clase T4/150°C, hidráulicas, cables espirales, alambres, diafragmas, válvulas, tapones, cierres, juntas, tapas de pestillos de puertas, conectores especiales, termoplásticas mangueras, barras de ajuste, monofilamentos para soporte de asientos y muchos otros tipos de productos
- Sector industrial: fabricar engranajes, cubiertas, poleas, cuerpos de válvulas de distribución y revestimientos de cables de bajo ruido.
- Mercado de bienes de consumo: utensilios de cocina, componentes de juguetes, válvulas para embalaje, equipos para el cuidado del cuerpo y en muchos otros.

[82]

### **4.3.3. Comparación de las alternativas**

Para un mejor análisis de las características de los materiales de caucho para la máquina se realizó la siguiente tabla comparativa:



**Tabla 32.**

*Comparación de las alternativas para la elección del caucho*

<b>Propiedades</b>	<b>Nitrilo (NBR)</b>	<b>Copoliéster termoplástico (TPC-ET)</b>
<b>Físico-Mecánicas</b>	Dureza de 20 hasta 95 ShA	Dureza de 25 Shore D hasta 72 Shore D
	Flexibilidad	Flexibilidad
	Resistencia a bajas temperaturas	Resiste el rasgado, al agrietamiento bajo flexión, abrasión y fatiga.
	Resistencia al envejecimiento por calor	Fácil procesamiento (moldeo por inyección, extrusión)
	Resistencia al clima y al ozono	Excelente resistencia a la fatiga por flexión
	Resistencia al aceite y la abrasión	Excelentes propiedades de barrera
	Resistencia a la compresión	Alta resistencia a la abrasión y al rasgado
	Resiliencia	Alta capacidad de carga
	Excelente adherencia al metal	Alta resistencia a impacto
	Adhesión a los metales	Resistencia y rigidez.
	Muy buenas propiedades mecánicas	Excelentes propiedades dinámicas
	Conjunto de compresión Buena / muy buena	Excelente estabilidad dimensional
	Buena resistencia al desgarro y abrasión	
	Adhesión a los metales: bueno a excelente	
<b>Térmicas</b>	Resistencia a los combustibles y aceites;	Rango de trabajo de 60°C a 135°C hasta 150°C (con estabilizadores de calor).
	Resistencia a bajas temperaturas del polímero.	Alto rendimiento a temperaturas extremadamente bajas,
	Excelente resistencia al calor, 120°C (límites superiores) y -55°C (límites inferiores).	manteniendo las propiedades mecánicas (resistencia al impacto) hasta -40 con picos de hasta -60 ° C.
	Temperatura de trabajo -40 a 130°C	fusión entre 150 ° C y 222° C
	A temperaturas por debajo de -29°C, es menos flexible.	Alta temperatura de uso continuo hasta 150°C
	Buena resistencia al calor y al envejecimiento.	Resistencia a picos de alta temperatura

**Tabla 32.** Continuación

<b>Eléctricas</b>	Semiconductor	Propiedades aislantes T
	No es adecuado para el aislamiento eléctrico.	Buenas propiedades de aislamiento eléctrico
	Conductividad eléctrica alta	Excelente resistencia a la tensión (CTI 600V)
<b>Químicas</b>	La resistencia a la hinchazón en aceites no polares, solventes, etc.	Excelente resistencia a productos derivados del petróleo y aceites minerales, un buen contacto con alcoholes, cetonas, hidrocarburos aromáticos y con un ácido no agresivo.
	Menos permeables a los gases	No resiste a el contacto con ácidos fuertes
	Excelente resistencia en presencia de gas (metano, gpl, butano, propano), buena resistencia a los aceites y grasas minerales, animales, vegetales, silicónicos, hidráulicos, hidrocarburos alifáticos, solventes no polares , líquidos no inflamables	Buena resistencia a productos químicos y a la intemperie
	resistencia a los aceites minerales y grasas incluso a bajas temperaturas.	Excepcional resistencia químicas, aceites y grasas
	Muy buena resistencia a los solventes	Baja absorción de humedad
	Excelente resistencia a la abrasión	

**Nota.** Tabla comparativa de las características de diferentes tipos de caucho para la selección del material. Tomando datos de: Mexpolimeros, (s.f.), “¿Qué elastómero ofrece la mejor resistencia a la abrasión?”, [En línea]. <https://www.mexpolimeros.com/qu%C3%A9%20elast%C3%B3mero%20ofrece%20a%20mejor%20resistencia%20a%20la%20abraci%C3%B3n.html>

Tras comparar las opciones de caucho con mejor resistencia al agua marina se establece el Copoliéster termoplástico (TPC-ET) como la opción que mejores cualidades y se adapta a las condiciones de uso de la máquina siendo un material resistente a las condiciones de salinidad del agua marina.

El caucho está presente en diferentes partes de la máquina:

- Unión del tanque de calentamiento y la tapa: El Copoliéster soporta altas

temperaturas y largas jornadas de trabajo con temperaturas de hasta 222°C, siendo ideal para la creación de un sello de vacío para mantener la presión al interior del tanque.

- Las ranuras del émbolo y la unión de la boquilla de la tapa y el pistón: Debido a que el pistón maneja aceites lubricantes la resistencia a desgaste y a aceites es un factor necesario a considerar.
- Entre el condensador y el contenedor de condensado: La resistencia y baja absorción de la humedad permiten que el caucho no contamine ni se vea afectado en el proceso.

#### **4.4. Elección del material para los componentes metálicos**

Elegir el material adecuado requiere reconocer la aplicación que se le va a dar, especificando la satisfacción de las necesidades, aptitud para el diseño, manufactura y montaje, partiendo de la etapa conceptual identificando los posibles materiales a emplear y sus características. [83]

Las condiciones ambientales en el municipio junto con el carácter corrosivo del agua salada son las principales limitantes para la elección del material en la máquina. El medio marino en el municipio hace del ambiente de trabajo uno agresivo para la mayoría de los materiales: metales, madera, plásticos, entre otros, aumentando los costos de mantenimiento y reduciendo la vida útil de los procesos. Los materiales con “calidad marina” presentan mejores rendimientos ya que su calidad ha sido comprobada, materiales como el acero inoxidable y aleaciones de aluminio tienen un comportamiento ideal en medio hostil, como el marino. [84]

El aluminio y el acero son las opciones con mejor resistencia para la máquina, seguidamente es necesario considerar las características termodinámicas puesto que el proceso requiere de un material con alta capacidad conductiva para lograr un proceso de calentamiento en el tanque principal mucho más rápido y el equilibrio térmico con el ambiente para el cambio de fase en el condensador, de esta manera se determinó el uso de aluminio como materia prima para los elementos metálicos, teniendo en cuenta la necesidad de elegir la aleación adecuada para evitar la formación de una película de óxido.

Se determina el uso de una aleación de aluminio debido a que la unión de diferentes proporciones de otros metales le da al aluminio mejores propiedades, permitiendo su adaptación a diferentes medios dándole múltiples usos.

Se estableció el aluminio 6061 como material para la construcción de la máquina, debido a la composición de elementos que presenta [85] [86], los cuales dan una excelente resistencia a la corrosión y acabado además de brindar facilidad de soldadura y resistencia similar a la del acero. Convierten al acero 6061 en una aleación popular con buena facilidad de maquinado.

**Tabla 33.**

*Influencia de los elementos de aleación en el aluminio 6061*

<b>Elemento</b>	<b>Proporción</b>	<b>Influencia</b>
Cobre	0,15 a 0,4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la dureza</li> <li>• Aumenta la resistencia a la tracción</li> <li>• Respuesta más efectiva al tratamiento térmico</li> </ul>
Hierro	0 a 0,7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insoluble a temperatura ambiente</li> <li>• Mejora la resistencia al agrietamiento</li> <li>• Resistencia a altas temperaturas</li> <li>• Aumenta la resistencia mecánica</li> </ul>
Manganeso	0 a 0,15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor resistencia mecánica</li> <li>• Evita la formación de cristales</li> </ul>
Magnesio	0,8 a 1,2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora la resistencia</li> <li>• Mejora la dureza</li> <li>• Acabado superficial brillante</li> <li>• Buena resistencia a la corrosión</li> <li>• Excelente combinación entre resistencia y ductilidad.</li> </ul>

**Tabla 33.** Continuación

Silicio	0,4 a 0,8	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mejora las características del colado</li><li>• Resistencia al agrietamiento</li><li>• Alta velocidad de enfriamiento</li><li>• Menor densidad</li><li>• Menor coeficiente de expansión térmica</li></ul>
Titanio	0 a 0,15	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reduce la tendencia al agrietamiento</li></ul>
Zinc	0 a 0,25	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mejor respuesta al endurecimiento por tratamiento térmico o natural</li></ul>
Cromo	0,04 a 0,35	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aumenta la dureza</li><li>• Aumenta la resistencia a la oxidación</li><li>• Mejora la resistencia al desgaste</li><li>• Resistente a altas temperaturas</li><li>• Alta ductilidad</li></ul>

**Nota.** Elementos que componen el aluminio 6061 y las propiedades mecánicas y químicas que brindan. Tomado de: A. Echavarría V., “Metalurgia básica de algunas aleaciones de aluminio extruidas o laminadas”, *Universidad de Antioquia*, Colombia, [En línea]. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/materiales/article/view/11281> y Plansee, (s.f.). “Cátodos para sputtering te aluminio-cromo”. [En línea]. <https://www.plansee.com/es/productos/materiales-para-pelicula-fina/catodos-para-sputtering-y-catodos-de-arco/aluminio-cromo.htm>

Los elementos en la aleación de aluminio 6061 le conceden propiedades mecánicas y características ideales para su implementación en máquinas expuestas a ambientes marinos con gran versatilidad, ofrece buenas propiedades mecánicas y para su uso en soldaduras y durabilidad ante el desgaste tal como se muestra en las tablas.

**Tabla 34.***Propiedades mecánicas del aluminio 6061-T6*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fuente</b>
Densidad	2712,000	kg / m <sup>3</sup>	[77]
Coefficiente de expansión térmica	0,000	1/°C	[77]
Conductividad térmica	0,180	kW/m°C	[77]
Calor específico	920,000	J/kg°C	[77]
Módulo de elasticidad	68947,570	MPa	[77]
Coefficiente de Poisson	0,330	-	[77]
Límite elástico	275,790	MPa	[77]
Tensión de rotura	310,264	MPa	[77]
% de elongación	0	%	[77]

**Nota.** Propiedades mecánicas del aluminio 6061-T6 con base en el software Solid Edge, ST9. [XML], Online, Siemens, 2019

*Propiedades tecnológicas del aluminio 6061*

**Tabla 35.**

<b>Propiedades tecnológicas</b>		<b>Fuente</b>
Soldabilidad		[87]
Electro Beam	Muy buena	
Gas inerte	Buena	
Por resistencia	Buena	
Brazing	Buena	
Maquinabilidad		[87]
Corte de viruta	Aceptable	
Brillo de superficie mecanizada	Muy buena	
Resistencia a la corrosión		[87]
Agentes atmosféricos	Muy buena	
Ambiente marino	Buena	
Anodizado		[87]
Protección	Muy bueno	
Brillante	Aceptable	
Duro	Muy bueno	

**Nota.** Propiedades tecnológicas del aluminio 6061. Tomado de: Aluminios y metales Unicornio. (s.f.). "Aluminio 6061". México, [En línea]. <http://www.aluminiosymetalesunicornio.com.mx/6061.html>

Gracias a la composición el aluminio presenta diversos usos como: En los moldes de inyección y soplado, construcción de estructuras de aeronaves, en refacciones industriales, en la construcción de yates, pequeñas embarcaciones, en piezas de automóviles, en la manufactura de latas de aluminio para el empaquetado de comida y bebidas. **[87]**

El aluminio 6061 tiene diferentes tipos de presentaciones siendo escogida para la manufactura de la máquina la forma templada 6061-T6 empleado comúnmente para la elaboración de piezas maquinadas para trabajos que requieren buen acabado superficial.

#### **4.5. Elección del material para las manijas**

Las manijas del tanque de calentamiento pretenden facilitar el agarre, la protección del calor y ergonomía para facilitar el uso y disposición del tanque, por lo cual es necesario elegir un material que reduzca la transferencia de calor y sea resistente en relación al tamaño y peso del tanque; el material comúnmente empleado es la Baquelita. **[88]**

La Baquelita es un polímero sintético termoestable que se puede fundir y moldear varias veces, cuenta con excelentes propiedades de aislamiento para aplicaciones electromecánicas, siendo resistente al agua, al aceite y a la corrosión, es fácilmente mecanizable y resiste temperaturas de hasta 150°C siendo así el material ideal para el manillar en el tanque de calentamiento. **[88]**



**Tabla 36.**

*Propiedades mecánicas de la Baquelita*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fuente</b>
Gravedad específica	1,5	g/cm <sup>3</sup>	[88]
Máxima temperatura de servicio	150	°C	[88]
Resistencia química al agua	Excelente		[88]
Resistencia química al aceite	Excelente		[88]

**Nota.** Ficha técnica de la Baquelita, Corporación Emacin. Tomado de: Plexcor, (s.f.), “Aislamiento electromecánico baquelita” Disponible: <https://www.emacin.com.pe/pdf/Ficha-tecnica-Baquelita.pdf>

## **4.6. Manual de operación**

### **4.6.1. Instalación, Mantenimiento y Operación**

Se realizó el manual que se encuentra en los anexos, contiene el instructivo paso a paso con ilustraciones del ensamble de los diferentes conjuntos y notas para tener en cuenta para realizar el ensamble, además se da guía de lo necesario para un correcto mantenimiento, y los cuidados para la operación tanto tiempos de trabajo por proceso como capacidad de la máquina.

## **4.7. Vida útil del equipo**

La estimación de la vida útil de la máquina analiza diferentes parámetros de uso y condiciones de trabajo tanto ambientales como de los componentes:

- **Horas máximas de uso diario**

Las horas planteadas para el trabajo de la máquina se estiman en 12 horas de trabajo continuo, dependiendo de la cantidad de agua que requiera consumir el usuario.

- **Condiciones de operación**

Los factores ambientales y modos de uso a los que el usuario someta la máquina afectan considerablemente la eficiencia y durabilidad de la máquina en óptimas condiciones, no obstante, al momento de plantear el diseño y

materiales de la máquina se tuvo en cuenta la implementación de un diseño con poco requerimiento técnico resistente a condiciones de uso adversas.

- Durabilidad del material

La duración de los materiales permite aproximar la vida útil de los materiales de 7 a 10 años en un proceso de uso continuo, adicionalmente en el manual de operación y mantenimiento se plantean los diferentes tipos de falla junto con los protocolos correspondientes para mantener y prolongar la vida útil de la máquina **[89]**

- Ciclos de limpieza

La máquina debe permanecer limpia antes de cada uso por lo cual se ha de desechar la salmuera separada entre cada ciclo de proceso, lavando cada tanque una a dos veces al día; teniendo en cuenta lo anterior se estima la cantidad de ciclos de limpieza que llega a resistir la máquina, de acuerdo con la marca Warenhaus la duración estimada es hasta un máximo de 5 mil ciclos de lavado, al realizar un lavado de manera que de acuerdo a los ciclos de limpieza el tiempo de vida útil de la máquina oscila entre 7 a 13 años. **[90]**

Con base en lo anterior se demuestra que la vida útil de la máquina se encuentra limitada por la durabilidad de los materiales, el tratamiento y mantenimiento adecuado que el usuario de en cada ciclo de proceso, siendo el rango de utilidad estimado de la máquina desde 7 hasta 10 años.

## 5. ANÁLISIS FINANCIERO Y RECOMENDACIONES PARA DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL

### 5.1 Análisis financiero

Inicialmente se realiza el costeo relacionado directamente con la construcción del prototipo, teniendo en cuenta la mano de obra, materiales/ materia prima y demás elementos necesarios para la construcción de la máquina; así establecer la viabilidad del proyecto. Se contemplan los ahorros económicos, deducibles del apoyo en los que incurre el estado o entidades encargadas actualmente del suministro de agua potable al municipio de La Tola, con el fin de establecer la viabilidad financiera del proyecto.

#### 5.1.1. Estudio de costos

Para el estudio de costos son considerados los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto.

#### 5.1.2. Costos de ingeniería

Los costos de ingeniería del proyecto se refieren a la cantidad de horas utilizadas por los investigadores, junto con el valor unitario de cada hora de trabajo, los gastos que se requieren de transporte y análisis poblacional. Siendo los costos en su mayoría asumidos por los investigadores en las etapas de formulación y diseño del proyecto.

**Tabla 37.**

*Costos ingeniería del proyecto*

ÍTEMS	Unidad	\$ /unidad	Cantidad	TOTAL	FUENTE FINANCIERA
<b>Talento Humano</b>					
Investigador 1	Hora hombre	\$ 10.000	450	\$4.500.000	RECURSOS PROPIOS
Investigador 2	Hora hombre	\$ 10.000	450	\$4.500.000	RECURSOS PROPIOS
Asesor técnico	Hora hombre	\$ 30.400	30	\$912.000	UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
Asesor metodológico	Hora hombre	\$ 30.400	30	\$912.000	UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

**Tabla 37.** Continuación

<b>Total Talento Humano</b>				<b>\$10.824.000</b>	
<b>Gastos Maquinaria y Equipo</b>					
Computador	Hora	\$ 2.500	900	\$ 2.250.000	RECURSOS PROPIOS
Software	Hora	\$ 14.320	50	\$ 716.000	RECURSOS PROPIOS
<b>Total Maquinaria y equipo</b>				<b>\$2.966.000</b>	
<b>Fungibles</b>					
Libros	Unidad	\$ 100.000	5	\$ 500.000	RECURSOS PROPIOS
Papel	Resma	\$ 10.000	0,5	\$ 5.000	RECURSOS PROPIOS
Tinta	Tóner	\$ 80.000	2	\$ 160.000	RECURSOS PROPIOS
<b>Total Fungibles</b>				<b>\$665.000</b>	
<b>Otros gastos</b>					
Viajes	Pasajes	\$ 140.640	150	\$ 21.096.000	RECURSOS PROPIOS
Encuestas	Encuesta	\$ 43.000	3428,4	\$147.421.200	RECURSOS PROPIOS
<b>Total Otros gastos</b>				<b>\$168.517.200</b>	
<b>Total antes de imprevistos</b>				<b>\$182.972.200</b>	
Imprevistos (x-x%)	5%		\$9.148.610		RECURSOS PROPIOS
<b>COSTO INGENIERIA DEL PROYECTO</b>				<b>\$192.120.810</b>	

**Nota.** Costos preliminares de ingeniería del proyecto, referentes a la planeación y análisis de gastos.

Los costos de ingeniería incluyen un costo por encuesta que de acuerdo con Álvaro Delgado [91] el costo máximo por encuesta que una empresa estima es de \$43000 cop, por lo cual se decide considerar realizar encuestas al 40% de la población con el fin de tener mayor claridad respecto a la posición de la población para la implementación de la máquina desalinizadora.

### **5.1.3. Costos de fabricación**

Los costos de los componentes de la máquina se realizan de acorde a los valores comerciales, especificando el valor de los componentes necesarios para la fabricación de la maquina desalinizadora.

Los costos presentados en esta sección se basaron en estimaciones realizadas en colaboración con la empresa Gocitex S.A.S. mediante la ingeniera química Helena Gómez Cifuentes, de esta manera mediante la tabla presentada a

continuación se evidencia el costo de fabricación del prototipo de la máquina, por lo que para su fabricación en masa los precios varían. [92]

**Tabla 38.**

*Costos de fabricación prototipo*

<b>Ítems</b>	<b>Costo</b>
Pistón	\$ 262.000
Tanque de calentamiento	\$ 180.000
torno 2h	\$ 53.000
fresa 8h	\$ 256.000
placa de aluminio de 3x(4in*1/2in*500mm)	\$ 138.000
soldador 2h	\$ 45.000
Tubo	\$ 80.000
Tanque	\$ 190.000
Sello de caucho (21x29X2,5)	\$ 59.000
Mano de obra	\$ 227.132
<b>Costo fabricación prototipo</b>	<b>\$ 1.490.132</b>

**Nota.** Costos referentes a la fabricación de y ensamble del prototipo, tomando como referentes los costos de la empresa Gocitex. Tomado de: H. Gómez, “cotización” Gocitex SAS, Email personal (noviembre 13, 2020)

#### **5.1.4. Inversión**

El proyecto es de naturaleza social cuyo objetivo es facilitar al estado colombiano el cumplimiento de sus funciones respecto a la satisfacción y suministro de las mínimas condiciones de vida para los ciudadanos, en este caso del municipio de La Tola, permitiendo el acceso de la población a un servicio público, como lo es el agua potable, cumpliendo con el artículo 365 de la constitución política de 1991 [93] por lo cual la disposición, entrega y financiación de la maquina desalinizadora a la población será financiada en su totalidad por parte del estado

Debido al carácter de estado social de derecho, el gobierno siendo un ente administrador, su naturaleza no está en generar ganancias sino brindar servicio, de manera que la disposición de las máquinas se hace sin fines de lucro. El proyecto plantea el trabajo conjunto con la alcaldía y demás entes gubernamentales de manera que sea factible y se facilite el acceso a agua potable a la población del

municipio

### 5.1.5. Comparación de alternativas

El proyecto se plantea para suministrar un servicio en trabajo conjunto con el gobierno dando acceso al agua potable, de manera que se hace necesario comparar los costos de implementación con las alternativas existentes hasta el momento.

Una de las alternativas a corto plazo es el abastecimiento de agua mediante carro tanques, considerando la cantidad de agua necesaria para el total de la población, de 8 571 habitantes [11], asumiendo el suministro de 2 litros diarios de agua por habitante se determinó que el volumen mínimo de agua potable para el municipio es de 17,034 m<sup>3</sup> al día, tal como se muestra en la tabla 39.

**Tabla 39.**

*Estimación volumen de agua potable diario necesario para el municipio de La Tola*

Población de la Tola	8517	Habitantes
Litros por persona	2	L
Litros totales	17034	L
m <sup>3</sup> totales	17,034	m <sup>3</sup>

**Nota.** Resultado volumen de agua potable diario necesario para abastecer a la población en el municipio de La Tola.

Tomando como referencia los cálculos estimados por Blanco Y. [94] se elaboró un aproximado del costo anual para el municipio, tomando el volumen mensual de agua necesario, como se evidencia en la tabla 40, el costo anual corresponde a \$42301707 cop.

**Tabla 40.**

*Costo anual suministro de agua potable para el municipio de La Tola, mediante carro tanques*

Descripción	Cantidad	unidad	costo unitario/ mensual	Costo total/mensual
Personal	2	unidad	\$ 1.000.000	\$ 2.000.000
Combustible	4	gal	\$ 9.263	\$ 37.052
Agua	511,02	m <sup>3</sup>	\$ 2.912	\$ 1.488.090
			<b>TOTAL</b>	\$ 3.525.142
			<b>TOTAL AÑO</b>	\$ 42.301.707

**Nota.** Calculo costos para el suministro de agua mediante carro tanques para el municipio de La Tola

Actualmente el gobierno adelanta un proyecto destinado a llevar por primera vez energía eléctrica, agua potable y saneamiento básico para municipios PDET en 6 departamentos, con un valor de \$69 mil millones de pesos, que a su vez no incluye entre las propuestas brindar el servicio de acueducto al municipio de La Tola, pero si el aumento de suministro eléctrico [95].

Por lo anterior se investigaron los costos aproximados necesarios para suministrar adecuadamente el servicio de acueducto y agua potable a un sector de 10 o más predios que cuenta con una red de acueducto aledaña [96], como se presenta en la tabla 39, por lo que es necesario reconocer que en el caso del municipio de La Tola el costo de instalación de la red de acueducto implicaría mayores costos por la ubicación y la falta de vías de acceso a redes de acueducto cercanas.

**Tabla 41.***Licitación sistema de acueducto*

<b>Objetivo del proceso</b>	<b>Presupuesto oficial</b>
Renovación sistema entrada y salida (...)	\$ 390.000.000
Interventoría integral de los estudios y diseños para el traslado de redes de acueducto y alcantarillado (...)	\$ 688.992.887
Suministro de tubería ya accesorios en PVC y otras resinas para acueducto y alcantarillado, incluye: ductos de otros servicios y tubería y accesorios en polietileno para redes y acometidas de acueducto (...)	\$ 1.600.000.000
Interventoría a los diseños para la renovación de las estaciones de bombeo de acueducto (...)	\$ 169.000.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2.847.992.887</b>

**Nota.** Sistema integrado de licitaciones, contratación y compras, Licitación 001 del 2019. Tomado de: Acueducto, “Sistema integrado de Licitaciones, Contratación y compras” Bogotá, Colombia, 2016, [En línea]. Disponible: <https://www.acueducto.com.co/waspre/SILWeb/publicsil.html>

Adicionalmente; es necesario considerar que la prestación del servicio requiere de la conexión a la red para cada domicilio y del mantenimiento, que se debe hacer a la red por parte de los entes gubernamentales y prestadores de servicios [97]. Por lo que el valor suministrado en la tabla 39 incrementa para cada vivienda, de manera que se considera la cantidad de viviendas en el municipio [14] tal como se muestra en la tabla 42.



**Tabla 42.***Costos de conexión de un sistema de acueducto*

Proceso	Valor aproximado
<b>Conexión vía en recebo de tierra</b>	
Mano de obra, transporte materiales y equipos	\$ 396.470
Accesorios tubería, registros, corte e incorporación con acople, collar de derivación, cinta teflón	\$ 72.840
Cajilla no reciclable con tapa y marco	\$ 174.190
<b>Total Conexión vía en recebo de tierra por vivienda</b>	\$ 643.500
Viviendas en el municipio de La Tola	1335
Total Conexión vía en recebo de tierra para el municipio	\$ 859.072.500
Sistema de acueducto	\$ 2.847.992.887
<b>TOTAL</b>	\$ 3.707.065.387

**Nota.** Costos de acuerdo al Acueducto para la conexión municipal de un sistema de acueducto. Tomado de: Acueducto, “Resolución N° 0303” Bogotá, Colombia, 26, mar, 2018. [PDF]. Disponible: [https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/resoluciones/16\\_08\\_19/2018\\_Res\\_Res\\_0303\\_Costos\\_Conex.pdf](https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/resoluciones/16_08_19/2018_Res_Res_0303_Costos_Conex.pdf)

La máquina desalinizadora presenta ventaja competitiva ante las demás opciones presentadas, la tabla 42 muestra los costos que tendría cada vivienda o núcleo familiar anualmente en cuanto al uso continuo de la máquina para suplir la necesidad de agua potable, considerando el costo de energía eléctrica por el uso de la máquina y los costos de combustible para un desplazamiento de 30 km desde el municipio a la costa.

**Tabla 43.***Costo del uso de la máquina por año*

Carácter	Valor	Fuente
Número de viviendas	1335	[14]
Costo energía eléctrica (año)	\$1.016.308	[73]
Costos asociados por desplazamiento	\$240.386	[98] [99]

**Nota.** Compilación de costos respectivos al uso anual de la máquina

Por lo anterior con base a la tabla 42 se evidencia que de las alternativas para el sector gubernamental la implementación y compra de la máquina presentada en este proyecto es una opción que permitirá el suministro de agua para consumo a corto plazo con una única inversión, sin la necesidad de un mantenimiento

sofisticado o costoso ya que no requiere de intervención externa ni continua, como en el caso de los carro tanques; tan solo requiere del servicio de electricidad ya presente en el municipio y la cercanía al agua de mar; por otro lado, al compararla con el proyecto de alcantarillado los tiempos de implementación son menores ya que no necesita de adecuación ni obra civil.

**Tabla 44.**

*Comparación costo anual por vivienda*

<b>Alternativas</b>	<b>Costo</b>	<b>Costo por vivienda</b>
Carro tanque	\$42.301.707	\$31.687
Acueducto	\$3.707.065.387	\$2.776.828
Máquina desalinizadora	\$1.490.132	\$2.746.826

**Nota.** Comparación de costos de las alternativas para el suministro anual de agua potable al municipio de La Tola

#### **5.1.6. Análisis costo beneficio**

Para un completo estudio de las implicaciones económicas de las soluciones para la población del municipio se realizó el análisis de costo beneficio para decidir la opción más rentable. Demostrar la viabilidad y competitividad económica de la máquina frente a la implementación de un sistema de acueducto exponiendo las razones por las que llevar a cabo el proyecto en el municipio.

El análisis costo beneficio de la máquina se realizó evaluando el costo de la implementación y costo energético de la máquina en todas las viviendas del municipio [14] durante un año y compararlo con el costo anual de la implementación de un carro tanque [94] y la implementación de un acueducto (teniendo en cuenta que el valor se estima considerando un mantenimiento anual del sistema) [97] tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 45.***Análisis de la máquina desalinizadora frente a las alternativas*

Servicio a comparar	Implementación de acueducto	Carro tanque
Ahorro	\$ 3.222.286.662	\$ 1.903.480
Valor del servicio	\$ 484.778.725	\$ 40.398.227
Relación beneficio costo	6,6	0,047

**Nota.** Análisis costo beneficio de la máquina desalinizadora ante las alternativas

Como se ha mencionado anteriormente el municipio no recibe apoyo gubernamental empleando sus propios medios para la recolección de agua potable [13], inicialmente se considera como solución a corto plazo la implementación de carro tanques que lleven el agua suficiente para repartirla a la población, las vías de acceso y distancias del municipio respecto a otros con las capacidades de suministrar el agua y los carrotanques no son las adecuadas requiriendo para ello la adecuación de las principales vías terrestres, es por esto que aunque al comparar lo con el uso de la máquina los costos de implementar la maquina en todas las viviendas del municipio la presenta una relación costo beneficio inferior a 1, el costo de manejar carrotanques ha de considerar la adecuación de vías de acceso siendo así un plan de desarrollo territorial con un mayor costo.

La relación costo beneficio de la máquina comparada con la implementación de un sistema de acueducto presenta una relación superior a 1 debido a que el costo de establecer una red de acueducto es más costosa y demandante.

Al comparar las alternativas se pretende que la opción más factible sea económica y duradera sin la necesidad de demandar gran cantidad de recursos ni infraestructura, por lo cual el uso de carro tanques es descartada al necesitar de mantenimiento y una constante supervisión por parte de las organizaciones prestadoras de servicio, de igual forma el establecer una red de acueducto es una solución a largo plazo que requerirá mayor cantidad de recursos, infraestructura y mano de obra por lo que se requiere de una alternativa adicional que supla las necesidades del municipio durante la construcción.

La máquina ofrece una solución rápida y duradera con la cual la población del municipio es independiente de los entes gubernamentales puesto que por sí misma

podrá proporcionar los recursos para la ejecución del proceso.

## **5.2. Impacto ambiental**

Evaluar el impacto ambiental es una actividad preventiva de gestión ambiental, basado en la identificación y valoración anticipada de las consecuencias ambientales, actualmente todo sector productivo ha de regular su impacto ambiental, procurando afectar mínimamente el entorno del proceso y usuario.

Para la máquina desalinizadora planteada anteriormente, mediante un sistema de vacío manual y una resistencia eléctrica se pretende dar a la población agua apta para consumo, junto con la facilidad de manipulación por parte del usuario y la reducción en costos en cuanto al tratamiento de agua para consumo humano, analizando desde el marco teórico hasta la elección y dimensionamiento de la máquina.

### **5.2.1. Prácticas generales**

La máquina desalinizadora emplea agua marina o salobre (con un bajo contenido de sales disueltas), generando como producto de desecho salmuera, este producto puede ser regresado al mar, puesto que tiene los mismos iones que anteriormente se le habían extraído, sin embargo, aumenta la concentración salina del mar entre 1,6 y 2,5. [100].

### **5.2.2. Efecto en los organismos marinos**

La vida marina se encuentra en equilibrio osmótico con su ambiente, su sensibilidad ante los incrementos de salinidad varía de acuerdo con la especie, algunas de las cuales se adaptan mejor al aumento de salinidad; una de las especies más importantes para la vida marina es la Posidonia oceánica, organismo fundamental que conforma las praderas marinas, hábitat de varias especies y encargadas de la oxigenación del agua, cuya sensibilidad ante el medio salino se percibe en concentraciones cercanas a 38,4 y 39,8 g/L, presentando reducción en su tamaño y abundancia, por lo cual afectan considerablemente la dinámica de la vida marina. [101].

### **5.2.3. Aspectos ambientales**

Identifica los cambios en aspectos ambientales, el cambio en el entorno ya sea favorable o desfavorable resultado de la implementación de la máquina desalinizadora y su operación por parte de la población en el municipio de La Tola.

5.2.3.i. Evaluación de los aspectos ambientales. Para la evaluación de los aspectos ambientales se determinan los aspectos, cuantificados en la etapa de tratamiento de los residuos producidos, debido a que es el proceso que mayor impacto ambiental genera, es el desecho de la salmuera para cada proceso, estudiando su impacto ambiental en el municipio, de acuerdo con la concentración salina puede llegar a contaminar el ambiente.

- **Impacto de la descarga de salmuera en el agua marina:** El efecto de la descarga de la salmuera, responde a la combinación de las condiciones oceanográficas (profundidad, temperatura, recarga natural de agua, entre otras) del lugar como a la calidad, cantidad y frecuencia del vertido. La descarga de la salmuera en la a temperaturas de 10 a 15°C por encima de la temperatura del agua receptora pueden elevar la temperatura marina entre 0,1 a 0,5°C dentro de un radio de 7 km<sup>2</sup>, en la mayoría de los casos el efecto por el incremento de temperatura es mínimo y efímero dependiendo de la zona, por lo que el efecto de la temperatura de desecho de salmuera en la costa Pacífica es imperceptible. **[102]**
- **Impacto sobre organismos marinos:** Es posible que la descarga de salmuera en zonas de poca profundidad provoque la desaparición de determinados organismos, remplazándolos con organismos mejor adaptados a situaciones de estrés, por lo que la biodiversidad y estructura de la fauna; es posible la reducción de poliquetos, del mismo modo la flora marina se reduce, especialmente poblaciones de posidonia oceánica, cuya importancia radica en la protección oceánica al retener los sedimentos y su uso como hábitat; el incremento de la salinidad interfiere en el proceso de fotosíntesis, específicamente en el metabolismo del nitrógeno y carbono. **[102]**

5.2.3.ii. Valoración cuantitativa del impacto ambiental. Con el fin de establecer el impacto ambiental mediante la generación de magnitudes representativas, con la

transformación de factores ambientales, indicadores, unidad de medida y su magnitud; se analizará el impacto neto del proyecto en el medio ambiente.

#### 5.2.4. Matriz de importancia

Con la matriz de importancia se puede evaluar el grado de incidencia o intensidad de las alteraciones producidas en el ambiente y sus repercusiones, para ello se emplea la matriz de importancia con la metodología CONESA, representada en la tabla 29, evaluando así las mayores fuentes de impacto ambiental que puede ocasionar la implementación del proyecto de acuerdo a la tabla 30:

**Tabla 46.**

*Matriz de importancia ambiental (Metodología CONESA)*

NATURALEZA		INTENSIDAD (I) ( Grado de destrucción)	
Impacto beneficioso	+	Baja	1
Impacto perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
		Total	12
EXTENSION (EX) (Area de influencia)		MOMENTO (MO) (Plazo de manifestación)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Local	2	Medio plazo	2
Extenso	4	Corto plazo	4
Total	8	Inmediato	4
Crítica	(+4)	Critico	(+4)
PERSISTENCIA (PE) (Permanencia del efecto)		REVERSIBILIDAD (RV)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
SINERGIA (SI) (Regularidad de manifestación)		ACUMULACION (AC) (Incremento progresivo)	
Sin sinergismo	1	simple	1
Sinérgico	2	acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
EFEECTO (EF) (Relación causa – efecto)		PERIÓDICIDAD (PR) (Regularidad de la manifestación)	
Indirecto (secundario)	1	Irregular o periódico y discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
RECUPERABILIDAD (MC) (Reconstrucción por medios humanos)		IMPORTANCIA (I)	
Recuperable de manera inmediata	1	$I = +/- (3 I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$	
Recuperable a medio plazo	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		

**Nota.** Estructura general, guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Tomado de: V. Fernández, “Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental” Madrid, España, 1993, [PDF]. Disponible: <http://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/1613/Asignaturas/1818/Archivo1.5036.pdf>

**Tabla 47.**

*Importancia ambiental*

Importancia Ambiental del Impacto (IAI)	Variación
Irrelevante	Si es menor o igual a 25
Moderada	Si el resultado está entre 26 y 50
Severa	Si el resultado está entre 51 y 75
Crítica	Si es mayor a 76

**Nota.** Diseño de una máquina mezcladora, automática, de materias primas para la elaboración de jabones líquidos, suavizantes y desengrasantes industriales, para la empresa químicos zorel, Importancia ambiental. Tomado de: J. Rincón Guerrero, *Diseño de una máquina mezcladora, automática, de materias primas para la elaboración de jabones líquidos, suavizantes y desengrasantes industriales, para la empresa químicos zorel*, tesis pre. Facultad de ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia, 2017, Disponible: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6501/1/4111332-2017-2-IM.pdf>

**5.2.5. Matriz CONESA**

Tras identificar los impactos significativos que pueden llegar a presentarse durante la ejecución del proyecto, se elabora la evaluación correspondiente al impacto ambiental mediante una matriz CONESA, tabla 31, como se muestra a continuación.

**Tabla 48.**

*Matriz CONESA maquina desalinizadora*

Matriz de calificación de impactos ambientales maquina desalinizadora de agua marina															
Proceso/ actividad	Aspecto ambiental	Impacto Ambiental	Calificación												Relevancia del impacto ambiental
			Signo	Intensidad (I)	Extensión (EX)	Momento (MO)	Persistencia (PE)	Reversibilidad (RV)	Recuperabilidad (MC)	Sinergia (SI)	Acumulación (AC)	Efecto (EF)	Periodicidad (PR)	Importancia	
Desalinización del agua marina mediante un sistema de vacío	Generación de Líquidos no peligrosos con alta carga salina (superior al 5%)	Activación de procesos erosivos	-	4	1	1	2	1	1	1	4	4	1	29	Moderada
		Alteración propiedades del agua	-	2	1	2	2	2	1	1	4	4	1	25	Irrelevante
		Calidad de vida de la población	+	12	2	4	4	1	1	1	1	4	4	60	Severa
		Alteraciones a la Fauna	-	4	1	2	2	2	2	2	4	1	2	31	Moderada
		Alteraciones a la flora	-	4	1	2	2	2	2	2	4	1	2	31	Moderada
		Uso de energía eléctrica	variación en los costos y uso del servicio eléctrico	-	2	1	4	2	1	1	1	1	4	1	23
	Contaminación de ecosistemas terrestres		-	2	1	2	2	2	4	1	4	4	1	28	Moderada
Contaminación por residuos de la máquina	Contaminación por metales		-	4	1	1	2	2	2	1	4	4	1	31	Moderada
	Contaminación por aislante		-	4	1	1	2	2	2	1	4	4	1	31	Moderada

**Nota.** Matriz de calificación de impactos ambientales maquina desalinizadora de agua marina



Como se evidencia en la matriz CONESA las alteraciones que pueden llegar a generar los desechos de salmuera, en las corrientes marinas cercanas al municipio, tienen una relevancia moderada, por lo que pese a no ser un factor trascendental en el ambiente es necesario contar con un plan de manejo o tratamiento de los residuos a futuro.

Al mismo tiempo es necesario considerar los impactos ambientales respecto al manejo del equipo una vez acabe su vida útil.

### **5.2.6 Evaluación de los métodos de disposición de salmuera**

Existen distintos métodos convencionales de disposición de salmuera producidas por plantas desalinizadoras, los métodos más utilizados de acuerdo a la literatura son [103]:

- **Eliminación en aguas superficiales:** Este método de tratamiento consiste en descargas cercanas al océano o al mar, ríos, estuarios, bahías o lagos. Es la práctica más común debido a la cercanía que presenta. Este método permite el manejo de grandes volúmenes puesto que los procesos naturales promueven la degradación de la salmuera, así mismo es la opción menos costosa. La eliminación de salmuera en zonas superficiales debe de considerar las condiciones hidrodinámicas, haciendo reconocimiento y seguimiento de las aguas receptoras locales, debido a que afectan su dilución, al exceder el límite de capacidad de asimilación natural, causa impactos adversos sobre el ambiente acuático
- **Descargas al alcantarillado:** Es un método adecuado para la eliminación de concentrado desde plantas de aguas salobres muy pequeñas o destiladores de poco volumen, emplean la dilución a través de la corriente de residuos por lo que utiliza la infraestructura existente, por lo que su disposición final será en aguas superficiales.
- **Pozo de inyección profunda:** Consiste en la inyección de la salmuera en un acuífero profundo confinado, utilizando un sistema de pozos de eliminación, por lo que no ocasiona impactos marinos siendo una opción viable para plantas de grandes volúmenes. Pese a ello su uso se limita a la demanda de infraestructura,

necesaria para el acuífero, así como el análisis constante de la contaminación del agua subterránea.

- **Estanques de evaporación:** Emplea la evaporación solar natural de la salmuera en estanques de tierra alineados; su uso permite la reutilización de efluentes de desalinización para el riego de cultivos tolerantes a la salinidad, de manera que no ocasiona impactos marinos, haciendo posible la explotación de sal comercial sin necesidad de requiere de esfuerzos tecnológicos. Pese a sus ventajas su capacidad es altamente restringida, se requieren grandes extensiones de tierra y sólo puede establecerse en lugares con clima seco y alta evaporación, además de ser necesaria la eliminación de sales inutilizables y control de contaminación de suelos.
- **Cero descargas de líquidos:** Este método requiere de la separación, de volúmenes pequeños de concentrado, en agua altamente purificada y el agua de rechazo, adecuado para la eliminación en vertederos o la recuperación de sales útiles, como concentradores, cristalizadores y secadores de salmuera. De esta manera se elimina el impacto a la flora y fauna marina y permite el uso de desechos como fuente de agua alternativa para riego de especies tolerantes a la salinidad, no obstante, provoca un impacto adverso en flora y fauna terrestre, aumentando el riesgo de contaminación del suelo y aguas subterráneas, necesitando así de un sistema de almacenamiento y distribución.

### ***5.2.7. Efecto ambiental del manejo del equipo cuando al acabar su vida útil***

La mayor parte de la máquina se elabora en metal, considerando para ello el aluminio; una vez la maquina cumpla con su tiempo de vida útil, es necesario considerar el impacto ambiental que tendrá el aluminio sobre los suelos.

La corteza terrestre a menor pH presentará mayor solubilidad del aluminio hasta llegar a ocupar más de la mitad de los sitios de intercambio iónico del suelo, por lo que el aluminio es el factor más limitante de la producción agrícola en suelos ácidos, siendo estos alrededor del 40% de la superficie cultivable en el mundo; la reducción del pH del suelo destruye los minerales de las arcillas y de otros silicatos y aumenta la solubilización de óxidos de aluminio, lo que conduce a la degradación irreversible del suelo.

Las reacciones químicas del aluminio en el suelo comprenden principalmente hidrólisis, polimerización y reemplazo de elementos, de manera que grandes cantidades de aluminio desplazados de la máquina al suelo desplazan a los cationes de los elementos nutritivos de los sitios de intercambio evitando su absorción, en consecuencia, las plantas presentan deficiencias nutritivas y efectos tóxicos, el efecto del aluminio en los suelos depende del contenido de nutrientes en el suelo (especialmente magnesio y calcio). [104]

### **5.2.8. Disposición de residuos**

- **Salmuera** De acuerdo con la información disponible actualmente es posible establecer algunas recomendaciones respecto al uso y tratamiento de los desechos del proceso, es posible contemplar 3 escenarios:
  1. En primer lugar se aconseja impulsar su uso como conservante para ciertos alimentos, siendo un método práctico y económico para los hogares, mejorando la calidad de sus alimentos tanto para la venta (debido a que se considera un sector pesquero) como para su implementación en el día a día.
  2. En caso de no implementar su uso por la población, la salmuera puede ser almacenada en contenedores para su posterior venta y/o disposición a plantas de producción de sal, debido al tratamiento natural que se le ha dado la salmuera no presenta contaminación cruzada. Del mismo modo múltiples empresas tratan y distribuyen la salmuera dándole diferentes usos en la industria: siendo un filtro ante metales y compuestos, la descalcificación y mantenimiento de los procesos (jabonería, síntesis de lejía o la petroquímica), así como para la fabricación de encurtidos (lácteos, mariscos y conservación de alimentos). [105].
  3. En caso de no disponer de una empresa para la recolección y tratamiento de los desechos de salmuera, como última opción se considera el desecho de este subproducto en ambientes acuáticos, preferiblemente en fondos sin vegetación, en zonas con un hidrodinamismo elevado para facilitar la dispersión de la sal, sin embargo cabe resaltar que es necesario el análisis de los efectos de la salmuera en la costa del municipio, junto con los límites de tolerancia de la flora y fauna de la zona, por lo que la regulación de los vertimientos ha de realizarse con estos

ambientales, con el fin de minimizar los daños que se puedan ocasionar a los fondos marinos. [106].

- **Máquina** La máquina cuenta con piezas cuya vida útil se estima entre 7 a 10 años debido a la exposición y uso continuo que se le da, es por ello que la disposición correcta para estos desechos a largo plazo consiste en el reciclaje de la totalidad de la máquina por parte de una empresa recolectora de metales, de manera que el aluminio y demás componentes de la máquina se fundan y reciclen en diversos procesos o en su defecto desechados en rellenos sanitarios regulados por los entes ambientales correspondientes. [89]

## 6. CONCLUSIONES

Se pueden aprovechar los recursos del municipio y aprovechar la fuente de agua salada sin necesidad de implementar una infraestructura para adecuar agua para el consumo.

La viabilidad teórica del proyecto depende de las condiciones del proceso y del control que se da a los fenómenos siendo las variables principales del proceso la temperatura y presión, la maquina establece una presión constante por lo que al ser una variable interdependiente de la temperatura esta se convierte en la principal variable del proceso.

Las características internas y en la termodinámica de cada uno de los procesos se deben considerar a la hora de dimensionar y modelar, mediante el análisis de materia y energía se establecen los parámetros de dimensionamiento, el análisis de entalpia permite evaluar la viabilidad del proceso y la exergía establece la energía disponible para diversos procesos.

El proceso de desalinización del agua marina es posible mediante la implementación de una destilación de única etapa empleando condiciones de vacío para reducir el costo energético.

La implementación de este tipo de sistema puede ser una opción viable para la adecuación de agua de mar para el consumo humano ya que representa un menor costo energético en la destilación de agua salada, al mismo tiempo que incorpora los escasos recursos de la población del municipio de La Tola para mejorar la calidad del agua que consumen.

Se consideran variables las condiciones que afectan directamente el proceso, tal como la temperatura y presión, siendo las principales variables a considerar para cualquier proceso de destilación, sin embargo, variables indirectas rigen el funcionamiento y determinación de las variables principales, generando las condiciones de trabajo del proceso.

Las condiciones del proceso son fundamentales para el análisis de los fenómenos e interacciones internas que permiten llevar a cabo el proceso, analizando los factores termodinámicos que rigen los procesos de evaporación y condensación, permitiendo la determinación teórica de la viabilidad del proceso.

El análisis matemático para el sistema de desalinización se fundamenta en las características internas y termodinámica de cada uno de los procesos (calentamiento, evaporación y condensación) por lo que es necesario principalmente el análisis de entropía para el sistema antes de plantear el modelamiento y dimensiones, ya que de acuerdo con la entropía generada se evalúa la factibilidad de llevar a cabo la operación.

Un diseño tiene la opción de tener constantes actualizaciones para su mejor rendimiento, para ello debe comenzar por el análisis de una matriz de riesgos o en su defecto con los cálculos y dimensionamientos que permitan a la máquina no presentar fallas, ocasionando lesiones o el incumplimiento de su objetivo principal, dichos cálculos son el mínimo requerimiento para un diseño efectivo.

El mantenimiento de la máquina se consideró de acuerdo a las características y conocimientos de la población del municipio de La Tola, de manera que fuera un proceso seguro y amigable con el usuario, es por ello que la etapa de mantenimiento es planteada desde el proceso de diseño de la propia máquina

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Funcagua, " Agua en el planeta". Grupo Intersat, [En Línea]. Disponible: <https://funcagua.org.gt/agua-en-el-planeta/#:~:text=La%20disponibilidad%20de%20agua%20promedio,de%20glaciares%2C%20nieve%20o%20hielo> [Acceso: 2019]
- [2] Consejería de transición ecológica, lucha contra el cambio climático y planificación territorial, "Desalación". Gobierno de Canarias, [En Línea]. Disponible: [https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/temas/calidad-del-agua/el\\_agua\\_en\\_canarias/recursos\\_hidricos/desalacion/#:~:text=Los%20avances%20tecnol%C3%B3gicos%20han%20hecho,desde%20la%20d%C3%A9cada%20de%201950.&text=La%20producci%C3%B3n%20mundial%20s](https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/temas/calidad-del-agua/el_agua_en_canarias/recursos_hidricos/desalacion/#:~:text=Los%20avances%20tecnol%C3%B3gicos%20han%20hecho,desde%20la%20d%C3%A9cada%20de%201950.&text=La%20producci%C3%B3n%20mundial%20s) [Acceso: 2020]
- [3] M.N. Heather, "La herencia de un mundo sostenible: Atlas sobre Salud Infantil y Medio Ambiente", Organización mundial de la salud., Ginebra, Departamento de salud pública medio ambiente, 2004. [En Línea]. Disponible: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/260496>
- [4] Organización Mundial de la Salud, "Agua",14, junio. 2019, [En Línea]. Disponible: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- [5] BBC, "El gran salto de la tecnología que puede acabar con la sed en el mundo",14, octubre, 2015, [En Línea]. Disponible: [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/10/151013\\_desalinizacion\\_sed\\_mundo\\_jm](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/10/151013_desalinizacion_sed_mundo_jm)
- [6] Hidrosolución, "Tocará bebernos el agua del mar",10, abril, 2017, [En Línea]. Disponible: <http://www.hidrosolucion.com/blog-es/tocara-bebernos-el-agua-del-mar/>
- [7] A. Fajardo Cadena, "*Desalinización de agua; ¿una alternativa sostenible para la potabilización del agua?*", Bogotá, Colombia, mar, 2018. [PDF]. Disponible: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7141/1/159039-2018-I-GA.pdf>
- [8] ADVERCITY. (08, abr,2021). "La Tola". Municipio. [En Línea].

- <https://www.municipio.com.co/municipio-la-tola.html>
- [9] F. Belalcazar, M. Gomez, A. Paz Arciniegas y M. Mera, “Implementacion de alternativas en agua potable y saneamiento basico en el marco de la estrategia de entornos saludables para el departamento de Nariño”, Nariño, Colombia, 2015. [PDF]. Disponible: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/alternativas-agua-potable-narino.pdf>
- [10] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, “informe de predicción climática para el trimestre febrero-marzo-abril de 2020 en colombia”, IDEAM, Bogotá, [En Línea]. Disponible: [http://www.ideam.gov.co/documents/21021/96044922/02\\_Informe\\_Predicci%C3%B3n\\_Clim%C3%A1tica\\_Febrero/5e8b70a8-0143-4c1b-bfe1-2072bdffeea9?version=1.1&previewFileIndex=](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/96044922/02_Informe_Predicci%C3%B3n_Clim%C3%A1tica_Febrero/5e8b70a8-0143-4c1b-bfe1-2072bdffeea9?version=1.1&previewFileIndex=)
- [11] Alcaldía De La Tola Nariño. (octubre 16, 2017). “Rendición de cuentas”. [En Línea]. Disponible: <http://www.latola-narino.gov.co/tema/control/informes-de-gestion-evaluacion-y-auditoria>
- [12] Ministerio del Interior. (2017). “Plan de caracterización del Consejo Comunitario de Punta Mulatos - La Tola, Acta 74”. [En Línea]. Disponible: [https://gapv.mininterior.gov.co/sites/default/files/plan\\_de\\_caracterizacion\\_consejo\\_comunitario\\_punta\\_mulatos\\_-\\_la\\_tola.pdf](https://gapv.mininterior.gov.co/sites/default/files/plan_de_caracterizacion_consejo_comunitario_punta_mulatos_-_la_tola.pdf)
- [13] Ministerio del Interior. (2017). “Plan de caracterización del Consejo Comunitario zona urbana La Tola”. [En Línea]. Disponible: [https://gapv.mininterior.gov.co/sites/default/files/plan\\_de\\_caracterizacion\\_consejo\\_comunitario\\_zona\\_urbana\\_-\\_la\\_tola.pdf](https://gapv.mininterior.gov.co/sites/default/files/plan_de_caracterizacion_consejo_comunitario_zona_urbana_-_la_tola.pdf)
- [14] Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2010). “Boletín censo general Municipio de la Tola”. [En Línea]. Disponible: [https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL\\_PDF\\_CG2005/52390T7T000.PDF](https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/52390T7T000.PDF)
- [15] Leaflet Codigo-Postal. (2016). “La Tola”, [En Línea]. <https://codigo-postal.co/colombia/narino/la-tola/>.
- [16] Instituto Departamental de Salud de Nariño. (2011). “Caracterización de



- las condiciones de salud y laborales de trabajadores del sector informal del departamento de nariño 2011”. [En Línea]. Disponible: [http://idsn.gov.co/site/web2/images/documentos/riesgos\\_laborales/LA\\_TOLA/INFORME%20CARACTERIZACION%20SECTOR%20INFORMAL%20LA%20TOLA.pdf](http://idsn.gov.co/site/web2/images/documentos/riesgos_laborales/LA_TOLA/INFORME%20CARACTERIZACION%20SECTOR%20INFORMAL%20LA%20TOLA.pdf)
- [17] E Trujillo. (2014). “Informe de vigilancia de la calidad de agua año 2013”. Instituto Departamental de Salud de Nariño, Pasto, [En Línea]. Disponible: [http://idsn.gov.co/site/web2/images/documentos/sambiental/2014/inf\\_calagua\\_2013.pdf](http://idsn.gov.co/site/web2/images/documentos/sambiental/2014/inf_calagua_2013.pdf)
- [18] REDCAM. (2016). “Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico Colombianos”. [En Línea]. Disponible: [http://www.invemar.org.co/documents/10182/14479/Capitulo+REDCAM+Nari%C3%B1o+dic\\_2016\\_OG+V2+%28rev++LFE%29.pdf/4acba17e-934e-4842-b52b-b38301b1a201](http://www.invemar.org.co/documents/10182/14479/Capitulo+REDCAM+Nari%C3%B1o+dic_2016_OG+V2+%28rev++LFE%29.pdf/4acba17e-934e-4842-b52b-b38301b1a201)
- [19] Weatherspark. (2016, diciembre 12). “Clima promedio en La Tola”. [En Línea]. <https://es.weatherspark.com/y/20047/Clima-promedio-en-La-Tola-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [20] Revista el congreso siglo XXI, “La Tola se proyecta para un futuro de bienestar”, 13, mayo, 2020, [En Línea]. Disponible: <http://www.revistaelcongreso.com/actualidad/la-tola-se-proyecta-para-un-futuro-de-para-un-futuro-de-bienestar/>
- [21] F. Arreguín y A. M. Domínguez, “Desalinización del agua”, *Repositorio institucional del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, vol. XV, no. 1, pp. 27-49, abr 2000, [En Línea]. Disponible: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/720/0206.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [22] G. Dévora Isiordia, R. González Enríquez y S. Ruiz Cruz, “Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México”, *scielo tecnologia y ciencias del agua*, vol. 4, no. 3, jul, 2013, [En Línea]. Disponible: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222013000300002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000300002)

- [23] N. Voutchkov, *Desalination Engineering, planning and desing*, 1ra, ed., The McGraw- Hill, 2012
- [24] F. Carrasco y W. Platzer, “Estudio de Tecnología de Membranas de Destilación”, Fraunhofer, centro de tecnologías para energía solar, Chile, Rep. no 2017-PU-002, 2017, [En Línea]. Disponible: [https://www.fraunhofer.cl/content/dam/chile/es/documents/csetdocument/reportes/CSET-2017-PUB-002-SP\\_Estudio\\_Tecnologia\\_Membrana\\_Destilacion-final.pdf](https://www.fraunhofer.cl/content/dam/chile/es/documents/csetdocument/reportes/CSET-2017-PUB-002-SP_Estudio_Tecnologia_Membrana_Destilacion-final.pdf)
- [25] Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, “Clasificación de los procesos de destilación”, ULPGC, Las Palmas, [Diapositivas en *Power Point*], Disponible: <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/27/27371/tema2procesom sf.ppt>
- [26] M. Naranjo González, “La desalinización”, *Revista Biocenosis*, vol. 20, no. 1-22, pp. 74-75, 2007, [En línea]. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1302/1378>
- [27] E. Zarza Moya, “Desalinización de agua del mar mediante energías renovables”, *Plataforma solar de Almería*, vol. 1, no. 2, pp. 199-225, ene, 2001, [En línea]. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=566687>
- [28] L. Orjuela Álvarez, *Diseño de una unidad portátil de destilación de agua para efectos de potabilización*, tesis pre. Facultad de ingenierías, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2006, Disponible: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/24268/u364892.pdf?sequence=1>
- [29] L. Orjuela Álvarez, *Diseño y optimización de una unidad portátil de potabilización de agua por medio de destilación multiefecto*, tesis pre. Facultad de ingenierías, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2009, Disponible: <https://repositorio.uniandes.edu.co/flexpaper/handle/1992/24268/u364892.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=1>
- [30] F. Arreguín Cortés y A. Martín Domínguez, “Desalinización del agua”,

- Ingeniería hidráulica en México*, vol. 15, no 1, pp.27-49, ene, 2000, [En línea]. Disponible: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/720/0206.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [31] M. Contreras Fernandez, *Obtención de agua potable a partir de agua de mar por congelación – fusión*, tesis mSc Facultad de Ingenierías, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2012, Disponible: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18378/Memoria.pdf>
- [32] Ministerio De Sanidad y Política Social, 2017, “Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano”. Disponible: [https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Guia\\_desalacion.pdf](https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Guia_desalacion.pdf)
- [33] Haibo. Li, Yang Gao, Likun Pan Yanping Zhang, Yiwei Chen y Zhuo Sun, “Electrosorptive desalination by carbon nanotubes and nanofibres electrodes and ion-exchange membranes”, *Water Research*, vol. 42, no. 29, pp. 4923-4928, sep, 2008, [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135408004144>
- [34] Secretaría General de la OEI, 2020 “El agua recurso vital”. Disponible: <https://oei.int/oficinas/secretaria-general>
- [35] A. Giraldo, E. Rodríguez Rubio y F. Zapata, “Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia”, *Latin American Journal of Aquatic Research*, vol. 36, no. 1, pp. 121- 128, 2008, DOI: 10.3856/vol36-issuel-fulltext-12. [En línea]. Disponible: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-560X2008000100012](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-560X2008000100012)
- [36] J. Barreras Carballo, *Resistencia a la corrosión de la aleación de aluminio A361 recubierta por sol-gel*, proyecto de investigación. Facultad de Ingenierías, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España, 2003, Disponible: <https://burjcdigital.urjc.es/handle/10115/865#preview>
- [37] N. Didier Niquet, S Maluenda Serra y X. Mas Barberà, “Sustancias de

- moldeo y procesos técnicos para la realización de moldes sobre piezas originales en el medio subacuático”, *Arché. publicación del Instituto Universitario de restauración del patrimonio de la UPV*, vol. 13, no.15, pp. 69-76, 2019, [En línea]. Disponible:  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/156356/Sustancias%20de%20moldeo%20y%20procesos%20t%C3%A9cnicos%20para%20la%20realizaci%C3%B3n%20de%20moldes%20sobre%20piezas%20originales%20en%20el%20medio%20subacu%C3%A1tico.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- [38] Organización Mundial de la Salud, “Peligros biológicos”. Organización Panamericana de la Salud, [En línea]. Disponible: URL [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10838:2015-peligros-biologicos&Itemid=41432&lang=es#:~:text=El%20factor%20ambiental%20que%20m%C3%A1s,C%20\(95%C2%B0F\)](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10838:2015-peligros-biologicos&Itemid=41432&lang=es#:~:text=El%20factor%20ambiental%20que%20m%C3%A1s,C%20(95%C2%B0F)).
- [39] A. Giraldo, E. Rodríguez Rubio y F. Zapata, “Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia”, *Lat Am. J. Aquat. Res*, vol.36, n.1, pp.121-128. [En línea]. Disponible: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-560X2008000100012](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-560X2008000100012)
- [40] La Ciencia para Todos, “El océano y sus recursos ii. las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química”, Fondo de Cultura Económica, [En línea]. Disponible: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/html/oceano2.html>
- [41] M. Hernández-Ayón, “Relación pH-densidad en el agua de mar”, *Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Universidad Autónoma de Baja California*, vol.29, no. 4, pp.497-508, 2013, [En línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ciemar/v29n4/v29n4a12.pdf>
- [42] Pontificia Universidad Católica de Chile, (s.f), “Curso Geografía del mar” [En línea]. [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/geo\\_mar/html/h34.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h34.html)
- [43] V. Peña y G. Pinilla, “Composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de la ensenada de Utría, Pacífico colombiano”, *Revista de Biología Marina y Oceanografía. Universidad Jorge Tadeo*

- Lozano, vol. 37, no. 1, pp. 67- 81, jul, 2002, [En línea]. Disponible:  
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/revbiolmar/v37n1/art08.pdf>
- [44] E. Arce Medina, *Introducción al Diseño Básico de los Procesos Químicos*, 1ª, ed., México: Instituto Politécnico Nacional 2007.
- [45] G. Garcia, “Desalinización del agua”, *Ingeniería e Investigación* (215) pp. 35- 43.
- [46] H. Maury Ramírez, *Aportaciones metodológicas al diseño conceptual: aplicación a los sistemas continuos de manipulación y procesamiento primario de materiales a granel*, tesis PH.D. facultad de ingenierías, Escuela Técnica superior de ingeniería industrial universidad politécnica de Cataluña, Cataluña, España, 2000, DOI:10.13140/RG.2.2.14662.98884. Disponible:  
[https://www.researchgate.net/publication/318658640\\_Aportaciones\\_metodologicas\\_al\\_diseno\\_conceptual\\_Aplicacion\\_a\\_los\\_sistemas\\_continuos\\_de\\_manipulacion\\_y\\_procesamiento\\_primario\\_de\\_materiales\\_a\\_granel](https://www.researchgate.net/publication/318658640_Aportaciones_metodologicas_al_diseno_conceptual_Aplicacion_a_los_sistemas_continuos_de_manipulacion_y_procesamiento_primario_de_materiales_a_granel)
- [47] R. Pérez Rodríguez, *Caracterización y representación de los requerimientos funcionales y las tolerancias en el diseño conceptual: aportaciones para su implantación en los sistemas CAD*, tesis PH.D. facultad de ingenierías, Escuela Técnica superior de ingeniería industrial de Barcelona, Barcelona, España, 2002, Disponible:  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93719/01Portada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [48] B. Hernandis Ortuño y J. Briede Westermeyer, “Una aplicación educacional para el diseño de productos y sistemas de ingeniería utilizando modelos conceptuales integrados”, *Universidad Politécnica de Valencia Ingeniare, revista chilena de Ingeniería*, vol. 17, no. 3, 2009, [En línea]. Disponible:  
[https://www.ingeniare.cl/index.php?option=com\\_ingeniare&view=va&aid=173&vid=66&lang=es](https://www.ingeniare.cl/index.php?option=com_ingeniare&view=va&aid=173&vid=66&lang=es)
- [49] M. Guerrero Valenzuela, B. Hernandis Ortuño y B. Agudo Vicente, “Estudio comparativo de las acciones a considerar en el proceso de diseño conceptual desde la ingeniería y el diseño de productos”,

- Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 22, no. 3, pp. 398-411, 2014, DOI: DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000300010>
- [50] M. Ballesteros, *Prototipo industrializable de un potabilizador de agua por medio de vacío*, tesis pre. Facultad de ingenierías, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2004. Disponible: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/21721/u258346.pdf?sequence=1>
- [51] F. Moreno Gamboa, *Optimización y pruebas de una planta piloto de destilación de agua al vacío*, tesis mSc. Facultad de ingenierías, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2004. Disponible: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/9699/u239725.pdf?sequence=1>
- [52] J. Huayamave, “Liquidos”, presentado a la clase de Química general I Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales, Mexico, jun, 30, 2009. [Diapositivas] Disponible: <https://es.slideshare.net/moiss17/3b-capitulo-no-3b>
- [53] BBC, “¿Cuánta agua realmente es recomendable beber cada día?”, 1 mayo, 2019 [En Línea]. Disponible: <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-48097740#:~:text=Alimentar%20este%20apetito%20por%20el,adem%C3%A1s%20de%20cualquier%20otra%20bebida>.
- [54] Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, “Trabajo integrador -balance de materia en la desalinización de agua de mar mediante destilación”, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, [En línea]. Disponible: [https://www.academia.edu/13435275/TRABAJO\\_INTEGRADOR\\_BALANCE\\_DE\\_MATERIA\\_EN\\_LA\\_DESALINIZACION\\_DE\\_AGUA\\_DE\\_MAR\\_MEDIANTE\\_DESTILACION](https://www.academia.edu/13435275/TRABAJO_INTEGRADOR_BALANCE_DE_MATERIA_EN_LA_DESALINIZACION_DE_AGUA_DE_MAR_MEDIANTE_DESTILACION)
- [55] Y. A. Cengel, *Termodinámica*, 7a. ed., México: Mc Graw Hill, 2009
- [56] J. Theodore L. Brown y H. Eugene LeMay, *Química la ciencia central*, 9a. ed., México: Pearson, 2004
- [57] K. Villacres Flores y J. Villamar Moreno, *Evaluación ambiental a partir de parámetros físico-químicos y microbiológicos de la calidad de agua de mar en playas de Chipipe, Canton Salinas Provincia de Santa Elena*, tesis pre. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Guayaquil,

- Guayaquil, Ecuador, 2017, Disponible:  
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20154/1/BCIEQ-T-0209%20Villacres%20Flores%20Kerly%20Antonella%2c%20Villamar%20Moreno%20Juan%20Francisco.pdf>
- [58] Rotoplas, (8, junio, 2018), “¿Qué es el agua alcalina y cuáles son sus beneficios?”. [En línea]. <https://rotoplas.com.mx/que-es-el-agua-alcalina-y-cuales-son-sus-beneficios/>
- [59] A. Garcia, (8, octubre, 2019). “Ingeniería Industrial y de Sistemas (IIS)”, [En línea]. <http://albertogarciaingindu.blogspot.com/2019/10/diagrama-de-caja-negra.html#:~:text=En%20teor%C3%ADa%20de%20sistemas%2C%20se,el%20medio%20de%20la%20rodea.>
- [60] E. Villota Cerna, “Engineering Design Process”, presentado a la clase de Ingeniería Mecánica- UNI, 2015. [Diapositivas de Power Point]. Disponible: [http://bionanouni.wdfiles.com/local--files/teaching-mec546-horario-2015i/EngineeringDesignProcess\\_Abr09.pdf](http://bionanouni.wdfiles.com/local--files/teaching-mec546-horario-2015i/EngineeringDesignProcess_Abr09.pdf)
- [61] Y. A. Cengel y J Ghajar, *Transferencia de calor y masa fundamentos y aplicaciones*, 4ª. Ed., México: Mc Graw Hill, 2004
- [62] Desiguxpro, “Potencia y consumo de energía de la estufa eléctrica”. Chinateampro, [En línea]. Disponible: <https://desigusxpro.com/es/news/5-samykh-umnykh-devaysov-ot-xiaomi-kotorye-vas-udivyat.html>
- [63] M. H. Sharqawy y S. M. Zubair, “Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data”, *Desalination and Water Treatment*, vol. 16, no. 1-3, pp- 354- 358, 2010, DOI: 10.5004/dwt.2010.1079
- [64] TLV Engineering, S.A, (24, jul, 2009), “Transferencia de Calor del Vapor” [En línea]. <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/steam-heating-mechanism.html>
- [65] Superintendencia delegada para Energía y Gas, Dirección Técnica de Gestión de Energía. (diciembre, 2012), “Informe de gestión Enertola”
- [66] Dassault Systemes, “Coeficiente de transferencia de calor por

- convección”, Solidworks, [En línea]. Disponible: [http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection\\_Topics/Convection\\_Heat\\_Coefficient.htm](http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection_Topics/Convection_Heat_Coefficient.htm)
- [67] I. De Paul, “Coeficiente de transferencia convectiva h en el interior de un destilador tipo batea”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, vol. 04, no. 1, pp. 27- 32, 2000, [En línea]. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/79070/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/79070/Documento_completo.pdf?sequence=1)
- [68] Lumetal. (s.f.). “Tubos redondos de Aluminio”. [En línea]. <https://www.lumetalplastic.com/productos-metales/tubos-redondos-de-aluminio/>
- [69] H. D. Young y R. A. Freedman. (1992). *University physics*, 8a. ed., Sears & Zemanskys. [En línea]. Disponible: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Tables/thrcn.html>
- [70] SteamTab, versión 2.0 IAPWS-95, [zip file], Burlington, USA, 1999
- [71] M. Shapiro, J. Moran y H. N. *Fundamentos de Termodinámica Técnica*, Hoboken, Reverté S.A, 2004. [En línea]. [https://www.academia.edu/33466857/Fundamentos\\_de\\_termodin%C3%A1mica\\_t%C3%A9cnica\\_Moran\\_Shapiro\\_pdf](https://www.academia.edu/33466857/Fundamentos_de_termodin%C3%A1mica_t%C3%A9cnica_Moran_Shapiro_pdf)
- [72] C. Molina Amaya, “Instalación de electrodomésticos de potencia” *Cartilla SENA* Bogotá, Colombia. s.f. [En línea]. [https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/1863/unidad\\_50\\_instalacion\\_de\\_electrodomesticos\\_de\\_potencia.pdf;jsessionid=DDFBE750B58C9955CF4EAB3ACD9E4C8B?sequence=1](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/1863/unidad_50_instalacion_de_electrodomesticos_de_potencia.pdf;jsessionid=DDFBE750B58C9955CF4EAB3ACD9E4C8B?sequence=1)
- [73] Cpisefa, (s.f.). “Fibra de vidrio”. [En línea]. <https://www.cpisefa.com/portfolio-item/fibra-vidrio/>
- [74] Servicio de Prevención de Riesgos Laborales Sepruma, (s.f.). “Manipulación Manual de Cargas” *Universidad de Malaga*, [PDF]. Disponible: <https://www.uma.es/publicadores/prevencion/wwwuma/183.pdf>
- [75] Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, (noviembre, 2018), “Diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica zonas no



- interconectadas-ZNI” [En línea].  
[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/diag\\_zni\\_2018\\_7122018.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/diag_zni_2018_7122018.pdf)
- [76] B. S. López, (s.f.). “Gestión de mantenimiento Eficiencia Global de los Equipos (OEE)” *Ingeniería industrial*, [En línea].  
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-mantenimiento/eficiencia-global-de-los-equipos-oeef/>
- [77] Solid Edge, ST9. [XML], Online, Siemens, 2019
- [78] R. C. Hibeler, *Mecánica de materiales*, 8va. ed., México: Pearson Educación S.A. 2011. [En línea].  
<https://es.slideshare.net/ReneJmnz/mecanica-de-materiales-hibeler-octava-edicion>
- [79] Association, Aluminum, *Apecifications for aluminum structures*, 5a. ed., Washington, 1986
- [80] R. L. Norton, *Diseño de máquinas*, 4a. ed., México, Prentice Hall, 2014
- [81] Spring Lee, “Resortes de catálogo & hechos a la medida” *serie 23 Catálogo de productos*, México. [En línea]. <https://www.leespring.mx/es>
- [82] Mexpolimeros, (s.f.), “¿Qué elastómero ofrece la mejor resistencia a la abrasión?”, [En línea].  
<https://www.mexpolimeros.com/qu%C3%A9%20elast%C3%B3mero%20ofrece%20la%20mejor%20resistencia%20a%20la%20abrasi%C3%B3n.html>
- [83] H. Gonzales, “La importancia del método en la selección de materiales”, *Universidad Tecnológica de Pereira*, vol.10, no. 24, pp. 175-180, may, 2004. [En línea]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84912053029>
- [84] Alu-Stock, (s.f.). “Comportamiento Aluminio”. [En línea]. <https://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/comportamiento/>
- [85] A. Echavarría V., “Metalurgia básica de algunas aleaciones de aluminio extruidas o laminadas”, *Universidad de Antioquia*, Colombia, [En línea].  
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/materiales/article/view/11281>
- [86] Plansee, (s.f.). “Cátodos para sputtering te aluminio-cromo”. [En línea].  
<https://www.plansee.com/es/productos/materiales-para-pelicula-fina/catodos-para-sputtering-y-catodos-de-arco/aluminio-cromo.html>

- [87] Aluminios y metales Unicornio. (s.f.). “Aluminio 6061”. México, [En línea]. <http://www.aluminiosymetalesunicornio.com.mx/6061.html>
- [88] Plexcor, (s.f.), “Aislamiento electromecánico baquelita” Disponible: <https://www.emacin.com.pe/pdf/Ficha-tecnica-Baquelita.pdf>
- [89] M. Medina. “Manejo de desechos sólidos y desarrollo sostenible”, *Económicas CUC*, Barranquilla, Colombia, Disponible: <http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/6853/Manejo%20de%20Desechos%20S%3%b3lidos%20y%20Desarrollo%20Sustentable.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [90] Exacta revista digital, (abril 20, 2018). “¿Cada cuánto debemos renovar nuestras ollas y sartenes?”. Ecuador, [En línea]. <https://exactodigital.com/cuanto-debemos-renovar-nuestras-ollas-sartenes/>
- [91] Á. Delgado, (junio 4, 2012). “El negocio de las encuestas”. Mexico, [En línea]. <https://www.proceso.com.mx/opinion/2012/6/4/el-negociazo-de-las-encuestas-103698.html>
- [92] H. Gómez, “cotización” *Gocitex SAS*, Email personal (noviembre 13, 2020)
- [93] Constitución Política de Colombia (1991). Artículo 365, *Gaceta Asamblea constituyente de 1991*, Disponible: <https://pdba.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>
- [94] Y. Blanco Ruiz, A. Gutiérrez Roa, *Desarrollo de un prototipo desalinizador de agua de bajo costo, mediante la implementación de energía solar para el consumo humano*, tesis mSc. Facultad de ingenierías, Universidad de Santander UDES, Bucaramanga, Santander, 2019
- [95] Consejería Presidencial para la Estabilización y la Consolidación. (julio 26, 2020) “Más de \$69 mil millones aprobados para llevar por primera vez energía eléctrica, agua potable y saneamiento básico para municipios PDET en 6 departamentos”, Disponible: <http://www.portalparalapaz.gov.co/publicaciones/1468/mas-de-69-mil-millones-aprobados-para-llevar-por-primera-vez-energia-electrica-agua-potable-y-saneamiento-basico-para-municipios-pdet-en-6-departamentos/>

- [96] Acueducto, “Sistema integrado de Licitaciones, Contratación y compras” Bogotá, Colombia, 2016, [En línea]. Disponible: <https://www.acueducto.com.co/waspre/SILWeb/publicsil.html>
- [97] Acueducto, “Resolución N° 0303” Bogotá, Colombia, 26, mar, 2018. [PDF]. Disponible: [https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/resoluciones/16\\_08\\_19/2018\\_Res\\_Res\\_0303\\_Costos\\_Conex.pdf](https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/resoluciones/16_08_19/2018_Res_Res_0303_Costos_Conex.pdf)
- [98] Asociación Mutua Motera. (mayo 24, 2016), “Análisis comparativo de consumos moto-coche: la moto gana” [En línea]. Disponible: [https://www.mtuamotera.org/gn/web/noticia\\_desarrollada.php?cod=5415&seccion=171](https://www.mtuamotera.org/gn/web/noticia_desarrollada.php?cod=5415&seccion=171)
- [99] Ministerio de Minas y Energía. (abril 24, 2021). “Precios de Combustibles” Disponible: <https://www.minenergia.gov.co/precios-de-combustible>
- [100] V. Fernández, “Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental” Madrid, España, 1993, [PDF]. Disponible: <http://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/1613/Asignaturas/1818/Archivo1.5036.pdf>
- [101] J. Rincón Guerrero, *Diseño de una máquina mezcladora, automática, de materias primas para la elaboración de jabones líquidos, suavizantes y desengrasantes industriales, para la empresa químicos zorel*, tesis pre. Facultad de ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia, 2017, Disponible: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6501/1/4111332-2017-2-IM.pdf>
- [102] E. Vivanco Font, “Impacto ambiental de desalinización de agua de mar”, *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*, may, 2017, Disponible: <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=42372>
- [103] G. Devora Isiordia, A. Robles, G. Fimbres y J. Álvarez, “Comparación de métodos de descarga para vertidos de salmueras, provenientes de una planta desalinizadora en sonora, México” *Universidad Estatal de Sonora*, DOI: 10.20937/RICA.2017.33.esp02.04, Disponible: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.20>

17.33.esp02.04/46686

- [104] F. Casierra Posada, y O. Aguilar Avendaño, “Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. una revisión”, *Revista colombiana de ciencias hortícola*, vol. 1, no. 2, pp. 246-257, 2007, DOI: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias\\_horticolos/article/view/8701/7243](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_horticolos/article/view/8701/7243)
- [105] Humanes Guillen Eurosal S.L. (s.f.), “Ventajas del uso industrial de la salmuera”. [En línea]. [https://www.humanesguilleneurosal.com/ventajas-del-uso-industrial-de-la-salmuera/#.UqrV\\_qVehCQ](https://www.humanesguilleneurosal.com/ventajas-del-uso-industrial-de-la-salmuera/#.UqrV_qVehCQ)
- [106] E. García, E. Ballesteros, “El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas” Santa Barbara, (s.f.) CSIC, [PDF]. Disponible: [http://www3.uah.es/tiscar/Complem\\_EIA/impacto-desaladoras.pdf](http://www3.uah.es/tiscar/Complem_EIA/impacto-desaladoras.pdf)

# **ANEXOS**

**ANEXO 1.**  
**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

# Manual de operación y mantenimiento

Máquina desalinizadora de  
agua marina

## Contenido

	pág
Introducción	172
<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>173</b>
1.1 Manual de instalación:	173
1.2 Manual de operación:	173
1.3 Manual de mantenimiento:	173
<b>2. MANUAL DE INSTALACIÓN</b>	<b>174</b>
2.1 Máquina de destilación	174
2.2 Partes	174
2.3 Caracterización sistemas y componentes	178
2.3.1 Características físicas	178
2.4 Instalación	179
<b>3. OPERACIÓN</b>	<b>187</b>
3.1 Limpieza preliminar	187
3.2 Uso	187
3.3 Recomendación de almacenamiento	189
<b>4. MANTENIMIENTO</b>	<b>190</b>
4.1. Generalidades	190
4.2 Cuidados de operación	190
4.3 Eliminación de los residuos	191
4.4 Limpieza y cuidados generales	191
4.5 Lubricación del pistón	192
<b>5. ETAPAS DEL MANTENIMIENTO</b>	<b>193</b>
5.1 Mantenimiento predictivo	193
5.2 Mantenimiento preventivo	193
5.3 Mantenimiento correctivo	193
<b>6. ANÁLISIS DE FALLAS</b>	<b>194</b>
6.1 Inspección	194
6.2 Análisis de fallos y causas	195
6.3 Tratamiento y corrección de fallos	197



## **Introducción**

Este manual establece los procedimientos necesarios, programación, ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo de la máquina de desalinización de agua marina. El mantenimiento de la máquina tiene una influencia importante tanto en el manejo de la máquina como en la adecuada conservación de la misma, siendo en un factor determinante del grado de calidad del proceso.

La planeación estratégica efectiva facilita el uso y mejora del proceso enfocándose en la ampliación del uso de la máquina en diferentes entornos y mercados a base de la calidad y bajo costo. La casi nula capacitación de los usuarios respecto al tratamiento y prevención de fallas reduce el tiempo de vida útil de la máquina y la eficiencia del proceso evitando el correcto suministro de un recurso fundamental. Por lo cual mediante este documento se instruye al usuario respecto al manejo básico y eficaz de la máquina en cada proceso además de brindar las herramientas necesarias para la prevención y manejo de fallas.

# 1. OBJETIVOS

## 1.1 Manual de instalación:

La instalación de la máquina influye directamente en la eficiencia y correcta operación, mediante la elaboración de este manual se dan guías visuales para el seguimiento paso a paso de la instalación, facilitando al usuario el reconocimiento de las partes.

## 1.2 Manual de operación:

El manual de operación ofrece al usuario el listado de tareas para emplear eficazmente la máquina limitando las fallas por uso indebido y tomando las precauciones de seguridad correspondientes al proceso

## 1.3 Manual de mantenimiento:

Realizar el mantenimiento preventivo de la máquina a través de la elaboración de material didáctico y ejecución de las actividades respectivas a la conservación en óptimas condiciones de funcionamiento.

Involucrar el mantenimiento preventivo y correctivo a cargo del usuario y centros de mantenimiento en caso de requerir mayor solvencia técnica.

- Implementar las guías y métodos para el control y mantenimiento
- Determinar los procedimientos para llevar a cabo el mantenimiento
- Detectar anomalías en la máquina
- Realizar la reparación con menos tiempo y menor costo
- Adelantarse a las averías de la maquinaria
- Planificar la reparación de forma preventiva
- Controlar el estado de la máquina

## 2. MANUAL DE INSTALACIÓN

### 2.1 Máquina de destilación

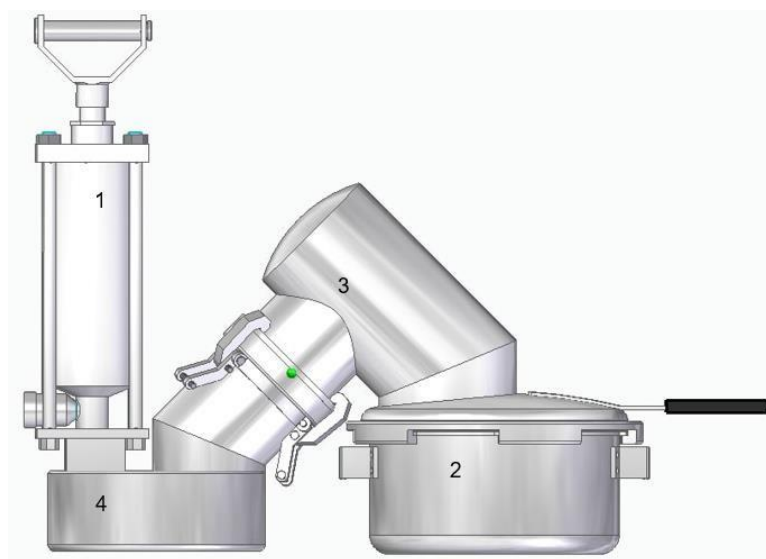
Se recomienda que la máquina de desalinización sea usada como una herramienta para adelantar el proceso de purificación de agua pre filtrada proveniente del mar exclusivamente, se opere por un mayor de edad en el espacio delimitado por “cocina” que cuente con la disponibilidad de una resistencia eléctrica. Gracias a esto se podrá desalinizar agua de manera local. Dicho todo esto nos disponemos a su instalación.

### 2.2 Partes

El reconocimiento de las partes y componentes de la máquina permite al usuario identificar las piezas con mayor facilidad, reduciendo las fallas funcionales que puedan ocurrir por desconocimiento.

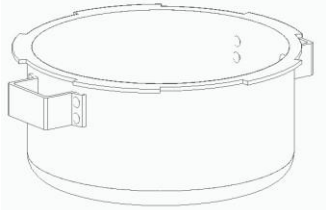
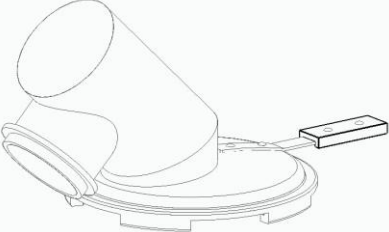
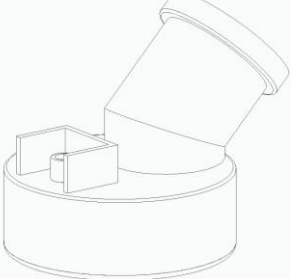
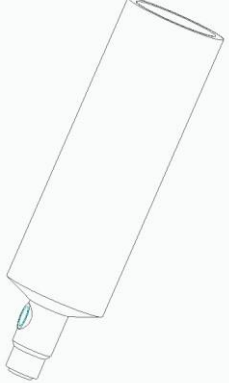
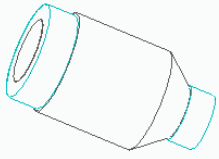
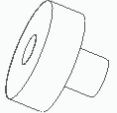
El diseño de la máquina se basa principalmente en 5 partes:

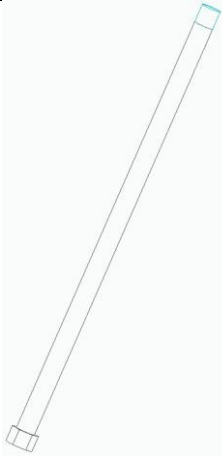
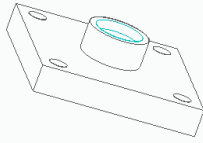
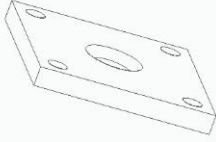




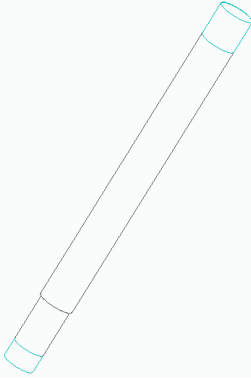
1. Bomba manual de vacío
2. Cámara de calentamiento.
3. Tubo condensador.
4. Cámara de almacenamiento del condensado

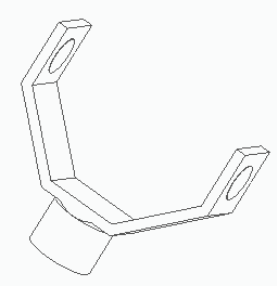
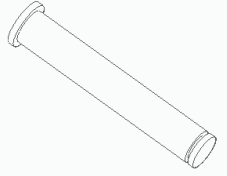
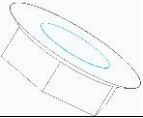













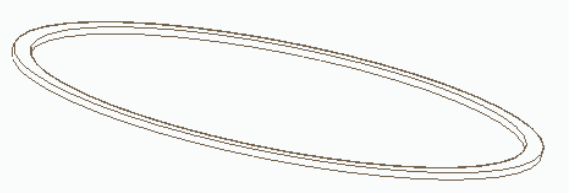

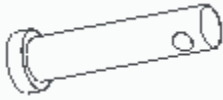
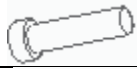


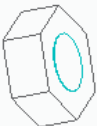
**Partes de la máquina**

Listado partes de la máquina

Pieza	Imagen	Cantidad
1		1
2		1
3		1
4		1
5		1
6		1

7		4
8		1
9		1
10		1
11		2
12		1
13		1
14		1

15		1
16		1
17		1
18		3
19		6
20		3
21		1
22		1
23		1
24		1
25		1
26		2
27		1
28		1

29		1
30		3
31		6
32		1
33		1
34		1
35		4

## 2.3 Caracterización sistemas y componentes

El reconocimiento de las piezas y componentes específicos de cada parte de la máquina es indispensable para el correcto entendimiento y manejo de los componentes, haciendo necesario el análisis independiente de cada una de las partes.

### 2.3.1 Características físicas

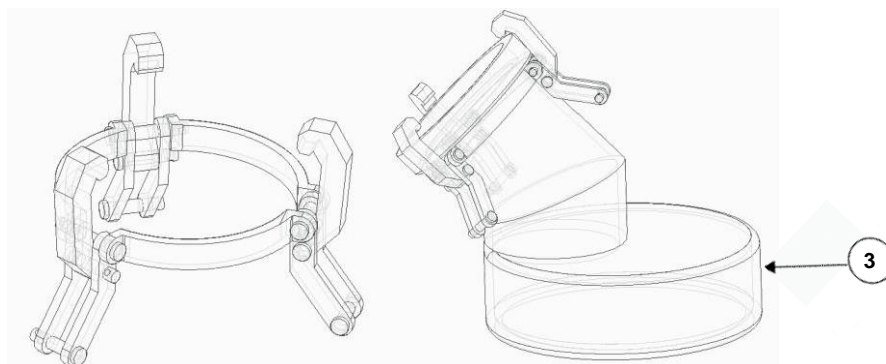
Se realizó un estudio estático lineal de sólidos para obtener las estadísticas de cada una de las piezas con mayor precisión, teniendo en cuenta que el material de todas las piezas es aluminio 6061-T6.

## Características físicas de los elementos

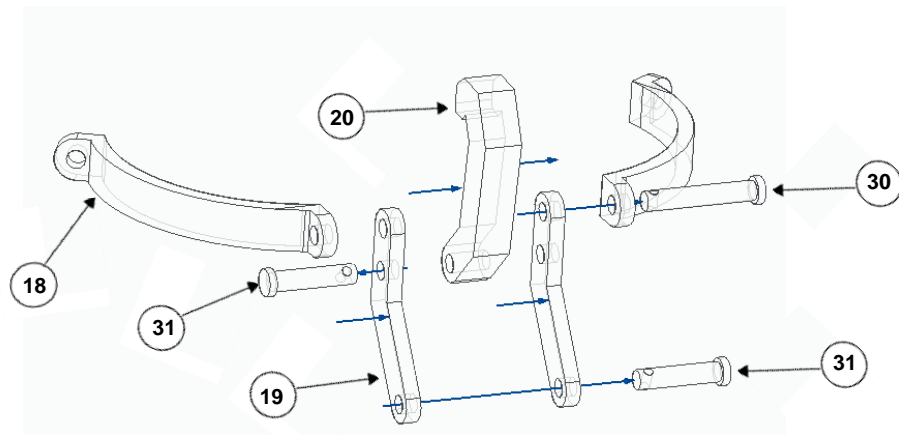
Pieza		Masa (kg)	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Peso (mN)
Tapa condensador		2,638	972855,534	25856,165
Cámara de calentamiento		0,751	277053,316	7363,412
Cámara de condensado		1,48	545784,483	14505,642

## 2.4 Instalación

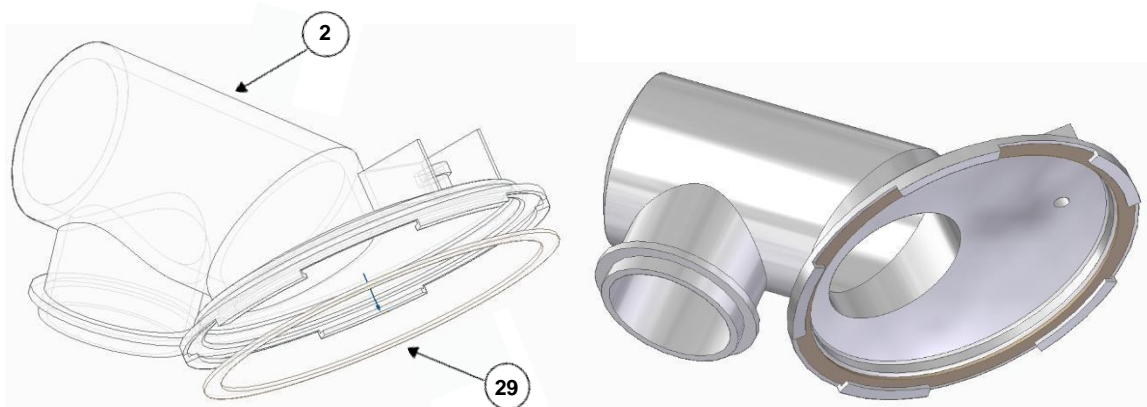
Empezamos con el ensamble del Tanice, este conjunto cumple con la función de asegurar concéntricamente el condensador y la olla de condensado con el fin de evitar filtraciones de aire por la junta este conjunto se ensambla en la olla de condensado.



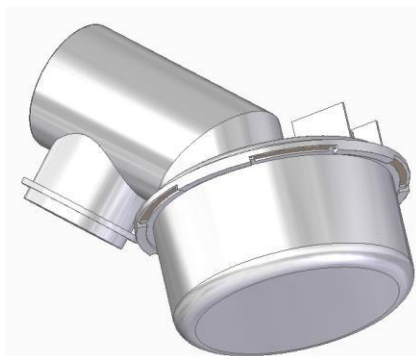


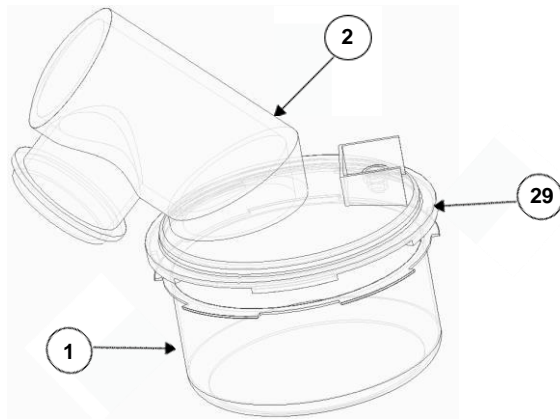


Proceso que se repite para las tres uñas que están ubicadas en el mismo eje separadas 120° y se hace una vez ensamblado se procede al ensamble de la olla de calentamiento, primero se acopla el caucho entre las uñas de la tapa y la sección uniforme.

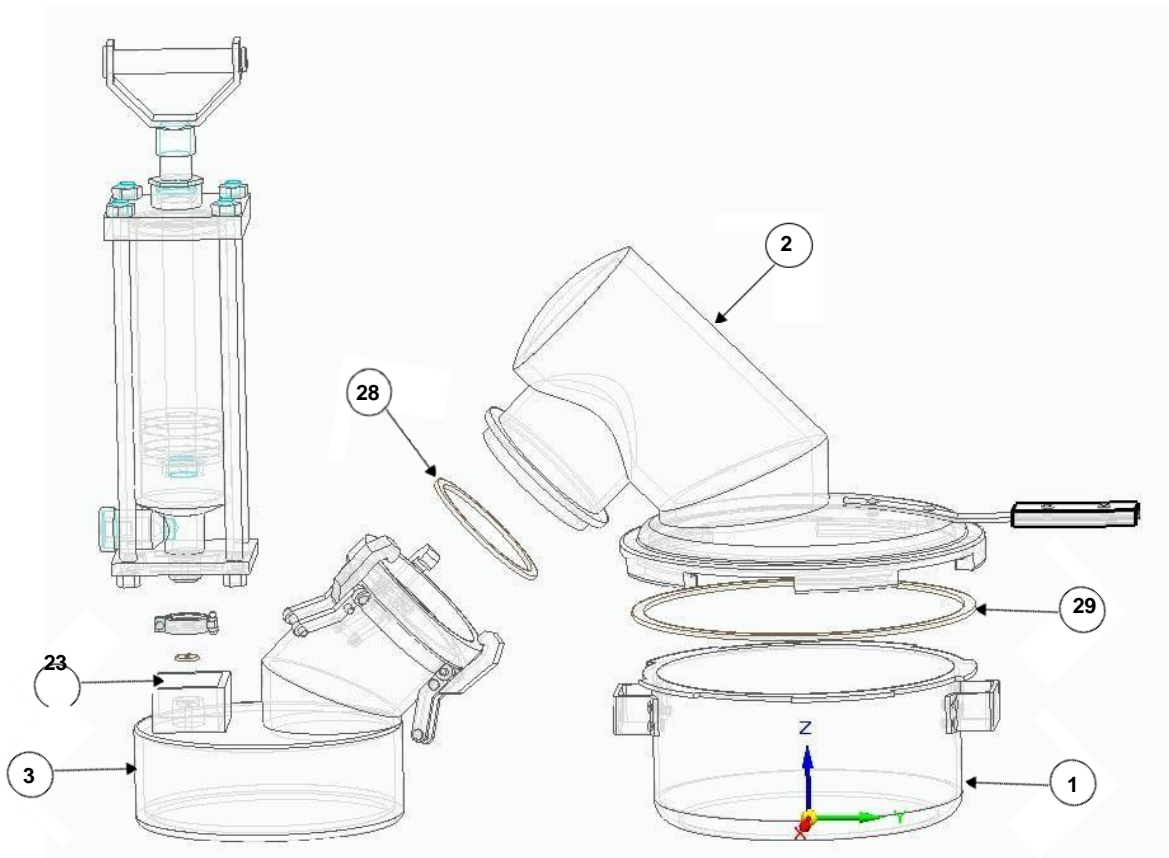


Una vez el caucho se encuentre en contacto en el interior de la tapa se ensambla la tapa que tiene unas uñas con las pestañas de la olla de calentamiento previniendo el choque entre ellas, una vez la tapa este en contacto con el caucho se procede hacer un giro de 36° en la tapa de tal forma que las uñas de la tapa y las pestañas de la olla estén en contacto entre las caras horizontales.

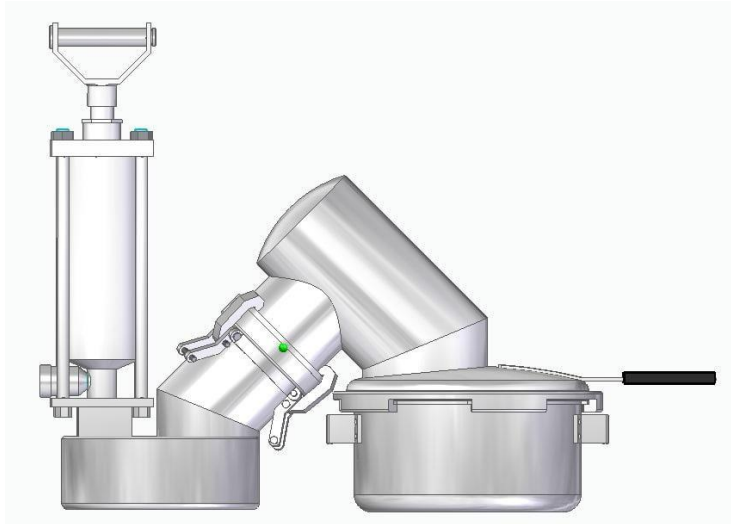




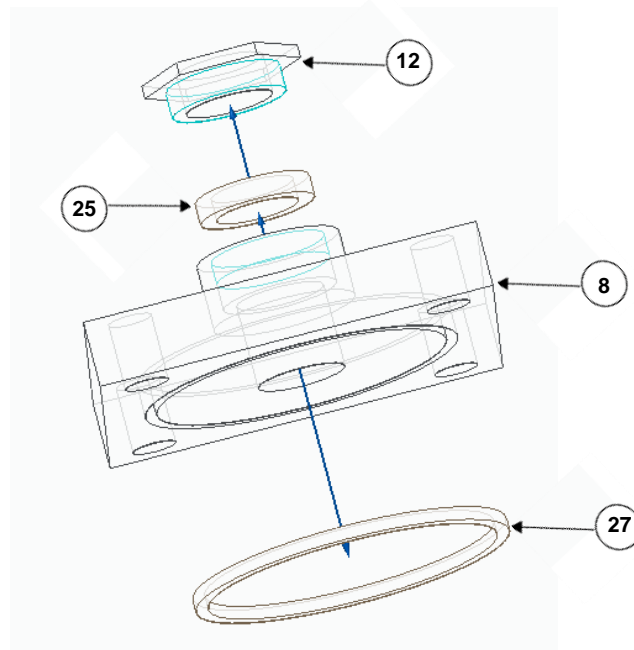
Para finalizar con esta subsección se inserta el caucho de la olla de condensado y se ajusta el tanice con el bisel de la sección del condensador



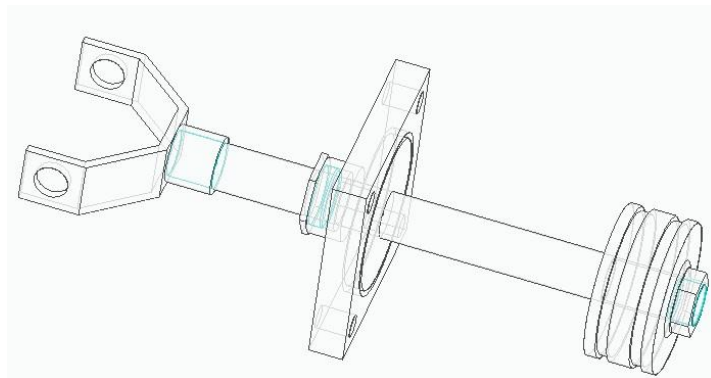
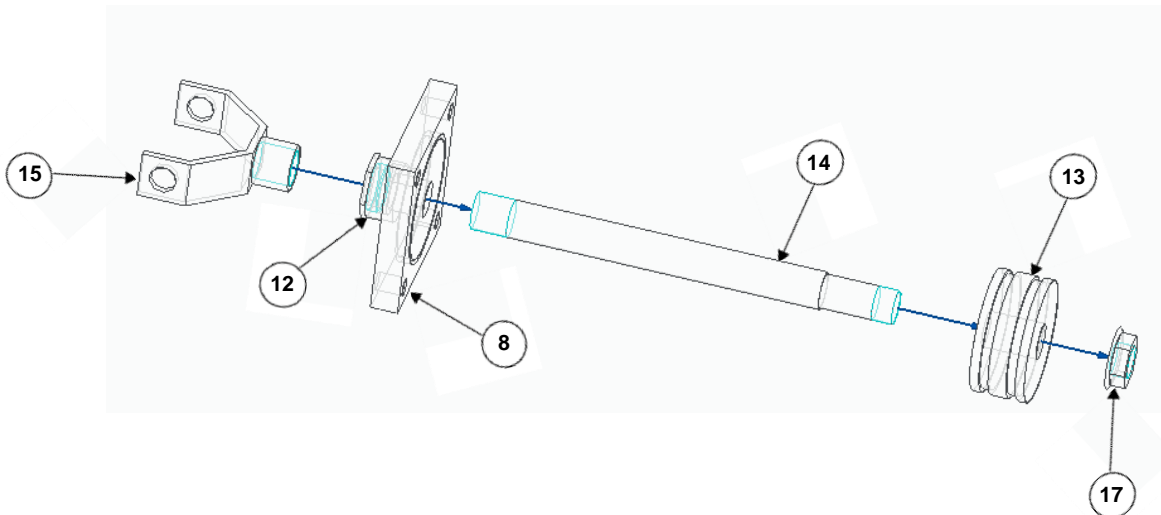
Al hacer esta conexión se asegura que no habrá filtraciones en la junta.



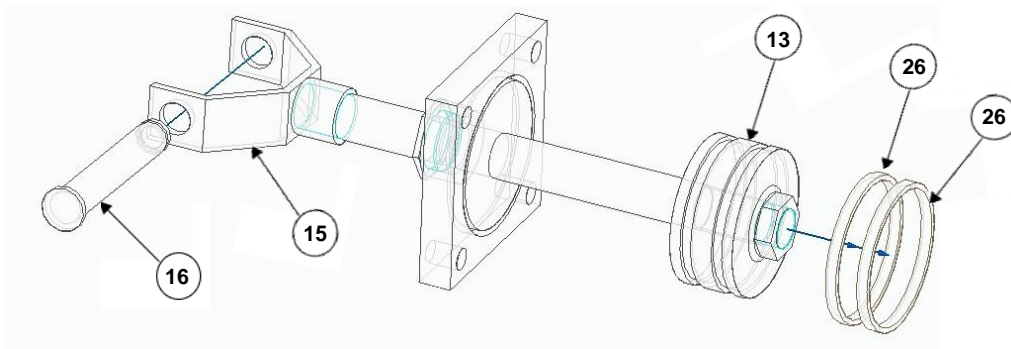
Se procede al ensamble del pistón, primero se debe colocar los dos sellos de caucho en la placa superior de la siguiente forma (lo demarcado en color azul representa una sección roscada).



A continuación, se ensambla el vástago con el embolo sobre el ensamble anterior.

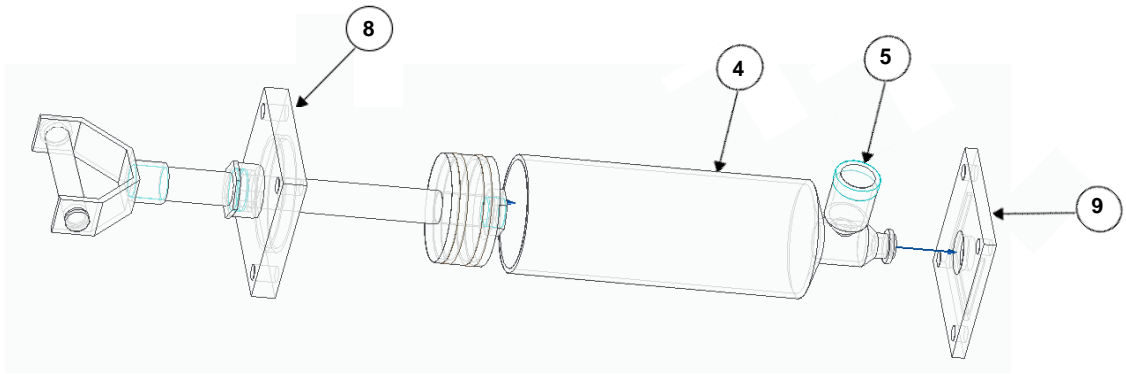


Como paso siguiente se ajusta los sellos del embolo y el pasador del manillar

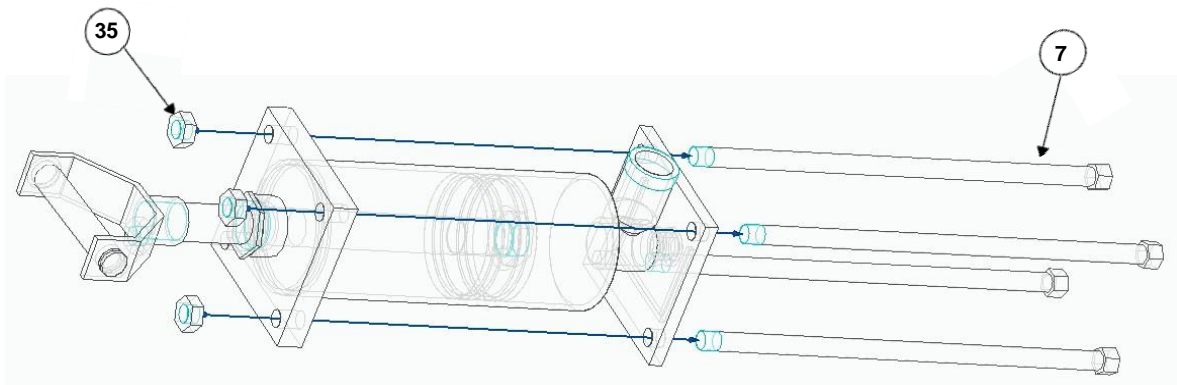


Una vez completado el ensamble anterior se conecta la camisa a la placa superior y la placa inferior cuidando que la sección sobresaliente de la camisa quede perpendicular a un lado de la placa inferior.

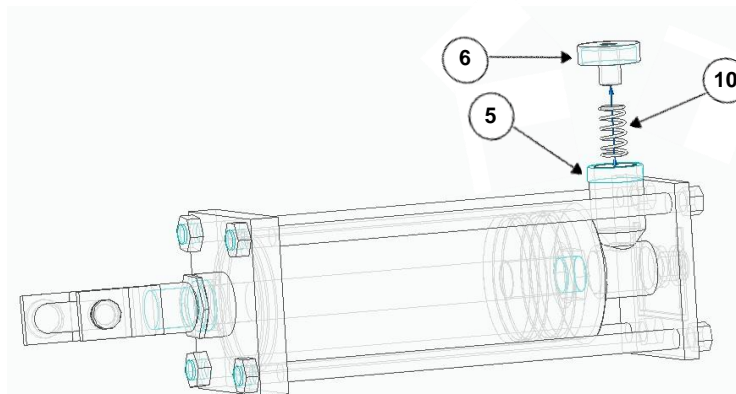
Nota: Es de suma importancia que entre el embolo y la camisa este una esfera de caucho



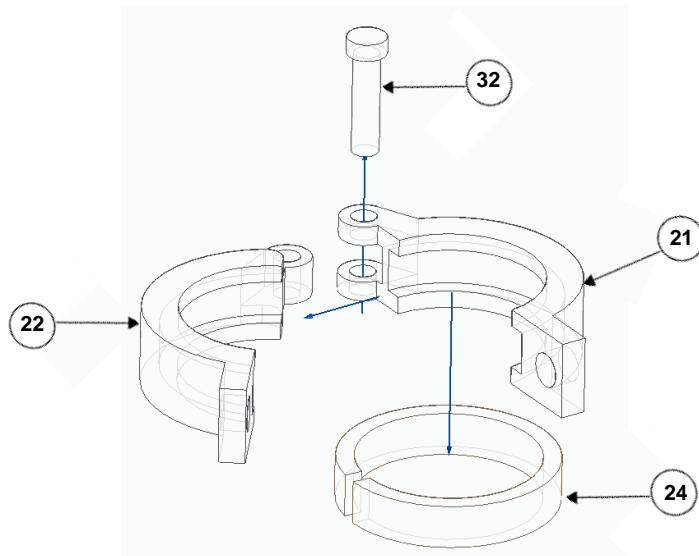
A continuación, se ajusta la camisa y la placa inferior con ayuda de cuatro barras de ajuste de la siguiente forma.



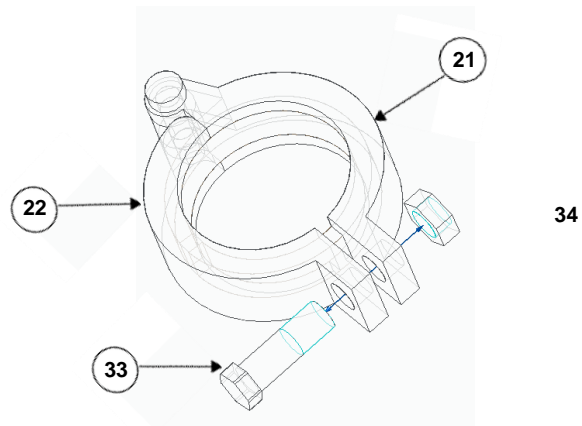
Para finalizar con el ensamble del pistón se ensambla la tapa protectora del resorte con el mismo, y de igual forma se inserta la segunda esfera de caucho entre la camisa y el resorte como se enseña a continuación



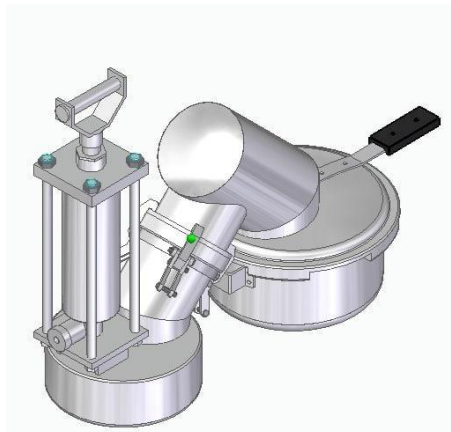
A continuación, se procede con el ensamble del acople para la conexión del pistón.

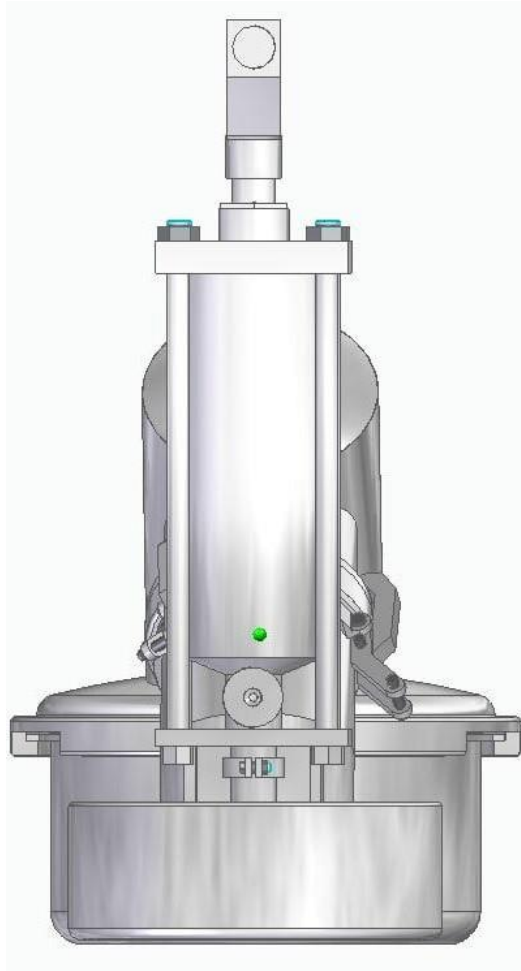


Se ajusta cada que se va a conectar el pistón y se asegura como se muestra a continuación



Para finalizar se conecta el pistón a la tapa esto se logra gracias al marco que está en la tapa y el corte de la silueta del mismo marco en la placa inferior del pistón. La posición del acople se logra al apretar el tornillo con la tuerca.





### **3. OPERACIÓN**

La operación de la máquina una vez instalada no requerirá de movimiento de la misma como una sola unidad, para su desplazamiento, limpieza y reparación se ha de separar en piezas de manera que se facilite su transporte y no se vea afectada la integridad del conjunto.

#### **3.1 Limpieza preliminar**

1. Tomar vinagre y mezclarlo en una relación 1:2 con agua lluvia
2. Tomar un paño limpio y empleando la mezcla preparada limpiar las superficies de la máquina que tengan contacto con el agua de mar, sin contar el pistón

#### **3.2 Uso**

1. Inicialmente el usuario debe verificar la limpieza de los tanques de calentamiento y condensado, que estén libres de sustancias y sólidos para evitar alteraciones y fallas de funcionamiento.
2. La máquina debe trabajar a temperatura ambiente, libre de obstáculos o coberturas que alteren el intercambio térmico con el ambiente.
3. Comprobar que el espacio donde será empleada la máquina sea una superficie totalmente plana y seca. Se requiere un área de trabajo con dimensiones mínimas de 59,721 cm de largo, 27,139 cm de ancho y una altura de 34,417cm contemplando que esta varía al momento de realizar el vacío por el vástago en el pistón
4. Verificar la cercanía a una fuente de corriente eléctrica mínima de 750 W.
5. Asegurar que la resistencia eléctrica se encuentre apagada
6. Tras recolectar el agua marina, aproximadamente 2 litros de agua, se realiza el filtrado básico del líquido mediante un colador común de cocina, con el fin de reducir la cantidad de sólidos en suspensión y material contaminante.
7. Tomar el tanque de calentamiento y con la ayuda de un recipiente se introduce el agua marina al tanque.
8. Tapar el tanque de calentamiento con la tapa calentador, teniendo en cuenta que el sello se encuentre entre la tapa y el tanque.



9. Ubicar el tanque de calentamiento encima de la resistencia eléctrica, cuidando que el calor de la resistencia no llegue a la cámara de condensado; para un mejor aislamiento térmico se recomienda poner un ladrillo en el espacio entre los tanques.
10. Conectar la cámara de condensado asegurando correctamente la posición del sello de caucho en la junta de unión.
11. Conectar el mecanismo de ajuste con las uñas, realizando presión uniforme en la conexión.
12. Encajar el pistón en el eje del condensador, teniendo en cuenta de conectar correctamente con el sello de caucho.
13. Colocar la junta axial apretándola con el tornillo y la tuerca con una llave asegurando que quede sujeto en la intersección del pistón y el tubo condensador.
14. Hacer un bombeo durante un minuto y medio o en su defecto 15 pulsos en la bomba de vacío
15. Conectar la resistencia a la toma de corriente.
16. Esperar un periodo de tiempo de 60 minutos.
17. Por ningún motivo apagar la resistencia antes de los 60 minutos
18. Apagar la resistencia
19. Desajustar la junta del pistón y quitar el pistón
20. Quitar la junta del condensador abriendo las juntas del tanice
21. Destapar la cámara de condensado teniendo en cuenta que las azas de manipulación pueden estar calientes, por lo que se recomienda el uso de coge ollas o una toalla de cocina que facilite la manipulación y disponer el agua tratada en un contenedor para su uso.
22. Una vez terminado el proceso tomando las precauciones necesarias retirar el tanque de calentamiento del ensamble.
23. Limpiar la salmuera del interior del tanque.
24. Una vez terminado el proceso asegurar la limpieza de los tanques, preferiblemente retirarlos y lavarlos, evitando dejar residuos de salmuera.

### **3.3 Recomendación de almacenamiento**

Después de la limpieza de la máquina se recomienda mantener ensamblado el condensador y el tanque con las uñas, de esta manera el montaje para cada uso es más rápido y se previenen filtraciones por ajustes.

## **4. MANTENIMIENTO**

### **4.1. Generalidades**

La máquina requiere de una limpieza después de cada jornada de trabajo esto se logra desacoplando las diferentes y retirando los sellos para limpiar con jabón los espacios en los que se puede almacenar diferentes residuos, también es necesario limpiar las paredes internas del condensador y las ollas con jabón y agua (proveniente de lluvias).

#### Mantenimiento del pistón

Es necesario el desmontaje de las barras de ajuste del pistón separar las placas que retienen la camisa del pistón y retirar las partes y colocar cada pieza sobre un paño limpio después de limpiarlas para posteriormente aplicar lubricante en:

1. Los sellos del embolo
2. El vástago
3. La superficie interior de la camisa
4. La ranura de la junta del vástago
5. Anillo guía

Lubrique las piezas con lubricante para cilindros neumáticos; adicionalmente identifique imperfecciones en cada sello para considerar su cambio en el caso de encontrar grietas o endurecimiento.

Realice el ensamble de las piezas cuidando la integridad de cada pieza.

### **4.2 Cuidados de operación**

1. El pistón no debe superar los 8 ciclos de vacío
2. Al tirar del vástago procure no desajustar la junta entre el pistón y la olla
3. el vástago debe ser manipulado con cargas verticales exclusivamente.
4. No accione el pistón durante el proceso de evaporación en la olla de destilación
5. Los impactos externos sobre el cuerpo del cilindro o las ollas pueden ocasionar daños.

6. Procure mantener la olla bajo el calor de la resistencia un periodo no mayor a una hora y media.
7. La cantidad de agua salada no debe superar los 3 litros+
8. Las dos ollas deben estar soportadas en su base de apoyo.
9. Para las resistencias eléctricas que generen calor sobre la pared de la olla de condensado favor de colocar un ladrillo entre las ollas.
10. Asegúrese de que todas las conexiones sean realizadas correctamente antes de suministrar calor al sistema.

### **4.3 Eliminación de los residuos**

La correcta eliminación de la salmuera al interior de la cámara de calentamiento es indispensable para conservar la máquina en condiciones adecuadas para su uso continuo, este proceso debe realizarse después de cada uso evitando el contacto excesivo de la salmuera con la máquina.

Para desechar la salmuera abra la tapa de la cámara de calentamiento y deposite en un contenedor los cristales de agua, salmuera y sal, debe evitar el contacto directo de los residuos de este contenedor sobre jardines o material vegetal vivo puesto que la alta concentración de sales perjudica su crecimiento.

### **4.4 Limpieza y cuidados generales**

La exposición del material a altas temperaturas hace que las superficies de la olla de calentamiento tomen un color opaco por lo que para su limpieza se han de emplear métodos de limpieza convencionales tratando a la cámara de calentamiento como una olla común desengrasando con un poco de vinagre blanco en la superficie que presente grasa acumulada y aplicando jabón lavaplatos con bicarbonato en una proporción de 2 a 1, de esta manera la máquina mantendrá su brillo y textura adecuados para su uso.

Para cada limpieza separe las piezas principales de la máquina y sumérjalas en agua fría con la mezcla de detergente lava platos frotando la superficie con un cepillo o material de cerdas rígidas, enjuague las piezas y séquelas con un plato limpio, una vez secadas las piezas proceda a ensamblar la máquina para su uso.

#### **4.5 Lubricación del pistón**

1. Desajustar las 4 tuercas de la tapa superior de la camisa
2. Extraer la tapa superior de la camisa del pistón
3. Lubricar entre los dos sellos del embolo
4. Colocar la tapa superior de la camisa
5. Ajustar nuevamente las tuercas

## **5 ETAPAS DEL MANTENIMIENTO**

El mantenimiento de cualquier máquina o equipo requiere del análisis de tres factores principales:

- Predictivo
- Preventivo
- Correctivo

### **5.1 Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo evalúa el estado de la máquina y con base en este determinar la necesidad o no de intervenir, permite prever posibles fallos optimizando el mantenimiento y la intervención técnica para aumentar la vida útil de la máquina, reduciendo las intervenciones y gasto en reparaciones.

### **5.2 Mantenimiento preventivo**

Garantiza el correcto funcionamiento de la máquina, evitando averías, las tareas del mantenimiento preventivo garantizan el buen estado de los componentes y su cuidado, son tareas rutinarias de bajo costo, planificadas para aumentar la vida útil de cada componente.

### **5.3 Mantenimiento correctivo**

El objetivo en este caso es resolver fallos o averías en el equipo, regresando la máquina a sus condiciones iniciales de operación, este tipo de mantenimiento es el más importante a especificar para cualquier operación ya que informa el protocolo necesario para reparar o minimizar un fallo ya generado; se pretende reducir mediante el mantenimiento preventivo y predictivo.

## 6. ANÁLISIS DE FALLAS

Contempla la recopilación, revisión, clasificación y análisis de las fallas en el proceso de manera que sea posible identificar el rendimiento de cada una de las partes, su finalidad es descubrir, minimizar y eliminar la causa original de la falla.

El análisis de falla integra el razonamiento lógico y cuantitativo para determinar las características del fallo, iniciando con una visión general de la máquina hasta limitar el sector específico del problema.

### 6.1 Inspección

Cada componente de la maquina tiene un nodo de operación específico que puede desencadenar fallas diversas por lo que es necesario reconocer la inspección necesaria para cada pieza junto con el tipo de mantenimiento y corrección para cada uno.

Es necesario especificar la inspección a realizar a la máquina con el fin de que el usuario pueda verificar, sin necesidad de ayuda técnica, el correcto funcionamiento de la máquina.

#### *Descripción de la inspección*

<b>Componente</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción Inspección</b>
Bomba manual de vacío	Visual	Antes de cada operación el usuario debe de verificar la correcta unión en las conexiones. Confirmar la forma del embolo que se encuentre paralelo al eje.
	Sensorial	A través del tacto el usuario en el orificio del pistón debe sentir una pequeña fuerza de succión al realizar el ejercicio de sacar el pistón. Al manejar el embolo en la bomba el movimiento debe ser fluido.
Sello de caucho	Visual	Se debe verificar que el caucho sobresalga de la unión, con el fin de hacer un sello hermético.
Tapa de acople	Visual	Verificar la correcta unión de todas las uñas junto con su ajuste y correcto cierre.

Cámara de calentamiento	Visual	Evidenciar que la maquina se encuentre en adecuadas condiciones para su uso sin golpes o aberturas.
Tubo condensador	Visual	Revisar la correcta unión de los acoples y las uñas, junto con los sellos; así mismo corroborar que no existan golpes abolladuras o efectos de corrosión en el material.
	Sensorial	Antes de encender la máquina mediante el tacto es necesario confirmar que el tubo no presenta goteo.
Tanice	Visual	Comprobar el correcto acople de las juntas con el correcto cierre de las uñas
Cámara de condensado	Visual	Evidenciar el apropiado estado de la cámara, libre de golpes, fisuras o presencia de oxido
	Sensorial	Corroborar que no exista goteo

Como se evidencia en la tabla la inspección a realizar es sensorial puesto que el diseño y proceso planteados pretenden reducir la complejidad permitiendo al usuario el uso y mantenimiento de la máquina sin la necesidad de procesos u operaciones técnicas.

## 6.2 Análisis de fallos y causas

Reconocer los posibles fallos en cada uno de los componentes de la máquina requiere a su vez identificar la posible causa y así brindar al usuario los conocimientos básicos respecto al uso y posibles problemas que pueden perjudicar la correcta operación de la máquina.

*Tabla de fallos*

Componente	Inspección	Falla funcional		Definición de la causa	
				General	Específica
Bomba manual de vacío	Visual	Perdida de vacío	La presión es menor a la deseada por lo que la operación requerirá mayor gasto energético	Error en la operación	Los ciclos del pistón son menores a los especificados para la operación
		Error en la generación de vacío	La presión en el sistema es igual a la ambiental por lo que el proceso requerirá más tiempo y energía	Ajuste	Al realizar la operación el embolo no se encontraba paralelo al eje



	Sensorial	Filtración de aire	Aumento de gas al interior del embolo por lo que	Ajuste	Deficiente acople del caucho y las piezas
		Freno en el movimiento del pistón	El movimiento del pistón requiere implementar más fuerza y tiende a no ser continuo	Desgaste	Falta de lubricación del embolo
Sello de caucho	Visual	Pérdida de vacío	Reducción de la presión de vacío al interior del tanque de calentamiento	Desgaste	Reducción del volumen del caucho
			Pérdida de vapor		Mala posición del caucho para el vacío
			Mayor consumo energético		Falta del caucho
		Filtración	Pérdida parcial del vacío al interior de la cámara de calentamiento	Desgaste	Ruptura del caucho
			Mayor tiempo de operación		Perforación del caucho
			Mayor consumo energético	Ajuste	Cierre deficiente
Tapa de acople	Visual	Pérdida de vacío	Reducción de la presión de vacío al interior del tanque de calentamiento	Ajuste	Ruptura de las uñas de acople
			Pérdida de vapor		Falta de vacío por parte de la bomba
			Mayor consumo energético		Cierre deficiente
		Filtración	Mayor volumen de contaminantes e inertes	Daño externo	Perforación superficial
			Mayor tiempo de operación	Ajuste	Cierre deficiente
Cámara de calentamiento	Visual	Fuga		Golpe	Perforación de la superficie
				Corrosión	Exceso de material corrosivo en el interior

	Sensorial	Contaminación	Contaminación por microorganismos en el agua marina a tratar		Falta de limpieza entre operaciones
					Exposición prolongada a materiales corrosivos
Tubo condensador	Visual	Fuga	Perdida de volumen de vapor de agua a tratar	Ruptura	Daños por golpe
	Visual	Filtración	Aumento del volumen de material contaminante e inertes	Ajuste	Mal ajuste del tanice
	Sensorial	Altas temperaturas	Reducción del volumen de líquido condensado	Manejo inadecuado	Cobertura del condensador con elementos inadecuados
Tanice	Visual	Filtración	Aumento del volumen de gas en el tubo condensador, mayor volumen de material contaminante e inerte	Mal ajuste en la unión	Unión de las uñas incompleta, falta de pasadores
		Fuga	Perdida de producto condensado por las juntas	Mal ajuste en la unión	Ruptura de las piezas
Cámara de condensado	Visual	Fuga	Perdida de líquido condensado	Ruptura	Falta de unión de alguna las pestañas de ajuste
					Daño o golpe externo

### 6.3 Tratamiento y corrección de fallos

Tras identificar las fallas de las partes y sus causas se evalúa el riesgo de cada una junto con el tratamiento a seguir como se evidencia en la tabla de análisis de fallos.

Tabla análisis de fallos

Componente	Falla	Nivel de riesgo	corrección	tipo de mantenimiento	Ciclos o periodo (cada x días)	requerimientos necesarios
Bomba manual de vacío	Error en la generación de vacío	Alto	Cambio del pistón	Correctivo	Al fallo	Técnico de mantenimiento
	Freno en el movimiento del pistón	Medio	Lubricación del pistón	Preventivo		Técnico de mantenimiento
	Filtración de aire	Bajo	Cambio de caucho y refuerzo de las uniones	Correctivo	Al fallo	Usuario
Sello de caucho	Perdida de vacío	Bajo	Cambio de caucho	Correctivo	Al fallo	Usuario
	Filtración	Bajo	Cambio de caucho	Correctivo	Al fallo	Usuario
			Cambio de caucho	Preventivo	Cada 400 usos o anual	Usuario
Tapa de acople	Perdida de vacío	Bajo	Revisión de las uñas	Predictivo	Cada 6 meses	Usuario
			Refuerzo de las uniones en las uñas	Correctivo	Al fallo	Técnico de mantenimiento
	Filtración	Bajo	Soldar y recubrir los espacios	Correctivo	Al fallo	Técnico de mantenimiento
Cámara de calentamiento	Fuga	Bajo	Revisar la integridad de la máquina antes de su uso	Preventivo	Cada uso	Usuario
			Soldar y cubrir las abolladuras	Correctivo	Al fallo	Técnico de mantenimiento
			Desechar la salmuera del su interior de la cámara	Predictivo	Cada uso	Usuario
	Contaminación	Medio	Limpiar la cámara después de cada uso	Preventivo	Cada uso	Usuario

			Aplicar anticorrosivos para la limpieza	Preventivo	Dos veces a la semana	Usuario
			Aplicar un tratamiento de prevención de la corrosión	Predictivo	En la manufactura	Técnico de fabricación
			Lijar las zonas corroídas y aplicar protección	Correctivo	Mensual	Usuario
Tubo condensador	Fuga	Bajo	Revisar la integridad de la máquina antes de su uso	Preventivo	Cada uso	Usuario
			Soldar y cubrir las abolladuras	Correctivo	Al fallo	Técnico de mantenimiento
			Examinar el correcto ajuste de las uniones antes de cada uso	Preventivo	Cada uso	Usuario
	Filtración	Medio	Verificar el ajuste de las uniones	Preventivo	Cada uso	Usuario
	Altas temperaturas	Medio	Evitar cubrir el condensador	Predictivo	Cada uso	Usuario
Tanice	Filtración	Bajo	Revisar el ajuste de las uñas en cada uso	Preventivo	Cada uso	Usuario
			Reforzar las uniones mediante soldadura	Predictivo	Cada 6 meses	Técnico de mantenimiento
			Cambiar el tanice en caso de ruptura	Correctivo	Al fallo	Técnico de mantenimiento
Cámara de condensado	Fuga	Bajo	Soldar y cubrir el orificio	Correctivo	Al fallo	Técnico de mantenimiento
			Cambio de cámara	Correctivo	Al fallo	Técnico de mantenimiento

El cuadro demuestra que la mayoría de requerimientos para la corrección y prevención de fallas pueden ser llevados a cabo por el usuario, por lo que la vida útil de la máquina no se verá afectada por la ausencia de personal capacitado.

## **ANEXO 2.**

### **RECOMENDACIONES**

Para la evaluación de las condiciones de evaporación del agua en el sistema es necesario considerar la salinidad que presenta el agua marina de la zona, por lo cual en caso de realizar un análisis similar respecto a otro sector geográfico es necesario realizar las correcciones pertinentes, de manera que el sistema y su análisis varían.

Los valores, constantes y análisis realizados en este documento corresponden a las características ambientales propias del municipio de La Tola, por lo que no han de ser tomadas como referente para sectores diferentes, puesto que la salinidad y temperatura varían.

Para el correcto funcionamiento de la máquina es necesario tratar con anterioridad el agua marina pasándola a través de un colador de manera rudimentaria, con el fin de eliminar los sólidos en suspensión y organismos propios de la flora y fauna marina.

Las condiciones planteadas para el sistema de la maquina son de saturación debido a que tanto la presión como la temperatura en las que se encuentra el agua permiten fácilmente su cambio de fase en el proceso, por lo cual cualquier variación respecto a las condiciones a las que se somete el sistema alterarán su funcionamiento.

Valor estimado para el desarrollo y elaboración de la máquina incluye los costos de diseño y fabricación de la máquina a nivel de prototipo, en caso de requerir llevar a cabo la producción en cadena los precios y estimaciones pueden presentar variaciones.

Con el fin de aprovechar la totalidad de la potencia de la resistencia se considera emplear un aislante alrededor de la resistencia, de manera que el proceso en el contenedor sea más eficiente; de acuerdo al análisis comparativo de este trabajo se recomienda el corcho como la mejor opción

En el proceso se plantea el uso de una resistencia eléctrica como fuente de calor para la destilación, sin embargo, el uso de energías alternativas como estufas a gas o incluso leña hacen de la máquina una solución factible en diferentes entornos.

Para una menor interferencia térmica entre los tanques se recomienda emplear un ladrillo que separe los contenedores, con el fin de reducir la transferencia de energía calorífica desde la resistencia eléctrica al condensador y tanque de condensado.