

SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE PARA EL CONSUMO
HUMANO EN HOGARES

ANGIE CATERINE CONTRERAS BUENO
NATALIA ANDREA RUEDA DEL RÍO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2018

SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE PARA EL CONSUMO
HUMANO EN HOGARES

ANGIE CATERINE CONTRERAS BUENO
NATALIA ANDREA RUEDA DEL RÍO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
DISEÑADOR INDUSTRIAL

DIRECTORA
MARÍA FERNANDA MARADEI GARCÍA
Ph.D Ingeniería Línea Ergonomía

CODIRECTORA
MARÍA PAOLA MARADEI GARCÍA
Ph. D. Química

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA

2018

AGRADECIMIENTOS

Les agradezco de todo corazón a mis padres, su amor, motivación y sabiduría han sido pilares inquebrantables a lo largo de mi vida, a ellos les dedico este logro y les agradezco los sacrificios hechos para darme la oportunidad de cumplir mis metas.

A mi abuelo Juan Bueno, quien ha sido una inspiración y apoyo constante en mi vida, siempre con la palabra adecuada para hacerme sonreír inclusive en los momentos más difíciles. A mi hermana Nathalia, la razón por la que me esfuerzo ser mejor mujer día a día y a mi abuela Amelia, quien desde el cielo me cuida.

A Natalia Rueda, mi amiga y compañera de tesis, hemos recorrido juntas este camino desde el inicio y no hay nadie más con quien quiera compartir este logro, gracias por tu fuerza y amistad. A María Paula, Mary y Gisela, quienes me han otorgado la mejor amistad y compañía durante estos años, gracias por su incondicional apoyo.

A las profesoras María Fernanda Maradei y María Paola Maradei, quienes nos presentaron este reto, gracias por creer en nosotras y guiarnos durante este proceso. Igualmente, a Javier Mauricio Castellanos por sus consejos para la realización del proyecto.

Finalmente, les agradezco a todas las personas que contribuyeron con su cariño y enseñanzas en mi crecimiento personal y a la escuela de Diseño Industrial, por mi formación académica y profesional.

Angie Caterine Conteras Bueno

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios, por ser mi impulso y mi guía en todas las etapas de mi carrera.

A mi familia por su amor, apoyo incondicional y porque siempre creer en mí. A mi mamá Esmeralda por su gran ejemplo, a mi hermano David por ser mi mayor motivación y a mi nonita Flor por su paciencia.

A Angie Contreras, por ser mi fiel compañera y amiga durante todo este camino, porque soñamos desde primer semestre con este día. A María Paula Ruiz, por su incondicional amistad y apoyo.

Al equipo de la selección de Rugby, por formar mi carácter y por regalarme disciplina. A las personas que conocí allí y ahora forman parte de mi vida.

A las profesoras María Fernanda Maradei y María Paola Maradei por guiarnos durante todo este proceso, a Javier Mauricio Castellanos por los consejos para el desarrollo del sistema.

A todas las personas que estuvieron conmigo, que hicieron parte de este proceso, que me apoyaron, guiaron, aconsejaron y motivaron.

Finalmente a la EDIUIS por mi formación como diseñadora industrial.

Natalia Andrea Rueda del Rio

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE DISEÑO.....	20
2. JUSTIFICACIÓN.....	24
3. OBJETIVOS	27
3.1. TITULO.....	27
3.2. OBJETIVOS.....	27
3.2.1. Objetivo General	27
3.2.2. Objetivos específicos	27
4. MARCO TEÓRICO	28
4.1. MARCO DE REFERENCIA CONCEPTUAL	28
4.1.1. Calidad de agua.....	28
4.1.2. Climatología de Santander.....	33
4.1.3. Desarrollo de un sistema de recuperación de agua del ambiente usando absorbentes	34
4.2. REVISIÓN DE LOS PRODUCTOS Y SERVICIOS EXISTENTES PARA SUSTENTAR AGUA POTABLE EN SANTANDER	35
4.2.1. Plan Departamental De Aguas Para Abastecimiento En Santander	35
4.2.2. Panorama de las Medidas de Acción Municipales debido al Desabastecimiento	37
4.2.3. Sistemas Alternativos	38
5. METODOLOGÍA.....	41
5.1. FASE 1. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	41
5.2. FASE 2. DISEÑO.....	42
5.3. FASE 3. VALIDACIÓN	43

6. VISITA TÉCNICA A LAS REGIONES CON MAYOR IMPACTO EN SANTANDER	45
7. REQUERIMIENTOS	46
7.1. PARÁMETROS DE DISEÑO	46
7.1.1. Parámetros Sistema General	47
7.1.2. Parámetros Absorción	48
7.1.3. Parámetros Desorción	49
7.2. PARÁMETROS CLIMATOLÓGICOS	50
8. EXPLORACIÓN DE CONCEPTOS.....	52
8.1. SELECCIÓN DE CONCEPTOS.....	53
8.1.1. Selección de conceptos Fase 1- Absorción	53
8.1.2. Selección de conceptos Fase 2 – Desorción.....	55
9. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS.....	58
9.1. FASE 1 – ABSORCIÓN	58
9.1.1. Alternativas Absorción (Fase 1)	58
9.1.2. Evaluación Alternativa Fase de Absorción	60
9.2. FASE 2 – DESORCIÓN.....	63
9.2.1. Alternativas Desorción (Fase 2)	63
9.2.2. Evaluación Alternativa Fase de Desorción	66
9.3. ALTERNATIVA FINAL	68
10. DISEÑO DE DETALLE	71
10.1. DIAGRAMA DE SOLUCIONES.....	71
10.2. CALCULO DE ÁREAS Y VOLÚMENES.	72
10.2.1. Contenedores	72
10.2.2. Fase absorción	72
10.2.3. Fase desorción	73
10.3. PLANOS	73
10.3.1. Sistema General	74
10.3.2. Fase 1.....	74

10.3.3. Fase 2.....	75
10.3.4. Contenedores	75
10.4. MATERIALES	75
10.4.1. Placas, contenedores y Fase 2.....	76
10.4.3. Cubierta fase 2	79
10.5. PROCESO ELECTRÓNICO	81
10.6. LISTA DE PARTES Y COMPONENTES.....	82
10.7. IDENTIDAD CORPORATIVA.....	84
11.VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN	86
11.1. VALIDACIÓN ESTÁTICA MEDIANTE SOLIDWORKS.....	86
11.2. ELABORACIÓN DEL SISTEMA.....	88
11.3. VERIFICACIÓN DEL SISTEMA.....	90
11.4. VALIDACIÓN DEL SISTEMA.....	98
11.4.1. ANÁLISIS DE DATOS DE VALIDACIÓN	100
11.4.2. Validación – FASE 1	100
11.4.3. Validación – Fase 2	102
12.CONCLUSIONES	107
BIBLIOGRAFÍA.....	110
ANEXOS	111

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Resultados IRCA consolidado, urbano y rural Santander 2012</i>	32
Figura 2. Mapa de Humedad Relativa en Santander	34
Figura 3. Coberturas por Servicio en Santander	36
Figura 4. Bomba de Arriete	39
Figura 5. Reservorio de agua proveniente del pozo en zona rural de Lebrija.....	40
Figura 6. Fases de la metodología	41
Figura 7. Metodología Fase 1	42
Figura 8. Metodología Fase 2	43
Figura 9. Metodología Fase 3	44
Figura 10. Resultados Encuesta visita técnica	45
Figura 11. Parámetros de Diseño	46
Figura 12. Requerimientos Funcionales de Diseño – Sistema en General	47
Figura 13. Requerimientos Formal-estético de Diseño – Sistema en General	47
Figura 14. Requerimientos de Uso – Sistema General.....	48
Figura 15. Requerimientos Estructurales – Sistema General.....	48
Figura 16. Requerimientos funcionales de diseño – Absorción	49
Figura 17. Requerimientos funcionales de diseño – Desorción.....	49
Figura 18. Parámetros Cuantitativos	51
Figura 19. Sub-fases y soluciones.....	52
Figura 20. Pre-propuestas Fase 1	54
Figura 21. Matriz Selección – Fase 1	55
Figura 22. Pre-propuestas Fase 2	55
Figura 23. Matriz Selección – Fase 2	57
Figura 24. Alternativa 1 – Fase 1.....	59
Figura 25. Alternativa 2 – Fase 1.....	60
Figura 26. Primera reunión con expertos	61
Figura 27. Alternativa 1 – Fase 2.....	64
Figura 28. Alternativa 2 – Fase 2.....	66
Figura 29. Segunda reunión con expertos.....	67
Figura 30. Alternativa Final – Fase 1.....	69
Figura 31. Alternativa Final – Fase 2.....	70
Figura 32. Diagrama de soluciones	71

Figura 33. Matriz de selección Material para placas, contenedores y fase 2.	77
Figura 34. <i>Matriz de selección Material estructuras</i>	79
Figura 35. Matriz de selección material – Cubierta fase 2	80
Figura 36. Gráfico de diseño esquemático	81
Figura 37. Alternativa Logos	84
Figura 38. Logo final, paleta de colores, tipografía.	85
Figura 39. Centro de masa del sistema.....	86
Figura 40. Análisis estático de estructuras	87
Figura 41. Modelo funcional escala 1:2	90
Figura 42. Verificación prueba 1 – Fase 1.....	91
Figura 43. Verificación prueba 1 – Fase 2.....	92
Figura 44. Placa fase 2	93
Figura 45. Verificación prueba 2 – Fase 2.....	93
Figura 46. Verificación prueba 2 – Fase 2 (Adición de placas).....	94
Figura 47. Verificación prueba 3 – Fase 2.....	95
Figura 48. Protocolo de validación.....	99
Figura 49. Validación Fase 1	100
Figura 50. Gráfica de porcentaje de humedad	101
Figura 51. Gráfica de velocidad del viento	102
Figura 52. Validación – Inicio Fase 2.....	103
Figura 53. Condensación inicial Fase 2.....	103
Figura 54. Condensación del agua	104
Figura 55. Gráfica Rayos UV	105
Figura 56. Gráfica Temperatura.....	105

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cuadro comparativo de la Bomba de Ariete	39
Tabla 2. Cuadro comparativo de pozos perforados	40
Tabla 3. Ventajas y desventajas Alternativas – Fase 1.....	62
<i>Tabla 4. Material para Placas</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 5. Material para Contenedores</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 6. Material para Fase 2</i>	<i>77</i>
Tabla 7. Material para Estructuras.....	78
<i>Tabla 8. Material para Cubierta de fase 2</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 9. Partes y componente electrónicas</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 10. Cargas aplicadas al sistema</i>	<i>87</i>
Tabla 11. Verificación del Sistema.....	97

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Encuesta diagnóstica.....	111
ANEXO B. Cálculos.....	112
ANEXO C. Alternativas fase 1 – Absorción.....	114
ANEXO D. Alternativas fase 2	115
ANEXO E. Planos	117
ANEXO F. Gráficas para selección del material según metodología de Ashby.	122
ANEXO G. Proceso electrónico	126
ANEXO H. SELECCIÓN IDENTIDAD CORPORATIVA.....	128
ANEXO I. VALIDACIÓN DEL SISTEMA.....	129

RESUMEN

TÍTULO: SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE PARA EL CONSUMO HUMANO EN HOGARES.*

AUTORES: Natalia Andrea Rueda del Rio
Angie Caterine Contreras Bueno**

PALABRAS CLAVE: Suministro de agua, abastecimiento, humedad, absorción, desorción.

DESCRIPCIÓN:

El agua es indispensable para todas las formas de vida del planeta. Sin embargo, la disponibilidad de este preciado recurso se ha convertido en una problemática. En el departamento de Santander, Colombia, hay 87 municipios de los cuales 34 se ven afectados por desabastecimiento de agua, 17 de ellos declararon la calamidad pública y otros 17 están en alerta roja.

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema que suministre agua potable para el consumo humano, a partir de la absorción de la humedad del aire como propuesta para mitigar el desabastecimiento de agua potable en hogares, teniendo como zona de estudio las regiones en Santander que tengan un nivel de humedad superior al 70%.

Para esto se presentó una metodología de diseño donde inicialmente se realizó un análisis de los tipos de servicios existentes para solucionar esta problemática. Se establecieron parámetros de restricción del proyecto, en términos del modelo teórico para la absorción del agua por medio de absorbentes, propuesto en el proyecto de grado realizado en ingeniería química “Desarrollo de un sistema de recuperación de agua del ambiente usando absorbentes, bajo las condiciones ambientales de Riohacha”. Seguidamente, se generaron alternativas que permitieran dar solución al problema para definir una propuesta final y desarrollar un prototipo funcional. Finalmente, se evaluó la eficiencia del diseño propuesto en términos de cantidad de agua potable obtenida en un día, instalada en un entorno real, en donde las variables climatológicas intervenían directamente en el funcionamiento del producto.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Directora María Fernanda Maradei García. Codirectora María Paola Maradei García.

ABSTRACT

TITULO: SUPPLY SYSTEM OF DRINKING WATER FOR HUMAN CONSUMPTION IN HOMES.*

AUTORES: Natalia Andrea Rueda del Rio
Angie Caterine Contreras Bueno**

PALABRAS CLAVE: Water supply, supplying, humidity, absorption, desorption.

DESCRIPTION:

Water is essential for all forms of life on the planet. However, the availability of this precious resource has become a problem. In the department of Santander, Colombia, there are 87 municipalities of which 34 are affected by water shortages, 17 of them declared in public calamity and another 17 are on red alert.

This work presents the development of a system that provides drinking water for human consumption, through the absorption of air humidity as a proposal to mitigate the shortage of drinking water in homes, having as a study area the regions in Santander that have a humidity level greater than 70%.

For this purpose, a design methodology was used where it was initially done an analysis of the existing services that solve this problem. Restriction parameters of the project were established, in terms of the theoretical model for the absorption of water by means of absorbents, proposed in the degree project made in chemical engineering “Development of an atmospheric water recovery system using absorbents under Riohacha’s Colombia environmental conditions”. Then, alternatives were generated, that would allow solving the problem, to define a final proposal and develop a functional prototype. Finally, the efficiency of the proposed design was evaluated in terms of the amount of potable water obtained in a day, installed in a real environment, where weather variables intervened directly in the operation of the product.

* Bachelor Thesis.

** Physical – Mechanical Engineering Faculty. School of Industrial Design. Director María Fernanda Maradei García. Co-director María Paola Maradei García.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para todas las formas de vida como para los ecosistemas del planeta. Gracias a sus propiedades es esencial para la salud humana, la producción de alimentos y el saneamiento, así como para una gran variedad de usos a nivel industrial y económico. No obstante, la disponibilidad de este preciado recurso se ha convertido en una problemática constante a nivel mundial.

La escasez del agua es un problema económico, social y ambiental. Actualmente hay 663 millones de personas en el mundo que no tienen acceso al agua potable y 2,4 mil millones que carecen de saneamiento básico¹. Estas carencias se han convertido en limitaciones graves para el bienestar y calidad de vida las personas.

La disponibilidad es sólo una parte del problema. Las causas básicas de la crisis del agua surgen de la desigualdad y pobreza de las sociedades, y se ve aún más afectada por la urbanización y desarrollo industrial, el cambio climático, y la creciente contaminación y degradación de la calidad del agua², se estima que 1.800 millones de personas utilizan una fuente de agua potable contaminada³.

A pesar del privilegio hídrico de Colombia, este no está exento de la situación. Colombia ocupa el puesto 24 entre 203 países por disponibilidad per cápita del agua⁴, sin embargo la oferta no está distribuida homogéneamente en todo el territorio, y está sometida continuamente al uso inadecuado y poco eficiente de

¹ Organización Mundial de la Salud. Informe 2015 del PCM sobre el acceso a agua potable y saneamiento: datos esenciales. OMS/UNICEF, 2015.

² ONU. La calidad del agua y el saneamiento. 2010. Disponible en: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/swm_cities_zaragoza_2010/pdf/01_water_quality_and_sanitation_spa.pdf

³ BIAN, Robert, et al. Fecal Contamination of Drinking-Water in Low- and Middle-Income Countries. Bain et al, Volume 11. 2014.

⁴ ONU. Agua para todos, agua para la vida. Paris, Francia: UNESCO-WWAP, 2013.

la población, contaminándola y causando daños a la calidad del agua para su potabilidad⁵.

En el último estudio nacional del agua, realizado por el IDEAM, la afectación a la calidad del agua, expresada en contaminantes de metales pesados, materiales no biodegradable y biodegradable; se concentra en cerca de 150 ciudades como Bucaramanga y otros municipios pertenecientes a Santander. Además, 205 toneladas de mercurio son vertidas al agua de los ríos a nivel nacional, ríos que muchas veces son utilizados por la población como fuentes para consumo humano⁶.

En el departamento de Santander, 43 municipios no poseen agua potable para consumo humano⁷ y la totalidad de los 87 municipios vierten desechos urbanos que en su mayoría son descargados a las fuentes hídricas sin ningún tipo de tratamiento⁸. La mayoría de los municipios santandereanos no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales, si los tienen no se encuentran en funcionamiento o su operación y mantenimiento son irregulares, esto se evidencia en el índice de riesgo de calidad del agua para los acueductos del departamento, donde es clasificado como medio de manera global para todo el departamento, lo que quiere decir que la calidad del agua a nivel regional no es óptima al 100% para su consumo⁹.

Santander aún está lejos de garantizar agua potable para todos los habitantes del Departamento, hecho que pone en evidencia la necesaria intervención a

⁵ UNESCO. El agua urbana en Colombia. En UNESCO, Desafíos del agua urbana en las Américas. 2015, p. 175- 207.

⁶ IDEAM. Estudio nacional del agua. Disponible en: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2014. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

⁷ URIBE CAPUTI, Juan Carlos. BAYONA, Sandra. Calidad de agua en el departamento de Santander. Bucaramanga, Abril - Junio, 2013, no. 2.

⁸ GRUPO DE INVESTIGACIÓN SOBRE DESARROLLO REGIONAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL. Santander 2030 Diagnóstico dimensión biofísico ambiental territorial de Santander. Bucaramanga; Universidad Industrial de Santander, 2013.

⁹ REDONDO PAREDES, Fernando. Tecnología al servicio de la salud pública: tratamiento de las aguas contaminadas. Revista del Observatorio de Salud Pública de Santander. 2013, p. 35-38.

través del diseño con el fin de implementar una solución alternativa para el desabastecimiento del agua potable.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE DISEÑO

El agua es una sustancia indispensable para la supervivencia de todas las formas de vida conocida. La tierra está compuesta de un 70% de agua, 97.5% de ésta es salina, contenida principalmente en los océanos, y sólo 2.5% es agua dulce. Menos de 1% del agua dulce del mundo, está disponible para el uso humano y el mantenimiento de los ecosistemas naturales¹⁰. Lamentablemente el hombre ha desperdiciado y contaminado más de la mitad del agua apta para el consumo humano.

El agua es indispensable para la vida. Su calidad está íntimamente relacionada con el nivel de vida y con el nivel sanitario de un país¹¹. El agua es de vital importancia ya que se utiliza para diversas actividades entre las que se encuentran el bienestar del hombre, el crecimiento de cultivos, la producción de alimentos, fabricar productos industriales, entre otros. Teniendo en cuenta esto se puede determinar que este recurso se encuentra presente en todos los aspectos de la vida cotidiana de los seres humanos.

Es necesario que exista un abastecimiento adecuado de agua, con la calidad que los asentamientos rurales y urbanos requieren; ya que esta condición evita los casos de morbilidad por enfermedades como el cólera y la diarrea. Además, la escasez de agua a nivel mundial, debido a los limitados abastecimientos de agua potable, es un gran problema; el agua es considerada el mayor sustento para el ser humano¹².

¹⁰ CARABIAS, Julia. LANDA, Rosalba. Agua, medio ambiente y sociedad. México: Primera edición, 2005.

¹¹ MINISTERIO DE SANIDAD, SERVICIOS SOCIALES E IGUALDAD. Calidad de aguas, consumo humano, [En línea]. 2014. Disponible en: <http://www.msssi.gob.es/profesionales/salud/saludAmbLaboral/calidadAguas/consumoHumano.htm>

¹² UNICEF. La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales, 2006. Disponible en: <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>

El problema no es sólo la calidad del agua, también es importante que la población tenga acceso a una cantidad mínima de agua potable por día; en promedio una persona debe consumir entre 1,5 a 2 litros de líquido al día dependiendo del peso, de lo contrario se pueden presentar algunos problemas de salud¹³. Se estima que, actualmente, más de dos mil millones de personas se ven afectadas por la escasez de agua en más de 40 países, Al menos 1.100 millones de personas carecen de instalaciones necesarias para abastecerse de agua y 2.400 millones no tienen acceso a sistemas de saneamiento¹³.

Cada año millones de personas, la mayoría niños, mueren por enfermedades asociadas con el suministro inadecuado de agua, saneamiento e higiene. Según la Organización Mundial de la Salud, cada día unos 3.900 niños mueren debido al agua sucia o a una mala higiene; las enfermedades transmitidas por el agua o los excrementos humanos son la segunda causa de muerte en niños en todo el mundo, después de enfermedades respiratorias¹⁴.

En el año 2015, el 89,9% de los hogares colombianos contaba con servicio de acueducto. La cobertura de servicio de acueducto en las cabeceras fue 97,6% y en los centros poblados y rural 61,2%¹⁵. En Santander hay 87 municipios de los cuales 34 se ven afectados por desabastecimiento de agua, es decir el 39%; 17 de ellos declararon la calamidad pública y otros 17 están en alerta roja. Los municipios más afectados por desabastecimiento de agua son: Lebrija, Macaravita y Los Santos¹⁶. Estas cifras permiten suponer que una gran parte del territorio tiene un suministro inadecuado de agua, saneamiento e higiene lo que podría conducir a enfermedades asociadas al consumo de este tipo de agua.

¹³ UNESCO. Water for people, water for life. Paris: Ediciones UNESCO, 2003.

¹⁴ LENTON, Roberto. WRIGTH, Albert. Health, Dignity, and Development: What Will it Take?. London: Earthscan, 2005.

¹⁵ DANE. Encuesta Nacional de Calidad de Vida . Bogotá, Marzo, 2015.

¹⁶ MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO DE COLOMBIA. En Santander Gobierno invierte mas de 747 millones para el abastecimiento de agua potable. [En línea]. MINVIVIENDA, Febrero, 2016. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2016/febrero/en-santander-gobierno-nacional-invierte-mas-de-747-mil-millones-para-el-abastecimiento-de-agua-potable>

Para solventar esta problemática en el país, se han planteado diferentes soluciones como la “Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico” en el cual se establecen objetivos, estrategias, líneas de acción, entre otras; para el manejo del agua por doce años, el objetivo de esta Política es garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente¹⁷.

Otra de las soluciones desarrolladas en Colombia es el “Pacto por el Uso Eficiente y Ahorro del Agua” que se lleva a cabo desde el año 2012 y cuyo objetivo es que empresas de sistemas de alcantarillado y acueducto creen estrategias que disminuyan el consumo de agua en usuarios y los desperdicios debido a problemas técnicos¹⁸. Las anteriores estrategias mencionadas, se proyectaron a solucionar y mejorar el problema del recurso hídrico, generando conciencia acerca del correcto y eficiente uso del recurso para así preservarlo y gozar del privilegio de tener agua potable.

Sin embargo, pese a que las estrategias nacionales actuales no han podido suministrar agua potable a todo el territorio nacional, es necesario buscar desde la investigación científica nuevas alternativas que mitiguen la problemática. De esta forma, el problema se centra en buscar opciones asequibles para obtener agua purificada y por tanto segura en estos hogares que posee características particulares; están aislados de las zonas urbanas, con bajo acceso a vías y no poseen es su mayoría, suministro de energía. Por ello en una primera instancia se desarrolló un proyecto en la escuela de ingeniería química, este proyecto validó un modelo que permite obtener agua potable a partir de la absorción de la humedad del aire. Por tanto, se propone

¹⁷ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, 2013.

¹⁸ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Pacto Por El Uso Eficiente Del Agua. Bogotá, 2012.

una segunda fase que permita diseñar un sistema funcional, que use el modelo ya validado y bajo las condiciones ambientales de Santander, Colombia. Se espera ofrecer una alternativa de suministro de agua potable, lista para el consumo humano en los hogares con problemas de desabastecimiento.

2. JUSTIFICACIÓN

El agua es fundamental para el desarrollo sostenible y socioeconómico de la sociedad, los ecosistemas saludables y para la supervivencia humana misma. Actualmente, sin embargo, más de 650 millones de las personas más pobres del mundo están viviendo sin acceso a una fuente de agua potable¹ y a medida que los países se desarrollan y las poblaciones crecen, se proyecta que la demanda potencial de agua incrementará en un 55% para el año 2050¹⁹. Si continúan los patrones actuales de consumo, para el año 2025 dos tercios de la población mundial podría estar viviendo en países bajo estrés hídrico²⁰.

En Colombia sólo 354 (33%) municipios del país cuentan con sistemas de tratamiento para agua potable y se sabe que 29% de ellos no se encuentran operando. Se ha estimado que de los 159 m³/s de agua captados a nivel nacional, el volumen de aguas residuales que recibe tratamiento es cercano a 5 m³/s, equivalente a 3,1% del volumen mencionado²¹, dando como resultado el deterioro de la calidad del agua y de las cuencas abastecedoras. La baja cobertura, capacidad y mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua, así como de la falta de control, seguimiento y monitoreo de la calidad de agua, provoca un alto porcentaje de colombianos que no reciben agua apta para consumo humano⁵.

La baja calidad del agua se observa en el boletín realizado por el sistema de información para la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano, solo el 32.12 % de municipios cumplieron con las muestras exigidas para Coliformes Totales y E.coli (bacteria causante de producir enfermedades). En los parámetros físico-químicos el 28.77 % de los municipios cumplieron con el plan de muestreo para color, 28.58 % para turbidez, 28.13 % para pH y 28.68

¹⁹ OCDE. Perspectivas Ambientales para el 2050. París: OCDE, 2012

²⁰ UNESCO. Informe Mundial de la ONU sobre Desarrollo del Agua. París: UNESCO, 2009.

²¹ SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Informe Técnico sobre Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia. Bogotá D.C, 2013.

% para CRL²². Los resultados evidencian que la calidad del agua no es la mejor para consumo humano pues en muy pocos municipios se cumple con la normativa.

La distribución de agua con estas características representa un alto riesgo para la salud, siendo una causa directa de enfermedades y mala calidad de vida en la población. En el departamento de Santander, para el año 2009, se registraron 44.058 casos de diarrea, afectando a la población en general. De la misma forma, desde el año 2005 hasta el año 2012 se notificaron a través del SIVIGILA (Sistema de Vigilancia en Salud Pública) un total de 1.838 casos de hepatitis A, enfermedad vinculada al consumo de aguas contaminadas²³.

De acuerdo con los resultados del año 2013, el IRCA por municipios muestra que solamente 39 municipios (exceptuando los del área metropolitana) poseen agua apta para el consumo (sin riesgo y con riesgo bajo), mientras que 43 no la poseen (riesgo medio y alto). Igualmente, el riesgo global para el departamento clasificado es medio⁷, reflejando que la calidad del agua a nivel regional no es la más adecuada.

La OMS estima que el 94% de los casos de enfermedades a causa de aguas contaminadas, como la diarrea, podrían evitarse mediante intervenciones tales como el aumento de la disponibilidad de agua potable y el acceso a servicios de saneamiento, además de educación para la salud (Organización Mundial de la Salud, 2007). El suministro de agua potable y la eliminación sanitaria de las excretas contribuye a reducir el riesgo de infección intestinal. Sin embargo, esta condición no es suficiente para eliminar completamente la probabilidad de enfermar, ya que se necesitan además, la concurrencia de otros métodos de solución²⁴.

²² SIVICAP. Boletín vigilancia del agua. Colombia. 2016

²³ OTERO, Johanna, *et al.* Diagnóstico de Salud en Santander. Edición especial de la Revista del Observatorio de Salud Pública de Santander, Enero-abril, 2012.

²⁴ MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Vigilancia de las Enfermedades Vehiculizadas por Agua. Bogotá D.C., 2015.

Por consiguiente, se hace necesario un estudio a través del cual se dé respuesta a la pregunta de diseño: ¿Cuánta cantidad de agua potable por día puede suministrar el sistema diseñado en el marco de este proyecto, a una población ubicada en áreas con un porcentaje de humedad superior al 70%?

3. OBJETIVOS

3.1. TITULO

Sistema de suministro de agua potable para el consumo humano en hogares

3.2. OBJETIVOS

3.2.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema que suministre agua potable para el consumo humano, a partir de la absorción de la humedad del aire, como alternativa para hogares con desabastecimiento en municipios de Santander.

3.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los tipos de productos y servicios existentes para sustentar agua potable en Santander, orientado al suministro en las poblaciones con un porcentaje de humedad superior al 70%.
- Establecer los parámetros de restricción del proyecto, en términos de ingeniería química a partir del trabajo interdisciplinario con la codirectora del proyecto.
- Desarrollar alternativas que permitan dar solución al problema de diseño, considerando las restricciones propias de este tipo de asentamientos rurales.
- Evaluar la eficiencia del diseño a proponer en términos de cantidad de agua potable obtenida en un día y material absorbente a utilizar.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. MARCO DE REFERENCIA CONCEPTUAL

4.1.1. Calidad de agua El agua es un compuesto esencial para la vida. El acceso al agua potable es fundamental para la salud, uno de los derechos humanos básicos. Sin embargo, para determinar si el agua califica para un propósito particular, su calidad se debe especificar en función del uso que se le vaya dar a esta. Esto significa que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria²⁵.

La calidad del agua se modifica por causas naturales como por factores externos. Cuando los factores externos que degradan el agua son ajenos al ciclo hidrológico, se habla de contaminación²⁶. El 90% de todas las aguas residuales en los países en desarrollo se descargan sin tratamiento, contaminando ríos, lagos y mares². La prevención, control y solución de los problemas derivados de la contaminación de las aguas constituye uno de los objetivos que deben plantearse en cualquier política avanzada de gestión de recursos hídricos.

4.1.1.1. Parámetros fisicoquímicos evaluados en el agua Es necesario conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua antes poder seleccionarla como fuente de agua potable.

Se evalúan tres categorías para clasificar los factores que determinan la calidad del agua, que son: factores físico-químicos, hidromorfológico y biológicos²⁷.

²⁵ CÁNEPA DE VARGAS, Lidia, *et al.* Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Teoría tomo 1. Lima: CEPIS, 2004 Lima, 2004.

²⁶ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Libro blanco del agua en España. 2000

²⁷ UNEP. Natural Capital Accounting and Water Quality: Commitments, Benefits, Needs and Progress. IEEP, 2013.

Los factores físico-químicos, se dividen en dos factores: la parte física que afecta directamente a los sentidos como la vista y el olfato. Estas características son la turbiedad, el color, olor, sabor, temperatura, y pH²⁸ y la parte química, que hace referencia al nivel de nitratos y fósforo, la cantidad de oxígeno disuelto, salinidad, concentración de contaminantes químicos y metales pesados tales como arsénico, plomo, mercurio y cromo, que son altamente tóxicos para los humanos²².

Los factores hidromorfológicos evalúan tanto la estructura física, como el régimen hidrológico de caudales asociados a los ecosistemas fluviales y las condiciones morfológicas, su continuidad, flujo y sustrato²⁹.

Por último, los factores biológicos, hace referencia al número de especies de animales y plantas, como de diversos organismos bacteriológicos presentes en el agua. De igual forma, los coliformes representan un indicador biológico de las descargas de materia orgánica, siendo buenos indicadores de microbios en el agua.

4.1.1.2. Calidad y control del agua en Colombia Colombia debido a su ubicación geográfica, posee una variada topografía permitiendo tener una de las mayores ofertas hídricas del planeta, superando los 2.000 km³ al año y corresponde en promedio, a 57.000 m³ anuales por habitante. Sin embargo, la oferta no está distribuida homogéneamente en todo el territorio y está sometida a variaciones que determinan la disponibilidad en el recurso hídrico en cada una de las regiones del país⁶.

En Colombia, el estado interviene en la prestación de los servicios públicos como el agua potable³⁰. Suministrando este servicio a la población continua e ininterrumpida y se encargándose de ampliar la cobertura.

²⁸ Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial . RESOLUCIÓN NÚMERO 2115, 2007

²⁹ MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, 2007

Por otro lado, existen tres normativas que regulan el agua en Colombia:

- La resolución 2115 de 2007, donde se definen las características, medidas e instrumentos básicos y la vigilancia y frecuencias del sistema de control de la calidad del agua potable²⁸.
- El decreto 1575 de 2007, que establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano²⁹.
- El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000³¹.

- **Problemática en Colombia** El problema del agua en el país no es de cantidad sino de calidad. Las aguas residuales domésticas, la actividad agrícola y la minería de oro son los principales responsables de su deterioro. La agricultura demanda un 55% del agua y el uso doméstico un 29%. El resto del consumo está representado como energía hidroeléctrica y uso industrial. El gran desafío para Colombia es el tratamiento de las aguas residuales que solo llega a un 3%⁵.

El IDEAM señala que el 50% de la población urbana de Colombia sufre en la actualidad problemas de suministro de agua; cifra que se incrementará al 69% en el año 2025³², siendo esta una gran contradicción, en un país rico en recursos hídricos. Además, la contaminación de origen doméstico, agrícola e industrial y la deforestación crean enormes limitaciones para su uso. El problema más grande es el que la mayor parte de las aguas residuales no son tratadas y, por tanto, su reutilización no es posible³³.

³⁰ COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. (Febrero 2016). Regulación Integral Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico En Colombia, 2016. Disponible en: <http://cra.gov.co/apc-aa-files/30653965346361386366633062643033/recopilacin-de-la-resolucin-cra-688-de-2014-y-resolucin-cra-735-de-2015.pdf>

³¹ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000.

³² MOTTA VARGAS, Ricardo. El derecho humano al agua en Colombia: planes departamentales y privatizaciones. Revista Republicana, Enero – junio, 2010, p. 109-125.

³³ BERNAL, Andrea., RIVAS, Luis. Local development in peri-urban and rural areas based. 11th edition of the World Wide Workshop for Young Environmental Scientists. Francia, 2011.

Dado que la problemática del agua pone en debate la supervivencia misma del país y de todas las especies pertenecientes, las alternativas y proyectos para disminuir los impactos negativos deben ser más que los servicios prestados por el gobierno y las entidades. Desde aquellos proyectos que inician con la modificación de los modelos de desarrollo económico, agrícola e industrial, para hacerlos sostenibles, hasta los que proponen un cambio de los patrones de recuperación del agua con alternativas innovadoras.

- ***Problemática del agua en Santander*** El indicador del grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua (IRCA) en el departamento de Santander para el año 2012 fue de 11,5%, esto significa que el valor pertenece al nivel de riesgo bajo. En el caso de la zona urbana fue de 10,7 % también en riesgo bajo y para el área rural de 18,1 % en riesgo medio.

En la figura 1 se encuentran los resultados del IRCA consolidado, urbano y rural en Santander, en el año 2012. Encontrando que municipios como El playón, Lebrija y Los Santos, se encuentran en un nivel de riesgo medio.

Figura 1. Resultados IRCA consolidado, urbano y rural Santander 2012

ID	NOMBRE	IRCA (%)	IRCA (%) URBANO	IRCA (%) RURAL	ID	NOMBRE	IRCA (%)	IRCA (%) URBANO	IRCA (%) RURAL
846	Bucaramanga	6,3	5,1	22,2	890	La Belleza	13,6	16,3	0,0
847	Aguada	22,2	22,2	22,2	891	La Paz	13,1	13,1	
848	Albania	14,0	15,7	9,7	892	Landázuri	34,7	34,7	
849	Aratoca	18,8	18,8		893	Lebrija	15,7	6,1	47,6
850	Barbosa	14,5	15,3	9,1	894	Los Santos	22,6	18,5	63,6
851	Barichara	4,5	4,5		895	Macaravita	10,6	9,6	12,1
852	Barrancabermeja	0,8	0,8	0,4	896	Málaga	7,1	7,1	
853	Betulia	19,8	15,3	30,9	897	Matanza	15,8	0,0	17,4
854	Bolívar	0,7	0,7		898	Mogotes	4,5	4,5	
855	Cabrera	15,4	15,4		899	Molagavita	20,5	17,8	44,4
856	California	3,5	3,7	0,0	900	Ocamonte	20,4	12,3	44,6
857	Capitanejo	18,3	21,3	0,0	901	Oiba	6,7	6,7	
858	Carcasí	12,0	12,0		902	Onzaga	12,3	15,3	0,0
859	Cepitá	3,0	3,0	3,6	903	Palmar	49,6	59,5	0,0
860	Cerrito	31,5	32,7	26,1	904	Palmas Del Socorro	9,5	11,0	3,6
861	Charalá	0,7	0,7		905	Páramo	14,6	14,6	
862	Charta	5,2	5,2		906	Piedecuesta	0,6	0,7	0,0
863	Chima	15,2	15,2		907	Pinchote	13,0	19,3	8,2
864	Chipatá	16,0	16,0		908	Puente Nacional	8,0	8,0	
865	Cimitarra	6,8	6,8		909	Puerto Parra	16,8	16,8	
866	Concepción	13,6	12,7	22,2	910	Puerto Wilches	37,1	37,1	
867	Confines	3,6	3,6		911	Rionegro	17,7	17,7	
868	Contratación	7,4	3,6	24,7	912	Sabana De Torres	6,9	8,6	1,1
869	Coromoro	40,2	43,0	34,6	913	San Andrés	9,0	7,3	22,2
870	Curiti	4,2	0,2	14,1	914	San Benito	39,5	39,5	
871	El Carmen De Chucurí	17,3	17,2	18,2	915	San Gil	3,1	3,5	0,0
872	El Guacamayo	27,2	27,2		916	San Joaquín	5,9	7,4	0,0
873	El Peñón	40,4	40,4		917	San José De Miranda	21,1	21,1	
874	El Playón	46,4	44,5	50,0	918	San Miguel	6,8	6,8	
875	Encino	15,1	15,1		919	San Vicente De Chucurí	14,1	2,3	61,5
876	Enciso	21,7	17,5	76,4	920	Santa Bárbara	14,1	14,1	
877	Florián	32,6	32,6		921				
878					922	Simacota	9,0	0,7	42,1
879	Galán	12,0	12,0		923	Socorro	7,0	5,7	23,1
880	Gambita	42,1	40,0	54,6	924	Suaita	35,8	34,8	36,8
881	Girón	2,1	0,6	8,8	925	Sucre	35,3	35,3	
882	Guaca	22,5	25,3	0,0	926	Suratá	16,4	16,4	
883	Guadalupe	23,1	19,6	30,2	927	Tona	18,2	18,2	
884	Guapotá	5,2	5,2		928	Valle De San José	10,4	9,6	11,6
885	Guavatá	16,1	16,1		929	Vélez	20,1	21,7	0,0
886	Güepsa	6,5	0,0	7,3	930	Vetas	12,1	12,1	
887	Hato	31,1	59,5	16,9	931	Villanueva	14,3	14,3	
888	Jesús María	25,8	25,8		932	Zapatoca	6,1	6,1	

Fuente. Grupo Calidad de Agua – SIVICAP. Estado de la Vigilancia de la Calidad de Agua para consumo humano en Colombia. Bogotá, D.C.: Imprenta Nacional de Colombia, 2013.

- **Fenómeno Ambiental** El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (AMB) tiene cerca de doscientos mil usuarios en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón, con un sistema con captación de agua de los ríos Suratá, Tona y Frío.

En otros siete municipios de Santander como Barichara, los Santos, Cabrera, Lebrija, Vélez, Villanueva y Betulia, la temporada de sequía se

caracteriza por la disminución de las lluvias y el incremento de las temperaturas, que obliga a las administraciones a racionar el agua³⁴.

4.1.2. Climatología de Santander El medio geográfico en el que se encuentra el departamento de Santander, determina una variedad de climas. El relieve del departamento está conformado por sistemas montañosos que se extienden a lo largo de la cordillera oriental y debido a las fallas geológicas que se presentan en Santander, se originan valles transversales como el cañón del Chicamocha⁸.

En la figura 2 se puede observar los diferentes niveles de humedad en los municipios de Santander. Se puede observar que la mayor parte del territorio tiene un porcentaje de humedad superior al 70%.

³⁴ SERRANO, Nathalie. La agonía de los recursos hídricos de Santander [En línea]. Bucaramanga: *Plataforma UPB, Enero, 2015*. Disponible en: <http://plataformaupb.com/publicaciones/138-la-agonia-de-los-recursos-hidricos-de-santander>



34

interconectadas que sufren de indisponibilidad de agua potable, como lo es el departamento de la Guajira³⁵.

4.1.3.1. Absorción y desorción Se refiere a la operación unitaria que consiste en la separación de uno o más componentes de una solución gaseosa con la ayuda de un solvente líquido con el cual forma solución (un soluto, o varios solutos, se absorben de la fase gaseosa y pasan a la líquida). La desorción o stripping es la operación inversa a la absorción³⁶.

4.1.3.2. Glicerol El glicerol es un compuesto químico básico adquirido principalmente como co-producto en la industria oleo química, la glicerina es el nombre comercial que adoptan las mezclas con alto contenido de glicerol. Gracias a su combinación única de propiedades físicas y químicas, ha tenido más de 1.500 usos finales. Se usa como ingrediente o para su transformación en productos cosméticos, artículos de tocador o cuidado personal, medicamentos y productos alimenticios. De la glicerina se destaca que es un componente muy estable bajo las condiciones típicas de almacenamiento, no es irritante, tiene bajo grado de toxicidad sobre el medio ambiente, además es compatible con muchos otros productos químicos³⁷.

4.2. REVISIÓN DE LOS PRODUCTOS Y SERVICIOS EXISTENTES PARA SUSTENTAR AGUA POTABLE EN SANTANDER

4.2.1. Plan Departamental De Aguas Para Abastecimiento En Santander El viceministerio de Agua y Saneamiento Básico estructuró la política de los Planes Departamentales de Agua Potable y Saneamiento que consiste en la implementación de estrategias y esquemas regionales eficientes de prestación

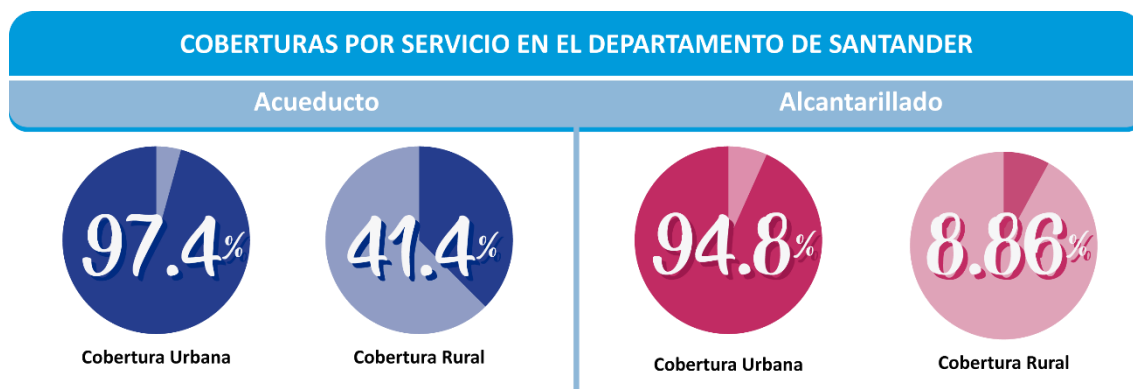
³⁵ PORRAS, Angely., PRADA, Cristhian., & MARADEI, María Paola. Desarrollo de un sistema de recuperación de agua del ambiente usando absorbentes, bajo las condiciones ambientales de Riohacha. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander. 2015

³⁶ DE LA IGLESIA CEBALLOS, Jose Manuel. Operaciones Unitarias Importantes, Universidad de Cantabria. Disponible en: <http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/operaciones-y-procesos/materiales/BLOQUE2-OyP.pdf>

³⁷ POSADA DUQUE, John., CARDONA ALZATE, Carlos. Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiésel. Bogotá: *Ingeniería y Universidad*, 2010. Vol 14 No. 1.,

de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado en el sector urbano y rural de Santander³⁸.

Figura 3. Coberturas por Servicio en Santander



Para la obtención de agua potable en Santander, la definición de qué tipo de planta o acueducto debe ser considerada teniendo en cuenta las características de la fuente de abastecimiento, su localización, la topografía del terreno, la cantidad de agua a extraer, recursos regionales, la capacidad institucional de las entidades territoriales y personas prestadoras de los servicios públicos.

Por otra parte, la revisión muestra que los servicios de acueducto tienen una cobertura de 300 mil habitantes, sin contar el área metropolitana de Bucaramanga (Bucaramanga-Floridablanca-Girón-Piedecuesta) que equivalen a un volumen superior al 90% de la población en los asentamientos urbanos³⁹, pero aun así se presenta una baja capacidad en el tratamiento y calidad adecuada del agua, esto, como lo menciona la gerente de la Empresa de Servicios Públicos de Santander, Esant, Mónica Paola Monsalve Monroy “debido a mala asistencia técnica de los operarios de las plantas de tratamiento de agua y el deterioro en la infraestructura de las mismas”.⁴⁰

³⁸ VICEMINISTERIO DE AGUA Y SANEAMIENTO. Plan departamental para el manejo empresarial de los servicios de agua y saneamiento . Santander, 2010.

³⁹ SIVICAP. Estado De La Vigilancia De La Calidad Del Agua Para Consumo Humano . Bogotá D.C, 2015.

⁴⁰ MONSALVE, MÓNICA. En 80% de los municipios de Santander consume agua contaminada. [En línea] Vanguardia. 3 de abril de 2017. Disponible en: <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/393667-en-80-de-los-municipios-de-santander-se-consume-agua-contamina>

4.2.2. Panorama de las Medidas de Acción Municipales debido al Desabastecimiento

- **Lebrija** El Municipio de Lebrija en general desde el año 2014 afronta una situación de desabastecimiento de agua, fundada ante la escasez de precipitaciones causadas por la influencia del fenómeno climático del Niño, afectando toda la población del casco urbano. El desabastecimiento obedece a que las principales fuentes hídricas como el Embalse de “Piedras Negras” y la estación de emergencia “El Águila”; principales fuentes de abastecimiento para el acueducto municipal, que surte a los habitantes del casco urbano de agua potable, han llegado a sus más mínimos niveles⁴¹.

Se ha establecido mecanismos de sectorización en los diferentes barrios durante los índices más altos de sequía para abastecer a la población del casco urbano, este sistema maneja cuatro sectores de población, cada uno con horarios programados de racionamiento.

La Gobernación de Santander ha proveído cinco carro tanques que transportan agua potable con una capacidad de 240 m³, desde hidrantes del Municipio de Girón⁴¹, para ser depositada en la planta de tratamiento para su distribución; de igual manera se ha realizado distribución de agua en los barrios más vulnerables por la falta de líquido, ante las bajas presiones y la ubicación en relación a la altura de la planta de tratamiento.

- **Los Santos** El problema prioritario en este municipio en los últimos cuatro años ha sido la carencia de Agua. A medida que los arroyos fueron desapareciendo, se acudió a los reservorios artificiales; tanto para el consumo humano y animal como para el regadío pero desde hace cuatro años las fuentes y reservorios se agotaron, obligando a las familias y comunidades a perforar pozos cada vez más profundos para encontrar fuentes de agua.

⁴¹ ALCALDIA MUNICIPAL LEBRIJA. Plan de Desarrollo Municipal. Lebrija: 2016.

Existen en el municipio, tres centros poblados los cuales cuentan con acueducto propio pero consumen el agua sin ningún tipo de tratamiento, a pesar de albergar un promedio de 50 familias cada uno. En el casco urbano, el 100% de viviendas cuentan con servicio de acueducto y alcantarillado, pero la calidad del agua no es óptima debido a la existencia de una planta de tratamiento obsoleta y sin ningún mantenimiento. El sistema de acueducto no cuenta con macro medidores, por lo cual no se puede medir la eficiencia del servicio⁴².

Como el líquido no es suficiente, el suministro en carros cisterna es coordinado por la administración municipal. Diariamente se distribuyen de 12 a 15 tanques de agua, traída del municipio de Piedecuesta⁴².

4.2.3. Sistemas Alternativos Para solucionar los problemas de abastecimientos, los mismos habitantes han buscado soluciones alternativas.

- **Bomba de Ariete:** Aprovecha la energía hidráulica ocasionada de un pequeño desnivel para elevar agua a una altura superior, sin usar electricidad o combustible alguno. Esta bomba de impulsión toma el agua de un depósito, acequia o río situado a una altura ligeramente superior, aprovechando la energía cinética que induce el propio fluido al discurrir por una tubería hasta el cuerpo de la misma, para provocar una sobrepresión ocasionada por la apertura y cierre continuo de una válvula⁴³.

⁴² ALCALDIA MUNICIPAL LOS SANTOS. *Plan Desarrollo Municipal Los Santos*. Los Santos, 2016.

⁴³ DEL CASTILLO, Uriel. *Teoría del Golpe de Ariete y sus Aplicaciones en Ingeniería Hidráulica*. México, D.F.: LIMUSA S.A., 1994.

Figura 4. Bomba de Arriete



Fuente: GAVIOTAS CENTER. Ariete Hidráulico – Manual de Instalación, operación y mantenimiento. Bogotá. Disponible en: <http://www.centrolasgaviotas.org/docs/Hydraulic%20%20Ram.pdf>

Tabla 1. Cuadro comparativo de la Bomba de Ariete

VENTAJAS	DESVENTAJAS
• No requiere electricidad ni otro combustible que la alimente.	• El aprovechamiento del agua no es del 100%, en el proceso se pierde líquido.
• Su sencillez la hacen adecuada para lugares remotos donde no hay acceso a energía eléctrica o motores de otro tipo y se necesita transportar agua de una fuente remota.	• Se tiene que adaptar un suministro de agua a una altura superior de la bomba.
• Funciona continuamente, todo el día sin interrupción.	• La calidad del agua no es de total seguridad para consumo humano
• No tiene costos operacionales ni causa polución al medio ambiente.	• Se recomienda como uso exclusivo para regar cultivos y suministrar agua a los animales.
• Tiene la capacidad de impulsar hasta 40.000 litros al día.	• El sistema no funciona en lugares con sequía o fuentes hídricas nulas.

- **Pozos perforados** Se trata de pozos realizados, mediante la excavación se hace mediante sistemas de percusión o rotación. El material cortado se extrae del hueco con un achicador, mediante presión hidráulica, o con alguna herramienta hueca de perforar, etc. por lo general son diámetros pequeños y las profundidades son mayores a los pozos excavados, por lo cual pueden llegar a profundidades superiores a los 50 m. Este sistema es

muy utilizado en zonas rurales, específicamente en fincas donde no hay arroyos o fuentes hídricas disponibles.

Figura 5. Reservorio de agua proveniente del pozo ubicado en zona rural de Lebrija



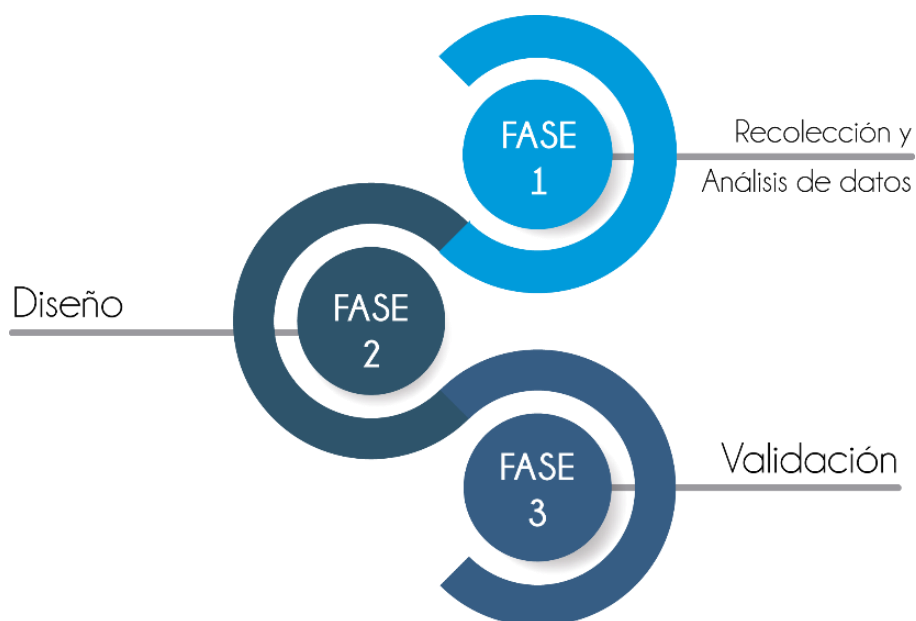
Tabla 2. Cuadro comparativo de pozos perforados

VENTAJAS	DESVENTAJAS
• Los pozos perforados son bastante resistentes a varios tipo de desastres a causa de fenómenos naturales.	• Las aguas subterráneas tiene mucha dureza y no se pueden limpiar.
• Estos pozos permiten captar el agua en aquellos materiales menos permeables, como la arena muy fina, el limo o la arcilla.	• Los pozos están excavados en materiales permeables, por los que se agotan con facilidad en condiciones de sequía o por el descenso estacional de la capa freática situada bajo el fondo del pozo.
• Al ser pozos profundos evitan el contacto con agentes contaminantes.	• Requieren de la energía externa de una motobomba para la impulsión del liquido.

5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se llevó a cabo una metodología propuesta la cual está conformada por tres fases. Considerando cada una de las etapas que se presenta en el desarrollo de propuestas de diseño y que es secuencial e iterativa en cada una de sus partes.

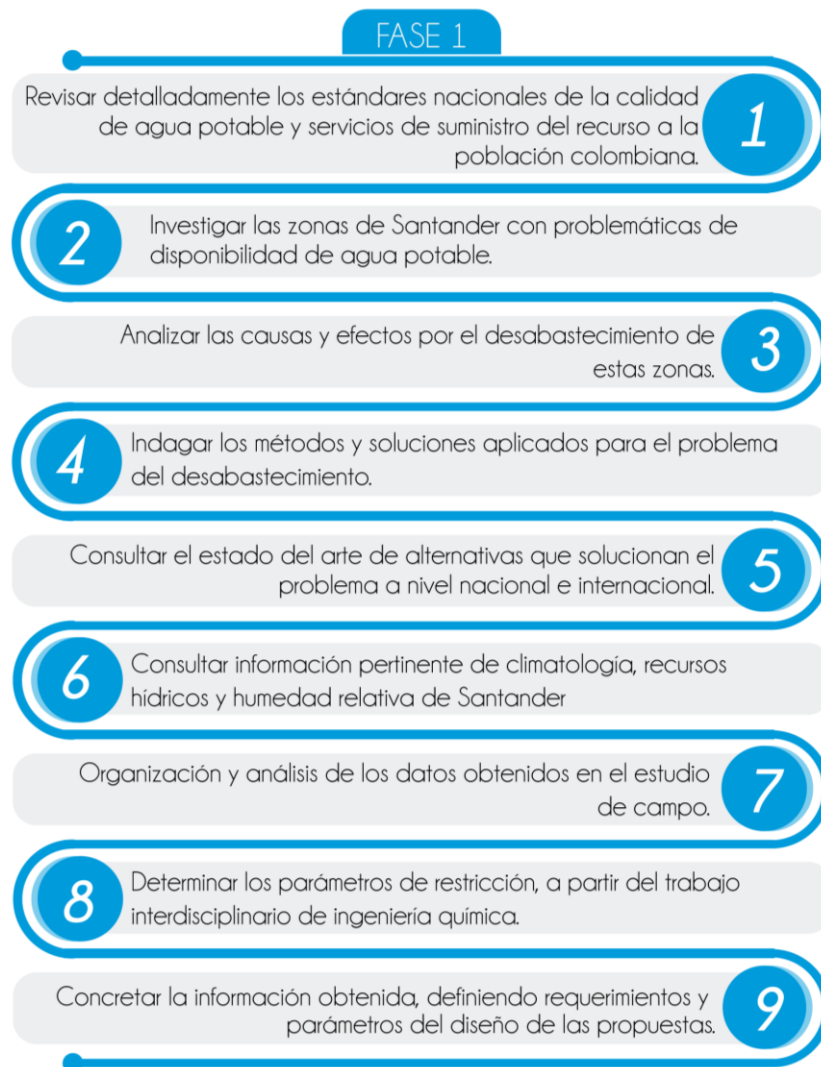
Figura 6. Fases de la metodología



5.1. FASE 1. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

De forma simultánea se consultó información climatológica de Santander con el propósito de obtener los parámetros de restricción; se realizó en asesoría constante con la codirectora del proyecto, María Paola Maradei, doctora en Química. Todo esto con el fin de establecer los requerimientos para el diseño de las alternativas. (Ver figura 7)

Figura 7. Metodología Fase 1

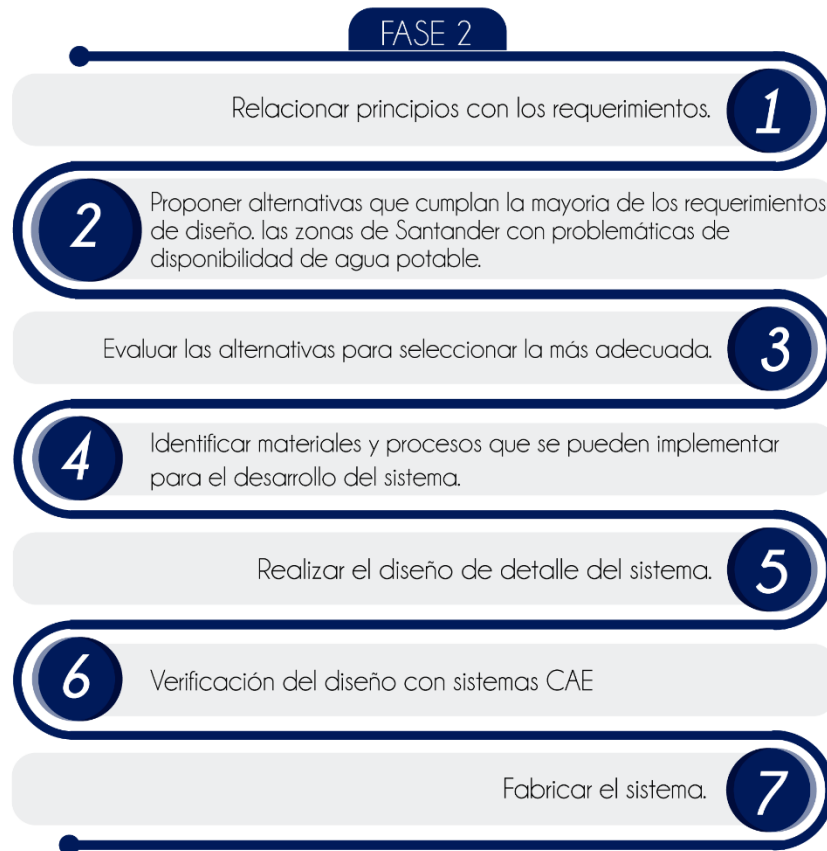


5.2. FASE 2. DISEÑO

En esta segunda fase, se desarrolló e ideó las alternativas que permiten dar solución al problema de diseño, considerando las restricciones propias de este tipo de asentamientos rurales.

Finalmente estas alternativas se llevaron a una reunión de expertos de Ingeniería Mecánica para así establecer el sistema más acertado, teniendo en cuenta el cumplimiento de los requerimientos y la viabilidad del sistema. (Ver figura 8)

Figura 8. Metodología Fase 2



5.3. FASE 3. VALIDACIÓN

Se evaluó la eficiencia del diseño propuesto en término de cantidad de agua potable obtenida en un día y el material absorbente a utilizar. (Ver figura 9)

Figura 9. Metodología Fase 3

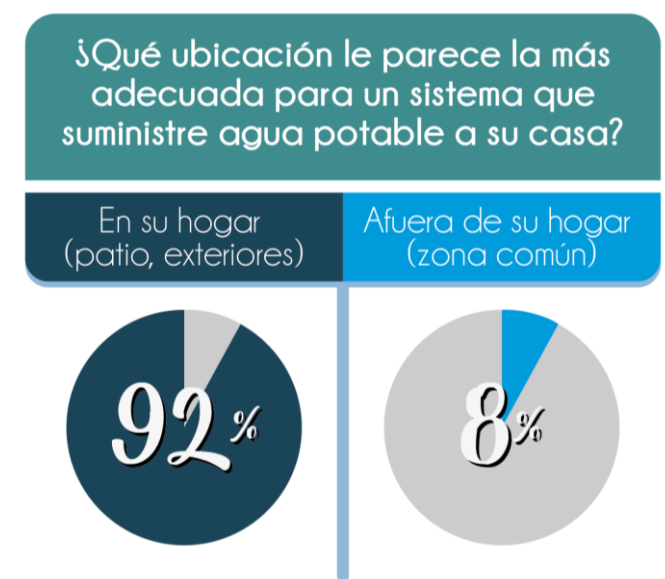


6. VISITA TÉCNICA A LAS REGIONES CON MAYOR IMPACTO EN SANTANDER

Se hicieron visitas a los municipios de Santander, Los Santos y Lebrija, el 17 y 28 de julio de 2017 respectivamente, donde se realizaron entrevistas tipo abierta a 24 y 30 habitantes de los municipios mencionados respectivamente, con el fin de indagar sobre la problemática del agua, en donde ellos especifican que el problema es realmente serio en su zona, consideran que es una situación que merece que atención y manifiestan que una solución para esta problemática sería bien recibida.

A su vez, se hicieron encuestas (Anexo A) para determinar en qué sitio preferirían que estuviera un sistema para la recolección de agua potable, sí a la afueras de su vivienda o si optarían por un sistema que favoreciera a toda la comunidad en general. Esta encuesta arrojó como resultado que el 92% de los habitantes preferirían el sistema en su hogar (figura 10) por cuestiones de seguridad y comodidad, indiferente si estaba dentro o fuera del recinto.

Figura 10. Resultados Encuesta visita técnica



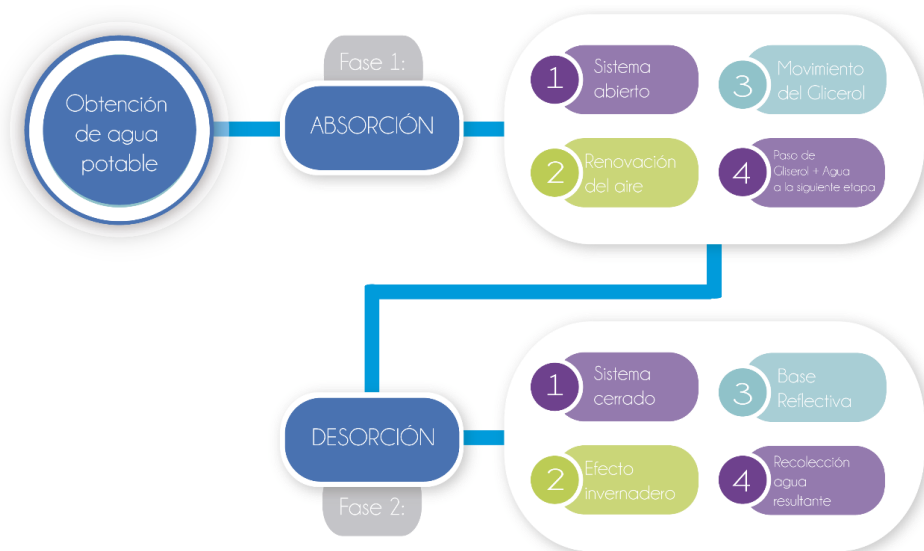
7. REQUERIMIENTOS

Se estudiaron los parámetros establecidos en el proyecto de Ingeniería Química “Desarrollo de un sistema de recuperación de agua del ambiente usando absorbentes, bajo las condiciones ambientales de Riohacha, Colombia³⁵, donde inicialmente se validó el modelo teórico para la obtención de agua potable, con el propósito de identificar algunos de los parámetros para el diseño de producto.

7.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

Para establecer los parámetros de diseño se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en el Proyecto de Ingeniería Química “Desarrollo de un sistema de recuperación de agua del ambiente usando absorbentes, bajo las condiciones ambientales de Riohacha, Colombia³⁵. Para así determinar que el sistema cuenta con dos fases o funciones secundarias, denominadas: absorción y desorción. Cada una de estas fases, están compuestas por subfunciones que en conjunto generan un adecuado funcionamiento del sistema, como se muestra en la Figura 11. De igual manera, cada subfunción está encargada de uno y más funciones, para la cual se establecen sus respectivos requerimientos.

Figura 11. Parámetros de Diseño



7.1.1. Parámetros Sistema General

Figura 12. Requerimientos Funcionales de Diseño – Sistema en General

FUNCIONAL Parámetros Unidades Valor ideal o marginal			
Materiales Eco - Amigables	Impacto Ambiental	Años	≥ 3
Los materiales y acabados no deben interferir con la composición química del agua.	Contaminación del agua	Porcentaje	0
El sistema debe tener un ciclo de vida prolongado	Tiempo	Años	> 3

Figura 13. Requerimientos Formal-estetico de Diseño – Sistema en General

FORMAL-ESTÉTICO Parámetros Unidades Valor ideal o marginal			
El sistema debe ser atractivo visualmente para el usuario	•Colores •Estímulos visuales •Forma	Subj.	
El sistema tiene un lenguaje de uso claro	Lenguaje del uso por medio de signos universales e indicativos del color	Subj.	
El sistema no posee puntas ni aristas que puedan poner en riesgo la seguridad del usuario	Seguridad del usuario	Radio de curvatura (mm)	≤ 2
El sistema debe tener un diseño coherente con la arquitectura del entorno	El diseño del sistema está basado en las características de las zonas rurales.	Subj.	

Figura 14. Requerimientos de Uso – Sistema General

USO	Parámetros	Unidades	Valor ideal o marginal
Debe ser de uso intuitivo	Número de errores al usar el sistema	Cantidad	≤ 3
La aplicación del glicerol no debe generar inconvenientes al usuario	Número de errores al aplicar el glicerol	Cantidad	≤ 1
El transporte final del agua es efectivo	Dimensiones del contenedor del agua obtenida	ml	≤ 5000 ml

Figura 15. Requerimientos Estructurales – Sistema General

ESTRUCTURAL	Parámetros	Unidades	Valor ideal o marginal
Área aplicación del glicerol para la absorción	Área de superficie en absorción	m ²	≥ 14.5
Área aplicación del glicerol para la desorción	Área de superficie en desorción	m ²	$10.8 < a < 23.9$
El sistema debe ser resiste a factores externos como lluvias o exposición al sol	Resistencia a la intemperie	Factor de seguridad	≥ 1
El sistema debe tener resistencia al uso constante	Resistencia a pesos y fuerzas	Factor de seguridad	≥ 1
Inclinación de la superficie donde va el líquido a condensar	Inclinación adecuada para optimizar el efecto invernadero	Grados	30°
Cantidad de Glicerol	Uso de absorbente del agua	ml	≥ 6770

7.1.2. Parámetros Absorción

En esta fase se lleva a cabo la absorción del agua, por medio del glicerol que es un agente higroscópico, es decir, que absorbe el agua con facilidad. El glicerol se aplica sobre una superficie y se expone durante un tiempo determinado para luego dar paso a la siguiente fase.

Figura 16. Requerimientos funcionales de diseño – Absorción

FUNCIONAL ABSORCIÓN			
	Parámetros	Unidades	Valor ideal o marginal
La absorción debe ser en un sistema abierto	Área de superficie	m ²	≥14.5
La superficie debe permitir movimiento del glicerol para una efectiva absorción.	Movimiento del glicerol por gravedad.		
Recolección de glicerol con agua resultante	Capacidad del contenedor	ml	14450

7.1.3. Parámetros Desorción

La segunda fase es la desorción, donde se obtiene finalmente el agua para el consumo humano, esto se logra exponiendo la solución de agua con glicerol en una superficie para generar el efecto invernadero y así, separar los dos líquidos.

Figura 17. Requerimientos funcionales de diseño – Desorción

FUNCIONAL DESORCIÓN			
	Parámetros	Unidades	Valor ideal o marginal
La absorción debe ser en un sistema cerrado y traslucido	Área de superficie	m ²	$10.8 < \alpha < 23.9$
Debe generar el adecuado calentamiento del líquido y ser reflectivo	La base del sistema es de aluminio.		
Recolección de agua potable resultante	Capacidad del contenedor	ml	4800

7.2. PARÁMETROS CLIMATOLÓGICOS

En el proyecto “Desarrollo de un sistema de recuperación de agua del ambiente usando absorbentes, bajo las condiciones ambientales de Riohacha, Colombia³⁵, se determinó un modelo teórico que permitió establecer la dimensión del sistema, teniendo en cuenta el número de litros que se querían obtener y las horas que el dispositivo iba a estar expuesto al día. Las ecuaciones predeterminadas se elaboran con los datos climatológicos de la zona en la que se plantea implantar el sistema. Los datos que se requeridos son: presión atmosférica, temperatura y humedad relativa.

Teniendo en cuenta que el objetivo de este sistema es ser una alternativa para los hogares en Santander con problemas de desabastecimiento de agua, se estudiaron las zonas en el departamento que tuvieran un nivel de humedad mayor al 70% (valor que se estableció como requisito para que el modelo teórico del sistema fuera eficiente).

- Climatología en Santander

Teniendo en cuenta las zonas en Santander que cuentan con un nivel de humedad mayor al 70%, se consultaron en el IDEAM las temperaturas promedio de diferentes horas en que el sistema estará en funcionamiento. Para finalmente, tomar una zona como referencia y así poder determinar los parámetros cualitativos.

Una vez obtenidos los datos (presión, temperaturas promedio y presión atmosférica), se remplazaron en el modelo teórico mencionado anteriormente (Anexo B) para establecer los requerimientos.

Figura 18. Parámetros Cuantitativos

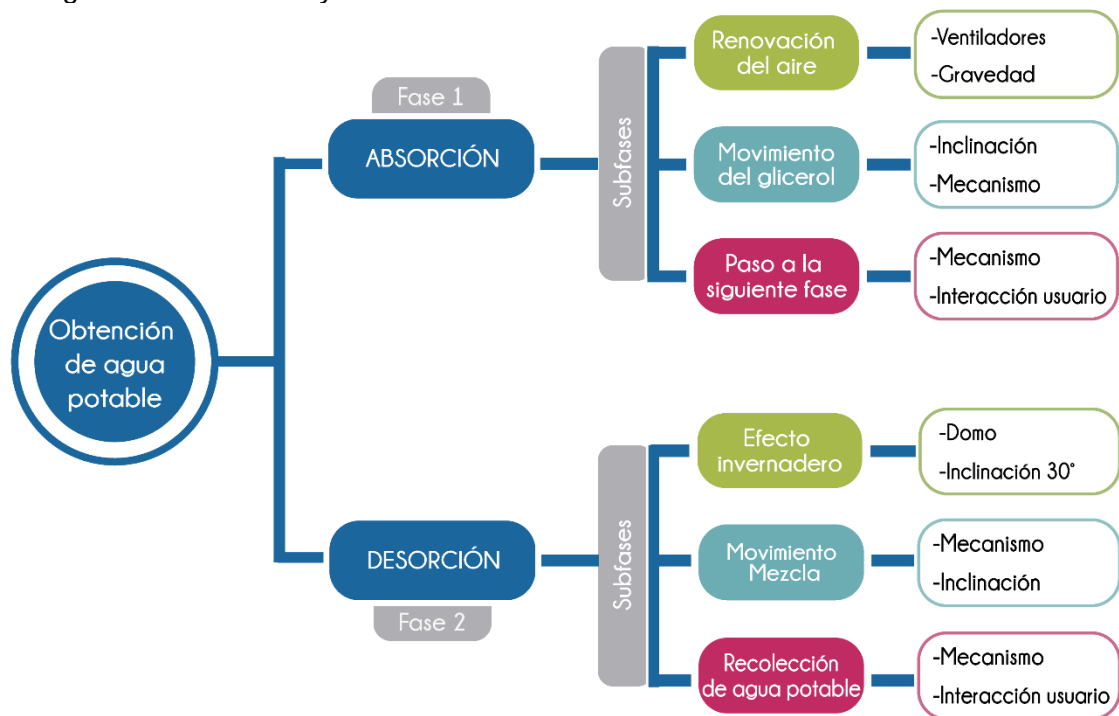


	SUBSISTEMAS	
	Absorción	Desorción
Tiempo de exposición (horas)	12	12
Volumen a recuperar (cm ³)	4800	4000
Superficie mínima (m ²)	14.15	-
Superficie máxima (m ²)	10.58	23.9

8. EXPLORACIÓN DE CONCEPTOS

Como se pudo observar en la figura 10, el sistema se dividió en dos fases y a su vez estas se dividen en sub-fases y se obtienen varias soluciones que buscan resolver el diseño del sistema total. La figura 19 muestra las sub-fases determinadas y sus soluciones planteadas.

Figura 19. Sub-fases y soluciones



Las sub-fases se explican de la siguiente forma:

- Para la absorción, se encuentra primero la forma principal que es la que determina la parte estética de la fase. La renovación del aire hace referencia al inicio del funcionamiento de la absorción, cuando el aire se encuentra con el glicerol y este, la absorbe. Se tiene como indicador, que el aire debe circular para garantizar una óptima absorción. A su vez, el movimiento del glicerol es otro indicador que también garantiza esta óptima función, ya que, si el glicerol se encuentra estático, se saturará solamente aquel que este directamente expuesto a la humedad y no todo

el líquido. Por último, se tiene como sub-fase el paso de la solución obtenida de glicerol con agua a la fase 2.

- Para la desorción, se tiene también en cuenta como primera medida la forma principal que determina la parte estética de la fase, teniendo en cuenta que las dos fases deben tener coherencia y relación.

El efecto invernadero en esta fase, es de vital importancia ya que permite la separación del agua con el glicerol. Esta sub-fase está ligada a la reflexión de la luz, que es una condición para que el efecto invernadero se pueda dar. Para finalizar el proceso del sistema, se tiene la recolección del agua potable para el consumo humano.

8.1. SELECCIÓN DE CONCEPTOS

Considerando las posibles formas de desarrollar las sub-fases, se genera una matriz de conceptos donde se ubican las sub-fases y se relacionan unos con otros para obtener todas las combinaciones posibles en las alternativas. Donde se analizan y se determinan las mejores soluciones para cada una de las sub-fases.

8.1.1. Selección de conceptos Fase 1- Absorción Teniendo las 3 sub-fases y las posibles soluciones a cada de ellas, se lleva a cabo la matriz para obtener como resultado las pre-propuestas como se puede ver en la figura 20.

Figura 20. Pre-propuestas Fase 1



Estas pre-propuestas fueron expuestas y evaluadas para un análisis y así poder determinar cuáles podrían ser las pre-propuestas más viables para evolucionar.

En este encuentro, se establecieron criterios para realizar de nuevo una matriz de selección y finalmente determinar la alternativa más viable:

- Interacción del usuario: lo ideal es que el usuario interactúe la menor cantidad de veces con el sistema.
- Bajo gasto de energía teniendo en cuenta que este sistema es para implementar en zonas rurales y este recurso es escaso.

La matriz de selección se realizó de la siguiente manera:

- Para el criterio de “interacción del usuario” se puntuó con un más (+) a las alternativas que utilizaban como medio para pasar de la fase 1 a la fase 2 un mecanismo y con un menos (-) a aquella donde el usuario debiera interactuar para el paso de fases.
- Para el criterio de “Uso de energía” se puntuó con un más (+) a las alternativas en donde las subfases de *renovación del aire* y el *movimiento del glicerol*, usará en ambas una solución que no necesitará de energía adicional, se puntuó con un cero (0) a aquellas que en una de

dos subfases utilizará alguna energía y se puntuó con menos (-) a las alternativas que en las dos subfases usará energía.

Figura 21. Matriz Selección – Fase 1

Criterios	Pre- propuestas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Interacción del usuario (Menos)	+	-	+	-	+	-	+	-
Uso de energía	0	0	-	-	+	+	0	0
Total	1	-1	0	-2	2	0	1	-1

Como se observar en la figura 21, este procedimiento dio como resultado que la pre-alternativa más viable es la número 5, por lo tanto se procede a realizar alternativas.

8.1.2. Selección de conceptos Fase 2 – Desorción Teniendo las 3 sub-fases y las posibles soluciones a cada de ellas, se lleva a cabo la matriz para obtener como resultado las pre-propuestas como se puede ver en la figura 22.

Figura 22. Pre-propuestas Fase 2



Estas pre-propuestas también fueron expuestas para un análisis y así poder determinar cuáles podrían ser las pre-propuestas más viables para evolucionar.

Se establecieron criterios para realizar de nuevo una matriz de selección y finalmente determinar la alternativa más viable:

- Área ocupada: Lo ideal del sistema es que ocupe la menor área en el espacio para la comodidad del usuario.
- Interacción del usuario: lo ideal es que el usuario interactúe la menor cantidad de veces con el sistema.
- Bajo gasto de energía teniendo en cuenta que este sistema es para implementar en zonas rurales y este recurso es escaso.

La matriz de selección se realizó de la siguiente manera:

- Para el criterio de “Área Ocupada” se puntuó con un más (+) a las alternativas que planteaban como solución al efecto el invernadero la inclinación de 45° incorporados en el sistema, y con un menos (-) al domo, ya que al usar esta solución el área para generar el efecto debe ser más grande.
- Para el criterio de “interacción del usuario” se puntuó con un más (+) a las alternativas que utilizaban como medio recolectar el agua potable final un mecanismo para de esta manera disminuir la interacción del usuario con el sistema y con un menos (-) a aquella donde el usuario debiera interactuar en esta labor.
- Para el criterio de “Uso de energía” se puntuó con un más (+) a las alternativas en donde la sub-fase de Movimiento de la mezcla (glicerol+agua), usara una solución que no necesitará de energía adicional y se puntuó con menos (-) a aquella que usara energía.

Figura 23. Matriz Selección – Fase 2

Criterios	Pre- propuestas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Interacción del usuario (Menos)	+	-	+	-	+	-	+	-
Uso de energía	-	-	+	+	-	-	+	+
Área Ocupada	+	+	+	+	-	-	-	-
Total	1	-1	3	1	-1	-3	1	-1

Como se observar en la figura 23, este procedimiento dio como resultado que la pre-alternativa más viable es la número 3, por lo tanto se procede a realizar alternativas.

9. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS

Para el desarrollo de las alternativas de diseño se tuvo a consideración, definir inicialmente la fase de la Absorción (fase 1), para así proseguir con la alternativa de la fase de desorción (fase 2). Esta última basada en el concepto de diseño generado por la fase de Absorción.

9.1. FASE 1 – ABSORCIÓN

9.1.1. Alternativas Absorción (Fase 1) Teniendo en cuenta los requerimientos de diseño y los conceptos generados anteriormente en la generación de conceptos se plantearon 6 alternativas para esta fase, donde fueron preseleccionados para llegar a tener 2 alternativas. (Anexo C).

Descripción de alternativas planteadas

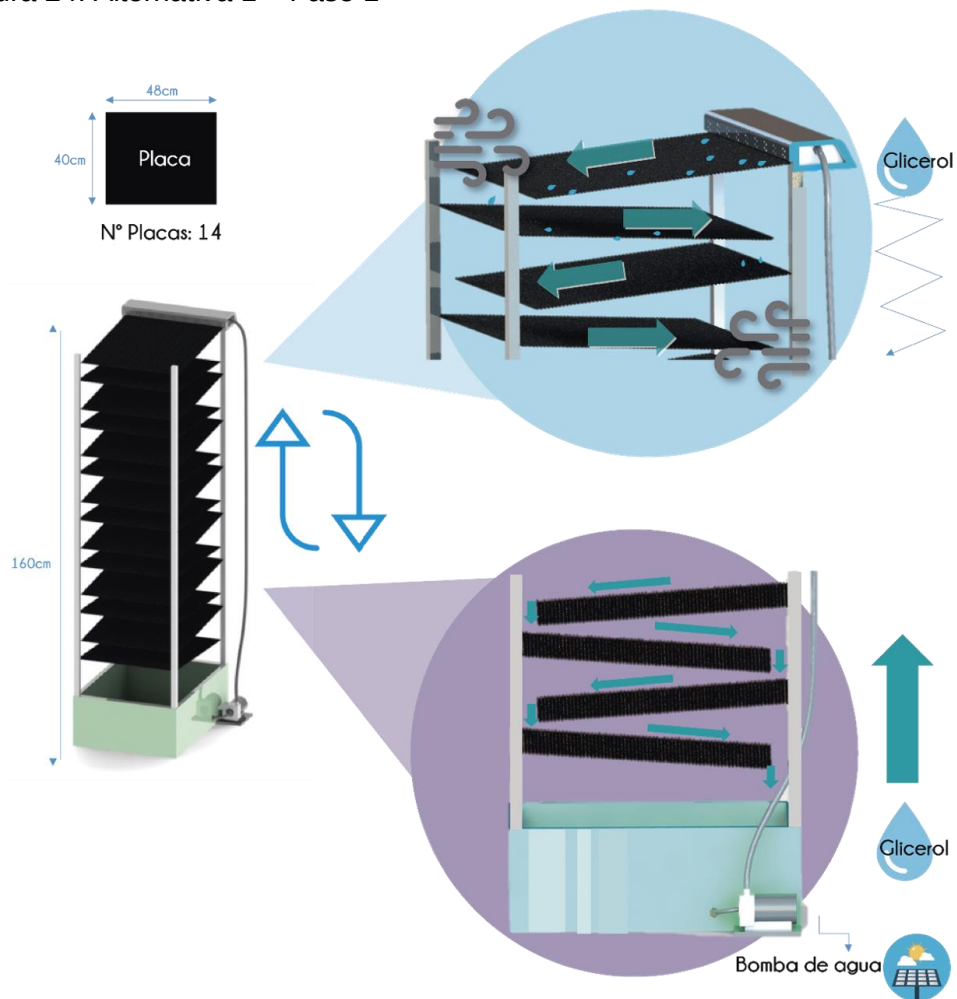
- Alternativa 1

La alternativa 1 se presenta a continuación en la figura 24, la cual cuenta con 14 placas de 48*40 cm ubicadas a 10 cm cada una, esta torre funciona con una bomba de diafragma.

El glicerol inicialmente se ubicará en la base, donde hay un contendor, el glicerol llegará a la altura máxima del subsistema para allí ser esparcido a todo este como se muestra en el detalle.

Cada placa esta inclinada para funcionar por medio de la gravedad e igualmente su superficie es modificada con el fin de disminuir el espacio que ocupa y aumentar el área de contacto del agua con el glicerol.

Figura 24. Alternativa 1 – Fase 1



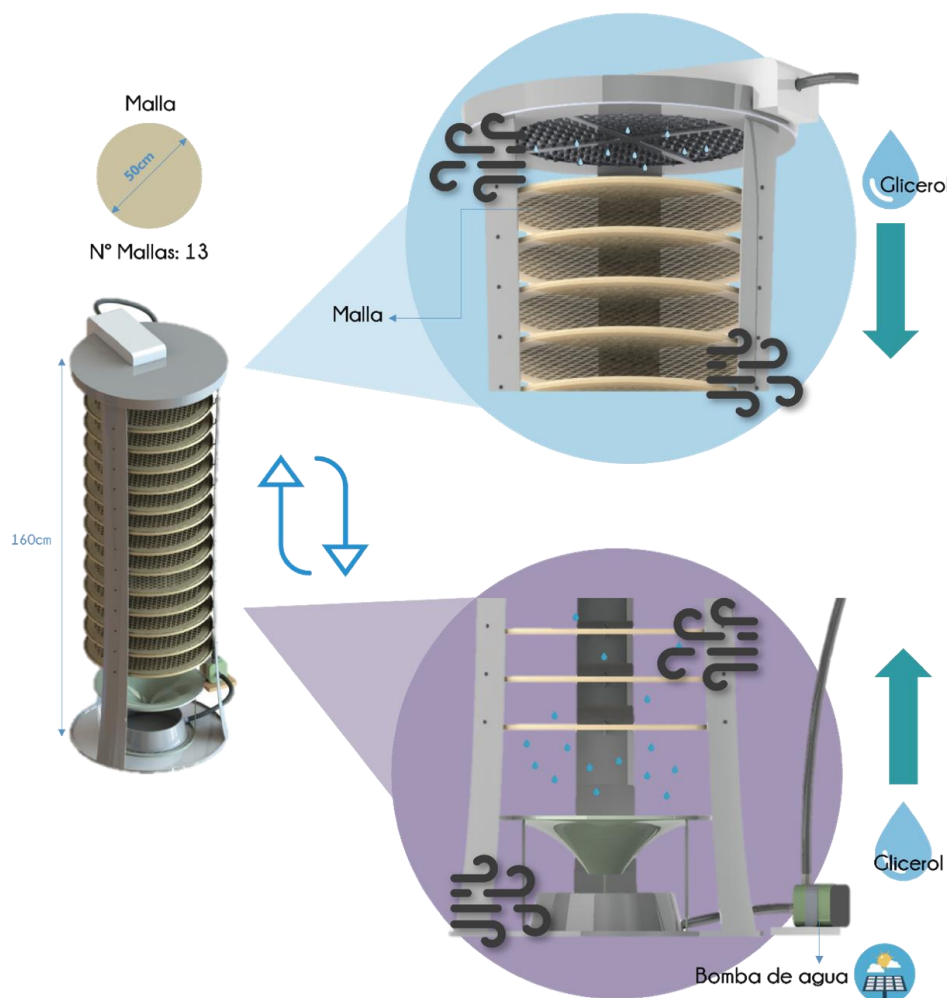
- **Alternativa 2**

La alternativa 2 que se presenta en la figura 25, se plantea como una torre circular, el cual cuenta con 13 pisos con mallas de 50 cm de diámetro ubicadas con 8 cm de separación entre cada una.

La torre funciona con una bomba de diafragma, que sube el glicerol a una regadera ubicada en la parte superior, que se encarga de rociarlo en todo el subsistema como se puede ver en los detalles de la figura.

Este cuenta con mallas, para disminuir el tiempo de distribución del glicerol y aumentar el contacto del líquido con el agua de la humedad.

Figura 25. Alternativa 2 – Fase 1



9.1.2. Evaluación Alternativa Fase de Absorción Para la evaluación y selección de la alternativa de la fase 1, se realizó una reunión con expertos el día 1 de diciembre de 2017, donde se contó con la presencia de Javier Mauricio Castellanos Olarte (PhD(C) Ciencias de la Agricultura y Master Térmica y Energía), Brayan Danilo Ortiz (Estudiante de Maestría de Ingeniería Mecánica) y Jean Pierre Hidalgo (Ingeniero Mecánico).

Durante esta sesión, después de establecer un acuerdo de confidencialidad, se explicó detalladamente el funcionamiento y ventajas de cada una de las alternativas para poder realizar una discusión y evaluación por parte de expertos.

Figura 26. Primera reunión con expertos



A partir de la evaluación y análisis de las alternativas, se realizó un cuadro comparativo de ventajas y desventajas de cada sistema para poder determinar la viabilidad y realizar respectivas mejoras.

Tabla 3. Ventajas y desventajas Alternativas – Fase 1

TABLA COMPARATIVA		
	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ALTERNATIVA #1	• Circulamiento constante del glicerol • Facilidad de mantenimiento • Se garantiza el paso del glicerol de placa a placa • Facilidad de construcción • Se genera mas tiempo de permanencia durante el proceso del paso del glicerol a través del sistema	• Expuesto a factores externos (mugre, insectos, etc.) • Visualmente poco atractivo • Posible derrame de liquido por los extremos de la placa
ALTERNATIVA #2	• Visualmente atractivo • Caída del glicerol centrada, asegurando que no hay perdida del glicerol por el perimetro del sistema	• Tamaño de los poros de las mallas, puede generar taponamiento. • Posible solidificación del glicerol, deteniendo el proceso de circulación. • Separación entre mallas, que provoque salpicadura y pérdida de liquido • Mantenimiento de las mallas

Finalmente, en la sesión con los expertos, se determinó que la alternativa 1 era la más viable, de acuerdo a parámetros de funcionamiento y construcción.

A su vez, se dieron las siguientes recomendaciones para la funcionalidad y mejora del sistema escogido:

- Canales al final de las placas.
- Incorporar filtración en contenedor inferior, para evitar bloqueo de bomba.
- Incrementar tamaño de contenedor para evitar derrame de líquido.
- Agregar depósito superior.
- Bomba teniendo en cuenta caudal y tiempo (sistema On – Off)
- Tratamiento formal

9.2. FASE 2 – DESORCIÓN

9.2.1. Alternativas Desorción (Fase 2) Teniendo en cuenta los requerimientos de diseño y los conceptos generados anteriormente en la generación de conceptos se plantearon 6 alternativas para esta fase, donde fueron preseleccionados para llegar a tener 2 alternativas. (Anexo D)

Descripción de alternativas planteadas

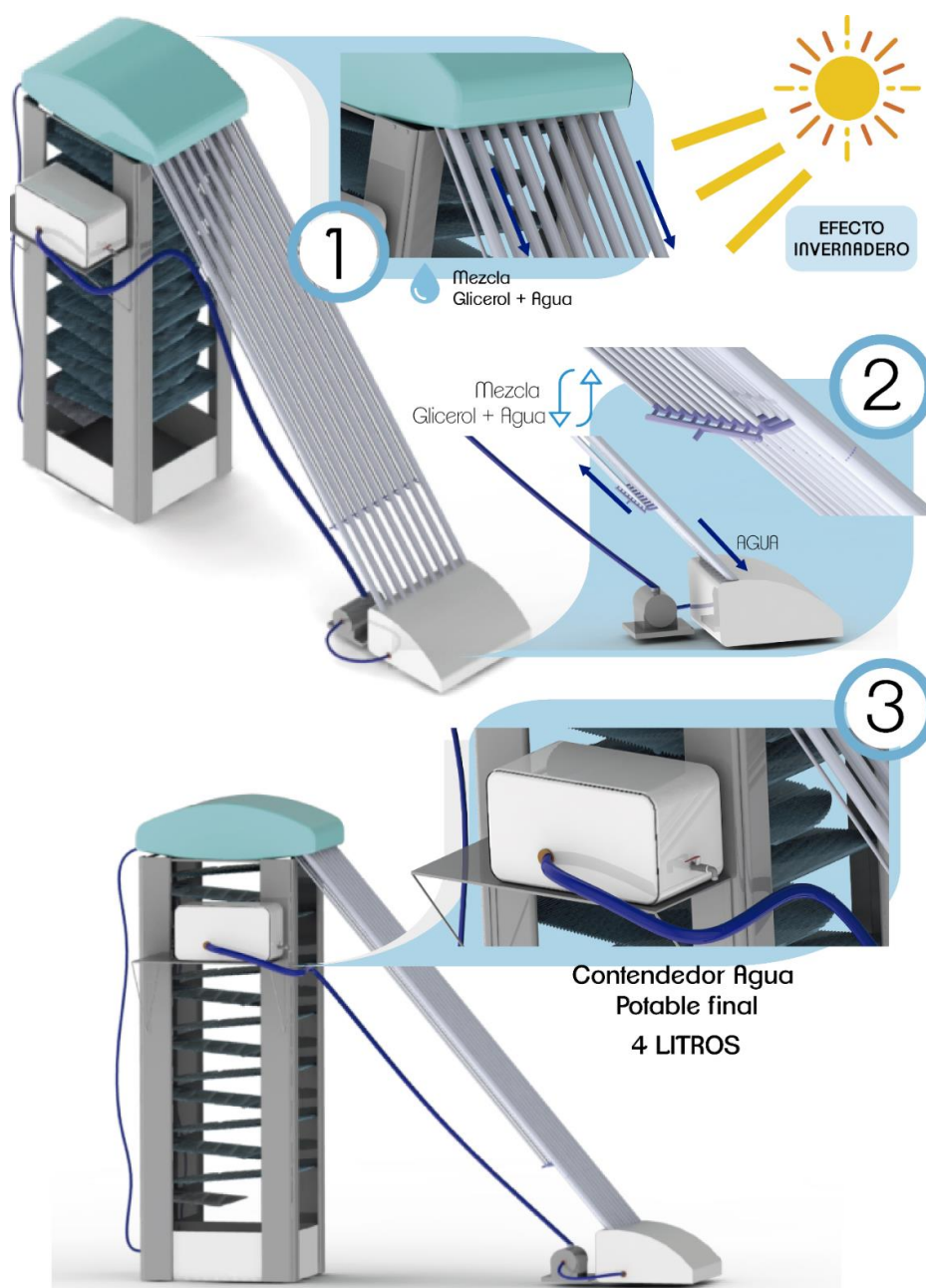
- Alternativa 1

En esta alternativa se proponen 8 tubos transparente que van desde el contenedor donde termina la solución de glicerol más agua a un contenedor ubicado en el suelo. Los tubos están inclinados a 40° con respecto al suelo para aprovechar al máximo la radiación solar y su incidencia.

El proceso se plantea de la siguiente manera:

- La solución de glicerol con agua baja por los tubos, mientras esto sucede, los rayos del sol entran y calientan la solución, generando así que el agua se evapore y se condense en la cara interior del tubo.
- Cuando la solución termina de bajar, vuelve a subir al contenedor inicial para iniciar de nuevo su ciclo.
- El agua que se condensó baja por el tubo hasta llegar a un contenedor final de agua potable.
- Cuando termina el tiempo de desorción, el agua potable es llevada a un contenedor final para que usuario pueda obtenerla.
- Finalmente, el glicerol inicia nuevamente su ciclo en el contenedor inicial en la fase de absorción.

Figura 27. Alternativa 1 – Fase 2



- Alternativa 2

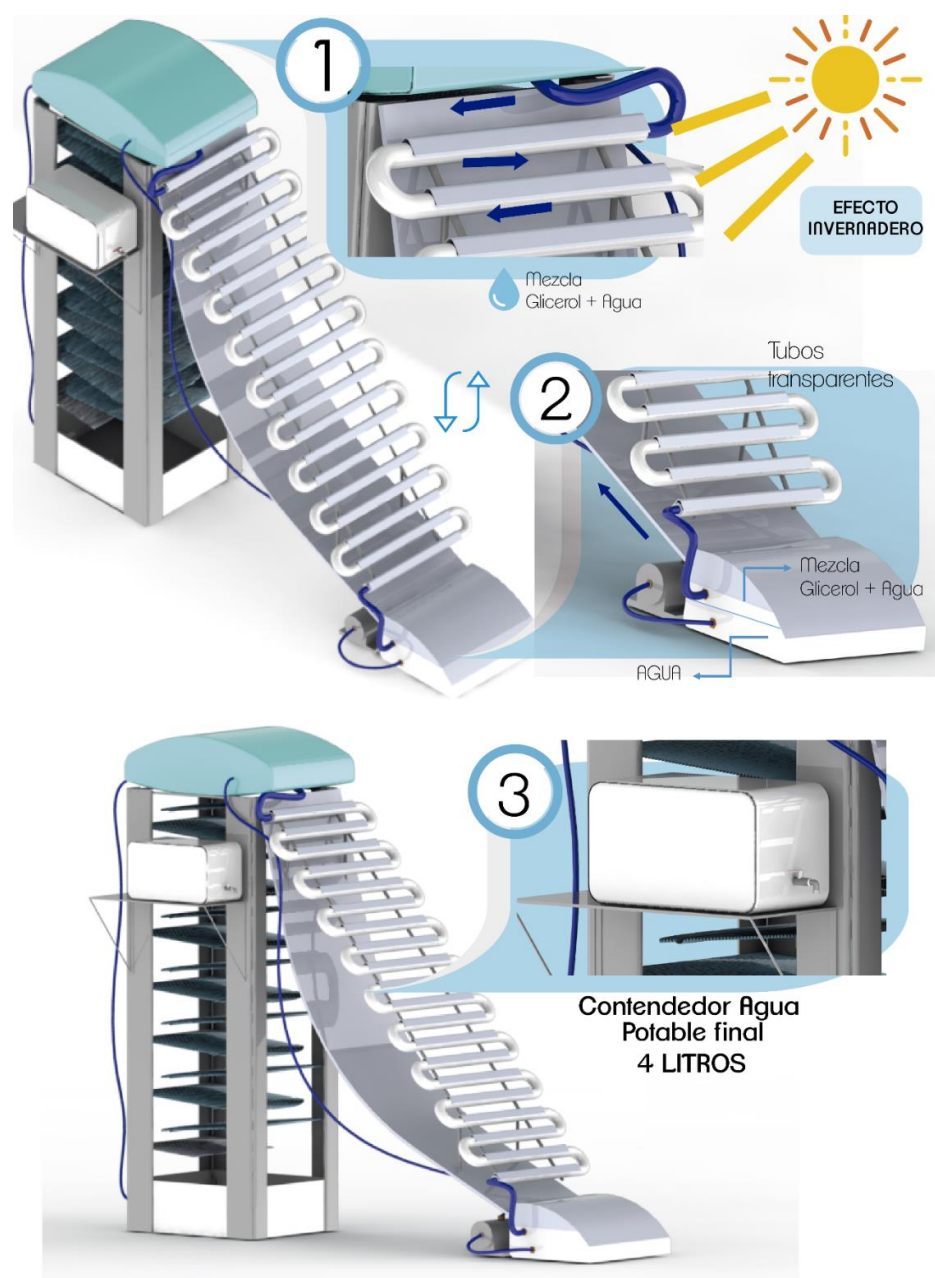
En esta alternativa se proponen canales abiertos (los extremos están serrados para conducir la solución al siguiente canal) por donde pasa la solución de agua con glicerol, cubiertos por una placa transparente para generar el efecto invernadero, que inician en el contenedor inicial de la solución y finalizan en dos contenedores de agua y glicerol respectivamente ubicado en el suelo 8

tubos. Estos canales se encuentran inclinados 40° con respecto al suelo para aprovechar al máximo la radiación solar y su incidencia.

El proceso de esta alternativa se plantea de la siguiente manera:

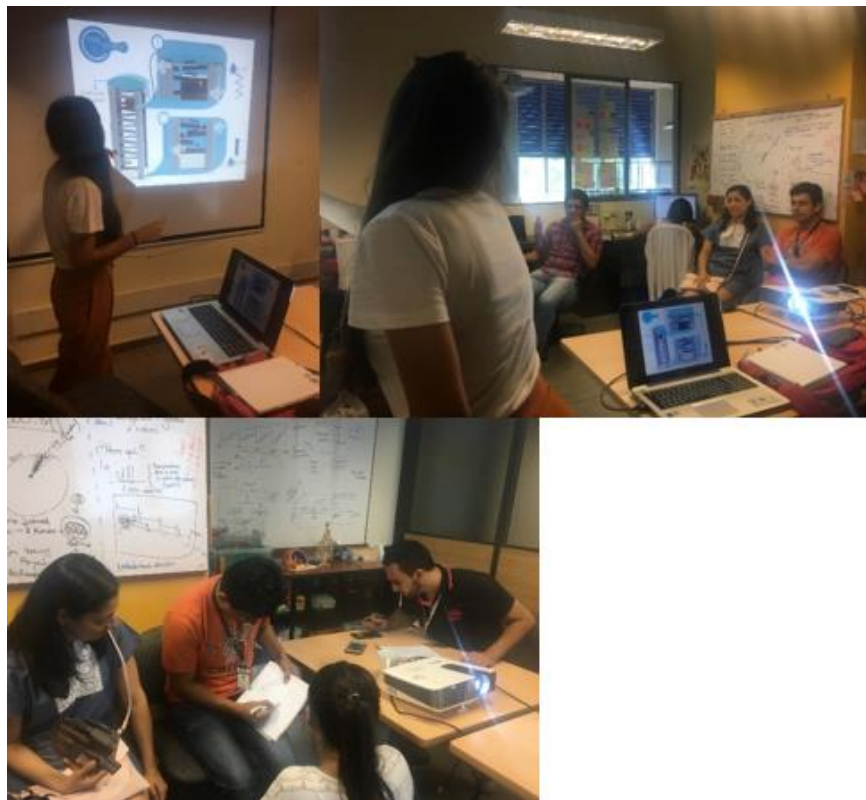
- La solución baja por los canales abiertos, mientras esto sucede, los rayos del sol entran y calientan la solución, generando así que el agua se evapore y se condense en las placas transparentes sobrepuestas en los canales
- Cuando la solución termina de bajar, vuelve a subir al contenedor inicial para iniciar de nuevo su ciclo.
- El agua evaporada se condensa en las placas y estas a su vez, se direccionan hacia la parte interior del sistema, así llegan a una lámina que direcciona toda el agua condensada hacia un contenedor final de agua potable.
- Cuando termina el tiempo de desorción, el agua potable es llevada a un contenedor final para que usuario pueda obtenerla.
- Finalmente, el glicerol inicia nuevamente su ciclo en el contenedor inicial en la fase de absorción.

Figura 28. Alternativa 2 – Fase 2



9.2.2. Evaluación Alternativa Fase de Desorción Para la evaluación y selección de la alternativa de la fase 2, se realizó el día 16 de marzo de 2018, una nueva reunión con los expertos mencionados anteriormente.

Figura 29. Segunda reunión con expertos



Al finalizar esta reunión se concluyó que las dos alternativas presentaban posible riesgo de derrame de la glicerina en el contenedor de agua potable final y que posiblemente no se distribuye uniformemente la solución a través de la fase 2. Finalmente se determinó que a partir de la alternativa 1, se realizaría una alternativa final del producto. Modificada, con mejoras y correcciones sugeridas por los expertos en busca de mejorar el funcionamiento y tamaño del sistema.

- Cambio de tubos pertenecientes a la fase 2 por placa rectangular completa, con el objetivo de asegurar la eficiencia del efecto invernadero sobre la solución.
- Fondo oscuro dentro de la placa para calentar directamente la solución.
- Reducir los grados a 30, basándonos en los ángulos efectuados en los destiladores solares.

- Diseño que permita fácil mantenimiento.
- Malla plástica para proteger de elementos externos el glicerol durante la fase 1.
- Disminuir el espacio ocupado.

9.3. ALTERNATIVA FINAL

Después de analizar las sugerencias hechas por los expertos, se llevó a cabo el desarrollo de la alternativa final, donde se juntaron las dos alternativas en una sola torre, con el fin de disminuir el espacio ocupado y la cantidad de bombas.

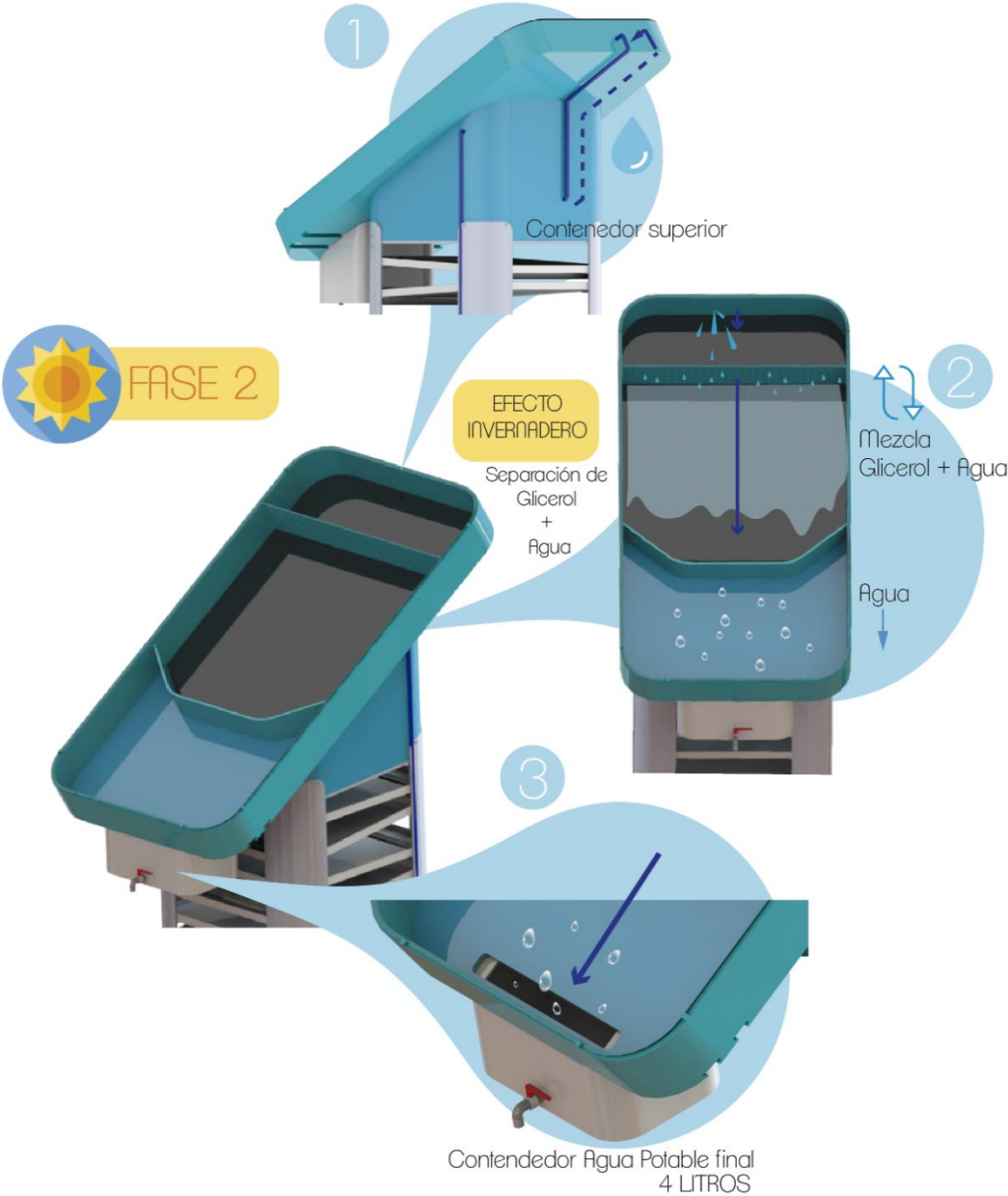
En la fase 1, se desarrolló un canal al final de cada placa que direcciona el glicerol entre cada una de ellas para evitar desbordamientos y pérdida del líquido. Igualmente se determinó que la programación de la bomba para que cuando no haya líquido en el contenedor esta no esté funcionando, con el fin de no dañar la bomba con el tiempo.

Figura 30. Alternativa Final – Fase 1



En la fase 2, se cambiaron los tubos por una placa rectangular completa para aumentar el área de contacto y evitar posibles desbordamientos y se modificó la manera en que el agua final resultante iba a ser obtenida por el usuario.

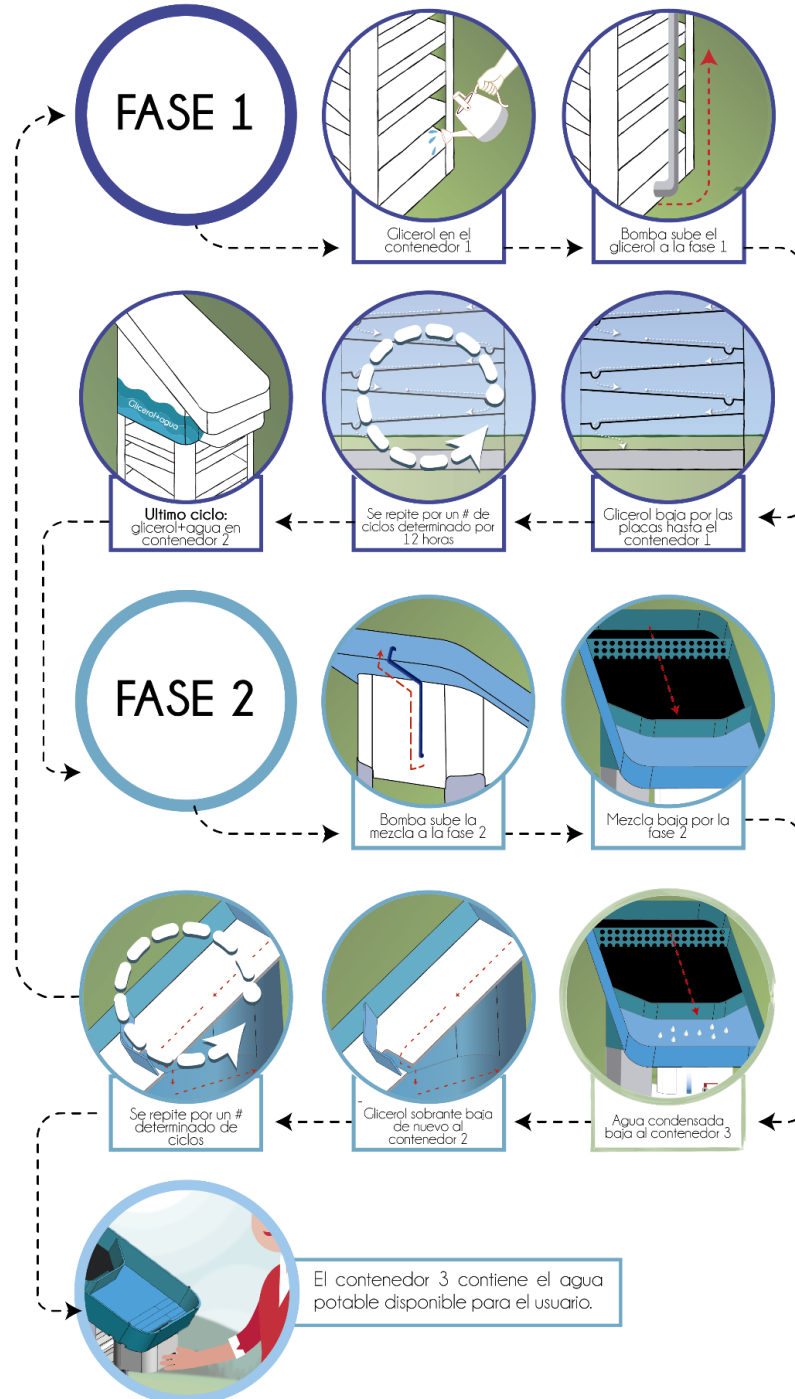
Figura 31. Alternativa Final – Fase 2



10.DISEÑO DE DETALLE

10.1. DIAGRAMA DE SOLUCIONES

Figura 32. Diagrama de soluciones



10.2. CALCULO DE ÁREAS Y VOLÚMENES.

Para el cálculo de las áreas y volúmenes se tuvo en cuenta los parámetros adquiridos inicialmente.

10.2.1. Contenedores Para el cálculo de volúmenes de los contenedores se determinó inicialmente la cantidad de líquido que este debería contener y se le adicionó su misma cantidad en un 25% como margen de error.

- Contenedor 1
 - Cantidad del glicerol: 6.700 ml
 - Volumen mínimo requerido: 6.700 cm^3
 - Volumen mínimo con margen: 8.800 cm^3

- Contenedor 2
 - Cantidad de la solución (Glicerol + agua): 11.600 ml
 - Volumen mínimo requerido: 11.600 cm^3
 - Volumen mínimo con margen: 14.750 cm^3

- Contenedor 3
 - Cantidad del agua: 4.800 ml
 - Volumen mínimo requerido: 4.800 cm^3
 - Volumen mínimo con margen: 6.000 cm^3

10.2.2. Fase absorción En esta fase se tiene como parámetro inicial el área en que el glicerol debería estar en contacto para poder absorber los litros de agua deseados. Teniendo en cuenta el área requerida, se sustituyó por ciclos para minimizar espacio.

$$\text{Área mínima requerida} \quad 14.15 \text{ m}^2$$

Para calcular el número de ciclos, se obtuvo el área de cada placa por donde va a bajar el glicerol y se multiplica por la cantidad de placas, así se tiene el área total de contacto de la sustancia. Finalmente se divide el área requerida por el área total de contacto y de esta manera se tuvo el número mínimo de ciclos.

$$\text{Número mínimo de ciclos Absorción} = \frac{\text{Área requerida absorción}}{\text{Área de placa} \times \text{Cantidad de placas}}$$

Se asegura el área requerida programando el sistema con más ciclos de los obtenidos en la anterior ecuación.

10.2.3. Fase desorción En esta fase se tiene de nuevo como parámetro el área en que la solución de agua con glicerol debería estar en contacto para poder hacer la desorción del agua. Teniendo en cuenta el área requerida, se sustituyó por ciclos para minimizar espacio.

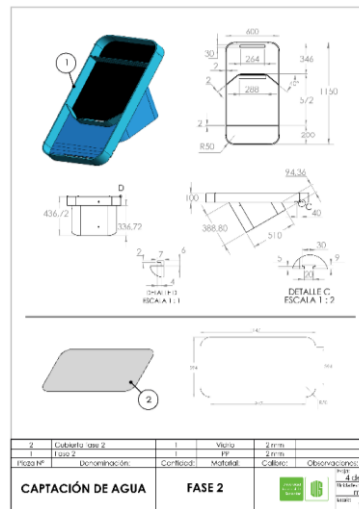
Para calcular el número de ciclos, se determinó el área de contacto de la fase dos y se dividió el área requerida por esta área determinada anteriormente.

$$\text{Número mínimo de ciclos Desorción} = \frac{\text{Área requerida desorción}}{\text{Área de fase dos}}$$

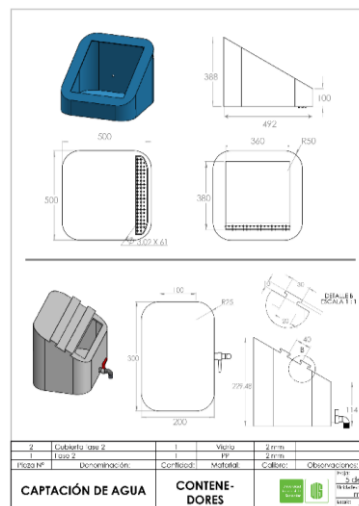
10.3. PLANOS

A continuación, se presentan los planos para la fabricación del sistema los cuales pueden ser vistos a detalle en el ANEXO E.

10.3.3. Fase 2



10.3.4. Contenedores



10.4. MATERIALES

Para la selección de materiales del sistema, se implementó la metodología Ashby la cual está compuesta por cuatro fases. La fase de traducción, se identifican: restricciones, limitaciones y rangos que el material debe tener y objetivos a cumplir. La fase de detección, que elimina el material que no puede cumplir con las restricciones. La fase de clasificación, donde se ordenan los materiales por su capacidad para cumplir con un criterio de excelencia. Y la

fase final, donde explora los más prometedores candidatos, examinando cómo se usan actualmente, cuál es la mejor manera de diseñar con ellos, etc⁴⁴.

Los materiales se evaluaron mediante una escala de cero a cinco, siendo cero (0) bajo cumplimiento y cinco (5) alto cumplimiento, los puntajes obtenidos por cada uno se evidencian en las matrices mostradas a continuación en cada partes del sistema. Para obtener estas puntuaciones fueron analizadas cada una de las características a evaluar por medio de unas gráficas explicadas a mejor detalle en el Anexo F.

10.4.1. Placas, contenedores y Fase 2

Tabla 4. Material para Placas

FUNCIÓN	Paso de glicerol, durante la fase 1 Absorción, por la cual el líquido se distribuye cíclicamente y expone en un sistema abierto al medio ambiente.
RESTRICCIONES	• Baja densidad • Rigidez • Higiene • Inerte • Resistencia a la intemperie • Capacidad de moldeo de forma
OBJETIVO	Minimizar costos
VARIABLE LIBRE	Polimeros

Tabla 5. Material para Contenedores

FUNCIÓN	Almacenar el glicerol (1), Mezcla Glicerol – Agua(2) y Agua potable final(3) durante las fases del sistema.
RESTRICCIONES	• Hermeticidad • Rigidez • Higiene • Inerte • Resistencia a la intemperie • Capacidad de moldeo de forma
OBJETIVO	Minimizar costos
VARIABLE LIBRE	Polimeros

⁴⁴ ASHBY, Michael. Materials Engineering, Science, Processing and Design. Oxford: ELSEVIER, 2014

Tabla 6. Material para Fase 2

FUNCIÓN	Paso cíclico de la Mezcla Glicerol - Agua, durante la fase 2 Desorción.
RESTRICCIONES	• Hermeticidad • Rigidez • Higiene • Inerte • Conductividad térmica • Resistencia a la intemperie • Resistencia a rayos UV
OBJETIVO	Minimizar costos
VARIABLE LIBRE	Polímeros

Debido a la geometría de los contenedores se tienen requerimientos técnico productivos que limitan los materiales elegidos, por lo cual se establecen los polímeros como los materiales adecuados para las especificaciones definidas.

La siguiente es la matriz de evaluación para la selección del material, donde el polipropileno obtiene la mayor puntuación.

Figura 33. Matriz de selección Material para placas, contenedores y fase 2.

MATERIAL	CALIFICACIÓN				TOTAL
	Elasticidad - Densidad	Elasticidad - Esfuerzo	Elasticidad - Costo	Esfuerzo - Costo	
Polipropileno (PP)	5	4	5	5	19
Acrílico (PMMA)	4	5	3	3	15
Polycarbonato (PC)	5	4	1	1	11
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	0	0	2	2	4

Se analizaron los requerimientos en garantías de higiene y hermeticidad, debido a que al líquido no pueden ser transferidas sustancias que alteren las características. El polipropileno ofrece una excelente resistencia a solventes químicos. Es inodoro, insípido, y fisiológicamente inocuo lo que lo hace excelente envase para productos para consumo humano. Tiene una buena

resistencia a los rayos UV y mejora con protección previa de aditivos⁴⁵. Se recomienda utilizar el polipropileno block copolímero de alto impacto, con características de alta resistencia y tenacidad⁴⁶.

Para la fase 2, la temperatura es una restricción, el diseño requiere una gran capacidad calórica, lo que implica absorción de calor sobre el glicerol - agua, para poder separarlos sin afectar el material. Para poder hacer este análisis se tomó la temperatura mínima utilizada de calentadores solares comunes para los hogares, la cual es 65°⁴⁷, Igualmente, se recomienda que tenga colores oscuros para una mayor absorción de calor.

10.4.2. Estructuras

Tabla 7. Material para Estructuras

FUNCIÓN	Estabilidad y sostenimiento de todo el sistema
RESTRICCIONES	• Rigidez • Tenacidad • Estabilidad Dimensional • Resistencia a las cargas • Resistencia a la intemperie
OBJETIVO	Minimizar costos
VARIABLE LIBRE	Material

Para esta etapa, se usaron las relaciones que analizan la resistencia material, la tracción, resistencia al agotamiento y la fractura. Los materiales con mayor cumplimiento de estas restricciones son los metales.

⁴⁵ RIBA ROMEVA, Carlos. Selección de Materiales en el diseño de máquinas. Barcelona: Edicions UPC, 2008.

⁴⁶ DUKKIPATI, Arun. All you need to know about polypropylene. [En línea] Creative Mechanisms. 2014. – Disponible en: <https://www.creativemechanisms.com/blog/all-you-need-to-know-about-polypropylene-part-1>

⁴⁷ GREENPACE MEXICO. Calentadores Solares: energía renovable. Disponible en: <https://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2006/1/calentadores-solares-energ-a.pdf>

Figura 34. Matriz de selección Material estructuras

MATERIAL	CALIFICACIÓN				
	Elasticidad - Densidad	Esfuerzo - Densidad	Tenacidad a la fractura - Esfuerzo	Elasticidad - Costo	TOTAL
Aluminio	4	5	5	5	19
Acero Inoxidable	4	4	4	1	13
Fibra de Carbono	3	3	3	1	10

Como resultado, el material con mayor puntuación es el aluminio, entre las aleaciones de aluminio se seleccionó la aleación aluminio – manganeso, serie 5XXX, la cual tiene alta dureza, soldabilidad, menos peso y excelente resistencia a la corrosión en exposición a la intemperie. Esta característica es también la base para un uso extensivo en el procesamiento de alimentos y líquidos⁴⁸.

10.4.3. Cubierta fase 2

Tabla 8. Material para Cubierta de fase 2

FUNCIÓN	Impide salida de rayos UV y genera un adecuado efecto invernadero para separación de mezcla Glicerol – Agua.
RESTRICCIONES	• Transparencia • Impermeabilidad • Baja densidad • Resistencia a la intemperie • Resistencia a rayos UV
OBJETIVO	Minimizar costos
VARIABLE LIBRE	Materiales

Teniendo en cuenta que la luz solar se transforma en calor al pasar por la cubierta, el material debe tener alta resistencia térmica y un nivel muy bajo de oxidación. Por lo cual se utilizan las características de la siguiente matriz para la evaluación y selección del material.

⁴⁸ KAUFMAN, Gilbert., ROOY, Elwin. *Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications*. ASM International, 2004.

Figura 35. Matriz de selección material – Cubierta fase 2

MATERIAL	CALIFICACIÓN				
	Elasticidad - Densidad	Esfuerzo - Máxima T*	Esfuerzo - Costo	Elasticidad - Costo	TOTAL
Vidrio sosa - cal	5	5	5	5	20
Vidrio de sílice	5	5	1	1	12
Acrílico (PMMA)	3	2	3	3	11

El material elegido es el vidrio de sosa - cal, considerando que la propiedad más importante del vidrio sodo-cálcico es su elevada capacidad de transmisión de la luz. Su superficie suave y no porosa permite una limpieza fácil, y debido a la inercia química del vidriosodo-cálcico, éste no contaminará el contenido⁴⁹. Para el sistema se usó un vidrio de sosa – cal templado utilizada para exteriores, donde está expuesto a la intemperie.

⁴⁹ PEARSON. Carlos. *Manual del vidrio plano*. Argentina, 2013. Disponible en: https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/accion_viento/manual_vidrio_plano.pdf

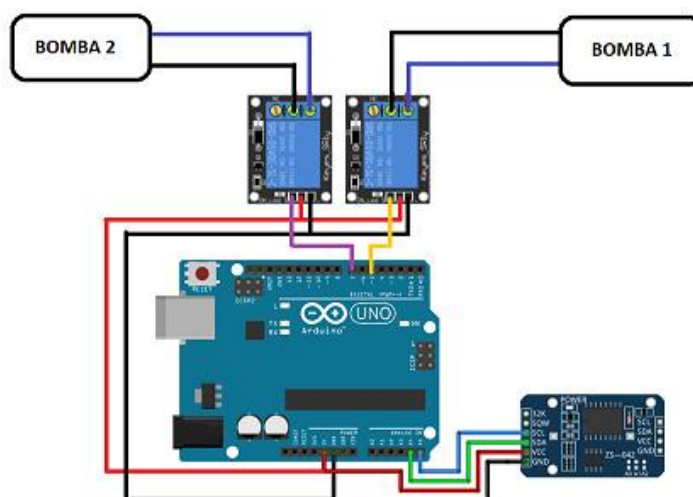
10.5. PROCESO ELECTRÓNICO

Para el correcto funcionamiento del sistema, se propone el uso de dos bombas de diafragma las cuales fluyen el líquido (Glicerol y mezcla glicerol con agua) durante las dos fases, estas programadas a partir del sistema ON/OFF.

Los circuitos de cada una de las partes y la programación de las bombas se pueden observar a detalle en el Anexo G.

- Diseño esquemático

Figura 36. Gráfico de diseño esquemático



Debido a que se utilizó una electrobomba de 12Vdc y 2A fue necesario diseñar un circuito para poder alimentarla.

- Bomba contenedor 1

Funcionamiento medido durante 12 horas nocturnas (6 p.m. – 6 a.m.) para la fase 1, distribuido en tres minutos ON donde el líquido es bombeado al contenedor N°2 y cinco minutos OFF, a partir del momento en que el líquido cae y está expuesto en las placas.

- Cierre contenedor 2

Antes del último ciclo de bombeo de la fase 1 se activa el mecanismo de cierre de la regadera ubicado en el contenedor 2, de esta manera la mezcla quedará estancada para iniciar la fase 2.

- **Bomba Contenedor 2**

El tiempo total de funcionamiento son 12 horas durante el día (6 a.m. – 6 p.m.) para la fase 2, distribuido en dos minutos ON donde el líquido es bombeado al contenedor 2 y cuatro minutos OFF, de exposición del líquido para generación de efecto invernadero. Al finalizar las 12 horas la bomba se apaga automáticamente y la primera bomba se activa para reiniciar el ciclo.

- **Programación (Verificación y validación)**

Comprende la respectiva programación de las bombas y mecanismo, en un entorno de programación llamado ARDUINO donde se verificó y validó el funcionamiento de cada parte y sus tiempos definidos.

10.6. LISTA DE PARTES Y COMPONENTES

A continuación se presentan tablas de partes y componentes que hicieron posible el desarrollo del proceso electrónico, para la programación de las bombas y el cierre del contenedor 2 para el inicio de la fase 2.

Tabla 9. Partes y componente electrónicas

PARTES Y COMPONENTES ELECTRONICAS		
Rele 5VDC		Dispositivo electromagnético que permite que la corriente llegue en su totalidad a uno o más dispositivos utilizando cables más cortos para evitar caídas de tensión y separe las secciones de control y de potencia. • Medidas 19x15,5x15mm • Bobina interna soporta hasta 12V
Transistor NPN		Dispositivo diseñado para operar como amplificador y suiche de propósito general. • Referencia: BJT 3904 • Voltaje colector emisor en corte 40 V (V_{ceo}) • Corriente de colector constante 200mA (I_c) • Frecuencia de trabajo 300 Mhz (F_T)
Resistencia 1/2 Watt		• Rango de producto: Serie 1/2 W • Potencia nominal: 0.5 Watts • Máxima tensión nominal: 350 V • Tolerancia de resistencia: $\pm 5\%$ • Coeficiente de temperatura: ± 200 ppm/K
Regulador LM350		Circuito integrado usado como regulador de voltaje positivo, con unos márgenes de regulación de 1.2V a 33 V, y viene encapsulado en TO-3 y TO-220. • Protección contra sobre intensidades. • Protección térmica por sobrecalentamiento
ARDUINO UNO		• Microcontrolador ATmega328. • Voltaje de entrada 7-12V. • 14 pines digitales de I/O (6 salidas PWM). • 6 entradas analógicas. • 32k de memoria Flash. • Reloj de 16MHz de velocidad.
Reloj Tiempo Real RTC DS3231		• Cronometrados para proporcionar copia de seguridad continua de la batería. • Bajo consumo de energía. • Funciones completas reloj calendario incluyen segundos, minutos, horas, días, fecha, mes y año. • Salida de 1 Hz y 32,768 kHz • Botón de reinicio antirrebote entrada y salida • Alta velocidad (400 KHZ) el bus serie I2C • Tensión de alimentación: + 2.3 V a + 5.5 V
Bombas de Diafragma		Ofrecen ciertas ventajas frente a otros tipos de bombas, ya que no poseen cierres mecánicos ni empaquetaduras que son las principales causas de rotura de los equipos de bombeo en condiciones severas. No es necesario llenar la columna de aspiración de líquido para que funcionen, por lo que pueden ser utilizadas para sacar líquido de depósitos aspirando aunque la tubería de aspiración esté llena de aire inicialmente. Estas bombas son utilizadas para transporte de químicos.

10.7. IDENTIDAD CORPORATIVA

La identidad se desarrolló para crear la personalidad corporativa del producto, para ello se estableció una tipografía y paleta de colores y se creó un nombre de marca y un logo.

Para crear el nombre del producto, se tuvo en cuenta las palabras características del producto y estas a su vez se fueron mezclando y modificando por medio de una lluvia de ideas hasta obtener tres alternativas: EvaporaT, Acuate y Acuapot. Para el diseño del logo, se tomó como base la forma principal del sistema y se sustrajo su silueta (Figura 37).

Figura 37. Alternativa Logos



Para la selección del logo y el nombre, se realizó una encuesta corta (ANEXO H) el día 09 de mayo del 2018 a 12 personas entre los que se encontraban estudiantes de diseño y diseñadores.

Para el nombre del producto, se seleccionó *Acuapot* y para el logo se decidió fusionar las dos alternativas ya que se generó un empate. Con respecto a la tipografía, se usaron fuentes de la familia Montserrat.

Figura 38. Logo final, paleta de colores, tipografía.



Paleta de colores



C=85
M=50
Y=0
K=0

C=85
M=50
Y=0
K=0

C=0
M=0
Y=0
K=80

Tipografía Montserrat

Aa Bb Cc Dd Ee Ff Gg Hh Ii Jj Kk Ll Mm Nn
Oo Pp Qq Rr Ss Tt Uu Vv Ww Xx Yy Zz
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 , . - : ; () / ! ' ?

Estructuras del sistema

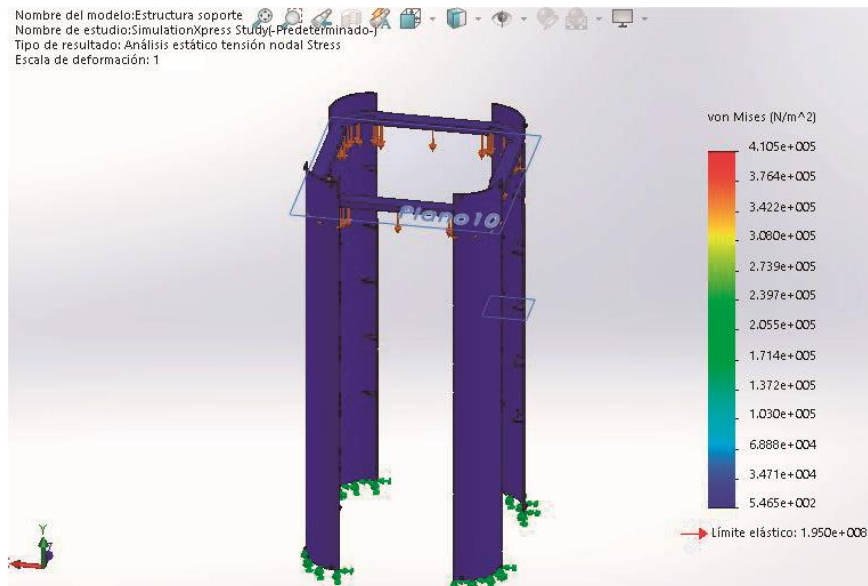
Mediante este análisis de simulación usando el software de SolidWorks para CAE, se evaluó el ciclo de vida útil del sistema en función de la resistencia mecánica ante las cargas a las que será sometido durante su uso, las cuales corresponden a la suma del peso de los contenedores de la fase 2 y el peso del líquido sobre las estructuras y la base superior, junto a condiciones de unión entre piezas y sujeciones.

Tabla 10. Cargas aplicadas al sistema

CARGAS SOBRE EL MODELO	PIEZA	CANTIDAD
Conexiones (Conjunto de contacto)	Contacto entre estructura con base superior	-
	Contacto entre base, estructura y contenedor Fase 2	-
Sujeciones (Geometría fija)	Extremos de la estructura sobre el suelo.	4 Bases
Cargas (Masa distribuida)	Estructura y base superior	70N

En la figura 40 se observa un mapa de color sobre la pieza a analizar, para este caso la tonalidad indica un riesgo bajo a las tensiones, sin generar deformaciones plásticas o rupturas a las que las estructuras se encuentran.

Figura 40. Análisis estático de estructuras



11.2. ELABORACIÓN DEL SISTEMA

Cumpliendo la metodología propuesta, se llevó a cabo la fabricación del sistema para hacer posteriormente su validación, que por costos y dimensiones fue diseñado a una escala inferior.

Para encontrar la escala adecuada del sistema de estudio, se realizó un análisis dimensional considerando como obligatoriedad mantener tanto similitud dinámica como geométrica entre las dos escalas. La similitud dinámica fue analizada según lo reportado en la literatura para fluidos de “superficies libres”. El escalado para sistemas en donde se presenta este tipo de fluidos debe realizarse considerando no sólo las fuerzas viscosas y cinéticas sino además, las fuerzas de gravedad. En ese orden de ideas, se consideraron para el escalamiento dinámico del sistema en estudio, los números de Reynolds (Re) y de Froude (Fr).

El Anexo I muestra el análisis dimensional realizado para la determinación un factor de escala (FE) adecuado para el sistema de estudio. De acuerdo con la teoría, para fluidos de superficies libres de baja viscosidad y trabajando a velocidades bajas, la gravedad viene siendo la fuerza predominante en el proceso de escalamiento. El número de Fr es, por tanto, el número que prima con respecto al número de Re durante el análisis.

De acuerdo con el Anexo I, si se desea garantizar que tanto el número de Re como el de Fr sean iguales, es necesario entonces que las fuerzas viscosas entre las dos escalas sean diferentes. Dos condiciones pueden aplicarse para alcanzar este propósito, una de ellas es considerar el uso de un fluido diferente en la escala inferior con respecto a la real. Sin embargo, si esa condición no es posible, entonces existe una segunda condición que consiste en cambiar la temperatura de operación del fluido en la escala inferior con respecto a la real.

Para el caso objeto de estudio en este trabajo, estas dos condiciones no son posibles de aplicar ya que los procesos de adsorción y desorción son dependientes tanto del tipo de fluido que se use para ello como de las condiciones de temperatura de operación.

Por tanto, teniendo en cuenta que el cambio de las fuerzas viscosas no es posible para el sistema en estudio, se decide entonces realizar un escalado con un FE relativamente bajo que permita minimizar el efecto sobre los números adimensionales. En otras palabras, se procede a mantener igual el número de Fr por ser éste el más importante para este tipo de fluido y se decide aplica un FE de 1:2 con el fin de minimizar el efecto sobre el número de Re, el cual de todos modos será ligeramente diferente entre las dos escalas.

Finalmente, para la similitud geométrica, se usará un FE de 1:2, en concordancia con los resultados del análisis dimensional antes mencionado, para el diseño del sistema que se fabricará y validará en este trabajo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se determina que para la prueba de validación se deberá usar una cantidad de glicerol igualmente escalada, es decir, una escala 1:2 de su volumen. Partiendo que al escalar un volumen, esta se divide en 8 partes iguales, se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen Glicerol} = 7.073 \text{ ml}$$

$$\text{Volumen Glicerol Escala 1:2} = \frac{7.073 \text{ ml}}{8} = 884,125 \text{ ml}$$

11.3. VERIFICACIÓN DEL SISTEMA

Para la verificación del sistema se utilizó el modelo funcional a escala 1:2, elaborado en su totalidad en polipropileno ya que en este tamaño, no era necesario hacer las estructuras de aluminio.

Figura 41. Modelo funcional escala 1:2



Para la prueba de verificación, el sistema se encendió a las 6 p.m. para que iniciará la fase 1, a las 6 a.m. del siguiente día se iniciaría la fase 2 y finalmente a las 6 p.m. se apagaría para recolectar el agua potable resultante.

Se hicieron 3 pruebas, los días 10, 11 y 13 de mayo del 2018 respectivamente. En los tres días el sistema funcionó correctamente durante la noche, es decir en la fase 1 (Figura 42).

Figura 42. Verificación prueba 1 – Fase 1



Con respecto a la fase 2, en la prueba 1 se presentaron dificultades para el agua bajara de manera uniforme por toda la placa (figura 43) y de esta manera no tuviera suficiente tiempo de exposición para calentarse y así obtener el agua potable.

Figura 43. Verificación prueba 1 – Fase 2



Esto se generaba porque los agujeros de la parte superior tenían una medida que no permitía que se distribuyera por toda la placa sino que se filtrara por los de primer contacto.

Teniendo en cuenta lo anterior, se elaboró una nueva placa con agujeros más pequeños y alejados de la base (figura 44), para que de esta manera la mezcla pudiera ser distribuida por la placa inclinada y así descender uniformemente.

Figura 44. Placa fase 2



De esta manera, la prueba 2 hizo su correcto funcionamiento durante la fase 1 en la noche y en la fase 2, se observó que la nueva placa cumplía su función de distribuir la mezcla por toda la placa inclinada (ver figura 43) pero el tiempo de exposición no era suficiente para que esta se calentara y así se evaporara.

Figura 45. Verificación prueba 2 – Fase 2

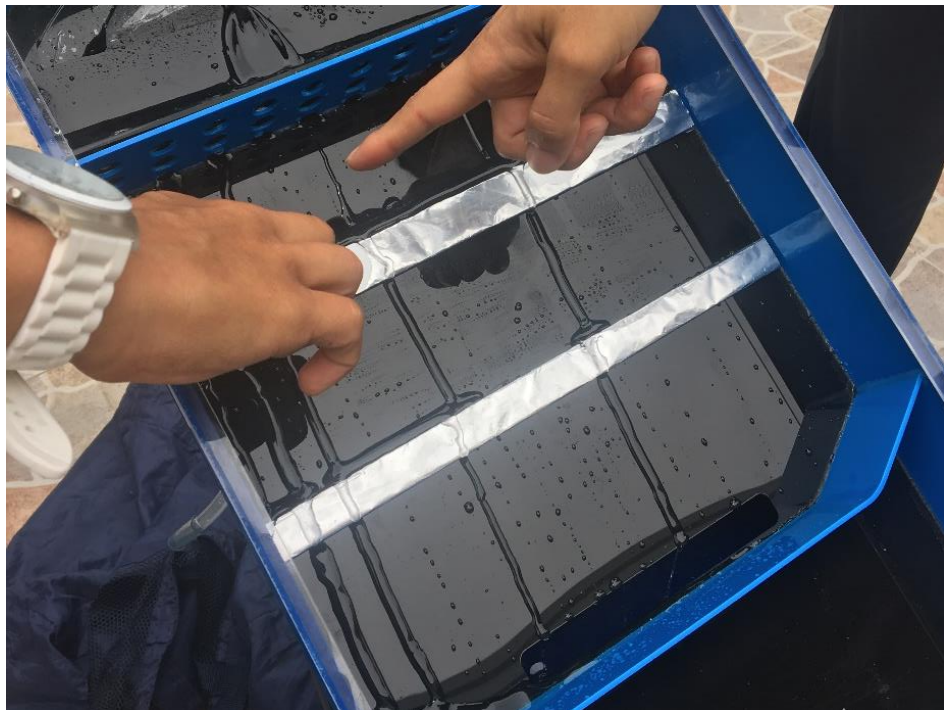


Luego de esta observación, se indago sobre las posibles soluciones para darle más tiempo a la mezcla mientras esta descendía. Finalmente, se optó por incluir láminas de forma horizontal (Ver figura 44) que cumplieran la función de detener el líquido y así, demorar más su descenso. A su vez, estas láminas

podrían simular un material de aluminio para mejorar la reflexión de los rayos solares dentro de la fase.

Para verificar esta posible solución, se incluyeron las láminas que se pueden ver en la figura 46, donde se pudo concluir que si era una solución viable sin embargo se necesitaban más para hacer más lento el descenso.

Figura 46. Verificación prueba 2 – Fase 2 (Adición de placas)



En la prueba 3, se incluyeron 12 placas (Figura 47), separadas cada una de ellas a 1 centímetro, dejando entre ellas algunas más altas para que en esos espacios se generará más demora en el descenso.

Figura 47. Verificación prueba 3 – Fase 2



Al finalizar la prueba 3, se determinó que ya se podría disponer a hacer la prueba de validación del sistema, con los cambios y modificaciones hechos. Adicionando a estos cambios; por sugerencia del Magíster en Térmica y Energía, Javier Mauricio Castellanos Olarte, las nuevas placas horizontales estarán en color negro y no en material de aluminio, ya que lo que se buscaba principalmente era calentar la base para ocasionar la condensación del agua y la mejor manera para que esto se genere son las superficies oscuras.

En la tabla 11, se puede ver el proceso en cada de una las pruebas y su correcto o incorrecto funcionamiento en cada una de las fases y funciones.

El proceso 8 no se cumplió inicialmente debido a que el contenedor de la fase 2, no tenía una placa que dispersará de manera uniforme la mezcla. En la figura 44 se puede ver, la placa que se adiciono para que se realizará de manera correcta este paso.

Igualmente el proceso 9 no se cumplió, porque la mezcla descendía de manera muy rápida al contenedor 2, sin lograr estar expuesta suficiente tiempo para evaporar el agua. Se le dio solución a esto agregando placas horizontales que disminuían el tiempo de descenso de la mezcla (Figura 47).

Teniendo estos procesos solucionados, se determinó que el proceso 11 se iba a generar en la validación del sistema.

Tabla 11. Verificación del Sistema

PROCESO		PRUEBA #1	PRUEBA #2	PRUEBA #3
FASE 1	1 Contenedor 1, Almacenamiento glicerol.	✓	✓	✓
	2 Ascenso del glicerol al contenedor 2.	✓	✓	✓
	3 Contenedor 2, Caída del glicerol a la primer placa	✓	✓	✓
	4 Distribución del glicerol por las placas	✓	✓	✓
	5 Inicio de una nueva fase.	✓	✓	✓
FASE 2	6 Contenedor 2, Almacenamiento de la mezcla Glicerol + Agua	✓	✓	✓
	7 Ascenso a la fase 2	✓	✓	✓
	8 Distribución homogénea de la mezcla por la placa inclinada	✗	✓	✓
	9 Tiempo de exposición para efecto invernadero.	✗	✗	✗
	10 Mezcla desciende nuevamente al contenedor 2.	✓	✓	✓
	11 Agua potable en el contenedor 3	✗	✗	✗
	12 Inicio de una nueva fase	✓	✓	✓

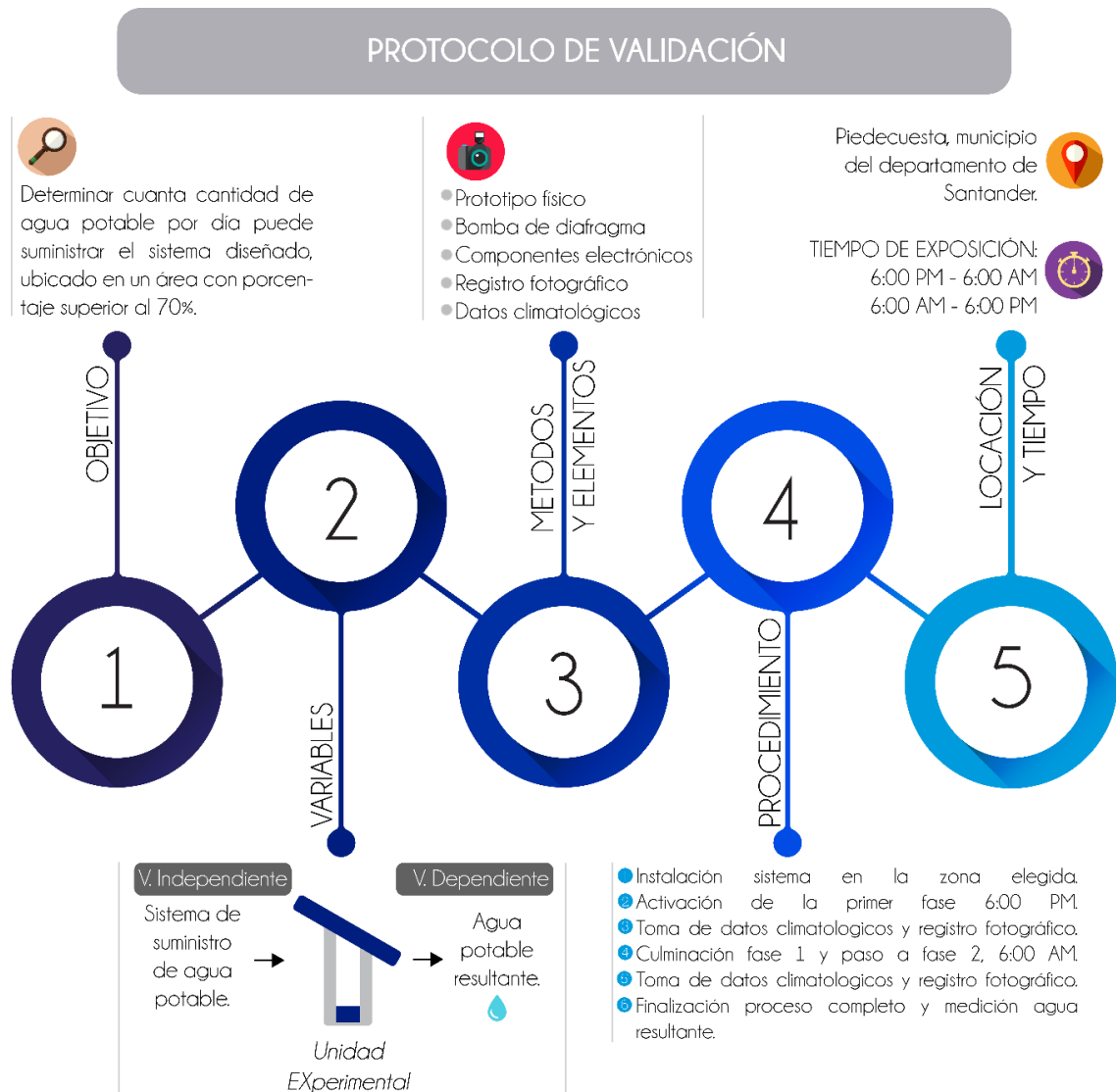
11.4. VALIDACIÓN DEL SISTEMA

El proceso de validación del sistema se realizó con el objetivo de responder la pregunta de diseño previamente formulada, ¿Cuánta cantidad de agua potable por día puede suministrar el sistema diseñado en el marco de este proyecto, a una población ubicada en áreas con un porcentaje de humedad superior al 70%? Para esto, se realizó una prueba experimental para validar el funcionamiento del sistema con un prototipo diseñado a escala 1:2.

Inicialmente se estableció un protocolo de prueba (Figura 48), en el cual se determinó como variable independiente el prototipo físico, en cumplimiento de las dos fases de funcionamiento (Absorción y desorción), y como variable dependiente la cantidad de agua potable obtenida al finalizar el proceso completo del sistema.

Igualmente para la realización de la prueba se tuvo en cuenta variables de control que intervienen directa e indirectamente en el funcionamiento del sistema como la cantidad de glicerol usado y factores climatológicos como temperatura, humedad, viento, Índice UV y condensación presente durante la prueba.

Figura 48. Protocolo de validación



Realización de la prueba

La prueba se desarrolló en la vereda los Colorados del municipio de Piedecuesta en Santander, el cual permitió instalar el prototipo en un entorno real, en donde las variables climatológicas no son controladas. Es así como se dio inicio a la prueba el día martes 15 de mayo, con el ensamblaje del sistema y la preparación de la bomba de diafragma para su respectiva activación. Al ser activado, se dio inicio a

la Fase 1 - Absorción, donde el glicerol se distribuyó a través de las placas y repitió el ciclo durante las 12 horas establecidas, durante esta etapa se realizó un registro fotográfico y se tomaron los datos de velocidad de viento, sensación térmica y humedad.

Al terminar la primera fase, se dio paso a la Fase 2 – Desorción, el día 16 de mayo, en donde la mezcla de glicerol con agua es distribuida por ciclos al contenedor superior de la fase 2, para ser evaporada y previamente condensada por efecto invernadero. Al igual que en la fase 1, se registró con video y fotografías el recorrido del líquido durante el proceso, registrando cada hora la temperatura, índice UV y condensación.

11.4.1. ANÁLISIS DE DATOS DE VALIDACIÓN

Se realizó el análisis del funcionamiento del prototipo durante las dos fases.

11.4.2. Validación – FASE 1 Durante la fase 1, se observó el paso efectivo y homogéneo del glicerol por las placas, el funcionamiento correcto de los tiempos de la bomba y la exposición adecuada.

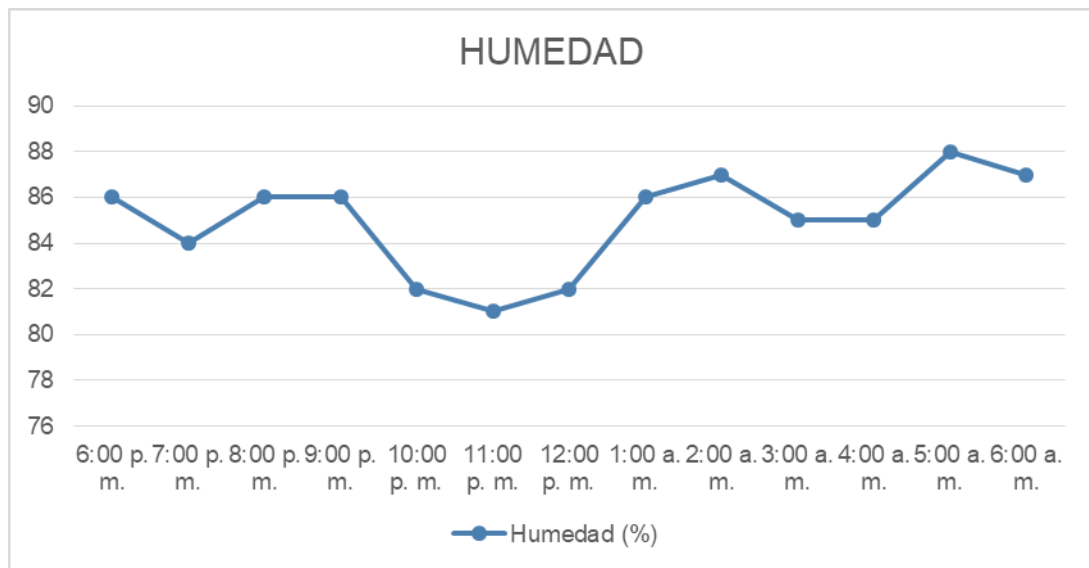
Figura 49. Validación Fase 1



- Factores climatológicos

Para los factores tomados se realizaron gráficas de los registros por hora. La humedad, variable que es determinante ya que es el vapor atmosférico absorbido por el glicerol, tuvo un registro superior al mínimo requerido para el sistema, durante las doce horas se mantuvo por encima del 80% llegando a un máximo de 88% una hora antes de concluir la primera fase.

Figura 50. Gráfica de porcentaje de humedad

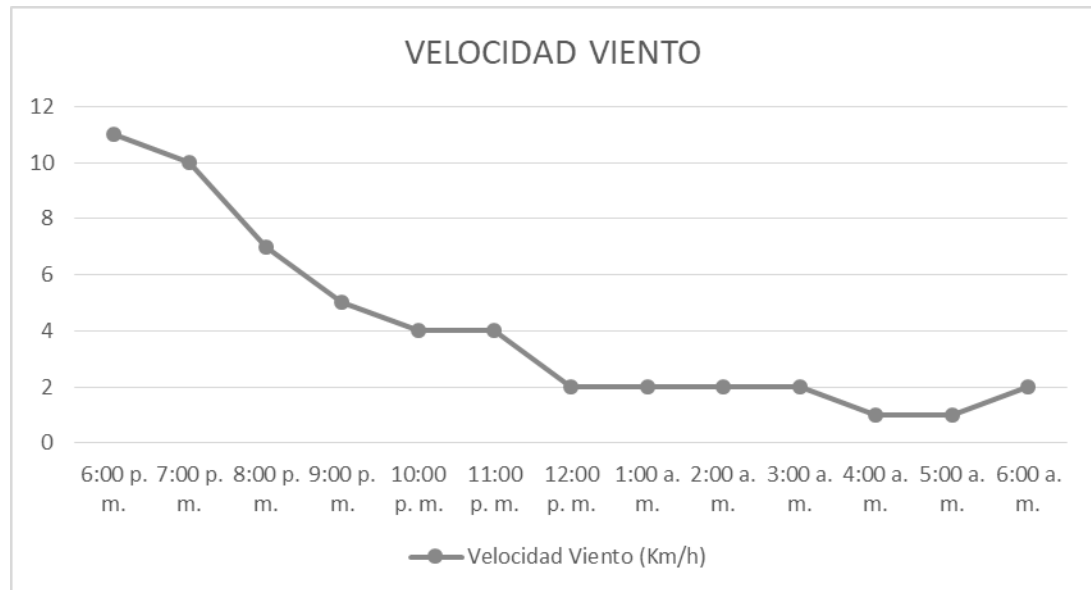


Para la óptima absorción de la humedad por parte del glicerol, el sistema tiene como referencia la renovación y circulación del aire. Por tanto, se toma la velocidad del aire como variable durante todo el proceso, para esto se utilizó la escala de Beaufort, medida empírica para la intensidad del viento⁵⁰. Al inicio de la prueba se registró el pico más alto de vientos de 7 a 10 Km/h, que se define según la escala como brisa ligera. Desde las 8:00 p.m. se registró una disminución de vientos de 6 a 2Km/h, viento leve. Estas brisas, a pesar de no ser altas, fueron

⁵⁰ UK Met Office's National Climate Information Centre (2010). National Meteorological Library and Archive Fact sheet 6 - The Beaufort Scale. Obtenido de http://www.metoffice.gov.uk/media/pdf/4/4/Fact_Sheet_No._6_-_Beaufort_Scale.pdf

constantes, logrando el objetivo de una renovación y paso continuo del aire a través del prototipo.

Figura 51. Gráfica de velocidad del viento



11.4.3. Validación – Fase 2

La fase 2 - Desorción, dio inicio a las 6:00 a.m., donde se observó que el glicerol tenía una densidad más baja que al inicio de la prueba, indicador que refleja la absorción óptima de humedad. Como se determinó en la verificación del sistema, se agregaron láminas negras de 1 centímetro a la placa inclinada, para permitir una condensación adecuada del agua y retención del líquido durante esta fase.

Se evidenció el calentamiento y posterior evaporación del líquido de manera exponencial hasta las 12:00 p.m., a partir de ahí, la condensación prosiguió, pero con menor intensidad hasta las 4:00 p.m.

En las figuras que se muestran a continuación, se puede ver el inicio de la fase 2 con las nuevas placas agregadas (Figura 50) y como inicia a condensarse el agua

en la placa superior para finalmente crear las gotas (Figuras 51 y 52) y bajar hasta el contenedor 3.

Figura 52. Validación – Inicio Fase 2



Figura 53. Condensación inicial Fase 2

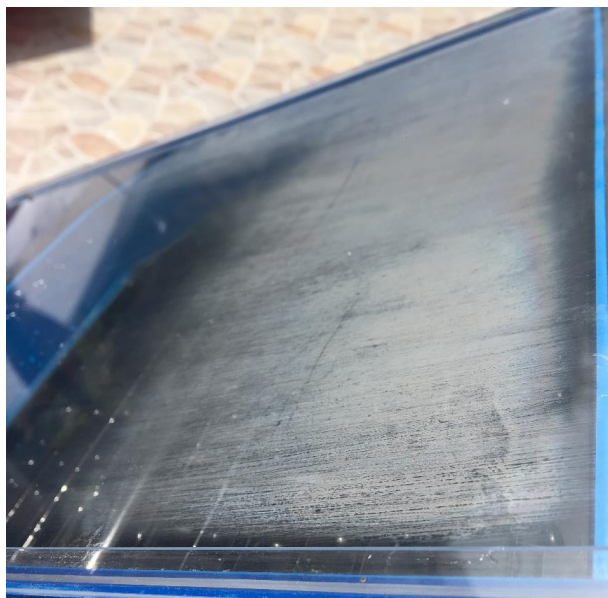


Figura 54. Condensación del agua

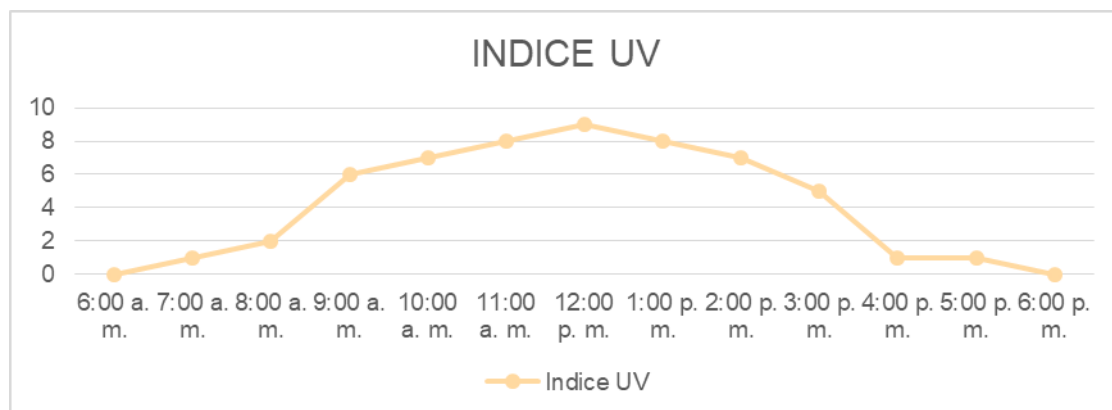


- ***Factores climatológicos***

En cuanto a las variables independientes de la fase 2, se registró el índice UV, indicador de la intensidad de radiación ultravioleta proveniente del sol en la superficie del contenedor. Esta escala esta medida de 0 a 11, donde 0 es nula, 1-2 baja, 3-5 moderada, 6-7 alta, 8-10 muy alta y 11 extremadamente alta⁵¹. Como se puede apreciar en el gráfico, el índice tuvo un crecimiento exponencial hasta las 12:00 p.m. donde su pico más alto obtuvo 9, esto se refleja en el resultado de la condensación sobre el líquido, donde es directamente proporcional al Índice UV. Después del medio día, el índice se mantiene en escala alta hasta las 3:00 p.m., bajando a moderado y nula de 4:00 p.m. a 6:00 p.m., donde finaliza el ciclo.

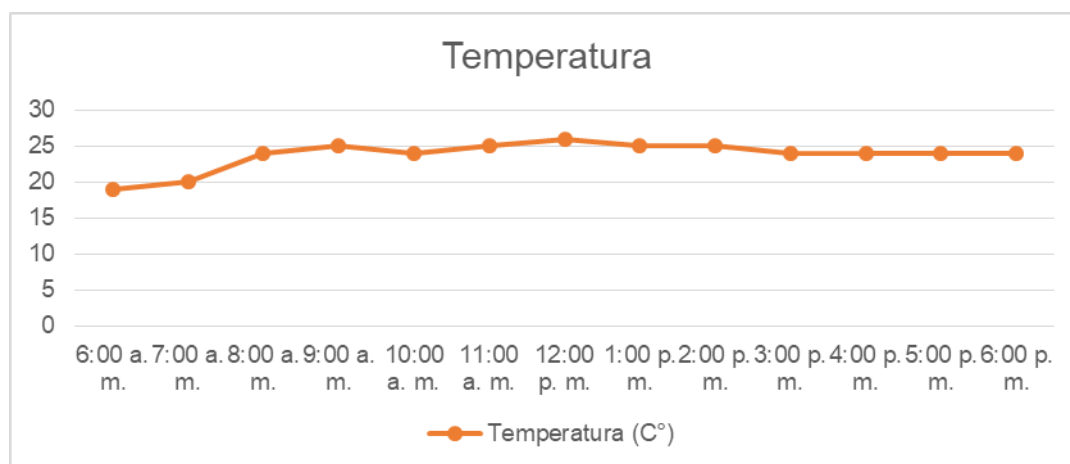
⁵¹ IDEAM. Información Técnica sobre la Radiación Ultravioleta, el Índice UV y su Pronóstico. Bogotá, Colombia. 2010

Figura 55. Gráfica Rayos UV



En cuanto a la temperatura, durante las doce horas del segundo ciclo se mantuvo constante entre 24°C a 26° desde las 8:00 a.m. hasta las 6:00 p.m.

Figura 56. Gráfica Temperatura



Al finalizar la prueba de validación se obtuvo 150 ml de agua, este dato se proyectará a continuación para definir la eficiencia del sistema en tamaño real, definido en cuanto glicerol se utilizó para la prueba y cuánta agua se recogió.

Teniendo en cuenta las condiciones iniciales que se determinaron anteriormente en el Anexo A, se esperaba que al utilizar 884.125 ml de glicerol la obtención de agua potable fuera de 500 ml.

12. CONCLUSIONES

- Se realizó una revisión en diferentes motores de búsqueda, libros y revistas para identificar los tipos de productos y servicios para sustentar agua potable actualmente en Santander, que fueran orientados a las poblaciones con porcentajes de humedad superior al 70%, con el fin de determinar si existía o no, al igual que se pudo concluir que las pocas soluciones existentes no abarcaban la problemática y tenían muchas desventajas para que los habitantes pudieran consumir agua potable de manera segura y eficiente.
- Se determinaron los parámetros de restricción del proyecto, los cuales sirvieron de base para el desarrollo de las alternativas y posteriormente la elaboración del sistema. Partiendo inicialmente de una ecuación generada en el proyecto de ingeniería química mencionado en la página 21 “Desarrollo de un sistema de recuperación de agua del ambiente usando absorbentes, bajo las condiciones ambientales de Riohacha”³⁵.
- Como cumplimiento del tercer objetivo específico se aplicaron diferentes estrategias con el fin de generar alternativas de diseño para las dos fases planteadas en el sistema, a las cuales se les atribuyeron características funcionales y formal estéticas, para ser llevadas a una reunión de expertos llegando a concluir cuáles de ellas eran las más viables y las posibles mejoras. De esta manera, se logró definir las alternativas que daban solución a cada una de la fases y finalmente, a la problemática planteada.
- Fue elaborado un prototipo a escala 1:2 del diseño planteado y llevado a prueba de validación para evaluar la eficiencia de este. Para la realización de la prueba fueron utilizados 890 ml de absorbente, esperando como resultado final 500 ml de agua potable. Al finalizar la prueba, se pudo obtener 150 ml de agua potable,

es decir, un 30% de lo propuesto. Esto debido tal vez a la temperatura ambiental que se mantuvo en los 25° con tiempo generalmente nublado, se esperaría que en temperaturas mayores las propiedades de desorción aumenten. Asimismo, la radiación en la fase de desorción no fue constante en las 12 horas, como se puede observar en la gráfica 3 los rayos UV fueron bajos antes de las 8 a.m. y después de las 3 p.m., teniendo como resultado sólo un aprovechamiento óptimo de 7 horas, ocasionando que no se pudiera evaporar y condensar toda el agua que Acupot había recuperado en la fase de absorción.

- Teniendo en cuenta la anterior conclusión, se puede deducir que el sistema en escala 1:1, captaría 1.200 ml con las condiciones ambientales mencionada previamente.
- Con relación al aspecto técnico se concluye que se debe generar más tiempo de contacto de la mezcla final en la fase de desorción con los rayos solares para favorecer y acelerar el calentamiento de esta y así obtener la cantidad de agua esperada. Adicional a esto, se debe generar en la parte inferior del contenedor de la fase dos, una zona donde el agua que previamente se ha condensado, baje su temperatura para que pueda descender al contenedor 3 con mayor facilidad.

Con base en lo anterior, el sistema Acupot tendría mejores resultados de eficiencia en ambientes con altos porcentajes de humedad y de rayos UV. Por tanto regiones como la Guajira, donde existen problemáticas evidenciadas de escasez de agua, el sistema Acupot puede contribuir a subsanar la deficiencia de este líquido. Una ventaja del sistema Acupot es la instalación de uno o varios de estos sistemas, según las necesidades de la comunidad objetivo que permite aumentar el suministro de agua.

Por último el principal hallazgo de este trabajo es la validación de un sistema de suministro de agua potable con potencial innovador y que hasta ahora, no había sido validado. La nueva técnica de recuperación de agua del medio ambiente permite a las regiones apartadas del país suministrarse de este líquido indispensable para la vida.

BIBLIOGRAFÍA

ASHBY, Michael. Materials Engineering, Science, Processing and Design. Oxford, UK. 2007

FONSECA, Susana., FUENTES, Osmanys., ROSALES, Julio., MIRANDA, Eider., FONSECA, Fernando [online]. Herramienta para la simulación del comportamiento térmico y la productividad de destiladores solares de tipo invernadero. Santiago de Cuba, 2017. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000200012

PORRAS, Angely., PRADA, Cristhian., & MARADEI, María Paola. (2015). Desarrollo de un sistema de recuperación de agua del ambiente usando absorbentes, bajo las condiciones ambientales de Riohacha. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.

POTTER, Merle. WIGGERT, David. RAMADAN, Bassem. Mechanics of Fluids. 4° edición. Stamford: Cengage Learning. 2012. Cap. 6.

STREETER, Victor. WYLIE, Benjamin. BEDFORD, Keith. Mecánica de Fluidos. 9° edición. Bogotá: Emma Ariza H, 2000. Cap. 5.

ANEXOS

ANEXO A. Encuesta diagnóstica

Los Santos - Santander



Somos estudiantes de Diseño Industrial y nos encontramos desarrollando el proyecto de grado titulado "Sistema de suministro de agua potable para el consumo humano en hogares".

Nombre: _____

Ocupación: _____

De antemano agradecemos su colaboración con el desarrollo de este cuestionario.

Favor en la pregunta seleccionar una respuesta.

1. El sistema de suministro de agua potable que será desarrollado, tomará el agua del ambiente para que así esta pueda ser consumida por humanos en sus hogares, teniendo en cuenta lo anterior:

¿Qué ubicación le parece la más adecuada para un sistema que suministre agua potable a su casa?

- a. En el hogar (patio, exteriores)
- b. Afuera de su hogar (zona común)

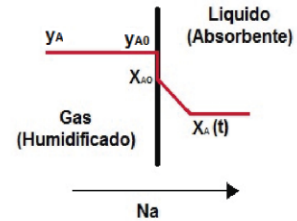
¿Por qué seleccionó esta respuesta?

ANEXO B. Cálculos

CONDICIONES INICIALES ABSORCIÓN

	4am	6am
Temperatura (°C)	20.1	19.9
Presión (mm Hg)	762.29	
Humedad (%)	93.6	92.9
Difusividad (cm ² /h)	3.0973E-05	3.0512E-05

$$D_{AB.1} = D_{AB.2} * \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{1.5} \frac{P_2}{P_1}$$



Resultados Glicerol

Humedad aire	93%
T aire	20°C

PT	762 mmhg
Pa	16.25 mmhg
P*agua	17.47 mmhg

Constantes de Antoine		
A	B	C
8.07131	1730.63	233.426

ya0	0.0213
xa0	0.93
xa	0.2

(phi para un Xao de 0,93 aprox)	
phi	0.88

Cálculo de la superficie a partir de un volumen de agua a absorber después de un tiempo t

Tiempo de absorción	12 horas
Volumen a recuperar	4800 cm ³
S, superficie	14.14 m ²

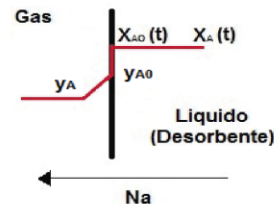
$$\frac{V_A}{\phi \sqrt{4D_{AB}t}} = S$$

CONDICIONES INICIALES DESORCIÓN

Total de agua absorbida	4800 cm ³
Total de glicerol	7073.22 cm ³
Moles totales agua	266.13
Moles totales glicerol	96.87
Concentración de agua al final de la etapa de absorción (p/p)	0.35
Concentración de agua al final de la etapa de	0.73

Lebrija - condiciones	6pm	12am
Temperatura (°C)	25.4	19.47
Presión (mm Hg)	762.29	
Humedad (%)	74.6	93.15
Difusividad (cm ² /h)	6.07E-05	4.08E-05

Condiciones del absorbente	40	°C
----------------------------	----	----



Resultados Glicerol

Humedad aire	74.60%
T aire	25.4 °C

PT	762 mmHg
P _a	18.096 mmHg
P*agua, ambiente	24.258 mmHg
P*agua, absorbente	55.193 mmHg

Constantes de Antoine		
A	B	C
8.07131	1730.63	233.426

xa0	0.73
ya0	0.0531
ya	0.0237

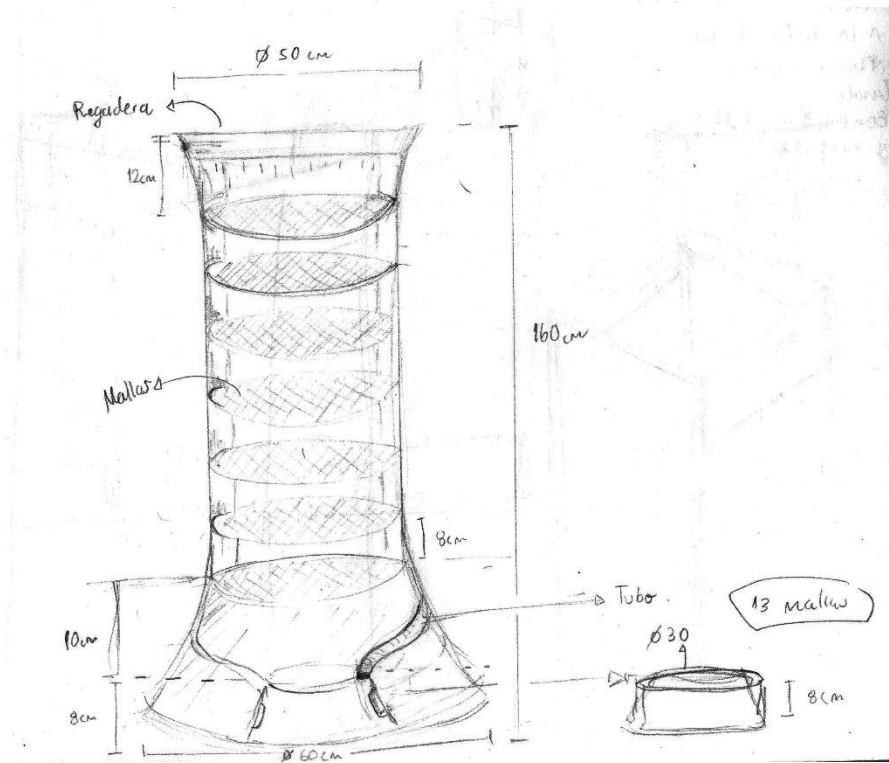
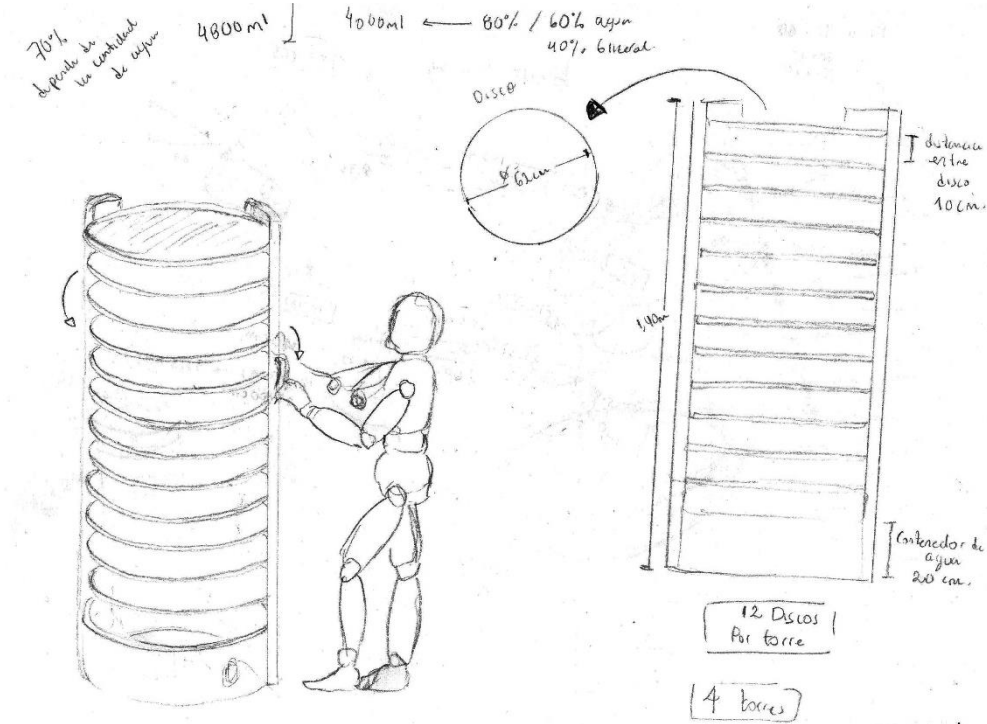
phi (Xao = 0,76)	0.7
phi (Xao = 0,20)	0.31

Cálculo de la superficie a partir de un volumen de agua a desorber después de un tiempo t

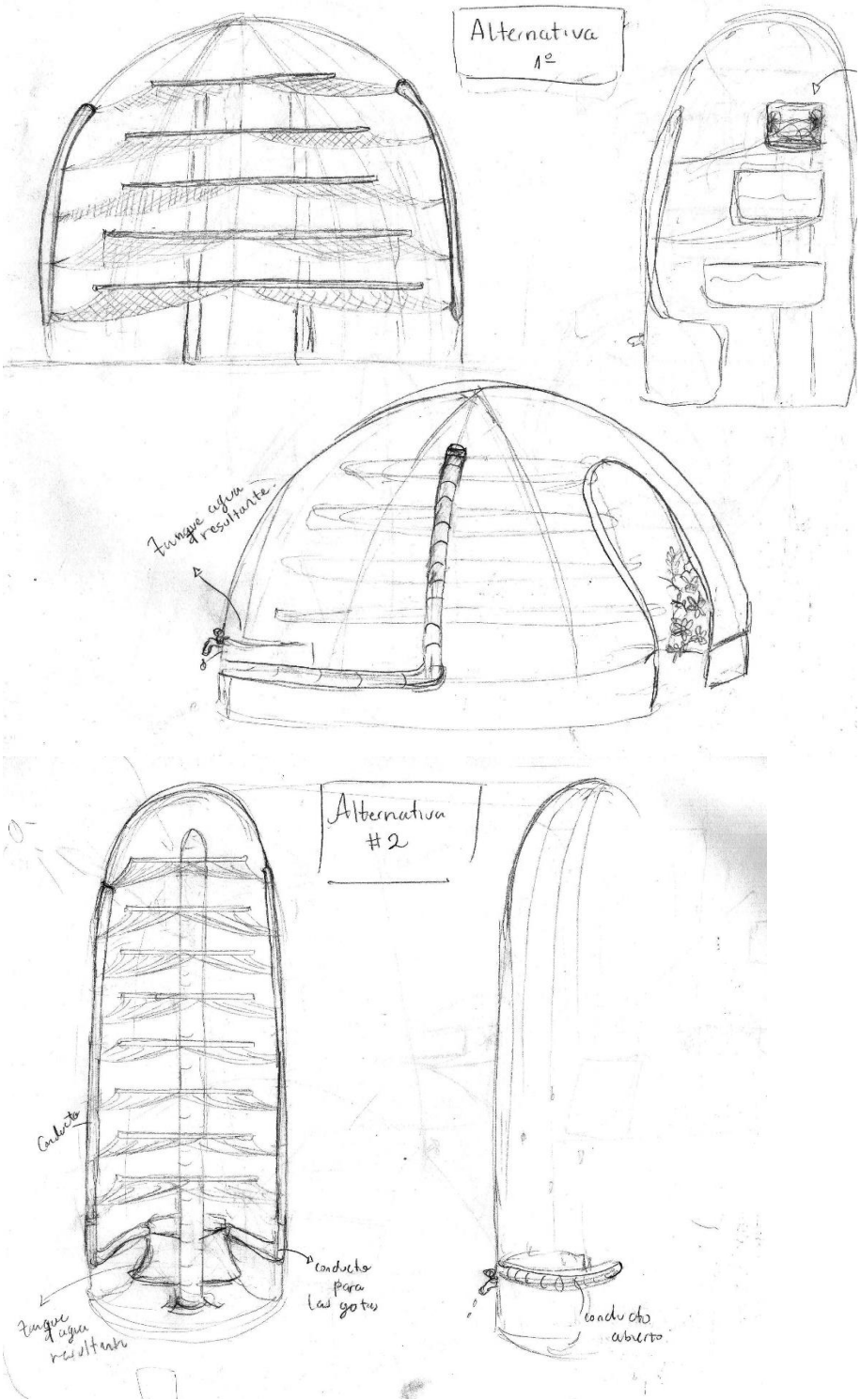
Tiempo de desorción	12 horas
Volumen a recuperar	4000 cm ³
S _{min} , superficie	10.58 m ²
S _{max} , superficie	23.90 m ²

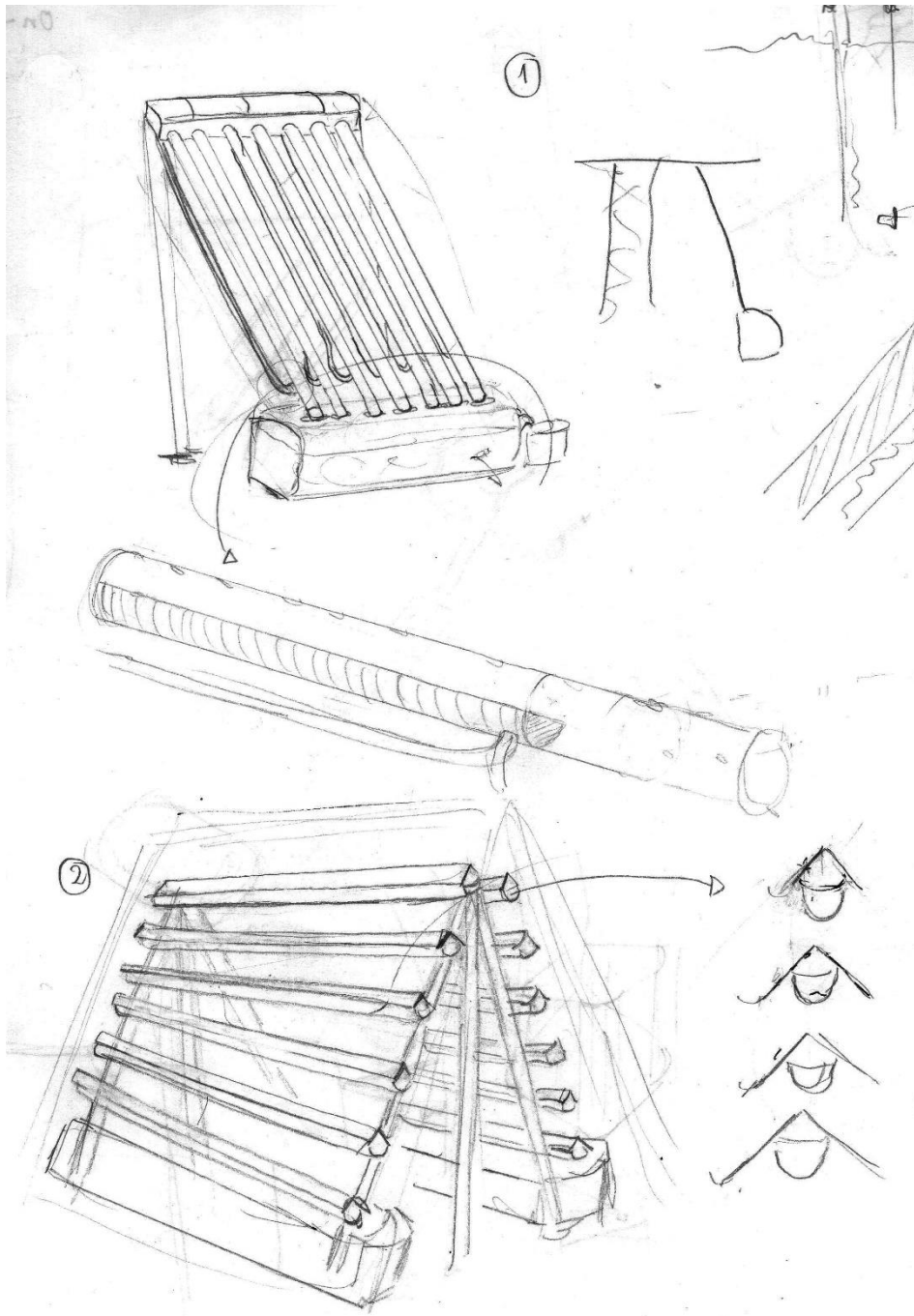
$$\frac{V_A}{\phi \sqrt{4D_{AB}t}} = S$$

ANEXO C. Alternativas fase 1 – Absorción

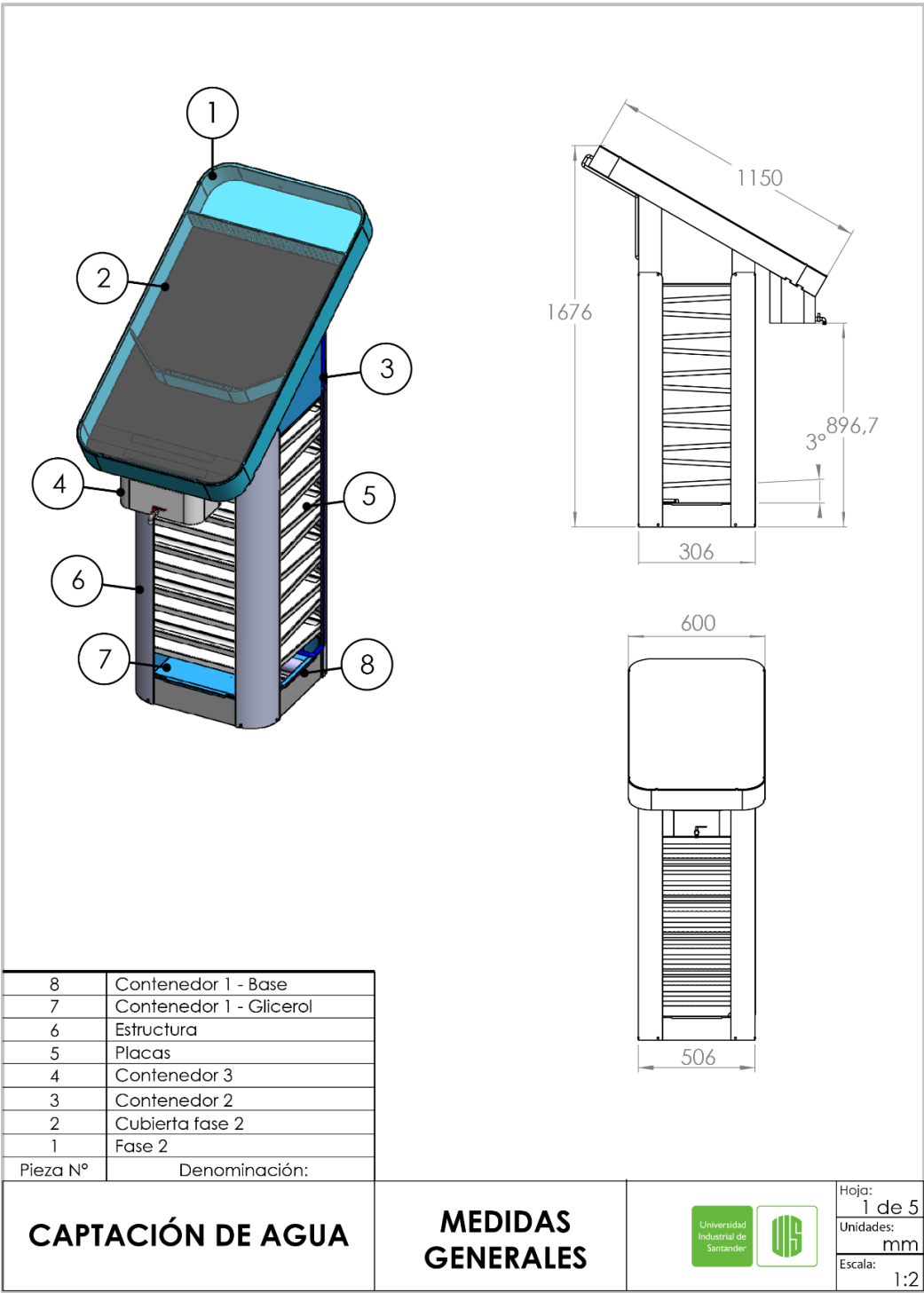


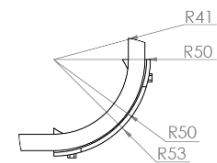
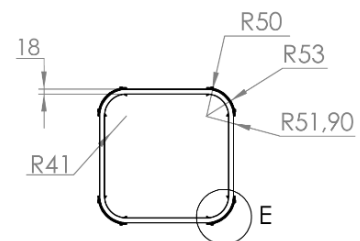
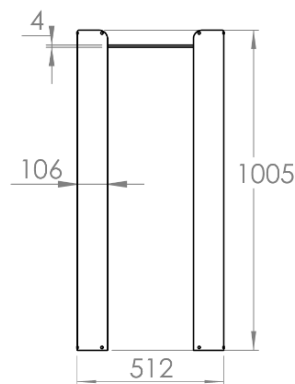
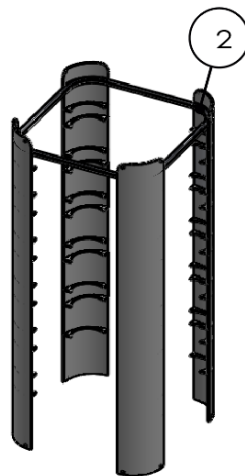
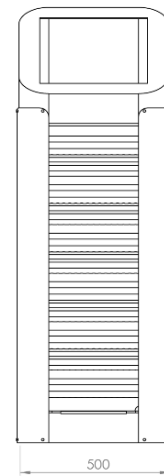
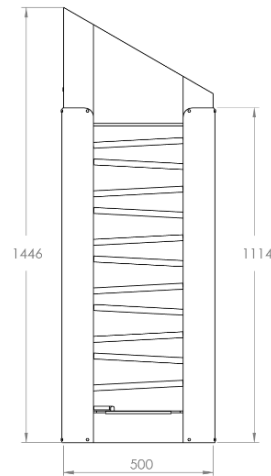
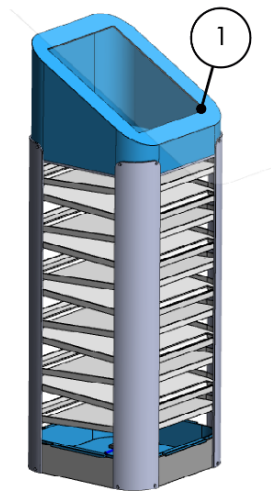
ANEXO D. Alternativas fase 2





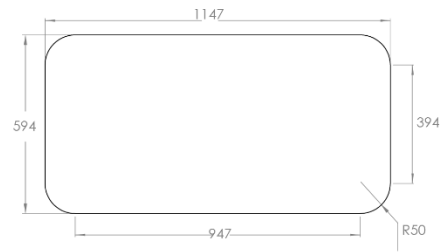
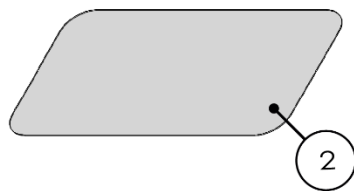
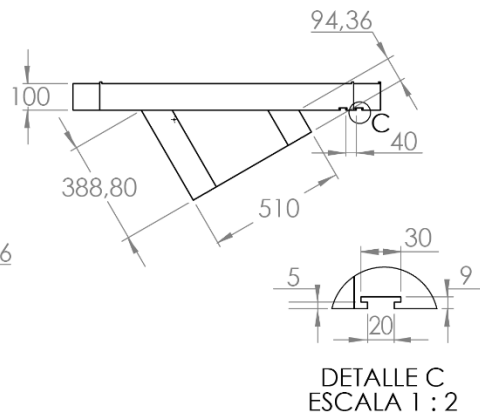
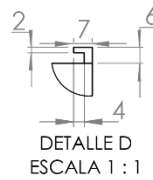
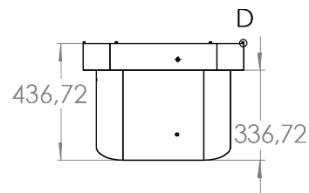
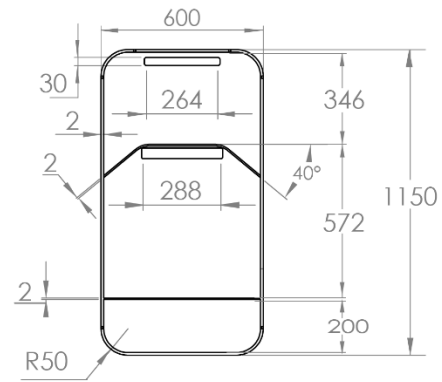
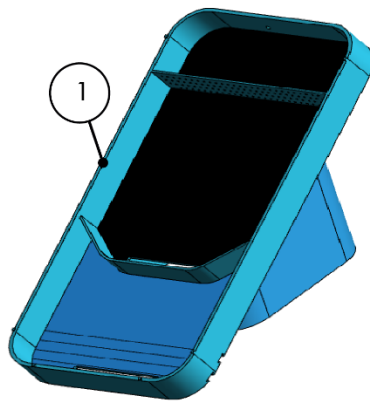
ANEXO E. Planos



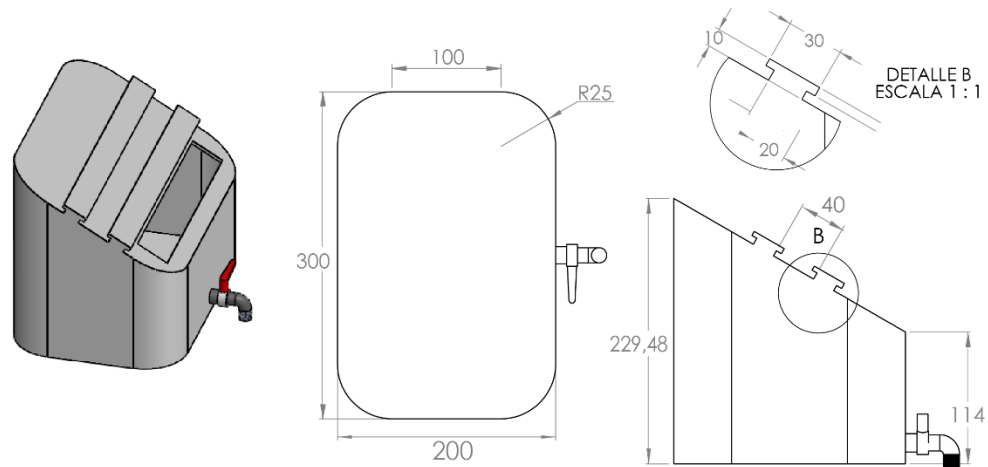
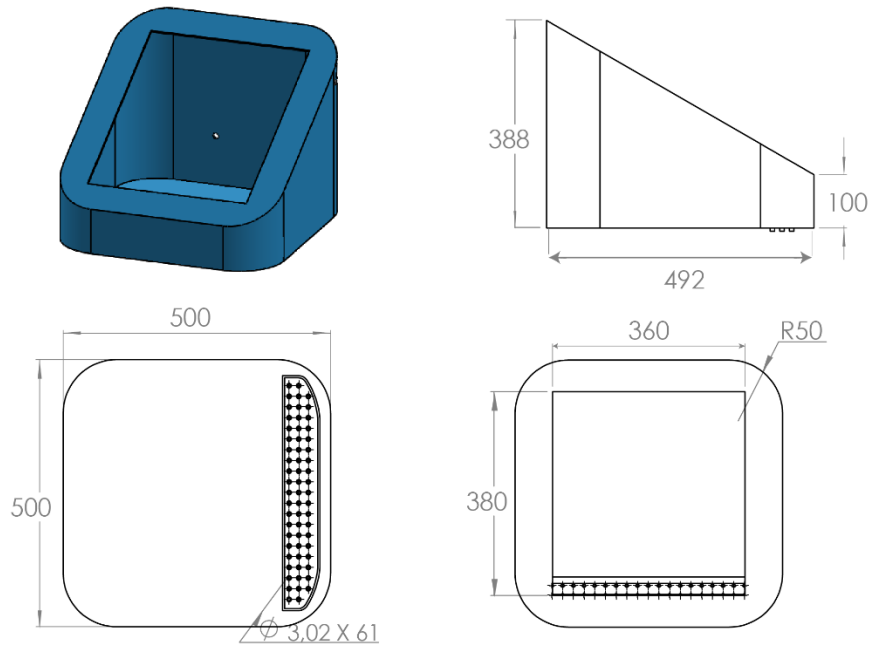


DETALLE E
ESCALA 1 : 3

2	Estructura	1	ALUM	4 mm	
1	Medidas generales - Fase 1				
Parte	Denominación:	Cantidad:	Material:	Calibre:	Observaciones:
CAPTACIÓN DE AGUA		FASE 1		 	Hoja: 2 de 5
					Unidades: mm
					Escala: 1:2



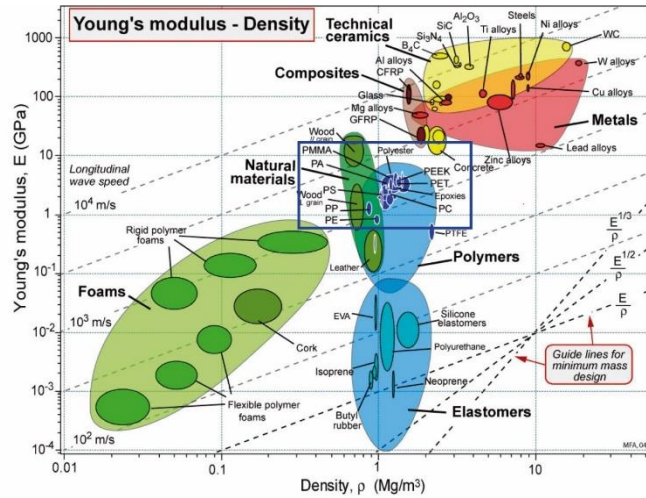
2	Cubierta fase 2	1	Vidrio	2 mm	
1	Fase 2	1	PP	2 mm	
Pieza N°	Denominación:	Cantidad:	Material:	Calibre:	Observaciones:
CAPTACIÓN DE AGUA		FASE 2		Universidad Industrial de Santander UIS Hoja: 4 de 5 Unidades: mm Escala: 1:2	



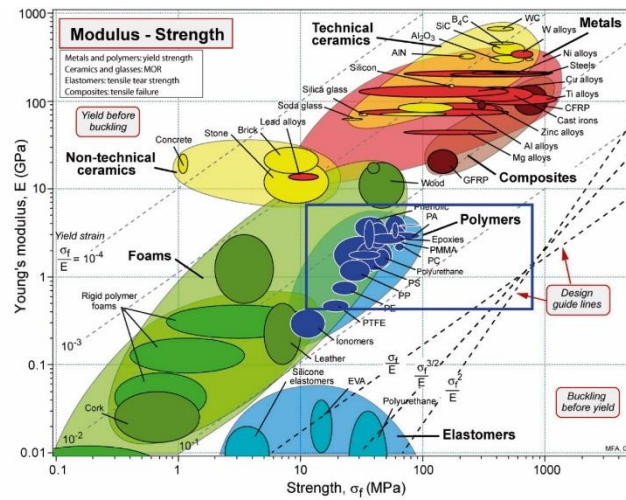
2	Cubierta fase 2	1	Vidrio	2 mm	
1	Fase 2	1	PP	2 mm	
Pieza N°	Denominación:	Cantidad:	Material:	Calibre:	Observaciones:
CAPTACIÓN DE AGUA		CONTENEDORES		 	Hoja: 5 de 5
					Unidades: mm
					Escala: 1:2

ANEXO F. Gráficas para selección del material según metodología de Ashby.

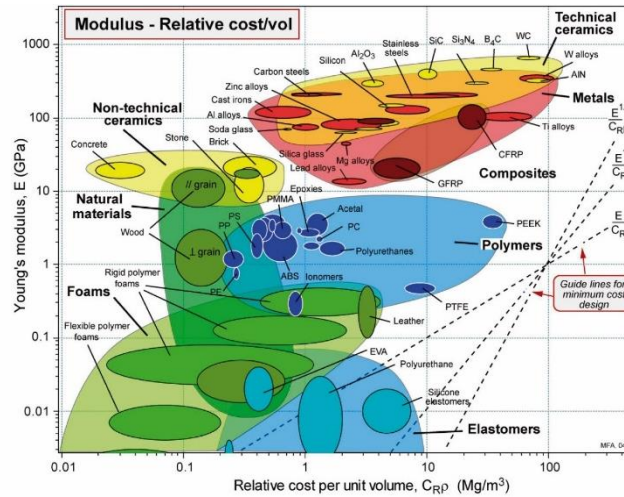
- Módulo de Elasticidad vs Densidad



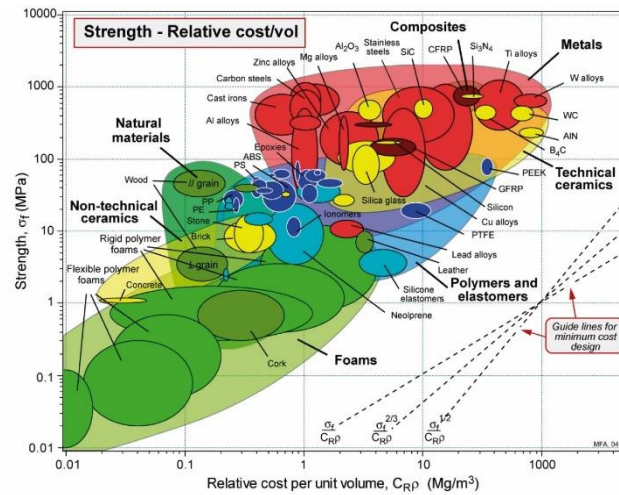
- Módulo de Elasticidad vs Esfuerzo



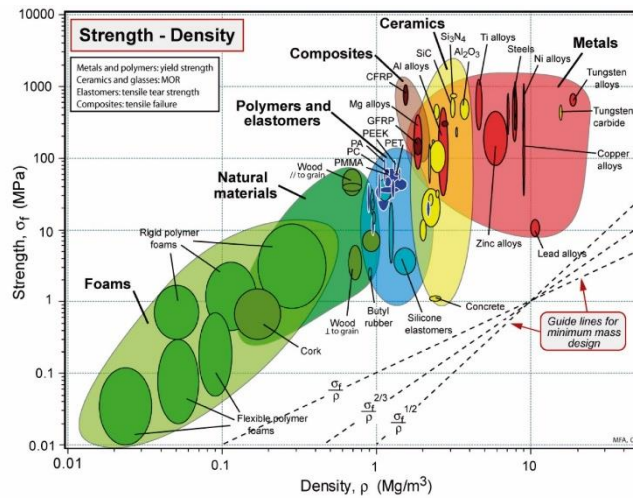
- Módulo de Elasticidad vs Costo por Unidad



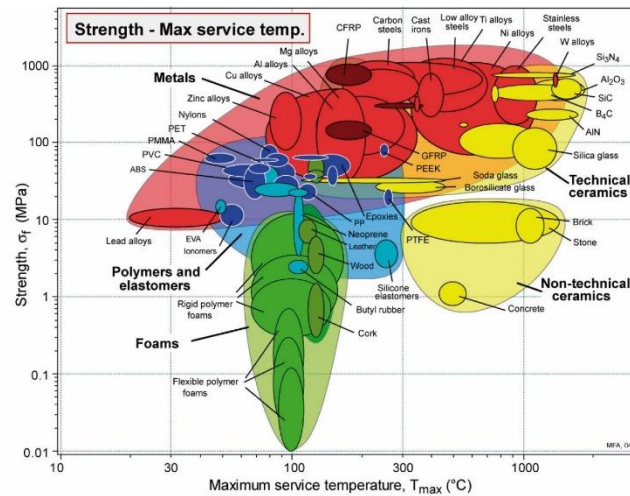
- Esfuerzo vs Costo por Unidad



- Esfuerzo vs Densidad



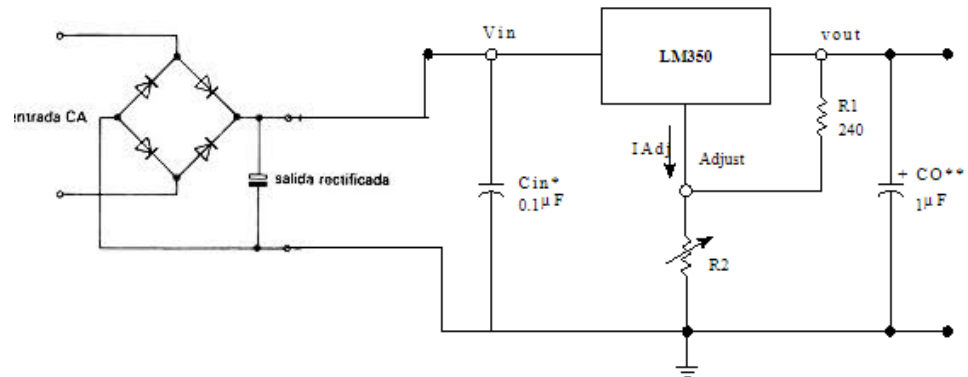
- Esfuerzo vs Máximo Servicio de Temperatura



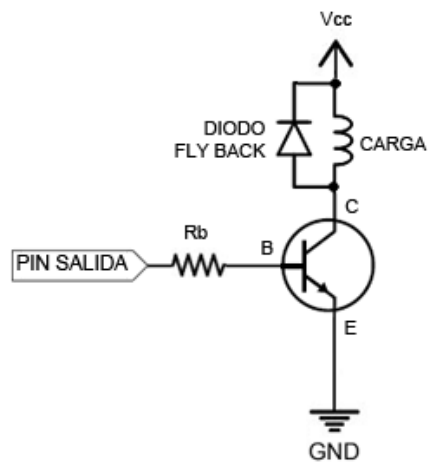
- Tenacidad de la Fractura vs Esfuerzo

ANEXO G. Proceso electrónico

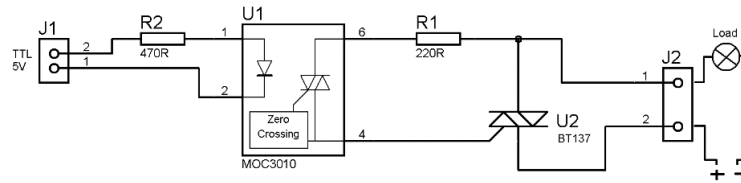
- Circuito de activación del motor



- Circuito de bomba contenedor 1 y contenedor 2



- Mecanismo de cierre contenedor 2



Interface de potencia OptoTriac

- Programación de bombas

```
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"

// Declaramos un RTC DS3231
RTC_DS3231 rtc;

const int OnHour = 13;
const int OnMin = 27;
const int OnHour2 = 21;
const int OnMin2 = 29;
const int Bomb1 = 5;
const int Bomb2 = 7;
unsigned long time1 = 0;
unsigned long time2 = 0;
int i = 1;

void setup () {
  time2 = millis();
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Bomb1, OUTPUT);
  pinMode(Bomb2, OUTPUT);
  delay(3000);

  /
  / Comprobamos si tenemos el RTC conectado
  if (! rtc.begin()) {
    Serial.println("No hay un módulo RTC");
    while (1);
  }
  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
}
```

```
void loop () {
  DateTime now = rtc.now();
  Serial.print(now.hour());
  Serial.print(':');
  Serial.print(now.minute());
  Serial.print(':');
  Serial.print(now.second());
  Serial.println();
  delay(3000);

  Serial.println(time2);

  //if(now.hour() == OnHour && now.minute() == OnMin)
  //{
    time1 = millis();
    while(i == 1)
    {
      Serial.println(time2);
      if (millis() <= 10000 + time1)
      {
        digitalWrite(Bomb2, HIGH);
        Serial.println("hola");
      }
      else if (millis() > 10000 + time1 && millis() <= 40000 + time1)
      {
        digitalWrite(Bomb2, LOW);
        Serial.println("adios");
      }
      else
      {
        time1 = millis();
      }
    }
  }
}
```

ANEXO H. SELECCIÓN IDENTIDAD CORPORATIVA

Selección de Identidad Visual

El siguiente cuestionario se realizó con el fin de seleccionar la identidad visual del proyecto de grado titulado "Sistema de suministro de agua potable para el consumo humano en hogares".

1. Para crear el nombre del producto, se tuvo en cuenta las palabras características del sistema, Agua /evaporación / potable. De acuerdo a esto, ¿Qué nombre considera idóneo para el sistema?

Marca solo un óvalo.

- ☐ EvaportaT
☐ Acuate
☐ Acuapot

2. De las siguientes opciones para logotipo de marca, ¿Cuál le parece la más adecuada?



Marca solo un óvalo.

- ☐ Alternativa #1
☐ Alternativa #2

ANEXO I. VALIDACIÓN DEL SISTEMA

Para este proyecto se trabajó con un fluido de “superficie libre”, por este motivo se deben tener en cuenta el número de Reynolds (Re) y el número de Froude (Fr).

El *número de Reynolds* (Re) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido

$$Re = \frac{\rho}{\mu} \cdot V \cdot L$$

El *número de Froude* (Fr) es un número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido.

$$Fr = \frac{V^2}{\rho L}$$

Teniendo en cuenta que priman las fuerzas de gravedad, el análisis de escalamiento se realiza inicialmente con el número de Froude (Fr)

$$(Fr)_R = (Fr)_M$$

donde *R* es el diseño real y *M* el modelo

$$\left(\frac{V^2}{gL} \right)_R = \left(\frac{V^2}{gL} \right)_M$$

$$g_R = g_M$$

$$V^2_R = \left(\frac{L_R}{L_M}\right) \cdot V^2_R$$

$$\frac{L_R}{L_P} = \text{Factor de Escala}$$

$$\frac{V_R}{V_M} = \sqrt{FE}$$

$$V_M = \frac{V_R}{\sqrt{FE}}$$

Finalmente, se analiza el número de Reynolds (Re), donde se tiene en cuenta la viscosidad que en este caso, no puede variar.

$$(Re)_R = (Re)_M$$

$$\left(\frac{\rho}{\mu} VL\right)_R = \left(\frac{\rho}{\mu} VL\right)_M$$

$$\frac{\left(\frac{\rho}{\mu}\right)_R}{\left(\frac{\rho}{\mu}\right)_M} = \left(\frac{V_M}{V_R}\right) \left(\frac{L_M}{L_R}\right)$$

$$\frac{\left(\frac{\rho}{\mu}\right)_R}{\left(\frac{\rho}{\mu}\right)_M} = \frac{1}{\sqrt{FE}} \cdot \frac{1}{FE}$$

$$\left(\frac{\rho}{\mu_M}\right) = \left(\frac{\rho}{\mu_R}\right) \cdot \sqrt{FE} \cdot FE$$

$$\left(\frac{\rho}{\mu_M}\right) = \left(\frac{\rho}{\mu_R}\right) \cdot (RE)^{3/2}$$