

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR
USANDO REFRIGERACIÓN POR EVAPORACIÓN

CARLOS DANIEL GUERRERO SALAZAR

WILLIAM LARROTA OLIVAR

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE FISICOMECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2022

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR
USANDO REFRIGERACIÓN POR EVAPORACIÓN

CARLOS DANIEL GUERRERO SALAZAR

WILLIAM LARROTA OLIVAR

Trabajo de grado para optar título de ingeniero mecánico

Director:

Julián Ernesto Jaramillo Ibarra

Dr. En ingeniería térmica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE FISICOMECAÑICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2022

DEDICATORIA

*A nuestras familias, patrocinadores oficiales de este sueño, que con su motivación
hicieron que se materializara.*

Carlos y William.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por darme la vida y la motivación de perseguir mis sueños; a mis padres que con mucho sacrificio y consejos hicieron que este sueño se materializara.

Gracias a mi familia, en especial a mis tíos José, Denis y Sofía porque me acogieron como un hijo y me apoyan desinteresadamente.

A los que no están, mi abuela Silvia que con gran amor me decía: “estudie papito que lo único que no le pueden quitar son sus conocimientos”, a Juan que en poco tiempo me demostró el significado de la lealtad y terminó convirtiéndose en un hermano, a ellos los recuerdo siempre con mucho cariño.

Agradezco a mis amigos, en especial a Paula, mujer de grandes valores y que admiro, su incondicionalidad ha sido soporte anímico en momentos difíciles y sus sabios consejos me han ayudado a crecer como persona.

Gracias al profesor Julián Jaramillo por su orientación en este proyecto y en general al grupo humano de la escuela de ingeniería mecánica, forjadora de carácter y conocimiento.

Carlos

Primeramente, dar gracias a Dios por permitirnos terminar este proyecto y guiarnos durante todo el camino universitario, por ser ese soporte en momentos donde lo necesitábamos.

Gracias a mi familia, en especial a mi padre que fue esa figura de admiración hacia la responsabilidad y disciplina que se requiere para cosechar buenos frutos. A mi madre que, aunque no esté presente en estos momentos, me enseñó a nunca rendirme a pesar de las adversidades de la vida y ha sido mi soporte durante mucho tiempo.

A todos mis compañeros universitarios que estuvieron en los buenos y malos momentos de mi carrera y que ayudaron a forjar a este futuro ingeniero.

Al profesor Julián Jaramillo por ser el director de este proyecto y ser la guía del mismo; a todo el plantel de ingeniería mecánica, profesores, secretarias, auxiliares, estudiantes y demás, porque sin ellos no hubiera sido posible este sueño.

William

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	23
1.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2. MARCO TEORICO	24
2.1 ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO	24
2.2 MÉTODOS DE REFRIGERACIÓN EVAPORATIVA	24
2.2.1 Enfriamiento evaporativo directo	25
2.2.2 Enfriamiento evaporativo indirecto	26
2.3 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR EVAPORACIÓN SIMPLES	27
2.4 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR EVAPORACIÓN COMPLEJOS	29
2.5 VENTAJAS DEL ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO	31
2.6 CARTA PSICOMETRICA.....	32
2.7 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	33
3. DISEÑO CONCEPTUAL	36
3.1 FORMA ESTRUCTURAL.....	38
3.2 TIPO DE RELLENO	42
3.3 MATERIALES	43
3.4 DESPLIEGUE FUNCIÓN CALIDAD	44
3.5 REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO.....	45
3.6 MATRIZ QFD	46
3.7 SELECCIÓN DE ASPECTOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	50
4. SIMULACIÓN NÚMÉRICA DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO EN UN REFRIGERADOR EVAPORATIVO	56

4.1 METODOLOGIA DE LA SIMULACIÓN	56
4.1.1 Software de simulación	56
4.1.1 Selección de los parámetros a evaluar.	57
4.1.2 Determinación de los valores de las variables del proceso.....	57
4.2 MODELO DE SIMULACIÓN	57
4.2.1 Definición geométrica del modelo de simulación	59
4.2.2 Enmallado de la simulación	59
4.2.3 Selección de modelos físicos presentes en el proceso de refrigeración	60
4.2.3 Definición de las fronteras del modelo	63
4.2.4 Implementación de las variables y materiales del proceso.	63
4.2.5 Resultados del proceso de simulación.....	64
5. DISEÑO EN DETALLE Y CONSTRUCCIÓN	67
6. METODOLOGIA.....	72
6.1 PRUEBAS OPERACIONALES	72
6.2 PRUEBAS FUNCIONALES.....	74
6.2.1 Pruebas funcionales cuantitativas.....	77
6.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	78
6.4 DISTRIBUCIÓN DE SENSORES.....	83
7. RESULTADOS	85
7.1 RESULTADOS PRUEBAS OPERACIONALES	86
7.2 RESULTADOS PRUEBA FUNCIONAL CUALITATIVA.....	90
7.3 RESULTADOS PRUEBA FUNCIONAL CUANTITATIVA.....	95
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	97
8.1 ANALISIS PRUEBAS OPERACIONALES	97
8.2 ANALISIS PRUEBA FUNCIONAL CUALITATIVA.....	102
8.3 ANALISIS PRUEBA FUNCIONAL CUANTITATIVA	103

9. CONCLUSIONES	105
10. RECOMENDACIONES.....	106

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Duración de productos con y sin <i>zeer</i>	19
Tabla 2. Compresión de vapor vs Refrigeración Evaporativa.....	32
Tabla 3. Matriz QFD para requerimientos funcionales y de la comunidad.....	48
Tabla 4. Importancia entre requerimientos funcionales de la comunidad.....	49
Tabla 5. Criterios para la selección de aspectos.....	50
Tabla 6. Selección forma estructural.....	51
Tabla 7. Selección de tipo de relleno.....	51
Tabla 8. Selección de material.....	52
Tabla 9. Ponderación forma estructural.....	53
Tabla 10. Ponderación tipo de relleno.....	53
Tabla 11. Ponderación material.....	54
Tabla 12. Propiedades termo-físicas.....	64
Tabla 13. Temperatura alimentos.....	95
Tabla 14. Efectividad del prototipo según el diagrama de frecuencias.....	100
Tabla 15. Pérdida de agua.....	101
Tabla 16. Duración de los alimentos con y sin uso del prototipo.....	102
Tabla 17. Evaluación de productos sometidos al prototipo.....	102
Tabla 18. Evaluación de productos sometidos al medio circundante.....	103
Tabla 19. Resultados obtenidos de la transferencia de calor.....	104

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cobertura de energía eléctrica en la Guajira.	19
Figura 2. Horas de sol al día y humedad relativa de Nigeria.	20
Figura 3. Horas de sol al día y humedad relativa de La Guajira.	21
Figura 4. Comportamiento de temperatura agua-aire.	25
Figura 5. Enfriador evaporativo directo.	26
Figura 6. Enfriador evaporativo indirecto.	27
Figura 7. Sistema de refrigeración por evaporación natural.	28
Figura 8. Cámara de enfriamiento evaporativo natural.	29
Figura 9. Sistema de enfriamiento evaporativo.	29
Figura 10. Representación de un sistema de evaporación complejo.	30
Figura 11. Proceso de enfriamiento directo e indirecto del aire	33
Figura 12. Transferencia por conducción.	35
Figura 13. Transferencia por convección.	36
Figura 14. Botijo.	37
Figura 15. Forma esférica.	39
Figura 16. Forma estructural con aletas añadidas.	39
Figura 17. Forma estructural cilíndrica perforada.	40
Figura 18. Forma estructural prismática.	41
Figura 19. Transferencia por convección de superficies cilíndricas y prismáticas.	41
Figura 20. Modelo virtual del prototipo.	54
Figura 21. Pasos de simulación.	58
Figura 22. Design Space.	59
Figura 23. Mallado en Ansys.	60
Figura 24. Fenómenos de transferencia de calor.	61
Figura 25. Conductividad térmica arena.	62
Figura 26. Fenómenos de transferencia de calor en la simulación.	63
Figura 27. Contornos de temperatura.	64
Figura 28. Contorno de error térmico en la simulación.	65
Figura 29. Gráfica de temperatura de la recámara vs tiempo de simulación.	66
Figura 30. Prototipo de nevera solar CAD.	67
Figura 31. Recámara central.	68
Figura 32. Cilindro exterior 2.	68
Figura 33. Cilindro exterior 1.	69
Figura 34. Malla exterior.	70
Figura 35. Tapa recámara central.	70
Figura 36. Ensamble final tapa.	71
Figura 37. Ensamble final.	71

Figura 38. Montaje de primera prueba.....	73
Figura 39. Tomate chonto.....	76
Figura 40. Pera verde.....	76
Figura 41. Manzana verde.....	77
Figura 42. Termopar y módulo Max 6675.....	79
Figura 43. Esquema de conexión.....	80
Figura 44. Sensor HL-69.....	80
Figura 45. Higrómetro KTJ.....	82
Figura 46. Anemómetro UNI-T UT363.....	82
Figura 47. Distribución sensores de humedad.....	83
Figura 48. Distribución sensores vista lateral.....	84
Figura 49. Distribución sensores vista superior.....	84
Figura 50. Esquema general circuito Arduino para 12 sensores de humedad.....	85
Figura 51. Gráfica comportamiento carcasa 1 con reposición.....	86
Figura 52. Comportamiento con carcasa de menor área sin reposición.....	87
Figura 53. Comportamiento con carcasa de mayor área y reposición de agua.....	88
Figura 54. Comportamiento carcasa de mayor área sin reposición de agua.....	89
Figura 55. Manzana verde.....	90
Figura 56. Tomate chonto.....	91
Figura 57. Pera.....	91
Figura 58. Día 5, 7 y 9 tomate chonto.....	92
Figura 59. Día 11, 13 y 15 tomate chonto.....	92
Figura 60. Día 16, 18 y 19 tomate chonto.....	92
Figura 61. Día 5, 7 y 9 pera.....	93
Figura 62. Día 11, 13 y 15 pera.....	93
Figura 63. Día 16, 18 y 19 pera.....	93
Figura 64. Día 5, 7 y 9 manzana.....	94
Figura 65. Día 11, 13 y 15 manzana.....	94
Figura 66. Día 16, 18 y 19 manzana.....	94
Figura 67. Gráfica de la temperatura de la manzana en la noche.....	96
Figura 68. Histograma carcasa de orificios grandes y reposición de agua.....	98
Figura 69. Histograma carcasa de menor área sin reposición de agua.....	98
Figura 70. Histograma carcasa de mayor área y reposición de agua.....	99
Figura 71. Histograma carcasa de mayor área sin reposición.....	99

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A Código de medición

ANEXO B Ficha técnica higrómetro

ANEXO C Ficha técnica termocupla

ANEXO D Ficha técnica anemómetro

ANEXO E Planos del prototipo de la nevera solar

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR USANDO REFRIGERACIÓN POR EVAPORACIÓN¹

AUTOR: CARLOS DANIEL GUERRERO SALAZAR, WILLIAM LARROTA OLIVAR²

PALABRAS CLAVES: SOSTENIBILIDAD, REFRIGERACIÓN DE ALIMENTOS, ENERGÍA RENOVABLE

DESCRIPCIÓN:

La refrigeración de alimentos ha sido una práctica indispensable para la sostenibilidad del ser humano. Según el plan Conpes (Consejo nacional de política económica y social república de Colombia) para el año 2030 el 78% de la población de La Guajira, tendrá acceso a red eléctrica, dejando casi una cuarta parte de familias sin este beneficio, por otro lado, este acceso a red eléctrica significa el primer paso para la conservación de alimentos con la respectiva normativa. En búsqueda de diseñar un prototipo que cumpla los requerimientos para la refrigeración de alimentos de poblaciones vulnerables en la región caribe del país, los autores proponen un dispositivo capaz de preservar alimentos sin el uso de una red eléctrica y sin costos energéticos significantes. El diseño se elaboró analizando la transferencia de calor, los requerimientos de la comunidad, posteriormente se realizaron pruebas operacionales en busca de corroborar que una mayor área de relleno (Arena) expuesta al medio ambiente representa una mejor refrigeración

¹ Trabajo de grado

² Facultad de fisicomecánica. Escuela de ingeniería mecánica. Director: Julián Ernesto Jaramillo Ibarra Dr. Ingeniería térmica

gracias a la tasa de evaporación del agua presente en el volumen de relleno; siendo analizados estos datos por medio del análisis estadístico de frecuencia acumulada. Los resultados de las pruebas funcionales concluyen el objetivo general del proyecto debido a que exponen las diferencias cualitativas de alimentos expuestos al entorno de la recámara central del prototipo y al medioambiente. Este proyecto tiene un impacto social y económico ya que mejora la preservación de alimentos para poblaciones con ausencia de energía eléctrica.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SOLAR FRIDGE PROTOTYPE USING EVAPORATION COOLING³

AUTHOR: CARLOS DANIEL GUERRERO SALAZAR, WILLIAM LARROTA OLIVAR⁴

KEYS WORDS: SUSTAINABILITY, FOOD REFRIGERATION, RENEWABLE ENERGY

DESCRIPTION: Food refrigeration has been an essential factor for the evolution and sustainability of the humanity. According to the Conpes plan (National Council of Economic and Social Policy Republic of Colombia) by the year 2030, 78% of the population of La Guajira Colombia will have access to the electricity grid, assuming that this goal is reached, the 22% of population will not have this benefit and in the same way this access to the electrical network means the first step for the conservation of food with the respective regulations. In search of designing a prototype that fill the requirements for the sustainability of vulnerable populations in the Caribbean region of the country, the authors propose a device able to preserving food without the use of an electrical energy and without high costs of manufacture. The design was developed by analyzing the heat transfer, the community's requirements and subsequently carrying out the respective operational tests in order to corroborate that a larger sand packing exposed to the environment represents

³ Degree work

⁴ Faculty of mechanical physicist. School of mechanical engineering. Director. Julián Ernesto Jaramillo Ibarra thermal engineer

better cooling due to the rate of evaporation of the water present in the volume; these data was analyzed by means of the statistical analysis of accumulated frequency. The results of the functional tests conclude the general objective of the project because it exposes the qualitative differences of foods exposed to the environment of the central chamber of the prototype and to the environment. This project has a social and economic impact as it improves the preservation of food for populations with no electricity.

INTRODUCCIÓN

La refrigeración es una actividad que se desarrolla desde siglos atrás y busca principalmente prolongar el tiempo en que se descomponen los alimentos. Particularmente, según un informe realizado por Jenny Gustavsson para el congreso internacional Save Food “Las causas de las pérdidas y el desperdicio de alimentos en los países de ingresos bajos están principalmente relacionadas con las limitaciones económicas, técnicas y de gestión de las técnicas de aprovechamiento, las instalaciones para el almacenamiento y la refrigeración en condiciones climáticas difíciles...”⁵.

El presente proyecto plantea una alternativa para la preservación de alimentos mediante la técnica *pot in pot*. Esta funciona bajo los principios de enfriamiento evaporativo, aprovechando condiciones medioambientales como la humedad, temperatura, velocidad del viento, entre otras; haciendo prescindible el uso de la energía eléctrica para su funcionamiento. Aunque esta técnica de refrigeración no presenta la mejor eficiencia térmica, estudios demuestran que este sistema puede extender la vida útil de ciertos alimentos de la canasta familiar.

En este documento se plasma el diseño conceptual ejecutado, donde mediante una matriz de selección (QFD) se eligen los materiales, forma estructural del prototipo, entre otros parámetros. Posteriormente se determinan los fenómenos físicos que gobiernan este sistema, con el objetivo de estipular los parámetros y condiciones iniciales de una simulación en el software ANSYS. Los resultados de dicha simulación certificarán las dimensiones del dispositivo para someterlo posteriormente a construcción.

⁵ GUSTAVSSON, Jenny. Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Save food 2011, p. V.

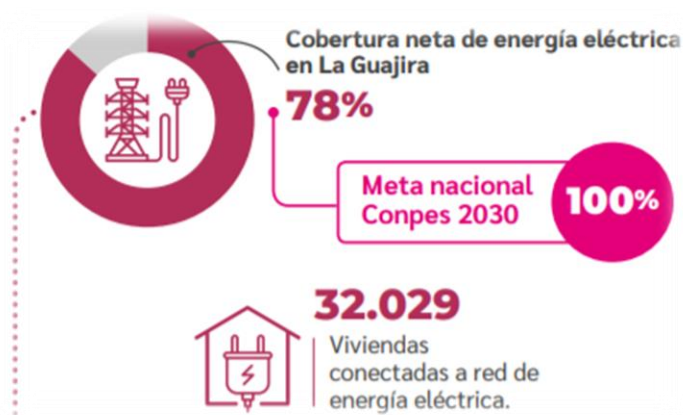
Finalmente, se adjunta la realización de pruebas experimentales del prototipo y el análisis de estas, en términos de efectividad y eficiencia, para terminar con las conclusiones, mostrando los alcances y viabilidad del proyecto.

En Colombia existen poblaciones vulnerables que no tienen acceso a energía eléctrica en sus regiones y esto produce que no sólo vivan en condiciones precarias sino con pocas posibilidades de desarrollo. La Guajira es un claro ejemplo de este tipo de población. En el año 2018 se aprobó el plan Conpes (Consejo nacional de política económica y social república de Colombia) con una meta para el año 2030, que se basa en que el 78% de la población de la Guajira tenga acceso a una red eléctrica tal y como puede verse en la figura 1. La refrigeración de alimentos es uno de los aspectos más importantes para el desarrollo sostenible de una población ya que da la posibilidad de aumentar el tiempo en el que se puede disponer de las cosechas y/o medicamentos, ya sea para el comercio o el beneficio propio.

Hace miles de años los egipcios usaban un sistema de refrigeración por evaporación mediante el uso de un botijo, que es una vasija de barro grande dentro de la cual se dispone una más pequeña; el espacio que las separa se encuentra lleno de arena que es humidificada con agua, cosa que produce que en el interior de la vasija pequeña se tenga una disminución de temperatura debido a la evaporación del agua que se encuentra en la arena. Estudios explican el funcionamiento de este sistema mediante análisis físicos y de transferencia de calor y masa⁶, tomando como suposición que el botijo es de forma esférica.

⁶ ZUBIZARRETA, J. Ignacio y PINTO, Gabriel. An ancient method for cooling water explained by mass and heat transfer. Universidad Politécnica de Madrid, 1995.

Figura 1. Cobertura de energía eléctrica en la Guajira.



Fuente: Unidad de planeación minero-energética. Informe de gestión 2018.

El botijo o *zeer* es utilizado popularmente en África y en la India. Estudios del departamento de Ingeniería Mecánica de Nigeria⁷ analizan cuánto tiempo pueden durar ciertos productos nativos de Nigeria, sin usar el *zeer* y usando el *zeer* para establecer el beneficio que tiene este sistema de refrigeración. Los resultados se pueden ver en la tabla 1.

Tabla 1. Duración de productos con y sin *zeer*.

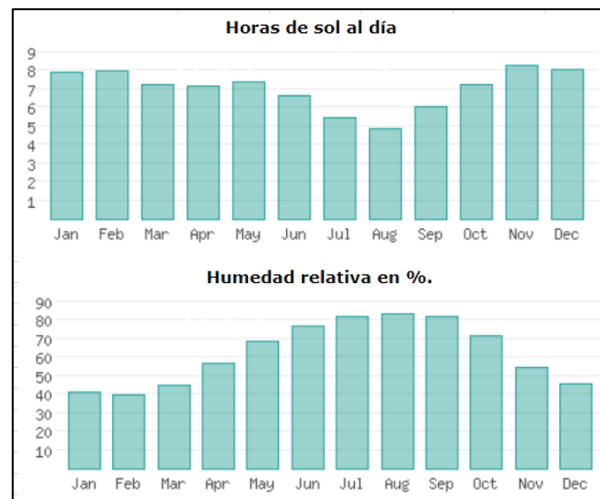
Producto	Duración del producto sin usar <i>zeer</i>	Duración del producto usando <i>zeer</i>
Tomates	2 días	20 días
Guayabas	2 días	20 días
Quimbombo	1 día	5 días
Rúcula	4 días	17 días
Zanahoria	4 días	20 días

Fuente: A Review of Porous Evaporative Cooling for the Preservation of Fruits and Vegetables, 2009.

⁷ ODESOLA, Isaac F y ONWUKA Onyebuchi, B.Sc. A review of porous evaporative cooling for the preservation of fruits and vegetables, 2009.

Para aprovechar al máximo este sistema de refrigeración se requiere un medio ambiente seco; países como Nigeria son el foco de este tipo de sistema de refrigeración ya que tiene las horas de sol/día necesarias al igual que la temperatura, sin dejar por fuera la humedad relativa ya que será de gran importancia para aumentar o disminuir la capacidad de refrigeración del sistema. En la figura 2 se pueden apreciar algunos de estos datos.

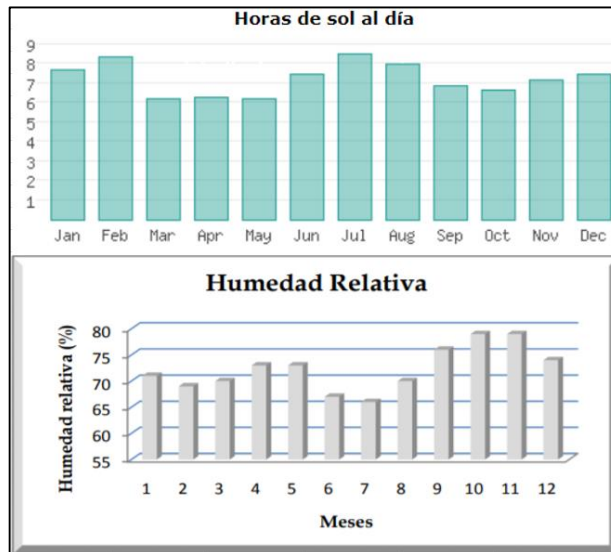
Figura 2. Horas de sol al día y humedad relativa de Nigeria.



Fuente: Datosmundial.com

Haciendo un paralelo con Nigeria, país donde se han hecho estudios y proyectos con botijos para la refrigeración de alimentos, se puede ver que La Guajira tiene condiciones climáticas similares o mejores para la evaporación, necesaria en este proyecto, como lo muestra la figura 3.

Figura 3. Horas de sol al día y humedad relativa de La Guajira.



Fuente: Datosmundial.com, Climatología Riohacha.

Una cifra importante de medicinas y alimentos de la canasta familiar requieren de bajas temperaturas para su conservación, debido a que altas temperaturas generarán una degradación rápida de estos. Atendiendo a esta problemática se hace el implemento de sistemas de refrigeración que generalmente son costosos e inviables para personas de bajos recursos.

La ingesta de productos en mal estado, a pesar de que rara vez puede llegar a ser mortal, puede llegar a generar grave intoxicación alimentaria. Es por esto por lo que resulta de especial interés conocer el comportamiento de alimentos de la canasta familiar y medicinas a diferentes condiciones ambientales, además de la evolución y funcionamiento de los dispositivos que favorecen a la conservación de los anteriormente mencionados.

En este orden de ideas, se pretende realizar el diseño y construcción de un prototipo sin fuente eléctrica, dirigido a poblaciones en extrema pobreza, que opere en condiciones ambientales donde se dificulte el proceso de conservación de algunos

alimentos y medicinas, respondiendo así a las necesidades económicas y de servicio.

Como estudiantes de ingeniería mecánica y en aras de contribuir al desarrollo social como lo dicta la misión de la universidad, se pretende proporcionar un dispositivo de fácil acceso a poblaciones de escasos recursos, que mitigue la rápida pérdida de insumos y que sea de gran viabilidad y acogida.

Este proyecto puede ser útil para futuras investigaciones sobre el enfriamiento evaporativo y aportes a la sociedad mediante la distribución del prototipo de nevera solar a comunidades que lo requieran.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Responder a las necesidades de la sociedad y contribuir a la misión de la Escuela de Ingeniería Mecánica en cuestiones de desarrollo social, científico y tecnológico enfocado a la población de La Guajira, mediante el diseño y construcción de un prototipo de nevera solar.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las condiciones ambientales donde operará la nevera, específicamente, temperatura, humedad del aire y radiación solar.

- Realizar el diseño térmico del prototipo del sistema de refrigeración que cumpla con las siguientes especificaciones:
 - ✓ Capacidad volumétrica de 5lts.
 - ✓ Aprovechamiento de la radiación solar y humedad relativa del medio ambiente, para el desarrollo del proceso.
 - ✓ No uso de energía eléctrica de red.
 - ✓ Temperaturas de operación dentro del recámara entre 15°C y 20°C.

- Construir el prototipo para validar experimentalmente los cálculos realizados y verificar las temperaturas de operación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

Larry Genskow⁸ menciona que el proceso de enfriamiento evaporativo se encuentra entre los más antiguos de refrigeración. Este involucra el enfriamiento de un volumen de agua que se enfría exponiendo su superficie al aire. Algunos de estos procesos son lentos como el enfriamiento del agua en la superficie de un estanque, mientras que otros son relativamente rápidos como la atomización de agua en el aire.

La transferencia de calor en los procesos de enfriamiento evaporativo involucra una gran parte de flujo de calor latente debido a la vaporización del agua y otra de flujo de calor sensible debido a la diferencia de temperatura del agua y sus alrededores, aproximadamente el 80% es calor latente y 20% calor sensible.

El calor de remoción en un dispositivo regido bajos los principios de enfriamiento evaporativo, depende de la temperatura y el contenido de humedad del aire ambiental.

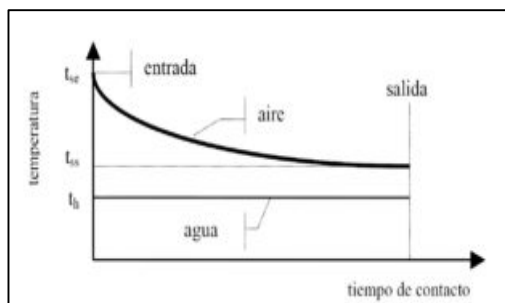
2.2 MÉTODOS DE REFRIGERACIÓN EVAPORATIVA

El apartado anterior ha descrito un concepto muy general de la refrigeración evaporativa y sus ventajas, no obstante, es de gran importancia mencionar que existen dos métodos de refrigeración, donde uno es el resultado de la mejora del otro; estos son: refrigeración evaporativa directa y refrigeración evaporativa indirecta.

⁸ GENSKOW, Larry, *et al.* Psicometría, Enfriamiento evaporativo, Deseccación de sólidos. En: Perry's Chemical Engineers Handbook. 8 ed. McGrawHill, 2008 p. 17

2.2.1 Enfriamiento evaporativo directo. Gert Bom⁹ menciona que esta es la forma de acondicionamiento de aire más simple y antigua. Este sistema normalmente utiliza una corriente de aire que es puesta en contacto directo con un medio humectante poroso. El calor de dicho aire es absorbido por el agua a medida que esta se evapora del medio humectante poroso; de esta forma el aire sale de este proceso a una temperatura más baja. La capacidad de enfriamiento proporcionado está determinada por la eficiencia del medio humectante, las condiciones del aire externo, el diseño general y la construcción de la unidad. Otro aspecto importante en los dispositivos con este tipo de evaporación es el consumo del agua; este puede variar desde unos litros por día en pequeños enfriadores, a cientos de litros o más en sistemas más grandes como, por ejemplo, el sistema de refrigeración de la cocina de un hotel. Según Clissot¹⁰, los refrigeradores con evaporación directa sólo pueden enfriar aire hasta aproximadamente la temperatura de bulbo húmedo del sitio donde se encuentra, limitando fuertemente su capacidad de enfriamiento a esta condición, este proceso se representa en la figura 4.

Figura 4. Comportamiento de temperatura agua-aire.

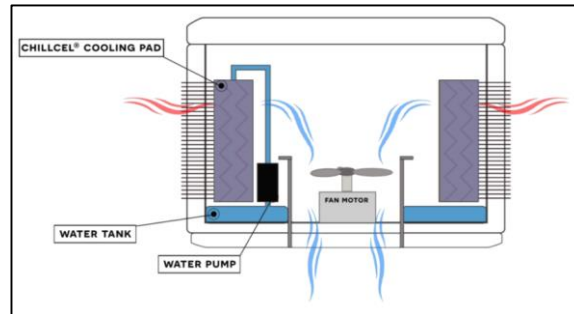


Fuente: <https://n9.cl/d9ci>

⁹ BOM, Gert, et al. Evaporative Air-Conditioning Applications for Environmentally Friendly Cooling. World Bank Technical Paper, 1999 (nro 421). p.3

¹⁰ CLISOST. ¿Cómo funciona el enfriamiento evaporativo directo? [Sitio web]. [Consulta: 4 de diciembre 2020]. Disponible en: <https://clisost.com/como-funciona-el-enfriamiento-evaporativo-directo-eed/>

Figura 5. Enfriador evaporativo directo.



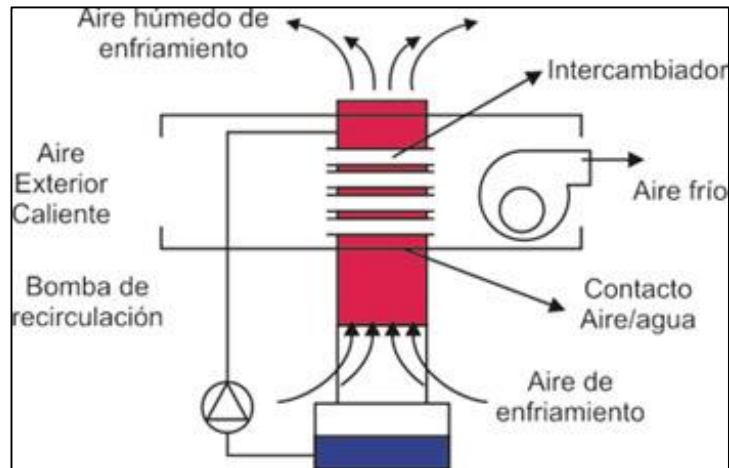
Fuente: <https://n9.cl/d9ci>

2.2.2 Enfriamiento evaporativo indirecto. La ASHRAE¹¹ menciona que este método permite llegar a temperaturas más bajas de la temperatura de bulbo húmedo y se consigue instalando un intercambiador de calor aire-aire al sistema de evaporación directa. El aire a refrigerar pasa en primer lugar por el mencionado intercambiador (proceso indirecto) y posteriormente experimenta evaporación directa.

El aire final que sale de una unidad de enfriamiento indirecta-directa es generalmente 3,5°C más frío de lo que se podría lograr con una unidad de enfriamiento directa. En la figura 6 se puede apreciar el esquema de un dispositivo de enfriamiento indirecto.

¹¹ ASHRAE. Heating, Ventilating and Air-Conditioning. Applications. SI ed. Atlanta. 2019. p.4.

Figura 6. Enfriador evaporativo indirecto.



Fuente: <https://n9.cl/n8ibm>

2.3 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR EVAPORACIÓN SIMPLES

Hacen referencia aquellos sistemas que usan la evaporación de agua como única fuente de energía, utilizando solo la capacidad del ambiente para evaporar y no añadiendo dispositivos que la aumenten como es el caso de los sistemas de refrigeración por evaporación complejos.

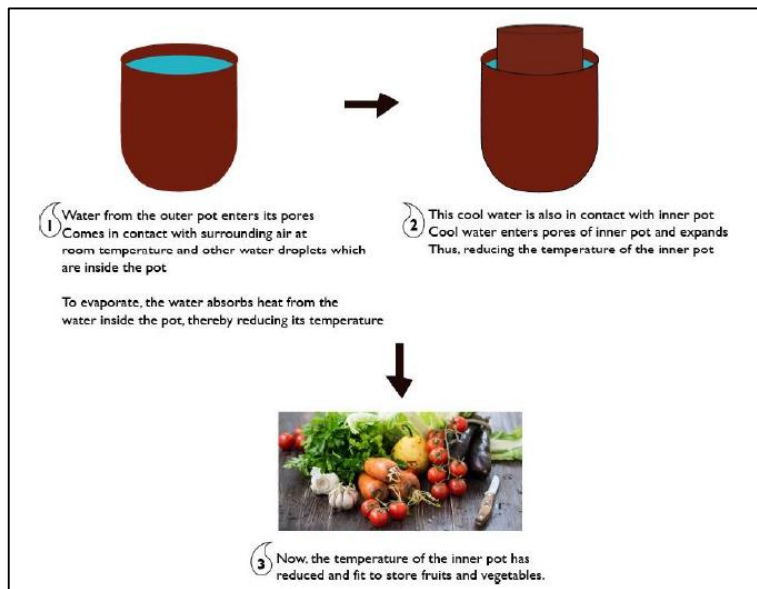
Estos sistemas se basan en el aprovechamiento de las condiciones climáticas, geográficas y solares que se encuentran disponibles en regiones que favorecen la refrigeración dentro de la recámara principal de estos dispositivos.

La capacidad de refrigeración de estos sistemas varía según las condiciones anteriormente mencionadas y en aspectos ingenieriles según las dimensiones, materiales y la correcta construcción de los mismos. El botijo fue el primer sistema de refrigeración por evaporación natural y en la actualidad aún se utiliza en regiones que no tienen acceso a red eléctrica y que sus condiciones climáticas mejoran la refrigeración.

En la figura 7 se puede apreciar el funcionamiento del botijo, no siendo más que dos vasijas separadas por una masa de agua que mediante la transferencia de calor y

masa producen un cambio de temperatura que se resume en la refrigeración de la cámara donde se encuentran los alimentos que se desean conservar.

Figura 7. Sistema de refrigeración por evaporación natural.



Fuente: Priyanka Bambarkar, Terra: The earthen refrigerator, 2018.

En la figura 8 se muestra una cámara de enfriamiento evaporativo natural. Este tipo de sistema es de una escala más grande que el botijo. Según Eric Verploegen¹² pueden tener una capacidad de almacenamiento de $1,28 \text{ m}^3$, los materiales deben tener las propiedades termofísicas adecuadas para este tipo de refrigeración y deben contar con una correcta posición ya que este tipo de sistemas son fijos y no pueden ser desmontados fácilmente.

¹² VERPLOEGEN, Eric; RINKER, Peter y OGNAKOSSAN, Kukom. Evaporative Cooling Best Practices, 2018. p. 12.

Figura 8. Cámara de enfriamiento evaporativo natural.

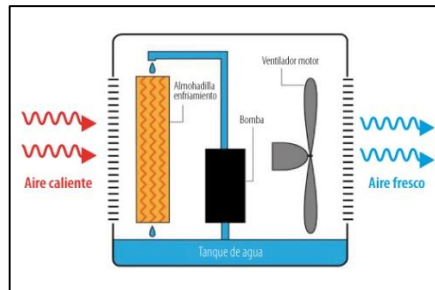


Fuente: Eric Verploegen, Producing and using evaporative cooling chambers and clay pot coolers, 2018.

2.4 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR EVAPORACIÓN COMPLEJOS

Estos sistemas de refrigeración usan una serie de dispositivos que funcionan en pro de mejorar la transferencia de calor y masa. En la figura 9 se puede ver la gráfica de un sistema de este tipo: consta de un ventilador motor que es el encargado de aumentar el flujo de aire fresco hacia el recinto, una almohadilla de enfriamiento que se encargará de hacer el trabajo de contenedor de la masa de agua que se irá evaporando, un tanque de agua para suministrar y una bomba para aumentar la presión del agua y facilitar su transporte.

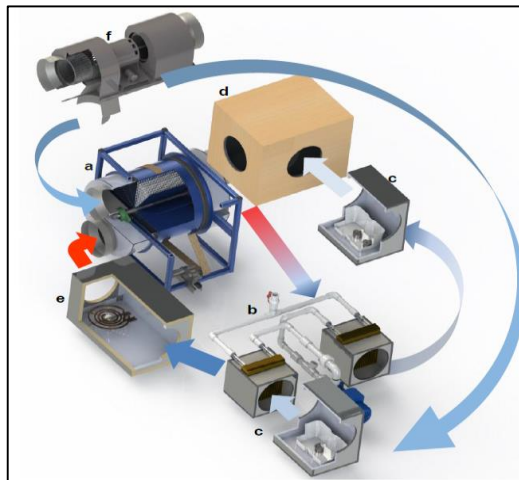
Figura 9. Sistema de enfriamiento evaporativo.



Fuente: <https://enfriadorevaporativolevante.com/como-refrigerar-nave-industrial/?lang=es>

Estos tipos de sistema usan energía de la red eléctrica para poner en funcionamiento todos los dispositivos que complementan la refrigeración. En comparación con los sistemas de refrigeración simples, estos sistemas manejan una capacidad de refrigeración mayor, ya que manejan temperaturas de evaporación más bajas, además de materiales con mejores propiedades termofísicas. En la figura 10 es posible ver la representación de un sistema evaporativo que consta de: una rueda desecante, intercambiador de calor, humidificador, cámara simuladora, calentador y ventiladores. Según Moises Bernal¹³, un sistema de este tipo funciona aumentando la humedad al aire caliente hasta alcanzar la saturación para lograr una disminución de la temperatura utilizando los dispositivos anteriormente mencionados.

Figura 10. Representación en Solidworks de un sistema de evaporación complejo.



Fuente: Moisés Bernal Macías, Favio Eduardo Solano, Diseño y construcción de un prototipo de acondicionador de aire por desecación y refrigeración evaporativa, 2017.

¹³ BERNAL, Moisés; SOLANO, Favio. Diseño y construcción de un prototipo de acondicionador de aire por desecación y refrigeración evaporativa, 2017.

Una de las principales diferencias entre los dos tipos (simple y complejo) es que trabajan con diferentes fluidos: para los sistemas de refrigeración por evaporación simple es necesario tener un material absorbente y que funcione como contenedor para el agua, mientras que en los sistemas complejos se necesita de un compresor o ventilador que impulse el aire caliente, al igual que un humidificador para ayudar la capacidad de refrigeración.

2.5 VENTAJAS DEL ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

Para hablar de las ventajas generales del enfriamiento evaporativo es necesario mencionar los climatizadores evaporativos que, según Termotécnica Pericoli¹⁴, enfrían la temperatura de un flujo de aire a través de su paso por un reservorio de agua, consiguiendo con ello un ambiente fresco y confortable para el usuario. Son varias las ventajas que este dispositivo puede llegar a ofrecer, dentro de las que se puede mencionar las siguientes:

- ✓ Impacto ambiental mínimo
- ✓ Bajos costos de compra
- ✓ Costos operativos muy bajos
- ✓ Fácil instalación y mantenimiento
- ✓ Ahorro de energía

¹⁴ TERMOTÉCNICA PERICOLI. Enfriamiento Evaporativo. [Sitio web]. [Consulta: 4 de diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.pericoli.com/ES/news/116/Enfriamiento-evaporativo.html>

En la tabla 2 se evidencia el comparativo de las características principales entre el mecanismo de refrigeración por evaporación y compresión de vapor.

Tabla 2. Compresión de vapor vs Refrigeración Evaporativa.

<i>Basic characteristics</i>	<i>Vapor compression AC</i>	<i>Evaporative AC</i>
Coolant	CFCs/HFCs	Water
Production residential coolers	Small and large scale	Small and large scale
Sensitivity to humidity for comfort cooling applications	Applicable in all climate types	Applicable in dry hot climates for comfort cooling
Ventilation (indoor air quality)	20% outside air	100% outside air
Energy use in a typical residential air conditioner for a 100 m ³ room.	1,000 kWh/yr	350 kWh/yr
Investment for a residential cooler	Developed country US\$1,000-1,600 Less developed country US\$600-1,400	Developed country US\$200-700 Less developed country US\$60-300
Maintenance	Change filters every 2 years	Annual pad change for aspen sump coat every 2 years
Annual accumulated costs including power, maintenance, depreciation	In USA: US\$500 In India: US\$500	In USA: US\$170 In India: US\$37

Fuente: Evaporative Air-Conditioning Applications for Environmentally Friendly Cooling, 1999.

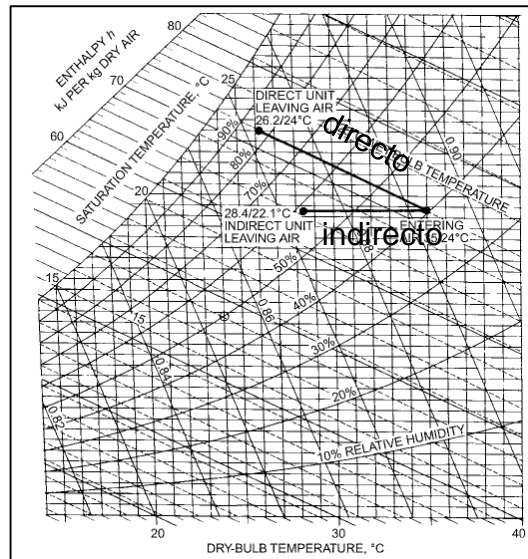
2.6 CARTA PSICROMÉTRICA

La carta psicrométrica es un gráfico compuesto por una serie de curvas, las cuales son proyectadas a partir del cálculo de ecuaciones de estado donde se relacionan parámetros de la mezcla de aire-vapor de agua. Este instrumento gráfico permite determinar condiciones del aire húmedo y realizar análisis rápidos de psicrometría.

En la figura 11, se ilustra el comportamiento del aire cuando se somete a los métodos de refrigeración evaporativa directa y refrigeración evaporativa indirecta.

Nótese que, para una condición inicial del aire a presión estándar, temperatura de bulbo seco de 35°C, temperatura de bulbo húmedo de 24°C y humedad relativa de 40%, el aire del enfriamiento directo (línea inclinada) aumenta su humedad, disminuye su temperatura seca, pero su temperatura de bulbo húmedo se mantiene constante. Por otro lado, el aire del enfriamiento indirecto (línea horizontal), sufre aumento de humedad y disminución de su temperatura de bulbo seco y húmedo.

Figura 11. Proceso de enfriamiento directo e indirecto del aire, representado en la carta psicrométrica



Fuente: AHSRAE 1999

2.7 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El prototipo de nevera solar tendrá presente todos los mecanismos de transferencia de calor: conductividad a través de sus paredes, convección y radiación a través de superficies y alrededores, calor sensible entre el agua presente en el relleno y el aire circundante.

Calor latente: Según Cengel¹⁵, se usa el término fase para describir un estado específico de la materia, como un sólido, líquido, o gas. Por ejemplo, un compuesto existe en la fase sólida como hielo, en la fase líquida como agua, y en la fase gaseosa como vapor. Una transición de una fase a otra se denomina cambio de fase o transición de fase. Para dada cualquier presión un cambio de fase tiene lugar

¹⁵ CENGEL, Yunus A. y GHAJAR, Afshin J. Transferencia de calor y masa. 4 ed. Mc Graw Hill, 2011. p. 799-802

a una temperatura constante, generalmente acompañado por absorción o emisión de calor y un cambio de volumen y densidad.

Calor sensible: La representación de la energía se puede dar de varias maneras, por ejemplo: energía térmica, energía mecánica, energía cinética, energía potencial, y entre otras, como: magnética, eléctrica, nuclear y química; la sumatoria de todas estas formas de energía constituyen la energía total de un sistema. Ahora, si se comprenden y suman las energías relacionadas a la estructura molecular de un sistema y su grado de actividad molecular, se obtiene la energía interna del sistema. La energía interna es principalmente la sumatoria de la energía cinética y energía potencial de las moléculas presentes en un sistema¹⁶.

Conducción: La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de un medio a las adyacentes menos energéticas como resultado de interacciones entre las partículas. Esta conducción puede presentarse en sólidos, líquidos o gases, también llamada ley de la conducción de Fourier y viene expresada de la siguiente manera:

$$Q_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

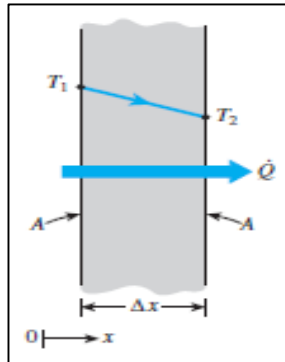
Donde:

- ✓ k : Conductividad térmica
- ✓ A : Área transversal a la conducción
- ✓ ΔT : Delta temperatura
- ✓ Δx : Delta espesor

¹⁶ Ibid. p. 6

El esquema de transferencia de calor por conducción se puede apreciar en la figura 12.

Figura 12. Transferencia por conducción.



Fuente: Transferencia de Calor Yunus Cengel.

Convección: La convección es el método de transferencia de energía entre un medio sólido y un medio líquido o gaseoso adyacente que esté en movimiento, y comprende los fenómenos de la conducción y el movimiento de fluidos. A mayor movimiento del fluido, mayor será la transferencia por convección. Este fenómeno fue descrito por Newton mediante la ley de enfriamiento de Newton y expresa que¹⁷:

$$Q_{conv} = hAs(T_s - T_{\infty})$$

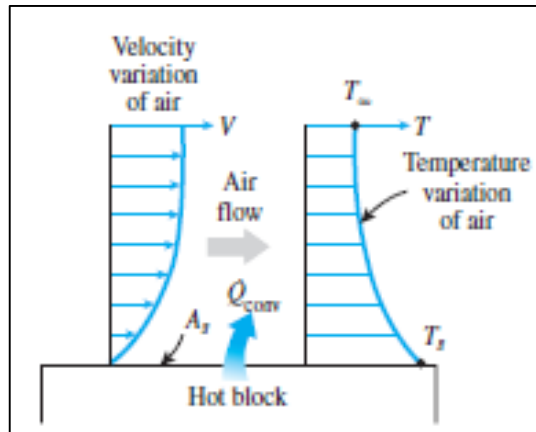
Donde:

- ✓ h : coeficiente transferencia por convección
- ✓ As : área superficial expuesta a convección
- ✓ T_s : temperatura superficie
- ✓ T_{∞} : temperatura ambiente

¹⁷ Ibid. p. 26

El esquema de transferencia de calor por convección se puede apreciar en la figura 13.

Figura 13. Transferencia por convección.



Fuente: Transferencia de Calor Yunus Cengel.

3. DISEÑO CONCEPTUAL

Para el diseño de un dispositivo utilizado desde hace miles de años, es necesario remontarse a sus inicios y establecer cuáles son los aspectos importantes para su correcto funcionamiento. Posteriormente, se debe analizar las propiedades de los materiales usados y buscar los que actualmente puedan cumplir las mismas funciones con una mayor efectividad y eficacia, de manera que se consiga hacer una actualización del diseño artesanal y proponer uno en el que se tengan en cuenta los diferentes conocimientos adquiridos a través del tiempo y gracias a esto lograr una mejor refrigeración.

Las neveras solares que usan refrigeración por evaporación se conocían en el antiguo Egipto como botijo¹⁸, que se puede ver en la figura 14. En la India se conoce con el nombre de *zeer*¹⁹ y las comunidades lo utilizan diariamente para refrigerar sus cosechas y de esta manera aprovecharlas un tiempo más prolongado que si estuvieran a la deriva del medioambiente. Todos estos diseños tienen una forma estructural, un tipo de relleno y materiales que ayudan de alguna manera a la refrigeración dentro la recámara más pequeña, que se mostrarán a continuación para la debida selección según su funcionalidad en los objetivos propuestos.

¹⁸ ERICE, Daniel Sebastian. Frigorífico: Como mejorar el mecanismo de un botijo. 2009, disponible en: <http://www.caosyciencia.com/ideas/articulo.php?id=091209>

¹⁹ ODESOLA, Isaac F y ONWUKA Onyebuchi, B.Sc. A review of porous evaporative cooling for the preservation of fruits and vegetables, 2009.

Figura 14. Botijo.



Fuente: <https://cutt.ly/JjYGPex>

3.1 FORMA ESTRUCTURAL

La forma estructural que tendrá el diseño del prototipo define no sólo su tamaño sino también su peso, costo de manufactura y las propiedades adicionales que pudiese tener cierta geometría en específico. Debido a que el dispositivo estará expuesto a una transferencia de calor por convección, se debe tener en cuenta la geometría que estará expuesta al flujo de aire, ya que será esta la que defina el coeficiente de transferencia de calor por convección natural; estudios han demostrado que ciertas geometrías son más adecuadas que otras para esta forma de transferencia de calor. A continuación, se clasificarán los tipos de geometría utilizados en este tipo de sistema de refrigeración.

Esférica: Esta es la forma más antigua que tiene un botijo y se puede llamar esfera achatada o elipsoide. Para cálculos termodinámicos se puede tomar como una esfera debido a que los estudios termodinámicos realizados a este sistema de refrigeración hacen esta simplificación de la geometría para obtener modelos matemáticos sencillos que definan el comportamiento de este. En la figura 15 es posible observar este tipo de forma estructural.

Figura 15. Forma esférica.



Fuente: <https://cutt.ly/waWEvNW>

Esfera con aletas añadidas: Estudios actuales proponen nuevas geometrías, como la utilización de lo que se llama en transferencia de calor superficies aleteadas (siendo las aletas una porción de material extra que se añade para aumentar el área de transferencia de calor). Este diseño optimiza la transferencia de calor que ocurre entre el ambiente y la superficie externa del botijo, ya que el área superficial en contacto con el ambiente es mayor. Esta es una estrategia tomada de la literatura que se enfoca en sistemas que requieran disipar calor de una manera efectiva y eficaz sin importar el aumento en el costo de manufactura del mismo dispositivo (véase la figura 16).

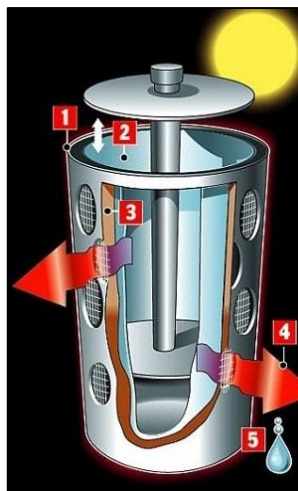
Figura 16. Forma estructural con aletas añadidas.



Fuente: Design & Optimization of Pot-In-Pot Refrigerator, 2018.

Cilíndrica perforada: La última forma estructural se puede ver en la figura 17. Consiste en un diseño actual y ergonómico. Consta de una forma cilíndrica perforada, de manera que permita el contacto del aire con el relleno y, dado que se trata de una geometría simétrica, facilita los cálculos de transferencia de calor por convección, además que aumenta la exactitud en ellos debido a que no se tienen que hacer aproximaciones al modelo matemático y térmico del sistema, de tal forma que el diseño se simplifica. Por otra parte, al igual que la anterior geometría, la relación costo beneficio es proporcional. Este diseño es propuesto por la inventora europea Emily Cummins²⁰, conocida por su trabajo con comunidades vulnerables en África.

Figura 17. Forma estructural cilíndrica perforada.



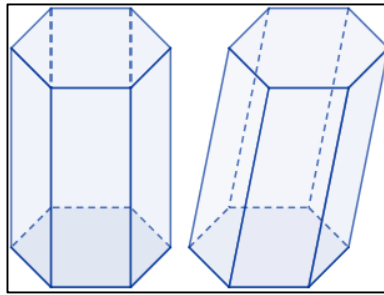
Fuente: <https://www.mpptsolar.com/es/nevera-solar.html>

Prismática: No se encontraron referentes bibliográficos de botijos para este tipo de geometría, sin embargo, en la figura 18 se ve un ejemplo de cómo sería esta forma estructural. Es válido mencionar que, según estudios la transferencia de calor por

²⁰ EMILY CUMMINS [Sitio web]. Inglaterra. [Consulta: noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.emilycummins.co.uk/>

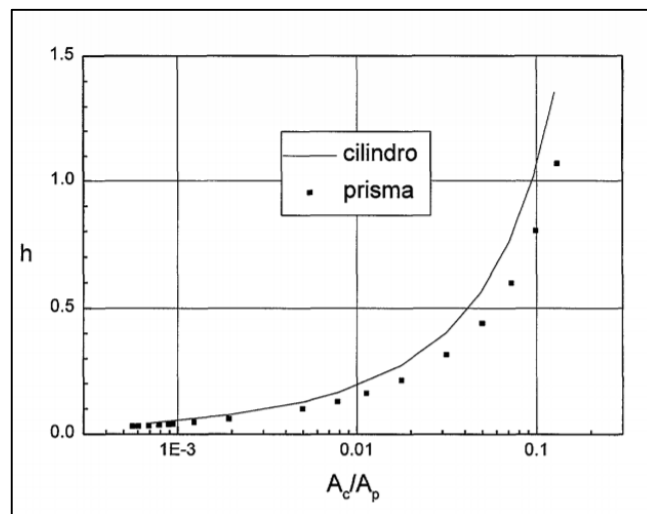
convección sobre superficies prismáticas, este diseño es similar al del de superficie cilíndrica, siendo mayor la de esta última (véase la figura 18).

Figura 18. Forma estructural prismática.



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Prisma_hexagonal

Figura 19. Transferencia de calor por convección de superficies cilíndricas y prismáticas.



Fuente: María Isabela Pérez Grande, Influencia sobre la geometría del contacto en la resistencia térmica de contacto.

3.2 TIPO DE RELLENO

Cuando se habla del tipo de relleno se está refiriendo al material que estará entre la holgura que se genera entre los dos recipientes que componen el sistema de refrigeración. Es de gran importancia la correcta selección de este relleno ya que principalmente cumple el papel de contener el agua que se estará evaporando.

El material del que se componga este relleno condicionará la evaporación del agua. Esto se debe a que si se utiliza un material que es un buen absorbente, el agua se verá con mayor dificultad de evaporarse y, por tanto, se tendrá un aumento en el tiempo de la transferencia de calor, haciendo que la consecución de los objetivos térmicos en la recámara sea más demorada. En caso contrario, al usar un material que agilice la evaporación del agua, en vez de retrasarla, aumentaría la tasa de refrigeración de la recámara central, pero a costa de un aumento en el consumo de agua del dispositivo.

Se necesita entonces un material que sea lo suficientemente absorbente y que tenga una alta porosidad para que contenga la mayor cantidad de agua posible. De igual manera, es deseable que tenga una buena conductividad térmica para que el proceso de transferencia de calor ocurra de manera eficaz.

Arena: La arena es el material que comúnmente ha sido utilizado en el relleno de este tipo de sistema de refrigeración: es un buen absorbente y genera una especie de arcilla cuando se encuentra húmeda, evitando así que se escape el agua y la misma arena, además de que su fácil obtención no genera mayor costo.

Aserrín: Otra alternativa de relleno que se puede utilizar es el aserrín que se encuentra en las carpinterías como material de desecho y reutilizable. Este material tiene dificultad para la limpieza, ya que cuando el aserrín se encuentra húmedo empieza a descomponerse. En cuanto a las propiedades térmicas del aserrín se

puede hacer el símil con las de la madera ya que, básicamente, se trata de un residuo de esta.

Carbón: El carbón está contemplado entre las opciones porque tiene una poca capacidad de absorción y no cambia su forma en contacto con el agua, ni sus propiedades como lo hace la arena. Se puede encontrar en forma de rocas grandes o partículas trituradas más pequeñas.

3.3 MATERIALES

Una pauta importante son los materiales que se van a destinar para la construcción de la forma estructural del prototipo de nevera solar ya que de ellos dependerá una óptima transferencia de calor. Por otra parte, estos deben ser los adecuados para estar en contacto con los alimentos. Así pues, siguiendo los estándares establecidos por la resolución 683 del 2012, la cual habla sobre el reglamento técnico que deben cumplir los materiales que están contacto con alimentos dirigidos al consumo humano. En el capítulo 3 de esta resolución se expresa que materiales de primer uso como costales de fibras naturales y sintéticas, están prohibidas para tal fin.

Estos materiales se refieren al conjunto externo de la nevera es decir su forma estructural, de manera que son los que estarán en contacto con el relleno, el medio ambiente y de la misma manera con los alimentos o productos que se dispongan dentro del recinto refrigerador. Se seleccionaron los materiales que comúnmente son utilizados para este dispositivo y se agregaron otros que muestran opciones recientes para el diseño del mismo.

Barro: Este es el material con el cual se ha diseñado desde hace miles de años este tipo de sistema de refrigeración. Su ventaja es que al tener poros permite el flujo de aire a través de ellos, haciendo que el relleno esté en contacto siempre con

el medio ambiente. La gran desventaja de este tipo de material es que es obsoleto debido a que no tiene propiedades térmicas tan eficientes como la de los materiales que se emplean actualmente en cualquier tipo de diseño.

Barro sintético: El desarrollo de tecnologías y procesos de conformación de materiales, abren un gran abanico de posibilidades para un encontrar la combinación de materiales ideal para el correcto funcionamiento de los prototipos diseñados. La desventaja de estos procesos es su alto costo. El barro sintético es una excepción debido a que el costo de fabricación no es tan alto y se obtiene añadiendo componentes químicos a la mezcla de barro con los que se le da una mayor rigidez y un acabado superficial más estético.

Aluminio: Se propone el uso de un material que tenga mejores propiedades tanto mecánicas como térmicas. El aluminio es de fácil manufactura y con buenas propiedades termo-físicas, como una buena conductividad. Es un material que se consigue fácilmente y su costo en relación con los aspectos funcionales serán evaluados en la respectiva selección.

3.4 DESPLIEGUE FUNCIÓN CALIDAD

Es una herramienta utilizada para encontrar cuáles aspectos del prototipo tienen más relevancia para la realización del diseño en detalle. Primeramente, se deben identificar los requerimientos que se tienen del proyecto; posteriormente se busca entre las diversas alternativas o diseños cuál es el que asegura el cumplimiento de dichos requerimientos. Esto se realiza mediante la creación de una matriz en la que se le da un valor de importancia a cada uno de los requerimientos para seleccionar los más sobresalientes y trabajar en la mejor configuración de diseño para satisfacerlos.

Debido a que es complicado presentar diseños completamente desarrollados y evaluar cuál de estos satisface mejor los requerimientos del proyecto, se divide en componentes que sí pueden ser evaluados tanto cualitativamente como cuantitativamente.

Para este diseño los aspectos que se evaluaron son: geometría, tipo de relleno y materiales, con las alternativas que fueron presentadas anteriormente.

3.5 REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

Los requerimientos dependen intrínsecamente de los objetivos del proyecto y se dividen en dos: funcionales y de la comunidad. Los requerimientos funcionales son aquellos que definen la operación del prototipo y los requerimientos de la comunidad puntualizan las necesidades de la misma.

Requerimientos funcionales:

- ✓ Capacidad de almacenamiento
- ✓ Tamaño del dispositivo
- ✓ Mantenibilidad
- ✓ Tiempo de vida útil
- ✓ Transferencia de calor
- ✓ Consumo de agua

Requerimientos de la comunidad:

- ✓ Refrigeración de alimentos
- ✓ Económico

- ✓ Eficiente
- ✓ Efectivo
- ✓ Innovador
- ✓ Fácil mantenimiento
- ✓ Uso sencillo
- ✓ Fácil transporte
- ✓ Fácil limpieza
- ✓ Ergonómico

Nota: En complemento con lo ya dicho sobre el aluminio, este cumple con las características de bajo costo y los requerimientos de la resolución 0683 del 2012, por lo cual anticipadamente se optó por este como material principal del prototipo.

3.6 MATRIZ QFD

Esta matriz se encuentra plasmada en la tabla 3, donde las filas representan los requerimientos de la comunidad con la prioridad de cada uno de ellos, definida con la ayuda del análisis socioeconómico de la Guajira del 2019²¹. En las columnas se encuentran los requerimientos funcionales que influyen en el correcto desempeño del prototipo y que fueron los puntos claves para su diseño. Teniendo en cuenta

²¹ Informe socio económico departamento de la Guajira 2019 [en línea]. Colombia: Cámara de la Guajira. [Fecha de consulta: noviembre 2020] disponible en: <https://www.camaraguajira.org/nosotros/informe-socioeconomico-departamento-de-la-guajira/636-informe-socio-economico-de-la-guajira-2019.html>

esto, la prioridad se evaluó de 1 a 5 al igual que la relación existente entre los requerimientos funcionales y los de la comunidad.

Tabla 3. Matriz QFD para requerimientos funcionales y de la comunidad.

		Número columna	1	2	3	4	5	6
Número fila	Prioridad	Requerimientos funcionales	Capacidad almacenamiento	Tamaño	Mantenibilidad	Tiempo de vida útil	Transferencia de calor	Consumo de agua
		Requerimientos comunidad						
1	5	Refrigeración de alimentos	3	2	1	0	5	3
2	5	Económico	3	5	1	3	3	4
3	4	Eficiente	4	3	2	3	3	3
4	4	Efectivo	3	2	2	1	5	2
5	4	Diseño innovador	2	2	1	1	4	1
6	3	Mantenimiento sencillo	1	1	5	2	0	0
7	3	Bajo costo de operación	0	1	1	0	0	2
8	3	Uso sencillo	0	2	0	0	0	0
9	2	Fácil transporte	1	3	0	0	0	0
10	2	Fácil limpieza	1	2	5	2	0	0
11	1	Ergonómico	1	3	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Importancia entre requerimientos funcionales de la comunidad.

		Número columna	1	2	3	4	5	6
Número fila	Prioridad	Requerimientos funcionales	Capacidad almacenamiento	Tamaño	Mantenibilidad	Tiempo de vida útil	Transferencia de calor	Consumo de agua
		Requerimientos comunidad						
1	5	Refrigeración de alimentos	15	10	5	0	25	15
2	5	Económico	15	25	5	15	15	20
3	4	Eficiente	16	12	8	12	12	12
4	4	Efectivo	12	8	8	4	20	8
5	4	Diseño innovador	8	8	4	4	16	4
6	3	Mantenimiento sencillo	3	3	15	6	0	0
7	3	Bajo costo de operación	0	3	3	0	0	6
8	3	Uso sencillo	0	6	0	0	0	0
9	2	Fácil transporte	2	6	0	0	0	0
10	2	Fácil limpieza	2	4	10	4	0	0
11	1	Ergonómico	1	3	0	0	0	0
		Total	74	88	58	45	88	65
		Porcentaje	17,7	21	13,88	10,7	21	15,5

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la matriz QFD se pudieron encontrar cuáles son las características funcionales del proyecto que más peso tienen a la hora de satisfacer las necesidades de la comunidad. Para esto se realizó la tabla 4, donde se hizo un promedio ponderado de la importancia de cada requerimiento funcional en

porcentajes; teniendo esta tabla como referencia se escogieron las 4 características funcionales con más peso y se plasmaron en la tabla 5 para mostrar su porcentaje de importancia. Estas características son las que se tuvieron en cuenta para la correcta selección de geometría, tipo de relleno y materiales, para la realización del diseño del prototipo.

Tabla 5. Criterios para la selección de aspectos.

No.	Criterio	Valor	Porcentaje
1	Transferencia de calor	21,05	27,89%
2	Tamaño	21,05	27,89%
3	Capacidad de almacenamiento	17,703	23,49%
4	Consumo de agua	15,55	20,73%

Fuente: Elaboración propia

3.7 SELECCIÓN DE ASPECTOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Teniendo en cuenta la geometría, tipo de relleno y materiales, se realizó una matriz para cada aspecto en donde a cada uno se le asignó un nivel de importancia, de 1 a 5, que tiene con cada uno de los 4 criterios previamente escogidos.

En la tabla 6 se presenta la selección de la forma estructural.

Tabla 6. Selección forma estructural.

Selección				
Forma estructural	Tamaño	Transferencia de calor	Capacidad de almacenamiento	Consumo de agua
antiguo botijo	2	2	3	4
aletas	2	3	3	3
cilíndrico	4	4	4	2

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7 se presenta el tipo de relleno a utilizar: arena, aserrín o carbón. Los valores dados en capacidad de almacenamiento y consumo de agua dependen de la porosidad del material y de la conductividad térmica del mismo. En cuanto a la transferencia de calor se utiliza la tesis de Abimbola Suleima²², que analiza qué tipo de relleno es el más eficiente para usar en este dispositivo.

Tabla 7. Selección de tipo de relleno.

Selección				
Tipo de relleno	Tamaño	Transferencia de calor	Capacidad de almacenamiento	Consumo de agua
Arena	4	3	3	3
Aserrín	3	2	3	2
Carbón	2	4	2	4

Fuente: Elaboración propia.

²² ABIMBOLA, Suleiman y ADEYEMI, Kareem. Desarrollo y Evaluación del Rendimiento del Dispositivo de Enfriamiento Poit-in-pot para Llorin y su entorno. Journal of Research Information in Civil Engineering, 2018. vol.15, no.1, 2045-2057

Por último, en la tabla 8 se muestran los materiales que corresponden a la estructura del prototipo.

Tabla 8. Selección de material.

Selección				
Materiales	Tamaño	Transferencia de calor	Capacidad de almacenamiento	Consumo de agua
Barro	2	3	2	2
Aluminio	2	5	2	4
Barro sintético	2	3	2	3

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se procede a multiplicar el nivel de relevancia de cada uno de los aspectos por el peso porcentual que tiene cada uno de los criterios, sacando una nueva matriz donde se puede evaluar cuál aspecto es el que se debe seleccionar según los criterios elegidos, mediante un promedio ponderado. Ver tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9. Ponderación forma estructural.

Selección					
Forma estructural	Tamaño	Transferencia de calor	Capacidad de almacenamiento	Consumo de agua	Total
Esférica	0,5578	0,5578	0,7047	0,8292	2,6495
Esférica con aletas	0,5578	0,8367	0,7047	0,6219	2,7211
Cilíndrica perforada	1,1156	1,1156	0,9396	0,4146	3,5854

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Ponderación tipo de relleno.

Selección					
Tipo de relleno	Tamaño	Transferencia de calor	Capacidad de almacenamiento	Consumo de agua	Total
Arena	1,1156	0,8367	0,7047	0,6219	3,2789
Aserrín	0,8367	0,5578	0,7047	0,4146	2,5138
Carbón	0,5578	1,1156	0,4698	0,8292	2,9724

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Ponderación material.

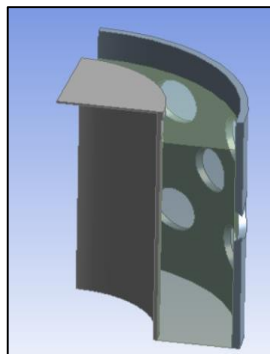
Selección					
Material	Tamaño	Transferencia de calor	Capacidad de almacenamiento	Consumo de agua	Total
Barro	0,5578	0,8367	0,16553403	0,4146	1,974634
Aluminio	0,5578	1,3945	0,16553403	0,8292	2,947034
Barro sintético	0,5578	0,8367	0,22071204	0,6219	2,237112

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados mostrados en las tablas anteriores se concluye que la mejor forma estructural para el diseño del prototipo es una forma cilíndrica perforada; el tipo de relleno según la tabla 10 será arena, cosa que facilitará trabajar en el modelo virtual para la simulación, además de que existen varios artículos que tratan las propiedades térmicas de la arena húmeda. El material adecuado para la construcción de la estructura del prototipo de nevera solar es el aluminio debido a las características térmicas explicadas anteriormente.

A continuación, en la figura 20 se muestra la representación del modelo virtual.

Figura 20. Modelo virtual del prototipo.



Fuente: Elaboración propia en Ansys.

El diseño en forma cilíndrica de este prototipo permite tener una geometría conocida que facilitará posteriormente el mallado de la misma para la simulación en el software, además de la transferencia de calor por convección que ocurre en este proceso. Los orificios que se tienen en el cilindro externo permiten que el relleno se encuentre expuesto al medio ambiente, facilitando el flujo de aire, aumentando la evaporación de agua en el proceso. Para evitar que la arena se filtre por los orificios del cilindro exterior se usará una malla que cubra este último por la parte de adentro y que, de esta manera, el relleno permanezca dentro de la holgura. La tapa debe tener un espesor y material que impida la transferencia de calor ya que la cámara central debe estar aislada térmicamente.

Teniendo en cuenta que la recámara central debía ser cilíndrica y tener una capacidad de 5lts, según los objetivos trazados, se procedió a calcular la altura y el radio de la recámara central. Se asumió que la altura de la recámara no fuera más de 3 veces el diámetro de la misma por cuestiones de esbeltez y el diámetro lo suficientemente amplio para que el ingreso de los alimentos sea cómodo para el usuario. Como resultados se obtuvo una altura de 40 cm y un diámetro de 14cm.

4. SIMULACIÓN NÚMERICA DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO EN UN REFRIGERADOR EVAPORATIVO

Teniendo en cuenta los objetivos del presente trabajo se desarrollará una simulación numérica que represente el proceso de transferencia de calor del relleno del prototipo de nevera solar con el propósito de sentar las bases para la construcción de este. Se optó por simular el proceso, debido a que su análisis numérico se complica por la falta de modelos empíricos de transferencia de calor que representen el fenómeno que tiene lugar en el relleno del prototipo.

La simulación numérica es una herramienta que facilita el análisis de los procesos y disminuye costos del prototipo, dado que permite estudiar todos los casos posibles antes de implementar la solución.

4.1 METODOLOGIA DE LA SIMULACIÓN

Para garantizar los resultados esperados en la simulación, se requiere el establecimiento de la metodología a seguir abarcando: el software de simulación, la selección de los datos del modelo, los parámetros que se evaluarán en el proceso de refrigeración evaporativa, las variables del proceso que serán incluidas en la simulación y la identificación de los procesos de transferencia de calor presentes en el proceso.

El resultado de la simulación arrojará el espesor de relleno que se debe utilizar en el prototipo, teniendo en cuenta que las dimensiones de la recámara son fijas.

4.1.1 Software de simulación El software que se utilizó fue Ansys transient thermal, de la empresa Ansys. Este producto cuenta con la capacidad de analizar cualquier proceso en el que se tenga algún proceso de extracción de calor teniendo un gran abanico de recursos para incluir cualquier tipo de modelo físico de acuerdo

con el proceso que se simule. Este software cuenta con la capacidad de realizar configuraciones bidimensionales y tridimensionales con una excelente calidad de mallado.

En los siguientes apartados se presenta la selección de parámetros y la determinación de los valores de las variables del proceso.

4.1.1 Selección de los parámetros a evaluar.

- ✓ Temperatura dentro de la recámara
- ✓ Temperatura de la arcilla húmeda
- ✓ Error térmico: valor obtenido al final de la simulación que representa la correcta ejecución de los modelos térmicos aplicados al prototipo.

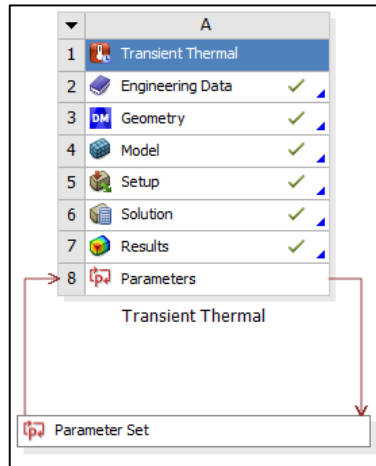
4.1.2 Determinación de los valores de las variables del proceso.

- ✓ Tasa de extracción de calor
- ✓ Propiedades termo-físicas de la arcilla húmeda
- ✓ Definición de temperatura ambiental y de inicialización de la simulación.

4.2 MODELO DE SIMULACIÓN

Para cualquier modelado en el software Ansys se requiere seguir una misma secuencia de pasos para que posteriormente el programa procese los datos suministrados y proceda a realizar la respectiva simulación que ha sido configurada. La configuración de esta metodología dentro del software se ilustra en la figura 21.

Figura 21. Pasos de simulación.



Fuente: Software Ansys, módulo Ansys transient thermal.

El primer paso de cualquier simulación numérica empieza con la conformación del modelo; esta no es más que la realización del diseño virtual de la geometría del prototipo, ya sea dentro del mismo software o mediante el uso de otro programa e importándola de acuerdo con las necesidades y objetivos de la simulación. Seguidamente, es de gran importancia realizar el mallado apropiado para dicha geometría, debido a que la calidad de la simulación dependerá en gran parte de esto.

El siguiente paso es la configuración del procesador de la simulación, con lo que se expande la interfaz del Ansys transient thermal y se procede a agregar los modelos físicos que se encuentran presentes en el proceso de refrigeración y disponibles en la interfaz del programa.

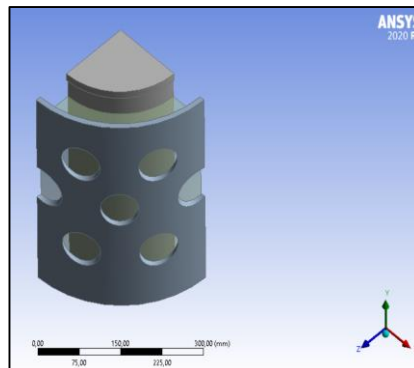
Como en todo desarrollo de problemas ingenieriles es importante definir las fronteras del modelo: es necesario precisar cuáles son las paredes del modelo geométrico. Finalmente, el siguiente paso será la implementación de las variables y materiales del proceso, debido a que se debe proporcionar la mayor cantidad de datos posibles en cuestión de fuentes y flujos de calor con su respectiva dirección y en cuanto a propiedades termo-físicas de cada uno de los materiales presentes en

el proceso. Por último, se realiza la configuración del número de iteraciones y los iniciadores de cálculos para tener los mejores resultados posibles.

4.2.1 Definición geométrica del modelo de simulación Teniendo en cuenta el análisis de transferencia de calor realizado al prototipo, se concluye que la masa de arena húmeda es donde ocurre el proceso de enfriamiento evaporativo.

Como resultado de ese análisis se define el espesor del relleno como parámetro variable y, de acuerdo con esto, se realiza el modelo virtual para incluir las medidas de este, que se desarrollará en el software Ansys con la herramienta Design Space, según se muestra en la figura 22.

Figura 22. Design Space.

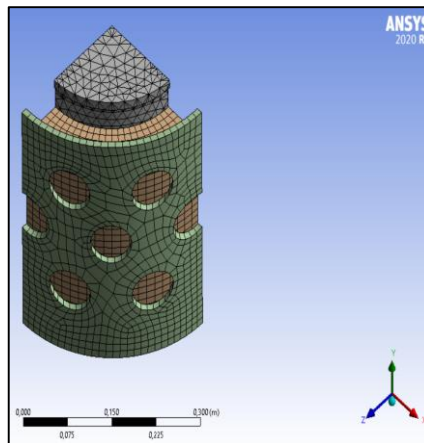


Fuente: Software Ansys.

4.2.2 Mallado de la simulación El software Ansys tiene la herramienta de mallado. Esta define la forma y la cantidad de elementos en que se dividirá el modelo; esto se realiza con la intención de desarrollar los cálculos para cada uno de esos elementos teniendo en cuenta su ubicación. De esta manera se conocerá el comportamiento de cualquiera de las variables necesarias en cada zona del modelo virtual.

La herramienta de mallado ofrece realizar esta tarea de manera automática teniendo unos resultados aceptables, pero si se desea ser más minucioso en el cálculo de las variables en cierta zona se deberán realizar otro tipo de operaciones de mallado: Cambiar el tipo de método de mallado, hacer un *contact sizing*, utilizar un *face mapping*, realizar *size method*.

Figura 23. Mallado en Ansys.



Fuente: Software Ansys.

4.2.3 Selección de modelos físicos presentes en el proceso de refrigeración.

En la sección del Ansys transient termal se incluye modelo de convección y flujos de calor; en el caso del suelo y la tapa de la recámara se modelaron como superficies adiabáticas.

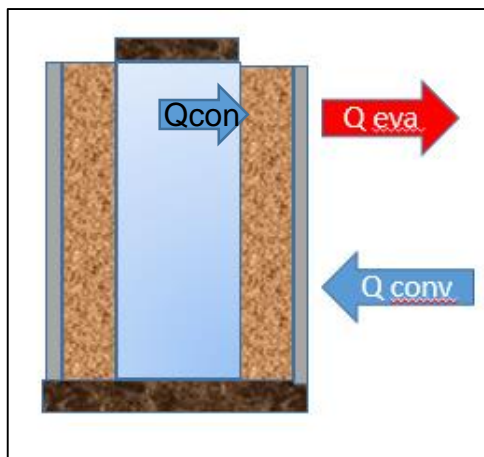
Por otra parte, el flujo de calor extraído por el prototipo es un valor que se obtuvo del modelo mecánico de la tasa de reemplazo de agua del refrigerador zeer de BN Nwankwojike, OS Onwuka²³ con la tasa de evaporación del agua siendo 1,2lts/h, con una entalpia de evaporación de 2432,9 [kJ/kg*K].

²³ BETHRAND NDUKA, Nwankwojike, *et al.* Mechanistic modeling of wáter replenishment rateo f zeer refrigerator. Nigeria: Departamento de ingeniería mecánica. 2017.

Con el uso de la siguiente formula se consigue la tasa de calor que retira el agua del prototipo, haciendo un análisis de los modelos de transferencia de calor presentes en este proyecto, como se aprecia en la figura 24. Se infiere que la tasa de evaporación es el fenómeno que tiene mayor peso en la refrigeración de la recamara central, de manera que el calor obtenido, que es de 34.33 [W], se ubicó en la pared en contacto con el relleno de arena.

$$Q_{eva} = agua * hfg_{evaporación}$$

Figura 24. Fenómenos de transferencia de calor.



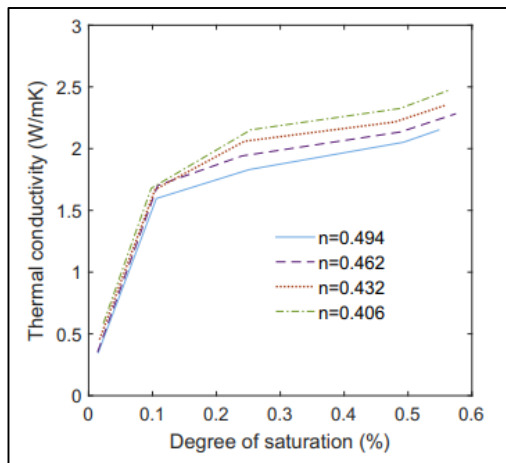
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- ✓ Qcon: Calor por conducción a través del cilindro interno
- ✓ Qconv: Calor por convección entre el aire circundante y el relleno de arena
- ✓ Qevap: Calor por evaporación entre el aire circundante y el relleno de arena

Las propiedades termo-físicas de los materiales presentes en la simulación se asumieron constantes; en el caso particular de la conductividad térmica de la arena se sabe que esta varía de acuerdo con su contenido de humedad, pero cabe resaltar que a valores altos de saturación esta propiedad tiende a ser constante. Por otra parte, el tiempo de la simulación fue de 1 hora, por lo que se puede asumir que la variación del contenido de agua en la arena no es elevada como para tener en cuenta un cambio de conductividad térmica. En la figura 25 se puede observar el comportamiento de la conductividad térmica de la arena con diferentes porosidades y grados de saturación.

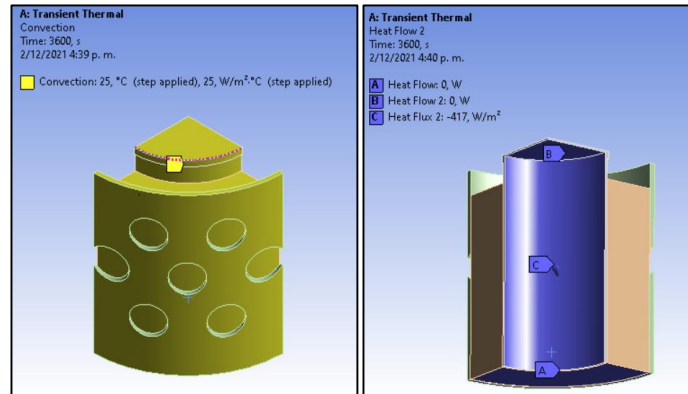
Figura 25. Conductividad térmica arena.



Fuente: ALRTIMI, A. Thermal conductivity of sandy soil

Finalmente, en la figura 26 se muestra la ubicación de los fenómenos de transferencia de calor en la simulación en Ansys.

Figura 26. Fenómenos de transferencia de calor en la simulación.



Fuente: Software Ansys.

4.2.3 Definición de las fronteras del modelo En la simulación se utilizó una temperatura de 25°C ambiental para todos los diferentes espesores de relleno. El tiempo de la simulación se estableció en 3600 segundos y la temperatura inicial de todo el prototipo en 22°C.

4.2.4 Implementación de las variables y materiales del proceso Las variables que se establecieron para ser evaluadas fueron temperatura máxima y mínima general del prototipo; los materiales fueron caracterizados con sus propiedades termo-físicas. En el caso del relleno se optó por una conductividad térmica constante a pesar que se sabe que esta varía por su contenido de agua, pero teniendo en cuenta que la simulación tiene como fin mantener constante las propiedades, con el propósito de obtener un espesor de relleno óptimo, es válida esta suposición. En la siguiente tabla se encuentran los valores de las propiedades usadas en la simulación, los valores fueron obtenidos de los datos ingenieriles de Ansys.

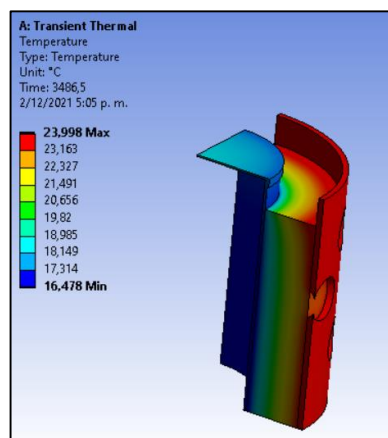
Tabla 12. Propiedades termofísicas de la estructura y relleno del prototipo.

Propiedad Material	Densidad [kg/m ³]	Conductividad térmica [w/m*K]	Calor específico [j/kg*K]
Aluminio	2689	237,5	951
Arena	1860	1,6	880

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5 Resultados del proceso de simulación. En las siguientes figuras se encuentran los contornos de temperatura y error térmico para la simulación realizada.

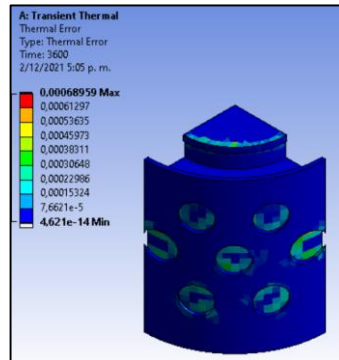
Figura 27. Contornos de temperatura.



Fuente: Software Ansys.

Se observa que la zona de mayor temperatura es la carcasa de aluminio que se encuentra en contacto con el ambiente y disminuye radialmente hasta la temperatura mínima que estará en la pared interna de la recámara central.

Figura 28. Contorno de error térmico en la simulación.

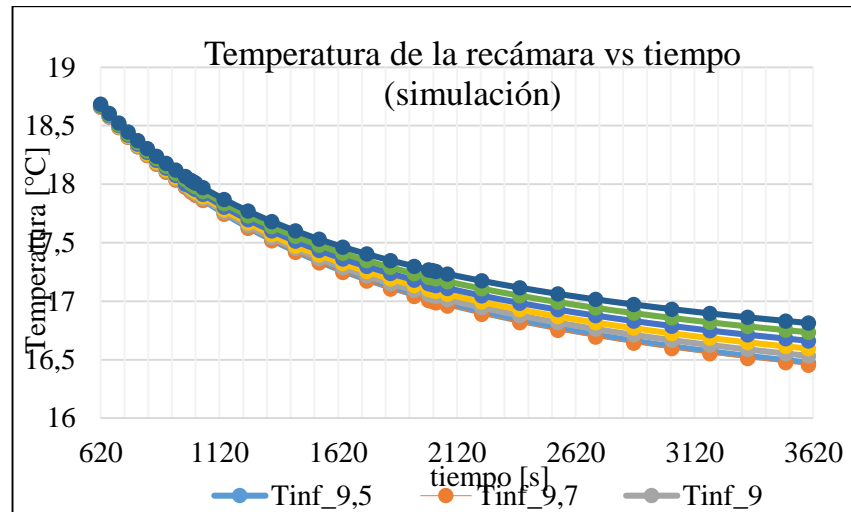


Fuente: Software Ansys.

Los valores de error térmico no son altos. Cabe resaltar que las zonas del relleno en contacto con el medio ambiente fueron las que tuvieron un error térmico mayor en comparación con las demás zonas del prototipo y esto es debido a la influencia del mallado que en elementos cercanos a bordes y zonas de contacto tienen una menor calidad.

La parametrización fue realizada desde un espesor de 7 a 9,7cm, que es el valor máximo aceptado por el software. Los resultados obtenidos para la temperatura mínima (temperatura interna de la recámara) se encuentran plasmados en la siguiente gráfica.

Figura 29. Gráfica de temperatura de la recámara vs tiempo de simulación.



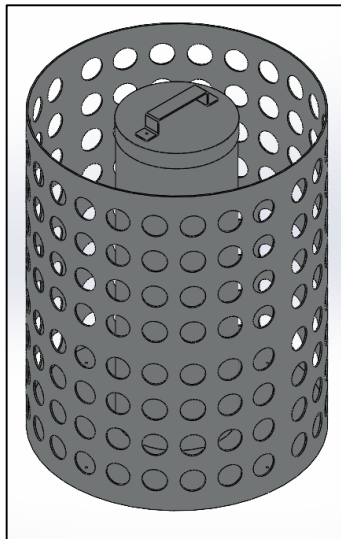
Fuente: Elaboración propia.

Se tuvo en cuenta que este modelo es una aproximación lejana a la realidad, pero da una idea del espesor necesario para el prototipo y con esto, hace posible disminuir costos de manufactura para obtener un diseño funcional.

5. DISEÑO EN DETALLE Y CONSTRUCCIÓN

Con base en los resultados del diseño conceptual, transferencia de calor transitoria de las frutas y el espesor del relleno obtenido con el software Ansys Academic, se procede al diseño en detalle de cada uno de los elementos del prototipo. En la figura 30 se encuentra plasmado el diseño virtual elaborado en el software Solidworks.

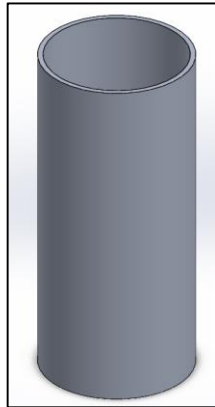
Figura 30. Prototipo de nevera solar CAD.



Fuente: Elaboración propia en solidworks.

Recámara central. Tal como se dijo en el capítulo de diseño conceptual, las dimensiones para este elemento se definieron previamente, es decir, la recámara cuenta con una altura de 40 cm y diámetro de 14 cm y es el punto de referencia para el resto de dimensiones del prototipo. En la figura 31 se encuentra el modelo virtual de la recámara central.

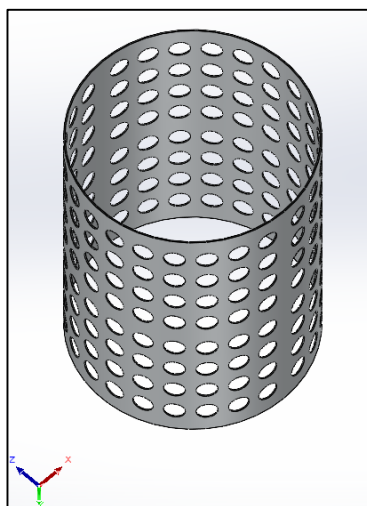
Figura 31. Recámara central.



Fuente: Elaboración propia en solidworks.

Cilindro exterior. De acuerdo con los resultados obtenidos en la simulación de 10 cm de espesor de arena y al previo dimensionamiento de la recámara central, el diámetro de la carcasa exterior sería de 34,4 cm. La geometría de los agujeros se eligió circular y se diseñaron dos carcasas exteriores, con diferente configuración de orificios. Se pueden ver en la figura 32 y 33.

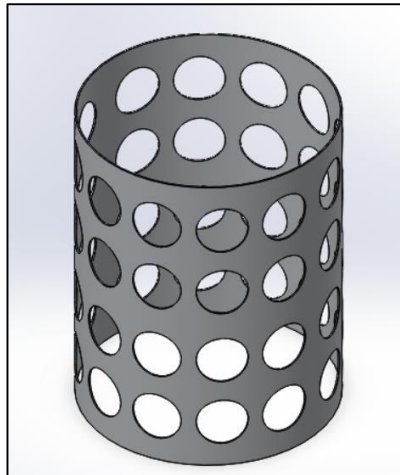
Figura 32. Cilindro exterior 2.



Fuente: Elaboración propia en solidworks.

El perfil para la carcasa con menor área expuesta se generó con agujeros de diámetro de 2,2cm (tamaño máximo por punzonado CNC encontrado en la industria) espaciados entre sí por 3 cm (distancia centro a centro), con un total de 192 orificios por todo el cilindro. El segundo perfil, apreciable en la figura 33, se generó con huecos de diámetro de 7cm espaciados entre sí por 10cm (distancia centro a centro), resultando 48 orificios alrededor del cilindro.

Figura 33. Cilindro exterior 1.



Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Área superficial de la carcasa de orificios grandes: $0.345 m^2$
- ✓ Área superficial de la carcasa de orificios pequeños: $0.422 m^2$

Malla exterior. La arena resulta ser un problema al momento de rellenar la cavidad entre los dos cilindros, debido a su baja compactibilidad, por eso se hace indispensable el uso de un elemento que la contenga. Es así como una malla metálica termina siendo una buena opción; esta estará adherida a la superficie

interior de la carcasa, de manera que la arena no se salga por los orificios. En la figura 34 se presenta una fotografía de la malla seleccionada.

Figura 34. Malla exterior.

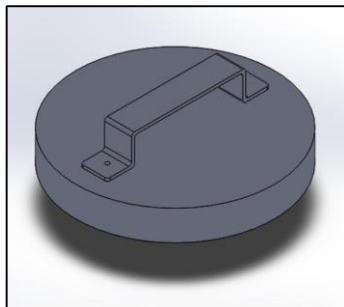


Fuente: shorturl.at/kT149

Nota: Los huecos de la malla tienen 2mm de ancho y 2mm de alto.

Tapa recámara central. De acuerdo con el objetivo principal del prototipo, que es generar un ambiente con temperatura menor a la ambiental, se debe diseñar una tapa adiabática para la recámara central, como muestra la figura 35.

Figura 35. Tapa recámara central.



Fuente: Elaboración propia en solidworks.

Para lograr aislar térmicamente la tapa, se recubre internamente con una lámina de poliestireno expandido de 3cm de espesor. (véase figura 36).

Figura 36. Ensamble final tapa.



Fuente. Elaboración propia.

Ensamble general. el conglomerado total de piezas fue de 4: recámara, carcasa exterior, tapa, malla y superficie inferior. No se acudió al uso de soldadura debido a que el costo sobrepasa el objetivo de viabilidad económica del prototipo. Así pues, se hizo el uso de chavetas metálicas para la unión entre piezas.

Figura 37. Ensamble final.



Fuente: Elaboración propia.

6. METODOLOGIA DE LAS PRUEBAS

6.1 PRUEBAS OPERACIONALES

Las pruebas operacionales es un protocolo de medición donde se testeará cada minuto la temperatura interna de la recámara, humedad del relleno, temperatura ambiental, humedad ambiental y velocidad del viento, por cada 6h de prueba. En los anexos de este proyecto se puede encontrar el código arduino y phyton para la medición y recolección de los valores de estas variables y parámetros. Los sensores empleados fueron HL69 para la humedad del relleno, termocupla tipo K para la temperatura interna de la recámara, higrómetro para la temperatura y humedad ambiental, y anemómetro para la velocidad del aire circundante al prototipo (ver apartado de sensores).

Es válido recordar que tal y como se menciona en el apartado de diseño conceptual que el prototipo de nevera solar cuenta con dos configuraciones de carcasa exterior, conocidas como opción 1 y opción 2. A cada una de estas opciones se le realizarán 2 pruebas operacionales que se dividen en: prueba con reposición de agua y prueba sin reposición de agua.

Parámetros y variables:

- ✓ Velocidad del viento
- ✓ Tipo de carcasa
- ✓ Reposición o no reposición de agua
- ✓ Humedad relativa del ambiente
- ✓ Temperatura ambiental

- ✓ Radiación solar
- ✓ Temperatura interna de la recámara
- ✓ Humedad de la arena

Condiciones iniciales:

Las siguientes condiciones aplican para las pruebas con y sin reposición de agua.

- ✓ El prototipo debe ubicarse sobre una superficie plana y expuesta totalmente al sol, con el objetivo de que opere bajo una condición crítica como lo es la radiación solar.
- ✓ La recámara debe estar vacía en todo momento para no considerar la carga térmica que aportarían los alimentos.
- ✓ Antes de iniciar las pruebas, el relleno de arena debe saturarse de agua (para este prototipo se requieren aproximadamente 7 L).

Procedimiento prueba con reposición de agua:

Figura 38. Montaje de primera prueba.



Fuente: Autores

- ✓ Inicio de prueba.
- ✓ Verificar condiciones iniciales.
- ✓ Activar programa de medición (medición de los parámetros y variables cada minuto a lo largo de 6 horas).
- ✓ Adicionar 1.5L de agua cada 1.5h una vez iniciado el protocolo de medición.
- ✓ Fin de prueba.

Procedimiento prueba sin reposición de agua:

- ✓ Inicio de la prueba.
- ✓ Verificar condiciones iniciales.
- ✓ Activar programa de medición (medición de los parámetros y variables cada minuto a lo largo de 6 horas).
- ✓ Fin de la prueba

6.2 PRUEBAS FUNCIONALES

Las frutas y verduras hacen parte esencial de la dieta diaria de un gran porcentaje de la población mundial, de ahí radica su importancia. Estos alimentos están compuestos principalmente de agua; por lo tanto, sin una gestión adecuada después de la cosecha, se deterioran rápidamente, particularmente en condiciones cálidas debido a la pérdida de humedad. Para conservar la frescura de estos alimentos, deben almacenarse en condiciones idóneas de temperatura y humedad.

Así pues, las pruebas se realizaron teniendo en cuenta que se dividieron dos muestras del mismo producto, sometidas simultáneamente a dos condiciones

ambientales: la recámara central del prototipo de la nevera solar y el medio ambiente circundante a esta.

En la segunda etapa de pruebas no fue necesario tomar datos meteorológicos ya que estas fueron realizadas en las cercanías a la Universidad Industrial de Santander y se obtuvieron estos datos de la website weather gracias a la estación meteorológica que se encuentra ubicada en las instalaciones de la universidad.

Parámetros de la prueba

- Temperatura ambiente
- Velocidad del aire
- Humedad relativa del ambiente
- Con restitución de agua diariamente
- Tiempo de la prueba
- Datos cualitativos de los alimentos

Las variables que se pudieron controlar en esta prueba fueron la restitución del agua y el tiempo de prueba. El resto de parámetros fue necesario obtenerlos en la práctica.

Procedimiento de la prueba

- ✓ Tomar valores iniciales de los parámetros de la prueba.
- ✓ Proceder a humedecer la arcilla con 7L de agua.
- ✓ Verificar el cierre hermético de la recámara.
- ✓ Colocar el dispositivo a exposición ambiental.

- ✓ Incluir restitución del agua diaria de 2L hasta que el tiempo de la prueba llegue a su fin y se obtengan los resultados cualitativos.

Selección de alimentos El propósito de este apartado es verificar el desempeño funcional del dispositivo y, en aras de practicidad, se escogerán 3 alimentos con bajo tiempo de preservación, los cuales serán: tomate chonto, pera y manzana criolla.

Figura 39. Tomate chonto.



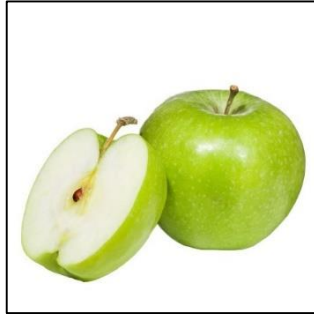
Fuente: <https://shortest.link/1XxY>

Figura 40. Pera verde.



Fuente: <https://shortest.link/1SJo>

Figura 41. Manzana verde.



Fuente: <https://shortest.link/1SJy>

El tiempo de duración de esta prueba dependerá de la evidente descomposición de uno los productos, es decir, una vez se note el completo deterioro de la fruta que se encuentra en el medioambiente se procede a realizar el análisis comparativo.

6.2.1 Pruebas funcionales cuantitativas Así como es de gran importancia el estudio operacional de la nevera solar en estado libre de carga, como se menciona en el apartado de pruebas operacionales, también se hace indispensable conocer el comportamiento de este dispositivo cuando se somete a condiciones de carga térmica, es decir hacer medición de las variables operativas como por ejemplo la temperatura de la recámara central y la humedad, cuando hay un producto dentro de esta haciendo parte del proceso.

Parámetros de la prueba:

- ✓ Temperatura ambiente
- ✓ Velocidad del aire
- ✓ Humedad relativa del ambiente
- ✓ Humedad de la recámara

- ✓ Temperatura de los alimentos
- ✓ Con restitución de agua
- ✓ Tiempo de la prueba

Procedimiento de la prueba:

- ✓ Tomar valores iniciales de los parámetros de la prueba.
- ✓ Proceder a humedecer la arcilla con 7L de agua.
- ✓ Verificar el cierre hermético de la recámara.
- ✓ Proceder a colocar el dispositivo a exposición ambiental.
- ✓ Incluir restitución del agua diaria de 2L hasta que el tiempo de la prueba funcional comparativa llegue a su final.

6.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Debido a los parámetros de la prueba fue necesario adquirir ciertos instrumentos de medición adecuados para la toma de estos. Los instrumentos son están descritos a continuación.

Sensor de temperatura: Para la medición de temperatura en la recámara central del prototipo se utilizó una termocupla tipo K conectada a un módulo MAX6675 (transductor) que es el encargado de hacerle el debido tratamiento a la señal del sensor y transmitirla a la tarjeta de creación electrónica, que es un Arduino MEGA 2560. Este conjunto (módulo y termocupla) funciona con una construcción de 12 bit, convertidor analógico-digital. En la figura 42 se tiene una imagen del conjunto.

Figura 42. Termopar y módulo Max 6675.



Fuente: <https://shortest.link/1SJB>

Teniendo en cuenta las especificaciones del módulo MAX6675 este contiene una unión de compensación fría, la cual tiene como labor detectar, corregir y compensar mediante un controlador digital, la lectura de temperatura obtenida por la termocupla. La forma en que el transductor compensa la diferencia de temperatura entre el termopar y la unión fría (temperatura ambiente MAX 6675) es mediante la siguiente ecuación:

$$V_{out} = \frac{41\mu V}{^{\circ}C} * (T_r - T_{amb})$$

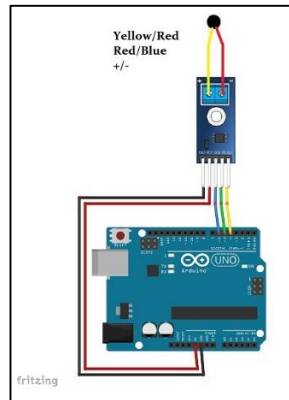
Donde:

- ✓ Vout: voltaje de salida de la termocupla
- ✓ Tr: temperatura del termopar
- ✓ Tamb: temperatura de la unión fría

La función del termopar es medir una diferencia de temperatura entre dos terminales (frío y caliente) y dar como respuesta un voltaje que es transmitido por el circuito hacia el transistor, en este punto el módulo MAX6675 se encarga de hacer la

compensación fría para mejorar la lectura del termopar y que de esta manera llegue una lectura más precisa al Arduino. En la figura 43 se muestra el esquema básico de conexión para el conjunto módulo y termopar:

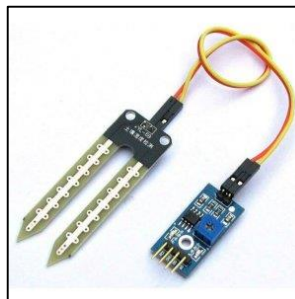
Figura 43. Esquema de conexión.



Fuente: <https://shortest.link/1SJC>

Sensor de humedad: El dispositivo de medición de humedad que se muestra en la figura 44 consta de dos elementos: un sensor llamado HL-69 que consiste en dos terminales de aluminio de 6 cm de largo y 2 cm de ancho y un módulo electrónico que es el encargado de acondicionar y procesar los valores para entregarlos al microcontrolador y poder ser leídas.

Figura 44. Sensor HL-69



Fuente: <https://n9.cl/pepx1>

Este sensor funciona detectando el valor de conductividad que hay entre sus dos terminales o puntas y así informar, dependiendo del valor, el porcentaje de líquido presente en el sustrato, teniendo en cuenta que, a mayor conductividad, mayor será la humedad y viceversa.

El papel del sensor HL-69 en este proyecto es importante, pues gracias a este se obtiene un mapeo global de la variación de humedad presente en el volumen de arena.

Se recomienda no usar el HL-69 en pruebas permanentes, ya que la humedad y la corriente eléctrica pueden corroer fácilmente los puertos del sensor. Para alargar la vida útil de este, se sugiere desconectar la fuente de poder del sensor cuando no se esté utilizando y activarla sólo en el caso de que se vaya a realizar una medición, estos sensores son compatibles con Arduino y en general con cualquier otro tipo de microcontrolador.

Estación meteorológica: En vista de que el lugar de las pruebas operacionales se localizó en Girón, Santander, fue necesario medir las condiciones ambientales, ya que no se tenía acceso a una estación meteorológica virtual cercana a la zona. Se estableció que la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del viento eran las variables ambientales que se necesitarían para futuros análisis de resultados. La humedad relativa y la temperatura del ambiente se midieron con un higrómetro marca KTJ. La exactitud de la medición de temperatura es de +/- 1°C, la de la humedad está en el rango +/- 5%.

Figura 45. Higrómetro KTJ.



Fuente: <https://shortest.link/1SJl>

La velocidad del viento fue medida con un anemómetro marca UNI-T que posee una resolución de 1 m/s y una precisión de $\pm 5\%Rdg+0.5$ (Rdg es la lectura directa del instrumento). En la figura 46 se aprecia el anemómetro y en el anexo A se encuentra el correspondiente *datasheet*.

Figura 46. Anemómetro UNI-T UT363.

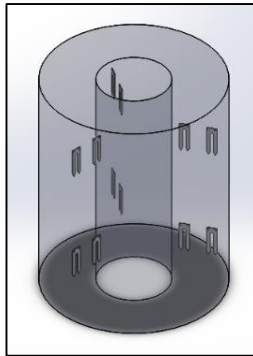


Fuente: <https://shortest.link/1Xyn>

6.4 DISTRIBUCIÓN DE SENSORES

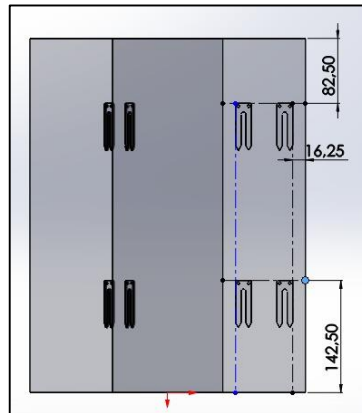
En el presente proyecto, se emplearon 12 sensores de humedad que se distribuyeron de manera radial cada 120° y axialmente al volumen de arena, como se puede ver en las figuras 47, 48 y 49, puesto que se espera que la variación de humedad se dé tanto axial como radialmente. Debido a que el dispositivo está expuesto a columnas de aire por su superficie lateral y superior, esta distribución hará que se reduzca el error asociado a la medición de humedad, ya que el tamaño del sensor es pequeño comparado con el volumen de arena; además es válido aclarar que este no mide de manera volumétrica la humedad sino el valor adyacente a sus terminales.

Figura 47. Distribución sensores de humedad.



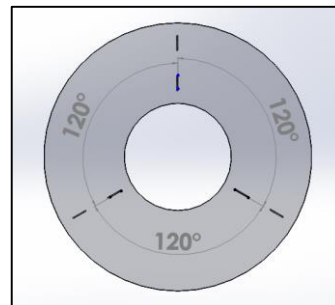
Fuente: Elaboración Propia

Figura 48. Distribución sensores vista lateral.



Fuente. Elaboración Propia

Figura 49. Distribución sensores vista superior.

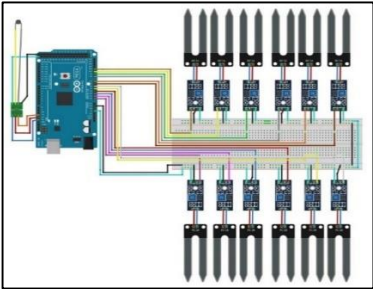


Fuente: Elaboración Propia

La disposición del sensor de temperatura para las pruebas operacionales estuvo en el centro de la recámara con el fin de que el termopar no tuviera contacto con las paredes de aluminio y provocara una interferencia en la lectura de datos; se dispuso un solo sensor debido a la cantidad de sensores que se tuvieron en cuenta para la medición de humedad de la arena y no se optó por medir la temperatura de esta debido a que un sólo sensor no daría la medición de temperatura global del relleno. En el caso de las pruebas funcionales la punta de medición se introdujo en el centro

de la manzana, así mismo en el volumen de agua. A continuación, se muestra el esquema de Arduino realizado para estos 12 sensores.

Figura 50. Esquema general circuito Arduino para 12 sensores de humedad.



Fuente: Elaboración propia

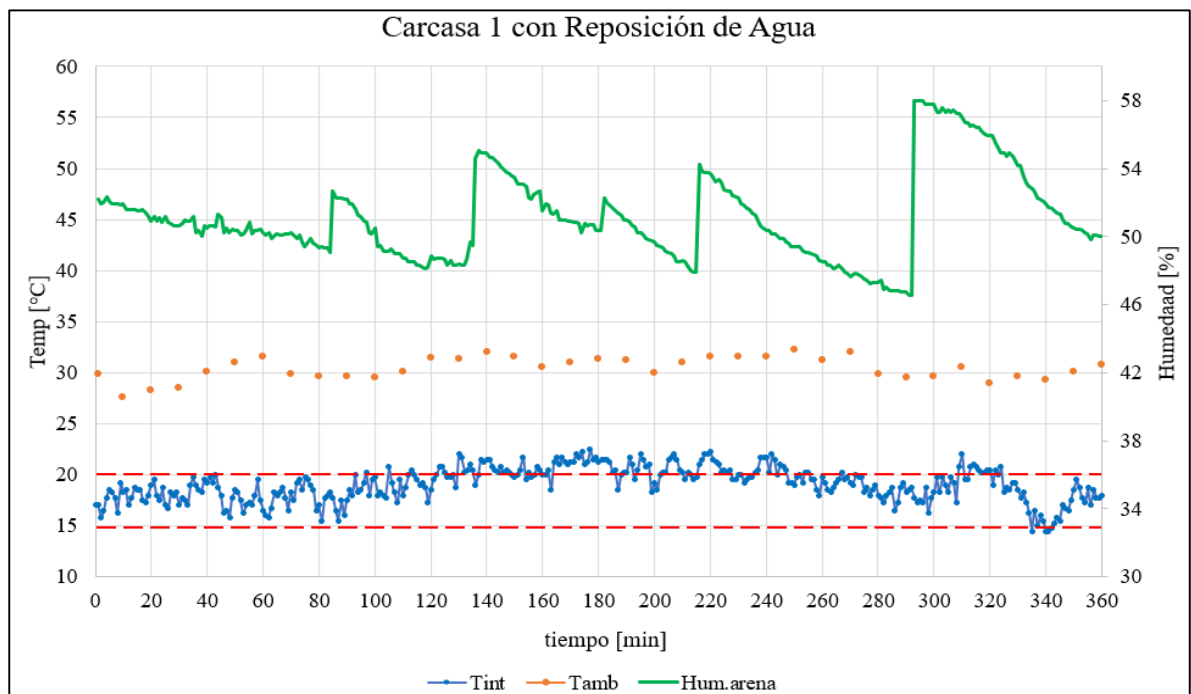
7. RESULTADOS

7.1 RESULTADOS PRUEBAS OPERACIONALES

Los resultados de las pruebas operacionales son importantes porque en la conformación gráfica y análisis estadístico de estos, se podrá observar el comportamiento que tiene la temperatura interna de la recámara y humedad del relleno ante factores como radiación solar, temperatura ambiental, reposición de agua y cambio de carcasa externa. En este orden de ideas, en el siguiente material gráfico, se evidenciarán los puntos críticos de temperatura de operación del prototipo y su tasa de deshumidificación.

Resultados opción 1 de carcasa y reposición de agua:

Figura 51. Gráfica comportamiento carcasa 1 con reposición.

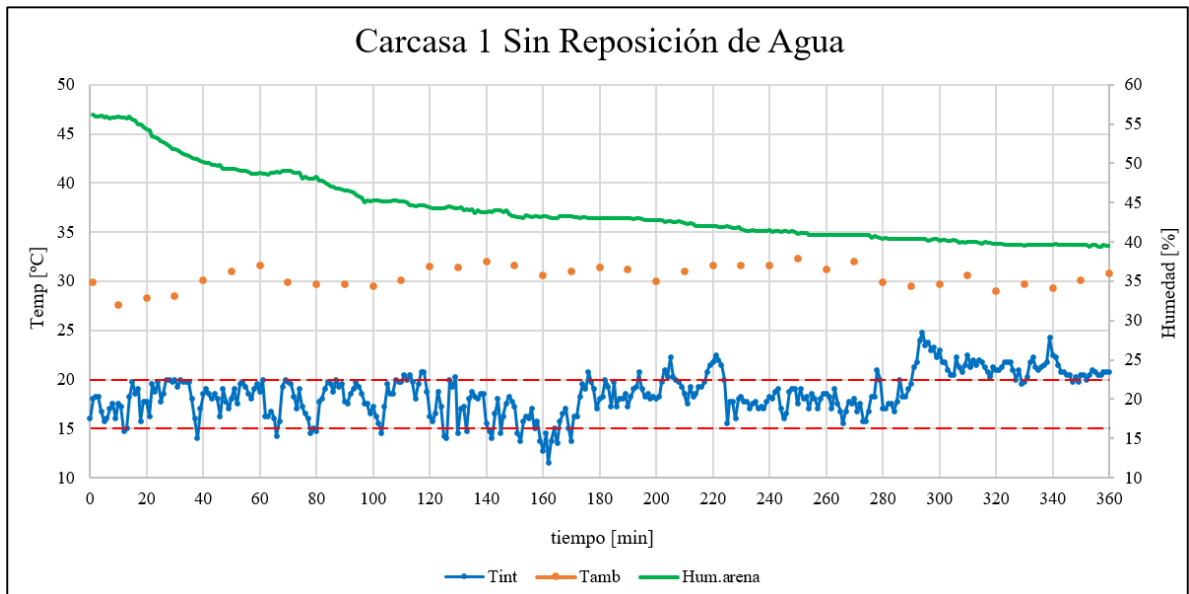


Fuente: Elaboración propia.

La humedad del relleno (Hum.arena) de la figura 51 parte de un valor de 52% y finaliza en 50%, esto es una reducción de 2 puntos porcentuales. Dicha propiedad también adquiere picos aproximadamente cada 1.5h de hasta 58% y son debidos al suministro de agua. En lo que concierne a la temperatura interna de la recámara (Tint), se puede encontrar una gran cantidad de valores contenidos entre los límites de 15 y 20°C (línea punteada roja) a lo largo de la prueba. A su vez se aprecia cómo en el tramo del mediodía (120-240min) la temperatura interna tiende a aumentar por una mayor incidencia del sol, alcanzando valores de hasta 22°C; esta vuelve a disminuir en la última hora de prueba (300-360). Por último, el promedio de la temperatura ambiental (Tamb) fue de 31°C en el periodo de prueba, registrando una máxima de 32°C y mínima de 27°C.

Resultados opción 1 de carcasa sin reposición de agua:

Figura 52. Comportamiento con carcasa de menor área sin reposición.

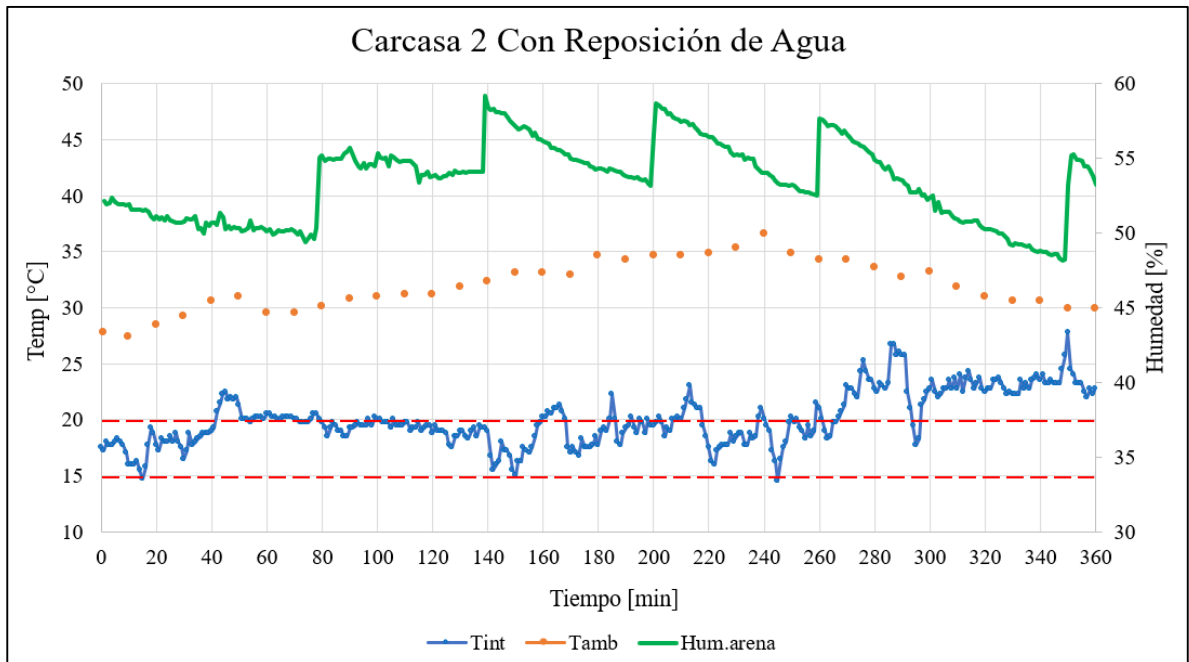


Fuente: Elaboración propia.

La humedad del relleno (Hum.arena) describe una trayectoria exponencial decreciente y sin fluctuaciones, el valor inicial de esta fue de 56% y el final de 40%, es decir, se tuvo una reducción de 16 puntos porcentuales. En cuanto a la temperatura de la recámara (Tint), se aprecia que en gran parte de la prueba los datos fluctuaron entre los límites de temperatura 15 y 20°C y que sólo al final de esta, excedieron la marca superior, alcanzando valores de 24°C. La temperatura ambiental promedio en la fase de prueba fue 30°C, con valores máximos y mínimos de 32 y 27°C respectivamente.

Resultados opción 2 de carcasa con reposición de agua:

Figura 53. Comportamiento con carcasa de mayor área y reposición de agua.

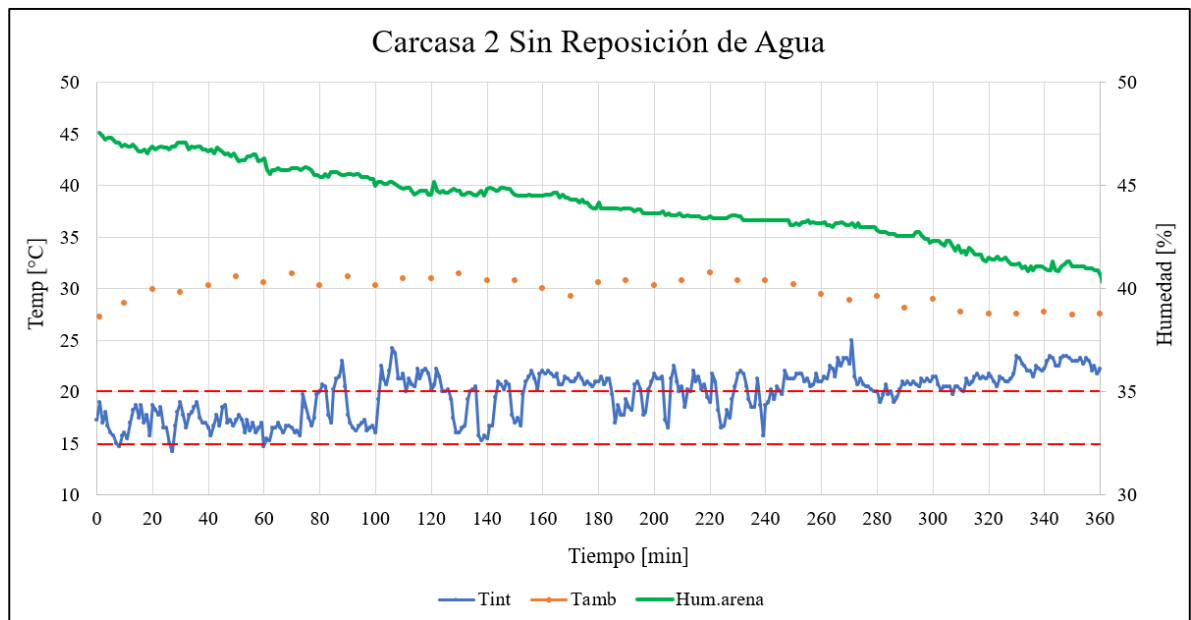


Fuente. Elaboración propia.

En relación con la humedad del relleno (Hum.arena) se observa que, en la jornada de la mañana, esta redujo en promedio 2 puntos porcentuales en los primeros 2 tramos de reposición, mientras que en la tarde hubo decrecimientos de hasta 10 puntos. Por otra parte, la temperatura interna de la recámara estuvo en un promedio de 24°C en la jornada de la tarde (180-360), mientras que en el periodo de la mañana se contuvo en gran porcentaje entre los límites objetivos de 15 y 20°C. Finalmente, la temperatura ambiental promedio en el transcurso de la prueba fue de 32°C, entre un máximo de 36°C y mínimo de 27°C.

Resultados opción 2 de carcasa sin reposición de agua:

Figura 54. Comportamiento carcasa de mayor área sin reposición de agua.



Fuente. Elaboración propia.

Se puede observar de la humedad (Hum.arena) una tendencia lineal con la reducción de 8 puntos porcentuales, específicamente del 48 al 40%. En cuanto a la

temperatura interna de la recámara (Tint), se puede apreciar la alta cantidad de valores que se sobrepuso a los 20°C; la mínima temperatura registrada en la recámara fue de 14,25°C mientras que la máxima de 25°C. En promedio la temperatura ambiental en el transcurso de la prueba fue de 30°C, registrando una máxima de 32 y una mínima de 27°C.

Finalmente, es importante mencionar que, en las cuatro gráficas anteriores, en cualquier momento la temperatura de la recámara (Tint) es menor a la temperatura ambiental, independientemente del tipo de carcasa o condiciones ambientales presentes. Así pues, según las cuatro gráficas anteriores, la diferencia mínima entre la temperatura ambiental y temperatura de la recámara fue de 5°C y la máxima fue de 18°C, cumpliendo a cabalidad el objetivo de refrigerar el aire ambiental.

7.2 RESULTADOS PRUEBA FUNCIONAL CUALITATIVA

En la selección de alimentos se tuvo en cuenta que estuvieran frescos y en lo posible que tuvieran tamaños y formas geométricas similares. Se escogió manzana verde y pera como frutas ya que gracias a su cáscara se podría notar el cambio significativo en apariencia; como verdura se escogió tomate chonto siendo este uno de los más básicos en la canasta familiar; en las figuras 55, 56 y 57 se pueden apreciar.

Figura 55. Manzana verde.



Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Tomate chonto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Pera.



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que en los primeros días no habría cambio significativo en apariencia se optó por no realizar tomas fotográficas los 5 primeros días de las pruebas y desde ese punto en adelante se tendrían en cuenta 15 días de fotografías para un total de 20 días de prueba.

En el siguiente conjunto de fotografías se puede apreciar el resultado de la prueba cualitativa: el alimento puesto dentro de la recamará se encontrará siempre en el lado izquierdo de la fotografía y en el lado derecho el alimento posicionado en el medio ambiente. Es notoria la diferencia entre el tomate chonto que se encontraba en el prototipo de nevera solar y el que estuvo 20 días al medio ambiente; se aprecia la primera evidencia de descomposición en el día 7 y la aparición de un hongo en esa misma imperfección al día 16 y esto es debido a su extremo estado de descomposición.

Figura 58. Día 5, 7 y 9 tomate chonto.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 59. Día 11, 13 y 15 tomate chonto.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. Día 16, 18 y 19 tomate chonto.



Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la pera y la manzana su alta consistencia, dureza y menor contenido de agua, las hacen más duraderas en comparación al tomate, sin embargo, se puede notar que debido a la deshidratación estas adquieren un aspecto corrugado de color amarillento, indicando que el proceso de descomposición ya ha tenido lugar en estos alimentos.

Figura 61. Día 5, 7 y 9 pera.



Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la pera su primer signo de descomposición fue al día 11 y se consideró no apta para el consumo desde el día 15.

Figura 62. Día 11, 13 y 15 pera.



Fuente: Elaboración propia

Figura 63. Día 16, 18 y 19 pera.



Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Día 5, 7 y 9 manzana.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 65. Día 11, 13 y 15 manzana.



Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la manzana en el día 16 se aprecia su primer signo de descomposición y se consideró no apta para el consumo el día 19 debido a su textura blanda y decoloración.

Figura 66. Día 16, 18 y 19 manzana.



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, las frutas que se encontraban en el prototipo conservaron su consistencia y forma geométrica, signos que dan la certeza de que al cabo de 20

días se encontraban en mejores condiciones para la ingesta que los alimentos puestos al medio ambiente.

7.3 RESULTADOS PRUEBA FUNCIONAL CUANTITATIVA

La temperatura a la que se introdujeron los alimentos está plasmada en la tabla 13.

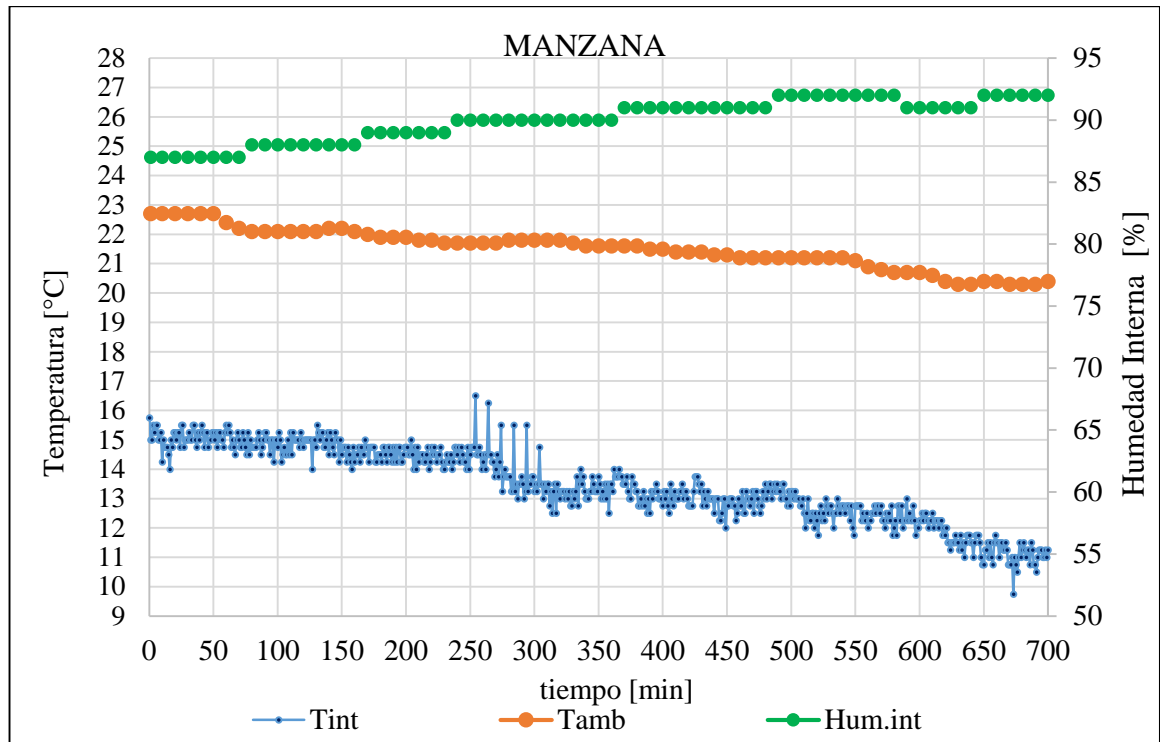
Tabla 13. Temperatura alimentos.

Alimento	Temperatura
Tomate chonto	22,8
Pera	22,6
Manzana Verde	22,6

Fuente: Elaboración propia

Para analizar el comportamiento de la temperatura en las noches, periodo del día que no se había tenido en cuenta en las pruebas anteriores, se realizó una medición de temperatura a la manzana dentro de la recamara central y los valores de esta se pueden apreciar en la figura 67.

Figura 67. Gráfica comportamiento de la temperatura de la manzana en la noche.



Fuente. Elaboración propia

Se puede notar una diferencia entre la temperatura de la manzana y la temperatura del medio ambiente de alrededor de 7°C al inicio de la prueba. Llegando sobre las 12 horas de prueba la temperatura disminuyó aproximadamente 11°C. Las manzanas se introdujeron al prototipo a las 8:00am para un total de 24 horas de prueba.

La humedad del recinto en la prueba mantiene valores constantes entre los 87 y 92 puntos porcentuales. Haciendo un paralelo se evidencia que la humedad va de manera creciente a medida que transcurre la noche, al contrario de la temperatura que va en disminución.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 ANÁLISIS PRUEBAS OPERACIONALES

La temperatura interna de la recámara es quizá el factor más importante para cumplir con el objetivo de preservar los alimentos, dicha se estudiará mediante el histograma de frecuencias, que es un método estadístico utilizado para representar en forma de barras la acumulación o tendencia posicional de una variable.

Teniendo en cuenta que este proyecto tiene trazados objetivos de temperatura entre los 15 y 20°C, el mencionado análisis estadístico servirá para plasmar la tendencia de la temperatura interna de la recámara (Tint) obtenida de las pruebas operacionales. Se realizó este estudio para cada día de prueba, como se muestra a continuación en las figuras 68, 69, 70 y 71, donde las barras azules representan la frecuencia simple y la trayectoria naranja la frecuencia acumulada.

Es válido aclarar que el rango de las siguientes gráficas es diferente porque este representa el tamaño de la muestra para cada día de prueba, el número de intervalos se calcula mediante la regla de Sturges que dice.

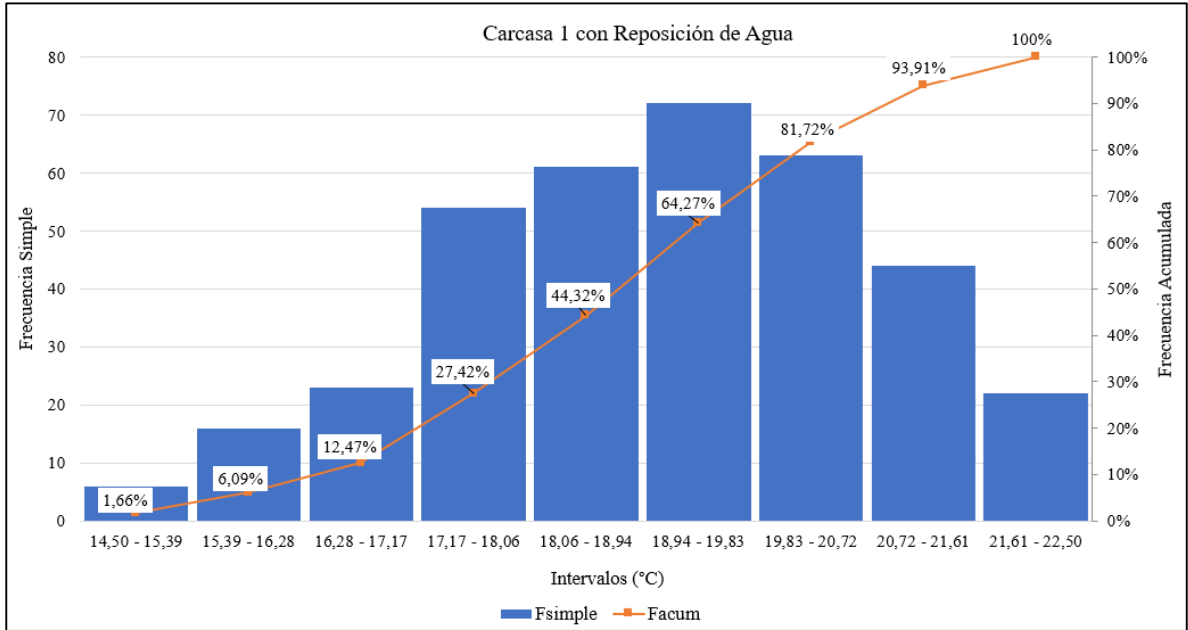
$$c = 1 + 3.32 * \log(M)$$

Donde:

- ✓ c: número de intervalos
- ✓ M: número de datos de la muestra

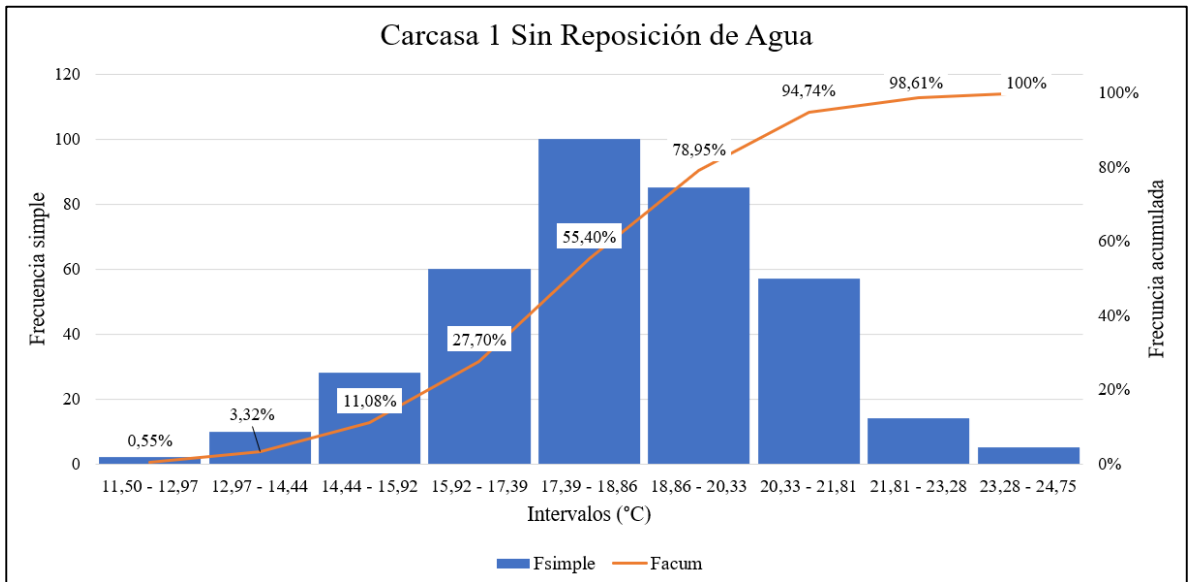
Se obtiene un total de nueve intervalos, teniendo en cuenta que para cada día de prueba la muestra fue de 131 datos.

Figura 68. Histograma carcasa de orificios grandes y reposición de agua.



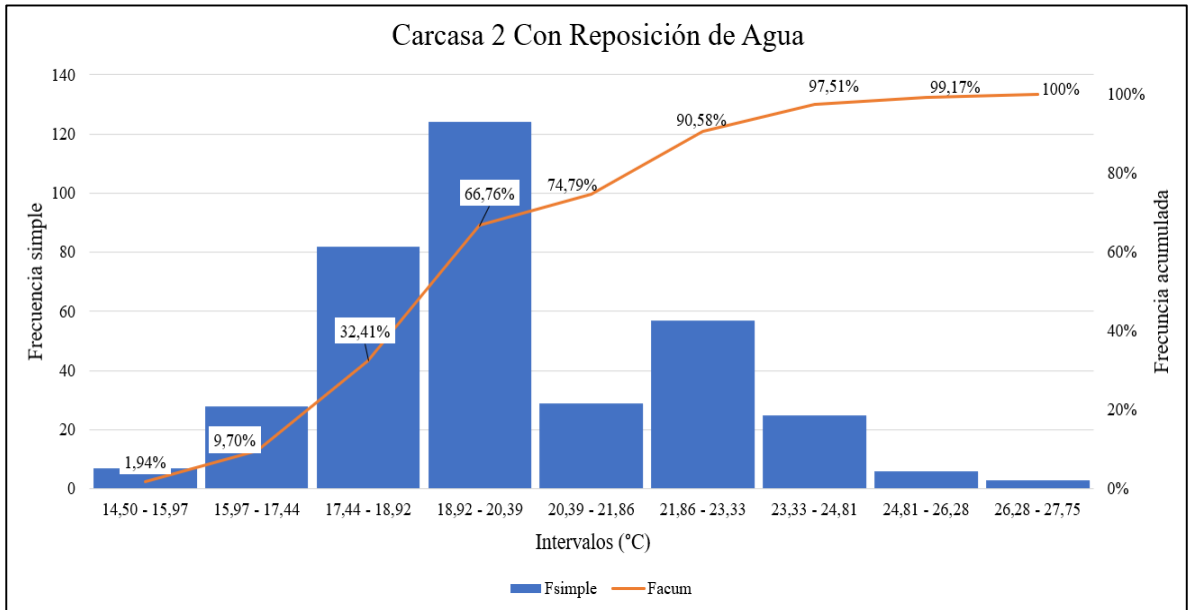
Fuente: Elaboración propia.

Figura 69. Histograma carcasa de menor área sin reposición de agua.



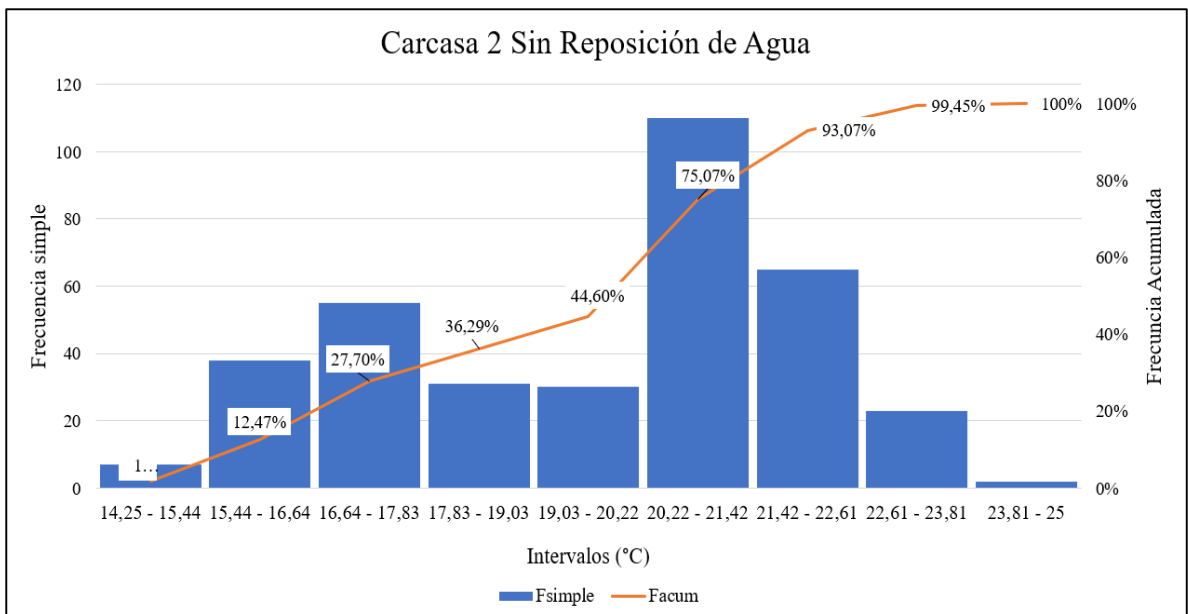
Fuente: Elaboración propia

Figura 70. Histograma carcasa de mayor área y reposición de agua.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 71. Histograma carcasa de mayor área sin reposición.



Fuente. Elaboración propia.

En correspondencia a las cuatro gráficas anteriores, se llamará efectividad a la frecuencia acumulada hasta 20°C. Se procedió a plasmar este valor para los 4 días de pruebas operacionales en la tabla 14. Cabe resaltar que a pesar de que los límites objetivos son de 15 y 20°C, todos los valores iguales o menores a 20°C son aceptables porque van en beneficio de los propósitos de este proyecto.

Tabla 14. Efectividad del prototipo según el diagrama de frecuencias.

	Reposición	Sin Reposición
Opción 1	70%	78%
Opción 2	62%	45%

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- ✓ **Día 1.** Opción 1 de carcasa con reposición de agua
- ✓ **Día 2.** Opción 1 de carcasa sin reposición de agua
- ✓ **Día 3.** Opción 2 de carcasa con reposición de agua
- ✓ **Día 4.** Opción 2 de carcasa sin reposición de agua

En referencia a la evaporación del agua presente en el volumen de arena, juega un papel importante en el cumplimiento de los objetivos, ya que esta es directamente proporcional a la tasa de calor retirado del mismo; es válido mencionar que la pérdida de agua es beneficiosa cuando se da principalmente por factores como

bajas temperaturas y humedad ambiental, en razón a que el proceso de evaporación estará más relacionado con el intercambio de humedad entre el relleno y el aire circundante y no precisamente al aumento de temperatura del agua del relleno. De los resultados de humedad obtenidos de las pruebas operacionales en la tabla 15 se expone el volumen de agua perdido durante el periodo de prueba en sus respectivos días.

Tabla 15. Pérdida de agua.

	Reposición	Sin Reposición
Opción 1	5,22 L	2,18 L
Opción 2	4,2 L	0,95 L

Fuente. Elaboración propia

Para las pruebas sin reposición el dispositivo sólo consumió los 7L de agua necesarios para saturar el relleno, mientras que para los días en que hubo reposición el dispositivo consumió hasta 13L.

No se consideraron a fondo los índices de velocidad del viento ya que fueron iguales para los 4 días de pruebas operacionales: en promedio 2,3 m/s. Finalmente se concluye que altas frecuencias de adición de agua generan efectos adversos en la refrigeración. Además, se sabe que la carcasa es de aluminio, un material que se caracteriza por ser buen conductor. En este orden de ideas, ante una alta incidencia solar y temperatura ambiente la carcasa va a concentrar altos valores de calor que harán calentar el prototipo en general.

8.2 ANALISIS PRUEBA FUNCIONAL CUALITATIVA

Con el propósito de expresar las diferencias cualitativas de los alimentos que se encontraban expuestos al medio ambiente y el situado en la recámara de la nevera, se realizó la siguiente tabla que muestra la duración sin descomposición de los alimentos con y sin usar el prototipo.

Tabla 16. Duración de los alimentos con y sin uso del prototipo.

Alimento	Duración con uso del prototipo	Duración con exposición al medio ambiente
Tomate chonto	21 días	7 días
Manzana verde	24 días	19 días
Pera	25 días	15 días

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente apartado se divulgarán las tablas comparativas, asignando valores a juicio propio, y una discusión de estas. Se propusieron comparativas de: color, dureza y olor, de cada uno de los 3 productos.

Tabla 17. Evaluación de productos sometidos al prototipo al cabo de 20 días.

Alimento	Color	Dureza	Olor
Tomate	5	4	4
Pera	4	4	4
Manzana	4	4	4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Evaluación de productos sometidos al medio circundante al cabo de 20 días.

Aspectos	Color	Dureza	Olor
Tomate	4	1	1
Pera	2	2	3
Manzana	2	2	3

Fuente: Elaboración propia

Con gran certeza se puede afirmar que el prototipo de nevera solar cumplió su función refrigerando y manteniendo los alimentos en un estado óptimo de color, dureza y olor para el consumo humano, gracias a las tablas comparativas mostradas anteriormente.

8.3 ANALISIS PRUEBA FUNCIONAL CUANTITATIVA

Con el propósito de obtener datos numéricos que certifiquen la remoción de calor de los alimentos, se realizó un cálculo de transferencia de calor con las ecuaciones usadas en el libro de transferencia de calor de Cengel.

$$Q = M_{manzana} * C_{pmanzana} * \Delta(T)$$

$$Q \cdot = \frac{Q}{Tiempo}$$

Tabla 19. Resultados obtenidos de la transferencia de calor.

Masa manzanas [kg]	Calor especifico manzana [KJ/Kg*K]	Temperatura Inicial [°C]	Temperatura Final [°C]	Calor retirado Q [KJ]	Tasa de calor Q* [W]
1,358	3,8	22,6	10,5	65,18	2,068

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizaron en la prueba 8 manzanas que pesaban 1,358 kg; el calor específico de la manzana se obtuvo de la tabla A7 del libro Cengel de transferencia de calor y el tiempo total en alcanzar la temperatura final fue de 24 horas. El valor numérico de la transferencia de calor no es elevado en comparación con los obtenidos en la literatura para un refrigerador conectado a energía eléctrica o energía solar y esto es debido a que el prototipo solo hace uso de la evaporación del agua, condiciones ambientales y capacidad refrigerativa del relleno para remover el calor necesario, manteniendo una cantidad de alimentos inferior a la que se maneja en los dispositivos mencionados anteriormente.

9. CONCLUSIONES

El prototipo de nevera solar se diseñó y construyó con el propósito de obtener beneficios en la conservación de alimentos, operando bajo el principio de enfriamiento evaporativo y expuesto al aire libre, aprovechando las condiciones medio ambientales (humedad, temperatura, velocidad del viento); La radiación solar juega un efecto adverso a los objetivos del proyecto.

El prototipo alcanza diferencias entre la temperatura ambiental y la temperatura de la recámara entre 5 y 17°C, validando de esta manera el fenómeno de enfriamiento evaporativo indirecto teniendo en cuenta que este método alcanza temperaturas menores a las de bulbo húmedo, esto es debido a las propiedades termo-físicas de la arena, el aluminio y el agua.

Según el análisis estadístico de frecuencia acumulada, la efectividad del prototipo es de 74% para la carcasa de menor área superficial y 54% para la de mayor área superficial, por lo que se comprueba que, con un área mayor del relleno de arena expuesta al ambiente, el prototipo tendrá un mejor desempeño refrigerativo. Considerando que se usará la carcasa de orificios grandes, la efectividad para esta fue mejor en un día donde no hubo reposición de agua.

Las pruebas funcionales confirmaron la capacidad conservativa y refrigerativa del prototipo, alcanzando una preservación de 1,3 a 3 veces más que la duración de los alimentos a la deriva del medio ambiente. Se infirió, debido al historial de temperaturas de la manzana registrado en horas de la noche, que el aire de la recámara central alcanzó menos de 10,5°C y mantuvo una humedad entre 88 y 92 puntos porcentuales.

El prototipo cumplió con los requerimientos de la comunidad, operacionales y funcionales; es importante resaltar que no fue necesaria la energía eléctrica para su operación.

10.RECOMENDACIONES

En los siguientes párrafos se expresarán los factores que van de la mano con el mejor desempeño del prototipo y su respectiva recomendación inferida gracias a las pruebas experimentales y en general al desarrollo de este proyecto.

Se puede aseverar según los historiales de temperatura que la radiación solar no juega a favor de los propósitos establecidos, pues en días de mucha incidencia de rayos solares, la temperatura interna de la recámara aumentaba considerablemente, por lo que se aconseja operar el prototipo bajo sombra.

Refiriéndose a la tasa de reposición de agua que requiere el prototipo para su buen desempeño, es importante recordar que lo mejores valores se obtuvieron cuando el dispositivo no contó con una frecuencia de reposición de agua, por lo que se recomienda agregarle una única vez hasta saturar la arena, preferiblemente en la mañana.

Para una mejor preservación de alimentos es de suma importancia eliminar el exceso de humedad (representado en gotas superficiales) de las frutas en el horario de la mañana, debido a que en el transcurso del día se alcanzan las temperaturas más altas dentro de la recámara central y este exceso puede generar malos olores y perjudicar la conservación.

Para futuros avances en el desarrollo y mejora de este prototipo se podría generar el gemelo virtual con el propósito de someterlo a las condiciones medioambientales de las posibles poblaciones objetivo de este proyecto, debido a que un cambio ambiental necesitaría posibles ajustes en la geometría estructural, dimensiones o relleno del dispositivo; cabe resaltar que este modelo virtual no fue realizado por la poca teoría de simulación sobre este tipo de procesos, además de no contar con una licencia profesional del software Ansys.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABIMBOLA, Suleiman y ADEYEMI, Kareem. Desarrollo y Evaluación del Rendimiento del Dispositivo de Enfriamiento Poit-in-pot para Llorin y su entorno. Journal of Research Information in Civil Engineering, 2018. vol.15.

ASHRAE. Heating, Ventilating and Air-Conditioning. Applications. SI ed. Ashrae, 2019.

BOM, Gert, *et al.* Evaporative Air-Conditioning. Applications for Environmentally Friendly Cooling. 1999.

BERNAL, Moisés, SOLANO, Favio E., Diseño y construcción de un prototipo de acondicionador de aire por desecación y refrigeración evaporativa, 2017.

BETHRAND NDUKA, Nwankwojike, *et al.* Mechanistic modeling of wáter replenishment rateo f zeer refrigerator. Nigeria: Departamento de ingeniería mecánica. 2017.

CENGEL, Yunus A. y BOLES, Michael A. Termodinámica. 5 ed. Mc Graw Hill, 2002.

CENGEL, Yunus A. y GHAJAR, Afshin J. Transferencia de calor y masa. 5 ed. Mc Graw Hill.

CENGEL, Yunus A. y GHAJAR, Afshin J. Transferencia de calor y masa. 4 ed. Mc Graw Hill.

CLISOST. ¿Cómo funciona el enfriamiento evaporativo directo? [Sitio web]. [Consulta: 4 de diciembre 2020]. Disponible en: <https://clisost.com/como-funciona-el-enfriamiento-evaporativo-directo-ee/>

EMILY CUMMINS [Sitio web]. Inglaterra. [Consulta: noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.emilycummins.co.uk/>

ERICE, Daniel Sebastian. Frigorífico: Como mejorar el mecanismo de un botijo. 2009, disponible en: <http://www.caosyciencia.com/ideas/articulo.php?id=091209>

Informe socio económico departamento de la Guajira 2019 [en línea]. Colombia: Cámara de la Guajira. [Fecha de consulta: noviembre 2020] disponible en: <https://www.camaraguajira.org/nosotros/informe-socioeconomico-departamento-de-la-guajira/636-informe-socio-economico-de-la-guajira-2019.html>

Sears, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Freedman, R.A. (2013). Física Universitaria. Volumen I. Décimo tercera edición. México: Pearson Education. p. 565.

TERMOTÉCNICA PERICOLI. Enfriamiento Evaporativo. [Sitio web]. [Consulta: 4 de diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.pericoli.com/ES/news/116/Enfriamiento-evaporativo.html>

Un botijo frigorífico para que las niñas de Nigeria puedan ir a la escuela [en línea]. Madrid, 2018. Disponible en: <https://blogdelagua.com/actualidad/un-botijo-frigorifico-para-que-las-ninas-de-nigeria-puedan-ir-a-la-escuela/>

VERPLOEGEN, Eric. Producing and using evaporative cooling chambers and clay pot coolers, 2018.

ZUBIZARRETA, J. Ignacio y PINTO, Gabriel. An ancient method for cooling water explained by mass and heat transfer. Universidad Politécnica de Madrid, 1995.

Anexo A. Código de medición

```
#include "max6675.h"

float temperatura=0; //Se crea una variable flotante para almacenar la temperatura

//Se definen los pines a usar para conectar el modulo MAX6675

int ktcSO = 11;
int ktcCS = 12;
int ktcCLK = 13;

MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(1000);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  //temperatura=ktc.readCelsius();
  //temperatura=ktc.readFahrenheit();
  int H1=humedad(A0);
  int H2=humedad(A1);
  int H3=humedad(A2);
  int H4=humedad(A3);
  int H5=humedad(A4);
  int H6=humedad(A5);
  int H7=humedad(A6);
  int H8=humedad(A7);
  int H9=humedad(A8);
  int H10=humedad(A9);
}
```

```

int H11=humedad(A10);
int H12=humedad(A11);

// Serial.print("H1:");
Serial.print(H1);
Serial.print(",");
// Serial.print("H2:");
Serial.print(H2);
Serial.print(",");
//Serial.print("H3:");
Serial.print(H3);
Serial.print(",");
//Serial.print("H4:");
Serial.print(H4);
Serial.print(",");
//Serial.print("H5:");
Serial.print(H5);
Serial.print(",");
//Serial.print("H6:");
Serial.print(H6);
Serial.print(",");
//Serial.print("H7:");
Serial.print(H7);
Serial.print(",");
//Serial.print("H8:");
Serial.print(H8);
Serial.print(",");
//Serial.print("H9:");
Serial.print(H9);
Serial.print(",");

```

```

Serial.print(H10);
Serial.print(",");
| //Serial.print("H8:");
Serial.print(H11);
Serial.print(",");
| | //Serial.print("H9:");
Serial.print(H12);
Serial.print(",");
Serial.print(temperatura);
Serial.println(";");

```

```

delay(60000);

```

```

}

```

```

int humedad(int A ){
    int lectura1 = analogRead(A);
    // delay(1000);
    int lectura1Porcentaje = map(lectura1, 1023, 0, 0, 100);
    return lectura1Porcentaje;
}

```

```

1  from serialToExcel import SerialToExcel
2
3  serialToExcel = SerialToExcel("COM7",115200)
4
5
6  columnas = ["H1","H2","H3","H4","H5","H6","H7","H8","H9","H10","H11","H12","temp"]
7
8  serialToExcel.setColumns(["H1","H2","H3","H4","H5","H6","H7","H8","H9","H10","H11","H12","temp"])
9  serialToExcel.setRecordsNumber(10800)
10 serialToExcel.readPort()
11
12
13 serialToExcel.writeFile("prueba_medicion48.xls")

```

Fuente: Elaboración propia

Anexo B. Ficha técnica termohigrometro digital



TERMOHIGRÓMETRO DIGITAL
Con sensor externo
REF. TA318

FICHA TÉCNICA



Marca	KTJ
Uso	Ambiental (IN) Sensor externo (OUT) Congelación - Refrigeración Cuartos fríos - Neveras
Intervalo Temperatura (IN)	0 °C a 50 °C - Resolución 0.1 °C
Intervalo Temperatura de Sensor Externo (OUT)	-50 °C a 70 °C - Resolución 0.1 °C
Intervalo Humedad Relativa	25 %HR a 98 %HR – Resolución 1 %HR
Largo del cable (sensor fijo)	148 cm
Tamaño del instrumento	125mm x 70mm x 18mm
Tamaño de los números	17mm
Selector	°C / °F
Exactitud	+/- 1.0 °C +/- 5 %HR
Alimentación	1 batería "AAA" (incluida)
Fijación	Orificio al respaldo para ser colgado o soporte para sobreponer.
Display	Grande y de fácil lectura

Cra. 13 // 63 - 21 Oficina 516
 (1) 9277512
 3196870894
 Visitenos en www.mintek.com
 Contáctenos: contacto@mintek.com - contacto.mintek@gmail.com

Fuente: https://0201.nccdn.net/4_2/000/000/071/260/Ficha-t--cnica---REF.-TA318.pdf

Anexo C. Ficha técnica termo cupla tipo K.

19-2235; Rev 1; 3/02

MAXIM

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Features

- ◆ Direct Digital Conversion of Type -K Thermocouple Output
- ◆ Cold-Junction Compensation
- ◆ Simple SPI-Compatible Serial Interface
- ◆ 12-Bit, 0.25°C Resolution
- ◆ Open Thermocouple Detection

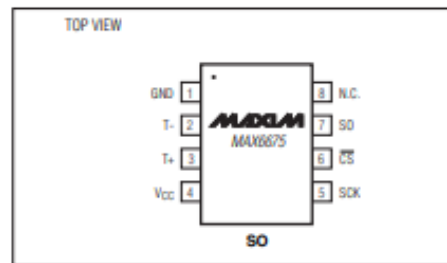
Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Applications

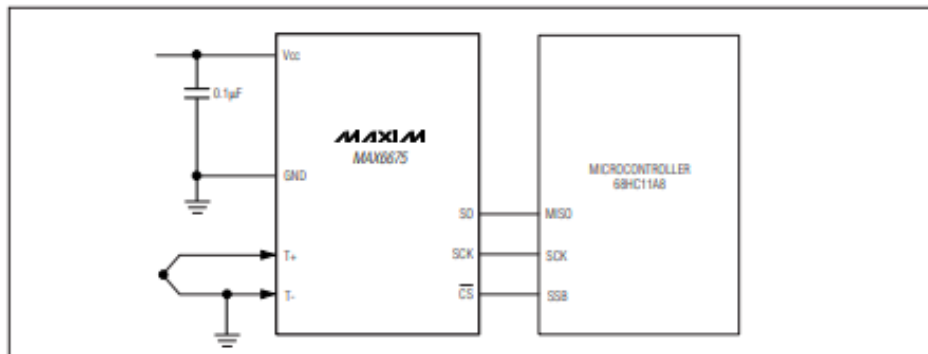
Industrial
Appliances
HVAC
Automotive

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit



MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V _{CC} to GND)	-0.3V to +6V	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
SO, SCK, CS, T-, T+ to GND	-0.3V to V _{CC} + 0.3V	Junction Temperature	+150°C
SO Current	50mA	SO Package	
ESD Protection (Human Body Model)	±2000V	Vapor Phase (60s)	+215°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		Infrared (15s)	+220°C
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C)	471mW	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Operating Temperature Range	-20°C to +85°C		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Error		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-5	+5	LSB
			V _{CC} = +5V	-6	+6	
		T _{THERMOCOUPLE} = 0°C to +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-8	+8	
			V _{CC} = +5V	-9	+9	
T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1000°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-17	+17			
	V _{CC} = +5V	-19	+19			
Thermocouple Conversion Constant				10.25		μV/LSB
Cold-Junction Compensation Error		T _A = -20°C to +85°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-3.0	+3.0	°C
			V _{CC} = +5V	-3.0	+3.0	
Resolution				0.25		°C
Thermocouple Input Impedance				60		kΩ
Supply Voltage	V _{CC}		3.0		5.5	V
Supply Current	I _{CC}			0.7	1.5	mA
Power-On Reset Threshold		V _{CC} rising	1	2	2.5	V
Power-On Reset Hysteresis				50		mV
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s
SERIAL INTERFACE						
Input Low Voltage	V _{IL}				0.3 x V _{CC}	V
Input High Voltage	V _{IH}		0.7 x V _{CC}			V
Input Leakage Current	I _{LEAK}	V _{IN} = GND or V _{CC}			±5	μA
Input Capacitance	C _{IN}			5		pF

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

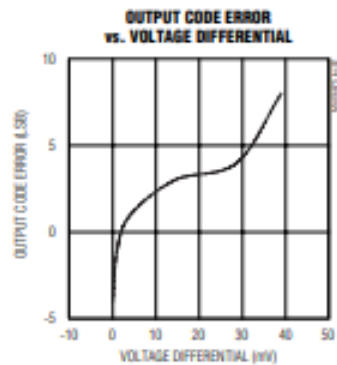
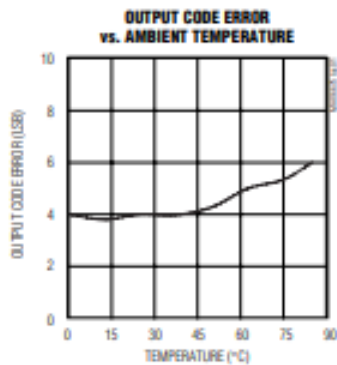
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output High Voltage	V _{OH}	I _{SOURCE} = 1.6mA	V _{CC} - 0.4			V
Output Low Voltage	V _{OL}	I _{SINK} = 1.6mA			0.4	V
TIMING						
Serial Clock Frequency	f _{SCL}				4.3	MHz
SCK Pulse High Width	t _{CH}		100			ns
SCK Pulse Low Width	t _{CL}		100			ns
CSB Fall to SCK Rise	t _{CSS}	C _L = 10pF	100			ns
CSB Fall to Output Enable	t _{OV}	C _L = 10pF			100	ns
CSB Rise to Output Disable	t _{TR}	C _L = 10pF			100	ns
SCK Fall to Output Data Valid	t _{OO}	C _L = 10pF			100	ns

Note 1: All specifications are 100% tested at T_A = +25°C. Specification limits over temperature (T_A = T_{MIN} to T_{MAX}) are guaranteed by design and characterization, not production tested.

Note 2: Guaranteed by design. Not production tested.

Typical Operating Characteristics

(V_{CC} = +3.3V, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)



Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	GND	Ground
2	T-	Alumel Lead of Type-K Thermocouple. Should be connected to ground externally.
3	T+	Chromel Lead of Type-K Thermocouple
4	VCC	Positive Supply. Bypass with a 0.1µF capacitor to GND.
5	SCK	Serial Clock Input
6	\overline{CS}	Chip Select. Set \overline{CS} low to enable the serial interface.
7	SO	Serial Data Output
8	N.C.	No Connection

Detailed Description

The MAX6675 is a sophisticated thermocouple-to-digital converter with a built-in 12-bit analog-to-digital converter (ADC). The MAX6675 also contains cold-junction compensation sensing and correction, a digital controller, an SPI-compatible interface, and associated control logic.

The MAX6675 is designed to work in conjunction with an external microcontroller (µC) or other intelligence in thermostatic, process-control, or monitoring applications.

Temperature Conversion

The MAX6675 includes signal-conditioning hardware to convert the thermocouple's signal into a voltage compatible with the input channels of the ADC. The T+ and T- inputs connect to internal circuitry that reduces the introduction of noise errors from the thermocouple wires.

Before converting the thermoelectric voltages into equivalent temperature values, it is necessary to compensate for the difference between the thermocouple cold-junction side (MAX6675 ambient temperature) and a 0°C virtual reference. For a type-K thermocouple, the voltage changes by 41µV/°C, which approximates the thermocouple characteristic with the following linear equation:

$$V_{OUT} = (41\mu V / ^\circ C) \times (T_R - T_{AMB})$$

Where:

V_{OUT} is the thermocouple output voltage (µV).

T_R is the temperature of the remote thermocouple junction (°C).

T_{AMB} is the ambient temperature (°C).

Cold-Junction Compensation

The function of the thermocouple is to sense a difference in temperature between two ends of the thermocouple wires. The thermocouple's hot junction can be read from 0°C to +1023.75°C. The cold end (ambient temperature of the board on which the MAX6675 is mounted) can only range from -20°C to +85°C. While the temperature at the cold end fluctuates, the MAX6675 continues to accurately sense the temperature difference at the opposite end.

The MAX6675 senses and corrects for the changes in the ambient temperature with cold-junction compensation. The device converts the ambient temperature reading into a voltage using a temperature-sensing diode. To make the actual thermocouple temperature measurement, the MAX6675 measures the voltage from the thermocouple's output and from the sensing diode. The device's internal circuitry passes the diode's voltage (sensing ambient temperature) and thermocouple voltage (sensing remote temperature minus ambient temperature) to the conversion function stored in the ADC to calculate the thermocouple's hot-junction temperature.

Optimal performance from the MAX6675 is achieved when the thermocouple cold junction and the MAX6675 are at the same temperature. Avoid placing heat-generating devices or components near the MAX6675 because this may produce cold-junction-related errors.

Digitization

The ADC adds the cold-junction diode measurement with the amplified thermocouple voltage and reads out the 12-bit result onto the SO pin. A sequence of all zeros means the thermocouple reading is 0°C. A sequence of all ones means the thermocouple reading is +1023.75°C.

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

Applications Information

Serial Interface

The *Typical Application Circuit* shows the MAX6675 interfaced with a microcontroller. In this example, the MAX6675 processes the reading from the thermocouple and transmits the data through a serial interface. Force \overline{CS} low and apply a clock signal at SCK to read the results at SO. Forcing \overline{CS} low immediately stops any conversion process. Initiate a new conversion process by forcing \overline{CS} high.

Force \overline{CS} low to output the first bit on the SO pin. A complete serial interface read requires 16 clock cycles. Read the 16 output bits on the falling edge of the clock. The first bit, D15, is a dummy sign bit and is always zero. Bits D14–D3 contain the converted temperature in the order of MSB to LSB. Bit D2 is normally low and goes high when the thermocouple input is open. D1 is low to provide a device ID for the MAX6675 and bit D0 is three-state.

Figure 1a is the serial interface protocol and Figure 1b shows the serial interface timing. Figure 2 is the SO output.

Open Thermocouple

Bit D2 is normally low and goes high if the thermocouple input is open. In order to allow the operation of the open thermocouple detector, T- must be grounded. Make the ground connection as close to the GND pin as possible.

Noise Considerations

The accuracy of the MAX6675 is susceptible to power-supply coupled noise. The effects of power-supply noise can be minimized by placing a 0.1 μ F ceramic bypass capacitor close to the supply pin of the device.

Thermal Considerations

Self-heating degrades the temperature measurement accuracy of the MAX6675 in some applications. The magnitude of the temperature errors depends on the thermal conductivity of the MAX6675 package, the

mounting technique, and the effects of airflow. Use a large ground plane to improve the temperature measurement accuracy of the MAX6675.

The accuracy of a thermocouple system can also be improved by following these precautions:

- Use the largest wire possible that does not shunt heat away from the measurement area.
- If small wire is required, use it only in the region of the measurement and use extension wire for the region with no temperature gradient.
- Avoid mechanical stress and vibration, which could strain the wires.
- When using long thermocouple wires, use a twisted-pair extension wire.
- Avoid steep temperature gradients.
- Try to use the thermocouple wire well within its temperature rating.
- Use the proper sheathing material in hostile environments to protect the thermocouple wire.
- Use extension wire only at low temperatures and only in regions of small gradients.
- Keep an event log and a continuous record of thermocouple resistance.

Reducing Effects of Pick-Up Noise

The input amplifier (A1) is a low-noise amplifier designed to enable high-precision input sensing. Keep the thermocouple and connecting wires away from electrical noise sources.

Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 6720

PROCESS: BiCMOS

MAXIM

5

Fuente: <https://www.maximintegrated.com/en/products/sensors/MAX6674.html>

Anexo D. Ficha técnica anemómetro

UT363

Mini Anemometers

Operating Instruction

1. Introduction

UT363 is a stable, safe, reliable mini digital anemometer, widely used in mining, electric, iron and steel, petrochemical, energy-saving, navigation, fan manufacturing, exhaust ventilation, sporting and many more industries.

This operating manual includes relevant safety information and warnings. Please read this manual carefully and observe all the cautions strictly.

⚠ Warning:

Before using the product, please read the operation safety rules carefully.

2. Out of the Box

Open the packing box and take out the meter. Please check carefully if any items below are missing or damaged.

1. Main unit -----1
2. Blister-----1
3. Operating manual-----1

3. Operation Safety

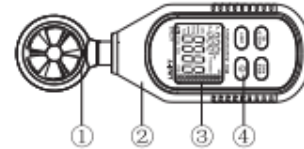
1. Please check the meter and the accessories before using and beware of any damage or abnormal phenomenon. If you find the case is damaged or the LCD shows nothing, or you consider that the meter could not work properly anymore, please stop using it.
2. Observe the operating instructions while measuring.
3. Do not open the meter at will or change internal wiring to avoid damages to the meter.
4. When the LCD displays "b", replace the battery timely. Remove the battery if the meter is not used for a long time.
5. Do not store or use the meter in high temperature, high humidity, flammable, combustible, or strong electromagnetic environment.
6. Please use soft cloth and neutral detergent to clean the case for maintenance. Do not use grinding agent and solvent to avoid case corrosion and damaging the meter.

⚠ Warning:

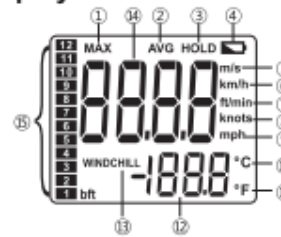
Based on the principle of magnetic induction wind speed measurement, the product may be subject to interference under strong battery radiation condition. Please stay from those conditions as far as possible.

4. Product Outlook

1	Vane	2	Meter
3	LCD display	4	Function keys



5. Display Interface



1	Maximum measurement	2	Average value
3	Data hold	4	Low battery
5	m/s	6	km/h
7	ft/min	8	Knots
9	Mph	10	Celsius
11	Fahrenheit	12	Temperature value
13	Wind chill notification	14	Wind speed value
15	Beaufort scale		

6. Key functions and setup

1. ON/OFF:

Short press once to start up; short press again to power off.

Note: Product's auto power off feature can be disabled: Press and hold "HOLD" and then press "ON/OFF" key to enable/disable auto power off, LCD will display "APO OFF" to indicate status.

2. UNIT: Unit conversion key:

Short press this key and the wind speed value cycles m/s, km/h, ft/min, knots, and mph. Long press this key and the temperature unit changes between °C and °F.

3. MAX/AVG:

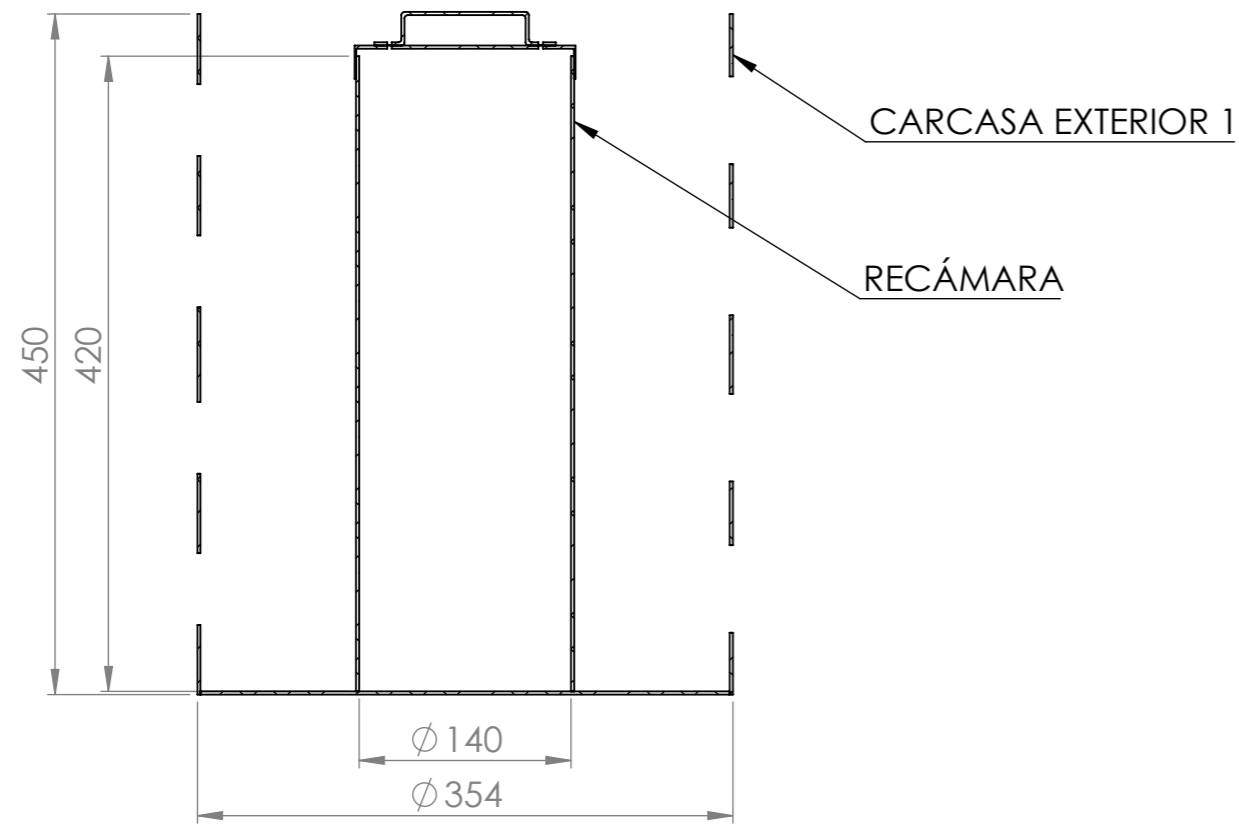
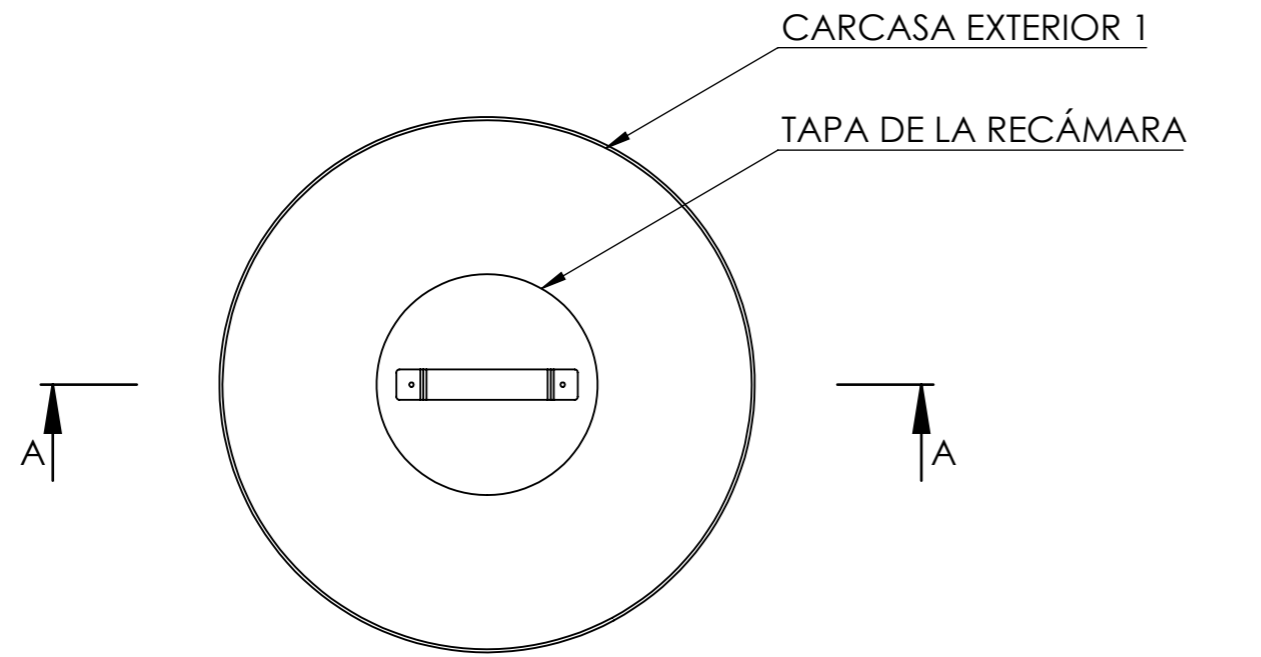
Pressing this key can select maximum, average and normal value measurement; select maximum and the meter will always show the maximum reading; select average and the meter will always show the average reading.

4. HOLD/BL:

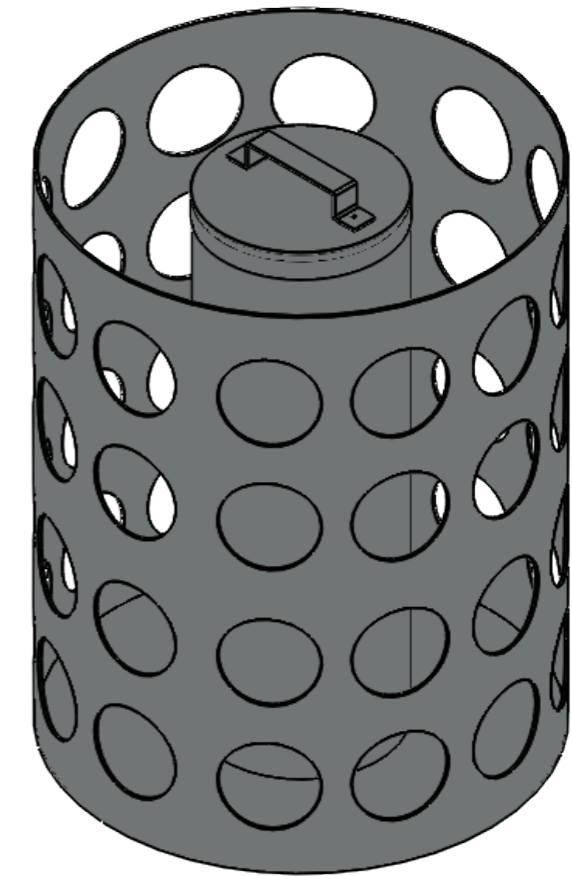
HOLD: Short press this key once to hold the measurement; short press this key again to exit data hold and continue normal measurement.

BL: Long press this key to turn on backlight; long press this key again to turn off backlight.

Fuente: <https://www.uni-trend.com/uploadfile/cloud/English%20manual/Environmental%20Testers/UT363-English-Manual.pdf> <https://www.uni-trend.com/uploadfile/cloud/English%20manual/Environmental%20Testers/UT363-English-Manual.pdf>

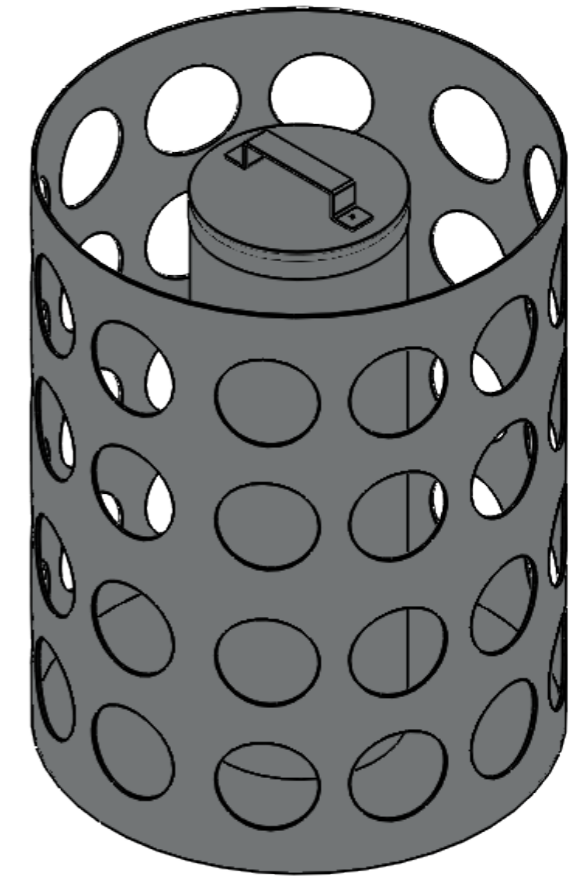
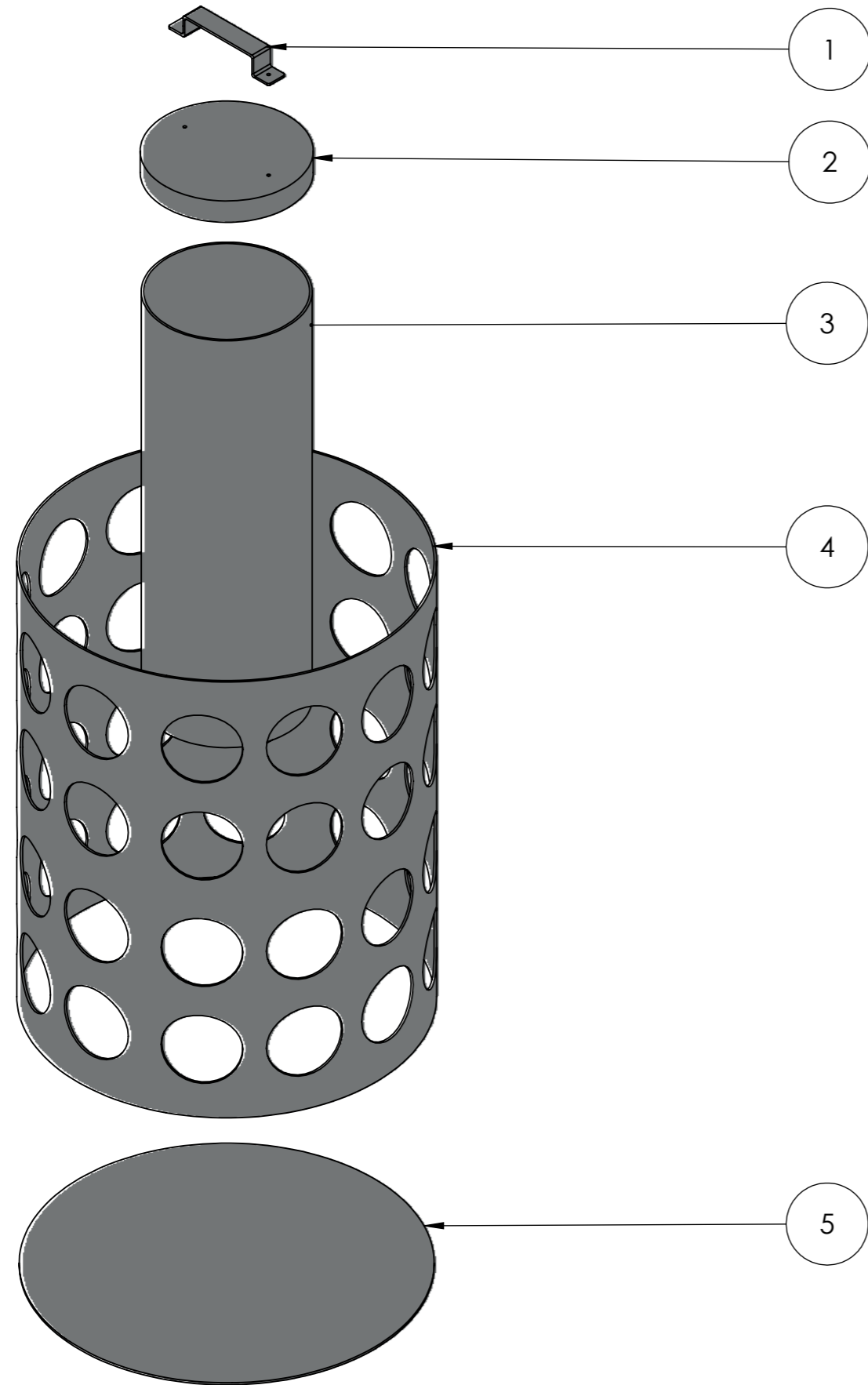


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

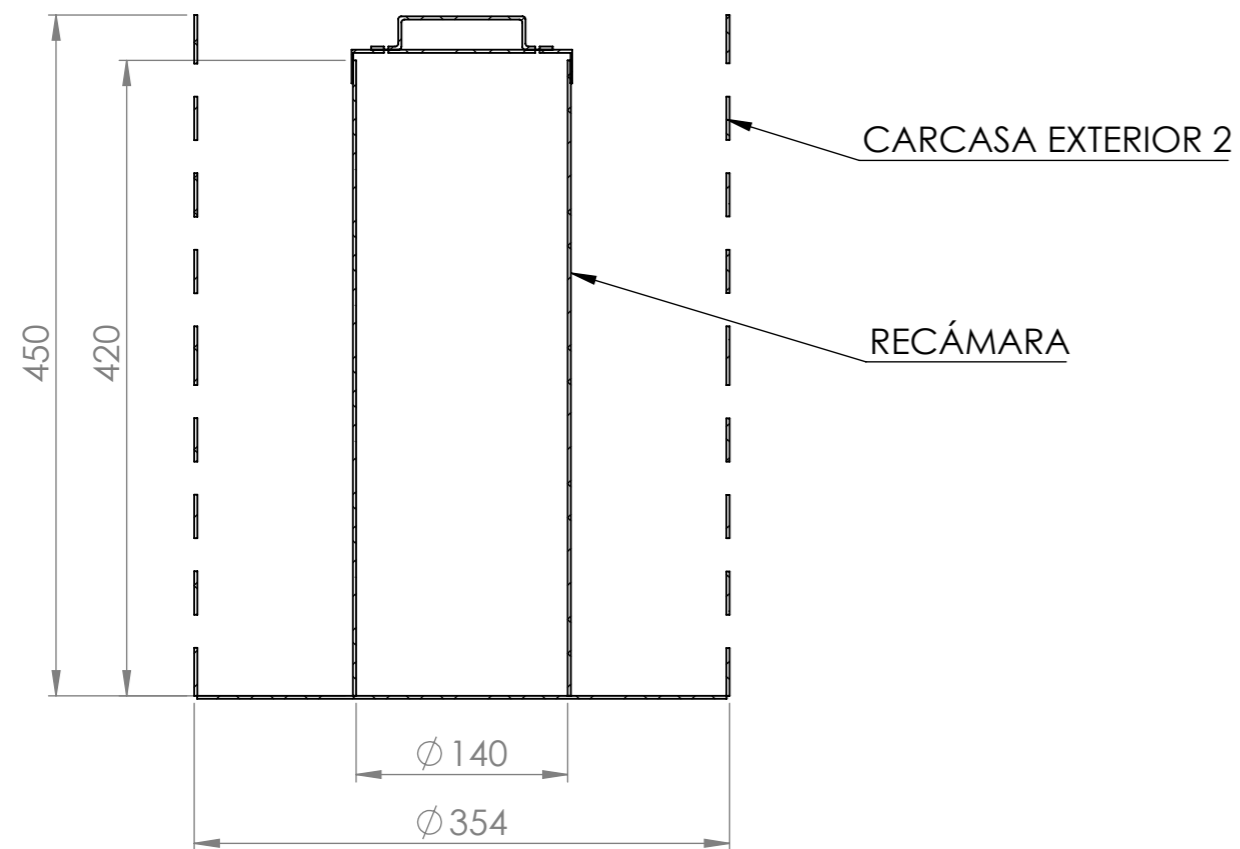
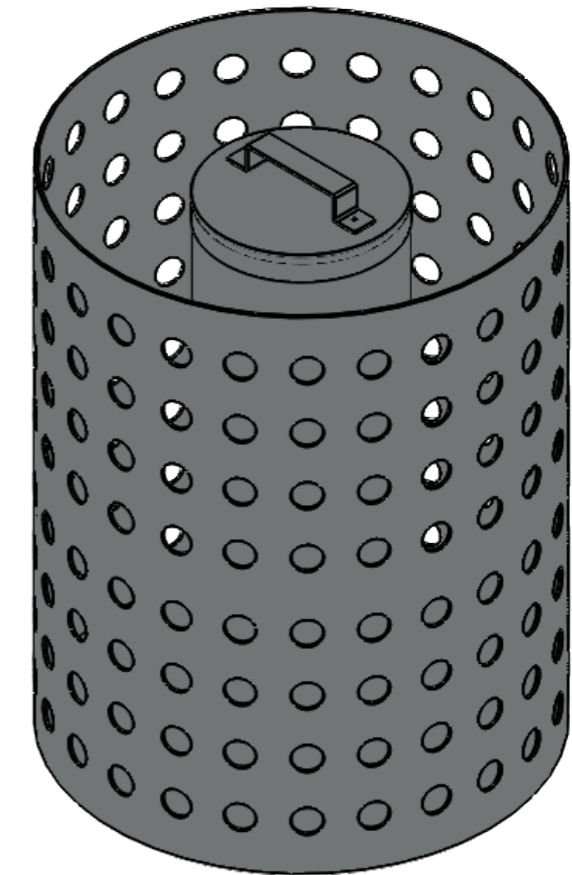
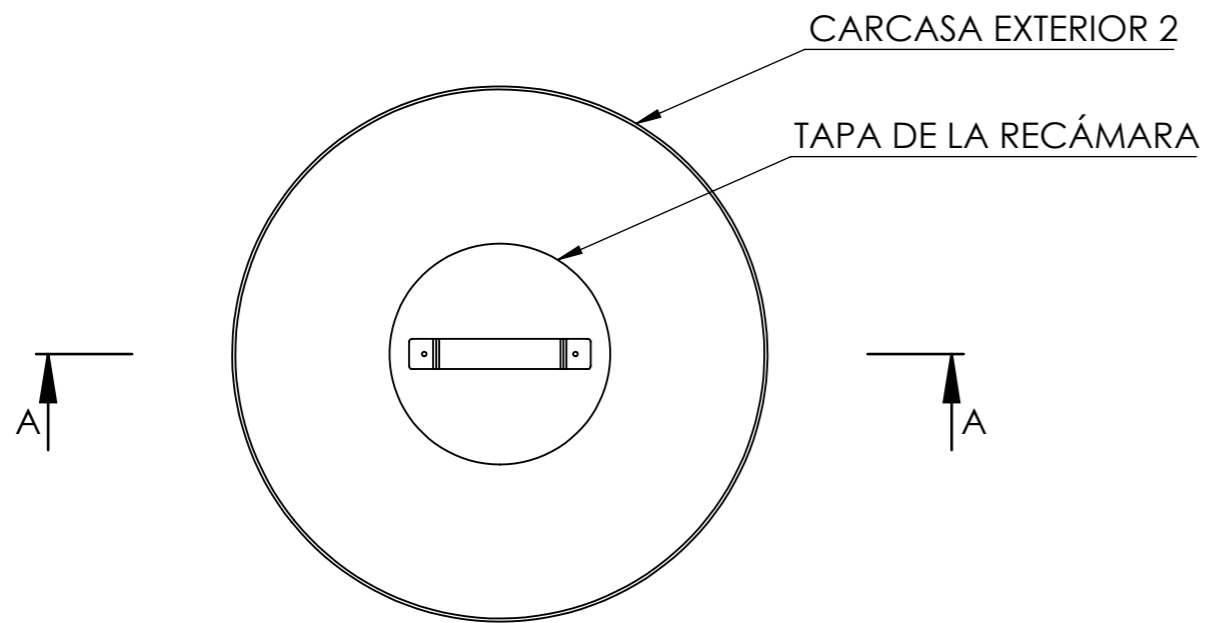


CADA ELEMENTO ES DE ALUMINIO 1060 CALIBRE 14

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 11/01/22		TITULO: PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR EMSAMBLE COMPLETO OPCIÓN DE CARCASA 1	
ESCALA: 1:5		AUTOR: CARLOS GUERRERO, WILLIAM LARROTA	
UNIDADES: mm		REVISAR: CALIFICADORES DE PROYECTO	
A3			HOJA 1/1



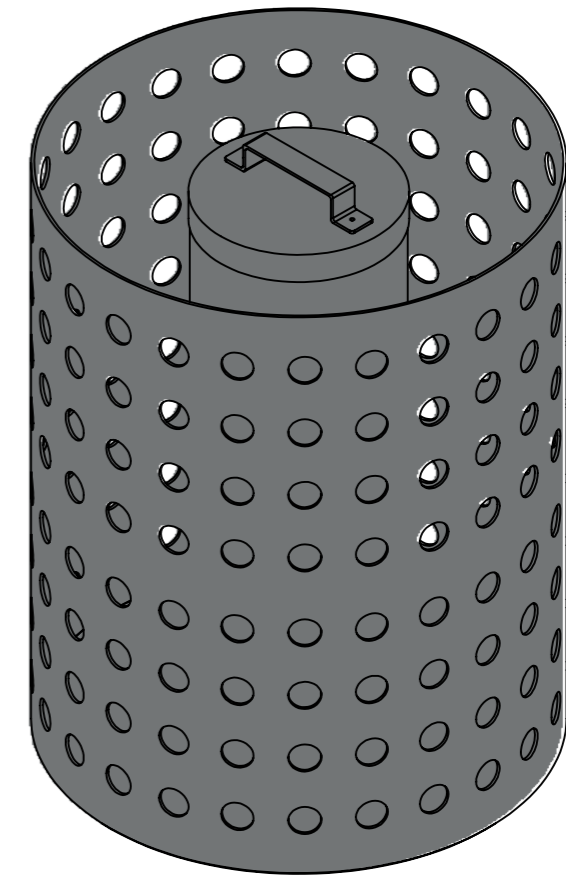
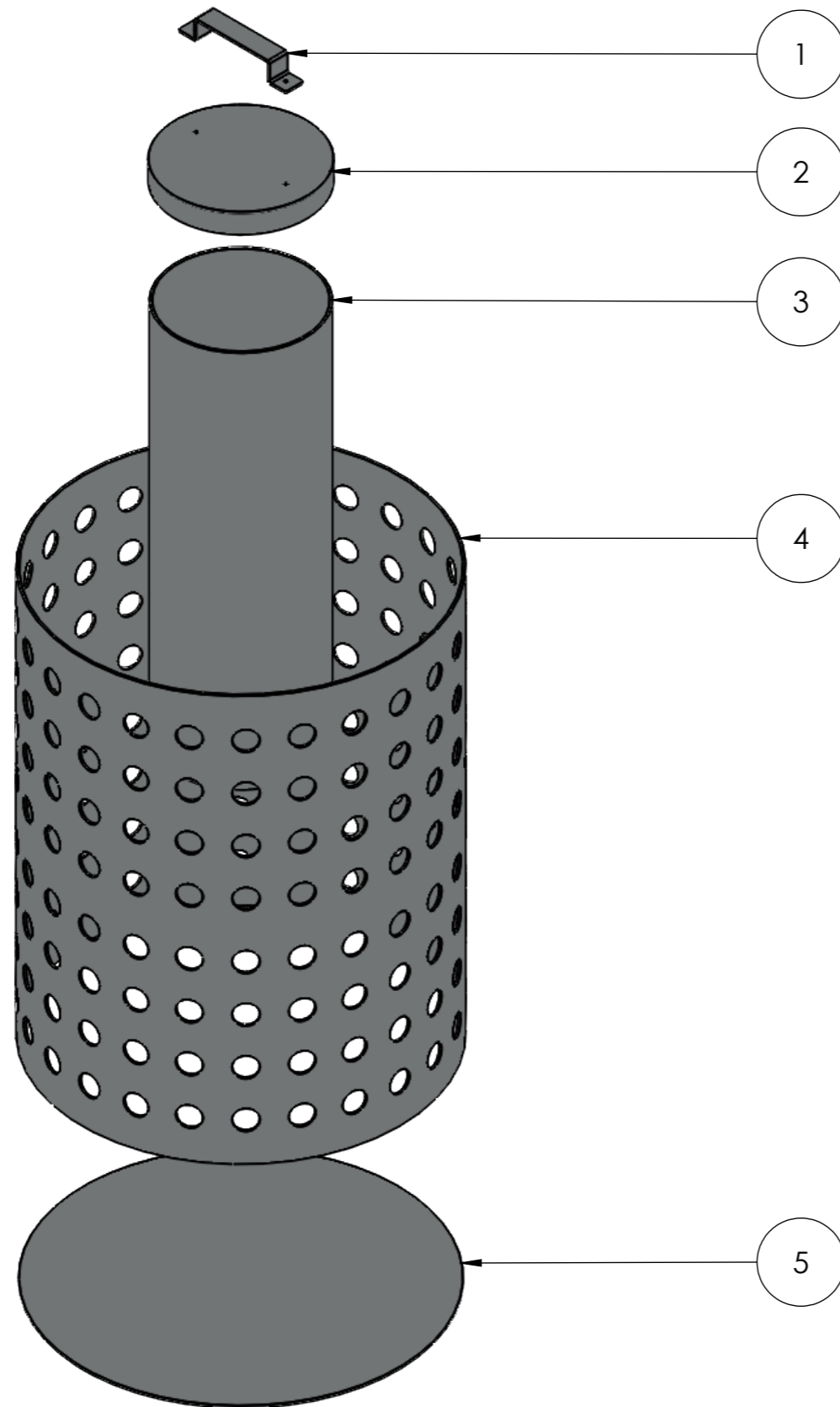
1	AGARRADERA
2	TAPA DE LA RECÁMARA
3	RECÁMARA
4	CARCASA EXTERNA, OPCIÓN 1
5	CUBIERTA INFERIOR
  UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 11/01/22	TITULO: PLANO EXPLOSIONADO DEL PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR CON LA OPCIÓN 1 DE CARCASA
ESCALA: 1:5	AUTOR: CARLOS GUERRERO, WILLIAM LARROTA
UNIDADES: mm	REVISAR: CALIFICADORES DE PROYECTO
A3	HOJA 1/1



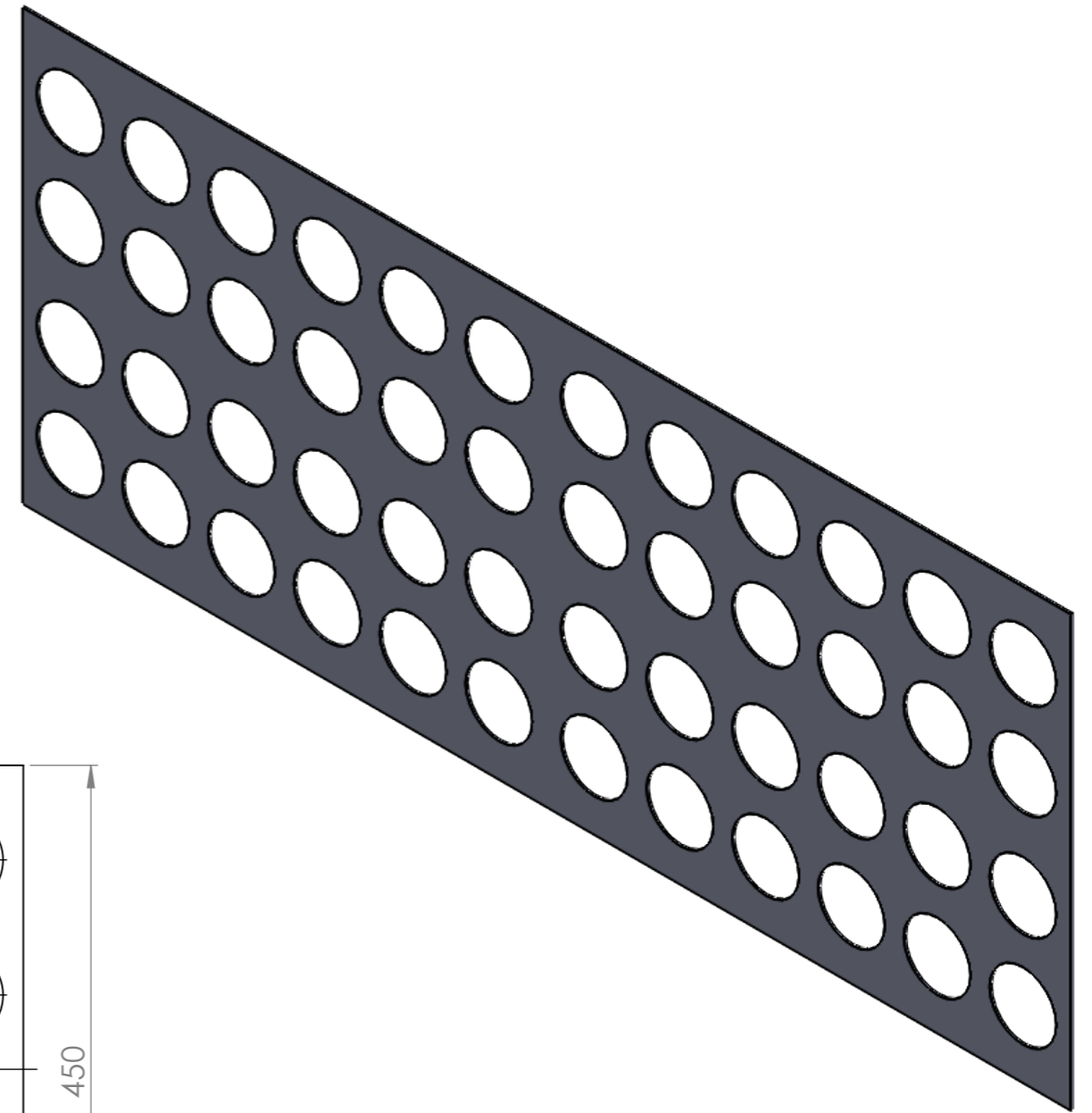
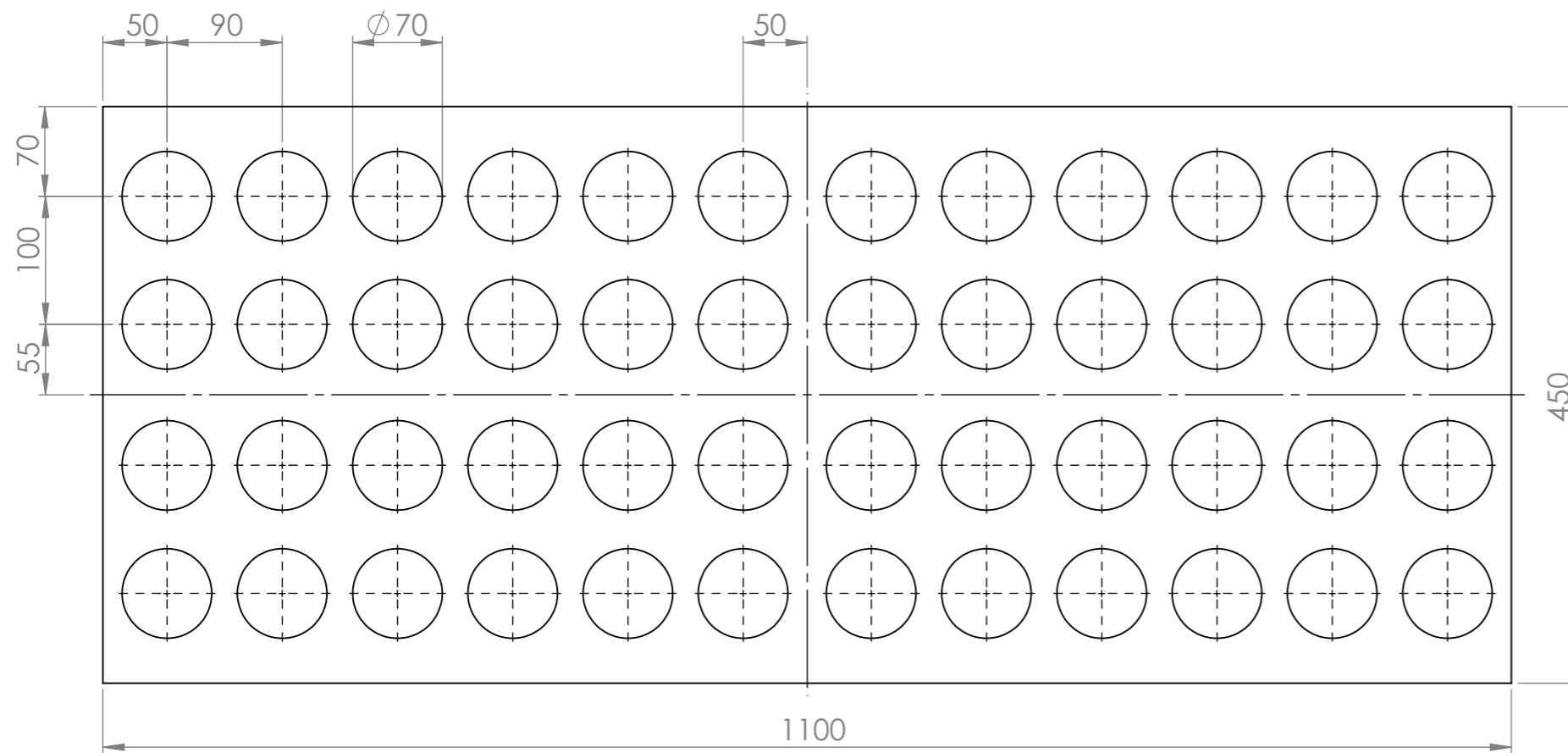
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

CADA ELEMENTE ES DE ALUMINO 1060

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 11/01/22		TITULO: PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR ENSAMBLE COMPLETO OPCIÓN DE CARCASA 2	
ESCALA: 1:5		AUTOR: CARLOS GUERRERO, WILLIAM LARROTA	
UNIDADES: mm		REVISAR: CALIFICADORES DEL PROYECTO	
A3			HOJA 1/1



1	AGARRADERA
2	TAPA DE LA RECÁMARA
3	RECÁMARA
4	CARCASA EXTERNA, OPCIÓN 2
5	CUBIERTA INFERIOR
FECHA: 11/01/22	TITULO: PLANO EXPLOSIONADO DEL PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR CON LA OPCIÓN DE CARCASA 2
ESCALA: 1:5	AUTOR: CARLOS GUERRERO, WILLIAM LARROTA
UNIDADES: mm	REVIS: CALIFICADORES DE PROYECTO
A3	HOJA 1/1



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

LÁMINA DE ALUMINIO 1060 DE ESPESOR 2,1 mm (CALIBRE 14) SOMETIDA A UN PROCESO DE EXTRUSIÓN DE 48 ORIFICIOS CIRCULARES DE 70 mm DE DIAMETRO Y POSTERIORMENTE A UN PROCESO DE CILINDRADA PARA LA CONFORMACIÓN DE LA OPCIÓN 1 DE CARCASA PARA EL PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 11/01/22

ESCALA: 1:5

UNIDADES: mm

A3



TITULO: PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR
PLANO FRONTAL DE LÁMINA PARA LA OPCIÓN DE CARCASA 1

AUTOR: CARLOS GUERRERO, WILLIAM LARROTA

REVIS: CALIFICADORES DE PROYECTO

HOJA 1/1

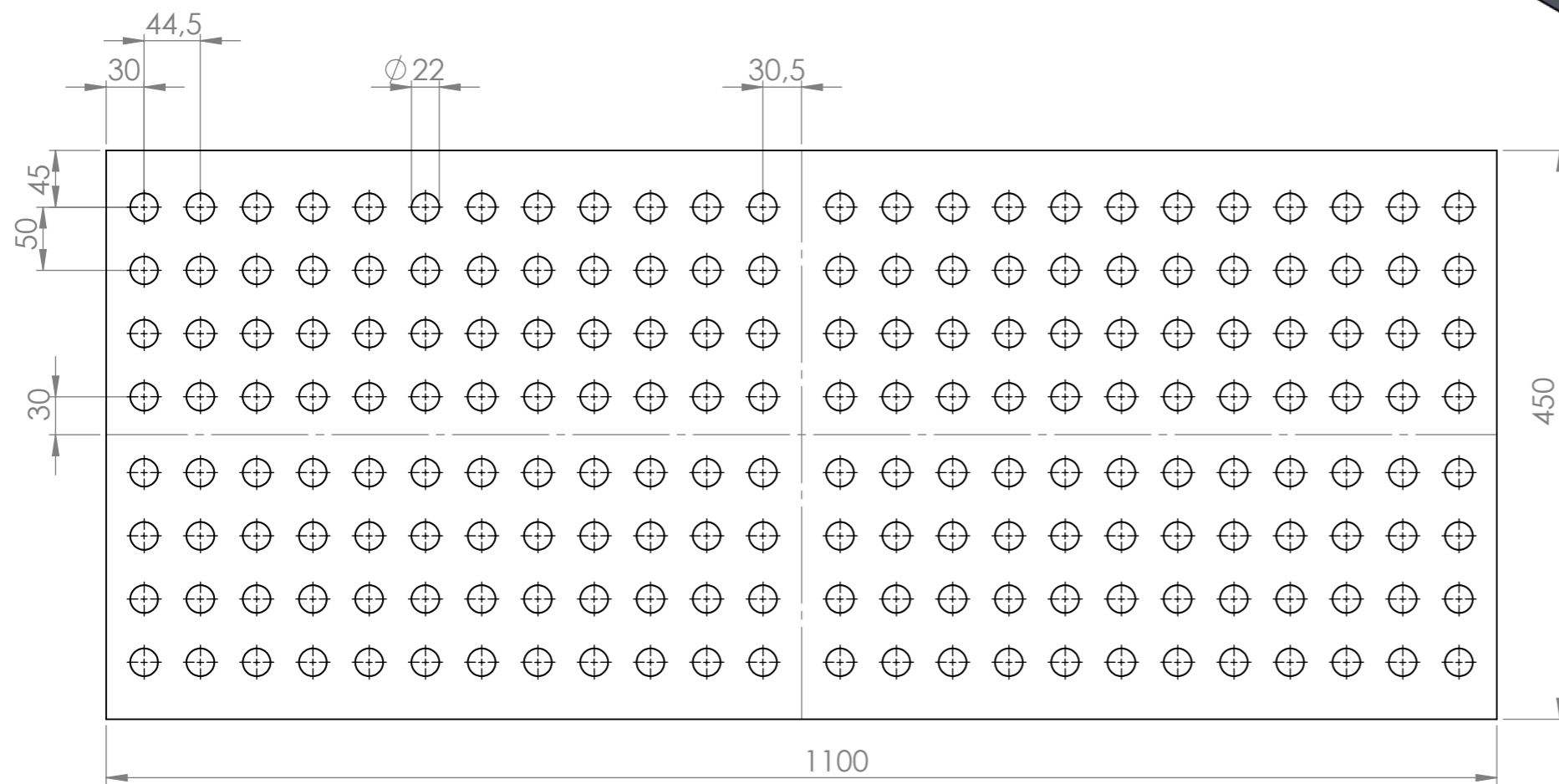


LÁMINA DE ALUMINIO 1060 DE ESPESOR 2.1 mm (CALIBRE 14) SOMETIDA A UN PROCESO DE EXTRUSIÓN DE 192 ORIFICIOS CIRCULARES DE 22 mm DE DIAMETRO Y POSTERIORMENTE A UN PROCESO DE CILINDRADO PARA CONFORMAR LA OPCIÓN 2 DE CARCASA EXTERNA DEL PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 11/01/22

ESCALA: 1:5

UNIDADES: mm

A3

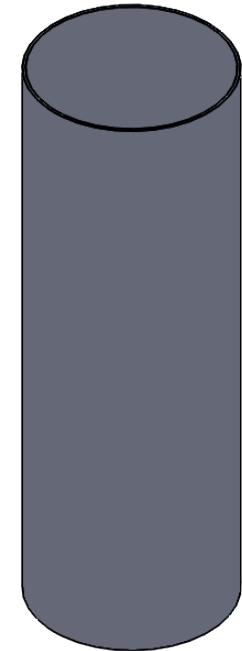
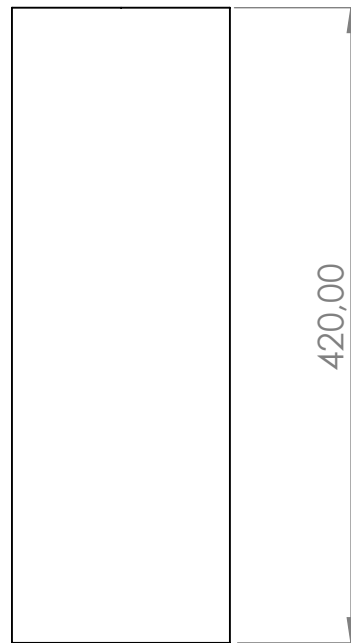
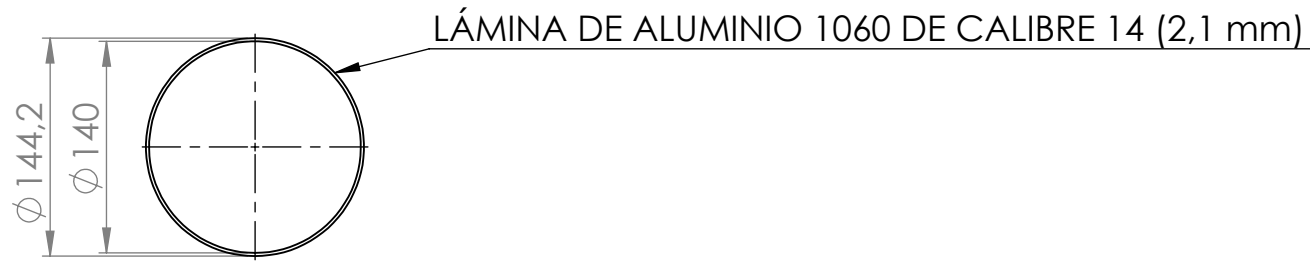


TITULO: PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR
PLANO FRONTAL DE LA LÁMINA PARA LA OPCIÓN DE CARCASA 2

AUTOR: CARLOS GUERRERO, WILLIAM LARROTA

REVISAR: CALIFICADORES DE PROYECTO

HOJA 1/1



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

LÁMINA DE ALUMINIO 1060 DE CALIBRE 14 (2,1mm)
SOMETIDA A UN PROCESO DE CILINDRADA PARA LA
CONFORMACIÓN DE LA RECÁMARA INTERNA DEL
PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR



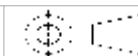
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**

FECHA: 11/01/22

ESCALA: 1:5

UNIDADES: mm

A4

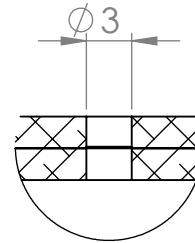
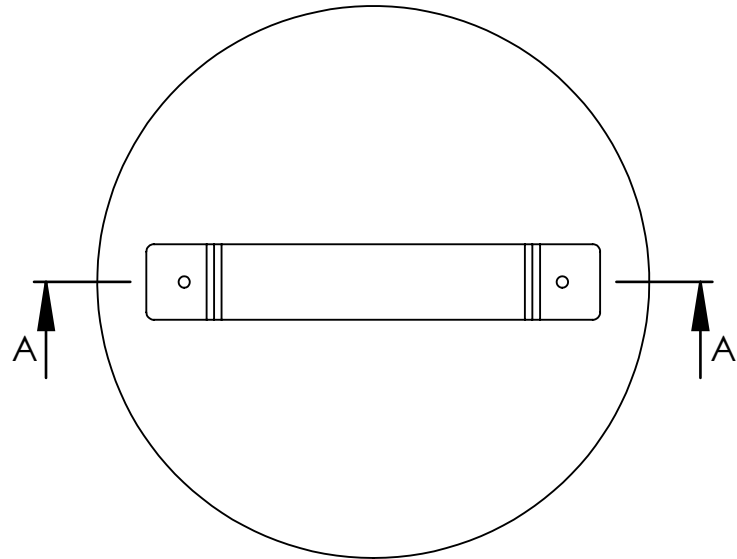


TÍTULO: PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR
CILINDRO INTERNO

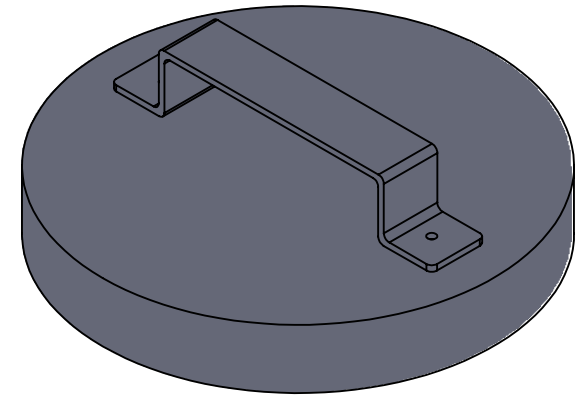
AUTOR: CARLOS GUERRERO, WILLIAM LARROTA

REVISÁ: CALIFICADORES DE PROYECTO

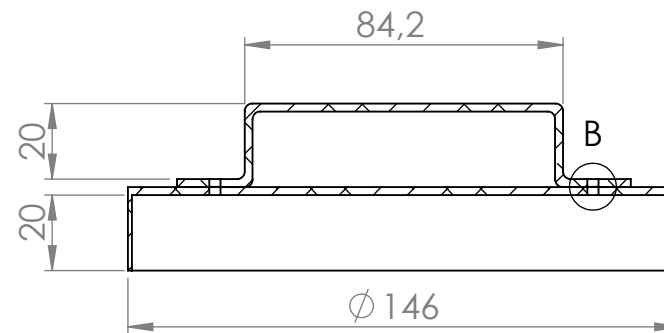
HOJA 1/1



DETALLE B
ESCALA 2 : 1



SECCIÓN A-A



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Conformación de la tapa de la recámara, tapa y agarradera, unidas mediante remaches en detalle B. material empleado lámina de aluminio calibre 14.



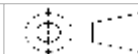
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 11/01/22

ESCALA: 1:2

UNIDADES: mm

A4

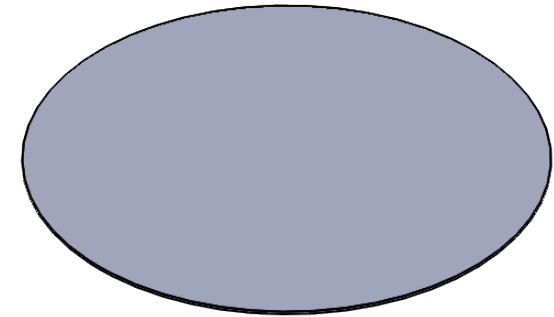
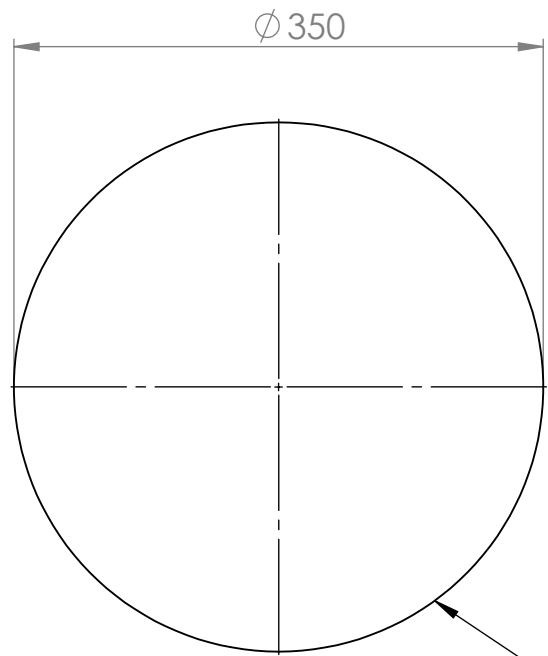


TÍTULO: TAPA DE LA RECÁMARA DEL PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR

AUTOR: CARLOS GUERRERO, WILLIAM LARROTA

REVISÁ: CALIFICADORES DE PROYECTO

HOJA 1/1



ALUMINIO 1060 CALIBRE 14 (2.1 mm) ESPESOR

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

LÁMINA DE ALUMINIO 1060 CALIBRE 14 (2.1 mm) ESPESOR, SOMETIDA A PROCESO DE CORTE PARA LA CONFORMACIÓN DE LA CUBIERTA INFERIOR DEL PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR



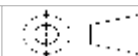
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 11/01/22

ESCALA: 1:5

UNIDADES: mm

A4



TITULO: PROTOTIPO DE NEVERA SOLAR
TAPA INFERIOR

AUTOR: CARLOS GUERRERO, WILLIAM LARROTA

REVISÁ: CALIFICADORES DE PROYECTO

HOJA 1/1