

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA
EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA
MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA**

**OSMAR HUMBERTO FLOREZ DIAZ
RENZO ALEJANDRO VELANDIA RAMIREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA
EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA
MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA**

**OSMAR HUMBERTO FLOREZ DIAZ
RENZO ALEJANDRO VELANDIA RAMIREZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

**Director
OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

*A Dios,
A mi padre y mi madre...*

Osmar Humberto Flórez Díaz

DEDICATORIA

*A Dios y María Auxiliadora,
A mi Madre y a mi Padre por su apoyo, acompañamiento y entrega
en esta etapa de mi vida,
A Mario y Maruja por su comprensión e incondicionalidad,
A Ana Cristina que me acompañó en la realización de este trabajo.*

Renso Alejandro Velandia Ramírez

AGRADECIMIENTOS

Queremos extender nuestros más sinceros agradecimientos,

Al Profesor Omar Gelvez por su guía y apoyo en la realización de este trabajo.

*A mí querida novia Melissa por su comprensión y apoyo. **Osmar***

A los compañeros Nelson Jaimes y Sergio Rivero por su colaboración incondicional.

A nuestros amigos Mario Niño, Fabio Velazco, Adriana Niño y Marlon Melendez, por su apoyo y empuje en esta etapa.

A los técnicos William Lizarazo y Polo por su asesoría y ayuda en la construcción del prototipo.

Y a todos aquellos que de alguna manera nos ayudaron a culminar este proyecto.

Los Autores

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. DESARROLLO METODOLÓGICO	23
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	23
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	24
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	26
1.3.1 Objetivo General	26
1.3.2 Objetivos Específicos	26
2. REFRIGERACIÓN	30
2.1 GENERALIDADES	30
2.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	31
2.2.1 Historia de la refrigeración por absorción	33
2.3 APLICACIONES DE LA REFRIGERACIÓN	34
2.4 FUNDAMENTOS TERMODINÁMICOS DE LA REFRIGERACIÓN	37
2.4.1 Máquina frigorífica	37
2.4.2 Eficiencia de una máquina de refrigeración	39
2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN	40
2.5.1 Refrigeración termo-acústica	42
2.5.2 Refrigeración termo-magnética	43
2.5.3 Refrigeración termo-eléctrica	44
2.5.4 Refrigeración termo-mecánica	45
2.5.4.1 Ciclo de compresión de gas	46
2.5.4.2 Ciclo de compresión de vapor	46
2.5.4.3 Ciclo por compresión de líquido	48
2.6 REFRIGERANTES	49
2.6.1 Selección de los refrigerantes	49
2.6.2 Propiedades termodinámicas de los refrigerantes	51

2.7 COMPARACIÓN ENTRE EL CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR Y EL CICLO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN	52
3. REFRIGERACION POR ABSORCION	55
3.1 FUNDAMENTOS DE LA REFRIGERACION POR ABSORCION	55
3.2 PRINCIPIO BÁSICO DE LA REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN	57
3.3 EL PAR REFRIGERANTE/ABSORBENTE	58
3.3.1 Los pares refrigerante/absorbente usados en la industria	60
3.3.1.1 La mezcla Bromuro de litio – Agua (BrLi+H ₂ O)	61
3.3.1.2 La mezcla Amoniac – Agua (NH ₃ +H ₂ O)	62
3.4 CICLOS DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN (BrLi + H ₂ O)	63
3.4.1 Ciclos de refrigeración por absorción (BrLi + H ₂ O) intermitente	63
3.4.2 Ciclos de refrigeración por absorción (BrLi + H ₂ O) continuos	69
3.4.2.1 Clasificación de los ciclos de refrigeración por absorción (BrLi + H ₂ O) continuos	71
4. DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN	74
4.1 CONSIDERACIONES GENERALES	74
4.1.1 Selección del par refrigerante	74
4.1.2 Selección del ciclo de refrigeración	74
4.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO	75
4.2.1 Modelamiento del subsistema de refrigeración	77
4.2.1.1 Cálculo de masas en el subsistema de refrigeración	78
4.2.1.2 Análisis teórico de estados del refrigerante y la solución absorbente	82
4.2.1.3 Balance de energía en el subsistema de refrigeración	92
4.3 CÁLCULO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR	97
4.3.1 Cálculo del intercambiador evaporador/condensador en evaporación	98
4.3.2 Cálculo del intercambiador absorbedor/generador en absorción	101
4.3.3 Cálculo del intercambiador absorbedor/generador en generación	103
4.3.4 Calculo del intercambiador evaporador/condensador en condensación	104

4.4 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN	112
4.4.1 Subsistema De Refrigeración	113
4.4.1.1 Tanque Evaporador/condensador	114
4.4.1.2 Tanque absorbedor/generador	116
4.4.2 Subsistema Fuente De Energía	118
4.4.3 Subsistema Manejo Hidráulico	118
4.4.3.1 Tanques de proceso intermedio	119
4.4.3.2 Bombas hidráulicas	120
4.4.3.3 Interconexión hidráulica entre elementos	121
4.4.4 Subsistema De Monitoreo Y Control	122
4.4.4.1 Tablero de Control	122
4.4.4.2 Termopozos y termocúplas	125
4.4.4.3 Vacuómetros	127
4.4.4.4 Dispositivo de adquisición de datos (Field Point)	127
4.4.4.5 Electroválvulas	128
4.4.4.6 Sistema de purga	129
4.4.5 Estructura	129
4.4.5.1 Armazón principal	130
4.4.5.2 Soporte de Válvulas	131
5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	132
5.1 PRUEBAS DE VACÍO Y ESTANQUEIDAD	132
5.2 PREPARACIÓN PAR REFRIGERANTE/ABSORBENTE	133
5.2.1 Fluido refrigerante	133
5.2.2 Solución absorbente	133
5.3 DESARROLLO Y ANÁLISIS DE PRUEBAS	134
5.4 ANÁLISIS GLOBAL DE LOS RESULTADOS	161
5.4.1 Principio de funcionamiento	161
5.4.2 Capacidad de refrigeración	161
5.4.3 Variables de construcción	163

6. CONCLUSIONES	166
7. RECOMENDACIONES	169
BIBLIOGRAFÍA	170
ANEXOS	172

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tecnologías de refrigeración que pueden trabajar con energía solar	25
Figura 2. Esquema del circuito del prototipo	27
Figura 3. Requerimientos de entradas y salidas del sistema de control	29
Figura 4. Concepto de Refrigeración	31
Figura 5. Aparato experimental de Faraday	34
Figura 6. Máquina de refrigeración	38
Figura 7. Clasificación de los distintos métodos de obtener refrigeración	41
Figura 8. Diferentes métodos para obtener refrigeración de acuerdo a la fuente de energía	42
Figura 9. Refrigerador termoacústico (proyecto de grado UIS)	43
Figura 10. Principio físico de la refrigeración termo-magnética	44
Figura 11. Juntas termoeléctricas (termopar), Efecto Peltier	45
Figura 12. Ciclo de compresión de gas	46
Figura 13. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor	47
Figura 14. Esquemático del ciclo de refrigeración por absorción	49
Figura 15. Cambio de fase del agua a dos diferentes presiones	56
Figura 16. Cambio de fase del R12 a presión atmosférica	57
Figura 17. Grafica de Dühring para las soluciones de (BrLi + H ₂ O)	64
Figura 18. Tanques de refrigeración por absorción. Condición inicial	66
Figura 19. Tanques de refrigeración por absorción. Refrigeración	67
Figura 20. Tanques de refrigeración por absorción. Generación	68
Figura 21. Ciclos de refrigeración por absorción y compresión de vapor continuos	70
Figura 22. Esquema de la etapa de evaporación/absorción	76
Figura 23. Esquema de la etapa de generación y condensación	77
Figura 24. Esquema de la etapa de transición	78
Figura 25. Diagrama de Dühring del proceso	83

Figura 26. Condiciones iniciales del sistema	84
Figura 27. Inicio de la etapa de evaporación/absorción	85
Figura 28. Estado intermedio de la evaporación/absorción	86
Figura 29. Finalización de la etapa de evaporación/absorción	87
Figura 30. Inicio etapa de generación / condensación	88
Figura 31. Inicio etapa de transición	89
Figura 32. Ciclo termodinámico tanque evaporador/condensador	90
Figura 33. Esquema intercambiador evaporador	98
Figura 34. Esquema intercambiador absorbedor	101
Figura 35. Esquema intercambiador/generador	103
Figura 36. Esquema intercambiador/condensador	105
Figura 37. Subsistemas que componen el prototipo de refrigeración por absorción	112
Figura 38. Ensamble del subsistema de refrigeración	113
Figura 39. Final de los mecanizados de los tanques de proceso principal	114
Figura 40. Diseño y terminación del tanque evaporador/condensador	115
Figura 41. Acabado del serpentín del tanque evaporador/condensador	116
Figura 42. Diseño y terminación del tanque absorbedor/generador	117
Figura 43. Terminación del serpentín del tanque absorbedor/generador	117
Figura 44. Montaje de la resistencia eléctrica de inmersión	118
Figura 45. Montaje de las válvulas de suministro y drenaje	119
Figura 46. Etapas de construcción de los tanques de proceso intermedio	120
Figura 47. Elementos de interconexión hidráulica	121
Figura 48. Esquema de conexión hidráulica	121
Figura 49. Disposición de las luces y selectores en el tablero de control	123
Figura 50. Relevo electromecánico	124
Figura 51. Tablero de control y marcación por anillos numerados	124
Figura 52. Esquema de conexión del tablero de control	125
Figura 53. Termopozo de bulbo en cobre	127
Figura 54. Ubicación de los vacuómetros en los tanques del proceso principal	127

Figura 55. Disposición de los módulos del Field point en el prototipo	128
Figura 56. Montaje del sistema de purga y los filtros	129
Figura 57. Estructura	130
Figura 58. Armazón principal	130
Figura 59. Laminas soporte de válvulas	131
Figura 60. Fotografía pruebas de vacío	132
Figura 61. Disipación de calor de disolución en la elaboración de la solución	134
Figura 62. Resultados Prueba 01(a)	138
Figura 63. Resultados Prueba 01(b)	139
Figura 64. Resultados Prueba 02	141
Figura 65. Resultados Prueba 03	142
Figura 66. Resultados Prueba 04	144
Figura 67. Resultados Prueba 05	145
Figura 68. Cristalización de la solución en el absorbedor	147
Figura 69. Resultados Prueba 06	148
Figura 70. Resultados Prueba 07	149
Figura 71. Resultados Prueba 08	150
Figura 72. Resultados Prueba 09	151
Figura 73. Resultados Prueba 10	152
Figura 74. Resultados Prueba 11	153
Figura 75. Resultados Prueba 12	154
Figura 76. Resultados Prueba 13	155
Figura 77. Resultados Prueba 14	157
Figura 78. Resultados Prueba 15	159
Figura 79. Resultados Prueba 16	160
Figura 80. Consecuencias de las filtraciones de vapor de agua	162
Figura 81. Serpentín de cobre en el tanque absorbedor/generador atacado por la solución	164
Figura 82. Estado de la solución antes y después de usarla	165

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparativo entre refrigeración por absorción y compresión de vapor	53
Tabla 2. Tabla de pares refrigerante/absorbente usados en refrigeración	60
Tabla 3. Tabla de comparación entre Bromuro de litio y el amoniaco	65
Tabla 4. Descripción de las funciones de los tanques en el ciclo	78
Tabla 5. Estados de la solución en el proceso	79
Tabla 6. Estados termodinámicos tanque evaporador/condensador	90
Tabla 7. Ecuaciones de cálculo de los intercambiadores	106
Tabla 8. Datos de serpentines para los intercambiadores	111
Tabla 9. Lista de equipos en el diagrama hidráulico	122
Tabla 10. Lista de componentes de control eléctrico	126
Tabla 11. Tabla de Pruebas	136

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. FICHA TECNICA BROMURO DE LITIO (BrLi)	173
ANEXO B. TABLA DE ENTALPIAS BrLi + H2O	183
ANEXO C. HOJA DE CALCULOS EES ENERGIA Y ESTADOS DEL SISTEMA	184
ANEXO D. HOJA DE CALCULOS EES DE LOS INTERCAMBIADORES	190
ANEXO E. TABLA DE COEFICIENTES DE SUPERFICIE PARA LA CORRELACION DE EBULLICION	210
ANEXO F. FICHA TÉCNICA VALVULA DE BOLA KTS	211
ANEXO G. FICHA TÉCNICA THERMOLON	212
ANEXO H. FICHA TÉCNICA GASTOP (TRABAROSCAS)	213
ANEXO I. FICHA TÉCNICA AISLANTE AW	215
ANEXO J. FICHA TÉCNICA BOMBA IWAKI	217
ANEXO K. FICHA TÉCNICA MANGUERA PARKER SERIES 7093	219
ANEXO L. FICHA TÉCNICA CABLE 2X18	220
ANEXO N. FICHA TÉCNICA RELEVOS	224
ANEXO O. FICHA TÉCNICA BOMBA VACIO PROSET	225
ANEXO P. FICHA TÉCNICA FILTRO DANFOSS 032	226
ANEXO Q. FICHA TÉCNICA AGUA TIPO 1	227
ANEXO R. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	228
ANEXO S. PLANOS CONSTRUCTIVOS	258

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (BR-LI) AGUA.*

AUTORES: OSMAR HUMBERTO FLOREZ DIAZ.
RENZO ALEJANDRO VELANDIA RAMIREZ.**

PALABRAS CLAVES: refrigeración, absorción, bromuro de litio, intermitente.

DESCRIPCIÓN:

La necesidad de disminuir el elevado consumo de energía de origen fósil en el mundo actual especialmente en el campo de la refrigeración y el acondicionamiento de aire es uno de los factores que motivaron la realización de esta tesis de grado, principalmente con este trabajo se pretendió dar los primeros pasos para el desarrollo de futuras investigaciones sobre los sistemas de refrigeración por absorción por medio de la creación de un prototipo para la experimentación basado en esta tecnología. Se justifica la elección de la tecnología de refrigeración por absorción debido a la posibilidad que brindan estos equipos de utilizar fuentes de energías limpias como la solar para su operación.

Dentro de los objetivos planteados para esta investigación se destacaba la necesidad de poder determinar en la realidad las dificultades asociadas a la construcción de los sistemas de refrigeración por absorción, ya que hasta este momento a nivel local los estudios sobre el tema no pasaban de análisis teóricos que se enfocaban principalmente en la explicación de los fundamentos teóricos de su funcionamiento.

Se diseñó y construyó un prototipo de refrigeración por absorción intermitente que usa la mezcla de Bromuro de Litio (BrLi) y agua como fluidos de trabajo. El diseño se efectuó basado en una extensa investigación que abarco fuentes bibliográficas de esta y otras universidades además de diferente información de internet. Los materiales y las herramientas utilizados en la construcción fueron obtenidos en el medio local.

Al realizar las pruebas respectivas sobre el prototipo se pudo obtener el esperado efecto refrigerante, de igual forma se pudieron llevar a cabo las distintas etapas que componen un ciclo de este tipo, estos sucesos permitieron comprobar el principio de funcionamiento de la refrigeración por absorción, sugerir mejoras e identificar algunas aplicaciones.

*Proyecto de Grado.

** Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico - mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Omar Armando Gelvez Arocha.

ABSTRACT

TITLE: Design and construction of a prototype for experiments in the cooling using the mixture lithium bromide (Br-Li) water*

AUTHORS: OSMAR HUMBERTO FLOREZ DIAZ.
RENZO ALEJANDRO VELANDIA RAMIREZ.**

KEYWORDS: absorption refrigeration, lithium bromide.

CONTENT

The need to reduce the high consumption of fossil energy in the world today especially in the field of refrigeration and air conditioning is one of the factors that motivated to the realization of this thesis, mainly for this study it was pretended to start out for future research on absorption refrigeration systems by means of prototyping for experimentation based on this technology. It is justified the choice of absorption refrigeration technology because of the possibility offered by this kind of equipment to use clean energy sources like solar to operate.

Among the objectives for this research highlighted the need to determine in fact the difficulties associated with the construction of the absorption refrigeration systems, since until now local studies on the subject did not exceed theoretical analysis that focused primarily on explaining the theoretical basis of its operation.

A prototype of intermittent absorption refrigeration using a mixture of lithium bromide (BR-LI) and water as working fluids was designed and constructed. The design was made based on extensive research that ranged over bibliographic sources of this university and other universities; as well as different information from the Internet. Materials and tools used in construction were obtained from the local environment.

In conducting the respective tests on the prototype was able to obtain the expected cooling effect, just as it could carry out the various stages that make up a cycle of this type, these events allowed us to prove the working principle of refrigeration by absorption, suggesting improvements and identify some applications.

*Graduation Project.

**Universidad Industrial de Santander. Faculty of Physical – Mechanical Engineering, Mechanical Engineering School, Eng. Omar Armando Gelvez Arocha.

INTRODUCCIÓN

La refrigeración y el acondicionamiento de aire juegan un papel importante en la satisfacción de algunas de las necesidades imprescindibles de los seres humanos, en el mundo actual es casi imposible vivir sin los servicios que nos prestan estos sistemas, por lo tanto La preocupación asociada al elevado consumo de energía de estos sistemas y el daño que en la mayoría de los casos su uso ejerce sobre el ambiente obliga a la tecnología a desarrollar alternativas que permitan a la humanidad continuar con el mejoramiento de su nivel de vida de una manera sostenible.

Debido a su gran demanda La tecnología en los últimos años ya ha dado pasos gigantes hacia la mejora del rendimiento de equipos de refrigeración y acondicionamiento de aire convencionales, sumado a esto las restricciones impuestas por los países al uso de diferentes tipos de refrigerantes han resultado en sistemas un poco menos nocivos para el ambiente, de la misma forma aunque con una relativa baja popularidad se han desarrollado diferentes equipos de refrigeración no convencionales, sin embargo hoy es claro, como consecuencia de la situación actual del planeta se debe promover masivamente la realización y posterior aplicación de sistemas alternativos que se alimenten de fuentes de energía renovables y eliminen la necesidad de emplear sustancias contaminantes.

La escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial De Santander en los últimos años por medio de proyectos de grado ha venido desarrollando investigaciones alrededor de sistemas de refrigeración no convencionales. El primero de ellos en el año 2008 basado en los fenómenos de adsorción usando silica gel y agua para producir refrigeración, en el año 2011 se desarrolló el prototipo de un refrigerador termo – acústico. Con estas primeras investigaciones se ha encontrado valiosa información acerca de las dificultades que conlleva la aplicación práctica de todos los conceptos encontrados en los libros alrededor de

este tema. Este trabajo de grado busca dar continuidad a la labor ya realizada, además de abrir la posibilidad de encaminar nuevas líneas de investigación por medio del diseño y construcción de un prototipo de refrigeración por absorción.

Este libro pretende mostrar al lector una síntesis de toda la información utilizada y generada con la realización de este trabajo. En el primer capítulo se describen de forma general los factores principales que motivaron el desarrollo de esta investigación sobre los sistemas de refrigeración por absorción, además de los objetivos propuestos inicialmente. El segundo capítulo relata algunos conceptos generales sobre los procesos de refrigeración, destacando aquellos más comunes y comparándolos, de tal manera que al lector le sea fácil emitir conscientemente opiniones objetivas sobre la importancia de su uso en el mundo, adicionalmente se trata de forma breve la historia de la refrigeración hasta nuestros días. El tercer capítulo contiene las bases teóricas utilizadas para el desarrollo de sistemas de refrigeración por absorción basados en la mezcla de bromuro de litio más agua. En el cuarto capítulo se describen cada una de las etapas del proceso de diseño y construcción que permitieron llegar a la consecución del prototipo. En el quinto y último capítulo se muestran las pruebas y los resultados obtenidos en la evaluación del prototipo. Para finalizar se describen las conclusiones y recomendaciones generadas del respectivo análisis de resultados.

1. DESARROLLO METODOLÓGICO

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El proceso de refrigeración es importante para el hombre desde hace muchos años; este la utiliza para confort, conservación de alimentos, medicinas y otras funciones. La amplia aplicación de sistemas de refrigeración al igual que los sistemas de calefacción en el confort del ser humano mediante el acondicionamiento del aire en un lugar determinado es una de las áreas de mayor estudio de la ingeniería mecánica y una rama de especial interés para el desempeño profesional.

En la actualidad en la industria de la refrigeración y en especial de los sistemas de aire acondicionado y calefacción se han presentado grandes cambios en cuanto a las restricciones impuestas a los refrigerantes sintéticos debido a la creciente preocupación del efecto perjudicial de estos en el calentamiento global y el impacto sobre la capa de ozono, además de presentarse una gran preocupación por el aumento del consumo energético a causa de la implementación de sistemas de acondicionamiento.

La búsqueda de alternativas que reduzcan el impacto al medio ambiente a través de la utilización de tecnologías no convencionales con el objetivo de reducir al máximo las emisiones de gases contaminantes y el consumo energético, son el objeto de estudio en la actualidad.

Actualmente los estudiantes de ingeniería mecánica de la escuela no cuentan con las herramientas necesarias para enfrentar de forma práctica el análisis de un sistema de aire acondicionado usando fuentes de energía no convencionales, limitando su campo de acción en esta área.

Por esta razón se hace necesario adelantar estudios e investigaciones sobre sistemas de acondicionamiento de aire que utilicen energías alternativas mediante la implementación de un prototipo para la experimentación de una máquina de refrigeración por absorción usando la mezcla de BrLi-H₂O, donde se pueda identificar fácilmente la aplicación de cada uno de los elementos y su diferencia respecto a los sistemas convencionales. Desarrollando así una herramienta de vital importancia para el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado, y contribuir con la formación de personal competente en esta área.

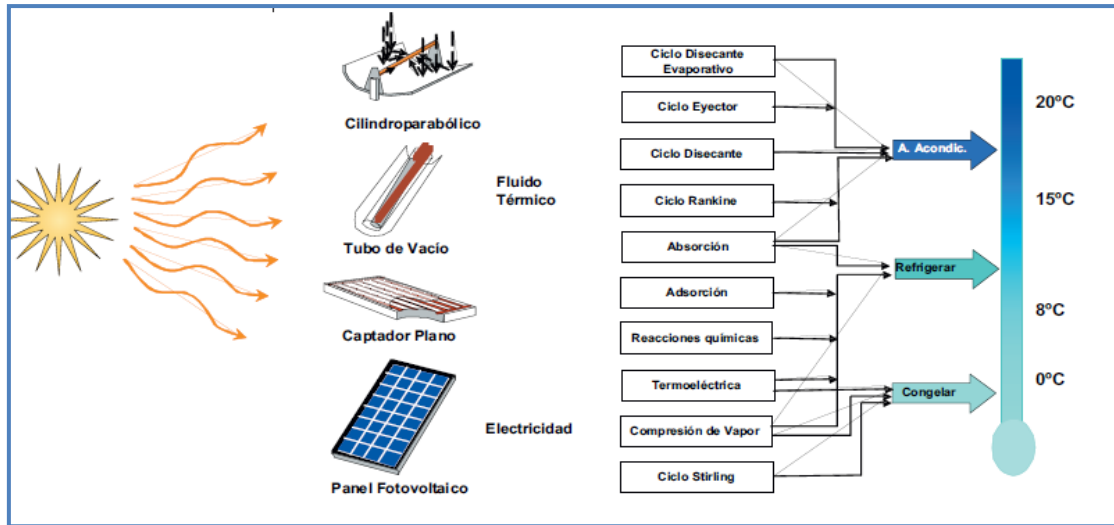
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Con el propósito de contribuir a la misión de la Universidad Industrial de Santander, en conjunto con la Escuela de Ingeniería Mecánica, en la formación competente de los estudiantes en el área de refrigeración y aire acondicionado enfocados a los sistemas que utilizan fuentes de energías no convencionales. Se propone desarrollar un prototipo para la experimentación de una máquina de refrigeración por absorción que proporcione bases teórico prácticas y encamine a la escuela a futuras investigaciones sobre tecnologías de refrigeración con energías limpias, afianzando los conocimientos adquiridos por los estudiantes en el salón de clase, mejorando así su perfil profesional.

En la actualidad se han desarrollado diversos sistemas de refrigeración alternativos que usan distintas fuentes de energía, entre los cuales principalmente podemos destacar los eólicos, biomasa y los de tipo solar. En la

Figura 1. se describen los sistemas que usan como fuente de energía el sol. Cada uno de ellos posee diferentes características que de acuerdo a las necesidades específicas determinan su aplicación.

Figura 1. Tecnologías de refrigeración que pueden trabajar con energía solar.



Fuente: “Guía del frío solar, ahorro y eficiencia energética con refrigeración solar”. [Madrid, España. En línea]. [Consultado el 15 de Noviembre del 2011]. Disponible desde internet: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-del-Frio-Solar-fenercom-2011.pdf>.

Con la realización de este trabajo de grado se pretende incursionar de manera práctica en el estudio de los sistemas de refrigeración no convencionales a través de la construcción para la experimentación de un prototipo de refrigeración basado en la tecnología de absorción. Se justifica la investigación de este tipo de tecnología principalmente por las siguientes razones:

- El desarrollo de sistemas de refrigeración adsorptivos posibilita adicionalmente el uso rentable de combustibles comerciales.
- Utilizan calores residuales, por lo tanto se contribuye a mejorar la eficiencia energética.
- Permiten asimismo el uso de energías renovables para su funcionamiento.

- Emplean sustancias sin efecto invernadero directo y sin efecto destructor de la capa de ozono.

La tecnología de refrigeración por absorción se basa físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, tales como el agua y algunas sales como el bromuro de litio, para absorber en fase líquida vapores de otras sustancias como el amoníaco y el agua, respectivamente.

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1 Objetivo General. Contribuir al proceso pedagógico de los estudiantes en la escuela de ingeniería mecánica en la rama de refrigeración y aire acondicionado, mediante el diseño y construcción de un prototipo para la experimentación de una máquina de refrigeración por absorción. Donde se muestren los diferentes componentes y se pueda apreciar claramente su funcionamiento.

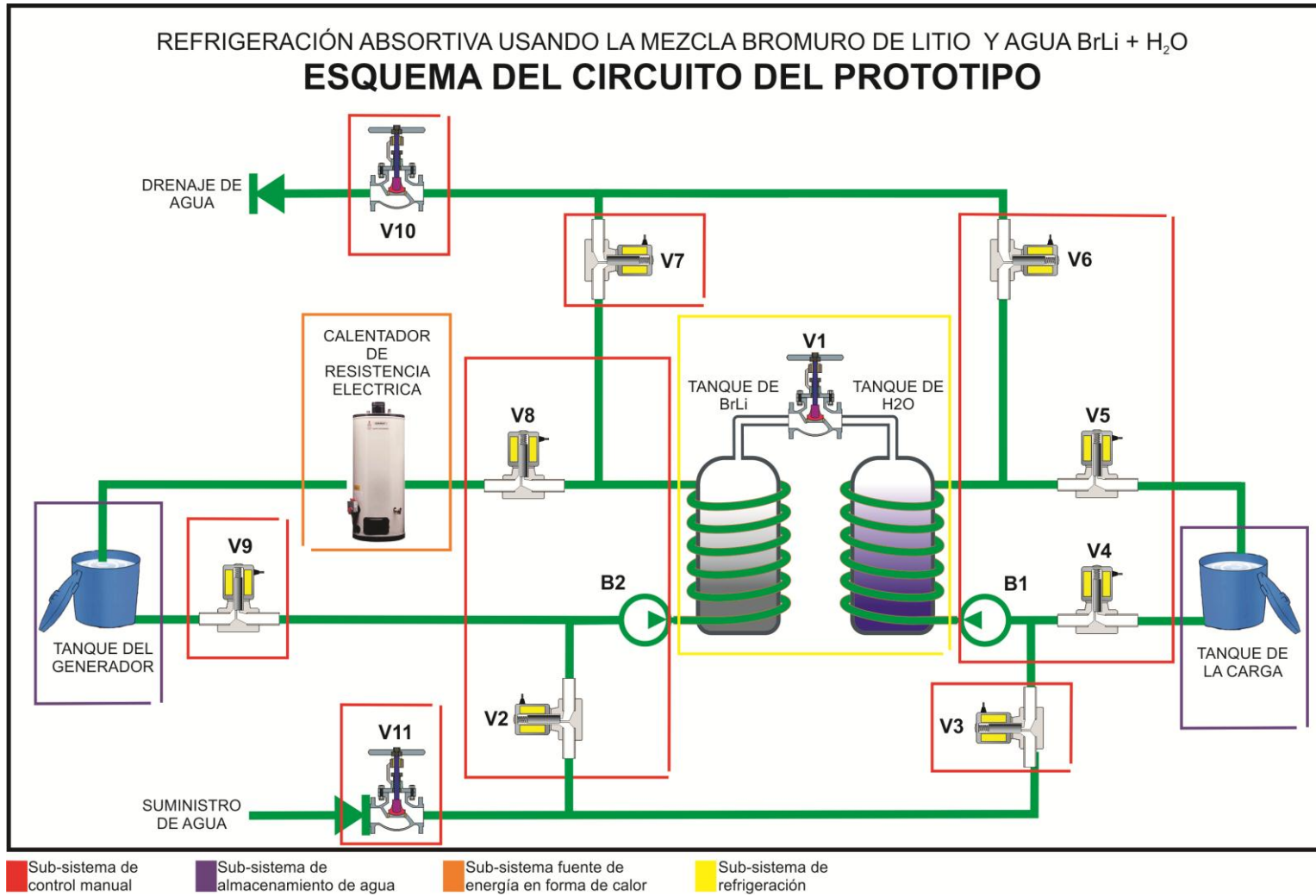
1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar y construir con fines experimentales un prototipo basado en la tecnología de refrigeración por absorción intermitente Figura 2, usando la mezcla de BrLi-H₂O, con una capacidad de refrigeración esperada de 200 W para lo cual se deberá construir e integrar los siguientes subsistemas:

✓ *Sub-sistema de refrigeración:* Compuesto por dos tanques de almacenamiento al vacío, válvulas de cierre y serpentines que permitan desarrollar cada una de las siguientes etapas del proceso:

- Refrigeración.
- Carga.
- Transición.

Figura 2. Esquema del circuito del prototipo.



Fuente: Autor.

- ✓ *Sub-sistema fuente de energía:* en forma de calor para el desarrollo de la etapa de carga, conformado por un calentador por resistencia eléctrica que simule el calor entregado por un colector solar.

- ✓ *Sub-sistema de almacenamiento de agua:* sistema encargado de almacenar, reponer y distribuir agua por el circuito hidráulico en función de las etapas del proceso.

- ✓ *Sub-sistema de monitoreo:* Incorpora elementos que permiten supervisar las condiciones de operación del sistema de acondicionamiento de aire, tales como:
 - Vacuómetros.

 - Termocuplas.

- ✓ *Sub-sistema de control:* sistema que permitirá controlar de forma manual las diferentes etapas del proceso, habilitando las bombas y válvulas requeridas, además de proveer información de cada uno de los elementos del sistema Figura 3.

Figura 3. Requerimientos de entradas y salidas del sistema de control.



Fuente: Autor.

- Desarrollar un manual de procedimiento donde se especifiquen cada uno de los pasos a seguir para la operación del prototipo.
- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo y procedimiento a realizar para la conservación del prototipo.
- Documentar procedimientos a realizar para mantenimiento correctivo en caso de fallas.

2. REFRIGERACIÓN

2.1 GENERALIDADES

El proceso de refrigeración consiste en reducir y mantener la temperatura de un espacio o material por debajo de la temperatura del medio ambiente, para lograrlo es necesario extraer calor del espacio refrigerado y entregarlo a otro cuerpo que se encuentre a una mayor temperatura. En el ciclo de refrigeración se transfiere energía térmica de una zona de baja temperatura a una de mayor temperatura. La región de mayor temperatura puede ser el aire del ambiente o agua de enfriamiento, En la mayoría de los sistemas de refrigeración el cuerpo usado para absorber y rechazar calor se llama refrigerante¹.

En la Figura 4 se muestra un esquema que resume el concepto descrito en el párrafo anterior sobre la refrigeración, en el cual el refrigerante absorbe calor Q_{EV} (calor extraído de la región de baja temperatura) a la temperatura T_{EV} (temperatura de la región refrigerada, se encuentra por debajo de la temperatura ambiente), y lo rechaza al ambiente a una temperatura mayor, para dicha labor el sistema de refrigeración siempre necesita de la adición de energía.

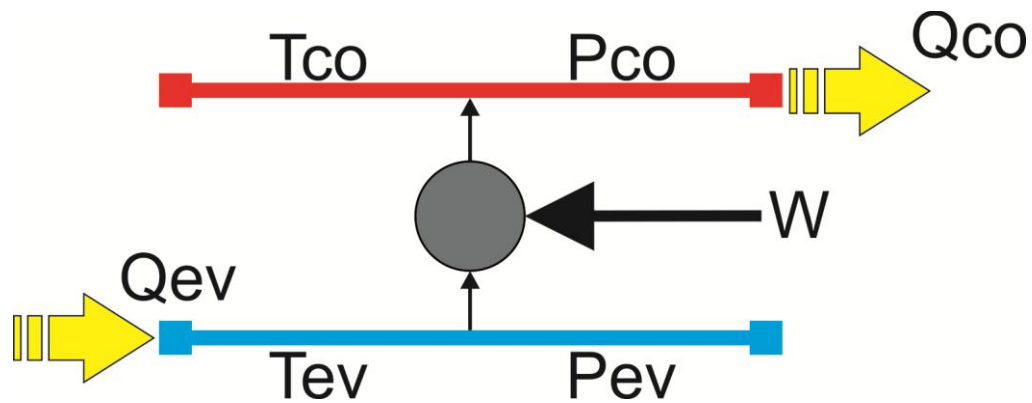
La refrigeración es importante por su implicación en múltiples actuaciones de nuestra vida:

- Conservación de alimentos.
- Aplicaciones industriales en la producción de elementos químicos.

¹ Ramírez, Ariel. Acondicionamiento de aire con un ciclo de refrigeración por absorción aprovechando los gases de escape de una turbina de gas. México D.F, 2006. 133p.

- En la industria de la salud con el fin de mantener medicamentos, sangre, etc.
- Aumento del nivel de calidad de vida, haciendo posible disponer de temperaturas agradables en las zonas calurosas.
- Además de otras diferentes aplicaciones que hacen de la refrigeración una necesidad fundamental de la sociedad.

Figura 4. Concepto de Refrigeración.



Fuente: Autores.

2.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Aunque desde la antigüedad las personas se dieron cuenta de los efectos del frío, los libros de historia indican que los chinos fueron los primeros en aprovechar los fenómenos del frío natural para mejorar su nivel de vida, principalmente en el enfriamiento de las bebidas. La historia también dice que ellos fueron los primeros en almacenar el hielo de invierno para posteriormente usarlo en los días cálidos.

Los egipcios se dieron cuenta que la evaporación traía como consecuencia enfriamiento, este descubrimiento lo aplicaron para enfriar sus bebidas, ellos ubicaban los recipientes con bebidas en el techo y durante la noche la brisa

causaba evaporación y consecuentemente enfriamiento del contenido. Los colonos se apoyaron en el hielo natural y la nieve para preservar alimentos, mejoraron su uso construyendo refugios en donde guardaban el hielo de los inviernos para luego usarlo en los calientes veranos. Como consecuencia de la importancia dada al uso del hielo su comercialización hacia los países que no producían hielo natural tuvo un gran crecimiento.

En los inicios del siglo XX se desarrolló la refrigeración industrial basada en el ciclo mecánico, las primeras industrias en usarla fueron las empacadoras de carne, carnicerías, cervecerías y otras. Con el crecimiento del uso de la electricidad en los hogares los refrigeradores domésticos se hicieron muy populares.

La refrigeración ha mejorado la economía de muchas áreas, al suministrar un medio para preservar los productos despachados a consumidores remotos, adicionalmente ha colaborado en el mejoramiento del nivel de la calidad de vida de las personas suministrándoles ambientes confortables.

Cuando comienza la segunda guerra mundial el caucho natural se convierte en uno de los elementos más importantes en el frente, ya que con él se fabricaban las llantas para automóviles, camiones y aviones recursos imprescindibles para el desarrollo de la guerra. Debido a las dificultades en el comercio del caucho natural se intensificaron las investigaciones alrededor del caucho sintético. Los científicos descubrieron que algunos de los procesos de manufactura podían hacer el caucho artificial más durable y resistente, mediante el uso de bajas temperaturas; así la refrigeración se hizo vital para otras industrias.

Desde los inicios de la civilización el hombre ha desarrollado distintos medios que permiten refrigerar, de los cuales se destaca para este estudio el sistema de

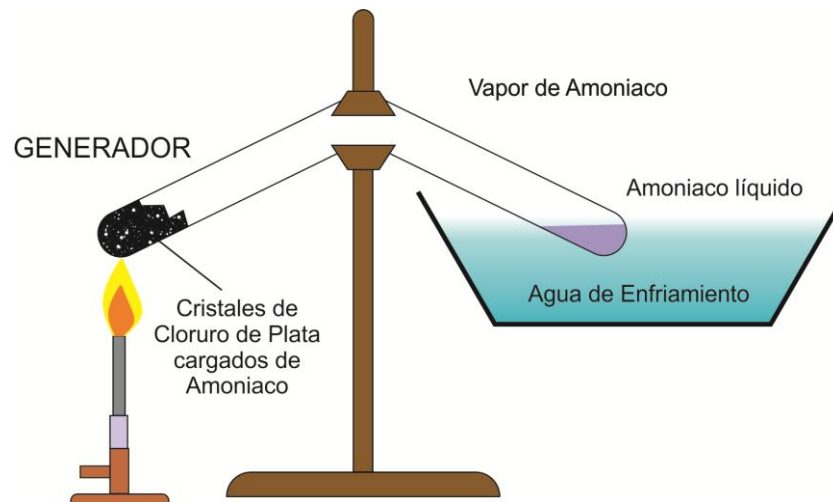
refrigeración por absorción; por lo tanto en los siguientes párrafos se mostrara al lector una breve historia de sus orígenes.

2.2.1 Historia de la refrigeración por absorción. La refrigeración por absorción intermitente fue originada a principios del siglo XIX por el científico Michael Faraday, quien comprobó que ciertos gases, los cuales hasta el momento se creía que solo podían existir en forma de vapor, podían ser licuados. De sus experimentos en el laboratorio Faraday encontró que uno de esos gases era el amoníaco, el cual podía ser absorbido en grandes cantidades por cristales de cloruro de plata. Faraday expuso cierta cantidad de cristales de cloruro de plata al amoníaco en estado gaseoso, hasta que el cloruro de plata absorbió todo el amoníaco que podía retener.

El dispositivo que utilizó consistía en un tubo de ensayo cerrado en forma de V invertida, el cual contenía en un extremo los cristales de cloruro de plata que utilizó previamente para absorber el amoníaco gaseoso, en ese mismo extremo del tubo se aplicó calor, mientras que al lado opuesto fue enfriado sumergiéndolo en un recipiente con agua fría, como se muestra en la Figura 5, poco después de haber aplicado calor el amoníaco gaseoso fue liberado del compuesto mediante el desprendimiento de vapores de amoníaco, los vapores llegaron al extremo que se encontraba sumergido en el agua y allí se formaron gotas de amoníaco debido a que el agua había servido como elemento de remoción de calor que permitió la condensación del amoníaco gaseoso a estado líquido. Cuando Faraday retiró la fuente de calor y el contenedor de agua, observó que casi inmediatamente el amoníaco líquido comenzó a hervir violentamente cambiando de nuevo al estado gaseoso y al mismo tiempo los cristales de cloruro de plata reabsorbieron los gases formados. Faraday notó que el extremo del tubo de ensayo que contenía amoníaco líquido estaba bastante frío, debido a que el amoníaco tomó calor del

ambiente para poder evaporarse. Cada vez que repitió el proceso se observó el mismo cambio².

Figura 5. Aparato experimental de Faraday.



Fuente: Autores.

2.3 APLICACIONES DE LA REFRIGERACIÓN.

Antes de mencionar las aplicaciones de los sistemas de refrigeración es útil describir una clasificación de acuerdo a la temperatura alcanzada por estos sistemas.

- Enfriamiento: entre los 24 °C y los 14°C.
- Refrigeración: entre los 14 °C y los 0°C.
- Subenfriamiento: Operando desde los 0 °C hasta los -15 °C, en este rango se forma el hielo.

² Ramírez, Ariel. Acondicionamiento de aire con un ciclo de refrigeración por absorción aprovechando los gases de escape de una turbina de gas. México D.F, 2006. 133p.

- Congelación: entre el rango de los $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Subcongelación: entre el rango de los $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Criogenia: por debajo de los $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta el cero absoluto.³

Las aplicaciones de los sistemas de refrigeración se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- **REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA.** Tiene un campo de aplicación relativamente limitada y trata principalmente de refrigeradores y congeladores domésticos. Sin embargo, debido a la cantidad de unidades en servicio, la refrigeración doméstica representa una porción muy significativa de la industria de la refrigeración. Las unidades domésticas son generalmente de tamaño pequeño, con potencias entre 40 W y 400 W .⁴
- **REFRIGERACIÓN COMERCIAL.** Trata del diseño, instalación y mantenimiento de aparatos de refrigeración del tipo usado por almacenes, tiendas, restaurantes, hoteles e instituciones, para el almacenaje, exhibición, procesado y expedición de artículos de todos los tipos que estén sujetos a deterioro.
- **REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL.** Se confunde frecuentemente con la refrigeración comercial ya que la división de las dos áreas no se ha definido claramente. Por regla general, las aplicaciones industriales son de mayor tamaño y tienen la característica de requerir un operario para su atención. Entre las aplicaciones industriales típicas se encuentran: plantas de hielo, plantas

³ FUNDACIÓN DE LA ENERGÍA DE LA COMUNIDAD DE MADRID. Guía del frío solar. Ahorro y eficiencia energética con refrigeración solar. Madrid, 2011. 188p.

⁴ Escuela de Ingenierías Agrarias Termodinámica y Termotecnia. En línea: <http://unaduni.wikispaces.com/file/view/Tema7refrigeracion.pdf>

empacadoras de alimentos (carne, pescado, aves, alimentos congelados, etc.), cervecerías, heladerías y plantas industriales tales como: refinerías de aceite, plantas químicas, plantas de caucho, etc.

- **REFRIGERACIÓN MARINA Y DE TRANSPORTE.** Las aplicaciones que caen dentro de esta categoría, se pueden clasificar particularmente bajo refrigeración comercial e industrial. Sin embargo ambas áreas han crecido lo suficientemente para requerir mención especial. La refrigeración marina se refiere a refrigeración a bordo de barcos e incluye por ejemplo, refrigeración para botes de pesca y embarcaciones de transporte y de cargamento sujeto a deterioro, así como refrigeración de los almacenes del barco, en toda clase de embarcaciones. La refrigeración de transporte se refiere a los equipos aplicados a transportes de cargas y pasajeros.

- **ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.** Generalmente involucra el control no solamente de la temperatura del espacio sino también de la humedad y movimiento del aire dentro del mismo, así como su filtrado y limpieza (Climatización).

- **CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS.** La conservación de artículos sujetos a deterioro, particularmente alimentos, es una de las aplicaciones más comunes de la refrigeración. La conservación de alimentos es una de las necesidades más importante en la historia del hombre. Las poblaciones urbanas requieren grandes cantidades de alimentos que, en su mayor parte deben ser producidas y procesadas en áreas distintas. Naturalmente, estos alimentos deben conservarse en condiciones de adecuadas durante el transporte y almacenaje subsecuente hasta que finalmente se consuman. Esto puede ser cuestión de horas, días, meses y en ocasiones años. Por ejemplo, las frutas y legumbres de algunos países que solamente se producen en ciertas estaciones del año deben almacenarse y conservarse para poder ser consumidas durante todo el año.

- **APLICACIONES ESPECIALES.** La refrigeración también se utiliza muy frecuentemente en estudios e investigaciones científicas, se usa en rangos de temperaturas muy bajos. Un ejemplo de estos estudios puede ser la creación de materiales superconductores de la electricidad, también en los estudios genéticos la criogenia suministra las temperaturas ideales para la conservación de muestras, otra aplicación especial importante de la refrigeración es en el diseño de artefactos para la exploración espacial.

2.4 FUNDAMENTOS TERMODINÁMICOS DE LA REFRIGERACIÓN

Antes de continuar con este estudio se hace necesaria la aclaración y repaso de algunos fundamentos termodinámicos sencillos que faciliten al lector una mejor comprensión de este trabajo.

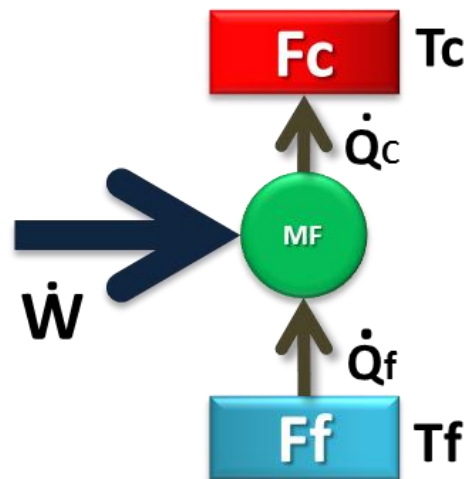
2.4.1 Maquina frigorífica. Si se ponen en comunicación dos sistemas que tienen la misma temperatura no se produce entre ellos intercambio de calor y se dice que se encuentran en equilibrio térmico. Por el contrario, si se ponen en contacto dos sistemas que se encuentran inicialmente a temperaturas distintas, fluye energía en forma de calor del de mayor temperatura al sistema de menor temperatura en cumplimiento de uno de los principios de la termodinámica, debido a este fenómeno el primer sistema decimos que se enfría y a su vez el segundo se calienta, para enfriar un sistema es por lo tanto necesario ponerlo en comunicación térmica con otro a menor temperatura, y “no es posible enfriar un sistema sin calentar otro” es natural decir que si uno de los dos sistemas tiene mucha más capacidad calorífica⁵ que el otro, el intercambio de energía no producirá un cambio de temperatura apreciable en el sistema de mayor capacidad, como sucede con los focos térmicos ideales también llamados sumideros, esta

⁵Se llama capacidad calorífica al producto de la masa del sistema por el calor específico de este.

característica en general se pueden asignar a sistemas de gran masa como un lago, un río o el ambiente⁶.

El objetivo de la refrigeración es obtener fuentes frías a temperatura inferior a la ambiental; puesto que no se dispone de una segunda fuente a temperatura inferior a la primera, el mantener a baja temperatura la primera fuente térmica implica que el calor extraído de esta última ha de ser cedido al entorno que se encuentra a una temperatura superior; esto no es posible de forma espontánea, según las leyes de la termodinámica que en uno de sus enunciados expresa, “El calor no se transmite nunca espontáneamente de un cuerpo a otro cuya temperatura sea más elevada”. Lo cual significa que para poder pasar calor de un cuerpo frío a otro más caliente es preciso proporcionar desde el exterior cierta cantidad de energía. A los dispositivos que permiten realizar este proceso se les conoce como máquinas frigoríficas que en adelante llamaremos “máquina de refrigeración”. Ver Figura 6

Figura 6. Máquina de refrigeración.



Fuente: Autores.

⁶ Guía del frío solar.

En la Figura 6. se puede apreciar el principio de funcionamiento de una máquina de refrigeración, dicha máquina absorbe de la fuente fría un flujo de calor Q_f , recibe del exterior la energía W y cede a la fuente caliente el flujo de calor Q_c . De acuerdo con el primer principio de la termodinámica⁷, se puede decir que:

$$Q_c = Q_f + W$$

Por lo tanto como se ha mencionado una máquina de refrigeración toma de la fuente fría sea un evaporador o un dispositivo equivalente una cierta cantidad de calor, le adiciona la energía que se le proporciona para su funcionamiento, y cede la suma de ambas energías a la fuente caliente (condensador o equivalente).

Cuando la fuente fría se encuentra a una temperatura inferior al ambiente la energía absorbida de esta fuente es el efecto útil de refrigeración Q_f , comúnmente llamado potencia de refrigeración o capacidad de refrigeración. Y la fuente caliente es el ambiente que para efectos prácticos se puede considerar como un sumidero.

2.4.2 Eficiencia de una máquina de refrigeración. El termino eficiencia en la tecnología de la refrigeración pretende comparar el efecto útil Q_f con la energía W entregada a la máquina de refrigeración para obtenerlo. Debido a la influencia norteamericana que fue una de las pioneras en la industrialización de la refrigeración se suele conocer como COP.⁸ De acuerdo a lo dicho la eficiencia se puede definir como.

⁷El primer principio de la termodinámica en forma general establece que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma.

⁸COP: coefficient of performance.

$$\varepsilon = \frac{Q_f}{W}$$

2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

En la Figura 7 muestra al lector una de las maneras de clasificar los distintos sistemas de refrigeración. En la literatura existen diversos métodos para distinguirlos, entre otros se pueden clasificar por el fluido refrigerante, la fuente de energía que utilizan, si ocurre o no cambio de fase en el refrigerante etc. La Figura 7 se muestra al lector con fines informativos, se deja a su interés el estudio detallado de cada uno de estos sistemas.

Para facilitar la comprensión del lector sobre el contenido de este trabajo de grado, se plantea la posibilidad de clasificar los métodos de refrigeración de la siguiente manera. Si se sigue el método usado en la explicación del concepto de máquina de refrigeración expuesto en la Figura 6, se podría establecer una clasificación para las máquinas de refrigeración basados en la forma de energía aportada a ellas para su funcionamiento.

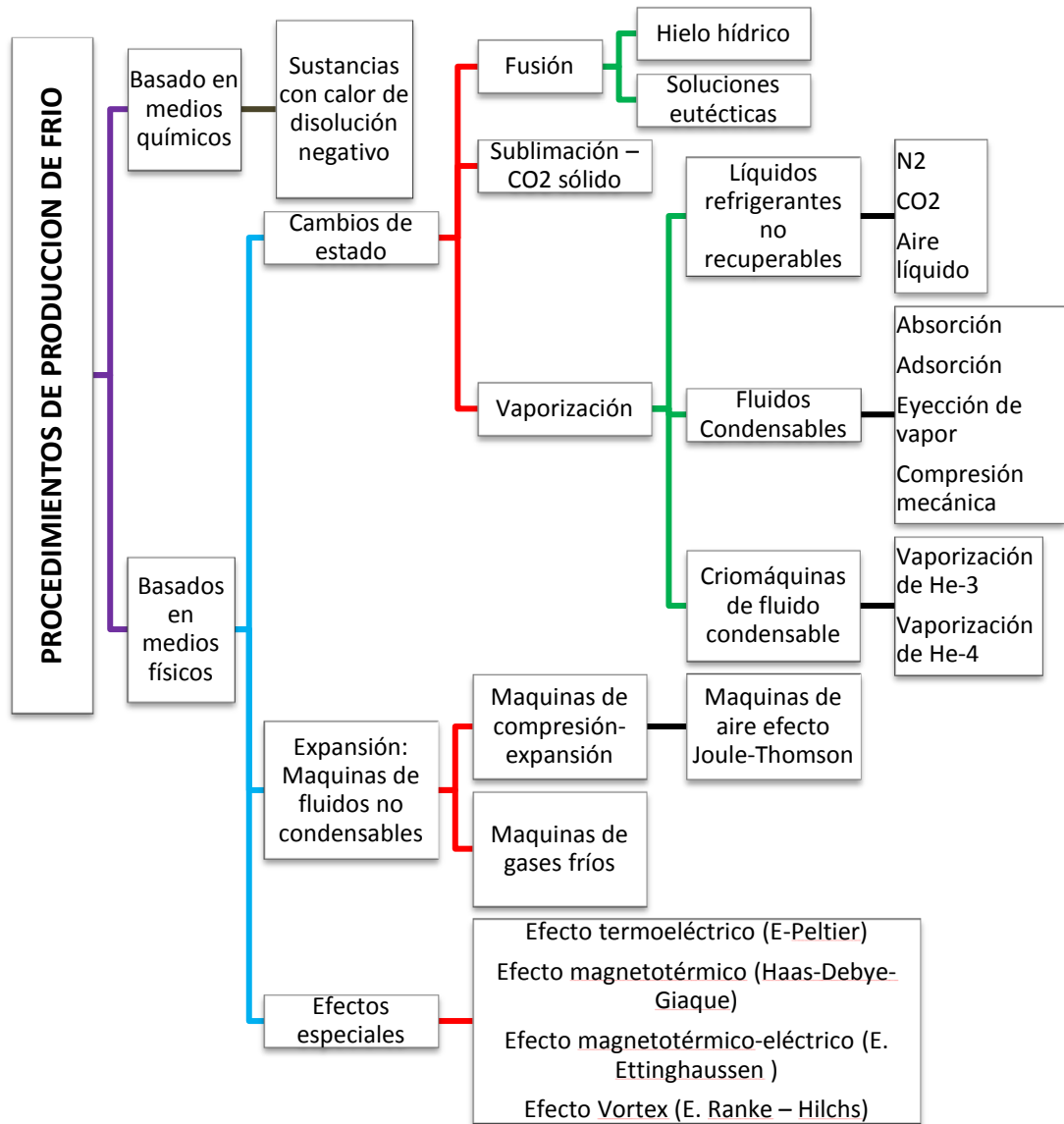
La Figura 8 muestra cuatro distintas formas de fuentes de energía aplicadas a las máquinas de refrigeración.

La clasificación de las máquinas de refrigeración de acuerdo a la energía suministrada para su funcionamiento puede ser:

- Termo-acústica
- Termo-magnética
- Termo-eléctrica

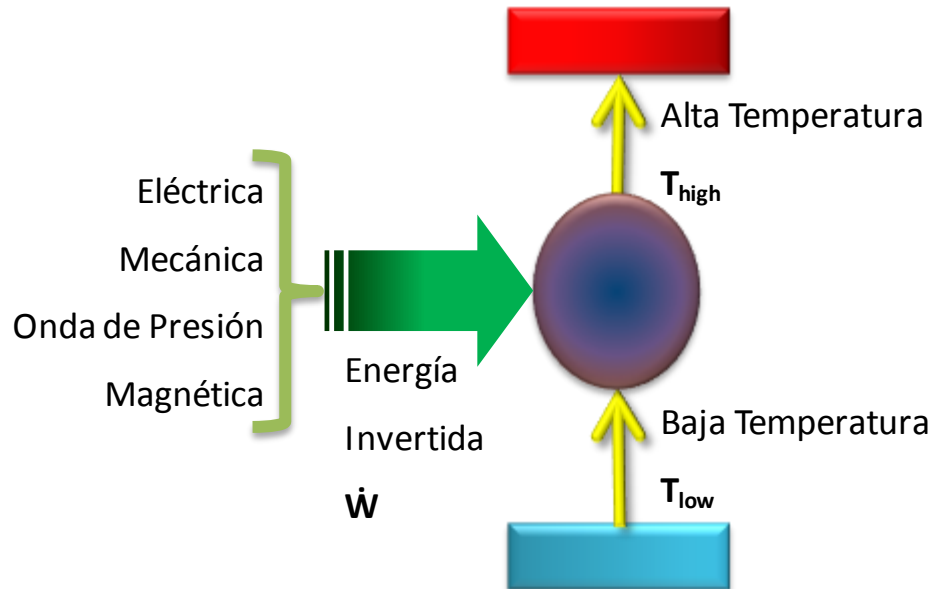
- Termo-mecánica

Figura 7. Clasificación de los distintos métodos de obtener refrigeración.



Fuente: Autor.

Figura 8. Diferentes métodos para obtener refrigeración de acuerdo a la fuente de energía.



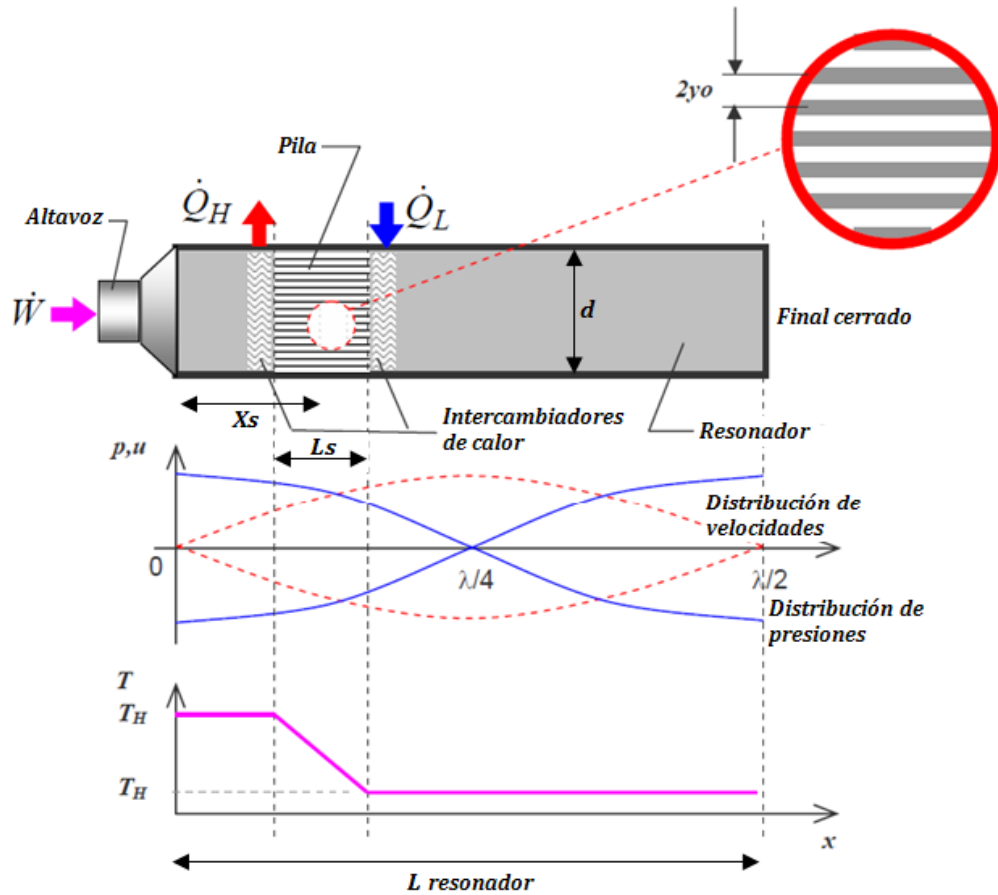
Fuente: Autores.

2.5.1 Refrigeración termo-acústica. Es un tipo de refrigeración que usa ondas sonoras de alta amplitud sobre un gas presurizado para transferir calor de un sitio a otro. La termo-acústica en términos generales estudia las transformaciones entre energía acústica y térmica⁹.

Un refrigerador termo-acústico utiliza la energía que lleva una onda de sonido para producir una diferencia de temperaturas. Ver Figura 9.

⁹Fuente: "Diseño y construcción de un sistema de refrigeración termoacústica". [Santander, Colombia. En línea]. [Consultado el 15 de Enero del 2012].

Figura 9. Refrigerador termoacústico (proyecto de grado UIS).

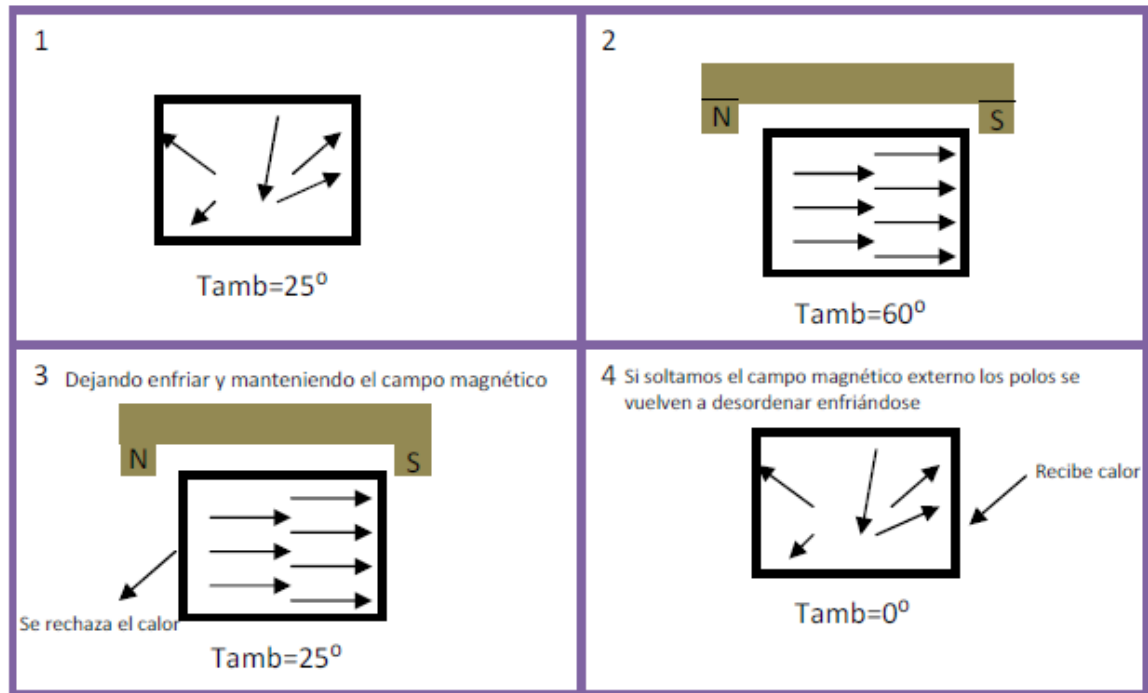


Fuente: “Diseño y construcción de un sistema de refrigeración termoacústica”. [Santander, Colombia. En línea]. [Consultado el 15 de Enero del 2012]. Disponible desde internet: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/142149.pdf>.

2.5.2 Refrigeración termo-magnética. Requiere de la disponibilidad de materiales que tengan desordenados sus átomos de tal manera que presenten momentos magnéticos, estos materiales se comportan como imanes atómicos. Normalmente cada uno de estos imanes está orientado en una dirección al azar, pero si se aplica un campo magnético mediante un electroimán, los momentos

magnéticos tienden a alinearse con él, lo que genera un calentamiento y al ser retirado el campo genera un enfriamiento¹⁰. Ver Figura 10.

Figura 10. Principio físico de la refrigeración termo-magnética.

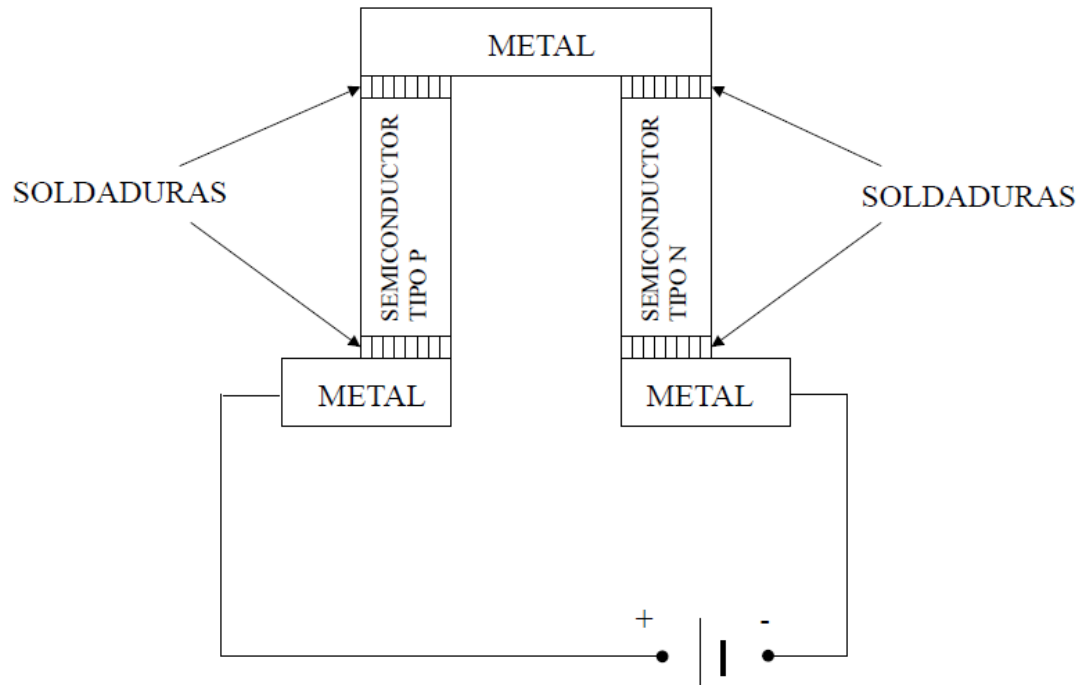


Fuente: "Apuntes de Refrigeración". [Santander, Colombia. Laboratorio sistemas térmicos].54p

2.5.3 Refrigeración termo-eléctrica. Al generar y circular un voltaje por la junta termoeléctrica, como se muestra en la Figura 11. Se establece una gradiente de temperatura entre los materiales semiconductores P y N, en consecuencia se genera un flujo de calor de un extremo a otro de la junta, este fenómeno se conoce como efecto peltier. La magnitud del voltaje requerido para producir esta diferencia de temperatura lo determinan las características de los materiales que componen la junta y se le conoce como coeficiente Peltier.

¹⁰"Apuntes de Refrigeración". [Santander, Colombia. Laboratorio sistemas térmicos].54p

Figura 11. Juntas termoeléctricas (termopar), Efecto Peltier.



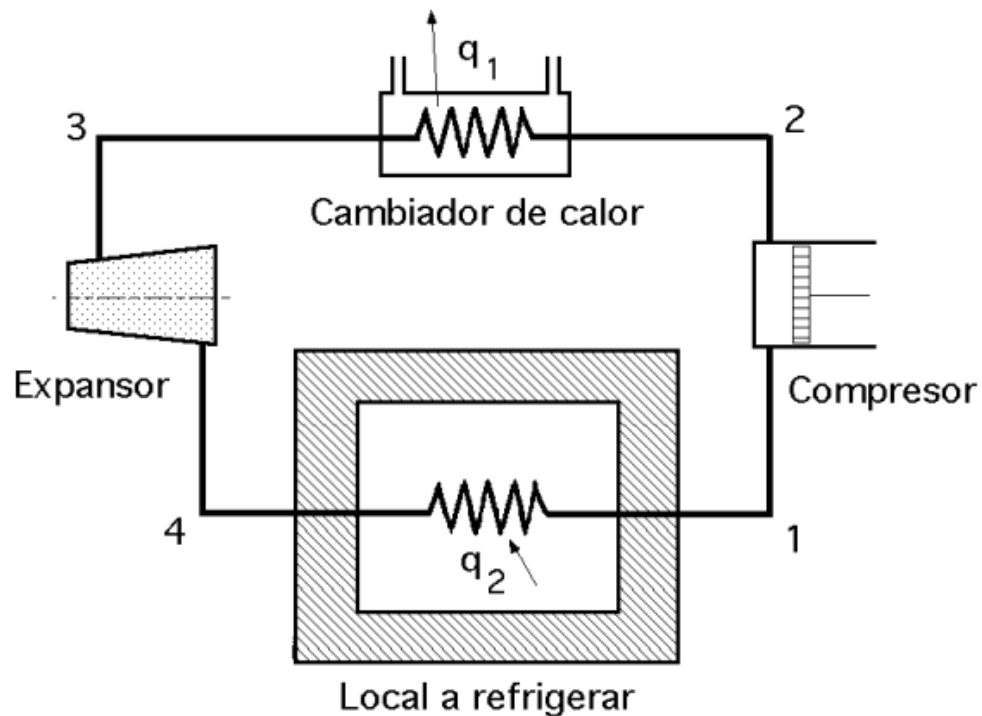
Fuente: Autores.

2.5.4 Refrigeración termo-mecánica. Estos sistemas están basados en la transferencia de energía térmica o mecánica a un ciclo que utiliza un fluido llamado refrigerante, el cual puede ser evaporado y condensado en forma continua o intermitente generando el efecto de refrigeración. Dependiendo del tipo de fluido en el ciclo termomecánico se puede realizar una nueva clasificación:

- Compresión de gas.
- Compresión de vapor.
- Compresión de líquido.

2.5.4.1 Ciclo de compresión de gas. En un ciclo de compresión de gas a diferencia del ciclo de compresión de vapor o líquido se utiliza un fluido refrigerante que no cambia de estado, para el efecto de refrigeración se aprovecha el efecto de disminución de temperatura cuando se expande un gas. Este ciclo posee una eficiencia muy baja lo cual lo hace inviable en aplicaciones convencionales como la climatización de edificios. Una aplicación muy común de este ciclo de refrigeración es en el acondicionamiento del aire para los pasajeros y la tripulación de aeronaves, ver Figura 12.

Figura 12. Ciclo de compresión de gas.

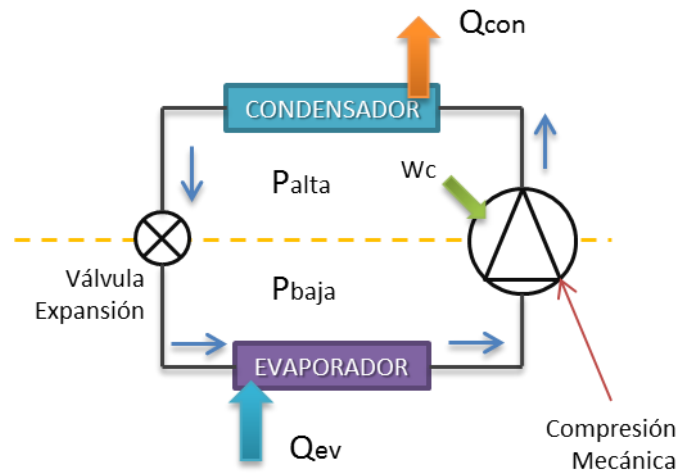


Fuente: "Curso de instalaciones térmicas en edificios; Modulo 2: Instalaciones Térmicas". [Andalucía, España. En línea]. [Consultado el 14 de Abril del 2012]. Disponible desde internet: http://www.caurium.com/clientes/rite2008/mod_002/unid_007a_000.html.

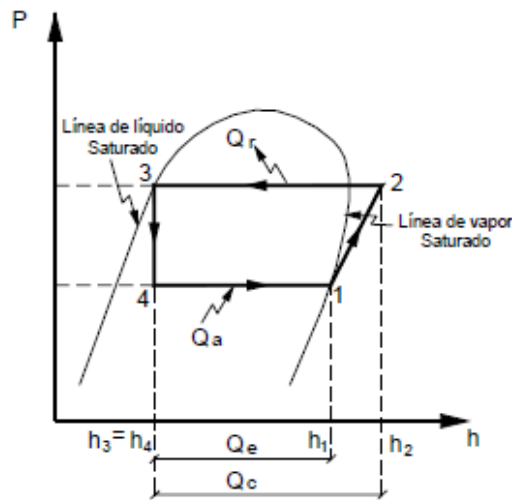
2.5.4.2 Ciclo de compresión de vapor. Este es el ciclo que más se emplea en el acondicionamiento de aire, ya que con él se aprovecha la propiedad que tiene los

líquidos de absorber calor cuando se efectúa su evaporación y disiparlo cuando se condensan. La energía que requiere este método para su funcionamiento es de tipo mecánico, la sustancia de trabajo llamada refrigerante sufre cambio de fase líquido-vapor y viceversa durante el ciclo de refrigeración.

Figura 13. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.



a) Diagrama esquemático



b) Diagrama presión-entalpía.

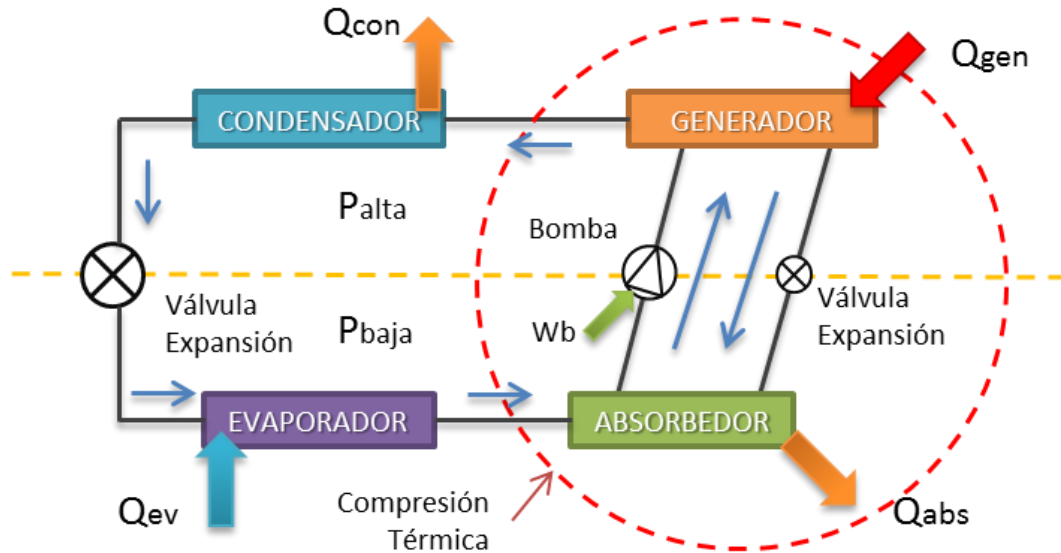
Fuente: Autores.

De acuerdo a la Figura 13 el ciclo de refrigeración por compresión se compone de cuatro procesos fundamentales:

- 1-2 Compresión adiabática.
- 2-3 Etapa de rechazo de calor (condensación).
- 3-4 Estrangulación.
- 4-1 suministro de calor (evaporación).

2.5.4.3 Ciclo por compresión de líquido. Son también llamados sistemas a absorción, uno de ellos es el sistema de absorción, en estos sistemas la energía suministrada es, en primer lugar, *energía térmica*. El refrigerante no se comprime por acción mecánica, por el contrario es absorbido por una solución líquida en un proceso exotérmico y luego en los sistemas continuos transferido a un nivel de presión superior mediante una simple bomba, en la zona de presión superior el refrigerante es evaporado de la solución líquida en un proceso endotérmico, o sea mediante calor. A partir de este punto, el proceso de refrigeración es igual al de un sistema de refrigeración por compresión ver Figura 14. Existe otro sistema con similares características, pero en este caso el vapor refrigerante no es absorbido por una solución líquida, si no adsorbido por un material sólido.

Figura 14. Esquemático del ciclo de refrigeración por absorción.



Fuente: Autores.

2.6 REFRIGERANTES

El refrigerante es el fluido utilizado en los ciclos de refrigeración con fuente de energía termo-mecánica que es capaz de producir el efecto de enfriamiento en el evaporador sobre el medio que lo rodea, sea un espacio o un cuerpo y que de manera general fluye y evoluciona en el ciclo de refrigeración en el interior del circuito de la máquina de refrigeración. En el caso de producción de frío por medio de vaporización, estas sustancias deben tener una temperatura de ebullición, a presión normal, inferior a la temperatura ambiente¹¹.

2.6.1 Selección de los refrigerantes. De acuerdo al método de producción de refrigeración se selecciona el refrigerante, uno o varios de ellos pueden ser

¹¹Introducción a los métodos de producción de frío, Isaac Pilatowsky, Guadalajara 2002.

utilizados para cada método, los fluidos refrigerantes en cuanto a sus propiedades físicas y químicas deben cumplir con lo siguiente:

- Su comportamiento debe ser indiferente frente a los materiales utilizados en la construcción de los equipos.
- El refrigerante no debe sufrir ningún tipo de transformación química, dentro del dominio de temperaturas y presiones de operación.¹²
- Ausencia de toxicidad. Es muy importante que el refrigerante no represente ningún riesgo para la salud y el medio ambiente. Actualmente existe mucha restricción sobre su uso, en la actualidad algunos refrigerantes no cumplen con este requisito.
- Los refrigerantes no deben ser explosivos ni inflamables.
- Por aspectos de seguridad, operación y economía, es importante que los refrigerantes permitan fácilmente la detección de sus fugas, prefiriéndose aquellos refrigerantes que tengan un olor penetrante.
- Si en el circuito del ciclo de refrigeración se utiliza algún tipo de lubricante, el refrigerante no le debe ocasionar ningún cambio químico, ni influir en sus propiedades lubricantes.
- En el caso de la refrigeración por vaporización, la presión de evaporación del refrigerante, en lo posible debe ser superior a la presión atmosférica. De esta manera se evita la introducción de aire al interior del sistema.

¹²Cabe resaltar que en los sistemas por absorción existe cierta transformación química.

- La presión de condensación del refrigerante debe ser baja. Si se generan altas presiones de condensación, se deben crear estructuras fuertes que soporten estas presiones aumentando el costo de los equipos. Se sugiere trabajar el refrigerante a condiciones de operación no muy próximas del punto crítico, con el objeto de realizar más fácilmente la condensación.
- Entre mayor sea su capacidad o potencia de enfriamiento, se requerirá una menor cantidad de refrigerante en circulación para una potencia de enfriamiento determinada.
- Costo y disponibilidad. El refrigerante no debe ser muy costoso y debe estar disponible en el mercado, sobre todo si se requiere de un abastecimiento continuo, como en el caso de los ciclos de refrigeración abiertos.

2.6.2 Propiedades termodinámicas de los refrigerantes. Las propiedades termodinámicas en general, permiten conocer el comportamiento de las sustancias frente a los cambios de estado o bien el análisis de los diferentes factores externos que intervienen para que estos cambios se produzcan.

- **PRESIÓN DE VAPOR:** Para compuestos puros, el equilibrio entre las fases del refrigerante líquido y el refrigerante vapor, permite la determinación de las temperaturas de evaporación y de condensación, así como de las presiones en función de estas temperaturas.
- **VOLUMEN ESPECÍFICO Y DENSIDAD:** El volumen específico es el valor inverso de la densidad, y ambos varían en función de la temperatura y de la presión, siendo más importante este efecto si el refrigerante se encuentra en fase vapor.

- **CALOR ESPECIFICO:** El calor específico indica la cantidad de calor necesaria para obtener la variación de un grado de temperatura de una cantidad de masa a una sustancia. Este valor es muy importante para el dimensionamiento de los intercambiadores de calor.
- **CALOR LATENTE:** El calor latente indica la cantidad de calor necesaria por unidad de masa de la sustancia, para efectuar una transición de un estado a otro. En el caso de los refrigerantes existen grandes variaciones de estos calores, esta propiedad determina la potencia frigorífica del refrigerante.

2.7 COMPARACIÓN ENTRE EL CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR Y EL CICLO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

Como ya se ha mencionado en ambos casos el efecto de refrigeración se produce por la evaporación de un líquido, el obtener nuevamente este fluido a baja temperatura en fase líquida del vapor que ya ha producido el efecto de refrigeración requiere en los dos casos la aportación de una energía externa. La diferencia conceptual fundamental radica en que la energía aportada del exterior es energía mecánica en el caso de la compresión de vapor, mientras que en el sistema de absorción la energía aportada es térmica y a una temperatura moderada.

En este suceso reside la diferencia fundamental entre ambos sistemas de refrigeración lo que supone diversas diferencias de menor nivel, con ventajas e inconvenientes para cada uno. En los ambos sistemas las instalaciones se componen de tuberías, válvulas, intercambiadores y elementos auxiliares. A continuación en la Tabla 1 se muestra al lector un cuadro comparativo de estos dos sistemas

Tabla 1. Comparativo entre refrigeración por absorción y compresión de vapor.

Absorción	Compresión mecánica
2 tanques y 1 pequeña bomba; por lo tanto: <ul style="list-style-type: none"> • Generalmente más costoso. • Silencioso y sin vibraciones. • El conjunto absorbedor/hervidor ocupa mucho más volumen que el motocompresor. • Prácticamente sin mantenimiento. 	1 gran compresor (equipo con estrechas tolerancias); por lo tanto: <ul style="list-style-type: none"> • Normalmente menor inversión. • Suele requerir aislamiento acústico/ vibratorio. • Menor volumen. • Mantenimiento especializado.
Energía barata , a menudo residual, de bajo nivel térmico.	Energía cara, relativamente.
Hay que enfriar absorbedor y condensador y eventualmente deflegmador y rectificador.	Sólo se enfría el condensador.
El límite de temperatura está hacia los -40 °C.	Es posible bajar de -100 °C.
Baja eficiencia (0,5 a 0,9).	Eficiencia elevada (1,5 a 4 aprox.).

Fuente: “Guía del frío solar, ahorro y eficiencia energética con refrigeración solar”. [Madrid, España. En línea]. [Consultado el 15 de Noviembre del 2011]. Disponible desde internet: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-del-Frio-Solar-fenercom-2011.pdf>.

Es necesario destacar de esta información la gran diferencia entre el valor económico-ambiental de la forma de energía usada para la operación de cada sistema. Como es sabido para los sistemas de absorción la energía necesaria para aumentar la presión de un líquido mediante una bomba es despreciable en comparación con la energía necesaria para comprimir un gas en un compresor en los sistemas de compresión de vapor debido al muy bajo valor del volumen específico del líquido comparado con el del vapor.

La energía requerida por el ciclo de compresión para operar debe suministrarse en grandes cantidades como trabajo mecánico al compresor. En la mayoría de los casos los compresores que trabajan en ciclos de refrigeración por compresión mecánica son accionados por motores eléctricos; esto significa que el alto

requerimiento de energía mecánica del ciclo se traduce en un alto consumo de energía eléctrica por parte del compresor y en un mayor consumo de la fuente energética primaria a partir de la cual se produce dicha potencia eléctrica, situación que repercute drásticamente en el ambiente. Por el contrario en la tecnología de absorción se pueden aprovechar calores residuales de un bajo nivel térmico, lo cual hace a este tipo de sistemas viables para la utilización de energías renovables como la del sol.

También se percibe en la Tabla 1 que el valor de la eficiencia de los sistemas de compresión es mayor a los de absorción, sin embargo se debe resaltar el hecho de que el cálculo de esta eficiencia para un mismo efecto útil de refrigeración en ambos sistemas se efectúa con el valor de la cantidad de energía directa aportada a cada ciclo; para el sistema de compresión de vapor la energía mecánica a la entrada del compresor y para el sistema de absorción la energía térmica entregada al generador. Al analizar en forma global el término de eficiencia, es decir el proceso completo desde las transformaciones de fuentes primarias de energía se encuentra que la energía mecánica arrastra consigo un valor considerable de ineficiencias, suceso que en esta comparación ubica al sistema de refrigeración por absorción a la par del sistema de refrigeración por compresión.

3. REFRIGERACION POR ABSORCION

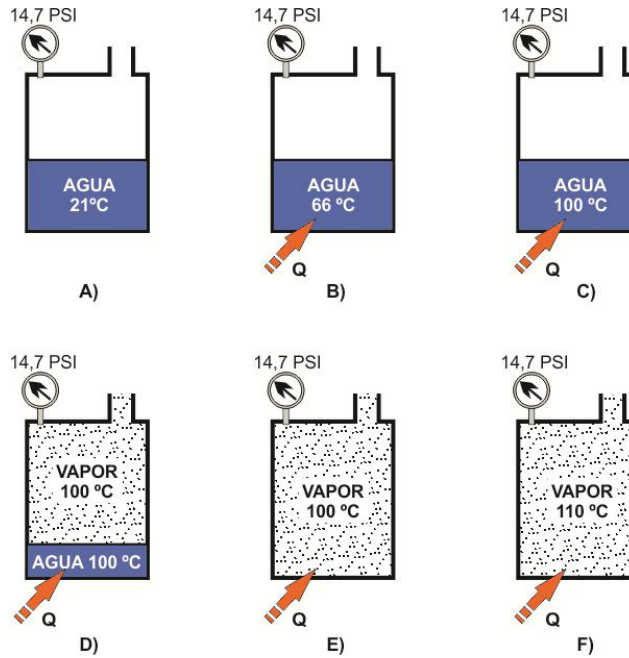
De acuerdo con el objetivo general de este trabajo de grado descrito anteriormente, en el cual se propone incursionar de forma práctica en los sistemas de refrigeración por absorción, elaborando un prototipo fundamento en esta tecnología, durante el desarrollo del presente capítulo se realizara una aclaración de algunos fundamentos termodinámicos así como físicos y químicos de la refrigeración por absorción que brinden al lector las herramientas necesarias para su comprensión y posterior diseño.

3.1 FUNDAMENTOS DE LA REFRIGERACION POR ABSORCION

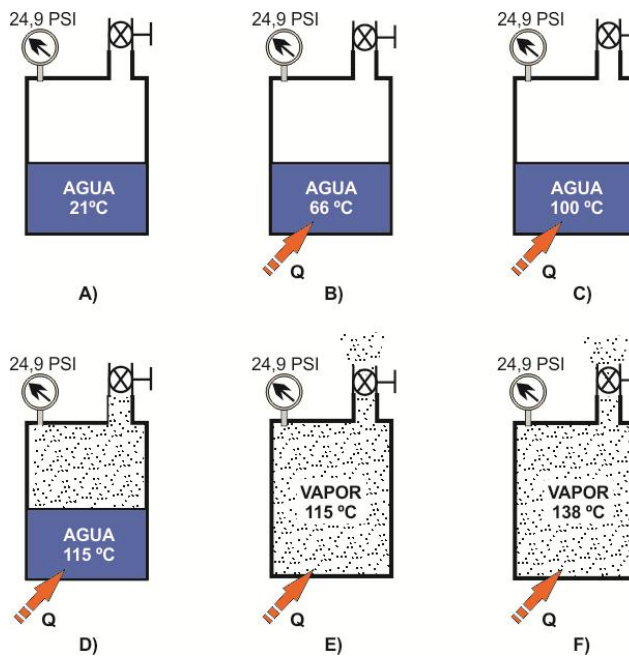
Las sustancias refrigerantes como el agua, cambian de fase con la adición de calor. Si se mantiene constante la presión también la temperatura durante el cambio de fase permanece constante. En la Figura 15 se describe el cambio de fase del agua a dos diferentes presiones. Este comportamiento lo manifiestan otras muchas sustancias como los refrigerantes sintéticos en donde los cambios de fase se llevan a cabo a otras presiones y temperaturas como muestra la Figura 16 para el R12¹³.

¹³Fuente: "Los sistemas de absorción y su aplicación en el acondicionamiento de aire". [Guadalajara, Jalisco, México. En línea: http://www.riraas.net/documentacion/CD_04/Sistemaseyec.HERNANDEZ.pdf .

Figura 15. Cambio de fase del agua a dos diferentes presiones.



Experimento que muestra el cambio de estado del agua a presión atmosférica (14,7 PSI).

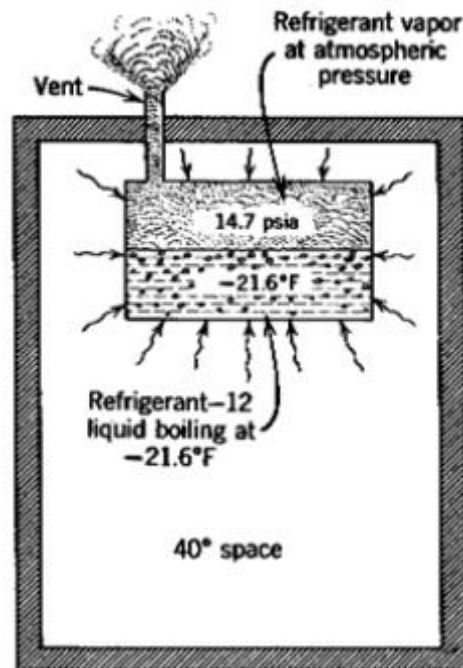


Experimento que muestra el cambio de estado del agua a la presión 24,9 PSI.

Fuente: Autores.

Cuando la presión es baja la temperatura de cambio de fase también lo es; el conocer sustancias que tienen presiones y temperaturas de saturación bajas permite que se aplique estas sustancias para extraer calor y mantener un espacio refrigerado. Los sistemas de refrigeración por absorción y compresión mecánica emplean este comportamiento característico de algunas sustancias.

Figura 16. Cambio de fase del R12 a presión atmosférica.



Fuente: "Los sistemas de absorción y su aplicación en el acondicionamiento de aire". [Guadalajara, Jalisco, México. En línea]. [Consultado el 12 de Marzo del 2012]. Disponible desde internet: http://www.riraas.net/documentacion/CD_04/Sistemaseyec.HERNANDEZ.pdf.

3.2 PRINCIPIO BÁSICO DE LA REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

Este método de refrigeración está reservado casi universalmente a grandes instalaciones comerciales. Fundamenta su uso en el hecho de que algunas sustancias conocidas como absorbentes, tienen gran avidez por absorber vapores de otras, conocidas como refrigerantes, generando la disminución de presión suficiente para la evaporación del refrigerante y el consecuente enfriamiento.

Cuando un soluto, por ejemplo una sal es disuelta en un solvente como el agua se forma una solución con particulares características; el punto de ebullición del solvente se eleva. Por otra parte si se mantiene la temperatura de la solución (soluto + solvente) constante el efecto de la disolución del soluto en la solución es la reducción de la presión de vapor del solvente por debajo de la presión de saturación del solvente puro a esta temperatura. Si el soluto en sí mismo ejerce una presión de vapor entonces la presión total ejercida sobre la solución sería el total de la suma de las presiones parciales de soluto y solvente. De igual forma si el soluto es un material no volátil o si su punto de ebullición es mucho mayor ($> 300^{\circ}\text{C}$) al del solvente la presión total ejercida sobre la solución será la presión de vapor del solvente únicamente.

Un sistema de refrigeración simple se obtiene por la conexión de dos tanques, en un tanque se deposita el solvente puro (refrigerante) y en el otro una solución determinada (absorbente), cuando los dos tanques se encuentran en equilibrio térmico sus presiones se hacen aproximadamente iguales, por lo tanto la temperatura de la solución se mantendrá por encima de la del solvente puro, esto significa que si la temperatura del tanque de la solución es la del ambiente, la temperatura del solvente puro en el otro tanque será menor a la de la solución debido al valor bajo de presión de vapor ejercido por la solución a la temperatura ambiente sobre el tanque del solvente puro, efectuándose de esta manera el efecto de refrigeración en el tanque del solvente puro por causa de esta diferencia de temperaturas. El solvente se evaporara extrayendo calor de los alrededores fluyendo hacia el tanque de la solución donde será absorbido por esta.

3.3 EL PAR REFRIGERANTE/ABSORBENTE

Adicionalmente a las características ya mencionadas para los fluidos refrigerantes puros, Las sustancias que forman el par refrigerante/absorbente en un sistema de

refrigeración por absorción deben cumplir algunas condiciones para hacer adecuado su uso en la refrigeración.

- El par de sustancias deben tener un alto nivel de solubilidad en el rango de temperaturas y presiones de operación, esto con el fin de evitar la formación de fases solidas dentro del sistema que puedan obstruir el flujo y por consiguiente el paro del equipo.
- Una elevada relación de volatilidad. El refrigerante debe ser mucho más volátil que el absorbente, para su fácil separación.
- El absorbente debe tener una fuerte afinidad por el vapor refrigerante en las condiciones de absorción.
- Lo ideal es que las presiones sean moderadas para evitar grandes espesores, y superiores a la atmosfera, con el fin de evitar entrada de aire al sistema.
- Las sustancias no deben descomponerse en las condiciones de servicio a lo largo de los años.
- Las sustancias no deben atacar a los materiales del sistema.
- Cuando se trate de lugares habitados el par de sustancias no deben ser toxicas e inflamables. Además el efecto de estas sustancias sobre el ambiente debe ser nulo.
- La viscosidad y la tensión superficial no deben ser altas, con el fin de evitar elevadas caídas de presión en el sistema.

- Las sustancias deben tener una elevada conductividad térmica.

Es necesario resaltar que hasta ahora no se conoce ningún par de sustancias que cumpla con todas las condiciones enlistadas, sin embargo existen muchas investigaciones sobre el desarrollo de nuevas sustancias que prometen grandes adelantos alrededor de este tema.

3.3.1 Los pares refrigerante/absorbente usados en la industria. En la literatura se encuentra información variada sobre los pares de sustancias que se pueden utilizar en los sistemas de refrigeración por absorción, en la tabla 2 se pueden apreciar algunos pares de sustancias refrigerante/absorbente. Los dos pares refrigerante/absorbente más empleados en las máquinas de absorción son NH₃/H₂O (amoníaco – agua) y H₂O/BrLi (bromuro de litio - agua); el par amoníaco - agua se utiliza en aplicaciones preferentemente de refrigeración, y el bromuro de litio – agua, en climatización y bombas de calor en general.

Tabla 2. Tabla de pares refrigerante/absorbente usados en refrigeración.

Refrigerant	Absorbents
H ₂ O	Salts
	Alkali halides
	LiBr
	LiClO ₃
	CaCl ₂
	ZnCl ₂
	ZnBr
	Alkali nitrates
	Alkali thiocyanates
	Bases
	Alkali hydroxides
	Acids
	H ₂ SO ₄
	H ₃ PO ₄
NH ₃	H ₂ O
	Alkali thiocyanates
TFE (Organic)	NMP
	E181
	DMF
	Pyrrolidone
SO ₂	Organic solvents

Fuente: “Air-conditioning system desing manual. Second edition”. [ASHRAE]. 405p

3.3.1.1 La mezcla Bromuro de litio – Agua (BrLi+H₂O). En esta mezcla el agua tiene la función de refrigerante. Posee un elevado calor latente, lo cual favorece el diseño de equipos ya que se requiere menor cantidad de refrigerante. Sin embargo presenta una presión de vapor excesivamente baja (0,87 kPa a 5 °C, típica temperatura en el evaporador) lo que implica trabajar en condiciones de vacío, obligando a una serie de consideraciones en el diseño, como son; Componentes más voluminosos, debido al volumen específico del vapor, sellado hermético con el exterior, sensibilidad a la presencia de trazas de gases generados internamente, efectos hidrostáticos en el diseño del evaporador.

Además, la temperatura de trabajo se ve limitada (por encima de 5 °C) debido a la congelación del agua. La viscosidad del mismo es apropiada para la circulación y la transferencia de calor.

En cuanto al absorbente, bromuro de litio, es una sal altamente higroscópica no toxica, que al ser un sólido (temperatura de ebullición de 1282 °C) se considera no-volátil, lo cual facilita su separación del refrigerante. La viscosidad también es óptima. Los principales inconvenientes aparecen con las propiedades de la mezcla (disolución refrigerante/absorbente en los tanques donde se encuentra la solución), y estos son la posibilidad de cristalización de la sal y la corrosividad.

- **Cristalización.** La naturaleza salina de la solución implica que la sal precipite cuando se excede el límite de solubilidad. En el caso del bromuro de litio la cristalización corresponde a una fase sólida hidratada, en forma de sólido humedecido. Este precipitado tiende a adherirse a las paredes de los conductos llegando incluso a atascarlos parando el flujo de solución en el sistema. A esta parada acompaña el enfriamiento local en las zonas donde se ha producido la precipitación, debido a la pérdida de calor en la transición entre fases. La cristalización puede darse en el caso en que una solución con alto nivel de

concentración sea enfriada por debajo de la temperatura límite de solubilidad para un valor de concentración determinado.

Los fabricantes suelen incluir mecanismos en sus equipos que evitan la presencia de este fenómeno, Otra posibilidad como lo demuestra el estudio realizado por Salavera, Daniel¹⁴ es la adición de algún compuesto que reduzca la temperatura de cristalización de la sal, ampliando así el límite de concentración del absorbente en la solución.

- **Corrosividad.** La presencia de oxígeno disuelto convierte a la solución de bromuro de litio y agua en un fluido agresivo para muchos metales, incluyendo el acero y el cobre. Sin embargo, la cantidad de oxígeno en el interior de un equipo de absorción es muy pequeña, por lo que este efecto es muy leve, sin embargo, es significativo en la vida de la máquina, por lo que se requiere su control. Éste puede llevarse a cabo por dos vías: control del pH o el uso de inhibidores de corrosión en la solución.

3.3.1.2 La mezcla Amoniac – Agua (NH₃+H₂O). En este caso el refrigerante es el amoniac cuyo alto valor de toxicidad lo hace inadecuado para el uso en refrigeración residencial. El calor latente que presenta este compuesto también es apropiado para sistemas de absorción, aunque es algo inferior al caso del agua. No presenta los problemas de congelación que presenta el agua, ya que la temperatura de fusión es de -77,7 °C, y la viscosidad también es adecuada. Otra diferencia importante respecto al uso del agua como refrigerante, es la elevada presión de vapor del amoniac. Por un lado permite el uso de conductos con menor diámetro e intercambiadores de calor relativamente más compactos. Sin

¹⁴Tesis doctoral de Daniel Salavera Muñoz “**Propiedades termofísicas de nuevos fluidos de trabajo para sistemas de refrigeración por absorción**” presentada para obtener el grado de Doctor en Ingeniería química y de procesos por la Universitat Rovira i Virgili; recurso en línea.

embargo, la presión de vapor del absorbente (agua) no es despreciable frente a la presión de vapor del refrigerante, algo que sí sucedía con la disolución H₂O/BrLi debido al carácter sólido del absorbente.

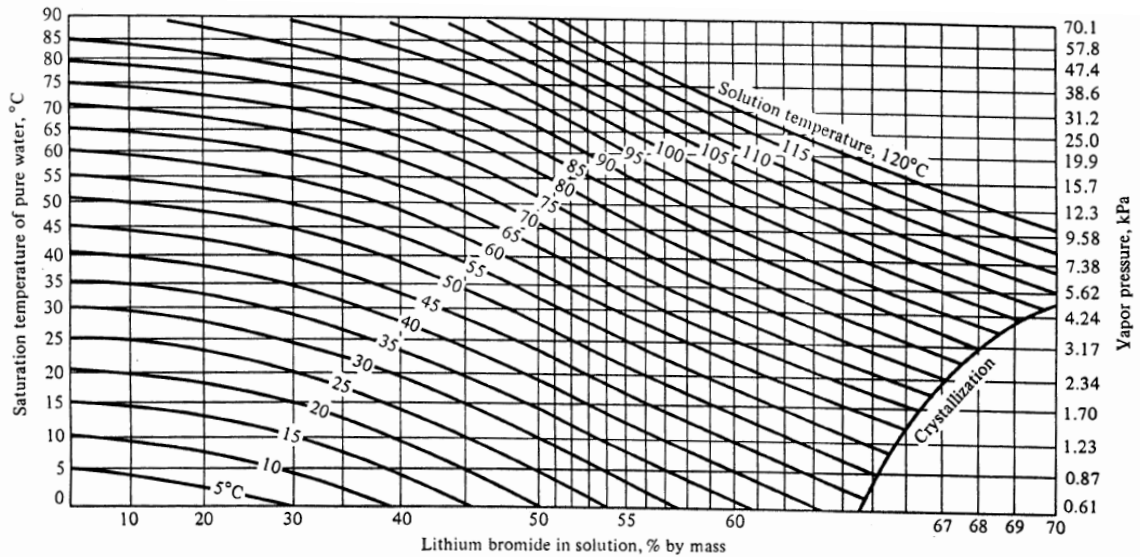
En la Tabla 3 a modo de resumen se muestra un cuadro comparativo entre los pares de refrigeración (NH₃+H₂O) y (BrLi+H₂O).

3.4 CICLOS DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN (BrLi + H₂O)

Los ciclos de refrigeración por absorción que usan como par refrigerante/absorbente la mezcla de bromuro de litio y agua pueden trabajar de dos maneras distintas, si la producción de efecto de refrigeración se realiza de forma continua se conoce a estos ciclos como continuos, por el contrario si la producción de frío se efectúa por intervalos los ciclos se conocen como intermitentes.

3.4.1 Ciclos de refrigeración por absorción (BrLi + H₂O) intermitente. La posibilidad de obtener enfriamiento por medio de la solución de Bromuro de litio y agua se basa en que la presión de vapor de la solución es menor que la del agua pura si ambas se encuentran a la misma temperatura, este fenómeno se produce porque la velocidad con que las moléculas de solvente abandonan la superficie de un fluido se reduce en presencia de un soluto no volátil, la disminución de la presión de vapor del solvente es función de la cantidad de soluto presente en la disolución como lo establece la ley de Raoult. Este comportamiento se muestra claramente en la gráfica de Dühring. Ver figura xxx (gráfica de Dühring), el comportamiento de las soluciones de BrLi + H₂O no obedece exactamente la ley de Raoult, por esta razón se ha creado esta gráfica que facilita el cálculo de los valores de presión de vapor para las soluciones de bromuro de litio y agua con una concentración y temperatura determinada.

Figura 17. Grafica de Dühring para las soluciones de (BrLi + H₂O).



Fuente: Stoecker, W. F. Jones, J. W. Refrigeration and air conditioning. Segunda Edición. New York: McGraw-Hill, Inc. 443p.

En la parte inferior de la gráfica se encuentran los valores de concentración en masa (%) de la sal en las soluciones de bromuro de litio y agua. Las líneas curvas indican la temperatura de la solución (°C). En la parte derecha se pueden ver los valores de presión de vapor de la solución (KPa) en una escala logarítmica. En la parte izquierda se encuentran las temperaturas de saturación para el agua pura correspondientes a los valores de presión de vapor de la parte derecha de la gráfica. En la parte inferior derecha de la gráfica se muestra la zona de cristalización de la solución.

Por ejemplo si se tiene una solución de (BrLi + H₂O) con una concentración en masa de 50 % a una temperatura de 30°C esta ejerce una presión de vapor de equilibrio de 1.23 Kpa, a la cual corresponde una temperatura de saturación del agua pura de 10 °C.

En la figura 18 se muestra un ejemplo consistente en dos tanques, tanque A y tanque B conectados entre sí a través de una válvula, el tanque A es llenado con agua pura (refrigerante), mientras el tanque B con una solución de agua y bromuro de litio (BrLi + H₂O) (absorbente) con una concentración en masa de BrLi del 50%.

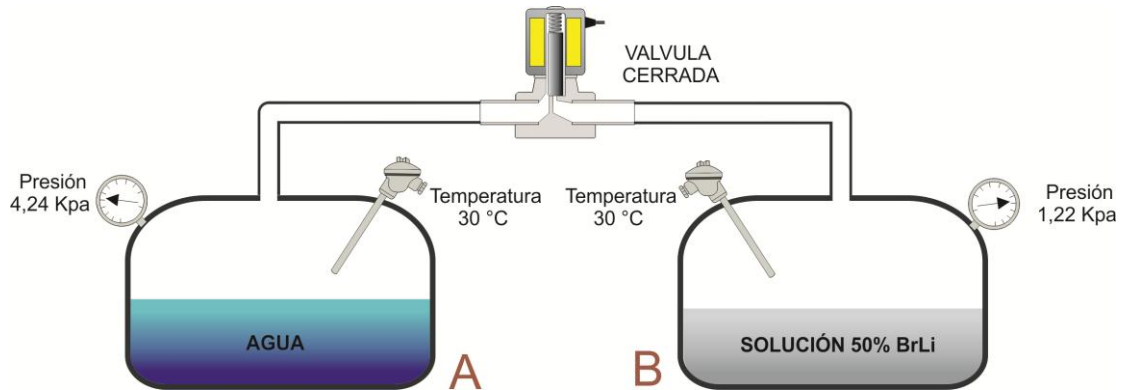
Tabla 3. Tabla de comparación entre Bromuro de litio y el amoniaco.

Propiedad	NH ₃ / H ₂ O	H ₂ O / LiBr
Refrigerante		
Calor latente <i>alto</i>	Bueno	Excelente
Presión de vapor <i>moderada</i>	Demasiado alto	Demasiado bajo
Temperatura de congelación <i>baja</i>	Excelente	Limitación
Viscosidad <i>baja</i>	Bueno	Bueno
Absorbente		
Presión de vapor <i>baja</i>	Pobre	Excelente
Viscosidad <i>baja</i>	Bueno	Bueno
Mezcla		
<i>Ausencia</i> de fase sólida	Excelente	Limitado
Toxicidad <i>baja</i>	Pobre	Bueno
Afinidad entre ambos <i>alta</i>	Bueno	Bueno

Fuente: "Propiedades Termofísicas de nuevos fluidos de trabajo (H₂O+LiBr+LiNO₃+LiCl, NH₃+H₂O y NH₃+H₂O+KOH) para sistemas de refrigeración por absorción". [Tarragona, España. En línea]. [Consultado el 20 de Noviembre del 2011]. Disponible desde internet: <http://www.tesisenred.net/handle/10803/8530>.

Inicialmente la válvula que conecta los dos tanques se encuentra cerrada y ambos se encuentran en equilibrio térmico con los alrededores a una temperatura de 30 °C. La presión de saturación del agua pura a esta temperatura es de 4.24 KPa y la presión de vapor para la solución de (BrLi+H₂O) según la gráfica de Dühring con una concentración de 50% de soluto en masa a la misma temperatura es de 1.22 KPa.

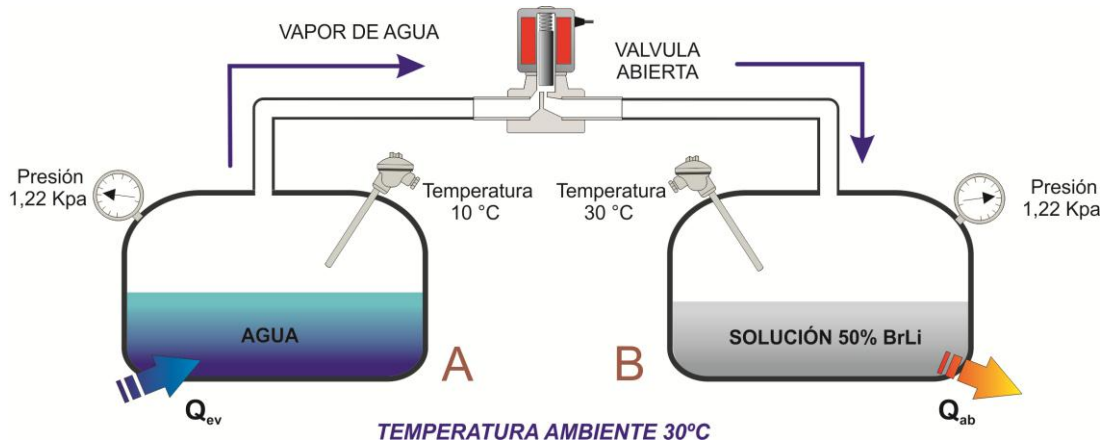
Figura 18. Tanques de refrigeración por absorción. Condición inicial.



Fuente: Autores.

En consecuencia por la condición inicial de equilibrio la presión en el tanque A es 4.24 Kpa, mientras la presión en el tanque B es 1.22 KPa. Posteriormente la válvula que interconecta los dos tanques se abre. Inicialmente debido a la diferencia de presión, vapor de agua fluye del tanque A al tanque B, este vapor es absorbido por la solución en el tanque B. debido a que el fenómeno de absorción en este caso es un proceso exotérmico se debe evacuar calor del tanque B. Ahora si se supone que de alguna manera se mantiene constante la temperatura y la concentración de la solución en el tanque B (30 °C y 50%) la presión de equilibrio en todo el sistema, tanques A y B será de 1.22 KPa. La temperatura del agua en el tanque A será la temperatura de saturación correspondiente a la presión de 1.22 KPa, la cual es 10°C como se muestra en la Figura 19.

Figura 19. Tanques de refrigeración por absorción. Refrigeración.

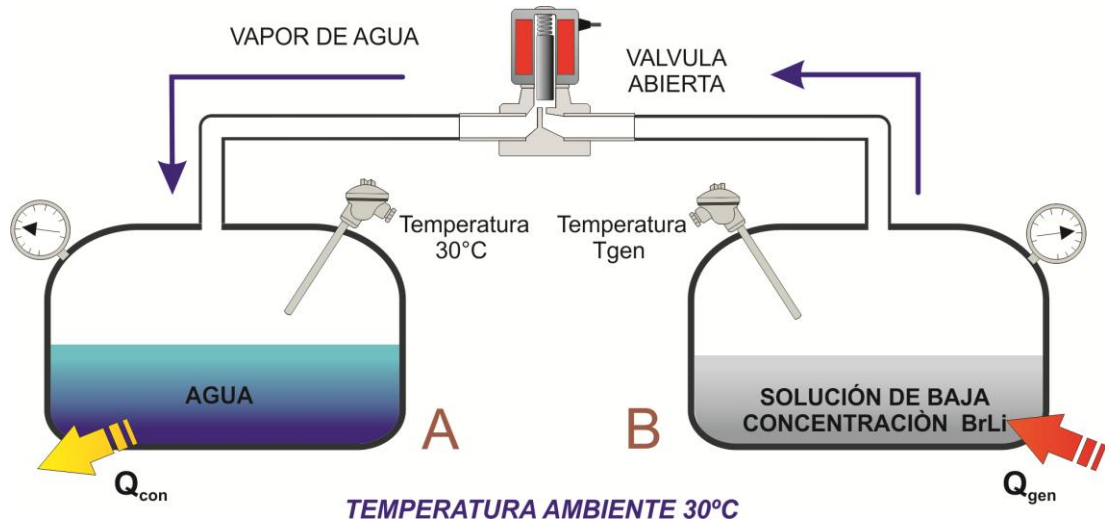


Fuente: Autores.

Como se puede ver la temperatura en el tanque A (10 °C) es menor a los alrededores (30 °C) por lo tanto se produce un efecto de refrigeración Q_{ev} en el tanque a causa de la transferencia de calor con sus alrededores, debido a esta transferencia de calor se vaporiza agua en el tanque A y fluye vapor hacia el tanque B donde es absorbido por la solución en una reacción exotérmica, este calor de la reacción Q_{ab} es rechazado a los alrededores.

Para poder continuar con este proceso es necesario mantener constantes las condiciones en los tanques A y B, esto en un sistema cerrado como el que se describe no es posible, pues gradualmente la cantidad de agua en el tanque A ira disminuyendo y la solución en el tanque B comenzara a diluirse por el efecto de la absorción de agua, como resultado la presión del sistema y la temperatura en el tanque A se incrementaran con el tiempo reduciéndose así el efecto de refrigeración, a estos sistemas de refrigeración constituidos por solo dos tanques se les conoce como de refrigeración intermitente, ya que el proceso de refrigeración es detenido y tanto el tanque A como el B deben ser retornados a sus condiciones iniciales, esto requiere remover el vapor de agua absorbido en B y llevarlo nuevamente al tanque A en forma de líquido en un proceso llamado generación como se muestra en la Figura 20.

Figura 20. Tanques de refrigeración por absorción. Generación.



Fuente: Autores.

Antes de iniciar el proceso de generación la válvula que interconecta A y B es cerrada y los dos tanques se encuentran en equilibrio térmico con los alrededores (30 °C), durante el proceso de generación se debe entregar calor Q_{gen} a alta temperatura a la solución diluida en el tanque B, la válvula se abre, como resultado el vapor de agua que se genera en el tanque B fluye hacia el tanque A en el cual es condensado rechazando a los alrededores el calor de condensación.

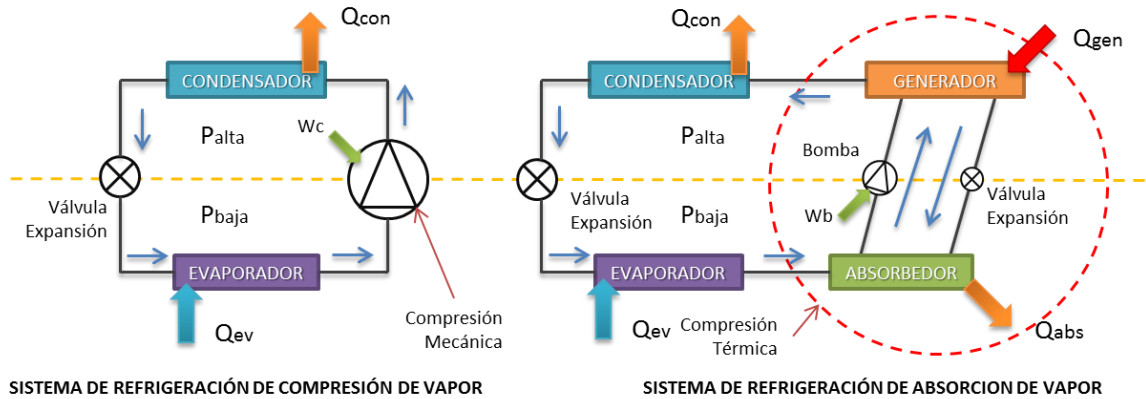
El proceso de generación continúa hasta retornar al tanque A todo el vapor retirado de él en la etapa de refrigeración. Luego se debe cerrar la válvula y enfriar el tanque B que contiene la solución hasta 30 °C. Las cantidades de calor tanto Q_{ev} , como Q_{gen} dependen de las propiedades de la solución como concentración y temperatura así como de sus condiciones de operación. Se puede concluir que este sistema produce un efecto de refrigeración Q_{ev} , usando un calor Q_{gen} como fuente de energía, argumento que demuestra lo expuesto sobre los sistemas de absorción en el apartado de clasificación de los sistemas de refrigeración según su fuente de energía.

El sistema descrito puede ser llamado sistema de refrigeración por absorción intermitente, este simple sistema puede ser usado para proveer refrigeración usando energías renovables como la energía solar en áreas rurales y apartadas, así como en localidades urbanas en donde la preocupación por disminuir los elevados consumos de electricidad y el daño al ambiente son temas importantes para la población. Como ya se explicó estos sistemas producen refrigeración intermitente, si se usa la energía solar para el proceso de generación del refrigerante, es decir por medio del sol aportar calor a la solución con el objetivo de generar el vapor que retornara al tanque del refrigerante.

Los sistemas de refrigeración por absorción intermitente no se pueden usar en donde se requiera refrigeración continua. Los sistemas de absorción continua se pueden obtener mediante la modificación de este sistema con la inclusión de otro par de tanques similares a los ya descritos A y B además de una válvula de expansión y una bomba para la solución.

3.4.2 Ciclos de refrigeración por absorción (BrLi + H₂O) continuos. En la Figura 21 se muestra un sistema de refrigeración por compresión de vapor continuo de manera análoga también se muestra un sistema de refrigeración por absorción continuo. Como se ve en la figura en ambos sistemas refrigerante a baja presión y temperatura con una baja calidad entran al evaporador en donde se vaporiza produciendo el efecto de refrigeración Q_{ev} en el evaporador.

Figura 21. Ciclos de refrigeración por absorción y compresión de vapor continuos.



Fuente: Autores.

El vapor refrigerante a baja presión y temperatura entra ahora al absorbedor y al entrar en contacto con la solución absorbente pobre en refrigerante (fuerte en sal absorbente o solución concentrada) es absorbido por ella diluyendo la solución. El calor producido por la absorción Q_{ab} es rechazado al exterior. La solución que es ahora rica en refrigerante (solución débil en absorbente) es bombeada a alta presión usando la bomba de la solución hacia el generador. En el generador calor a alta temperatura es suministrado a la solución como resultado se genera vapor refrigerante a alta presión. El vapor a alta presión es entonces condensado rechazando el calor de condensación al exterior. El refrigerante líquido condensado es pasado a través del dispositivo de expansión para ser llevado nuevamente al evaporador y así completar el ciclo. Por otra parte la solución a alta presión y temperatura que está débil en refrigerante (solución concentrada) es ajustada a la presión del absorbedor por medio de la válvula de expansión de la solución y luego entregada al absorbedor donde entra en contacto con el vapor refrigerante del evaporador para absorberlo. De esta manera refrigeración continua es producida en el evaporador, mientras calor a alta temperatura es continuamente suministrado al generador, simultáneamente calor es rechazado al exterior en el absorbedor y condensador. Una pequeña cantidad de energía mecánica es requerida para operar la bomba de la solución. Si se desprecia la

caída de presión en las tuberías los sistemas de absorción operan entre las presiones del condensador y evaporador. La presión en el absorbedor es la misma presión en evaporador y la presión en el generador es la misma presión en el condensador. En la Figura 21 se puede ver que los sistemas de refrigeración por absorción operan de forma similar a los sistemas por compresión, como ya se había mencionado en este libro la diferencia radica en la forma de comprimir el refrigerante a la presión del condensador.

3.4.2.1 Clasificación de los ciclos de refrigeración por absorción (BrLi + H₂O) continuos. Todas las clasificaciones sobre un grupo determinado de elementos se efectúan en función de criterios definidos. Sobre los ciclos continuos de trabajo de las máquinas de absorción, no existe una clasificación unificada, ni siquiera unos criterios que coincidan de forma general. Por esta razón es oportuno comenzar ofreciendo una definición específica de estos conceptos¹⁵:

- Efecto: hace referencia al generador de la máquina; dispositivo donde se produce el vapor refrigerante mediante ebullición.
- Etapa: hace referencia al absorbedor de la máquina; elemento donde se produce la absorción del vapor refrigerante.

Los principales criterios a la hora de clasificar los ciclos de funcionamiento de las máquinas de absorción de enfriamiento continuo son los siguientes:

- En función del *número de efectos* (o generadores)
 - De **simple efecto**: máquina de absorción con un solo generador.

¹⁵Prototipo de máquina frigorífica de absorción de BrLi/H₂O de doble efecto condensada por aire, Jose Daniel Marcos, Madrid 2008, 198p.

- De **doble efecto**: máquina de absorción con dos generadores.
- De **triple efecto**: máquina de absorción con tres generadores.
- En función del *número de etapas* (o absorbedores)
 - De **simple etapa**: máquina de absorción con un absorbedor.
 - De **doble etapa**: máquina de absorción con dos absorbedores.
 - De **triple etapa**: máquina de absorción con tres absorbedores.
- En función del sistema de condensación
 - **Condensada por agua**: el fluido que provoca la condensación del refrigerante es agua. Llevan asociadas una torre de refrigeración.
 - **Condensada por aire**: el fluido que provoca la condensación del refrigerante es aire.
- En función la *fuerza de calor* que suministra la potencia calorífica al generador del ciclo.
 - De **tipo directo o “llama” directa**: utilizan el calor aportado por los productos de la combustión, para calentar la disolución procedente del absorbedor y llevarla al punto de ebullición. Se utiliza, para tal fin, un quemador de un combustible fósil (líquido o gaseoso).
 - De **tipo indirecto**: reciben el calor necesario a través de un elemento intermedio; un intercambiador de calor. El fluido caliente puede proceder de un

fluido térmico, de la recuperación de calor de una fuente residual, de una instalación de energía solar, o de una caldera de gas.

4. DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

4.1.1 Selección del par refrigerante. La mezcla compuesta por la sal Bromuro de litio¹⁶ y agua se ha seleccionado como el par refrigerante/absorbente para el diseño y construcción del prototipo. Esta elección se basa en las múltiples ventajas ofrecidas por este par comparado con los otros usados en la industria de la refrigeración por absorción principalmente en los aspectos que tienen que ver con la posibilidad de usar energía solar como fuente de energía, baja toxicidad y el casi nulo efecto nocivo que sobre el ambiente ejerce esta mezcla.

Con la elección del par bromuro de litio más agua se debe considerar en las condiciones de operación del equipo la posibilidad que se presente el fenómeno de cristalización y sus consecuencias, otro factor a tener en cuenta con este par es su alto grado de corrosividad sobre los metales comunes.

4.1.2 Selección del ciclo de refrigeración. Los ciclos de refrigeración por absorción pueden trabajar en forma continua o intermitente. Los ciclos de refrigeración continuos en su composición son bastante complejos ya que requieren del empleo de diversos componentes sofisticados, que hacen muy costoso su desarrollo. Los ciclos intermitentes en principio son más sencillos y requieren de una menor inversión para su ejecución, esta diferencia hace más factible la aplicación de los ciclos de refrigeración por absorción intermitente en este tipo de investigaciones académicas. Por lo tanto el diseño del prototipo se basara en este ciclo.

¹⁶Comprado a SIGMA ALDRICH por intermedio de G&G SUCESORES Bogotá. Ver detalles técnicos y de seguridad en ANEXO A.

4.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO

El sistema de refrigeración que se desea construir está basado en la tecnología de absorción $H_2O+BrLi$ de flujo intermitente, es necesario en esta etapa del libro dar un repaso a la figura 2. En donde se muestra un esquema general del prototipo, el cual se compone principalmente de cuatro subsistemas que permiten la ejecución del ciclo de refrigeración:

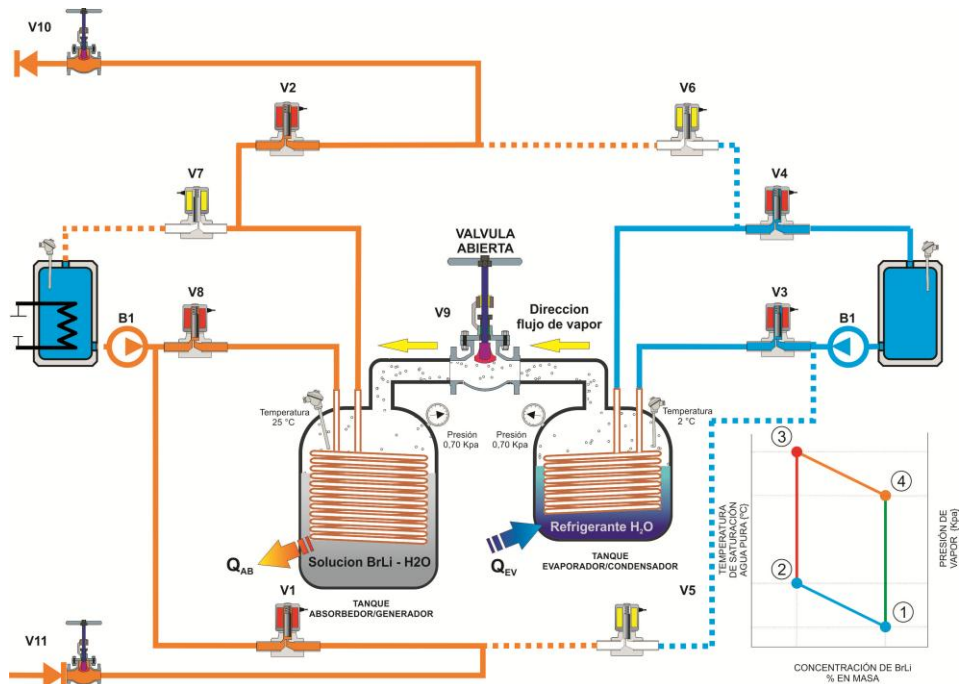
- Subsistema de refrigeración: Esta parte del prototipo es la encargada de generar el efecto de refrigeración apoyado en los demás subsistemas. Se podría decir que es el corazón del equipo, ya que es allí en donde tiene lugar los procesos de evaporación, absorción, generación y condensación. Se compone de dos tanques y una válvula que los conecta.
- Subsistema fuente de energía: como su nombre lo indica es el encargado de proveer la energía en forma de calor para la ejecución del ciclo de refrigeración.
- Subsistema de almacenamiento de agua: este subsistema se encarga de mantener el suministro de agua necesario para la ejecución del ciclo de refrigeración, consta principalmente de tanques de almacenamiento
- Subsistema de control manual: está compuesto principalmente por válvulas y bombas, Su función es permitir la fácil operación del prototipo.

El ciclo de refrigeración intermitente que se pretende diseñar partiendo de unas condiciones iniciales se desarrolla en las siguientes etapas:

- **ETAPA DE EVAPORACIÓN Y ABSORCIÓN:** Como se puede ver en la figura 22, en esta etapa se genera el efecto de refrigeración en el sistema, el

refrigerante en el tanque del evaporador extrae calor de los alrededores, se evapora y fluye hacia el tanque absorbedor que contiene la solución de (BrLi+H₂O) donde simultáneamente es absorbido rechazando el calor de la absorción hacia el exterior por medio de la circulación de agua a través de un serpentín en su interior.

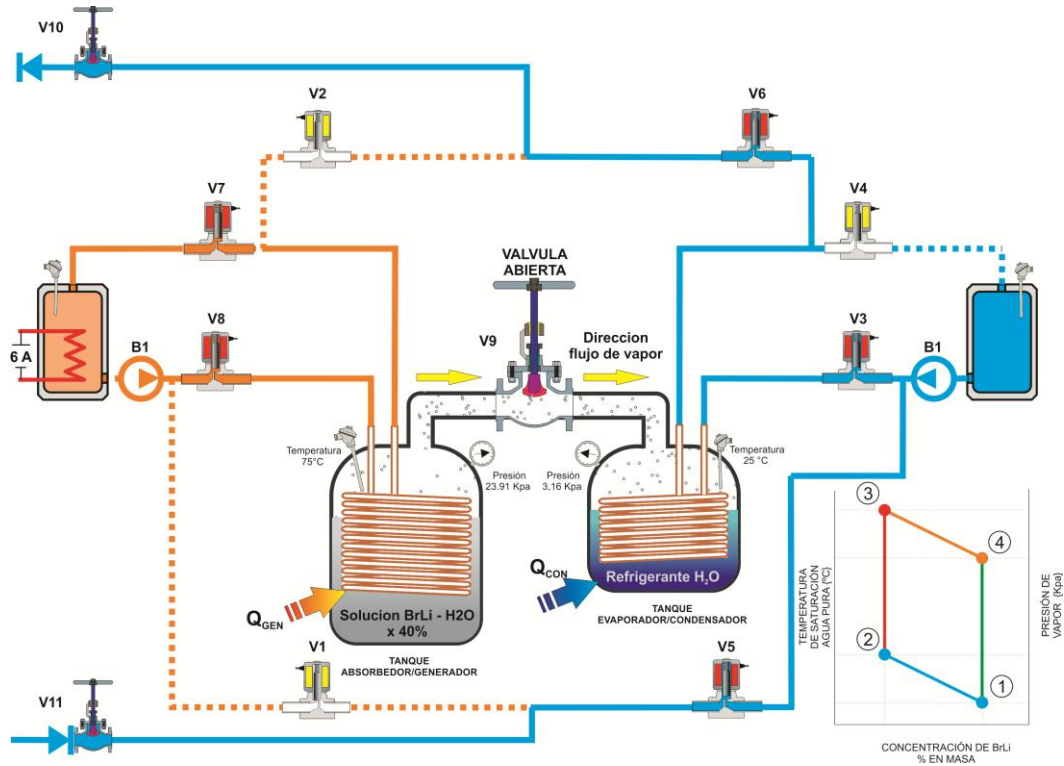
Figura 22. Esquema de la etapa de evaporación/absorción.



Fuente: Autores.

- ETAPA DE COMPRESIÓN Y GENERACIÓN/CONDENSACION:** También llamada etapa de carga, una vez que se ha finalizado la etapa de evaporación/absorción se detiene el efecto de refrigeración, ahora se debe retornar el refrigerante al tanque del evaporador para poder ejecutar el ciclo nuevamente. Al tanque del absorbedor que durante esta etapa cumple la función de generador se le suministra calor que evapora el refrigerante, este vapor fluye hacia el tanque evaporador en el cual se condensa rechazando calor al exterior ya que ahora este tanque actúa como condensador. Ver Figura 23.

Figura 23. Esquema de la etapa de generación y condensación.

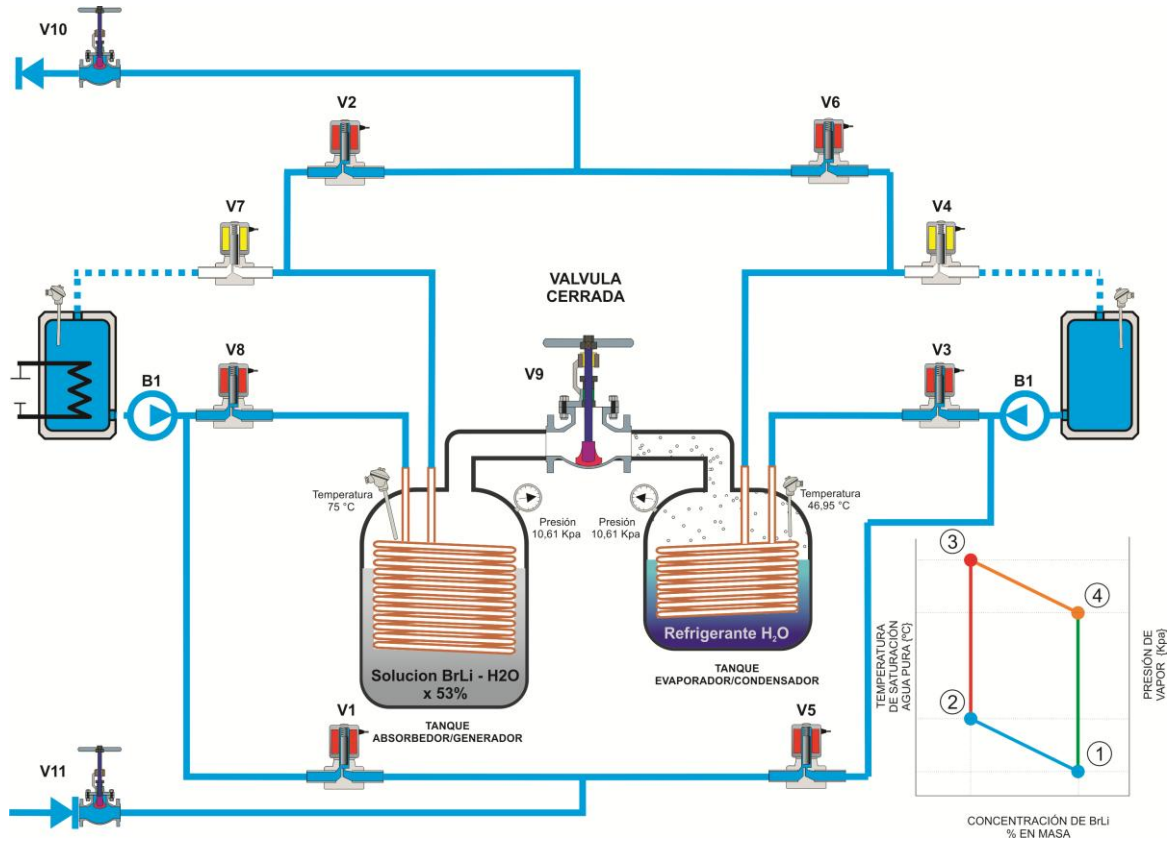


Fuente: Autores.

- **ETAPA DE TRANSICIÓN:** Una vez que se ha retornado el refrigerante al tanque del evaporador se cierra la válvula y se lleva nuevamente a todo el sistema a las condiciones iniciales para permitir nuevamente la ejecución del ciclo de refrigeración. Ver Figura 24

4.2.1 Modelamiento del subsistema de refrigeración. El subsistema de refrigeración se modela de forma similar al esquema mostrado en la Figura 18. Dos tanques, uno de los cuales cumple la función de evaporador y condensador del ciclo, este tanque contiene agua pura con el rotulo de refrigerante. De igual forma en el otro tanque se llevan a cabo los procesos de absorción y generación, la solución de bromuro de litio más agua se deposita en este tanque. Ver Tabla 4.

Figura 24. Esquema de la etapa de transición.



Fuente: Autores.

Tabla 4. Descripción de las funciones de los tanques en el ciclo.

	FUNCIÓN 1	FUNCIÓN 2	CONTIENE
TANQUE 1	evaporador	condensador	Agua (Refrigerante)
TANQUE 2	absorbedor	generador	Agua + Bromuro de Litio (solución absorbente)

Fuente: Autores.

4.2.1.1 Cálculo de masas en el subsistema de refrigeración. Debido al alto costo de la sal bromuro de litio tipo reactivo analítico y a la imposibilidad de conseguir el tipo industrial se adquirieron solamente 2 kg del producto, estimando que en la realización de algunas pruebas se desperdicien 100 gramos tendríamos una cantidad neta de sal para el prototipo de 1.9 Kg.

La solución de BrLi + H₂O en el tanque absorbedor/generador dentro del sistema se planea que opere en dos rangos de concentración correspondientes al inicio y finalización de la etapa de refrigeración/absorción. Al iniciar la etapa de refrigeración/absorción la solución de bromuro de litio y agua es rica en sal, se puede decir que es una *solución concentrada*, a medida que la solución absorbe refrigerante se va disolviendo alcanzando su punto máximo de disolución en el momento en que finaliza la etapa de refrigeración/absorción en este momento se dice que es una *solución diluida*. De la misma manera en la etapa de generación/condensación se da el mismo cambio en la concentración de la solución, en este caso la solución pasa de estar diluida al inicio de la etapa generación/condensación a estar concentrada en su finalización. Ver tabla 5.

Antes de asignar los dos valores extremos del intervalo de concentración en la solución es necesario explicar el grafico de Dühring para las soluciones de (BrLi + H₂O) en la Figura 17.

Tabla 5. Estados de la solución en el proceso.

ETAPA	INICIO	FINAL
refrigeración/absorción	solución concentrada	solución diluida
generación/condensación	solución diluida	solución concentrada
transición	solución concentrada	solución concentrada

Fuente: Autores.

Los valores de concentración para la solución de Bromuro de Litio y Agua en el tanque absorbedor en el diseño del prototipo se establecen en 53 % para la solución concentrada y 40 % para la solución diluida. Dichos valores fueron

determinados de acuerdo a diversos estudios sobre solubilidad en este tipo de soluciones como los realizados por Daniel Salavera y Daniel Boryta¹⁷.

- **MASA DE BROMURO DE LITIO Y AGUA.** Como la solución de BrLi + H₂O en el sistema se planea que opere en los rangos de concentración en masa de 40% a 53% se deben calcular las masas estimadas de BrLi y H₂O que serán necesarias para la operación.

53% solución concentrada:

$$X = \frac{m_{BL}}{m_{BL} + m_{H_2O}}$$

Dónde:

X Es la concentración en masa de la solución dividida por 100

m_{BL} Es la masa en Kg de la sal bromuro de litio en la solución

m_{H_2O} Es la masa en Kg del agua pura en la solución

Entonces para una concentración de **53%** de bromuro de litio se tiene que

$$0.53 = \frac{1.9Kg}{1.9Kg + m_{H_2O}}$$

¹⁷Tesis doctoral de Daniel Salavera Muñoz "**Propiedades termofísicas de nuevos fluidos de trabajo para sistemas de refrigeración por absorción**" presentada para obtener el grado de Doctor en Ingeniería química y de procesos por la Universitat Rovira i Virgili; recurso en línea.

$$m_{H_2O} = 1.685Kg$$

Por lo tanto la masa total de solución concentrada (**53%**) es:

$$m_{TSC} = m_{BL} + m_{H_2O} = 1.9Kg + 1.685Kg = 3.585Kg$$

Donde m_{TSC} es la masa total de la solución concentrada en Kg.

Entonces se aclara para las condiciones iniciales que el tanque de la solución contiene 3.585 Kg de esta a una concentración en masa de 53%.

40% solución diluida:

En este punto la solución se encuentra al final de la etapa de refrigeración/absorción. Como la cantidad de soluto en la solución se conserva entonces tenemos:

$$0.4 = \frac{1.9Kg}{1.9Kg + m_{H_2O}}$$

$$m_{H_2O} = 2.85Kg$$

Por consiguiente la masa total de solución diluida (40%) es:

$$m_{TS} = m_{BL} + m_{H_2O} = 1.9Kg + 2.85Kg = 4.75Kg$$

De lo anterior se puede concluir que la cantidad de refrigerante (agua) evaporado en la etapa de refrigeración es:

$$m_{ER} = 2.85Kg - 1.685Kg = 1.165KgH_2O$$

Donde.

m_{ER} =Es la masa evaporada de refrigerante en Kg.

4.2.1.2 Análisis teórico de estados del refrigerante y la solución absorbente

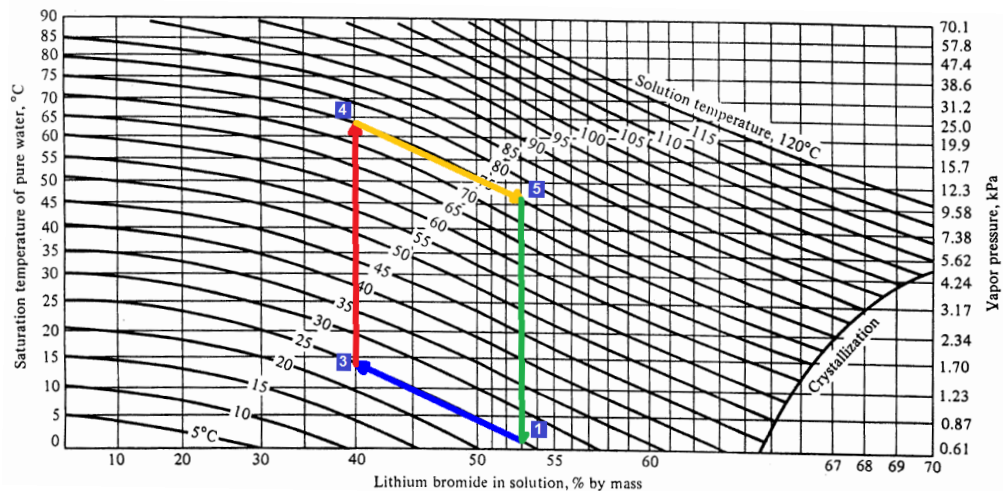
- **CICLO TEORICO TANQUE ABSORBEDOR/GENERADOR.** En la Figura 25 se muestra el ciclo de trabajo del tanque absorbedor/generador sobre la gráfica de Dühring. La línea azul representa la etapa de evaporación/absorción, la concentración cambia de 53 % a 40 % y en teoría se mantiene la solución a una temperatura constante. La línea roja indica el momento en que finaliza la etapa de evaporación/absorción, se cierra la válvula de interconexión y se suministra calor a la solución de Bromuro de Litio y agua para llevar su temperatura a una $T 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una concentración constante de 40 %, etapa de compresión. La línea amarilla muestra la etapa de generación/condensación, la válvula se abre y la solución comienza a concentrarse ya que el vapor de agua absorbido en la etapa anterior comienza retornar al tanque evaporador condensador, la concentración de la solución aumenta de 40 % a 53 % a una temperatura constante aproximadamente de $T 75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por último para que se complete el ciclo la línea verde representa la etapa de transición en donde se cierra la válvula de interconexión para luego llevar al tanque absorbedor/generador a las condiciones iniciales $T 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y concentración de 53 %. A continuación se describe el análisis del ciclo de refrigeración.

- **CONDICIONES INICIALES.** El sistema inicia con las siguientes características:

- Temperatura ambiente 25°C.
- Sistema al vacío.
- Válvula de interconexión cerrada.

En la Figura 26 se describen las condiciones iniciales del sistema.

Figura 25. Diagrama de Dühring del proceso.



Fuente: Stoecker, W. F. Jones, J. W. Refrigeration and air conditioning. Segunda Edición. New York: McGraw-Hill, Inc. 443p

En el tanque absorbedor/generador se encuentra una solución de bromuro de litio más agua, esta solución se encuentra en una concentración de 53% de soluto en masa. El agua pura se encuentra en el tanque evaporador/condensador.

Por lo tanto para el tanque absorbedor/generador se tienen las siguientes características:

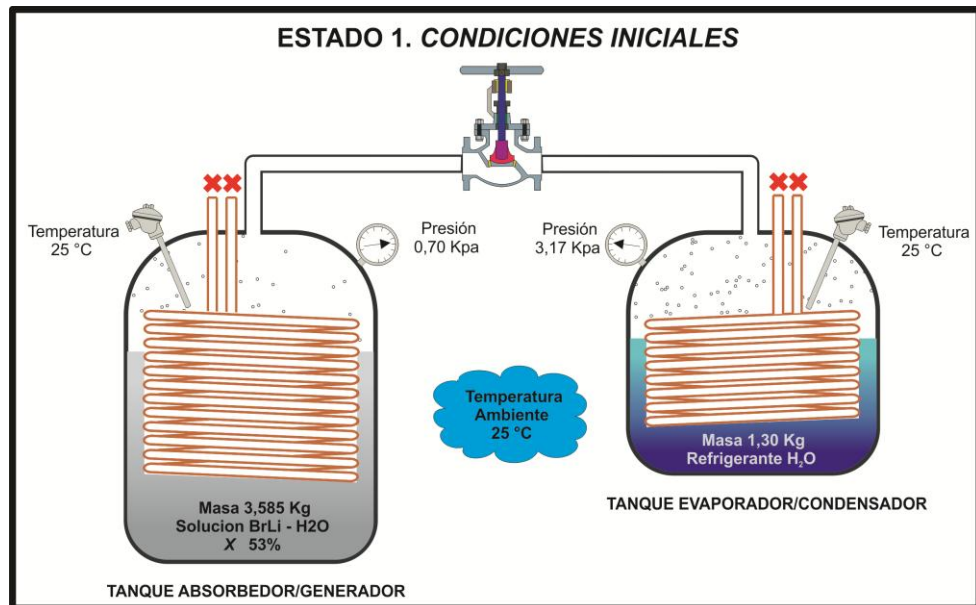
- Está en equilibrio térmico con sus alrededores, se encuentra a una temperatura de 25°C.

- Contiene solución BrLi + H₂O con una concentración de soluto de 53% en masa y una T 25°C.
- Presión de vapor según su estado es de 0.70 Kpa, 5.25mmHg.
- Temperatura de saturación del agua pura T_{sat} 2°C

El tanque evaporador/condensador presenta las siguientes características:

- Está en equilibrio térmico con sus alrededores, se encuentra a una temperatura de 25°C.
- Contiene H₂O pura a una T 25°C.
- presión de vapor según su estado es de 3.17 Kpa, 23.77 mmHg.

Figura 26. Condiciones iniciales del sistema.

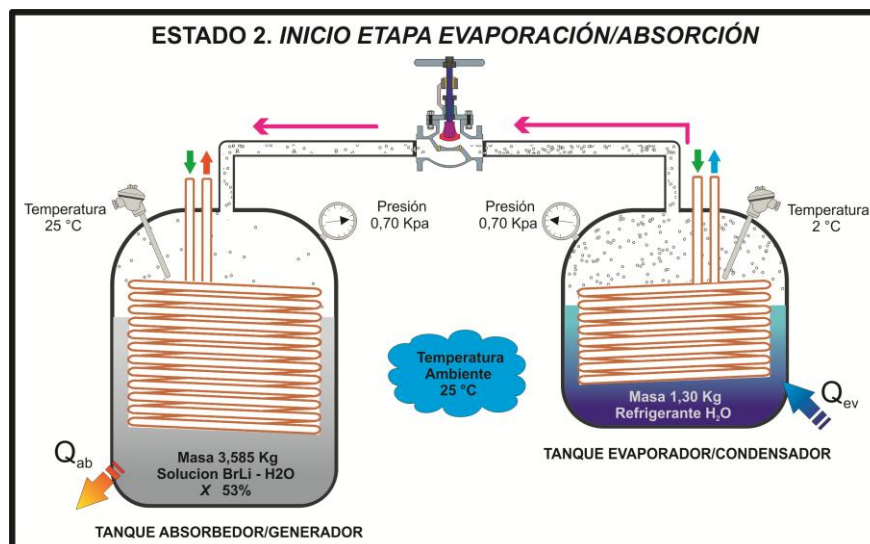


Fuente: Autores.

- ETAPA DE EVAPORACIÓN/ABSORCIÓN.** Una vez que el sistema con los dos tanques se encuentra bajo las condiciones iniciales se procede a iniciar la etapa de evaporación/absorción ver Figura 27. Lo primero que se hace es abrir la válvula de interconexión para conectar los dos tanques, inmediatamente la presión de los dos tanques se hace aproximadamente igual a **0.70 Kpa** debido a la baja presión de vapor ejercida por la solución absorbente en estas condiciones, el tanque que contiene agua pura comienza a evaporarse a la temperatura de saturación T_{sat} **2°C**, el vapor de agua comienza a fluir desde el tanque evaporador/condensador hacia el tanque absorbedor/generador donde es simultáneamente absorbido por la solución de $BrLi + H_2O$.

El efecto de refrigeración se debe al aprovechamiento del calor latente de vaporización del agua a una temperatura (T_{sat} **2°C – 14 °C**) que extrae calor de sus alrededores (**T 25°C.**) Por medio de un serpentín por el que circula agua. El efecto de refrigeración continua hasta que el flujo de vapor del tanque de agua al tanque de la solución se detenga, esto sucede cuando se cierra la válvula de interconexión.

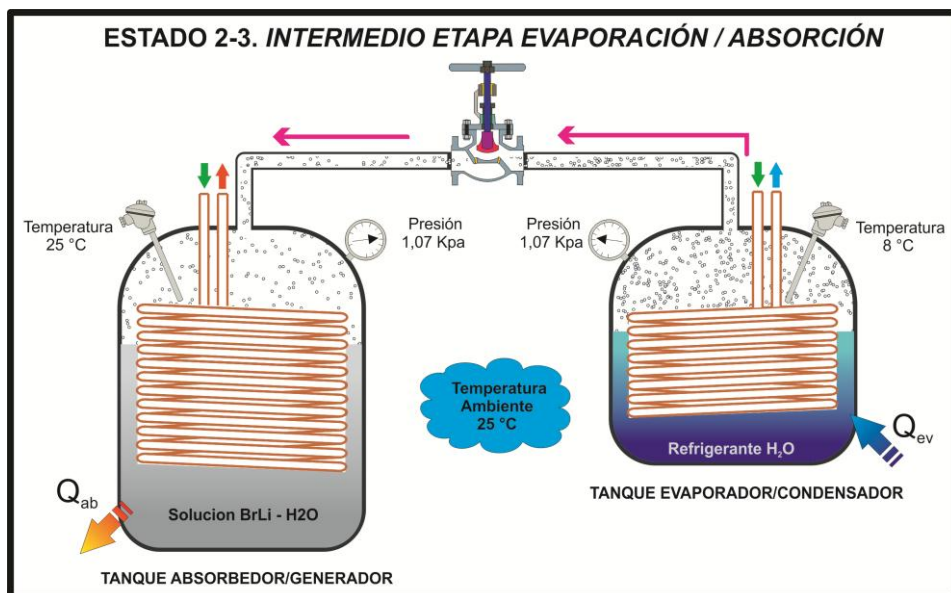
Figura 27. Inicio de la etapa de evaporación/absorción.



Fuente: Autores.

Por otro lado la absorción de refrigerante en el tanque absorbedor/generador es un proceso exotérmico, por lo tanto se genera calor y en un sistema adiabático elevación de la temperatura, este suceso debe ser controlado ya que el aumento de la temperatura disminuye la capacidad de la solución para absorber refrigerante y por consiguiente afecta el efecto de refrigeración. Haciendo circular agua por un serpentín a una T 25°C se tratara de mantener la temperatura de la solución constante a aproximadamente 25°C . La etapa de evaporación finaliza en el instante en que la solución adquiera una concentración de soluto de 40% en masa. Ver Figura 29. En la figura 28 se puede ver un estado intermedio de la etapa de refrigeración/absorción.

Figura 28. Estado intermedio de la evaporación/absorción.



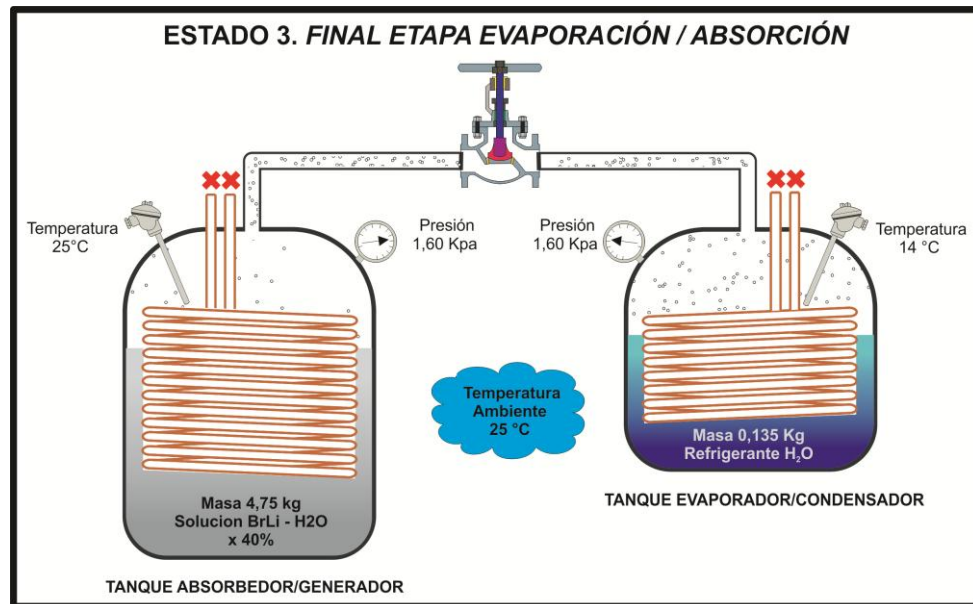
Fuente: Autores.

- **ETAPA DE COMPRESIÓN Y GENERACIÓN/CONDENSACIÓN.** Cuando la concentración en masa de la solución llegue al valor de 40% la etapa de evaporación/absorción finaliza e inicia la etapa de compresión. Primero debemos cerrar la válvula de interconexión, al hacer esto el flujo de vapor cesa, en este

instante el sistema se encuentra en las siguientes condiciones: El tanque absorbedor/generador presenta las siguientes características

- La concentración de la solución de BrLi + H₂O es de 40% en masa y una temperatura aproximada T 25°C.
- presión de vapor según su estado es de 1.60 Kpa.
- Temperatura de saturación del agua pura T_{sat} 14°C

Figura 29. Finalización de la etapa de evaporación/absorción.



Fuente: Autores.

El tanque evaporador/condensador presenta las siguientes características:

- se encuentra a una temperatura de 14 °C.

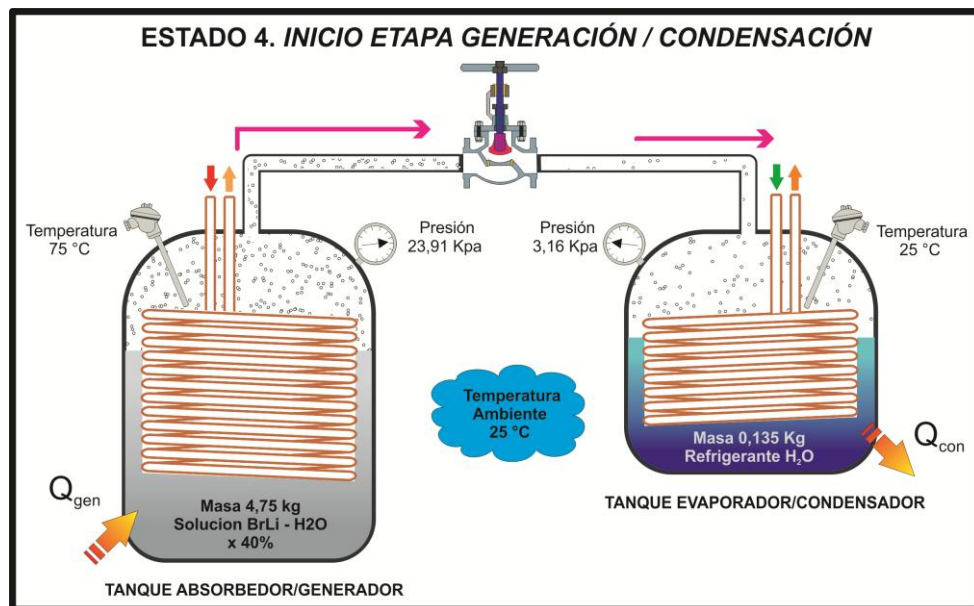
Ahora se debe aplicar calor a la solución con el objetivo de extraer el vapor refrigerante de esta. Por medio de la circulación de agua caliente por el serpentín

del tanque de la solución se llevara está a una temperatura de aproximadamente **75°C**, en forma simultanea se debe llevar a temperatura ambiente **T 25°C** el tanque evaporador/condensador que contiene el agua pura. En este momento las condiciones en el sistema serán las siguientes:

El tanque absorbedor/generador presenta las siguientes características:

- La concentración de la solución de BrLi + H₂O es de 40% en masa y se encuentra a una temperatura de aproximadamente T 75°C.
- Presión de vapor según su estado es de 23.91 Kpa.
- Temperatura de saturación del agua pura T_{sat} 64°C

Figura 30. Inicio etapa de generación / condensación.



Fuente: Autores.

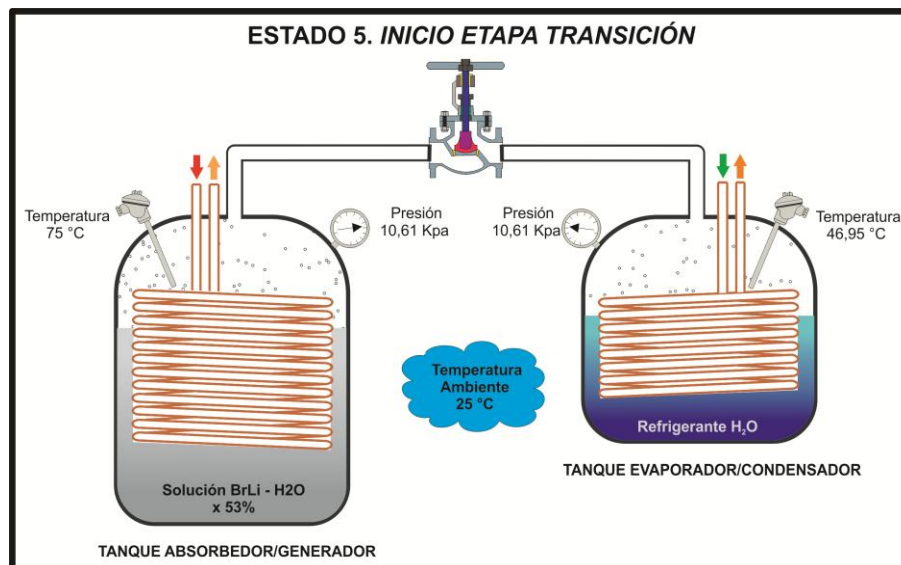
El tanque generador/condensador presenta las siguientes características:

- Se encuentra a una temperatura de 25 °C.

Posteriormente se abre la válvula en este momento se da inicio a la etapa de generación/condensación, el vapor empieza a fluir ahora hacia el tanque evaporador/condensador en donde en contacto con los serpentines de este por los que circula agua a temperatura ambiente inicia su condensación. El proceso de generación/condensación finaliza cuando la solución llega a una concentración en masa de 53%. Ver Figura 31.

- **ETAPA DE TRANSICIÓN.** Cuando la solución en el tanque A ha alcanzado la concentración de 53% se procede a cerrar la válvula, de esta forma los dos tanques quedan aislados. Ahora se debe llevar todo el sistema a las condiciones iniciales. A través de los serpentines de cada tanque se hace circular agua a temperatura **T 25°C** hasta que todo el sistema se encuentre en equilibrio térmico con el ambiente. En este estado el sistema está listo para iniciar nuevamente la etapa de refrigeración si así se desea.

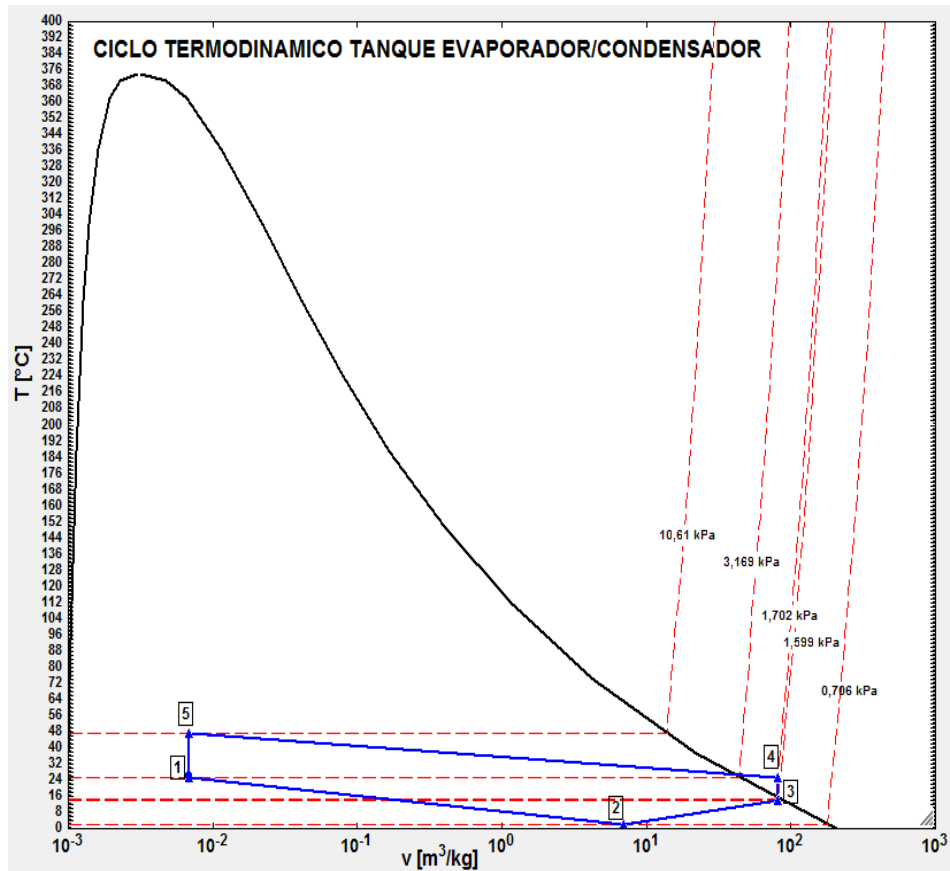
Figura 31. Inicio etapa de transición.



Fuente: Autores.

- **CICLO TEORICO TANQUE EVAPORADOR/CONDENSADOR.** La Figura 32 es un diagrama termodinámico (temperatura vs volumen específico) basado en la Tabla 6 que representa el ciclo de operación del tanque evaporador/condensador.

Figura 32. Ciclo termodinámico tanque evaporador/condensador



Fuente: Autores.

Tabla 6. Estados termodinámicos tanque evaporador/condensador.

Estado	Masa (Kg)	Presión (Kpa)	Temperatura (°C)	Volumen específico (m ³ /Kg)	Calidad	Entalpia (KJ/Kg)	Energía Interna (KJ/Kg)
1	1,165	3,169	25	0,006866	0,0001352	105,1	105,1
2	1,165	0,706	2,001	6,964	0,03874	105,1	100,2

Estado	Masa (Kg)	Presión (Kpa)	Temperatura (°C)	Volumen específico (m ³ /Kg)	Calidad	Entalpia (KJ/Kg)	Energía Interna (KJ/Kg)
3	0,00009901	1,599	14	80,8	0,9757	2466	2337
4	0,00009901	1,702	25	80,8		2547	2409
5	1,165	10,61	46,95	0,006866	0,0004214	197,6	197,5

Fuente: Autores.

El ciclo inicia en el punto (1) la válvula de interconexión permanece cerrada, el agua dentro del tanque se encuentra como una mezcla líquido – vapor saturado a una temperatura de 25 °C y una presión de 3.169 Kpa. Luego la válvula de interconexión se abre comunicando los dos tanques, se asume una expansión isoentálpica del agua hasta una presión de 0.706 Kpa punto (2). El agua comienza a evaporarse a 2 °C extrayendo calor del serpentín por el que circula agua a 25 °C, debido al cambio de presión en el sistema que en la etapa de refrigeración/absorción va desde 0.706 Kpa hasta 1.599 Kpa la temperatura de evaporación del agua no es constante, esta inicia en 2 °C y finaliza en 14 °C respectivamente punto (3).

Como se puede ver entre los puntos (1) y (3) se produce el efecto de refrigeración en el ciclo. En el punto (3) se cierra la válvula de interconexión deteniéndose así la etapa de evaporación/absorción, el agua continua circulando por el serpentín hasta que la temperatura en el tanque llega a T 25 °C, en este momento la presión es 1.702 KPa. Cuando la solución de Bromuro de Litio y Agua en el tanque absorbedor/generador llega a la temperatura de T 75 °C se abre nuevamente la válvula de interconexión, el vapor comienza a retornar al tanque evaporador/condensador en donde se condensa, el punto (5) representa el estado del tanque evaporador/condensador determinado por la presión de vapor ejercida por la solución correspondiente a una temperatura de T 75 °C, una concentración de 53 % y el volumen específico inicial del tanque. Por último se cierra la válvula de interconexión y se lleva a todo el sistema a las condiciones iniciales.

4.2.1.3 Balance de energía en el subsistema de refrigeración

- **BALANCE DE ENERGIA EN LA EVAPORACIÓN.** Al realizar un balance de energía en el tanque evaporador/condensador en la etapa de refrigeración/absorción proceso (1) a (3) de la Figura 32. Se puede determinar el calor de evaporación Q_{ev} que en términos generales determina la capacidad de refrigeración neta del sistema. Si se desprecian los cambios de energía cinética y potencial en el sistema entonces.

$$(Q_{ent} + \cancel{W_{ent}} + \sum_{ent} \cancel{m\dot{h}}) - (Q_{sal} + \cancel{W_{sal}} + \sum_{sal} mh) = (m_3 u_3 - m_1 u_1)$$

En este caso.

$$Q_{ent} = Q_{ev}$$

Al simplificar la ecuación se obtiene.

$$Q_{ev} - m_{ER} h_3 = (m_3 u_3 - m_1 u_1)$$

m_{ER} = masa evaporada de refrigerante 1.165 Kg H₂O.

h_3 = entalpia al finalizar etapa de evaporación/absorción.

m_3 = masa de agua en el tanque al finalizar etapa de evaporación/absorción.

m_1 = masa de agua en el tanque en las condiciones iniciales.

u_3 = energía interna al finalizar etapa de evaporación/absorción.

u_1 = energía interna en las condiciones iniciales.

Los valores de las propiedades se obtienen de la Tabla 6.

$Q_{ev} = 2751$ KJ, es la cantidad de energía (calor) neta extraída en la evaporación del refrigerante, capacidad de refrigeración. Dependiendo del tiempo que se determine para la ejecución de la etapa evaporación/absorción se calcula la potencia de refrigeración (w).

• **BALANCE DE ENERGIA EN LA ABSORCIÓN.** Al realizar un balance de energía en el tanque absorbedor/generador en la etapa de refrigeración/absorción se puede determinar el calor de absorción Q_{abs} . Este calor se debe evacuar en esta etapa del tanque absorbedor/generador y es la suma del calor latente del vapor refrigerante absorbido más el calor de la reacción de la disolución. Si se desprecian los cambios de energía cinética y potencial en el sistema entonces

$$(\cancel{Q}_{ent} + \cancel{W}_{ent} + \sum_{ent} mh) - (Q_{sal} + \cancel{W}_{sal} + \sum_{sal} \cancel{mh}) = (m_{sold3} h_{sold3} - m_{solf1} h_{solf1})$$

En este caso.

$$Q_{sal} = Q_{abs}$$

Al simplificar la ecuación se obtiene.

$$m_{ER} h_3 - Q_{abs} = (m_{sold3} h_{sold3} - m_{solf1} h_{solf1})$$

m_{ER} = masa evaporada de refrigerante 1.165 Kg H₂O.

h_3 = entalpia del agua al finalizar etapa de evaporación/absorción.

m_{sold3} = masa de la solución débil en el tanque absorbedor/generador, concentración 40 % al finalizar etapa de evaporación/absorción, 4.75 Kg.

m_{sof1} = masa de la solución fuerte en el tanque absorbedor/generador, concentración 53 % al iniciar la etapa de evaporación/absorción. 3.585 Kg.

h_{sold3} = entalpia de la solución débil en el tanque absorbedor/generador al finalizar etapa de evaporación/absorción. -138 (KJ/Kg).

h_{sof1} = entalpia de la solución fuerte en el tanque absorbedor/generador al iniciar etapa de evaporación/absorción. -187.5 (KJ/Kg).

Los valores de las entalpias de la solución se obtienen de la tabla para entalpias de soluciones de bromuro de litio y agua en el **Anexo B** (tabla de entalpias de Brli+ agua).

Q_{abs} = 2857 KJ, este valor representa la cantidad de energía (calor) neta que se debe evacuar del tanque absorbedor/generador durante la etapa de evaporación/absorción.

- **BALANCE DE ENERGIA EN LA GENERACIÓN.** Al realizar un balance de energía en el tanque absorbedor/generador en la etapa de generación/condensación se puede determinar el calor de generación Q_{gen} . Este

calor se debe entregaren la etapa de generación/condensación al tanque absorbedor/generador.

$$(Q_{ent} + W_{ent} + \sum_{ent} mh) - (Q_{sal} + W_{sal} + \sum_{sal} mh) = (m_{solf5} h_{solf5} - m_{sold3} h_{sold3})$$

En este caso.

$$Q_{ent} = Q_{gen}$$

Al simplificar la ecuación se obtiene.

$$Q_{gen} - m_{ER} h_{H_2O@75^\circ C} = (m_{solf5} h_{solf5} - m_{sold3} h_{sold3})$$

m_{ER} = masa evaporada de refrigerante 1.165 Kg H₂O.

$h_{H_2O@75^\circ C}$ = entalpia del vapor de agua que sale del tanque absorbedor/generador en la etapa de generación/condensación. Se asume que el estado es vapor saturado a la temperatura de T 75 °C. 2635 (KJ/Kg).

m_{sold3} = masa de la solución débil en el tanque absorbedor/generador, concentración 40 % al iniciar la etapa de generación/condensación, 4.75 Kg.

m_{solf5} = masa de la solución fuerte en el tanque absorbedor/generador, concentración 53 % al finalizar la etapa de generación/condensación. 3.585 Kg.

h_{solt3} = entalpia de la solución débil en el tanque absorbedor/generador al finalizar etapa de evaporación/absorción. -138 (KJ/Kg).

h_{solt5} = entalpia de la solución fuerte en el tanque absorbedor/generador al finalizar la etapa de generación/condensación. -82 (KJ/Kg).

Q_{gen} = 3431 KJ, este valor representa la cantidad de energía (calor) neta que se debe entregar al tanque absorbedor/generador durante la etapa de generación/condensación para retornar al tanque evaporador/condensador la misma cantidad de vapor refrigerante absorbido en la etapa anterior por la solución.

- **BALANCE DE ENERGIA EN LA CONDENSACIÓN.** Al realizar un balance de energía en el tanque evaporador/condensador en la etapa de generación/condensación proceso (4) a (5) de la Figura 32. Se puede determinar el calor de condensación Q_{con} . Si se desprecian los cambios de energía cinética y potencial en el sistema entonces

$$(\cancel{Q}_{ent} + \cancel{W}_{ent} + \sum_{ent} mh) - (Q_{sal} + \cancel{W}_{sal} + \sum_{sal} \cancel{mh}) = (m_5 u_5 - m_4 u_4)$$

En este caso.

$$Q_{sal} = Q_{con}$$

Al simplificar la ecuación se obtiene.

$$m_{ER} h_{H_2O@75^\circ C} - Q_{con} = (m_5 u_5 - m_4 u_4)$$

m_{ER} = masa evaporada de refrigerante que ahora se debe condensar 1.165 Kg H₂O.

m_5 = masa de agua en el tanque al finalizar etapa de generación/condensación.

Condición inicial del sistema.

m_4 = masa de agua en el tanque al iniciar la etapa de generación condensación.

u_5 = energía interna al finalizar etapa de generación/condensación.

u_4 = energía interna en el tanque al iniciar la etapa de generación/condensación.

Los valores de las propiedades se obtienen de Tabla 6 por lo tanto.

Q_{con} = 2839 KJ, es la cantidad de energía (calor) neta rechazada en el tanque evaporador/condensador en la etapa de generación/condensación para poder condensar el vapor refrigerante.

Las cantidades de calor que intervienen en la etapa de transición para ambos tanques se pueden ver en el **Anexo C** (hoja de cálculo EES energía y estados del sistema).

4.3 CÁLCULO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

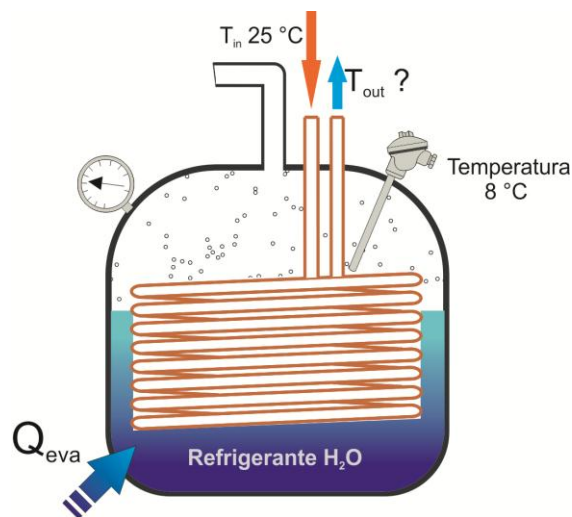
Una vez se tienen calculados los calores que interactúan en los tanques en cada una de las etapas del ciclo de refrigeración por absorción se procede a diseñar los dispositivos intercambiadores de calor que permitan ejecutar cada proceso. Por

simplicidad en la fabricación los intercambiadores del tanque absorbedor/generador y el tanque evaporador/condensador en sus dos funciones se modelan como intercambiadores de calor de casco y tubo tipo serpentín helicoidal.

4.3.1 Cálculo del intercambiador evaporador/condensador en evaporación

El intercambiador de calor del tanque evaporador/condensador en la etapa de refrigeración/absorción se modela de acuerdo a la Figura 33 en este intercambiador se lleva a cabo un proceso de evaporación.

Figura 33. Esquema intercambiador evaporador



Fuente: Autores.

- **REQUERIMIENTOS.** El evaporador debe enfriar el agua que circula por el serpentín, extrayendo de ella el calor Q_{eva} .
- **DATOS CONOCIDOS**
 - Temperatura de entrada del agua en el serpentín, $T_{in} = 25\text{ °C}$.

- Temperatura media de evaporación. $T_{\text{eva}} 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Calor de evaporación. $Q_{\text{eva}} \text{ (w)}$
- Dimensiones y material del tubo del serpentín. D_{ext} y D_{int} .
- Flujo másico de agua a través del serpentín. \dot{m}_{H_2O} , (Kg/s)

- **DATOS A CALCULAR**

- Temperatura de salida del agua en el serpentín, T_{out} . $^{\circ}\text{C}$.
- Longitud del serpentín. L (m)

- **PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL INTERCAMBIADOR.**

a) **CÁLCULO LMTD:** En primer lugar se utiliza la **ecuación (4.1)** para calcular la temperatura del agua en la salida del serpentín T_{out} , con este valor se calcula la **LMTD ecuación (4.3)**. ver Tabla 7 (tabla de ecuaciones intercambiador)

b) **COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR:** Ahora se necesita calcular el coeficiente global de transferencia de calor para este intercambiador UA , **ecuación (4.4)**. que permita realizar la transferencia de calor necesaria en el intercambiador **ecuación (4.2)**. Sin embargo para obtener este valor primero se deben asumir una longitud de serpentín L y luego calcular las resistencias parciales a la transferencia de calor.

c) **RESISTENCIA A LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN INTERNA:** Con el valor asumido de L se procede a calcular la resistencia a la

transferencia de calor por convección interna forzada **ecuación (4.5)**. En primer lugar se calcula el número de Reynolds Re_D **ecuación (4.13)**, luego se calcula el factor de fricción f **ecuación (4.12)**, con este valor se calcula el número de Nusselt Nu_D **ecuación (4.11)**, por último se calcula el coeficiente de transferencia de calor por convección interna h_i **ecuación (4.11)**.

d) RESISTENCIA A LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCION RADIAL EN LA PARED DEL TUBO: para calcular este valor se utiliza la **ecuación (4.6)**, se utiliza el mismo valor supuesto de L y la conductividad del material del tubo k .

e) RESISTENCIA A LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN EXTERNA: En el cálculo de esta resistencia se asume la presencia de ebullición nucleada, se utiliza la **ecuación (4.15)**. se debe prestar especial atención en el cálculo de las propiedades del vapor y el líquido. El coeficiente de transferencia de calor por convección externa se obtiene por medio de la **ecuación (4.14)**.

f) VERIFICACION DE RESULTADOS: si el valor del coeficiente global de transferencia de calor UA obtenido con los valores asumidos cumple los requerimientos del intercambiador el procedimiento de cálculo termina, si por el contrario no se obtienen resultados satisfactorios para él UA se debe asumir un nuevo valor de L y repetir el procedimiento hasta encontrar el valor deseado.

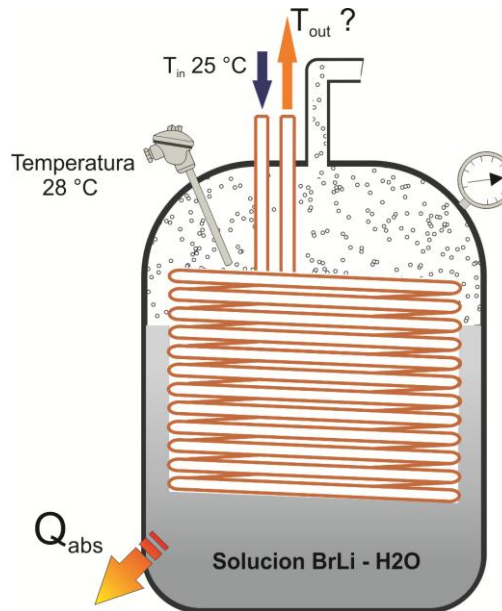
La utilización de este procedimiento para el diseño de intercambiadores de calor se convierte básicamente en un proceso iterativo con muchas ecuaciones y variables, con el objetivo de agilizar este cálculo se emplea el software EES. En el **Anexo D** (hojas de cálculo de los intercambiadores con EES) se pueden ver las hojas de cálculo utilizadas para el diseño de cada uno de los intercambiadores, así como las tablas de iteración elaboradas para el cálculo de cada intercambiador del

prototipo. Cabe resaltar que el programa EES también permite obtener de una manera sencilla y rápida el valor de las propiedades de los fluidos utilizadas en las ecuaciones. Las propiedades que no se pueden extraer del EES se encuentran dispuestas en algunos anexos del libro.

El cálculo de los intercambiadores restantes se realiza de la misma manera expuesta en el método anterior, la única diferencia radica en la forma de calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección externa h_e . Ya que se supone la presencia de otros fenómenos de transferencia de calor como lo son absorción, vaporización y condensación.

4.3.2 Cálculo del intercambiador absorbedor/generador en absorción. El intercambiador de calor del tanque absorbedor/generador en la etapa de refrigeración/absorción se modela según la Figura 34 en el cual se adelanta un proceso de absorción.

Figura 34. Esquema intercambiador absorbedor



Fuente: Autores.

• **REQUERIMIENTOS.** El intercambiador del absorbedor debe mantener la temperatura de la solución (BrLi + H₂O) constante rechazando al exterior el calor de absorción Q_{abs} , por medio del calentamiento del agua que circula por el serpentín.

• **DATOS CONOCIDOS**

- Temperatura de entrada del agua en el serpentín, T_{in} 25°C.
- Temperatura que se desea en la solución. T_{sol} 26°C.
- Calor de absorción. Q_{abs} (w)
- Dimensiones y material del tubo del serpentín. D_{ext} y D_{int} .
- Flujo másico de agua a través del serpentín. \dot{m}_{H_2O} , (Kg/s)

• **DATOS A CALCULAR**

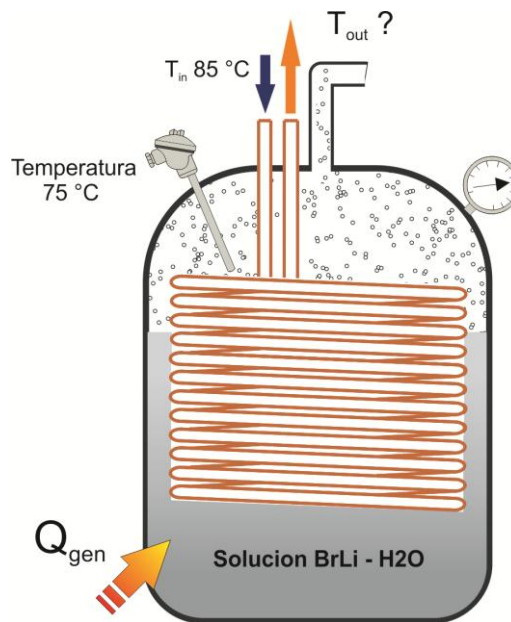
- Temperatura de salida del agua en el serpentín, T_{out} . °C.
- Longitud del serpentín. (m).

• **PROCEDIMIENTO.** La aplicación de los numerales a, b, c, d y f. se realizan de la misma manera. En cuanto al análisis del coeficiente de transferencia de calor por convección externa (e) aplicado a un fenómeno de absorción existe gran incertidumbre ya que en la literatura no se encuentran correlaciones que orienten el cálculo de estos coeficientes. Por tal razón para el cálculo del coeficiente de convección externa para este caso se utiliza la correlación de convección libre. En

primer lugar se calcula el número de Rayleigh Ra_D para la solución **ecuación (4.16)**. Luego se calcula el número de Nusselt con la correlación de convección libre sobre cilindro horizontal **ecuación (4.17)**, por último se obtiene el coeficiente de transferencia de calor por convección libre **ecuación (4.18)**.

4.3.3 Cálculo del intercambiador absorbedor/generador en generación. El intercambiador de calor del tanque absorbedor/generador en la etapa de generación/condensación se modela de acuerdo a la Figura 35. La función de este intercambiador es entregar calor a la solución para extraer de ella el vapor de agua que luego será llevado al condensador.

Figura 35. Esquema intercambiador/generador.



Fuente: Autores.

- **REQUERIMIENTOS.** El intercambiador del generador debe entregar a la solución (BrLi + H₂O) el calor de generación Q_{gen} , este calor es extraído del agua caliente que entra en el serpentín.

- **DATOS CONOCIDOS**

- Temperatura de entrada del agua caliente en el serpentín, T_{in} 85°C.
- Temperatura que se desea en la solución. T_{sol} 75 °C.
- Calor de generación. Q_{gen} (W)
- Dimensiones y material del tubo del serpentín. D_{ext} y D_{int} .
- Flujo másico de agua a través del serpentín. \dot{m}_{H_2O} , (Kg/s)

- **DATOS A CALCULAR**

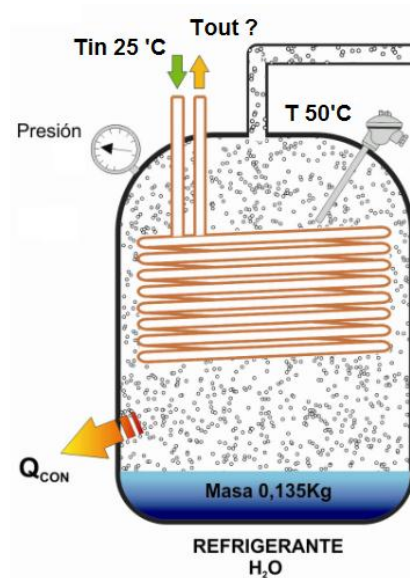
- Temperatura de salida del agua en el serpentín, T_{out} . °C.
- Longitud del serpentín. (m).

- **PROCEDIMIENTO.** Se aplican los numerales a, b, c, d y f. de igual forma, en el proceso de generación la determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección externa requiere para su facilidad asumir la presencia de transferencia de calor por convección libre desde una superficie caliente hacia un fluido que la rodea. Las **ecuaciones (4.16),(4.17), y (4.18)** son también usadas para el cálculo de este coeficiente.

4.3.4 Calculo del intercambiador evaporador/condensador en condensación.

El intercambiador de calor del tanque evaporador/condensador en la etapa de generación/condensación se modela de acuerdo a la Figura 36. La función de este intercambiador es permitir la condensación del vapor de agua que viene del generador.

Figura 36. Esquema intercambiador/condensador.



Fuente: Autores.

- **REQUERIMIENTOS.** La función del intercambiador del condensador es rechazar el calor de condensación del vapor de agua, para esto transfiere este calor al agua que ingresa en el serpentín a 25°C.

- **DATOS CONOCIDOS**

- Temperatura de entrada del agua fría en el serpentín, T_{in} 25°C.
- Temperatura del vapor de agua T_{sat} 75 °C.
- Calor de condensación. Q_{con} (w)
- Dimensiones y material del tubo del serpentín. D_{ext} y D_{int}.
- Flujo másico de agua a través del serpentín. \dot{m}_{H_2O} , (Kg/s)

- **DATOS A CALCULAR**

- Temperatura de salida del agua en el serpentín, T_{out} . °C.
- Longitud del serpentín. (m).

- **PROCEDIMIENTO.** Se aplican nuevamente los numerales a, b, c, d y f. Por tratarse de un proceso de condensación el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección externa se basa en la correlación de condensación por película en sistemas radiales, **ecuación (4.20)**, previamente a la aplicación de esta correlación se debe calcular la entalpia de vaporización corregida **ecuación (4.19)**.

Tabla 7. Ecuaciones de cálculo de los intercambiadores.

$q_{eva} = \dot{m}_{H_2O} * C_p * (T_{in} - T_{out})$	Ecuación (4.1) Calor sensible del fluido en el serpentín.
$q_{eva} = UA * LMTD * F_i$	Ecuación (4.2) Cálculo de intercambiadores método LMTD.
$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$	Ecuación (4.3) Cálculo de diferencia de temperatura media logarítmica.
$UA = \frac{1}{(R_{convint} + R_{cond} + R_{convext})}$	Ecuación (4.4) Cálculo de coeficiente global de transferencia.
$R_{convint} = \frac{1}{h_i A_i}$	Ecuación (4.5) Resistencia a la transferencia de calor por convección interna.
$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2\pi k L}$	Ecuación (4.6) Resistencia a la transferencia de calor por conducción radial.
$R_{convext} = \frac{1}{h_e A_e}$	Ecuación (4.7) Resistencia a la transferencia de calor por convección externa.
$A_i = \frac{\pi (D_{int})^2 L}{4}$	Ecuación (4.8) Área superficial interna del tubo.

$A_e = \frac{\pi(D_{ext})^2 L}{4}$	Ecuación (4.9) Area superficial externa del tubo.
$h_i = \frac{Nu_D k_{H_2O}}{D_{int}}$	Ecuación (4.10) Coeficiente de transferencia de calor por convección interna.
$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2} \left(Pr^{2/3} - 1 \right)}$	Ecuación (4.11) Correlación para convección interna forzada.
$f = (0.790 \ln Re_D - 1.64)^{-2}$	Ecuación (4.12) Factor de fricción.
$Re_D = \frac{4 \dot{m}_{H_2O}}{\pi D_{int} \mu_{H_2O}}$	Ecuación (4.13) Numero de Reynolds.
$h_e = \frac{q_s''}{\Delta T_e}$	Ecuación (4.14) Coeficiente de transferencia de calor por convección externa.
$q_s'' = \mu_l h_{fg} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2} \left(\frac{C_{p,l} \Delta T_e}{C_{s,f} h_{fg} Pr_l^n} \right)^3$	Ecuación (4.15) Correlación para ebullición.
$Ra_D = \frac{g \beta_{sol} (T_{\infty sol} - T_s) D_{ext}^3}{\nu_{sol} \alpha_{sol}}$	Ecuación (4.16) Número de Rayleigh
$\overline{Nu}_D = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + (0.559 / Pr_{sol})^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$ $\Leftrightarrow Ra_D \leq 10^{12}$	Ecuación (4.17) Correlación de convección libre sobre cilindro horizontal.
$\overline{h} = \frac{k_{sol}}{D_{ext}} \overline{Nu}_D$	Ecuación (4.18) Calculo del coeficiente de transferencia de calor por convección libre.
$h'_{fg} = h_{fg} + 0.68 C_{pl} (T_{sat} - T_s)$	Ecuación (4.19) Calculo de la entalpia de vaporizacion corregida.
$\overline{h}_{D,N} = 0.729 \left[\frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) k_l^3 h'_{fg}}{N \mu_l (T_{sat} - T_s) D_{ext}} \right]^{1/4}$	Ecuacion (4.20) Calculo del coeficiente de transferencia de calor por condensación en sistemas radiales

Fuente: Transferencia de calor incropera.

Dónde:

C_p = Calor específico del fluido en el serpentín.

UA = coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador.

$LMTD$ = diferencia de temperatura media logarítmica del intercambiador.

F_i = Factor de corrección de la LMTD.

$R_{convint}$ = Resistencia por convección interna.

R_{cond} = Resistencia por conducción radial en el tubo.

$R_{convext}$ = Resistencia por convección externa.

h_i = Coeficiente de convección interna.

A_i = Área superficial interna del tubo.

D_{ext} = Diámetro externo del tubo en el serpentín.

D_{int} = Diámetro interno del tubo en el serpentín.

k = Conductividad del material del tubo en el serpentín.

L = Longitud del serpentín.

h_e = Coeficiente de convección externa.

A_e = Área superficial externa del tubo.

Nu_D = Numero de Nusselt para la convección interna forzada.

k_{H_2O} = Conductividad térmica del agua.

f = Factor de fricción.

Re_D = Numero de Reynolds.

Pr = Numero de Prandtl.

μ_{H_2O} = Viscosidad dinámica del agua.

q_s'' = Flujo de calor entre la superficie del tubo y el fluido en evaporación. (W/m^2)

ΔT_e = diferencia de temperatura entre la superficie del tubo y el fluido en evaporación.

μ_l = Viscosidad dinámica de la fase líquida del fluido.

h_{fg} = Entalpia de vaporización del fluido.

g = constante de gravedad.

ρ_l = Densidad de la fase líquida del fluido.

ρ_v = Densidad de la fase vapor del fluido.

σ = Tensión superficial del fluido.

$C_{p,l}$ = Calor específico de la fase líquida del fluido.

Pr_l = Número de Prandtl del fluido en evaporación.

$C_{s,f}$ Y_n = constantes de superficie. Ver **Anexo E**.

Ra_D = Número de Rayleigh, se calcula para la solución de (BrLi + H₂O).

Pr_{sol} = Número de Prandtl de la solución de (BrLi + H₂O).

k_{sol} = Conductividad térmica de la solución de (BrLi + H₂O). Ver **Anexo E**.

\bar{h} = Coeficiente de transferencia de calor por convección libre.

\bar{Nu}_D = Número de Nusselt para convección libre sobre cilindro horizontal.

β_{sol} = Coeficiente de expansión térmica volumétrica de la solución de (BrLi + H₂O).

$T_{\infty sol}$ = Temperatura de la solución en el tanque absorbedor/generador.

T_s = Temperatura de superficie del tubo.

ν_{sol} = Viscosidad cinemática de la solución de (BrLi + H₂O). Ver **Anexo E**.

α_{sol} = Difusividad térmica de la solución de (BrLi + H₂O).

h'_{fg} = entalpia de vaporización corregida.

N = Numero de filas en el condensador.

En la Tabla 8 se enlistan los principales valores de diseño obtenidos por el EES y seleccionados para la construcción de los intercambiadores, si se desea entrar en detalles sobre la forma de cálculo se puede observar el Anexo D (cálculo de intercambiadores). Cada tanque debe cumplir dos funciones específicas en el proceso y cada una de ellas determina las características del serpentín, en este caso un serpentín debe cumplir ambas funciones en el tanque, por lo tanto se selecciona el serpentín de mayor tamaño para ser instalado en cada tanque. Para el tanque evaporador/condensador se elige el serpentín de 3.19 m de longitud, el serpentín de 28.27 m se deja para el tanque absorbedor/generador.

Tabla 8. Datos de serpentines para los intercambiadores.

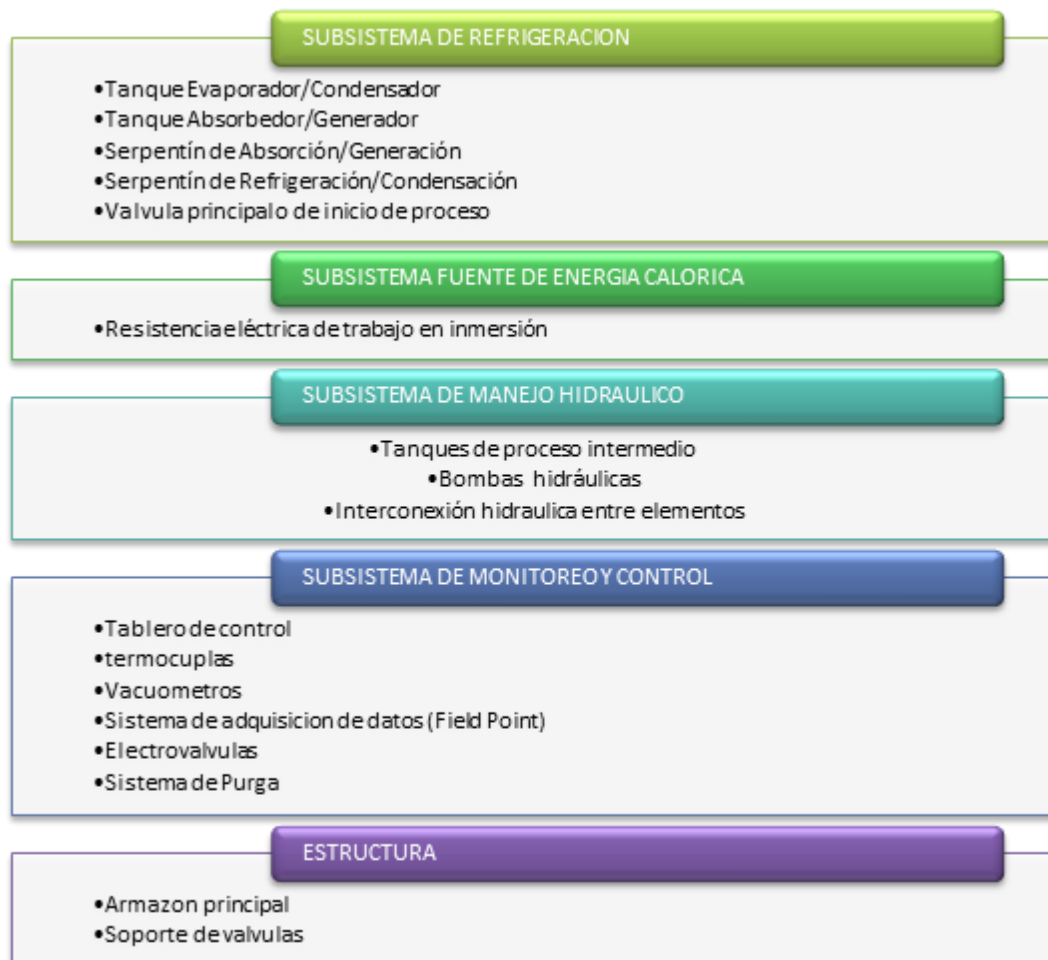
Intercambiador	Función	material del serpentín	Diametro externo del serpentín (mm)	Diametro interno del serpentín (mm)	Longitud (m)
evaporador/condensador	evaporación	cobre	6,35	4,82	3,192
absorbedor/generador	absorción	cobre	6,35	4,82	28,27
absorbedor/gnerador	generación	cobre	6,35	4,82	6,031
evaporador/condensador	condensación	cobre	6,35	4,82	0,1809

Fuente: Autores.

4.4 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

La construcción del prototipo de refrigeración por absorción se dividió en subsistemas según su función específica, así también cada uno de estos subsistemas están compuestos por diversos elementos. Teniendo en cuenta lo anterior se crea un cuadro de componentes principales ver **Figura 37**, que facilita la identificación y caracterización de los elementos que constituyen el prototipo.

Figura 37. Subsistemas que componen el prototipo de refrigeración por absorción.



Fuente: Autores.

4.4.1 Subsistema De Refrigeración. Este es el encargado de realizar el proceso principal o de refrigeración, en él se encuentran los tanques absorbedor/generador y evaporador/condensador con sus respectivos serpentines ver Figura 38, la conexión entre los tanques se hizo con tubería de acero al carbono SCH 40 de \varnothing 1-1/2", una unión universal del mismo diámetro y la separación de los tanques se realizó mediante una válvula de bola de acero inoxidable KTS¹⁸.

Figura 38. Ensamble del subsistema de refrigeración.



Fuente: Autores.

La fabricación de estos tanques se realizó en un taller de mecanizados, donde se dimensionó y dió acabado a cada uno de los elementos que los componen, ver Figura 39. Para evitar la corrosión del ambiente y el ataque químico del BrLi se pintaron los tanques con una resina epóxica en su interior y exterior; las pérdidas de calor por conducción en los tanques del proceso principal se redujeron aislando todo el subsistema de refrigeración con THERMOLON¹⁹ dándole la posibilidad de ser removido utilizando velcro en sus uniones.

¹⁸ Ver Anexo F Ficha técnica Válvula de bola KTS.

¹⁹ Ver Anexo G Ficha técnica Thermolon.

Figura 39. Final de los mecanizados de los tanques de proceso principal.



Fuente: Autores.

El diseño de estos tanques se realizó robusto debido a que trabajan a un alto valor de vacío y temperaturas de hasta 80°C, para el sello de las tapas con los cuerpos de los tanques se utilizó empaque de neopreno cortado a la medida. Cada tanque posee una válvula y un racor espiga dentado donde se debe realizar la conexión de la bomba de vacío para realizar la purga del sistema, todas las conexiones y accesorios roscados a la tapa de los tanques fueron selladas con trabaroscas sellador, el cual es una traba química anaeróbica polimérica²⁰.

4.4.1.1 Tanque Evaporador/condensador. Es el depósito donde se ubica el refrigerante (agua en nuestro caso), en su interior encontramos el serpentín encargado de realizar la refrigeración del agua de trabajo y a su vez la condensación del agua del proceso; cuenta con una tapa bridada al cuerpo con ocho tornillos G8 CH ½"x2" en la cual se encuentran las conexiones de entrada y salida del serpentín, la conexión del termopozo y un niple encargado de comunicar el vacuómetro y la válvula de cierre de la conexión de la bomba de vacío.

²⁰Ver Anexo H Ficha técnica GASTOP.

Figura 40. Diseño y terminación del tanque evaporador/condensador.

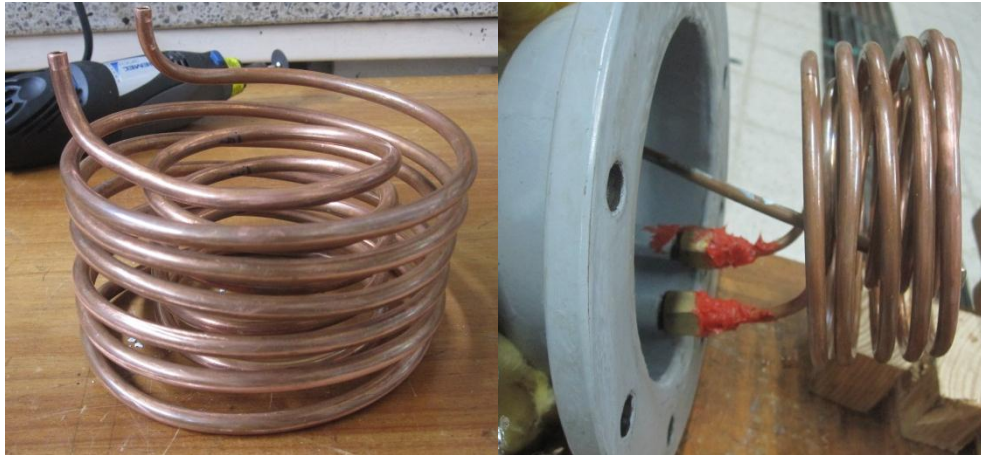


Fuente: Autores.

Se fabricó el cuerpo en Tubería $\text{Ø}6''$ de acero al carbono SCH 40, con una tapa inferior de lámina de acero de espesor de $\frac{1}{2}''$, la tapa se diseñó con un Cap y las bridas fueron maquinadas en lamina de espesor $\frac{1}{2}''$, ver Figura 40. Todas las soldaduras de penetración fueron con E6010 y la de presentación con E7010.

El serpentín del tanque evaporador/condensador se fabricó con tubería de cobre flexible de $\text{Ø}1/4''$ con la longitud estimada en cálculos de 3.192 metros, distribuida en dos espirales concéntricas, de cinco espiras cada una, para cumplir con los requerimientos de altura y ancho del tanque; se utilizó el cobre por su gran conductividad térmica y por su facilidad para moldear las espiras; el diseño del serpentín permite que este sea una pieza de recambio ya que se conecta a la tapa del tanque mediante unos racores de bronce, ver Figura 41.

Figura 41. Acabado del serpentín del tanque evaporador/condensador.



Fuente: Autores.

4.4.1.2 Tanque absorbedor/generador. Es el encargado de contener la solución de BrLi, en su interior encontramos el serpentín encargado de realizar la refrigeración de la solución en el proceso de absorción y a su vez en la etapa de generación aumentar la temperatura de la solución para hacer la evaporación del agua; cuenta con una tapa bridada al cuerpo con ocho tornillos G8 CH $\frac{1}{2}$ "x2" en la cual se encuentran las conexiones de entrada y salida del serpentín, la conexión del termopozo y un niple encargado de comunicar el vacuómetro y la válvula de cierre de la conexión de la bomba de vacío.

Se fabricó el cuerpo en Tubería $\varnothing 8$ " de acero al carbono SCH 40, con una tapa inferior de lámina de acero de espesor de $\frac{1}{2}$ ", la tapa se diseñó con un Cap y las bridas fueron maquinadas en lamina de espesor $\frac{1}{2}$ ", ver Figura 42. Todas las soldaduras de penetración fueron con E6010 y la de presentación con 7010.

Figura 42. Diseño y terminación del tanque absorbedor/generador.



Fuente: Autores.

El serpentín del tanque evaporador/condensador se fabricó con tubería de cobre flexible de $\text{Ø}1/4''$ con la longitud estimada en cálculos de 28.27 metros, distribuidos en 4 espirales para cumplir con los requerimiento de altura y ancho del tanque, ver Figura 43; se utilizó el cobre por su gran conductividad térmica y por su facilidad para moldear las espiras; el diseño del serpentín permite que este sea una pieza de recambio ya que se conecta a la tapa del tanque mediante unos racores de bronce.

Figura 43. Terminación del serpentín del tanque absorbedor/generador.



Fuente: Autores.

4.4.2 Subsistema Fuente De Energía. Es una resistencia eléctrica tubular de inmersión de 600 watts, la cual consiste en un elemento tubular de cobre soldado a un tapón macho de Ø1" de acero, esta transmite el calor directo al agua por conducción. Se encuentra ubicada dentro del tanque de proceso intermedio del serpentín que cruza por el tanque absorbedor/generador, ver Figura 44.

Figura 44. Montaje de la resistencia eléctrica de inmersión.



Fuente: Autores.

4.4.3 Subsistema Manejo Hidráulico. Conformado por el conjunto de tanques de proceso intermedio e interconexiones hidráulicas entre los diferentes elementos que componen el circuito, a su vez encontramos las bombas encargadas de suministrar el caudal que fluye por los serpentines de trabajo y las válvulas de bola que dan paso al suministro o al drenaje principal, dispuestas en la placa de válvulas del nivel superior para su fácil manejo, ver Figura 45.

Figura 45. Montaje de las válvulas de suministro y drenaje.



Fuente: Autores.

4.4.3.1 Tanques de proceso intermedio. Los tanques de proceso intermedio son los encargados de almacenar el fluido de trabajo, se fabricaron en tres partes, ver Figura 46, enfocados a reducir las pérdidas de calor así:

- a. La parte interior y que está en contacto con el agua se fabricó con un tanque rectangular de polietileno de alta densidad, de 18 litros aproximados de capacidad, el cual presenta excelente resistencia térmica, química y muy buena resistencia al impacto.
- b. La capa intermedia es un aislamiento de lana de vidrio AW²¹ con una cara metalizada, dispuesta en un marco de madera, con esta se busca reducir la pérdida térmica por conducción.
- c. El componente exterior es una lámina de aluminio cal 0,4 mm la cual da el acabado.

²¹ Ver Anexo I Ficha Técnica AW.

Las conexiones de entradas y salidas de los tanques así como la de las termocúplas se realizaron con CPVC la cual soporta temperaturas hasta 88°C.

Figura 46. Etapas de construcción de los tanques de proceso intermedio.



Fuente: Autores.

Para realizar un ajuste y sellado hermético entre la tapa y el cuerpo de los tanques se le acondiciono un empaque.

4.4.3.2 Bombas hidráulicas. Para el sistema de abastecimiento de los serpentines se seleccionaron las bombas que cumplieran las especificaciones para cada serpentín de la siguiente manera:

- a. Para el serpentín evaporador/condensador se buscó una bomba de bajo caudal y que en lo posible no incrementara demasiado la temperatura del fluido.²²
- b. Para el serpentín absorbedor/generador se implementó una bomba con una carcasa resistente a temperaturas de hasta 85°C, con una capacidad volumétrica máxima de 35 L/min.

²² Ver Anexo J Ficha Técnica Bomba Iwaki.

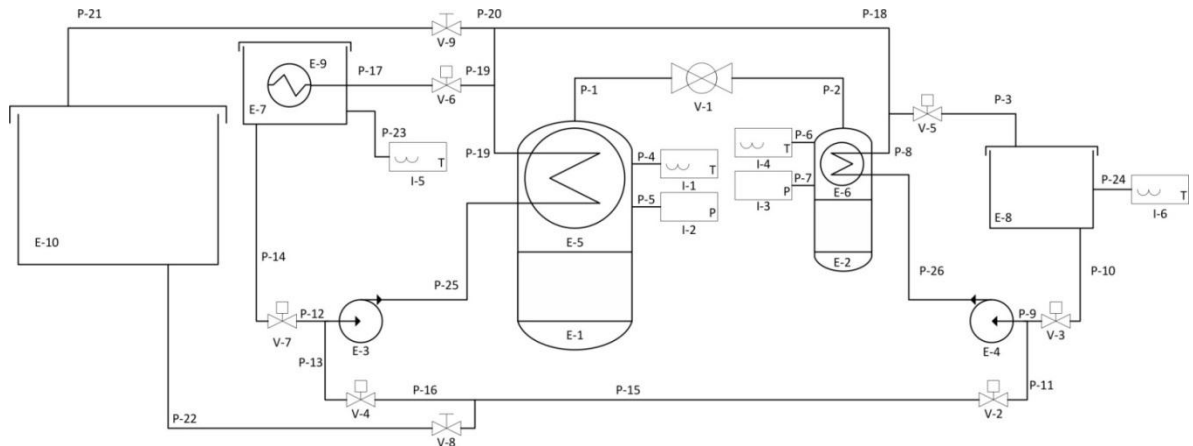
4.4.3.3 Interconexión hidráulica entre elementos. La interconexión se realizó con manguera PARKER Series 7093 GST° II²³ la cual es económica y versátil, soportando temperaturas de hasta 100°C, para la conexión de esta a los elementos se dispuso de racores de espiga dentados según la necesidad y el ajuste se dio con abrazaderas metálicas Ø1/4", ver Figura 47. El diagrama trazado para la interconexión así como la ubicación de cada uno de los elementos y el circuito seguido por el agua de trabajo se muestran en la Figura 48, los diferentes componentes se listan en la Tabla 9.

Figura 47. Elementos de interconexión hidráulica.



Fuente: Autores.

Figura 48. Esquema de conexión hidráulica.



Fuente: Autores.

²³ Ver Anexo K Ficha Técnica Manguera PARKER SERIES 7093.

Tabla 9. Lista de equipos en el diagrama hidráulico.

<i>Simbolo</i>	<i>Descripción</i>
E-1	Tanque Absorbedor/Generador
E-10	Tanque de suministro general (toma de agua del sistema del lugar)
E-2	Tanque Evaporador/Condensador
E-3	Bomba sistema de abastecimiento del serpentín del absorbedor/generador
E-4	Bomba sistema de abastecimiento del serpentín del evaporador/condensador
E-5	Serpentín del tanque absorbedor/generador
E-6	Serpentín del tanque evaporador/condensador
E-7	Tanque intermedio de abastecimiento del serpentín del absorbedor/generador
E-8	Tanque intermedio de abastecimiento del serpentín del evaporador/condensador
E-9	Resistencia electrica de 600 w
V-1	Valvula principal del proceso
V-2	Valvula direccionadora según la etapa
V-3	Valvula direccionadora según la etapa
V-4	Valvula direccionadora según la etapa
V-5	Valvula direccionadora según la etapa
V-6	Valvula direccionadora según la etapa
V-7	Valvula direccionadora según la etapa
V-8	Valvula de corte del suministro
V-9	Valvula de corte del drenaje
I-1	Termopozo del tanque Absorbedor/generador
I-2	Vacuometro del tanque absorbedor/generador
I-3	Vacuometro del tanque evaporador/condensador
I-4	Termopozo del tanque Evaporador/condensador
I-5	Termopozo tanque abastecimiento del serpentín del evaporador
I-6	Termopozo tanque abastecimiento del serpentín del absorbedor

Fuente. Autores.

4.4.4 Subsistema De Monitoreo Y Control

4.4.4.1 Tablero de Control. Es la unidad encargada de permitir al operario seleccionar la etapa del proceso que desea realizar, permitiendo a su vez revisar el estado operativo de cada uno de los elementos mediante el encendido de las luces indicadoras del mismo, ver Figura 49. Está basado en lógica cableada utilizando relevos electromecánicos y de estado sólido.

Figura 49. Disposición de las luces y selectores en el tablero de control.



Fuente: Autores.

Sus componentes se muestran en la Tabla 10, allí podemos apreciar que se encuentran las electroválvulas que son las encargadas de direccionar el flujo del agua de trabajo para cada una de las etapas del proceso, el comando de la fuente de calor y las bombas. El cableado del prototipo se realizó en cable flexible multipolar encauchetado 2X18²⁴, la parte de control fue cableada con cable vehículo calibre 18²⁵.

Los relevos electromecánicos utilizados son RELEQUICK ref.RQE40N-T²⁶, siendo estos miniatura estándar, con cuatro contactos inversores, ver Figura 50; son los encargados de realizar la conmutación de cada etapa para energizar el número de válvulas necesarias para su ejecución.

²⁴Ver Anexo L. Ficha técnica Cable 2x18 encauchetado.

²⁵ Ver Anexo M. Ficha técnica Cable vehículo.

²⁶ Ver Anexo N. Ficha técnica Relevos.

Figura 50. Relevo electromecánico.



Fuente: Catalogo Serie QT. RELEQUICK. www.relequick.com/docs/ES/catalogos/Serie_QT.pdf

El esquema diseñado para el cableado se muestra en la Figura 52, este se ejecutó con marcación de anillos para posibles cambios o mantenimiento del tablero, así facilitando la ubicación de cada línea de trabajo, ver Figura 51.

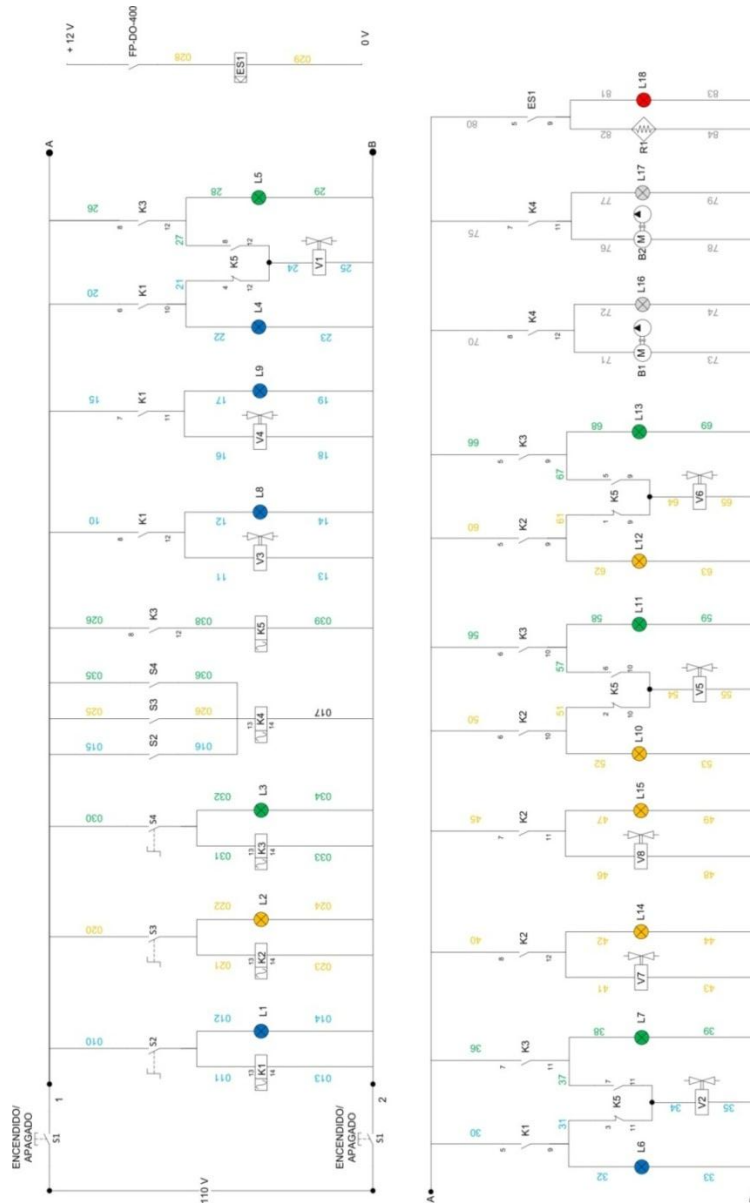
Figura 51. Tablero de control y marcación por anillos numerados.



Fuente Autores.

4.4.4.2 Termopozos y termocúplas. El prototipo cuenta con dos termopozos, que disponen de dos termocúplas tipo K distribuidos en cada uno de los tanques de proceso principal, el bulbo fue fabricado en tubería de cobre flexible, debido a su alta conductividad y bajo costo, con rosca NPT de Ø1/4” para conexión al proceso, ver Figura 53.

Figura 52. Esquema de conexión del tablero de control.



Fuentes: Autores.

Tabla 10. Lista de componentes de control eléctrico.

<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>
S1	Pulsador Star/Stop energizador del tablero
S2	Selector de muletilla para la etapa de refrigeración/absorción
S3	Selector de muletilla para la etapa de generación/condensación
S4	Selector de muletilla para la etapa de transición
K1	Relé electromecánico de 4 contactos inversores
K2	Relé electromecánico de 4 contactos inversores
K3	Relé electromecánico de 4 contactos inversores
K4	Relé electromecánico de 4 contactos inversores
K5	Relé de estado sólido monofásico
V1	Válvula de solenoide
V2	Válvula de solenoide
V3	Válvula de solenoide
V4	Válvula de solenoide
V5	Válvula de solenoide
V6	Válvula de solenoide
V7	Válvula de solenoide
V8	Válvula de solenoide
B1	Bomba hidráulica
B2	Bomba hidráulica
R1	Resistencia eléctrica de 600 w
L1	Luz piloto
L2	Luz piloto
L3	Luz piloto
L4	Luz piloto
L5	Luz piloto
L6	Luz piloto
L7	Luz piloto
L8	Luz piloto
L9	Luz piloto
L10	Luz piloto
L11	Luz piloto
L12	Luz piloto
L13	Luz piloto
L14	Luz piloto
L15	Luz piloto
L16	Luz piloto
L17	Luz piloto
L18	Luz piloto
L19	Luz piloto

Fuente Autores.

Figura 53. Termopozo de bulbo en cobre.



Fuente: Autores.

Las termocúplas tipo K dispuestas en cada uno de los tanques del proceso intermedio son las encargadas de mantener la temperatura de operación de la resistencia eléctrica por medio de un control on/off, al censar está el valor de la temperatura en el tanque que suministra el serpentín absorbedor/generador, y la otra se encuentra en el tanque del serpentín evaporador/condensador para registrar el cambio en la temperatura del agua de trabajo de enfriamiento.

4.4.4.3 Vacuómetros. Dispuestos en cada uno de los tanques principales son los encargados de registrar los cambios de la presión de vacío durante las etapas del proceso. Ver Figura 54.

Figura 54. Ubicación de los vacuómetros en los tanques del proceso principal.



Fuente: Autores

4.4.4.4 Dispositivo de adquisición de datos (Field Point). El módulo de adquisición de datos Field Point se encuentra integrado por un elemento de interfaz de red Ethernet (FP-1601), un módulo para el registro de temperatura a

través de Termocuplas (FP-TC-120) y un módulo de salidas discretas (FP-DO-400). Su ubicación en el prototipo es en la parte posterior del tablero de control donde se conecta a las termocúplpas y al relé de estado sólido que comanda la resistencia eléctrica, ver Figura 55.

Este módulo debe ser energizado externamente con 12 VDC, y la comunicación hacia el computador se hace mediante un cable UTP.

Figura 55. Disposición de los módulos del Field point en el prototipo.



Fuente: Autores.

4.4.4.5 Electroválvulas. Son las encargadas de direccionar el fluido de trabajo en cada etapa del proceso su accionamiento es mediante una bobina solenoidal. El diámetro nominal de trabajo es de ¼” y son normalmente cerradas. Se seleccionaron unas electroválvulas EBC HQ para propósitos generales que trabajan a 110 VAC.

4.4.4.6 Sistema de purga. Para que el prototipo de refrigeración por absorción trabaje, se deben purgar los tanques del proceso principal, es así como mediante la conexión existente en cada una de sus tapas se conecta una bomba de vacío, la bomba utilizada es una bomba PROSET VP3D²⁷ de dos etapas y 400w de potencia, la cual es la encargada de realizar la purga de aire y demás gases contenidos dentro de los tanques. La conexión realizada se propuso con un sistema de filtros en serie de la siguiente manera, ver Figura 56, dos filtros de gasolina estándar conectados a la salida del tanque, luego continúa un filtro de refrigeración de silica gel y ya en la entrada a la bomba se conectó un filtro Danfoss 032 eliminador²⁸ para proteger la bomba y prolongar su vida útil.

Figura 56. Montaje del sistema de purga y los filtros.



Fuente: Autores.

4.4.5 Estructura. Es la encargada de soportar todos los elementos que componen el prototipo, ver Figura 57.

²⁷ Ver Anexo O. Ficha Técnica Bomba PROSET.

²⁸ Ver Anexo P. Ficha Técnica Filtro Danfoss 032.

Figura 57. Estructura.



Fuente: Autores.

4.4.5.1 Armazón principal. Se compone de un marco principal elaborado en tubo cuadrado de 1-1/2" de espesor de 1.5 mm, diseñada de forma robusta para sostener los tanques de proceso principal, el tablero de control y las válvulas en el nivel superior y las columnas de agua de los tanques de proceso intermedio, las válvulas y las bombas en el nivel inferior, ver Figura 58; con un juego de ruedas fijas y otro juego móvil (con freno) que permiten su transporte de forma versátil y a su vez la estabilidad en el lugar de trabajo.

Figura 58. Armazón principal.

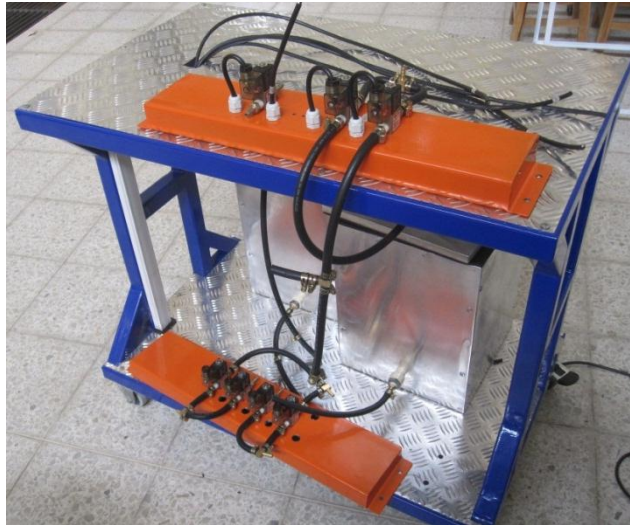


Fuente: Autores.

En la parte de pisos se trabajó con lámina corrugada de aluminio de espesor de 1 mm, por su buena presentación y la versatilidad al trabajar.

4.4.5.2 Soporte de Válvulas. Fabricados en lamina negra CR calibre 16, su función es la de distribuir de manera uniforme la ubicación de las válvulas y evitar en caso de derrame el contacto del líquido con las mismas; en su interior se hizo la distribución de las líneas de alimentación de las válvulas y las bombas. Se ensambla a la estructura mediante unos tornillos M14x25 cabeza redonda allen, ver Figura 59.

Figura 59. Laminas soporte de válvulas.



Fuente: Autores.

5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 PRUEBAS DE VACÍO Y ESTANQUEIDAD

Uno de los requerimientos fundamentales que permiten el funcionamiento de los sistemas de refrigeración por absorción es la evacuación total del aire y cualquier gas no condensable dentro de ellos, las únicas presiones presentes en el sistema deben ser las presiones de vapor ejercidas por los fluidos refrigerante y absorbente.

Al finalizar la construcción de los tanques Evaporador/Condensador y Absorbedor/Generador se les realizó la prueba de vacío, consistió en conectar la bomba de vacío a las respectivas tomas de purga de cada uno de los tanques como lo muestra la Figura 60.

Figura 60. Fotografía pruebas de vacío.



Fuente: Autores.

La bomba permaneció encendida para la purga en cada tanque durante 10 minutos, se realizaron varias purgas de la misma manera obteniéndose valores de

vacío al final de cada purga de aproximadamente -720 mmHg, un valor bastante aceptable de vacío considerando la presión atmosférica local.

En segunda medida era necesaria la medición del grado de estanqueidad de los tanques, para tal propósito al finalizar la purga se dejaron los tanques al vacío durante 48 horas al final de las cuales no se encontraron variaciones apreciables en las presiones indicadas por los dos Vacuómetros.

5.2 PREPARACIÓN PAR REFRIGERANTE/ABSORBENTE.

Antes de iniciar las pruebas de funcionamiento del prototipo era necesario el acondicionamiento de la solución absorbente y el fluido refrigerante dentro de este.

5.2.1 Fluido refrigerante. Durante el desarrollo de la investigación no se encontraron argumentos suficientes que definieran el tipo de agua que se pudiera usar como refrigerante, por tal razón se definió el uso de agua de alta pureza (Tipo 1, ver Anexo P) como fluido refrigerante.

5.2.2 Solución absorbente. La preparación de la solución de Bromuro de litio (BrLi) y agua (H₂O) se realizó teniendo en cuenta las medidas de seguridad recomendadas por el fabricante de la sal. De la misma manera se usó agua Tipo 1 como solvente para la solución. De acuerdo al diseño del sistema se definió preparar la solución con una concentración de 53% en masa de sal de la siguiente manera:

- Se acordó realizar la preparación de la solución en cuatro cargas parciales debido a que el rango de medición de la balanza llegaba hasta 1500 g.
- Cada una de las cargas estaba compuesta por 475 g de sal de (BrLi) x 421.2 g de (H₂O) para un total de solución por carga de 896. 2 g. al finalizar la

preparación de la solución se tendría en total disponible 3585 g de solución de (BrLi + H₂O) al 53% de concentración.

- Para mezclar cada carga parcial de solución se usó un recipiente de polipropileno, en el momento de iniciar la mezcla de sal y agua dentro del recipiente se producía la consecuente reacción y emisión de calor, en este instante se debía agitar la mezcla y de manera simultánea el recipiente con la carga de solución era llevado a un “baño María” para disipar el calor de la disolución, como se ve en la Figura 61. Cuando la temperatura en la solución se aproximaba a la temperatura ambiente se depositaba la carga parcial en el recipiente de la solución y se continuaba con la preparación de la siguiente carga.

Figura 61. Disipación de calor de disolución en la elaboración de la solución.



Fuente: Autores.

5.3 DESARROLLO Y ANÁLISIS DE PRUEBAS

En primera medida se determinó la realización de la prueba de funcionamiento del prototipo en la etapa de evaporación/absorción con una concentración de la solución en el tanque absorbedor/generador de 53% y una cantidad de 1.3 Kg de

agua en el evaporador, posteriormente se desarrollaron diferentes pruebas, en la Tabla 11 se pueden observar las variables de cada una de las pruebas realizadas.

- **PRUEBA 01.** La primera prueba realizada con el prototipo se efectuó para la etapa de evaporación/absorción. En el momento de abrir la válvula se registró una leve disminución de la temperatura del evaporador, sin embargo después de unos segundos se observó en el evaporador un continuo aumento de su temperatura, de manera similar la temperatura de salida de agua fría también registro aumento, Figura 62. Del estudio de la situación se dedujo que el aumento de la temperatura del evaporador, así como la de la salida del agua de enfriamiento se debía al calor entregado por la bomba del serpentín del evaporador, por tal razón se determinó inhabilitar dicha bomba.

La Figura 63 muestra la continuación del experimento después de deshabilitar la bomba. A partir de este instante la temperatura del evaporador inicio un lento descenso hasta los 21.4 °C en el minuto 170, la prueba se detuvo cuando la línea de temperatura del evaporador tendía a hacerse horizontal, lo cual indicaba la detención del descenso en la temperatura. La causa de la baja velocidad de disminución de temperatura en el evaporador fue asignada a la inercia térmica del mismo, en este momento se evidencio que el prototipo no cumplía con algunos de sus parámetros de operación. Al terminar esta prueba se realizó el balance de masa en el sistema para determinar la cantidad de refrigerante evaporado y absorbido por la solución. Ver resultados en la Tabla 10.

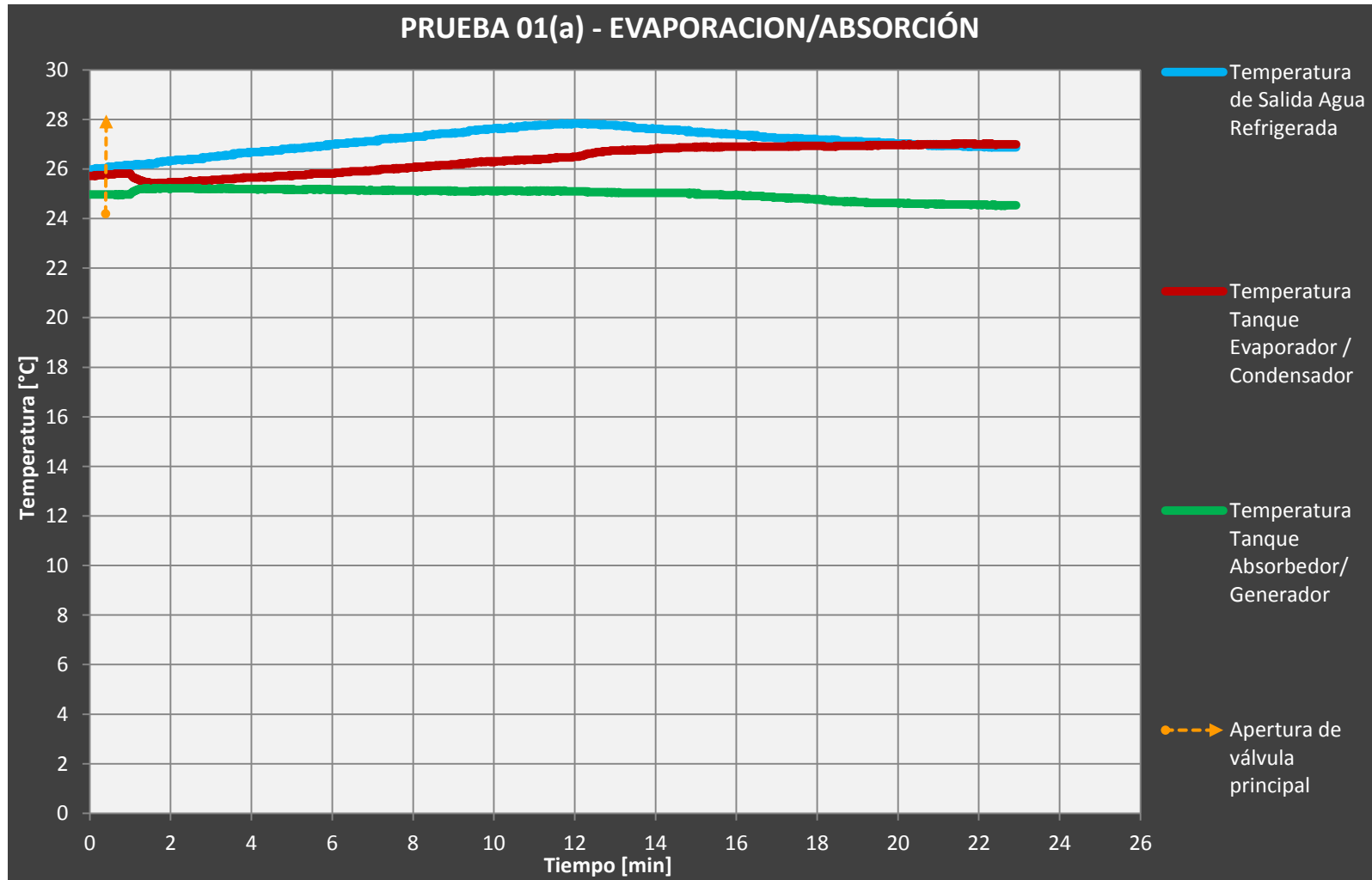
Tabla 11. Tabla de Pruebas.

#	Tipo de prueba	Concentración de la solución en el tanque absorbedor/generador	Tiempo de ejecución (min)	masa ini. de refrigerante en el evaporador/condensador (g)	masa inicial de solución en el absorbedor/generador (g)	masa de sal (g)	masa final de refrigerante en el evaporador/condensador (g)	masa final de solución en el absorbedor/generador (g)	Concentración final de la solución (%)	Refrigerante evaporado (ó) condensado (g)	rata de evaporación (ó) condensación (mg/s)	Energía del proceso (Kj)
1	evaporación/absorción	0,53	192	1300	3585	1900	1258	3617	0,525	32	2,78	78,53
2	evaporación/absorción	0,55	115	500	3454	1900	432,09	3521,91	0,539	67,91	9,84	166,65
3	evaporación/absorción	0,55	62	300	3540	1947	269,01	3575,99	0,544	35,99	9,67	88,32
4	evaporación/absorción	0,6	65	300	3173	1904	238,47	3234,53	0,589	61,53	15,78	150,99
5	generación/condensación	0,55	20	500	3594	1977	567	3527	0,561	67	55,83	164,42
6	evaporación/absorción	0,6	60	300	3163	1904	238,5	3224,5	0,590	61,5	17,08	150,92
7	generación/condensación	0,59	20	238,5	3224,5	1904	296	3167	0,601	57,5	47,92	141,11
8	evaporación/absorción	0,6	60	600	3167,2	1904	544,8	3222,4	0,591	55,2	15,33	135,46
9	generación/condensación	0,591	20	544,8	3222,4	1904	615,66	3151,54	0,604	70,86	59,05	173,89
10	evaporación/absorción	0,55	60	300	3414	1878	250,2	3463,74	0,542	49,74	13,82	122,06
11	generación/condensación	0,542	23	250,2	3463,74	1878	470,58	3243,36	0,579	220,38	159,70	540,81

#	Tipo de prueba	Concentración de la	Tiempo de ejecución	masa ini. de refrigerante en	masa inicial de solución	masa de sal	masa final de refrigerante	masa final de solución	Concentración final de la	Refrigerante evaporado	rata de evaporación	Energía del
12	evaporación/absorción	0,55	60	600	3414	1878	577,44	3436,56	0,546	22,56	6,27	55,36
13	generación/condensación	0,546	23	577,4	3436,5	1878	647,5	3366,4	0,558	70,1	50,80	172,03
14	ciclo completo	0,59	220	300	3183	1878	x	X	x	x	x	x
15	ciclo completo	0,59	130	300	3183	1878	x	X	x	x	x	x
16	ciclo completo	0,59	121	300	3183	1878	x	X	x	x	x	x

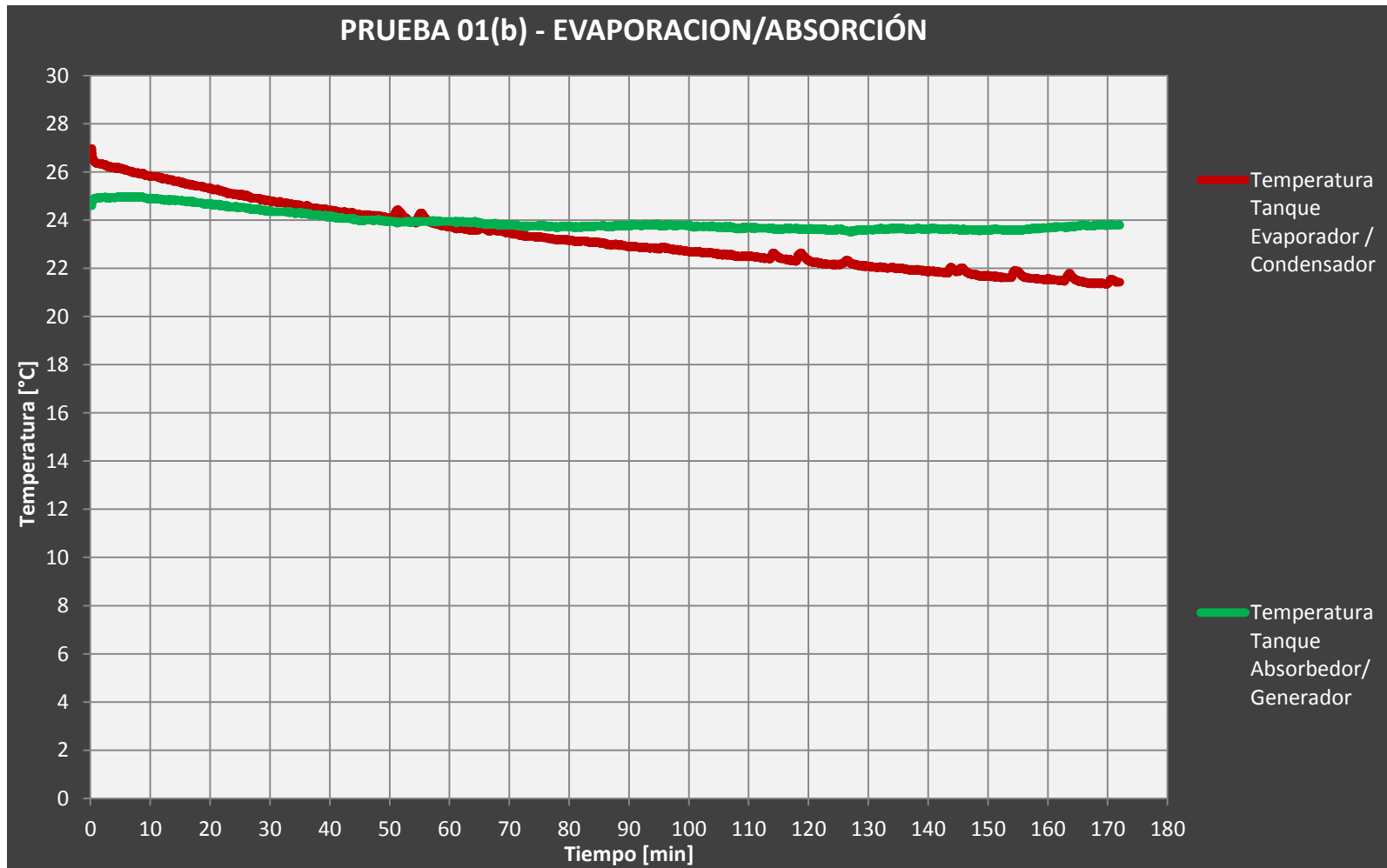
Fuente: Autores.

Figura 62. Resultados Prueba 01(a).



Fuente: Autores

Figura 63. Resultados Prueba 01(b).



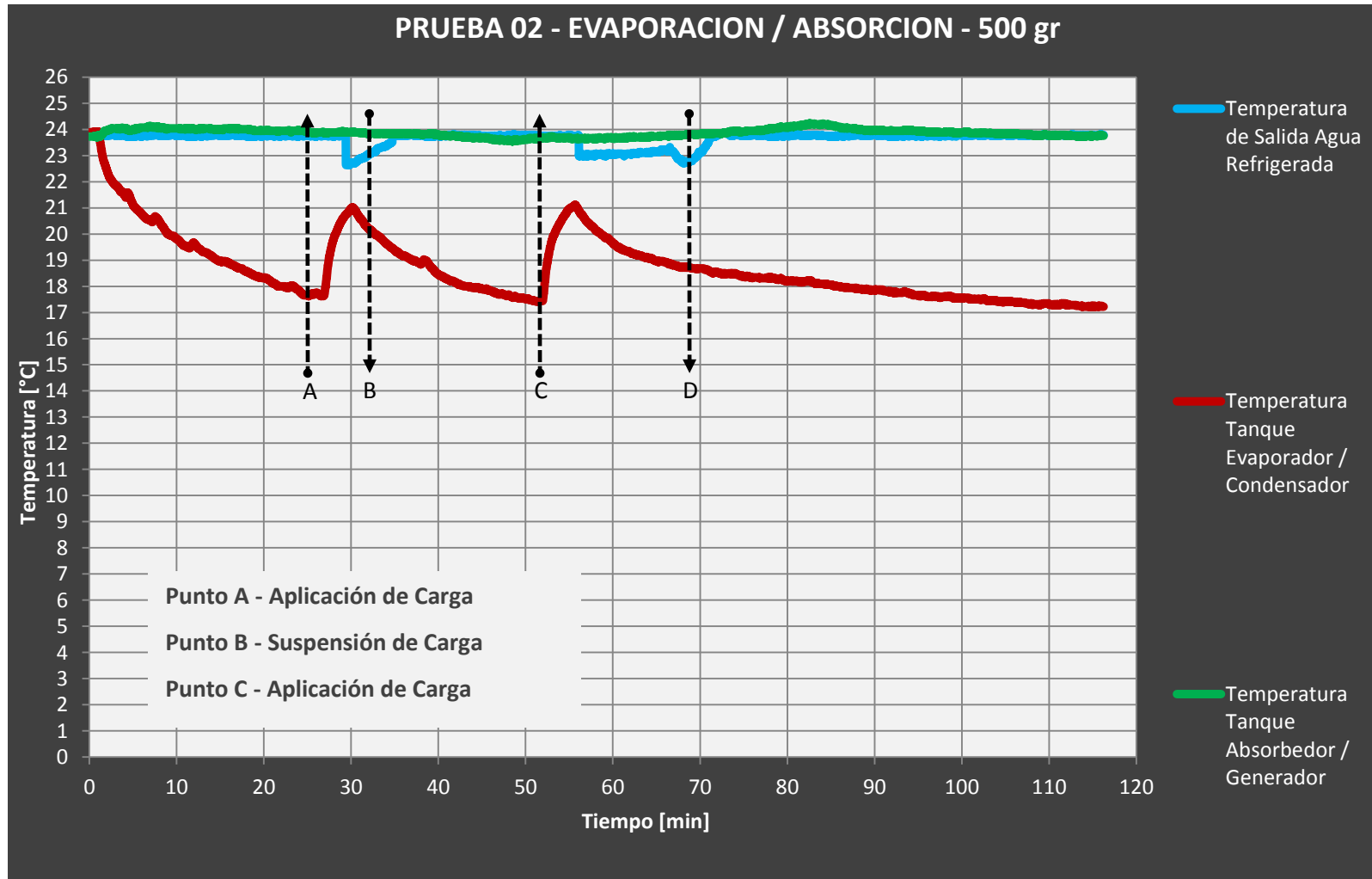
Fuente: Autores.

Del resultado del balance de masas y la gráfica de temperatura se concluyó que el prototipo demostraba el principio de funcionamiento de la refrigeración por absorción, ya que 32 gramos de agua habían salido del tanque evaporador/condensador y fueron absorbidos por la solución en el tanque absorbedor/generador.

- **PRUEBA 02.** Teniendo en cuenta los resultados de la primera prueba se determinó aumentar la concentración de la solución a 55% y disminuir la masa de refrigerante en el evaporador a 500 g. Con estas modificaciones se aumentó la velocidad de descenso en la temperatura del evaporador llegando hasta 17.7 °C en 24 minutos, Figura 64, posteriormente se hizo circular agua a través del serpentín del evaporador, es decir se aplicó carga al evaporador, obteniéndose los picos correspondientes de la temperatura del evaporador vistos en la gráfica. Por otro lado se observó que la temperatura en el tanque absorbedor/generador permaneció constante, resultado que demuestra el proceso de evacuación de calor de reacción en la disolución de la mezcla refrigerante/absorbente en el tanque absorbedor/generador.

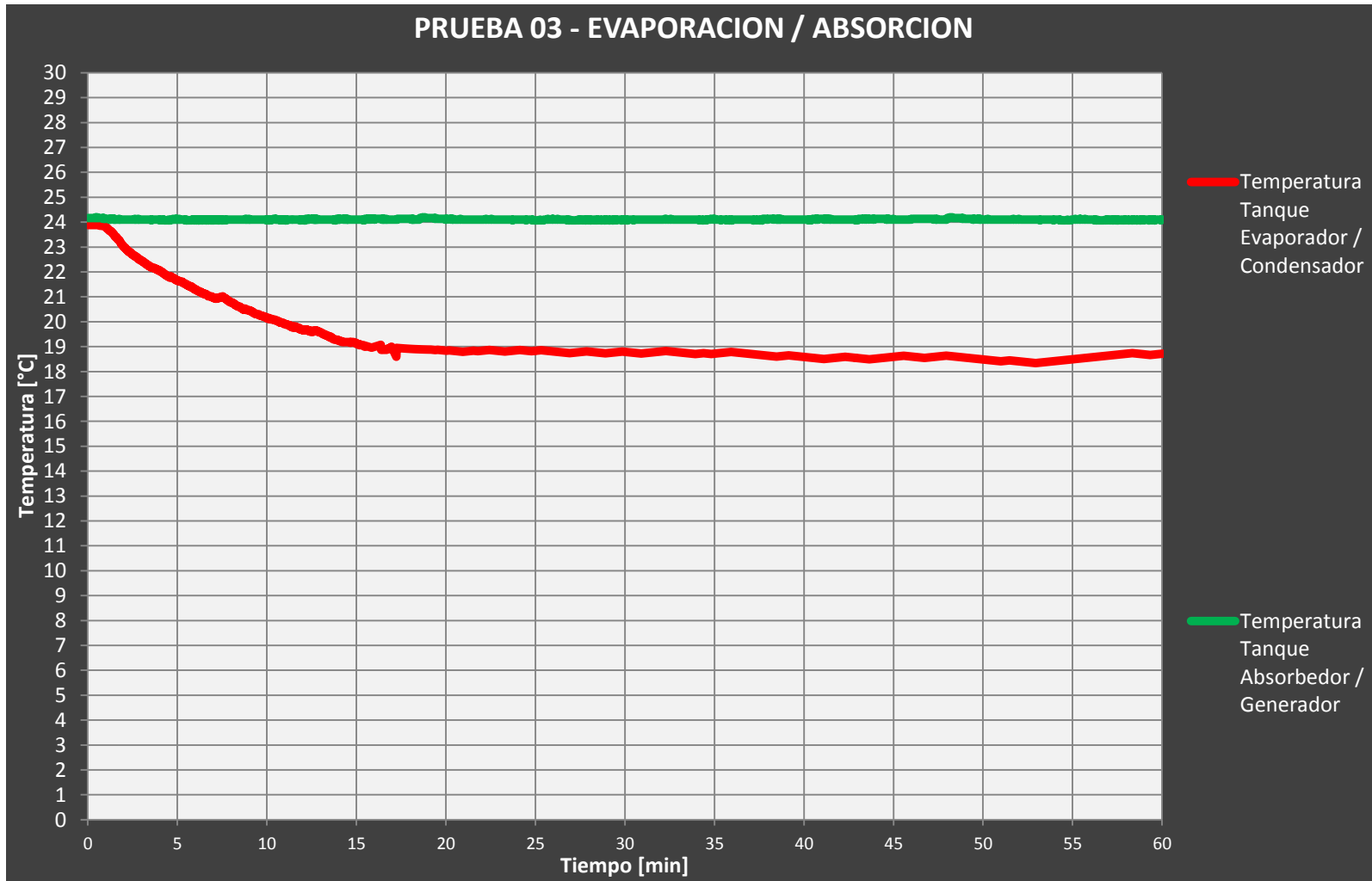
- **PRUEBA 03.** Para la siguiente prueba se mantuvo la concentración de la solución en 55% y se bajó a 300 g la cantidad de refrigerante en el evaporador, en la Figura 65 se observó un aumento en la velocidad de disminución de la temperatura del evaporador, la prueba se finalizó cuando la temperatura en el evaporador se estabilizó alrededor de los 19 °C.

Figura 64. Resultados Prueba 02.



Fuente: Autores.

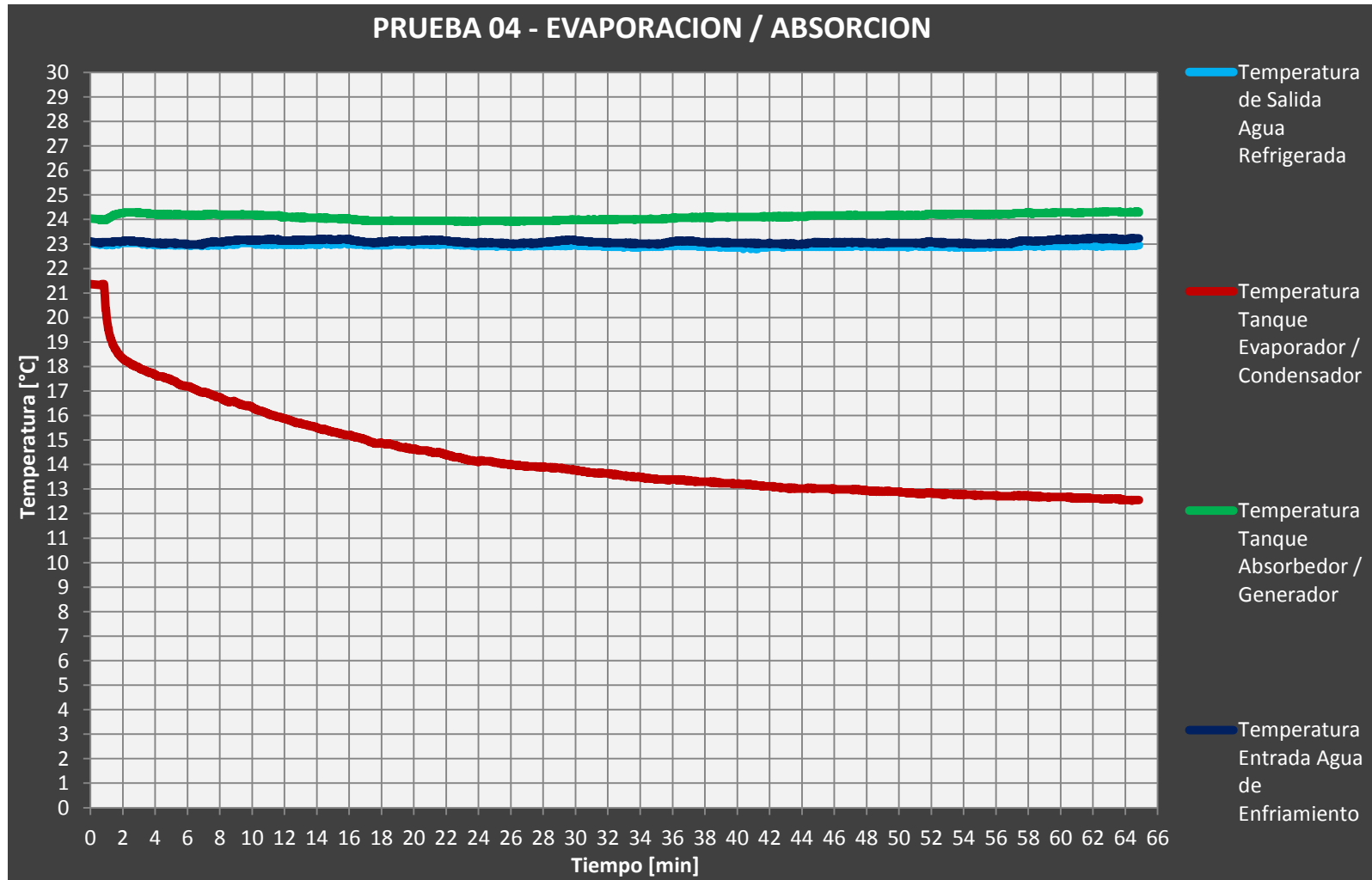
Figura 65. Resultados Prueba 03



Fuente: Autores.

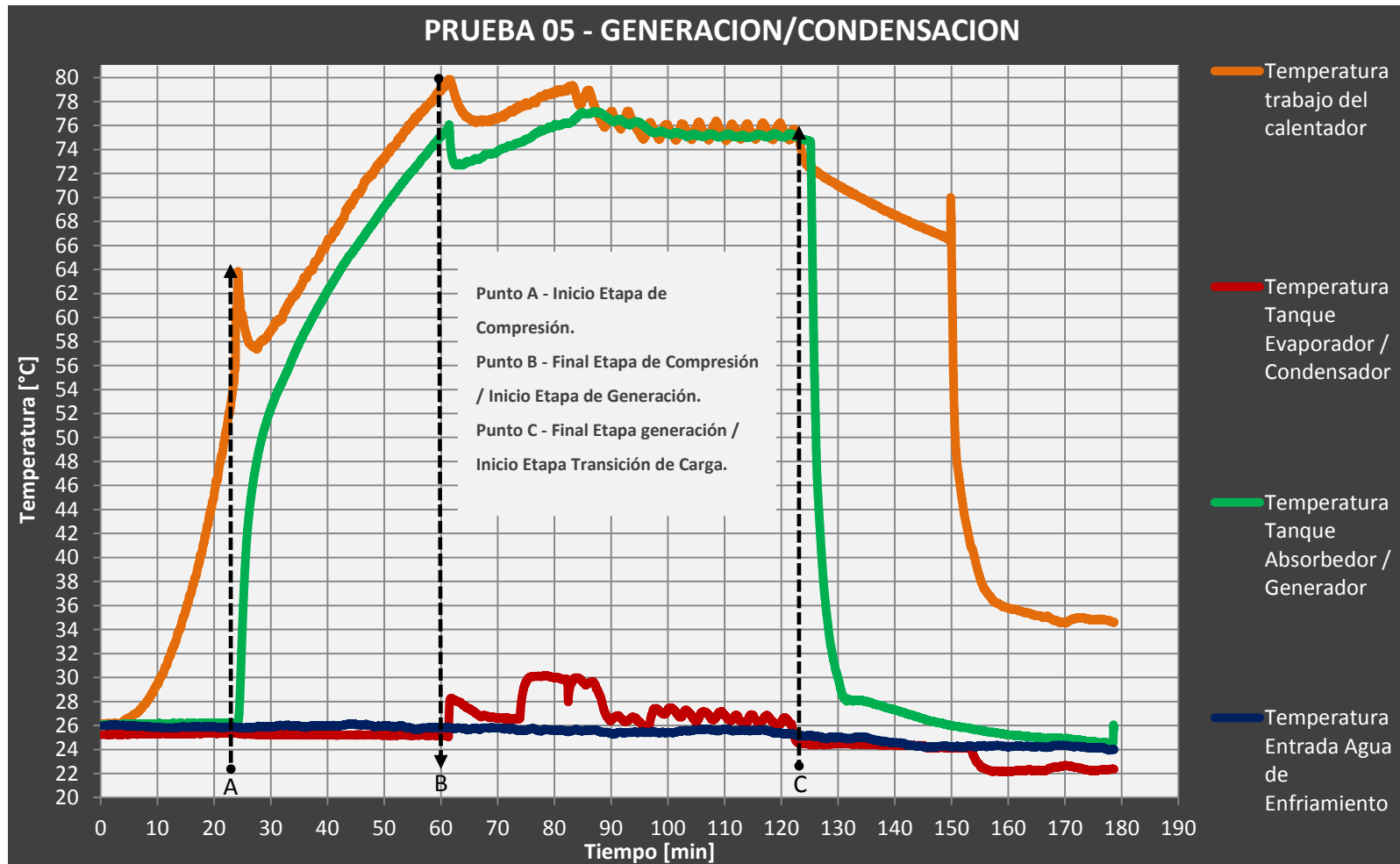
- **PRUEBA 04.** En la prueba 04 Figura 66 se ajustó la concentración de la solución a 60% y se trabajó nuevamente con 300 g de refrigerante en el evaporador. Se resaltó de esta prueba el valor mínimo de temperatura de estabilización alcanzado en el evaporador, esta temperatura se estableció en 12.6 °C, este valor de temperatura fue el valor más bajo alcanzado en el evaporador durante todas las pruebas del prototipo.
- **PRUEBA 05.** La Figura 67 describe el desarrollo de la etapa de generación/condensación que sigue al proceso de compresión. En esta etapa los tanques cambian su función, el evaporador pasa a ser condensador y el absorbedor generador. La gráfica muestra el momento en que se inicia la etapa de compresión, en este momento se suministra calor a la solución, su temperatura sube de 26 a 76 °C. A partir de este momento se abre la válvula que comunica los dos tanques e inicia la etapa de generación/condensación. En la gráfica se ve que el control on/off trata de mantener constante la temperatura de generación, al mismo tiempo se ve aumento de temperatura en el condensador obteniendo un máximo valor de 29.1 °C. Durante 20 minutos se deja abierta la válvula que conecta los dos tanques, este es el tiempo de duración de la etapa de generación/condensación. Al cerrar la válvula e iniciar la etapa de transición la gráfica muestra el rápido descenso de la temperatura en el generador debido al efecto del agua de enfriamiento del sistema. Al finalizar se hace el respectivo balance de masas obteniéndose un aumento de 67 g de refrigerante en la masa inicial del condensador, con este resultado se evidencia el cumplimiento del principio de funcionamiento de la etapa de generación/condensación en las máquinas de refrigeración por absorción.

Figura 66. Resultados Prueba 04.



Fuente: Autores.

Figura 67. Resultados Prueba 05.



Fuente: Autor.

- **PRUEBA 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13.** Los gráficos (Figuras 06 a la 13) describen las pruebas realizadas con el prototipo para las etapas de evaporación/absorción y generación/condensación con dos valores de concentración de la solución y dos masas de refrigerante en el evaporador respectivamente. Al finalizar cada prueba se efectuaron los balances de masa (ver resultados en la Tabla 11), en cada una de las pruebas se observó claramente las etapas de evaporación/absorción y generación/condensación, al analizar los datos de las gráficas y los resultados de la tabla no se observan grandes diferencias que permitan de alguna manera caracterizar el comportamiento del prototipo cuando se varían de esta forma los parámetros de su funcionamiento, sin embargo es importante resaltar los buenos resultados obtenidos en las PRUEBAS 10 y 11.

En lo que respecta a la prueba 10 (evaporación/absorción) se obtuvo una temperatura de expansión en el evaporador de 16.7 °C de los 25.2 iniciales, además se puede ver la aplicación de carga al evaporador y su buena respuesta, se aprecia desde el minuto 23 al 60 la aplicación de la carga con la consecuente disminución en la temperatura de salida agua fría en el serpentín del evaporador iniciando con un delta con respecto a la temperatura de entrada de 4.4 °C en el minuto 23 y terminando con 1.8 °C en el minuto 60.

De la PRUEBA 11 se destaca el alto valor de masa de refrigerante condensado al finalizar la etapa (220.3 g), este valor fue el más alto obtenido en el desarrollo de todas las pruebas, adicionalmente es importante decir que esta prueba se desarrolló justo después de efectuar la limpieza del carter y el cambio de aceite a la bomba de vacío, al realizar este proceso se encontró gran deterioro de los componentes de la bomba así como presencia de agua líquida dentro del carter de la misma. Por otro parte cuando se realizó el balance de masas después de finalizar la PRUEBA 09 (generación/condensación) se observó en el tanque absorbedor/generador la presencia del fenómeno de cristalización. Ver Figura 68.

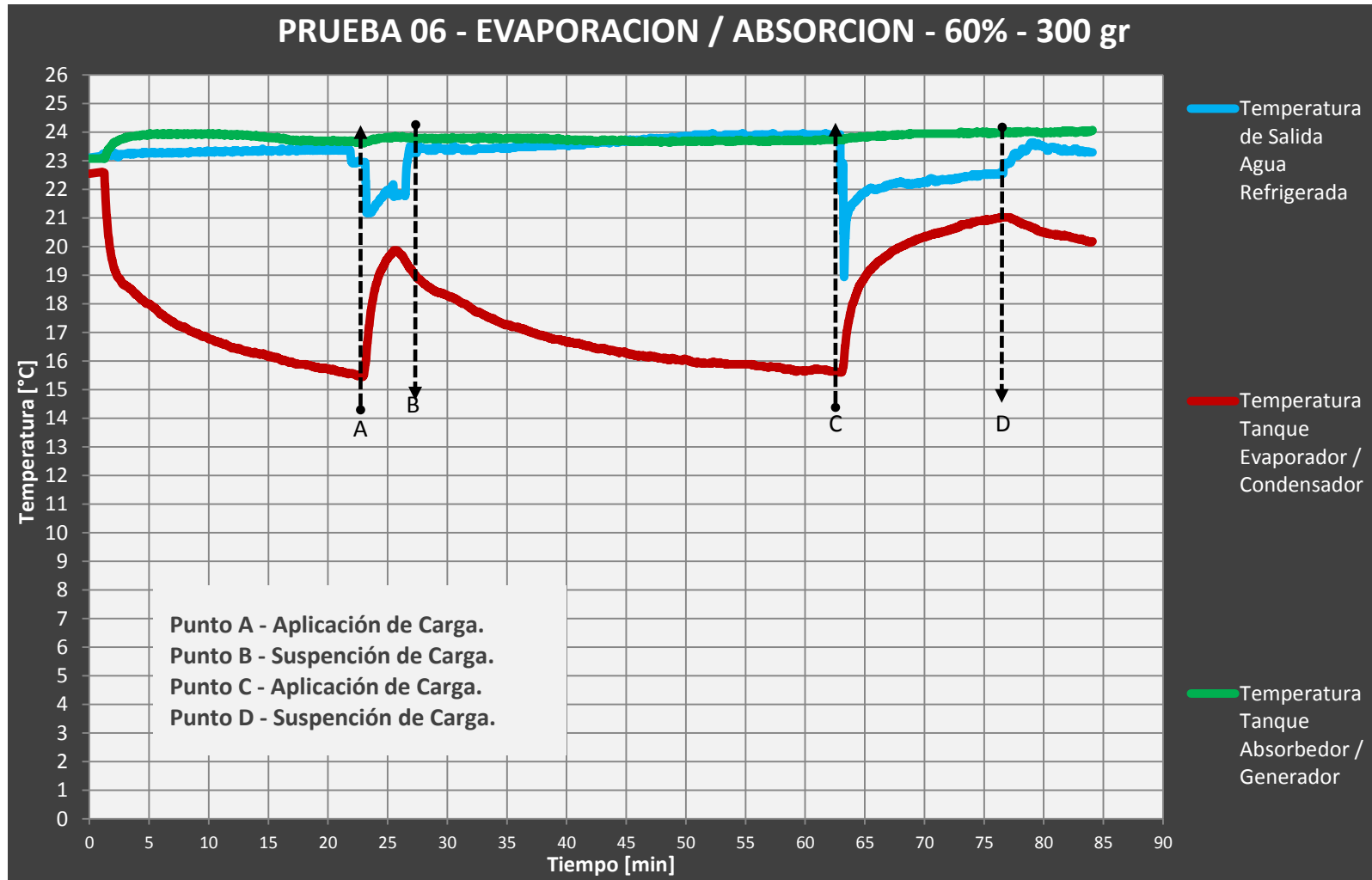
Figura 68. Cristalización de la solución en el absorbedor.



Fuente: Autores

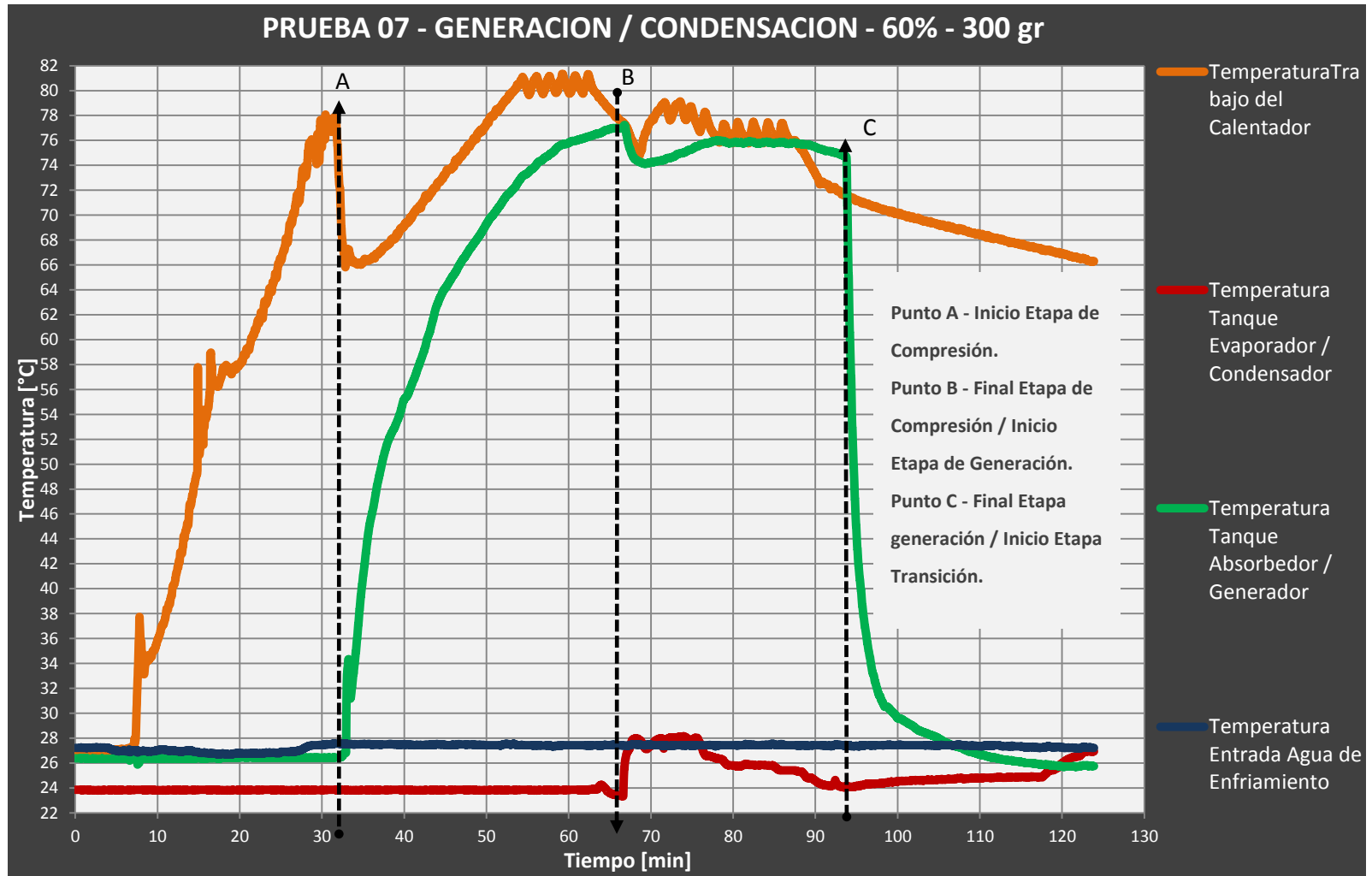
- **PRUEBA 14.** Con el objetivo de realizar un ciclo completo se efectuó la PRUEBA 14, Figura 77. En ella se realizó la etapa de evaporación/absorción, de manera inmediata se dio inicio a la compresión y posteriormente se desarrollaron las etapas de generación/condensación y transición respectivamente para completar el ciclo. Se considera esta grafica una de las más importantes ya que en ella se puede ver de manera muy ilustrativa todo el ciclo de refrigeración del prototipo.

Figura 69. Resultados Prueba 06.



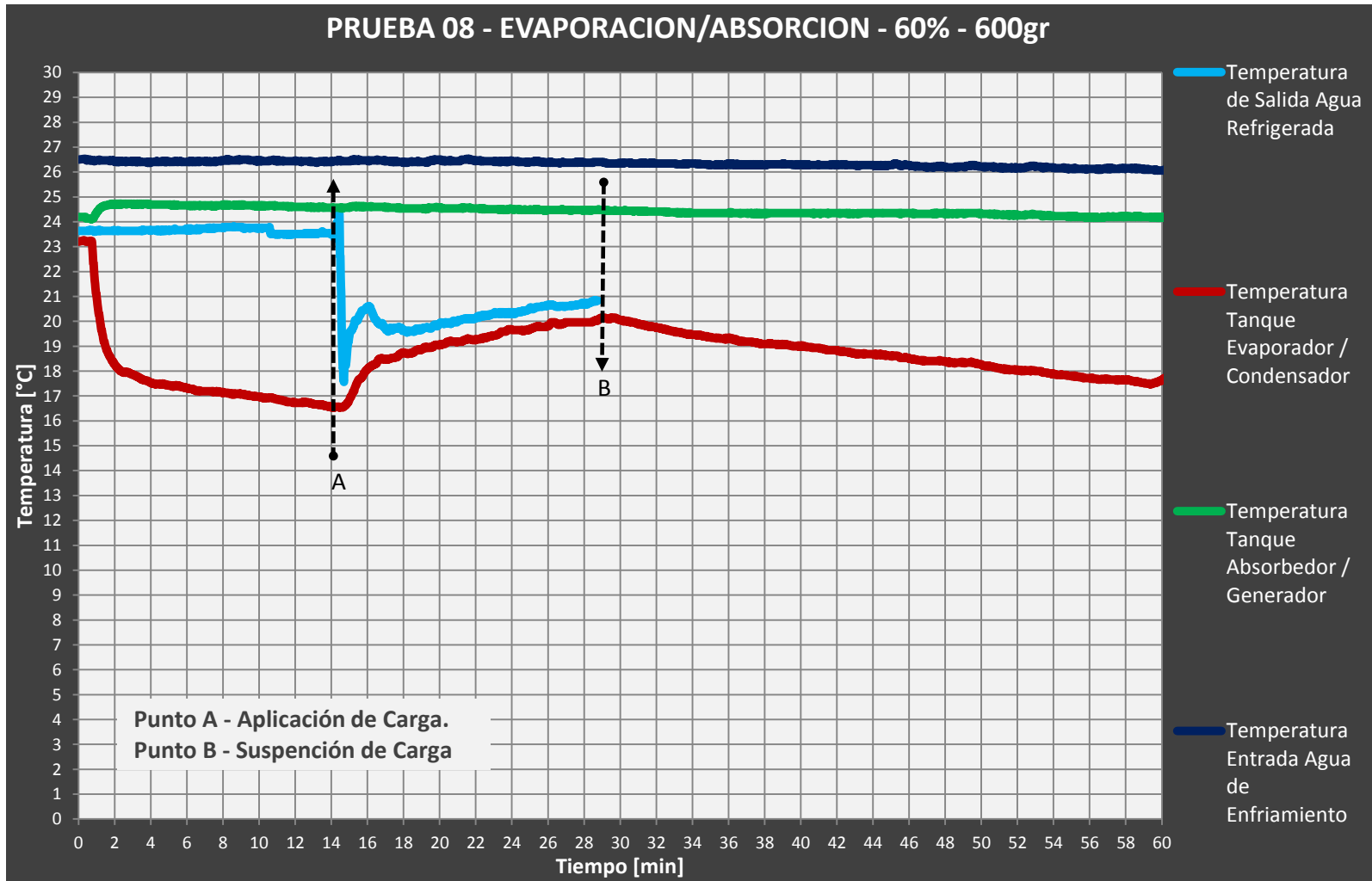
Fuente: Autores.

Figura 70. Resultados Prueba 07.



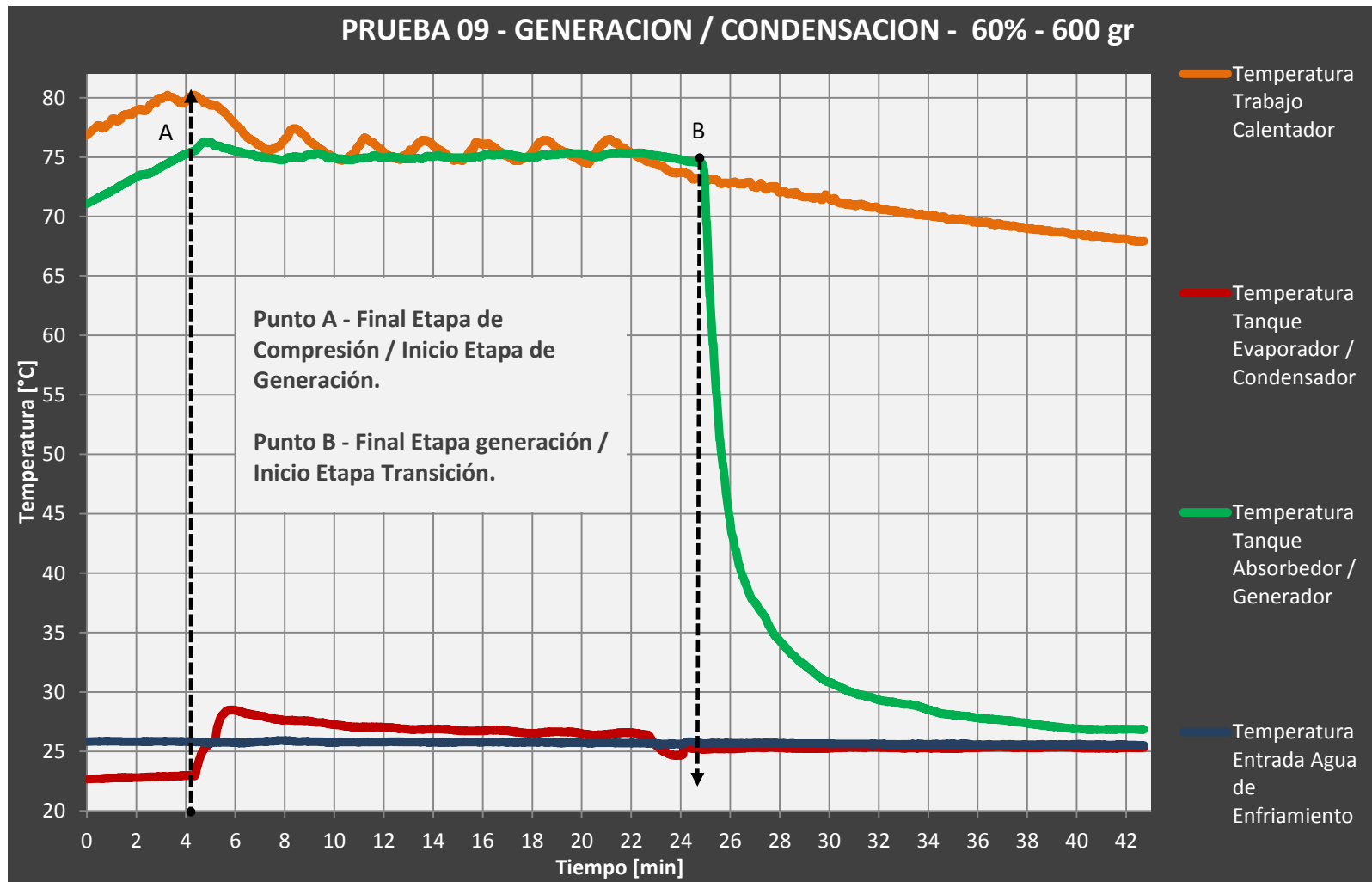
Fuente: Autores.

Figura 71. Resultados Prueba 08.



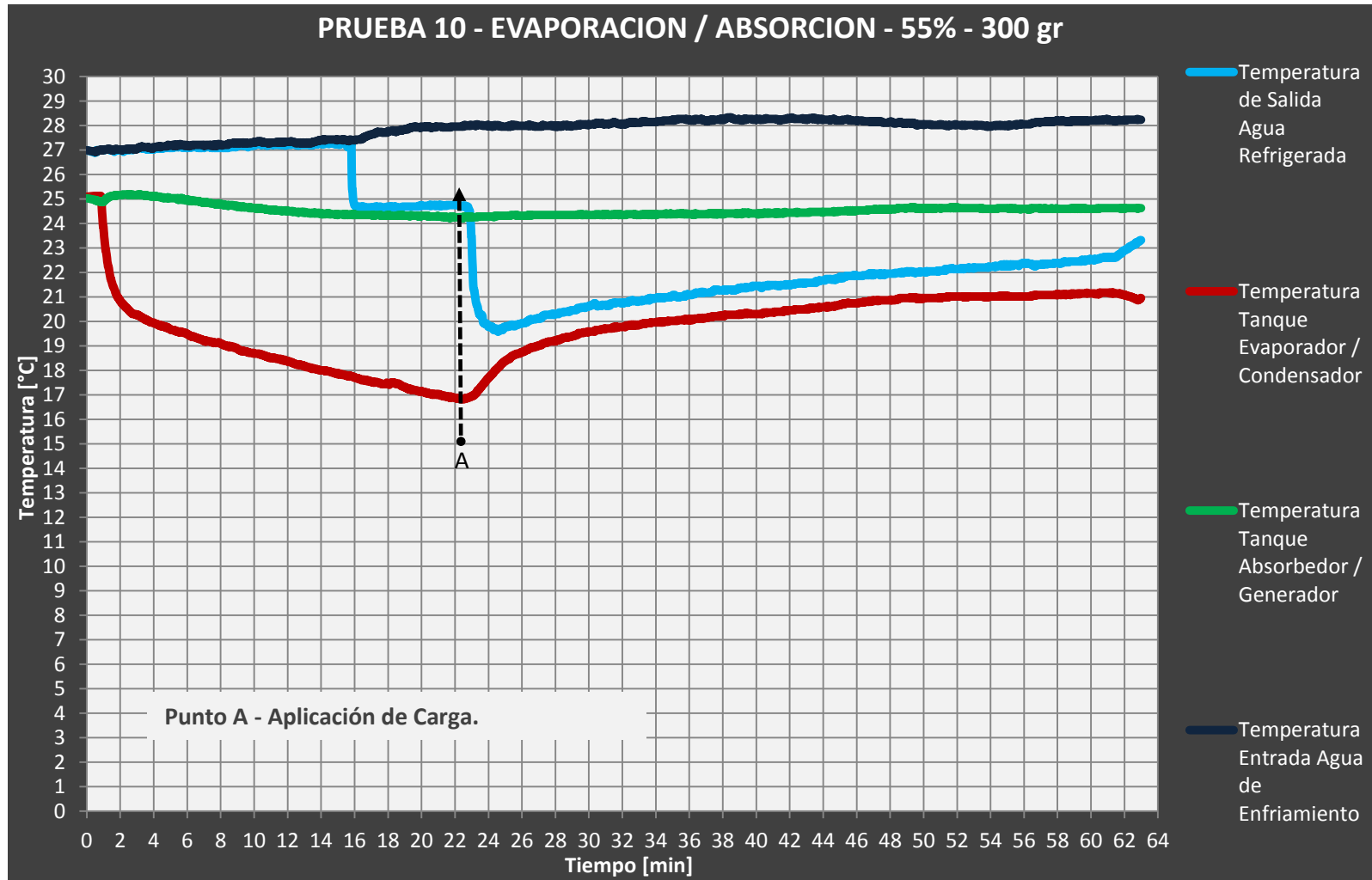
Fuente: Autores.

Figura 72. Resultados Prueba 09.



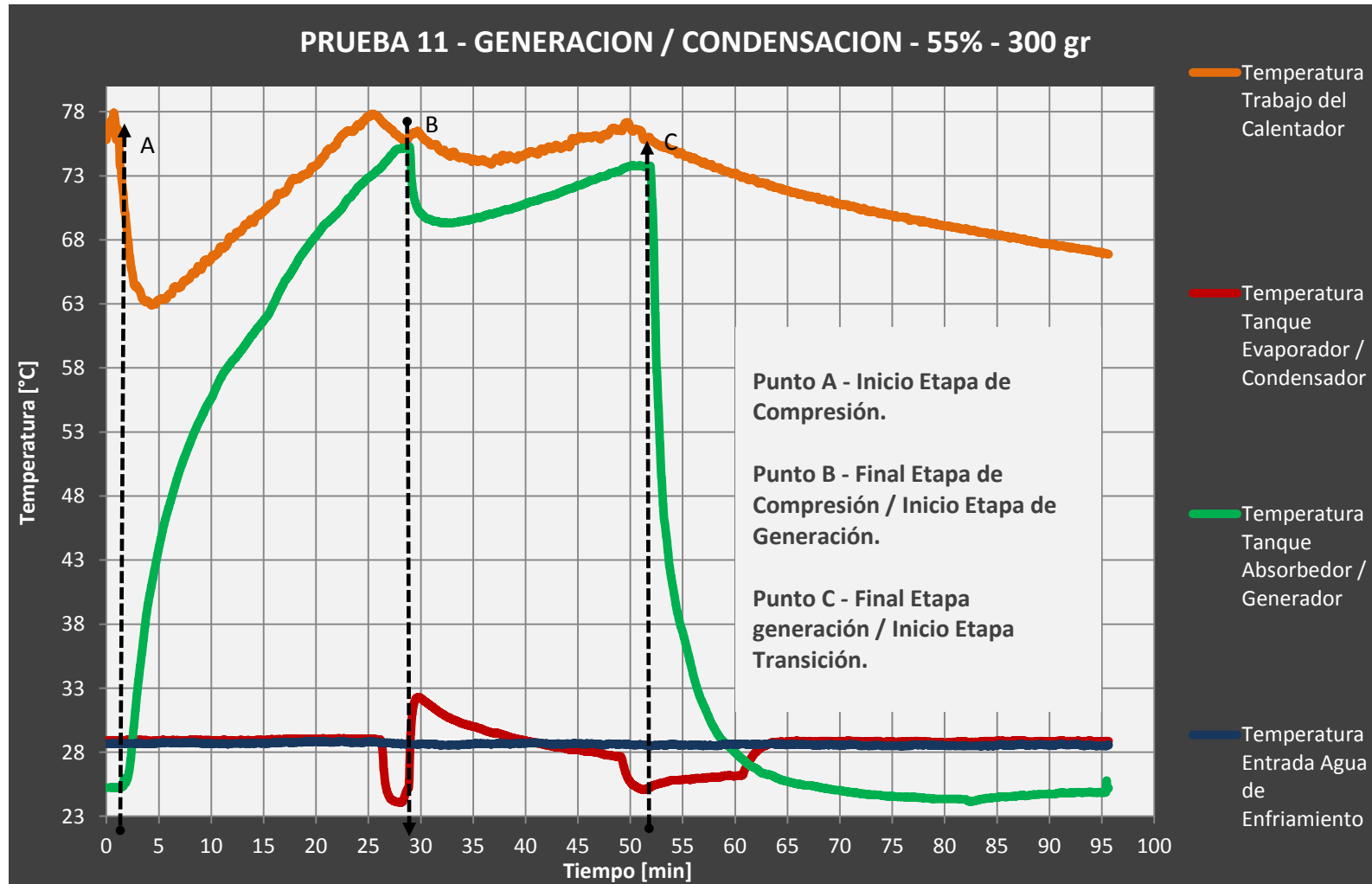
Fuente: Autores.

Figura 73. Resultados Prueba 10.



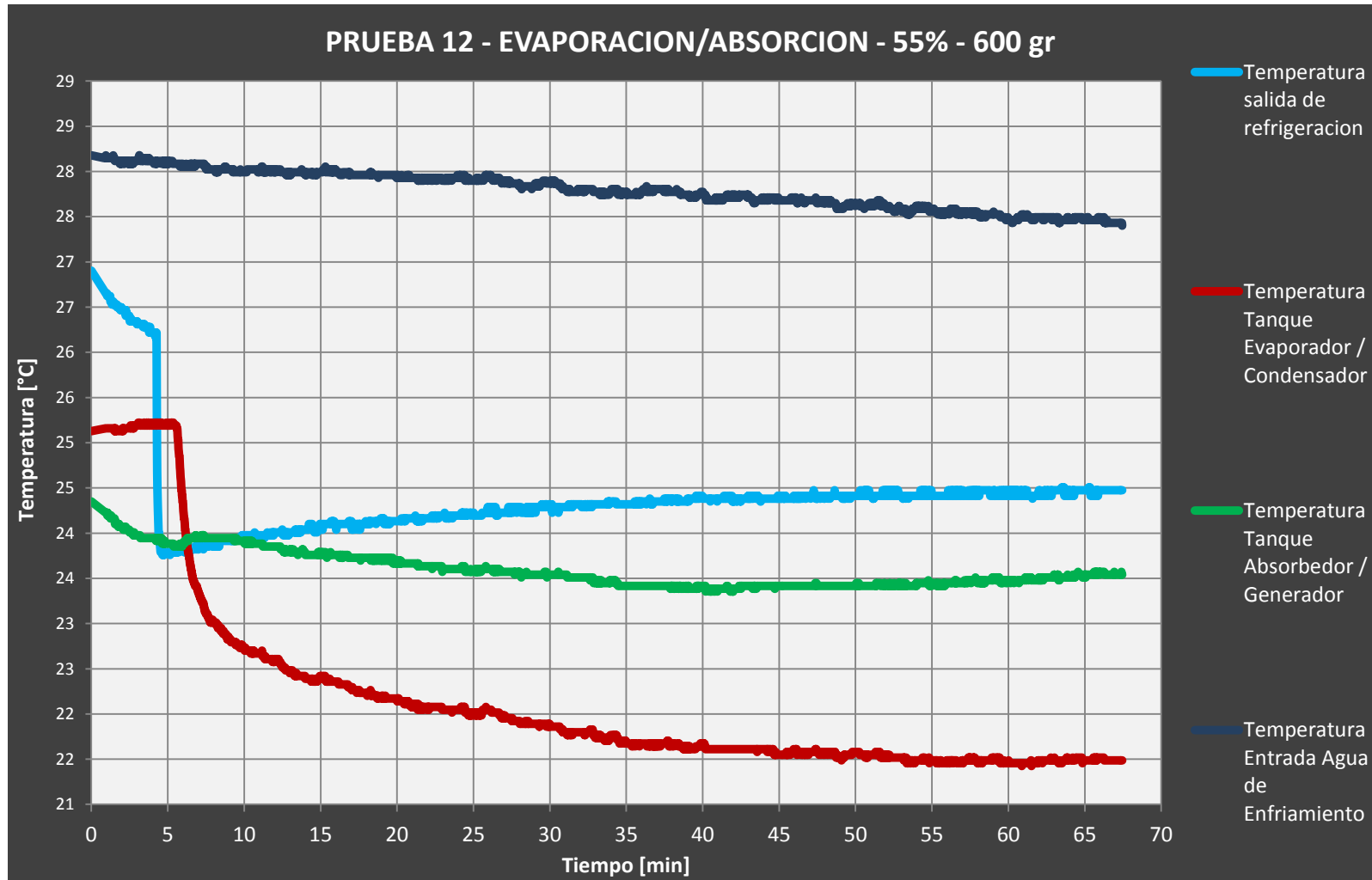
Fuente: Autores.

Figura 74. Resultados Prueba 11.



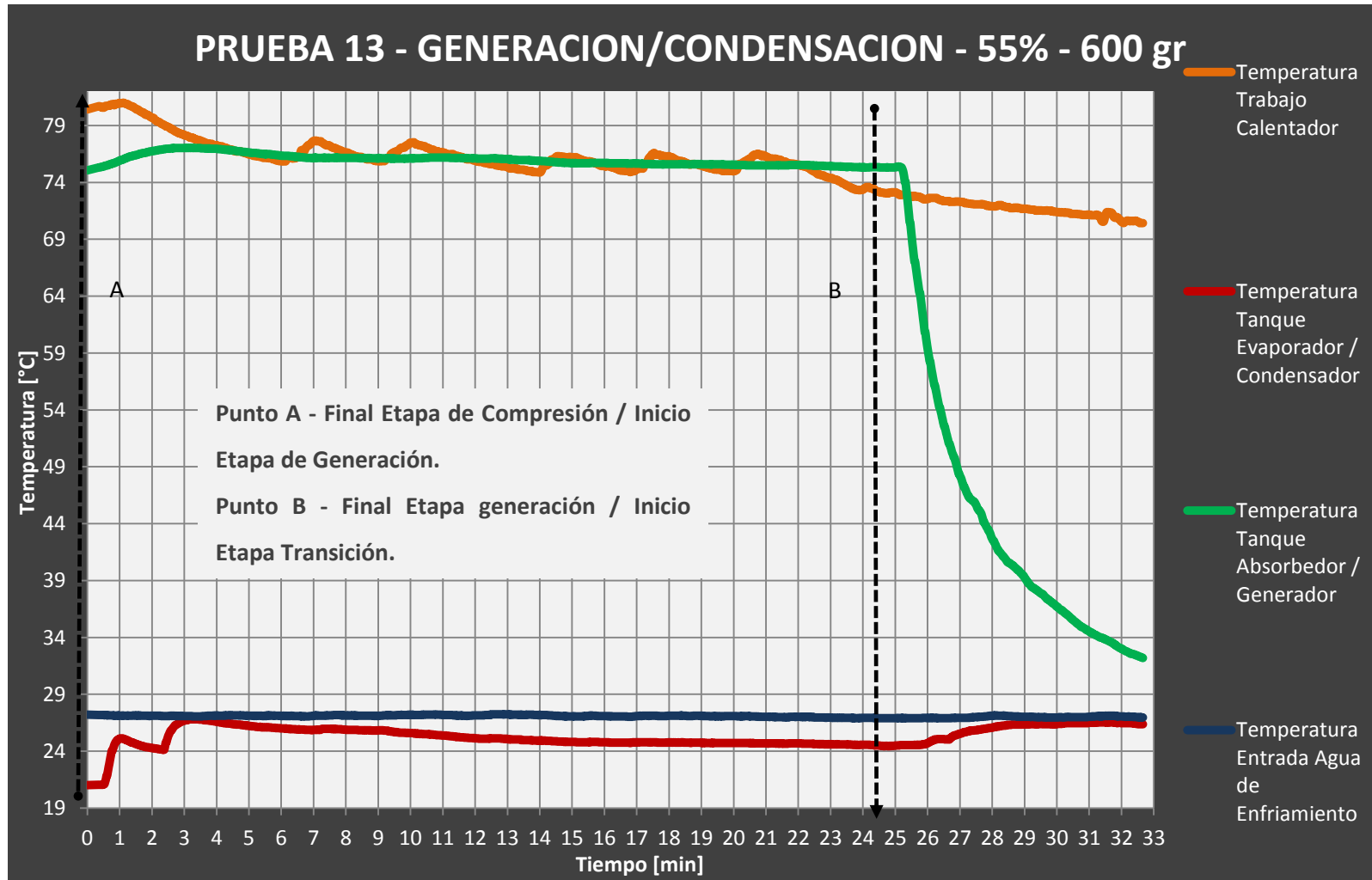
Fuente: Autores.

Figura 75. Resultados Prueba 12.



Fuente: Autores.

Figura 76. Resultados Prueba 13.



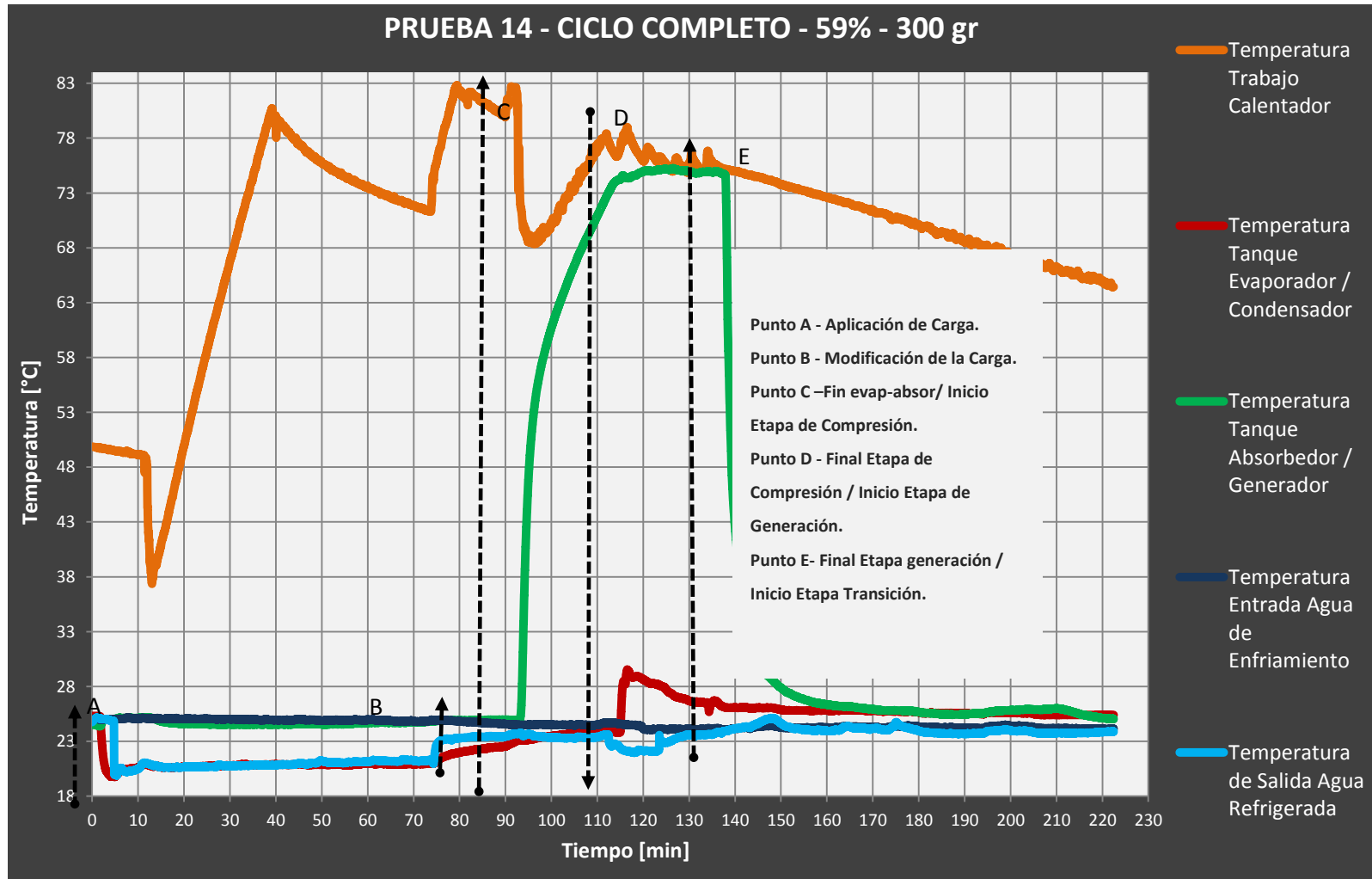
Fuente: Autores.

Al abrir la válvula principal en el minuto 0 inicia la etapa de evaporación/absorción, en el minuto 5 se puede ver la aplicación de carga (efecto de enfriamiento a la salida del agua en el serpentín del evaporador) al evaporador, esta carga constante permanece hasta el minuto 75, a partir de aquí se aumenta el flujo de agua en el serpentín del evaporador (aumento de carga), la etapa de evaporación/absorción finaliza en el minuto 93. Se cierra la válvula principal y se empieza a suministrar calor al tanque absorbedor/generador, en la gráfica se puede ver esta situación al observar el aumento de la temperatura del absorbedor hasta los 75 °C. Luego se vuelve a abrir la válvula principal para dar inicio a la etapa de generación/condensación minuto 113, simultáneamente se puede ver el aumento de la temperatura del tanque evaporador/condensador por el proceso de condensación que ahora en él se lleva a cabo. Por otra parte se observa constante la temperatura del absorbedor/generador (75 °C) hasta el minuto 134, en este momento se cierra la válvula principal para dar inicio a la etapa de transición con el objetivo de enfriar la solución hasta la temperatura de equilibrio con el Evaporador y el ambiente.

En esta prueba también se efectuó el cálculo del efecto de refrigeración en la etapa de evaporación/absorción:

- calor neto de refrigeración extraído del agua en el serpentín del evaporador. **107.76 KJ.**
- Potencia promedio de refrigeración durante la etapa de evaporación/absorción. **20.90 w.**
- Potencia más alta registrada en la etapa. **30.1 w.**

Figura 77. Resultados Prueba 14.



Fuente: Autores.

- **PRUEBA 15.** La Figura 78 es también basada en una prueba de ciclo completo. De esta prueba es importante resaltar la disminución del efecto de refrigeración causado por el descenso de la temperatura ambiente, ya que la temperatura en el evaporador depende de la presión absoluta en su interior y esta no depende de las condiciones externas.

- **PRUEBA 16.** Con el fin de cuantificar la eficiencia del ciclo en el prototipo se realizó la prueba 16, Figura 79. En este caso se calcularon los siguientes valores:
 - calor neto de refrigeración extraído del agua en el serpentín del evaporador. **19.94 KJ.**

 - Potencia promedio de refrigeración durante la etapa de evaporación/absorción. **9.1 w.**

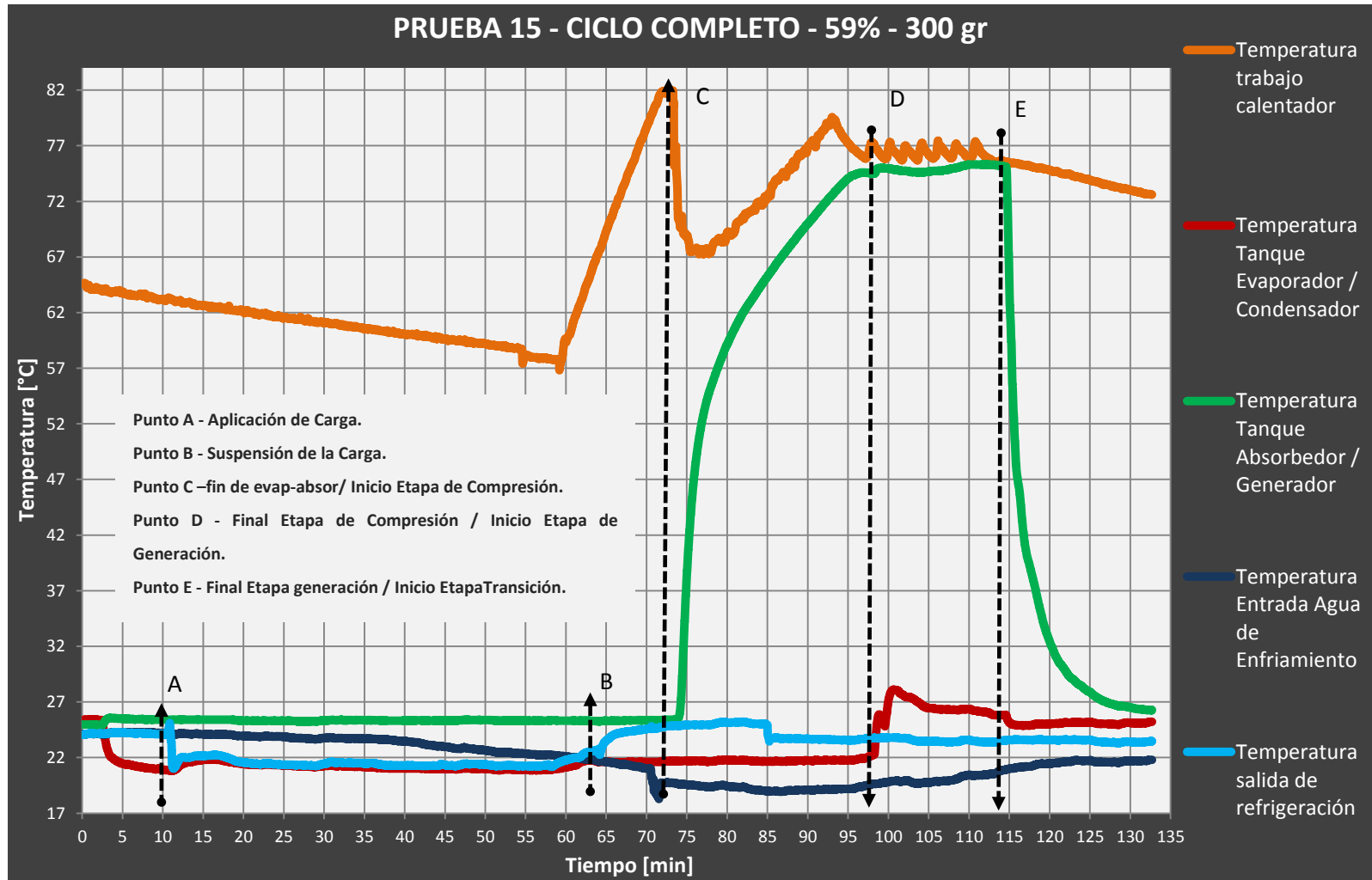
 - Calor neto entregado a la solución durante la compresión y generación. **917 KJ.**

 - Potencia promedio entregada a la solución durante la compresión y generación. **297.26 w.**

 - COP del ciclo²⁹ . 2.17 %.

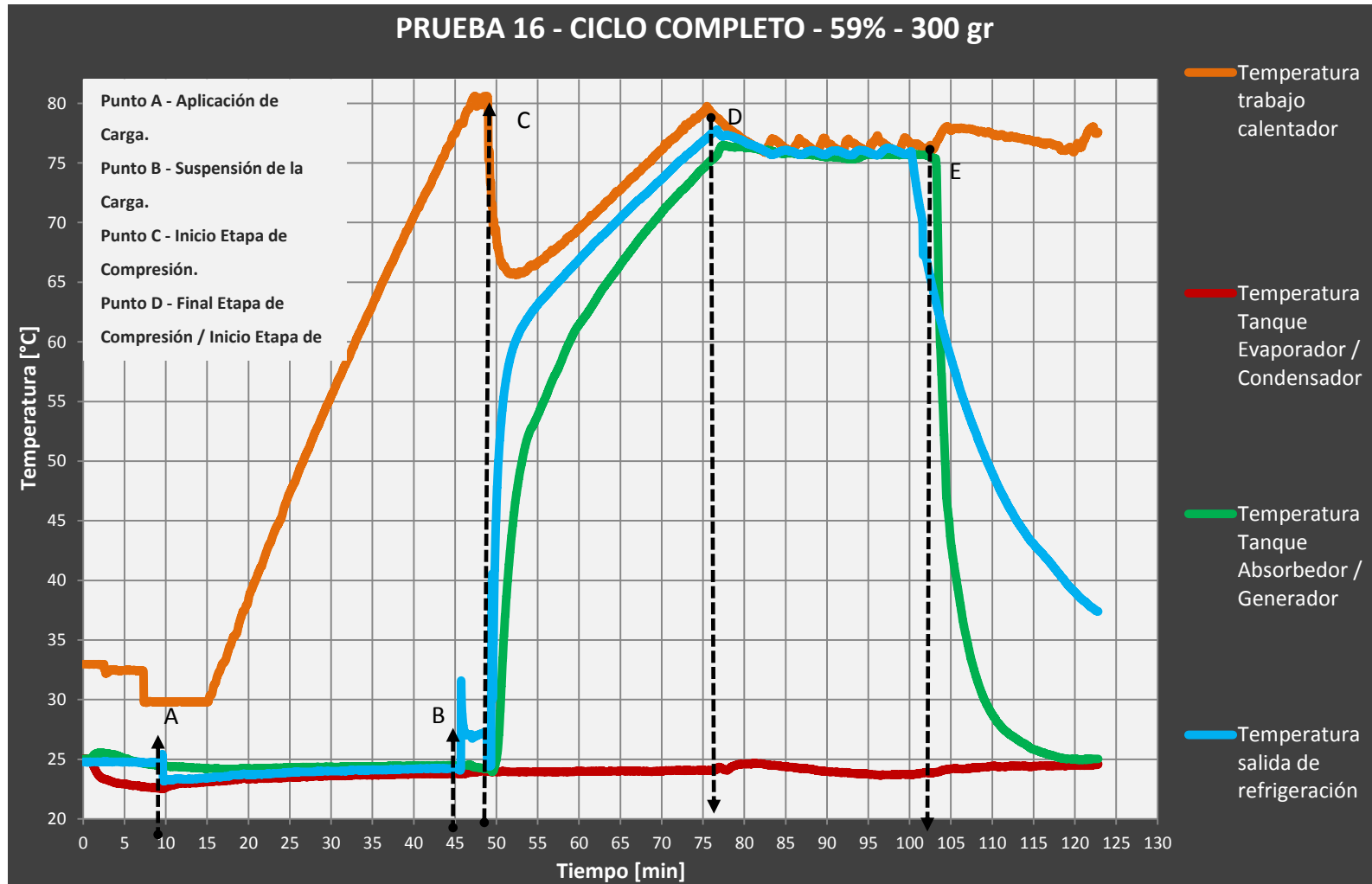
²⁹Sin tener en cuenta el consumo de la bomba del generador/absorbedor.

Figura 78. Resultados Prueba 15.



Fuente: Autores.

Figura 79. Resultados Prueba 16.



Fuente: Autores

5.4 ANÁLISIS GLOBAL DE LOS RESULTADOS

Por la naturaleza del proyecto la mayoría de sus aspectos eran desconocidos, por tal razón es necesario efectuar un análisis de los factores más relevantes que influenciaron el desarrollo de la investigación.

5.4.1 Principio de funcionamiento. Uno de los principales objetivos planteados cuando se inició esta investigación era verificar en la realidad el principio de funcionamiento de la refrigeración por absorción, las pruebas realizadas con el prototipo evidencian el logro de este objetivo.

5.4.2 Capacidad de refrigeración. El prototipo no alcanzó la potencia de refrigeración esperada. Si se tienen en cuenta los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la investigación y la valiosa experiencia obtenida en el diseño, construcción y posterior prueba del equipo se podría decir lo siguiente con respecto a este resultado:

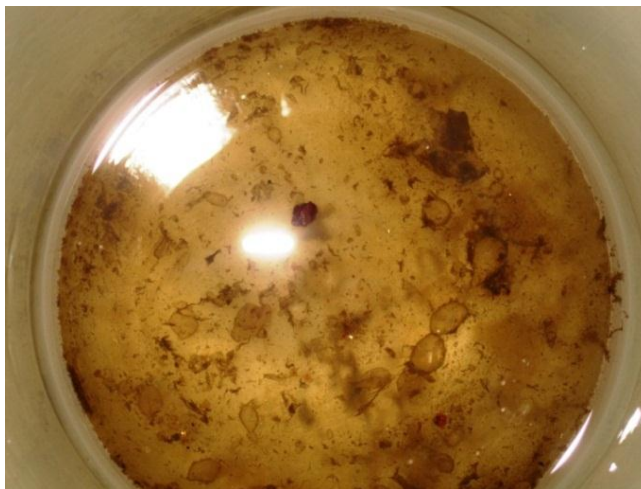
Desafortunadamente las mediciones de potencia de refrigeración y eficiencia se efectuaron en las últimas pruebas. El prototipo en las pruebas finales no presentó el mismo rendimiento del inicio, esta situación se puede atribuir principalmente al deterioro de la bomba de vacío. La atribución al vacío se puede sustentar en el valor de la temperatura de estabilización después de la expansión en el evaporador. En las primeras pruebas se obtenían temperatura de más de 8 grados por debajo de la temperatura inicial en el evaporador inclusive en una prueba se alcanzó una temperatura de 12.6°C, mientras que para las pruebas posteriores la disminución de la temperatura en el evaporador no superaba los 5 °C en los mejores casos, como ya se había dicho la temperatura de evaporación depende de la presión absoluta dentro del sistema y esta a su vez depende de la eficacia con que la bomba de vacío realice la purga de los tanques. Por lo tanto se

deduce que en el sistema existían presiones parciales ejercidas por otros elementos diferentes a la solución absorbente y refrigerante. Ver Figura 77.

Otra explicación que se le puede dar a la baja capacidad de refrigeración está asociada con el fenómeno de evaporación y absorción, ya que existe muy poca información disponible sobre este tema, solo se pueden deducir algunas cosas de la escasa información técnica que brindan los fabricantes.

Con base en la investigación se puede inferir que si se aumenta el área de superficie para la evaporación y el área de exposición de la solución con el vapor de agua se pueden mejorar las velocidades de evaporación y absorción de la mezcla refrigerante/absorbente. Los fabricantes para este propósito usan diferentes métodos como atomizadores, cambian la configuración de montaje y algunas otras cosas que por su costo no se pudieron adecuar al prototipo.

Figura 80. Consecuencias de las filtraciones de vapor de agua.



a) Elevada suciedad en el aceite de la bomba de vacío.



b) Drástico deterioro de la bomba de vacío.

Fuente: Autores.

El diseño robusto del sistema debido al efecto hidrostático de la presión mínima de trabajo en el prototipo sin lugar a duda resto capacidad de refrigeración por causa de la inercia térmica.

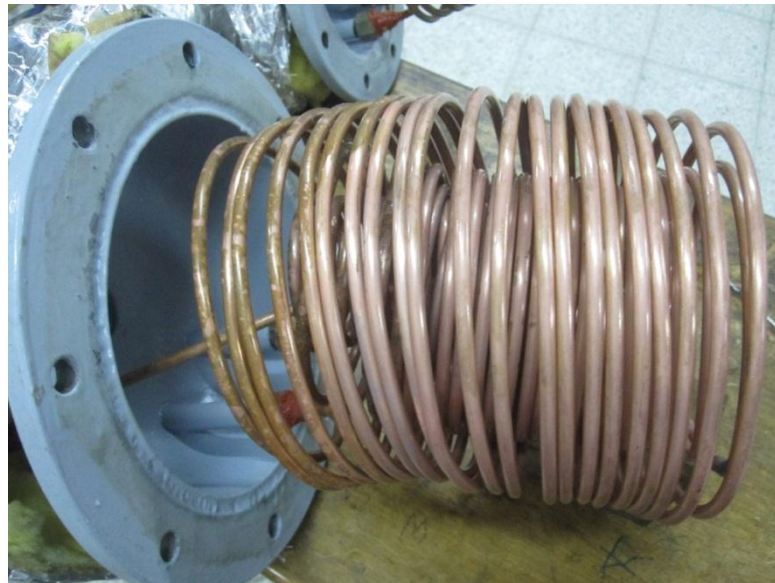
5.4.3 Variables de construcción

- **MATERIALES.** En el apartado de este libro donde se describe la mezcla de solución absorbente compuesta por el par Bromuro de litio y agua se mencionó el alto grado de corrosividad que esta solución ejerce sobre los metales comunes como el cobre y el acero. Con el propósito de proteger el material del tanque absorbedor/generador se utilizó como recubrimiento una resina epóxica de fácil adquisición a nivel local la cual presento un buen desempeño durante las pruebas del prototipo, el recubrimiento no presento ningún tipo de desprendimiento o rotura en las pruebas visuales.

Con respecto del cobre si se pudo observar un ataque superficial por parte de la solución como lo evidencia la Figura 81, en donde se ve el cambio de color de la

parte del serpentín en contacto con la solución, suceso que se presenta cuando se remueve la capa de óxido de cobre que se forma cuando se expone cobre al ambiente,³⁰ lo cual indica el ataque por parte de la solución. Sin embargo no se aprecian picaduras sobre el tubo y como la solución opera al vacío los efectos corrosivos se atenúan por la no presencia de oxígeno. En cuanto a la solución como se ve en la Figura 82, presento una transformación de su coloración iniciando prácticamente clara y trasparente cambiando a un tono verdoso después de su uso por la posible presencia del óxido de cobre en ella.

Figura 81. Serpentín de cobre en el tanque absorbedor/generador atacado por la solución.



Fuente: Autores.

³⁰Asesoría del profesor Custodio Vásquez, Escuela de Ingeniería Metalúrgica, UIS.

Figura 82. Estado de la solución antes y después de usarla.



Fuente: Autores.

- **VACÍO.** El método de purga implementado para el prototipo cumplió su función, ya que permitió el desarrollo de cada una de las etapas respectivas en el ciclo de refrigeración, no obstante los valores obtenidos de vacío no fueron los pretendidos inicialmente, en primer lugar no se contaba con los instrumentos de medición precisos para operar bajo este rango de vacío. Por otra parte por el grado de corrosión de los fluidos de trabajo en el sistema la bomba de vacío sufrió daños considerables ver Figura 80, a pesar de las medidas de protección que se habían implementado para esto, el deterioro de la bomba afectó su desempeño disminuyendo el valor máximo de vacío que repercutió directamente en la temperatura de evaporación en el tanque evaporador/condensador. En lo que respecta a la hermeticidad del sistema los resultados fueron muy buenos, no se detectó pérdida de vacío en ninguno de los dos tanques.

6. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un prototipo de refrigeración por absorción intermitente que usa la mezcla de bromuro de litio y agua como fluidos de trabajo para su funcionamiento.

El prototipo brindó la oportunidad de comprobar en la realidad el principio de funcionamiento de la refrigeración por absorción. Por medio del prototipo se desarrollaron cada una de las etapas que componen el ciclo de refrigeración por absorción intermitente:

- Etapa de evaporación/absorción.
- Etapa de compresión.
- Etapa de generación/condensación.
- Etapa de transición.

Se obtuvieron temperaturas de enfriamiento en el evaporador de hasta 10.7 °C por debajo de la temperatura ambiente. Estos valores se alcanzaron cuando la bomba de vacío presentaba un aceptable desempeño, como se vio en la parte final de las pruebas en el momento en que se tenía certeza del deterioro de bomba la disminución en la temperatura del evaporador no superaba los 5 °C.

La capacidad de refrigeración obtenida por el prototipo no alcanzó el valor esperado en su diseño, se esperaba obtener 200 w de los cuales cuando se realizó la medición se obtuvieron 20.9 w. Se atribuye este resultado al bajo valor en las áreas de evaporación y absorción del prototipo así como las dificultades presentes en la obtención del alto valor de vacío en que debe operar el equipo.

Si se analiza el valor de la mínima temperatura de evaporación obtenida en todas las pruebas en el tanque evaporador/condensador (12.6 °C) en relación con la temperatura y concentración de la solución en el tanque absorbedor/generador se concluye que el valor de vacío deseado (menor a 1 mm Hg absoluto) no fue alcanzado, ya que si este valor se hubiese logrado se deberían obtener temperaturas de evaporación de 2 °C. En cuanto al grado de hermeticidad se puede decir que los resultados obtenidos fueron muy buenos, dado que no se presentaron cambios importantes en los datos entregados por los Vacuómetros.

Por el grado de transitoriedad que presenta el ciclo de refrigeración intermitente por absorción fue difícil poder establecer una caracterización de los parámetros de funcionamiento del prototipo.

Debido a la robustez del sistema consecuentemente se generó una elevada inercia térmica que afectó el rendimiento del prototipo.

Los materiales seleccionados para la construcción del prototipo presentaron un buen desempeño teniendo en cuenta los requisitos asociados al valor de vacío de trabajo y la alta corrosividad de la solución absorbente compuesta por (BrLi + H₂O).

Las gráficas obtenidas como resultado de las pruebas de ciclo completo permiten describir claramente cada una de las etapas del ciclo de refrigeración.

Se adquirió información teórica y práctica valiosa que puede servir como motivación y base para el desarrollo de futuras investigaciones sobre el diseño de sistemas de refrigeración por absorción.

Con la realización de este trabajo de grado se comprobó la posibilidad de desarrollar este tipo de tecnologías con las herramientas y materiales existentes a

nivel local. Es importante destacar la interacción llevada a cabo con otros departamentos tanto internos como externos a la UIS durante el desarrollo del proyecto.

A causa de la naturaleza del proyecto en los autores queda una enorme ganancia teórica y práctica que sin lugar a duda servirá como herramienta para los futuros retos asociados a su desarrollo profesional y personal.

7. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta las dificultades para obtener los valores de vacío necesarios para los sistemas de refrigeración por absorción se recomienda la búsqueda de otras alternativas de purga, ya que la utilizada en este trabajo no permitió evacuar la totalidad de los gases dentro del sistema y además generó problemas de deterioro en la bomba de purga.

Con la información que se pudo recopilar de este trabajo y con el objetivo de obtener mejores resultados en cuanto al rendimiento y caracterización de sistemas de refrigeración por absorción se recomienda en otro proyecto continuar con esta investigación intentando desarrollar un prototipo que funcione bajo un ciclo continuo. Sería una gran ventaja poder vincular a otras disciplinas que puedan enfocarse en variables como la disminución de los efectos de la corrosión de la solución desde el ámbito de la química y la caracterización de materiales de construcción desde la perspectiva de la ciencia de materiales.

BIBLIOGRAFÍA

ARIZA, Carlos Augusto, León, Luis Humberto. Diseño y construcción de un modelo para la experimentación en refrigeración adsorptiva usando el par silica gel-agua y como fuente de energía la radiación solar. Trabajo de grado ingeniería mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, 2008. 135p.

CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. Handbook of air conditioning system design. MARCOMBO S. A. New York, 1980. 858p.

CENGEL, Yunus A; Boles, Michael A. Termodinámica. Sexta Edición. Bogotá. McGraw-Hill, 2009. 1008p.

FUNDACIÓN DE LA ENERGÍA DE LA COMUNIDAD DE MADRID. Guía del frío solar. Ahorro y eficiencia energética con refrigeración solar. Madrid, 2011. 188p.

GRONDZIK, Walter T. Air-condition system design manual. Second edition. Atlanta. ASHRAE, 2006. 405p.

INCROPERA, Frank P., Dewitt David P. Fundamentos de transferencia de calor. Cuarta edición. México. Pearson Education. 1999. 912p.

MARCOS, José Daniel. Prototipo de máquina frigorífica de absorción de BrLi/H₂O de doble efecto condensada por aire, Madrid 2008, 198p.

PEINADO, Carlos Andrés R., Rodríguez Edgar Jesús M. Diseño y construcción de un sistema de refrigeración termoacústica. Trabajo de grado ingeniería mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, 2011. 127p.

PILATOWSKY, Isaac. Introducción a los métodos de producción de frío, Guadalajara. 2002.

RAMÍREZ, Ariel. Acondicionamiento de aire con un ciclo de refrigeración por absorción aprovechando los gases de escape de una turbina de gas. México D.F, 2006. 133p.

SALAVERA, Daniel Muñoz. Propiedades termofísicas de nuevos fluidos de trabajo ($\text{H}_2\text{O}+\text{LiBr}+\text{LiNO}_3+\text{LiCl}+\text{LiI}$, $\text{NH}_3+\text{H}_2\text{O}+\text{NaOH}$ y $\text{NH}_3+\text{H}_2\text{O}+\text{KOH}$) para sistemas de refrigeración por absorción. Tarragona. 2005. 280p

STOECKER, W. F; Jones, J. W. Refrigeration and air conditioning. Second edition. New York. McGraw-Hill, 1976. 438p.

ANEXOS

ANEXO A. FICHA TECNICA BROMURO DE LITIO (BrLi)

SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006
Versión 4.2 Fecha de revisión 29.06.2010
Fecha de impresión 14.02.2012
ENERIC EUMSDS-NO COUNTRY SPECIFIC DATA-NOOELDATA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA/MEZCLA Y DE LA COMPAÑÍA O EMPRESA

Nombre del producto: Lithiumbromide
Referencia: 213225
Marca: Sigma-Aldrich
Compañía: Sigma-Aldrich
3050 Spruce Street
SAINT LOUIS MO 63103
USA
Teléfono: +1 800-325-5832
Fax: +1 800-325-5052
Teléfono de Urgencia: (314)776-6555

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Clasificación de la sustancia o mezcla

De acuerdo al Reglamento (EC) No 1272/2008

Toxicidad aguda, Oral (Categoría 4)

De acuerdo con la Directiva Europea 67/548/CEE, y sus enmiendas.

Nocivo por ingestión.

Elementos de la etiqueta

Pictograma 

Palabra de advertencia Atención

Indicación(es) de peligro

H302 Nocivo en caso de ingestión.

Declaración(es) de prudencia ninguno(a)

Símbolo(s) de peligrosidad

Xn Nocivo

Frase(s)- R

R22 Nocivo por ingestión.

Frase(s)-S ninguno(a)

Otros Peligros ninguno(a)

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Sinónimos: Lithiummonobromide

Formula: BrLi

Peso molecular: 86,85g/mol

No. CAS	No. CE	No. Indice	Clasificación	Concentración
Lithiumbromide				
7550-35-8	231-439-8	-	AcuteTox.4;H302	-
			Xn,R22	

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección,

véase la Sección 16.

4. PRIMEROS AUXILIOS

Recomendaciones generales: Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado: Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel: Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos: Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Si estragado: Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuáguela la boca con agua. Consultar a un médico.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción adecuados: Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco de dióxido de carbono.

Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios: Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

6. MEDIDAS EN CASO DE LIBERACIÓN ACCIDENTAL

Precauciones personales: Utilícese equipo de protección individual. Evítela

formación de polvo. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Evitar respirar el polvo.

Precauciones para la protección del medio ambiente: No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

Métodos y materiales para la contención y la limpieza: Recoger y prepararla eliminación sin originar polvo. Limpiar y traspalar. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Precauciones para una manipulación sin peligro: Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evítese la formación de polvo y aerosoles. Debe disponer de extracción adecuada en aquellos lugares en los que se forma polvo. Disposiciones normales de protección preventivas de incendio.

Condiciones para el almacenaje seguro: Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Almacenaren un lugar fresco. Higroscópico.

8. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

Protección personal

Protección respiratoria: Para exposición es molestas use respirador de partículas tipo P95 (EE.UU.) o tipo P1 (UEEN143). Para un nivel de protección mayor use cartuchos de respirador tipo OV/AG/P99 (EE.UU.) o ABEK-P2 (UE EN 143). Usar respiradores y componentes estados y aprobados bajo los standards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU)o CEN(UE)

Protección de las manos: Manipular con guantes. Los guantes deben ser controlados antes de la utilización. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE89/686/CEE y de la norma EN374 derivado de ello.

Protección de los ojos: Gafas de seguridad con protecciones laterales conformes con la EN166U se equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN166(UE).

Protección de la piel y del cuerpo: Traje de protección completo contra productos químicos, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Medidas de higiene: Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después determinar la jornada laboral.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto

Estado físico	polvo
Color	beige

Datos de Seguridad

pH	sin datos disponibles
Punto de fusión	550°C- lit.
Punto de ebullición	sin datos disponibles
Punto de inflamación	sin datos disponibles
Temperatura de ignición	
Límite de explosión, inferior	inferior
Límite de explosión, superior	superior
Densidad	3,460g/cm ³
Solubilidad en agua	sin datos disponibles

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química: Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

Condiciones que deben evitarse: Evitarla humedad.

Materias que deben evitarse: Ácidos fuertes, Agentes oxidantes fuertes

Productos de descomposición peligrosos: Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio.-Bromuro de hidrógeno gaseoso, Óxidos del litio.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda

DL50 Oral- rata- 1.800mg/kg

DL50 Intraperitoneal- conejillo de indias-580mg/kg

DL50 Intraperitoneal- ratón- 1.160mg/kg

DL50Subcutáneo- ratón-1.680mg/kg

Corrosión o irritación cutáneas: Sin datos disponibles

Lesiones oculares graves/irritación ocular: Sin datos disponibles

Sensibilización de la piel o respiratoria: Sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales: Sin datos disponibles

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

Toxicidad para la reproducción: Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos (stot) – exposición única: Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos (stot) – exposiciones repetidas: Sin datos disponibles

Peligro por aspiración: Sin datos disponibles

Efectos potenciales sobre la salud

Inhalación: Puede ser nocivos y se inhala. Puede provocar una irritación en el

tracto respiratorio.

Ingestión: Nocivo por ingestión.

Piel: Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.

Ojos: Puede provocar una irritación en los ojos.

Signos y Síntomas de la Exposición: En dosis elevadas, el ionlitio puede provocar mareos y postración, así como lesiones renales si se limita la aportación de sodio. Se han descrito casos de deshidratación, pérdida de peso, efectos dermatológicos y trastornos tiroideos. Entre los efectos sobre el sistema nervioso central pueden presentarse lenguaje escandido, visión borrosa, disminución de la función sensorial, ataxia y convulsiones. La exposición repetida al ionlitio puede provocar diarrea, vómitos y efectos neuromusculares como temblores, clonus y reflejos hiperactivos., Cuando la inhalación o administración de bromuro es prolongada se producen amenudo erupciones, especialmente de la cara, parecidas a la cnéfurunculosis., Síntomas agudos de exposición excesiva, depresión, psicosis, Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

Información Adicional: RTECS:OJ5755000

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Toxicidad: Sin datos disponibles

Persistencia y degradabilidad: Sin datos disponibles

Potencial debio acumulación: Sin datos disponibles

Movilidad en suelo: Sin datos disponibles

Valoración PBT y MPMB: Sin datos disponibles

Otros efectos nocivos: Sin datos disponibles

13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

Producto: Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada. Para la eliminación de este producto, dirigirse aun servicio profesional autorizado. Disolver o mezclar el producto con un solvente combustible y quemarlo en un incinerado raption para productos químicos provisto de post quemador y lavador.

Envases contaminados: Eliminar como producto no usado.

14. INFORMACIÓN RELATIVA ALTRANSPORTE

ADR/RID: Mercancía no peligrosa

IMDG: Mercancía no peligrosa

IATA: Mercancía no peligrosa

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE)No.1907/2006.

16. OTRA INFORMACIÓN

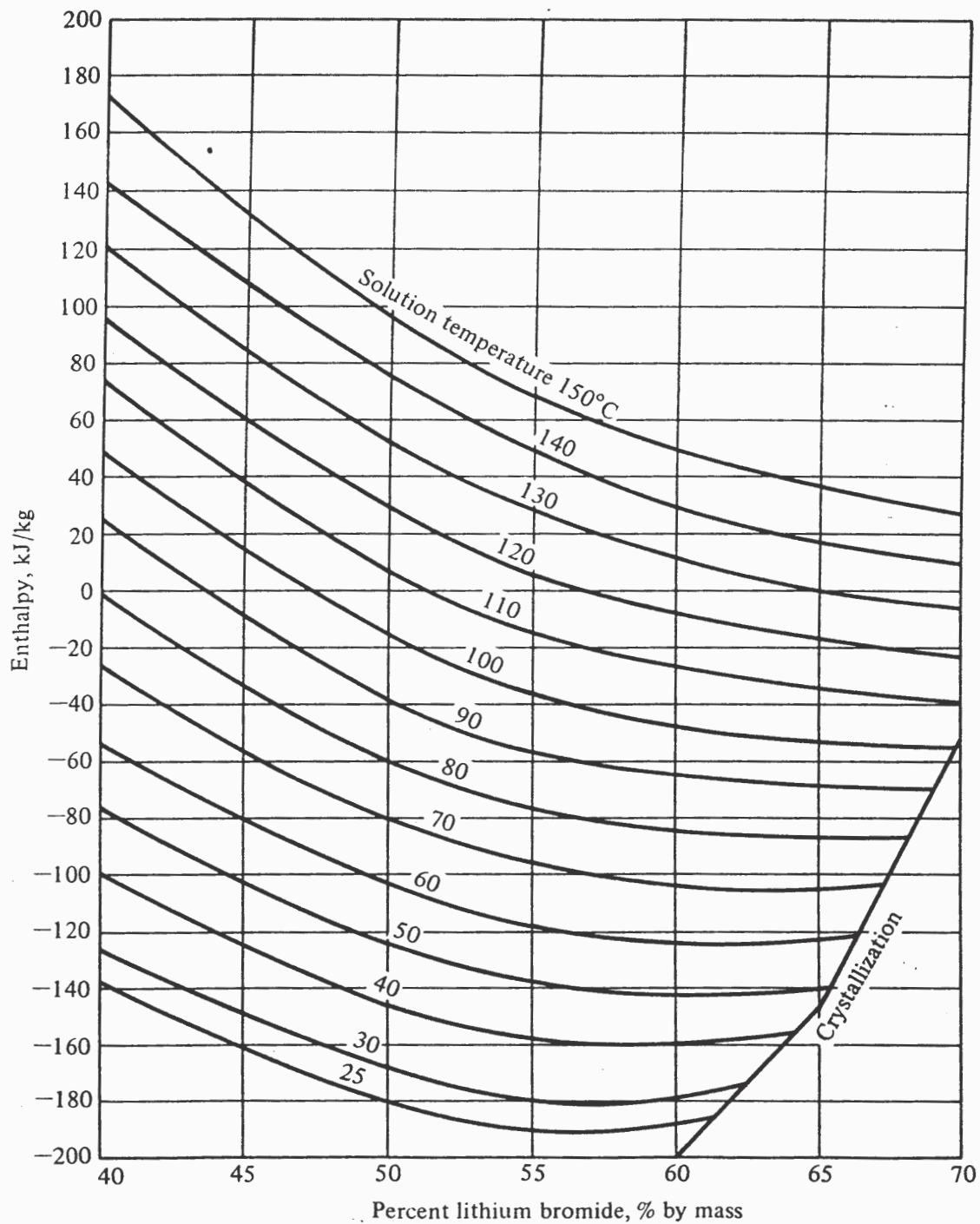
Texto de códigos Hy frases Rmencionadas en la sección3

AcuteTox.	Toxicidad aguda
H302	Nocivo en caso de ingestión.
Xn	Nocivo
R22	Nocivo por ingestión.

Otros datos: Copyright 2010 Sigma-Aldrich. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. Sigma-Aldrich, no responderá por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Ver otros términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

ANEXO B. TABLA DE ENTALPIAS BrLi + H2O



ANEXO C. HOJA DE CALCULOS EES ENERGIA Y ESTADOS DEL SISTEMA

“CALCULOS DE ESTADOS TERMODINAMICOS EN EL EVAPORADOR Y CALORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO”

"Balance de masas"

$m_{BrLi}=1,9$ "masa bromuro de litio sal"

$CSol_deb=0,40$ " concentracion de la solucion pobre en bromuro de litio"

$CSol_fue=0,53$ " concentracion de la solucion fuerte en bromuro de litio"

$m_soldeb=(m_{BrLi}/CSol_deb)$ "masa total de solucion debil, es decir al finalizar la etapa de refrigeracion"

$m_solfue=(m_{BrLi}/CSol_fue)$ "mas total de solucion fuerte, es decir al finalizar la etapa de carga"

$m_reva= (m_soldeb-m_solfue)$ "masa de refrigerante evaporado en la etapa de refrigeracion, esta relacionado con M1"

" Ciclo termodinamico teorico del tanque de agua"

$M[1]=m_reva*1,000084979$ "masa total de agua pura en el tanque del evaporador multiplicado por el factor de masa"

$V[10]=8/1000$ "volumen del recipiente del evaporador"

$M[3]=M[1]-m_reva$ "masa en en evaporador al finalizar etapa de refrigeracion"

"condiciones iniciales del sistema"

$v[1]=V[10]/M[1]$ "volumen especifico promedio en el estado inicial"

$T[1]=25$ "Temperatura tanque del evaporador estado inicial"

$P[1]=\text{PRESSURE}(\text{Water};T=T[1];v=v[1])$ "Presion en el tanque del evaporador estado inicial"

$X[1]=\text{QUALITY}(\text{Water};T=T[1];v=v[1])$ "calidad tanque del evaporador estado inicial"

$H[1]=\text{ENTHALPY}(\text{Water};T=T[1];v=v[1])$ "entalpia inicial en el tanque del agua"

$U[1]=\text{INTENERGY}(\text{Water};T=T[1];v=v[1])$ "energia interna en el estado inicial" "inicio de la etapa de refrigeracion"

$M[2]=M[1]$

$P[2]=0,706$ "Presion tanque del evaporador inicio de la refrigeracion"

$H[2]=H[1]$ "volumen especifico promedio en el inicio de la eatapa de refrigeracion"

$T[2]=\text{TEMPERATURE}(\text{Water};P=P[2];H=H[2])$ "presion tanque del evaporador inicio de la refrigeracion"

$X[2]=\text{QUALITY}(\text{Water};T=T[2];H=H[2])$ "calidad tanque del evaporador estado 2"

$v[2]=\text{VOLUME}(\text{Water};T=T[2];H=H[2])$

$U[2]=\text{INTENERGY}(\text{Water};T=T[2];v=v[2])$ "energía interna en el estado que se asume como una expansión isoentálpica" "fin de la etapa de refrigeración"

$T[3]=14$ "temperatura tanque del evaporador al finalizar la etapa de refrigeración"

$v[3]=v[10]/M[3]$ "volumen específico promedio al finalizar la etapa de refrigeración, este volumen se calcula justo después de cerrar la válvula de interconexión"

$P[3]=\text{PRESSURE}(\text{Water};T=T[3];v=v[3])$ "presión tanque del evaporador al finalizar la etapa de refrigeración"

$X[3]=\text{QUALITY}(\text{Water};T=T[3];v=v[3])$

$H[3]=\text{ENTHALPY}(\text{Water};T=T[3];v=v[3])$ "entalpía evaporador final de evaporación"

$U[3]=\text{INTENERGY}(\text{Water};T=T[3];v=v[3])$ "energía interna en el evaporador al finalizar la evaporación" "inicio de la etapa de carga"

"cerramos la válvula y a volumen constante hacemos pasar agua por el serpentín a 25 grados sobrecalentamos un poco el vapor"

$M[4]=M[3]$

$v[4]=v[3]$

$T[4]=25$

$P[4]=\text{PRESSURE}(\text{Water};T=T[4];v=v[3])$

$H[4]=\text{ENTHALPY}(\text{Water};T=T[4];v=v[3])$ "entalpía evaporador al cerrar la válvula y

llevar el tanque a 25 grados"

$U[4]=\text{INTENERGY}(\text{Water};T=T[4];v=v[3])$ "energía interna en el evaporador al cerrar la válvula y llevar el tanque a 25 grados"

" fin de la etapa de carga "

" este estado se determina con el valor de la presión ejercida por la solución a una concentración de 53% y una temperatura de 75, para la otra propiedad se establece el volumen específico inicial"

$M[5]=M[1]$

$v[5]=v[1]$

$T[4]=25$

$P[5]=10,61$ " presión de vapor ejercida por la solución en la parte final de la etapa de carga, concentrado 53%"

$T[5]=\text{TEMPERATURE}(\text{Water};P=P[5];v=v[5])$ "temperatura en el evaporador al finalizar la etapa de generación/condensación"

$X[5]=\text{QUALITY}(\text{Water};P=P[5];v=v[5])$

$H[5]=\text{ENTHALPY}(\text{Water};P=P[5];v=v[5])$ "entalpía en el evaporador al finalizar la etapa de generación/condensación"

$U[5]=\text{INTENERGY}(\text{Water};P=P[5];v=v[5])$ "energía interna en el evaporador al finalizar la etapa de generación/condensación"

"CALCULOS DE CALOR"

" Calor extraido en la etapa de evaporacion, "

$Q_{eva} - m_{reva} \cdot H[3] = M[3] \cdot U[3] - M[1] \cdot U[1]$ " cantidad de calor evacuado en la etapa de evaporacion"

" para determinar una potencia de refrigeracion se debe asumir el tiempo de desarrollo de la etapa de refrigeracion, el sistema se diseñara para una potencia estimada de 1Kw, entonces"

$T_{imeva} = (Q_{eva} / 1)$

" calor extraido en el absorbedor"

$(m_{reva} \cdot H[3] - Q_{abs}) = m_{soldeb} \cdot (-138) - m_{solfue} \cdot (-187,5)$ "balance de energia para el absorbedor"

"valores de entalpias para cada uno de los estados durante la etapa de refrigeracion en el tanque de la solucion"

" calor entregado en la etapa de generacion"

$(Q_{gen} - m_{reva} \cdot H_{Tgen}) = m_{solfue} \cdot (-82) - m_{soldeb} \cdot (-138)$ " balance de energia para el generador"

$T_{gen} = 75$ " temperatura asumida para la generacion"

$H_{Tgen} = \text{ENTHALPY}(\text{Water}; T = T_{gen}; x = 1)$ "se asume que el vapor a la salida del generador es saturado a la temperatura de generacion, por ende su entalpia es la H_g "

" Calor extraido en la etapa de condensacion"

$(m_{\text{reva}} \cdot HT_{\text{gen}} - Q_{\text{cond}}) = (M[1] \cdot H[5] - M[4] \cdot H[1])$ "balance de energia en la etapa de condensacion"

"calor de etapa de transicion en el absorbedor"

$-Q_{\text{trabs}} = m_{\text{sol}} \cdot (-187,5 - (-82))$ "balance de energia en el absorbedor durante la etapa de transicion"

"calor de etapa de transicion en el evaporador" $-Q_{\text{traev}} = M[1] \cdot (H[1] - H[5])$

ANEXO D. HOJA DE CALCULOS EES DE LOS INTERCAMBIADORES

INTERCAMBIADOR ABSORBEDOR

File:serpentin absorbedor.EES 29/05/2012 01:49:14 a.m. Page 1
 EES Ver. 7.431: #1514: For use only by Mohamed Shaker, Ginza, Cairo, Egypt

"Calculos de serpentin para el absorbedor"

Qabs=MH2Oab*Cp*DTab "ecuacion de calor sensible en el serpentin del absorbedor"

MH2Oab=998*FLUab/60000 "Flujo masico de agua en el serpentin del absorbedor"

{FLUab=2} "caudal en el serpentin del absorbedor en litros por minuto"

Qabs=q*1,032 "ecuacion de calor para el absorbedor relacionado con el calor en el evaporador"

q=500 "potencia de refrigeracion en el evaporador en vatios"

Cp=CP(Water,T=25;x=0) "calor especifico del agua en el serpentin"

Tinabs=25 "temperatura de entrada en el serpentin del evaporador"

Touab=Tinabs-DTab "Temperatura de salida del absorbedor"

Pserab=101,325 "presion del agua en el serpentin del absorbedor"

TSab=26 "temperatura supuesta de la solucion en la etapa de absorcion"

"Dimensiones de la tuberia"

Di=0,00482

De=0,00635

"conveccion interna"

"Calculo del Reynolds"

ReDab=4*MH2Oab/(pi*Di*viscintab) "calculo de reinolds interno"

viscintab=VISCOSITY(Water,T=Touab;P=Pserab) "viscosidad del agua en el interior del serpentin del absorbedor"

f=(0,790*ln(ReDab)-1,64)^(-2) "factor de friccion para valores de reinolds entre 3000 y 5*10^6"

NuD=(f/8)*(ReDab-1000)*Pr/(1+12,7*(f/8)^(1/2)*(Pr^(2/3)-1)) "correlacion de conveccion para flujo en un tubo circular turbulento"

Pr=PRANDTL(Water,T=Touab;P=Pserab) "numero de prandtl para las condiciones internas del serpentin del absorbedor"

NuD=hiab*Di/KH2Oab "coeficiente de transferencia de calor por conveccion interna pa"

KH2Oab=CONDUCTIVITY(Water,T=Touab;P=Pserab) "conductividad del agua en las condiciones de flujo interno"

"conveccion externa"

RaDBrLi=9,8*B*(TSab-Touab)*De^3/(vBri*aBri) "numero de Rayleigh"

B=VOLEXPcoef(Water,T=TSab;x=0) "coeficiente de volumetrico de expansion, como no se encuentre el de la solucion se asume el valor para el agua"

$v_{BrLi}=0,00000165$ "viscosidad dinamica de la solucion, calculada con base a ashrae"
 $a_{BrLi}=0,0000001135$ "difusividad termica de la solucion basada en Ashrae"
 $k_{brLi}=0,42$ "conductividad termica de la solucion agua bromuro de litio"
 $C_{pBrLi}=2180$ "calor especifico de la solucion de bromuro de litio basado en
 AShrae"
 $\rho_{BrLi}=1696,6$ "densidad de la solucion agua BrLi"
 $\nu_{BrLi}=0,0028$ "viscosidad cinematica de la solucion agua BrLi basado en ashrae"

$NU_{ab}=(0,60+(0,387*Ra_{DBrLi}^{1/6}))/((1+(0,559/Prab)^{9/16})^{8/27})^2$

$Prab=v_{BrLi}/a_{BrLi}$ "Numero de prandtl para la solucion de BrLi"

$NU_{ab}=heab*De/k_{brLi}$ "coeficiente de conveccion externa en el absorbedor"

"calculo del coeficiente global de transferencia de calor"

$Q_{abs}=UA_{ab}*LMTD_{ab}*F_{lmt_{dab}}$

$LMTD_{ab}=(DT_2-DT_1)/\ln(DT_2/DT_1)$ "Diferencia de temperatura media logaritmica"

$DT_2=TS_{ab}-T_{ouab}$
 $DT_1=TS_{ab}-T_{inabs}$

$F_{lmt_{dab}}=1$

$UA_{ab}=1/R_{toab}$ "coficiente global de transferencia de calor en un intercambiador"

$R_{toab}=(R_{1ab}+R_{2ab}+R_{3ab})$

$R_{1ab}=1/(h_{iab}*A_i)$ "resistencia de conveccion interna"

$A_i=\pi*Di*Lab$ "area interna de conveccion"

$R_{2ab}=\ln(De/Di)/(2*\pi*K_{cu}*Lab)$ "resistencia de conduccion cilindrica en cobre"

$K_{cu}=k_{('Copper'; Touab)}$ "conductividad del cobre a la temperatura"

$R_{3ab}=1/(heab*A_{ex})$ "resistencia termica por conveccion externa en
 ebullicion"

$A_{ex}=\pi*De*Lab$ "area externa de conveccion"

Parametric Table: Intercambiador del absorbedor (Q)

Calculo del serpentin del absorbedor con variacion de calor.

	FLUab [L/min]	q [w]	Qabs [w]	Lab [m]	De [m]	Di [m]	hiab [w/m2K]	heab [w/m2K]	UAab [w/K]	aBrli [m2/s]
Run 1	2	100	103,2	12,76	0,00635	0,00482	9192	317,4	77,21	1,135E-07
Run 2	2	200	206,4	19,27	0,00635	0,00482	9094	346	126,6	1,135E-07
Run 3	2	300	309,6	23,34	0,00635	0,00482	8995	369,1	162,9	1,135E-07
Run 4	2	400	412,8	26,17	0,00635	0,00482	8895	388,7	191,7	1,135E-07
Run 5	2	500	516	28,27	0,00635	0,00482	8795	405,9	215,6	1,135E-07
Run 6	2	600	619,2	29,9	0,00635	0,00482	8695	421,2	236	1,135E-07

Parametric Table: Intercambiador del absorbedor (Q)

Calculo del serpentin del absorbedor con variacion de calor.

	Aex [m ²]	Ai [m ²]	B [1/K]	Cp [j/KgoK]	CpBrLi [j/KgoK]	DT1 [m]	DT2 [oC]	DTab [oC]	f	Fimtdab
Run 1	0,2545	0,1932	0,0002688	4183	2180	1	1,742	0,7416	0,03175	1
Run 2	0,3844	0,2918	0,0002688	4183	2180	1	2,483	1,483	0,0319	1
Run 3	0,4656	0,3534	0,0002688	4183	2180	1	3,225	2,225	0,03206	1
Run 4	0,5221	0,3963	0,0002688	4183	2180	1	3,966	2,966	0,03222	1
Run 5	0,564	0,4281	0,0002688	4183	2180	1	4,708	3,708	0,03238	1
Run 6	0,5965	0,4528	0,0002688	4183	2180	1	5,449	4,449	0,03255	1

Parametric Table: Intercambiador del absorbedor (Q)

Calculo del serpentin del absorbedor con variacion de calor.

	kbrli [w/mK]	Kcu [w/mK]	KH2Oab [w/mK]	LMTDab [oC]	MH2Oab [kg/s]	NUab	NuD	pBrli [Kg/m ³]	Pr	Prab
Run 1	0,42	401,3	0,5935	1,337	0,03327	4,798	74,65	1697	6,384	14,54
Run 2	0,42	401,4	0,5922	1,631	0,03327	5,232	74,01	1697	6,508	14,54
Run 3	0,42	401,5	0,591	1,9	0,03327	5,581	73,36	1697	6,636	14,54
Run 4	0,42	401,6	0,5897	2,153	0,03327	5,877	72,71	1697	6,768	14,54
Run 5	0,42	401,7	0,5884	2,393	0,03327	6,136	72,05	1697	6,905	14,54
Run 6	0,42	401,8	0,5871	2,624	0,03327	6,368	71,39	1697	7,045	14,54

Parametric Table: Intercambiador del absorbedor (Q)

Calculo del serpentin del absorbedor con variacion de calor.

	Pserab [Kpa]	R1ab	R2ab	R3ab	RaDBrLi	ReDab	Rtoab	Tinabs [oC]	Touab [oC]
Run 1	101,3	0,0005631	0,000008569	0,01238	6272	9702	0,01295	25	24,26
Run 2	101,3	0,0003769	0,000005673	0,007518	8943	9537	0,007901	25	23,52
Run 3	101,3	0,0003146	0,000004682	0,005818	11614	9373	0,006137	25	22,78
Run 4	101,3	0,0002837	0,000004175	0,004927	14285	9210	0,005215	25	22,03
Run 5	101,3	0,0002656	0,000003864	0,004369	16955	9048	0,004638	25	21,29
Run 6	101,3	0,000254	0,000003653	0,00398	19626	8888	0,004238	25	20,55

Parametric Table: Intercambiador del absorbedor (Q)

Calculo del serpentin del absorbedor con variacion de calor.

	TSab [°C]	vBrli [kg/m·s]	ViscBrli [kg/m·s]	viscintab [kg/m·s]
Run 1	26	0,00000165	0,0028	0,0009058
Run 2	26	0,00000165	0,0028	0,0009214
Run 3	26	0,00000165	0,0028	0,0009375
Run 4	26	0,00000165	0,0028	0,0009541
Run 5	26	0,00000165	0,0028	0,0009712
Run 6	26	0,00000165	0,0028	0,0009887

Parametric Table: Intercambiador del absorbedor (F)

Calculo del serpentin del absorbedor con variacion de flujo.

	FLUab [L/min]	q [w]	Qabs [w]	Lab [m]	De [m]	Di [m]	hiab [w/m ² K]	heab [w/m ² K]	UAab [w/K]	aBrli [m ² /s]
Run 1	2	500	516	28,27	0,00635	0,00482	8795	405,9	215,6	1,135E-07
Run 2	4	500	516	42,03	0,00635	0,00482	16901	358,1	291,9	1,135E-07
Run 3	6	500	516	50,88	0,00635	0,00482	24285	337,3	335,9	1,135E-07
Run 4	8	500	516	57,09	0,00635	0,00482	31276	325,2	365,1	1,135E-07
Run 5	10	500	516	61,69	0,00635	0,00482	38002	317,4	386	1,135E-07
Run 6	12	500	516	65,24	0,00635	0,00482	44529	311,8	401,8	1,135E-07

Parametric Table: Intercambiador del absorbedor (F)

Calculo del serpentin del absorbedor con variacion de flujo.

	Aex [m ²]	Ai [m ²]	B [1/K]	Cp [j/KgoK]	CpBrLi [j/KgoK]	DT1 [m]	DT2 [°C]	DTab [°C]	f	Fimtdab
Run 1	0,564	0,4281	0,0002688	4183	2180	1	4,708	3,708	0,03238	1
Run 2	0,8384	0,6364	0,0002688	4183	2180	1	2,854	1,854	0,02653	1
Run 3	1,015	0,7705	0,0002688	4183	2180	1	2,236	1,236	0,02388	1
Run 4	1,139	0,8645	0,0002688	4183	2180	1	1,927	0,9269	0,02225	1
Run 5	1,231	0,9341	0,0002688	4183	2180	1	1,742	0,7416	0,0211	1
Run 6	1,301	0,9879	0,0002688	4183	2180	1	1,618	0,618	0,02023	1

Parametric Table: Intercambiador del absorbedor (F)

Calculo del serpentin del absorbedor con variacion de flujo.

	kbrli [w/mK]	Kcu [w/mK]	KH2Oab [w/mK]	LMTDab [°C]	MH2Oab [kg/s]	NUab	NuD	pBrli [Kg/m ³]	Pr	Prab
Run 1	0,42	401,7	0,5884	2,393	0,03327	6,136	72,05	1697	6,905	14,54
Run 2	0,42	401,4	0,5916	1,768	0,06653	5,415	137,7	1697	6,572	14,54
Run 3	0,42	401,4	0,5927	1,536	0,0998	5,099	197,5	1697	6,466	14,54
Run 4	0,42	401,3	0,5932	1,413	0,1331	4,917	254,1	1697	6,415	14,54
Run 5	0,42	401,3	0,5935	1,337	0,1663	4,798	308,6	1697	6,384	14,54
Run 6	0,42	401,3	0,5937	1,284	0,1996	4,714	361,5	1697	6,363	14,54

Parametric Table: Intercambiador del absorbedor (F)

Calculo del serpentin del absorbedor con variacion de flujo.

	Pserab [Kpa]	R1ab	R2ab	R3ab	RaDBrLi	ReDab	Rtoab	Tinabs [°C]
Run 1	101,3	0,0002656	0,000003864	0,004369	16955	9048	0,004638	25
Run 2	101,3	0,00009297	0,000002601	0,00333	10278	18910	0,003426	25
Run 3	101,3	0,00005344	0,000002148	0,002921	8053	28776	0,002977	25
Run 4	101,3	0,00003699	0,000001915	0,0027	6940	38643	0,002739	25
Run 5	101,3	0,00002817	0,000001772	0,002561	6272	48510	0,00259	25
Run 6	101,3	0,00002273	0,000001676	0,002465	5827	58378	0,002489	25

Parametric Table: Intercambiador del absorbedor (F)

Calculo del serpentín del absorbedor con variación de flujo.

	Touab	TSab	vBri	ViscBri	viscintab
	[oC]	[oC]	[kg/m·s]	[kg/m·s]	[kg/m·s]
Run 1	21,29	26	0,00000165	0,0028	0,0009712
Run 2	23,15	26	0,00000165	0,0028	0,0009294
Run 3	23,76	26	0,00000165	0,0028	0,0009162
Run 4	24,07	26	0,00000165	0,0028	0,0009096
Run 5	24,26	26	0,00000165	0,0028	0,0009058
Run 6	24,38	26	0,00000165	0,0028	0,0009032

INTERCAMBIADOR CONDENSADOR

File:serpentin condensador.EES 29/05/2012 01:52:20 a.m. Page 1
 EES Ver. 7.431: #1514: For use only by Mohamed Shaker, Ginza, Cairo, Egypt

"calculos serpentin del condensador"

$Q_c = M_{H_2O_c} \cdot C_p \cdot DT_c$ "ecuacion de calor latente para el serpentin del condesador"

$M_{H_2O_c} = \text{Fluc} \cdot \text{Densc} / 60000$ "flujo masico de agua dentro del serpentin del condesador Kg/s"

$C_p = \text{CP}(\text{Water}, T = 27.5, x = 0)$

{Fluc=2} "caudal de agua dentro del serpentin del condesador"

$\text{Densc} = 996.21$ "densidad del agua en el serpentin del condesador evaluado a la temperatura media"

$Q_c = Q_g / 1.21$

$Q_g = 600$

$T_{inc} = 25$ "temperatura de entrada del serpentin de condensador"

$T_{ouc} = T_{inc} + DT_c$ "temperatura de salida del serpentin del condensador"

$T_{mser} = (T_{inc} + T_{ouc}) / 2$

$P_{ser} = 101.325$ "presion de servicio en los serpentines, se asume presion atmosferica"

$D_e = 0.00635$ "diametro externo del tubo del serpentin tuberia de cobre 1/4"

$D_i = 0.00482$ "diametro interno de la tuberia de cobre de 1/4"

$T_{sat} = 75$ "Temperatura de entrada del vapor al condensador"

$T_{medc} = (T_{sat} + T_{mser}) / 2$ "Temperatura media de condensacion para evaluar propiedades del liquido"

"conveccion externa"

$\text{Densl} = \text{DENSITY}(\text{Water}, T = T_{medc}, x = 0)$ "Densidad del liquido evaluado al la T_{medc} "

$\text{Densv} = \text{DENSITY}(\text{Water}, T = T_{sat}, x = 1)$ "Densidad del vapor saturado a la T_{sat} "

$h_{fg} = \text{ENTHALPY}(\text{Water}, T = T_{sat}, x = 1) - \text{ENTHALPY}(\text{Water}, T = T_{sat}, x = 0)$ "entalpia del vapor saturado"

$\text{viscl} = \text{VISCOSITY}(\text{Water}, T = T_{medc}, x = 0)$ "viscosidad cinematica del liquido"

$k_{li} = \text{CONDUCTIVITY}(\text{Water}, T = T_{medc}, x = 0)$ "conductividad del liquido en condensacion"

$C_{pL} = \text{CP}(\text{Water}, T = T_{medc}, x = 0)$ "calor especifico del liquido"

$H_{fg\text{prima}} = h_{fg} + 0.68 \cdot C_{pL} \cdot (T_{sat} - T_{mser})$

$N = 5$ "Numero de de filas del condensador"

$h_{Dnc} = 0.729 \cdot (9.8 \cdot \text{Densl} \cdot (\text{Densl} - \text{Densv}) \cdot k_{li}^3 \cdot H_{fg\text{prima}} / (N \cdot \text{viscl} \cdot (T_{sat} - T_{mser}) \cdot D_e))^{(1/4)}$ "coeficiente global de transferencia de calor en condensacion por pelicula"

"conveccion interna"

$ReDc = 4 * MH2O c / (\pi * Di * viscintc)$ "calculo de reinolds interno"

$viscintc = VISCOSITY(Water; T = Tmser; P = Pser)$ "viscosidad del agua en el interior del serpentin"

$f = (0,790 * \ln(ReDc) - 1,64)^{-2}$ "factor de friccion para valores de reinolds entre 3000 y $5 * 10^6$ "

$NuD = (f/8) * (ReDc - 1000) * Pr / (1 + 12,7 * (f/8)^{1/2} * (Pr^{2/3} - 1))$ "correlacion de conveccion para flujo en un tubo circular turbulento"

$Pr = PRANDTL(Water; T = Tmser; P = Pser)$ "numero de prandtl para las condiciones internas del serpentin"

$NuD = hic * Di / KH2O$ "coeficiente de transferencia de calor por conveccion interna"

$KH2O = CONDUCTIVITY(Water; T = Tmser; P = Pser)$ "conductividad del agua en las condiciones de flujo interno"

"calculo del coeficiente global de transferencia"

$UA = 1 / Rto$ "coficiente global de transferencia de calor en un intercambiador"

$Rto = (R1 + R2 + R3)$

$R1 = 1 / (hic * Ai)$ "resistencia de conveccion interna"

$Ai = \pi * Di * Lc$ "area interna de conveccion"

$R2 = \ln(De/Di) / (2 * \pi * Kcu * Lc)$ "resistencia de conduccion cilindrica en cobre"

$Kcu = k('Copper'; Tmser)$ "conductividad del cobre a la temperatura"

$R3 = 1 / (hDnc * Aex)$ "resistencia termica por conveccion externa en ebullicion"

$Aex = \pi * De * Lc$ "area externa de conveccion"

$q2 = UA * LMTD * Fi$ "ecuacion de calor de un intercambiador"

$LMTD = (DT2 - DT1) / \ln(DT2/DT1)$ "Diferencia de temperatura media logaritmica"

$DT2 = Tsat - Touc$

$DT1 = Tsat - Tinc$

$Fi = 1$ "factor de correccion de la LMTD para los intercambiadores de calor"

$q2 = Qg$

Parametric Table: Intercambiador del condensador (Q)

Calculo del serpentín del condensador con variación de calor.

	Fluc	Qc	Qg	Lc	De	Di	hic	hDnc	UA	Aex
	[L/min]	[w]	[w]	[m]	[m]	[m]	[w/m ² K]	[w/m ² K]	[w/K]	[m ²]
Run 1	2	82,64	100	0,02969	0,00635	0,00482	9314	6634	2,012	0,0005923
Run 2	2	165,3	200	0,05955	0,00635	0,00482	9353	6648	4,048	0,001188
Run 3	2	247,9	300	0,0896	0,00635	0,00482	9392	6663	6,11	0,001787
Run 4	2	330,6	400	0,1198	0,00635	0,00482	9431	6678	8,197	0,00239
Run 5	2	413,2	500	0,1503	0,00635	0,00482	9469	6693	10,31	0,002997
Run 6	2	495,9	600	0,1809	0,00635	0,00482	9508	6708	12,45	0,003608

Parametric Table: Intercambiador del condensador (Q)

Calculo del serpentín del condensador con variación de calor.

	Ai	Cp	CpL	Densc	Densl	Densv	DT1	DT2	DTc
	[m ²]	[J/Kgok]	[J/Kgok]	[Kg/m ³]	[Kg/m ³]	[Kg/m ³]	[oC]	[oC]	[oC]
Run 1	0,0004496	4183	4182	996,2	987,9	0,2419	50	49,41	0,5949
Run 2	0,0009018	4183	4182	996,2	987,9	0,2419	50	48,81	1,19
Run 3	0,001357	4183	4182	996,2	987,8	0,2419	50	48,22	1,785
Run 4	0,001814	4183	4182	996,2	987,7	0,2419	50	47,62	2,38
Run 5	0,002275	4183	4182	996,2	987,7	0,2419	50	47,03	2,975
Run 6	0,002739	4183	4182	996,2	987,6	0,2419	50	46,43	3,57

Parametric Table: Intercambiador del condensador (Q)

Calculo del serpentín del condensador con variación de calor.

	f	Fi	hfg	Hfgprima	Kcu	KH2O	kli	LMTD	MH2Oc	N
	[oC]		[J/Kg]	[J/Kg]	[w/mK]	[w/mK]	[w/mK]	[oC]	[Kg/s]	
Run 1	0,03155	1	2,321E+06	2,462E+06	401,2	0,5953	0,6306	49,7	0,03321	5
Run 2	0,03149	1	2,321E+06	2,461E+06	401,2	0,5958	0,6308	49,4	0,03321	5
Run 3	0,03143	1	2,321E+06	2,460E+06	401,1	0,5963	0,6309	49,1	0,03321	5
Run 4	0,03138	1	2,321E+06	2,459E+06	401,1	0,5968	0,6311	48,8	0,03321	5
Run 5	0,03132	1	2,321E+06	2,459E+06	401	0,5973	0,6313	48,5	0,03321	5
Run 6	0,03126	1	2,321E+06	2,458E+06	401	0,5978	0,6315	48,19	0,03321	5

Parametric Table: Intercambiador del condensador (Q)

Calculo del serpentín del condensador con variación de calor.

	NuD	Pr	Pser	q2	R1	R2	R3	ReDc	Rto	Tinc
			[Kpa]	[w]						[oC]
Run 1	75,42	6,216	101,3	100	0,2388	0,003684	0,2545	9917	0,497	25
Run 2	75,67	6,169	101,3	200	0,1186	0,001837	0,1266	9984	0,247	25
Run 3	75,92	6,122	101,3	300	0,07848	0,001221	0,08397	10051	0,1637	25
Run 4	76,17	6,077	101,3	400	0,05844	0,000913	0,06265	10119	0,122	25
Run 5	76,42	6,031	101,3	500	0,04642	0,0007281	0,04985	10186	0,097	25
Run 6	76,67	5,987	101,3	600	0,0384	0,0006049	0,04132	10254	0,08032	25

Parametric Table: Intercambiador del condensador (Q)

Calculo del serpentín del condensador con variación de calor.

Tmedc	Tmser	Touc	Tsat	viscintc	viscL
-------	-------	------	------	----------	-------

	[oC]	[oC]	[oC]	[oC]	[Kg/ms]	[Kg/ms]
Run 1	50,15	25,3	25,59	75	0,0008845	0,0005457
Run 2	50,3	25,59	26,19	75	0,0008786	0,0005443
Run 3	50,45	25,89	26,78	75	0,0008727	0,000543
Run 4	50,59	26,19	27,38	75	0,0008669	0,0005416
Run 5	50,74	26,49	27,97	75	0,0008612	0,0005403
Run 6	50,89	26,78	28,57	75	0,0008555	0,000539

Parametric Table: Intercambiador del condensador (F)

Calculo del serpentin del condensador con variacion de flujo de agua.

	Fluc	Qc	Qg	Lc	De	Di	hic	hDnc	UA	Aex
	[L/min]	[w]	[w]	[m]	[m]	[m]	[w/m2K]	[w/m2K]	[w/K]	[m ²]
Run 1	2	495,9	600	0,1809	0,00635	0,00482	9508	6708	12,45	0,003608
Run 2	4	495,9	600	0,1394	0,00635	0,00482	17475	6663	12,22	0,002782
Run 3	6	495,9	600	0,1253	0,00635	0,00482	24793	6648	12,15	0,002499
Run 4	8	495,9	600	0,1179	0,00635	0,00482	31740	6641	12,11	0,002352
Run 5	10	495,9	600	0,1134	0,00635	0,00482	38431	6636	12,09	0,002262
Run 6	12	495,9	600	0,1103	0,00635	0,00482	44931	6634	12,07	0,0022

Parametric Table: Intercambiador del condensador (F)

Calculo del serpentin del condensador con variacion de flujo de agua.

	Ai	Cp	CpL	Densc	Densl	Densv	DT1	DT2	DTc
	[m ²]	[J/KgoK]	[J/KgoK]	[Kg/m ³]	[Kg/m ³]	[Kg/m ³]	[oC]	[oC]	[oC]
Run 1	0,002739	4183	4182	996,2	987,6	0,2419	50	46,43	3,57
Run 2	0,002112	4183	4182	996,2	987,8	0,2419	50	48,22	1,785
Run 3	0,001897	4183	4182	996,2	987,9	0,2419	50	48,81	1,19
Run 4	0,001786	4183	4182	996,2	987,9	0,2419	50	49,11	0,8924
Run 5	0,001717	4183	4182	996,2	987,9	0,2419	50	49,29	0,7139
Run 6	0,00167	4183	4182	996,2	987,9	0,2419	50	49,41	0,5949

Parametric Table: Intercambiador del condensador (F)

Calculo del serpentin del condensador con variacion de flujo de agua.

	f	Fi	hfg	Hfgprima	Kcu	KH2O	kli	LMTD	MH2Oc	N
	[oC]		[J/Kg]	[J/Kg]	[w/mK]	[w/mK]	[w/mK]	[oC]	[Kg/s]	
Run 1	0,03126	1	2,321E+06	2,458E+06	401	0,5978	0,6315	48,19	0,03321	5
Run 2	0,02612	1	2,321E+06	2,460E+06	401,1	0,5963	0,6309	49,1	0,06641	5
Run 3	0,02365	1	2,321E+06	2,461E+06	401,2	0,5958	0,6308	49,4	0,09962	5
Run 4	0,0221	1	2,321E+06	2,462E+06	401,2	0,5955	0,6307	49,55	0,1328	5
Run 5	0,02099	1	2,321E+06	2,462E+06	401,2	0,5954	0,6306	49,64	0,166	5
Run 6	0,02015	1	2,321E+06	2,462E+06	401,2	0,5953	0,6306	49,7	0,1992	5

Parametric Table: Intercambiador del condensador (F)

Calculo del serpentin del condensador con variacion de flujo de agua.

	NuD	Pr	Pser	q2	R1	R2	R3	ReDc	Rto	Tinc
			[Kpa]	[w]						[oC]
Run 1	76,67	5,987	101,3	600	0,0384	0,0006049	0,04132	10254	0,08032	25
Run 2	141,3	6,122	101,3	600	0,0271	0,0007844	0,05395	20103	0,08184	25
Run 3	200,6	6,169	101,3	600	0,02127	0,0008732	0,0602	29953	0,08234	25
Run 4	256,9	6,192	101,3	600	0,01765	0,0009275	0,06401	39803	0,08259	25
Run 5	311,1	6,206	101,3	600	0,01516	0,0009646	0,06662	49653	0,08274	25
Run 6	363,8	6,216	101,3	600	0,01333	0,0009916	0,06852	59503	0,08284	25

Parametric Table: Intercambiador del condensador (F)

Calculo del serpentin del condensador con variacion de flujo de agua.

	Tmedc [oC]	Tmser [oC]	Touc [oC]	Tsat [oC]	viscintc [Kg/ms]	viscL [Kg/ms]
Run 1	50,89	26,78	28,57	75	0,0008555	0,000539
Run 2	50,45	25,89	26,78	75	0,0008727	0,000543
Run 3	50,3	25,59	26,19	75	0,0008786	0,0005443
Run 4	50,22	25,45	25,89	75	0,0008815	0,000545
Run 5	50,18	25,36	25,71	75	0,0008833	0,0005454
Run 6	50,15	25,3	25,59	75	0,0008845	0,0005457

INTERCAMBIADOR EVAPORADO

File:serpentin evaporador.EES

29/05/2012 01:46:22 a.m. Page 1

EES Ver. 7.431: #1514: For use only by Mohamed Shaker, Ginza, Cairo, Egypt

"Calculos de serpentin para el evaporador"

"variables de entrada"

Tinsev=25 "temperatura de entrada del agua en el serpentin del evaporador"
 Tousev=Tinsev-DTs "temperatura de salida del agua en el serpentin del evaporador"
 {Flusev= 5 } "caudal de agua en el serpentin del evaporador en Litros por minuto"
 Tank=8 "Temperatura del tanque del evaporador"

De=0,00635 "diametro externo del tubo del serpentin"

Di=0,004826 "diametro interno de la tuberia de cobre de 1/4"

Tmed=(Tinsev+Tousev)/2 "temperatura media del agua en el serpentin"
 Pser= 101,35

DenH2O=997,9 " densidad del agua en Kg/m3"

MH2O=Flusev*DenH2O/60000 "flujo masico de agua en el serpentin del evaporador"
 Kg/s

q=500 "potencia de refrigeracion en el evaporador w"
 Cp=4180 "calor especifico del agua en joules"

q=MH2O*Cp*DTs "ecuacion de calor sensible"

Cpr=CP(Water,T=Tmed;P=Pser) "calor especifico corregido"

"calculos de los serpentines"

"conveccion interna"

ReD=4*MH2O/(pi*Di*viscint) "calculo de reinolds interno"

viscint=VISCOSITY(Water,T=Tmed;P=Pser) "viscosidad del agua en el interior del serpentin"

f=(0,790*ln(ReD)-1,64)^(-2) "factor de friccion para valores de reinolds entre 3000 y 5*10^6"

NuD=(f/8)*(ReD-1000)*Pr/(1+12,7*(f/8)^(1/2)*(Pr^(2/3)-1)) "correlacion de conveccion para flujo en un tubo circular turbulento"
 Pr=PRANDTL(Water,T=Tmed;P=Pser) "numero de prandtl para las condiciones internas del serpentin"

NuD=hi*Di/KH2O "coeficiente de transferencia de calor por conveccion interna"
 KH2O=CONDUCTIVITY(Water,T=Tmed;P=Pser) "conductividad del agua en las condiciones de flujo interno"

"Conveccion externa"

qs=viscext*hfg*(9,8*(denL-denv)/Tens)^(1/2)*(CpL*DTe/(Cs*hfg*Pr^n))^3 "correlacion para evaporacion "

viscext=VISCOSITY(Water,T=Ttank;x=0) "viscosidad del liquido saturado en el tanque del evaporador"

hfg =ENTHALPY(Water,T=Ttank;P=Psat) "entalpia de vaporizacion a una T promedio en el evaporador de 8 grados celsius"

Psat=P_SAT(Water,T=Ttank) "presion de saturacion promedio en el evaporador"

$denL=DENSITY(Water,T=Ttank;x=0)$ "densidad del liquido en evaporacion"
 $denV=DENSITY(Water,T=Ttank;x=1)$ "densidad del vapor en evaporacion"
 $Tens=SURFACETENSION(Water,T=Ttank)$ "tension superficial de agua en evaporacion"
 $CpL=CP(Water,T=Ttank;x=0)$ "calor especifico del liquido en evaporacion"
 $DTe=(Tmed-Ttank)$ "delta de temperatura entre la temperatura de la superficie del tubo y la del
 agua de evaporacion"
 $Csf=0,0130$ "costante de combinacion superficie fluido"
 $n=1$ "costante de combinacion superficie fluido"
 $PrL=PRANDTL(Water,T=Ttank;x=0)$
 $qs=hex*DTe$ "coeficiente de transferencia de calor externo para evaporacion"
 "calculo del coeficiente global de transferencia"
 $UA=1/Rto$ "coficiente global de transferencia de calor en un intercambiador"
 $Rto=(R1+R2+R3)$
 $R1=1/(hi*Ai)$ "resistencia de conveccion interna"
 $Ai=pi*Di*L$ "area interna de conveccion"
 $R2=ln(De/Di)/(2*pi*Kcu*L)$ "resistencia de conduccion cilindrica en cobre"
 $Kcu=k_('Copper', Tmed)$ " conductividad del cobre a la temperatura"
 $R3=1/(hex*Aex)$ "resistencia termica por conveccion externa en ebullicion"
 $Aex=pi*De*L$ "area externa de conveccion"
 $q2=UA*LMTD*Fi$ "ecuacion de calor de un intercambiador"
 $LMTD=(DT2-DT1)/ln(DT2/DT1)$ "Diferencia de temperatura media logaritmica"
 $DT2=Tousev-Ttank$
 $DT1=Tinsev-Ttank$
 $Fi=1$ "factor de correccion de la LMTD para los
 intercambiadores de calor"
 $q2=q$

Parametric Table: Intercambiador evaporador (Q)

Calculo del serpentin del evaporador variando el flujo de calor.

	Flusev	q	L	De	Di	hi	hex	UA	Aex
	[L/min]	[w]	[m]	[m]	[m]	[w/m2oK]	[w/m2oK]	[w/K]	[m²]
Run 1	5	100	0,4497	0,00635	0,004826	20953	691	5,933	0,008971
Run 2	5	200	0,9223	0,00635	0,004826	20916	679,3	11,97	0,0184
Run 3	5	300	1,419	0,00635	0,004826	20878	667,6	18,11	0,02831
Run 4	5	400	1,941	0,00635	0,004826	20841	656,1	24,36	0,03873
Run 5	5	500	2,49	0,00635	0,004826	20804	644,6	30,73	0,04968
Run 6	5	600	3,068	0,00635	0,004826	20766	633,3	37,22	0,06121

Parametric Table: Intercambiador evaporador (Q)

Calculo del serpentin del evaporador variando el flujo de calor.

	Ai	Cp	CpL	Cpr	Csf	DenH2O	denL	denV	DT1
	[m²]	[j/Kg oK]	[j/Kg oK]	[j/Kg oK]		[Kg/m³]	[Kg/m³]	[Kg/m³]	[oC]
Run 1	0,006818	4180	4192	4183	0,013	997,9	1000	0,008275	17
Run 2	0,01398	4180	4192	4183	0,013	997,9	1000	0,008275	17
Run 3	0,02151	4180	4192	4183	0,013	997,9	1000	0,008275	17
Run 4	0,02943	4180	4192	4183	0,013	997,9	1000	0,008275	17
Run 5	0,03776	4180	4192	4183	0,013	997,9	1000	0,008275	17
Run 6	0,04652	4180	4192	4183	0,013	997,9	1000	0,008275	17

Parametric Table: Intercambiador evaporador (Q)

Calculo del serpentin del evaporador variando el flujo de calor.

	DT2	DTe	DTs	f	Fi	hfg	Kcu	KH2O	LMTD	MH2O
	[oC]	[oC]	[oC]			[j/Kg]	[w/moK]	[w/moK]	[oC]	[Kg/s]
Run 1	16,71	16,86	0,2877	0,02483	1	2,515E+06	401,2	0,5945	16,86	0,08316
Run 2	16,42	16,71	0,5754	0,02485	1	2,515E+06	401,3	0,5943	16,71	0,08316
Run 3	16,14	16,57	0,8631	0,02487	1	2,515E+06	401,3	0,594	16,56	0,08316
Run 4	15,85	16,42	1,151	0,02489	1	2,515E+06	401,3	0,5938	16,42	0,08316
Run 5	15,56	16,28	1,438	0,02491	1	2,515E+06	401,3	0,5935	16,27	0,08316
Run 6	15,27	16,14	1,726	0,02493	1	2,515E+06	401,3	0,5933	16,12	0,08316

Parametric Table: Intercambiador evaporador (Q)

Calculo del serpentin del evaporador variando el flujo de calor.

	n	NuD	Pr	PrL	Psat	Pser	q2	qs	R1	R2	R3
					[Kpa]	[Kpa]	[w]				
Run 1	1	170,1	6,286	10,31	1,073	101,4	100	11648	0,007	0,0002421	0,1613
Run 2	1	169,9	6,309	10,31	1,073	101,4	200	11352	0,003419	0,000118	0,08002
Run 3	1	169,6	6,333	10,31	1,073	101,4	300	11061	0,002226	0,00007671	0,05291
Run 4	1	169,4	6,356	10,31	1,073	101,4	400	10776	0,00163	0,00005607	0,03936
Run 5	1	169,2	6,38	10,31	1,073	101,4	500	10495	0,001273	0,0000437	0,03122
Run 6	1	168,9	6,404	10,31	1,073	101,4	600	10219	0,001035	0,00003547	0,0258

Parametric Table: Intercambiador evaporador (Q)

Calculo del serpentin del evaporador variando el flujo de calor.

	ReD	Rto	Tens	Tinsev	Tmed	Tousev	Ttank	viscext	viscint
			[N/m]	[oC]	[oC]	[oC]	[oC]	[Kg/sm]	[Kg/sm]
Run 1	24556	0,1686	0,07451	25	24,86	24,71	8	0,001386	0,0008934
Run 2	24476	0,08355	0,07451	25	24,71	24,42	8	0,001386	0,0008964
Run 3	24395	0,05522	0,07451	25	24,57	24,14	8	0,001386	0,0008993
Run 4	24315	0,04104	0,07451	25	24,42	23,85	8	0,001386	0,0009023
Run 5	24235	0,03254	0,07451	25	24,28	23,56	8	0,001386	0,0009053
Run 6	24155	0,02687	0,07451	25	24,14	23,27	8	0,001386	0,0009083

Parametric Table: Intercambiador evaporador (F)

Calculo del serpentin del evaporador variando el flujo de agua.

	Flusev	q	L	De	Di	hi	hex	UA	Aex
	[L/min]	[w]	[m]	[m]	[m]	[w/m2oK]	[w/m2oK]	[wK]	[m²]
Run 1	2	500	3,192	0,00635	0,004826	9029	562	33,05	0,06368
Run 2	4	500	2,595	0,00635	0,004826	17070	630,5	31,09	0,05177
Run 3	6	500	2,423	0,00635	0,004826	24417	654,2	30,5	0,04833
Run 4	8	500	2,341	0,00635	0,004826	31380	666,2	30,22	0,04669
Run 5	10	500	2,292	0,00635	0,004826	38081	673,4	30,05	0,04573
Run 6	12	500	2,26	0,00635	0,004826	44586	678,3	29,94	0,04509

Parametric Table: Intercambiador evaporador (F)

Calculo del serpentin del evaporador variando el flujo de agua.

	Ai	Cp	CpL	Cpr	Csf	DenH2O	denL	denV	DT1
	[m²]	[j/Kg oK]	[j/Kg oK]	[j/Kg oK]		[Kg/m³]	[Kg/m³]	[Kg/m³]	[oC]
Run 1	0,0484	4180	4192	4183	0,013	997,9	1000	0,008275	17
Run 2	0,03935	4180	4192	4183	0,013	997,9	1000	0,008275	17
Run 3	0,03673	4180	4192	4183	0,013	997,9	1000	0,008275	17
Run 4	0,03549	4180	4192	4183	0,013	997,9	1000	0,008275	17
Run 5	0,03475	4180	4192	4183	0,013	997,9	1000	0,008275	17
Run 6	0,03427	4180	4192	4183	0,013	997,9	1000	0,008275	17

Parametric Table: Intercambiador evaporador (F)

Calculo del serpentin del evaporador variando el flujo de agua.

	DT2	DTe	DTs	f	Fi	hfg	Kcu	KH2O	LMTD	MH2O
	[oC]	[oC]	[oC]			[j/Kg]	[w/moK]	[w/moK]	[oC]	[Kg/s]
Run 1	13,4	15,2	3,596	0,03198	1	2,515E+06	401,4	0,5917	15,13	0,03326
Run 2	15,2	16,1	1,798	0,02639	1	2,515E+06	401,3	0,5932	16,08	0,06653
Run 3	15,8	16,4	1,199	0,0238	1	2,515E+06	401,3	0,5938	16,39	0,09979
Run 4	16,1	16,55	0,899	0,0222	1	2,515E+06	401,3	0,594	16,55	0,1331
Run 5	16,28	16,64	0,7192	0,02107	1	2,515E+06	401,3	0,5942	16,64	0,1663
Run 6	16,4	16,7	0,5993	0,02021	1	2,515E+06	401,3	0,5943	16,7	0,1996

Parametric Table: Intercambiador evaporador (F)

Calculo del serpentin del evaporador variando el flujo de agua.

	n	NuD	Pr	PrL	Psat	Pser	q2	qs	R1	R2	R3
					[Kpa]	[Kpa]	[w]				
Run 1	1	73,65	6,562	10,31	1,073	101,4	500	8544	0,002288	0,00003408	0,02794
Run 2	1	138,9	6,41	10,31	1,073	101,4	500	10151	0,001489	0,00004194	0,03064
Run 3	1	198,5	6,36	10,31	1,073	101,4	500	10729	0,001115	0,00004492	0,03163
Run 4	1	254,9	6,336	10,31	1,073	101,4	500	11025	0,000898	0,0000465	0,03215
Run 5	1	309,3	6,321	10,31	1,073	101,4	500	11206	0,0007556	0,00004749	0,03247
Run 6	1	362,1	6,311	10,31	1,073	101,4	500	11328	0,0006544	0,00004816	0,03269

Parametric Table: Intercambiador evaporador (F)

Calculo del serpentin del evaporador variando el flujo de agua.

	ReD	Rto	Tens [N/m]	Tinsev [oC]	Tmed [oC]	Tousev [oC]	Ttank [oC]	viscext [Kg/sm]	viscint [Kg/sm]
Run 1	9455	0,03026	0,07451	25	23,2	21,4	8	0,001386	0,0009282
Run 2	19308	0,03217	0,07451	25	24,1	23,2	8	0,001386	0,000909
Run 3	29162	0,03279	0,07451	25	24,4	23,8	8	0,001386	0,0009028
Run 4	39017	0,03309	0,07451	25	24,55	24,1	8	0,001386	0,0008997
Run 5	48871	0,03328	0,07451	25	24,64	24,28	8	0,001386	0,0008979
Run 6	58726	0,0334	0,07451	25	24,7	24,4	8	0,001386	0,0008966

INTERCAMBIADOR GENERADOR

File:serpentin generador.EES

29/05/2012 01:51:02 a.m. Page 1

EES Ver. 7.431: #1514: For use only by Mohamed Shaker, Ginza, Cairo, Egypt

"Calculos del serpentín del generador"

"Claculos de diferencia de temperatura en el serpentín del generador"

$Q_{gen} = \dot{M}H_2Og \cdot C_{pg} \cdot \Delta T_g$

"ecuacionde calor sensible para el generador"

$\dot{M}H_2Og = \text{Den}H_2G \cdot \text{Flu}Hg / 60000$

"Flujo masico en el serpentín del generador"

$\text{Den}H_2G = 962,27$

{FluHg=2}

"caudal de agua en el serpentín del generador"

$C_{pg} = CP(\text{Water}, T=84; x=0)$

"calor especifico del agua en el serpentín del generador"

$Q_{gen} = 600$

"potencia de generacion supuesta"

$T_{outg} = T_{ing} - \Delta T_g$

"temperatura de salida en el serpentín del generador"

$T_{ing} = 85$
calentador electrico"

"temperatura de entrada en el serpentín del generador, entregada por el

$T_{meg} = (T_{ing} + T_{outg}) / 2$
generador, para evaluar propiedades"

"Temperatura media en el serpentín del

$T_{Sg} = 75$

"temperatura de solucion en el generador"

$P_{serg} = 101,325$

"Dimensiones de la tuberia"

$D_i = 0,00482$

"diametro interno en el serpentín del generador"

$D_e = 0,00635$

"conveccion interna"

"Calculo del Reynolds"

$ReDg = 4 \cdot \dot{M}H_2Og / (\pi \cdot D_i \cdot \text{viscintg})$

"calculo de reinolds interno generador"

$\text{viscintg} = \text{VISCOSITY}(\text{Water}, T=T_{meg}, P=P_{serg})$

"viscosidad del agua en el interior del serpentín del generador"

$f = (0,790 \cdot \ln(ReDg - 1,64))^{-2}$
 $5 \cdot 10^{-6}$ "

"factor de friccion para valores de reinolds entre 3000 y

$NuD = (f/8) \cdot (ReDg - 1000) \cdot Pr / (1 + 12,7 \cdot (f/8)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1))$
 $Pr = \text{PRANDTL}(\text{Water}, T=T_{meg}, P=P_{serg})$
generador"

"correlacion de conveccion para flujo en un tubo circular turbulento"
"numero de prandtl para las condiciones internas del serpentín del

$NuD = h_{ig} \cdot D_i / KH_2Og$
interna para generador"

"coeficiente de transferencia de calor por conveccion

$KH_2Og = \text{CONDUCTIVITY}(\text{Water}, T=T_{meg}, P=P_{serg})$

"conductividad del agua en las condiciones de flujo interno"

"conveccion externa"

$RaDbrLig = 9.8 * B * (T_{meq} - T_{Sg}) * De^3 / (v_{Brlig} * a_{Brlig})$

"numero de Rayleigh "

$B = VOLEXP COEF(Water, T = T_{Sg}, x = 0)$
de la solucion se asume el valor para el agua"

"coeficiente volumetrico de expansion, como no se encuentre el

$v_{Brlig} = 0.000008412$
base a ashrae"

"viscosidad dinamica de la solucion, calculada con

$a_{Brlig} = 0.000001187$

"difusividad termica de la solucion basada en Ashrae"

$k_{brlig} = 0.45$

"conductividad termica de la solucion agua bromuro de litio"

$Cp_{Brlig} = 2230$

"calor especifico de la solucion de bromuro de litio basado en ASHrae"

$\rho_{Brlig} = 1700$

"densidad de la solucion agua BrLi"

$Visc_{Brlig} = 0.00143$

"viscosidad cinematica de la solucion agua Brli basado en ashrae"

$NUg = (0.60 + (0.387 * (RaDbrLig)^{1/6}) / (1 + (0.559 / Pr_{ag})^{9/16})^{(8/27)})^2$

$Pr_{ag} = v_{Brlig} / a_{Brlig}$

"Numero de prandtl para la solucion de BrLi"

$NUg = h_{eg} * De / k_{brlig}$

"coeficiente de conveccion externa en el generador"

"calculo del coeficiente global de transferencia de calor"

$Q_{gen} = UA_{g} * LMTD_{g} * F_{lmtdg}$

$LMTD_{g} = (DT2 - DT1) / \ln(DT2 / DT1)$

"Diferencia de temperatura media logaritmica"

$DT2 = T_{outg} - T_{Sg}$

$DT1 = T_{ing} - T_{Sg}$

$F_{lmtdg} = 1$

$UA_{g} = 1 / R_{tog}$

"coficiente global de transferencia de calor en un intercambiador"

$R_{tog} = (R1g + R2g + R3g)$

$R1g = 1 / (h_{ig} * A_i)$

"resistencia de conveccion interna"

$A_i = \pi * D_i * L_g$

"area interna de conveccion"

$R2g = \ln(De / Di) / (2 * \pi * K_{cug} * L_g)$

"resistencia de conduccion cilindrica en cobre"

$K_{cug} = k_{('Copper', T_{meq})}$

"conductividad del cobre a la temperatura"

R3g=1/(heg*Aex)

"resistencia termica por conveccion externa en ebullicion"

Aex=pi*De*Lg

"area externa de conveccion"

Parametric Table: Intercambiador del generador (Q)

Calculo del serpentin del generador con variacion de calor.

	FluHg [L/min]	Qgen [w]	Lg [m]	De [m]	Di [m]	hig [w/m2oK]	heg [w/m2oK]	UAg [w/K]	aBrlig [m2/s]
Run 1	2	100	0,7468	0,00635	0,00482	14921	744,5	10,39	1,187E-07
Run 2	2	200	1,572	0,00635	0,00482	14894	736,6	21,65	1,187E-07
Run 3	2	300	2,49	0,00635	0,00482	14866	728,4	33,94	1,187E-07
Run 4	2	400	3,521	0,00635	0,00482	14839	720,1	47,46	1,187E-07
Run 5	2	500	4,689	0,00635	0,00482	14811	711,4	62,5	1,187E-07
Run 6	2	600	6,031	0,00635	0,00482	14784	702,5	79,43	1,187E-07

Parametric Table: Intercambiador del generador (Q)

Calculo del serpentin del generador con variacion de calor.

	Aex [m²]	Ai [m²]	B [1/K]	CpBrLig [j/KgoK]	Cpg [j/KgoK]	DenH2G [Kg/m³]	DT1 [oC]	DT2 [oC]	DTg [oC]
Run 1	0,0149	0,01131	0,0006118	2230	4198	962,3	10	9,257	0,7427
Run 2	0,03136	0,0238	0,0006118	2230	4198	962,3	10	8,515	1,485
Run 3	0,04967	0,03771	0,0006118	2230	4198	962,3	10	7,772	2,228
Run 4	0,07023	0,05331	0,0006118	2230	4198	962,3	10	7,029	2,971
Run 5	0,09354	0,07101	0,0006118	2230	4198	962,3	10	6,287	3,713
Run 6	0,1203	0,09132	0,0006118	2230	4198	962,3	10	5,544	4,456

Parametric Table: Intercambiador del generador (Q)

Calculo del serpentin del generador con variacion de calor.

	f	FImtdg	kbrlig [w/mK]	Kcug [w/mK]	KH2Og [w/mK]	LMTDg [oC]	MH2Og [Kg/s]	NuD	NUg	pBri [Kg/m³]
Run 1	0,02465	1	0,45	396,4	0,6587	9,624	0,03208	109,2	10,51	1700
Run 2	0,02468	1	0,45	396,4	0,6586	9,237	0,03208	109	10,39	1700
Run 3	0,0247	1	0,45	396,4	0,6584	8,839	0,03208	108,8	10,28	1700
Run 4	0,02473	1	0,45	396,5	0,6582	8,428	0,03208	108,7	10,16	1700
Run 5	0,02476	1	0,45	396,5	0,658	8	0,03208	108,5	10,04	1700
Run 6	0,02479	1	0,45	396,5	0,6578	7,554	0,03208	108,3	9,913	1700

Parametric Table: Intercambiador del generador (Q)

Calculo del serpentin del generador con variacion de calor.

	Pr	Prag	Pserg [Kpa]	R1g	R2g	R3g	RaDBrLig	ReDg	Rtog
Run 1	2,135	7,087	101,3	0,005927	0,0001482	0,09016	148044	25296	0,09624
Run 2	2,145	7,087	101,3	0,002821	0,00007042	0,0433	142334	25183	0,04619
Run 3	2,155	7,087	101,3	0,001784	0,00004445	0,02764	136625	25071	0,02946
Run 4	2,165	7,087	101,3	0,001264	0,00003143	0,01977	130916	24958	0,02107
Run 5	2,175	7,087	101,3	0,0009508	0,0000236	0,01503	125206	24846	0,016
Run 6	2,186	7,087	101,3	0,0007407	0,00001835	0,01183	119497	24734	0,01259

Parametric Table: Intercambiador del generador (Q)

Calculo del serpentin del generador con variacion de calor.

Ting Tmeg Toutg TSg vBrlig ViscBri viscintg

	[oC]	[oC]	[oC]	[oC]	[kg/m·s]	[kg/m·s]	[kg/m·s]
Run 1	85	84,63	84,26	75	8,412E-07	0,00143	0,000335
Run 2	85	84,26	83,51	75	8,412E-07	0,00143	0,0003365
Run 3	85	83,89	82,77	75	8,412E-07	0,00143	0,000338
Run 4	85	83,51	82,03	75	8,412E-07	0,00143	0,0003395
Run 5	85	83,14	81,29	75	8,412E-07	0,00143	0,000341
Run 6	85	82,77	80,54	75	8,412E-07	0,00143	0,0003426

Parametric Table: Intercambiador del generador (F)

Calculo del serpentin del generador con variacion de flujo de agua.

	FluHg [L/min]	Qgen [w]	Lg [m]	De [m]	Di [m]	hig [w/m2oK]	heg [w/m2oK]	UAg [wK]	aBrig [m2/s]
Run 1	2	600	6,031	0,00635	0,00482	14784	702,5	79,43	1,187E-07
Run 2	4	600	4,848	0,00635	0,00482	26401	728,4	67,88	1,187E-07
Run 3	6	600	4,544	0,00635	0,00482	36970	736,6	64,95	1,187E-07
Run 4	8	600	4,402	0,00635	0,00482	46945	740,5	63,61	1,187E-07
Run 5	10	600	4,321	0,00635	0,00482	56512	742,9	62,84	1,187E-07
Run 6	12	600	4,267	0,00635	0,00482	65774	744,5	62,34	1,187E-07

Parametric Table: Intercambiador del generador (F)

Calculo del serpentin del generador con variacion de flujo de agua.

	Aex [m ²]	Ai [m ²]	B [1/K]	CpBrLig [j/KgoK]	Cpg [j/KgoK]	DenH2G [Kg/m ³]	DT1 [oC]	DT2 [oC]	DTg [oC]
Run 1	0,1203	0,09132	0,0006118	2230	4198	962,3	10	5,544	4,456
Run 2	0,09672	0,07342	0,0006118	2230	4198	962,3	10	7,772	2,228
Run 3	0,09064	0,0688	0,0006118	2230	4198	962,3	10	8,515	1,485
Run 4	0,08783	0,06666	0,0006118	2230	4198	962,3	10	8,886	1,114
Run 5	0,0862	0,06543	0,0006118	2230	4198	962,3	10	9,109	0,8912
Run 6	0,08513	0,06462	0,0006118	2230	4198	962,3	10	9,257	0,7427

Parametric Table: Intercambiador del generador (F)

Calculo del serpentin del generador con variacion de flujo de agua.

	f	FImtdg	kbrlig [w/mK]	Kcug [w/mK]	KH2Og [w/mK]	LMTDg [oC]	MH2Og [Kg/s]	NuD	NUg	pBri [Kg/m ³]
Run 1	0,02479	1	0,45	396,5	0,6578	7,554	0,03208	108,3	9,913	1700
Run 2	0,02094	1	0,45	396,4	0,6584	8,839	0,06415	193,3	10,28	1700
Run 3	0,01911	1	0,45	396,4	0,6586	9,237	0,09623	270,6	10,39	1700
Run 4	0,01796	1	0,45	396,4	0,6587	9,432	0,1283	343,5	10,45	1700
Run 5	0,01713	1	0,45	396,4	0,6587	9,547	0,1604	413,5	10,48	1700
Run 6	0,0165	1	0,45	396,4	0,6587	9,624	0,1925	481,3	10,51	1700

Parametric Table: Intercambiador del generador (F)

Calculo del serpentin del generador con variacion de flujo de agua.

	Pr	Prag	Pserg [Kpa]	R1g	R2g	R3g	RaDBrLig	ReDg	Rtog
Run 1	2,186	7,087	101,3	0,0007407	0,00001835	0,01183	119497	24734	0,01259
Run 2	2,155	7,087	101,3	0,0005159	0,00002283	0,01419	136625	50141	0,01473
Run 3	2,145	7,087	101,3	0,0003931	0,00002436	0,01498	142334	75549	0,0154
Run 4	2,14	7,087	101,3	0,0003195	0,00002514	0,01538	145189	100958	0,01572
Run 5	2,137	7,087	101,3	0,0002705	0,00002562	0,01562	146902	126366	0,01591
Run 6	2,135	7,087	101,3	0,0002353	0,00002594	0,01578	148044	151774	0,01604

Parametric Table: Intercambiador del generador (F)

Calculo del serpentin del generador con variacion de flujo de agua.

	Ting [oC]	Tmeg [oC]	Toutg [oC]	TSg [oC]	vBrlig [kg/m·s]	ViscBrli [kg/m·s]	viscintg [kg/m·s]
Run 1	85	82,77	80,54	75	8,412E-07	0,00143	0,0003426
Run 2	85	83,89	82,77	75	8,412E-07	0,00143	0,000338
Run 3	85	84,26	83,51	75	8,412E-07	0,00143	0,0003365
Run 4	85	84,44	83,89	75	8,412E-07	0,00143	0,0003357
Run 5	85	84,55	84,11	75	8,412E-07	0,00143	0,0003353
Run 6	85	84,63	84,26	75	8,412E-07	0,00143	0,000335

**ANEXO E. TABLA DE COEFICIENTES DE SUPERFICIE PARA LA
CORRELACION DE EBULLICION**

TABLA 10.1 Valores de $C_{s, f}$ para varias combinaciones superficie-fluido [5-7]

Combinación superficie-fluido	$C_{s, f}$	n
Agua-cobre		
Estriada	0.0068	1.0
Pulida	0.0130	1.0
Agua-acero inoxidable		
Grabado químicamente	0.0130	1.0
Pulido mecánicamente	0.0130	1.0
Molido y pulido	0.0060	1.0
Agua-bronce	0.0060	1.0
Agua-níquel	0.006	1.0
Agua-platino	0.0130	1.0
<i>n</i> -Pentano-cobre		
Pulida	0.0154	1.7
Sobrepuesta	0.0049	1.7
Benceno-cromo	0.101	1.7
Alcohol etílico-cromo	0.0027	1.7

ANEXO F. FICHA TÉCNICA VALVULA DE BOLA KTS

Tienda Online / KTS / Válvulas de Bola



Válvula de bola en acero inoxidable

Ref: Válvula tipo 304 y 316

Descripción

Válvula de bola en acero inoxidable tipo 304 y 316 de 2 piezas, paso full y empaque en teflon

Extremos: Roscado

Presiones: 1000 WOG, Temperatura maxima de 150°C

Diametros: Desde 1/4", 4"

Aplicaciones: Hidrocarburos, Líquidos, Gas, Aire, Aceite, Agua



Extremos roscado

ENVIAR A UN AMIGO



PREGUNTAS SOBRE ESTE PRODUCTO ?

Productos relacionados:



Válvula de Bola Trunnion API 6D Paso Full



Válvula de Bola Flotante en Acero al Carbón Fundido (3 Pzas)



Válvula de Bola Flotante

ANEXO G. FICHA TÉCNICA THERMOLON



ESPUMAS DE POLIETILENO



ESPUMAS DE POLIETILENO

Polyton es una empresa dirigida a cubrir las necesidades y las expectativas del mercado, proporcionándole soluciones superiores de protección contra daño físico en: empaque, embalajes, coberturas y construcción o remodelación de inmuebles, así como en productos para la comodidad y la sana diversión. Uno de sus productos es el Thermolón, cuenta con una triple protección contra el calor, el frío y la humedad. Asimismo es de fácil manipuleo e instalación.



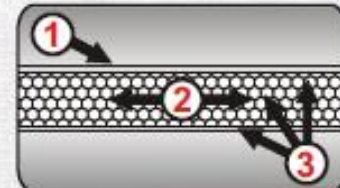
Lámina de espuma de polietileno recubierta con una película de polipropileno metalizado. Producto diseñado para aislamiento térmico bajo cubiertas; en manejadoras de aire acondicionado, cuartos fríos y ductos de aire acondicionado. Acabado: 1 cara o ambas caras con foil aluminizado o color blanco.

CARACTERÍSTICAS

Doble ahorro de energía, por que la capa interior de polipropileno metalizado refleja y difunde la luz de las lámparas instaladas bajo cubierta y por que, al aislar el calor eterno, es más eficiente el aire acondicionado.

Se usa también en la fabricación de neveras portátiles, parasoles, protectores para vehículos y en ductos de aire acondicionado.

- ❑ Aísla el 97% del calor radiante
- ❑ Disminuye el ruido de la lluvia
- ❑ Fácil de manipular e instalar
- ❑ 100% impermeable
- ❑ Liviano
- ❑ Antiestático
- ❑ Evita la condensación
- ❑ Ahorra energía



- 1 La capa superior de polipropileno metalizado, rechaza por reflexión el 97% del calor radiante.
- 2 El cojín formado por millones de celdas herméticamente cerradas forman una excelente barrera que impide el paso del calor y el sonido por conducción.
- 3 El conjunto de las capas (superior e inferior) de polipropileno metalizado, más el cojín intermedio de espuma de polietileno, forman una lámina 100% impermeable, que evita la pérdida o ingreso de corrientes convectivas de calor o frío.

ANEXO H. FICHA TÉCNICA GASTOP (TRABAROSCAS)

GASTOP

high strength
fuerza alta



technical data sheet
ficha técnica

Description

The Liquid Anaerobic Bond GASTOP of UNIFIX polymerizes (hardens, cures) in air absence atmosphere temperature placed between 2 metal surfaces, fixing, retaining, blocking, and not allowing. The Gastop Series (spiral joints) was designed to be used in spiral pieces, for which the liquid anaerobic bond UNIFIX adjusts to the spirals threads filing in the interior spaces, achieving a union of both pieces as if it were one.

Adhesivo - sellador, traba química anaeróbica polimeriza (endurece - cura) en ausencia del aire y por el contacto entre dos superficies metálicas fijándolas, reteniéndolas, bloqueándolas e impidiendo su aflojamiento. La serie GASTOP fue desarrollada para utilizarse en uniones roscadas, por cuanto la traba química se amolda a los hilos de las roscas ocupando los espacios interiores y logrando al polimerizar que ambas piezas trabajen como si fueran un solo cuerpo.

Descripción

General Properties

a. Without polymerize

Aspect	Liquid, viscous, smooth characteristic smell
Color	Red
Solubility	Soluble in chlorine solvents
Density (+25 o C)	1.10 g/ml
Viscosity (+25 o C)	7000 - 9000 cps
Cure Speed	Partial 30 minutes
Shelf time in liquid state	Final 24 hours One year room temperature (maximum 30°)

b. Polymerized

Aspect	Solid, rigid polymer (plastic)
Color	Red
Working temp	-54 °C to + 150 °C (-65 to 300 °F)
Torque Break/ Preval	60-100/60-80 Kg/cm ²
Chemical Resistance	Good for lubricants, fluids, hydraulic, L.G.P., natural gas, organic solvents, acids and bases.

a. Sin polimerizar

Aspecto	Líquido viscoso, suave olor característico
Color	Rojo
Solubilidad	Soluble en solventes clorados
Densidad (+25 o C)	1.10 g/ml
Viscosidad (+25 o C)	7.000 - 9.000 cps
Velocidad de curado	Parcial 30 minutos
Vida útil en estado líquido	Total 24 horas 12 meses a temperatura ambiente

b. Polimerizado

Aspecto	Sólido, polímero rígido (plástico)
Color	Rojo
Temperatura de Trabajo	De -54°C a + 150°C
Torque de Quiebra /Residual	60-100/60-80 Kg/Cm ²
Resistencia Química	Buena a lubricantes, fluidos hidráulicos, G.L.P., Gas Natural, solventes orgánicos, ácidos y bases.

Application

Product specially used to work permanently spiral pieces with high resistance and big bond gap. Let to reuse the worn elements and its chemist resistance make reliable as a sealant in connections that lead fluids as corrosives.

Producto indicado para trabajar permanentemente , piezas roscadas de alta resistencia y amplias holguras . Permite la reutilización de elementos desgastados y su excelente resistencia química lo hace confiable como sellador en conexiones que conducen fluidos de máxima exigencia como los corrosivos.

LEGAL TEXT

The information contained here is produced in good faith and is believed to be real but is for guidance only. Grupo Corasa S.A. and its agents accept no liability or responsibility for results obtained in the use of its product by persons whose methods are outside of its control or for any responsibility (including the availability of any of the products and methods of use or application) or to use and for them the user's responsibility to observe and adhere to such precautions as may be advisable for the protection of persons in possession, handling and use of any of our products. Grupo Corasa S.A. declines specifically all the explicit and implicit warranties, including those of formalization or installation, particular services, produced by the seller or use of the UNIFIX products, declines specifically any responsibility of Corasa, as consequence or incidents of any kind, including the loss of profits. We recommend to each possible user to prove the application process before its habitual use, employing the data as a guide.

TEXTO LEGAL

Las datos aquí contenidos se facilitan sólo para información, y se consideran fieles. No podemos asumir responsabilidad sobre los resultados obtenidos por otros usos que los indicados no previstos en el presente. Grupo Corasa S.A. y sus agentes no aceptan responsabilidad por los resultados obtenidos en el uso de su producto por personas cuyos métodos de producción son fuera de su control, o por cualquier responsabilidad (incluyendo la disponibilidad de cualquiera de los productos y métodos de uso o aplicación) o a utilizarlos y para ellos la responsabilidad de observar y adherirse a tales precauciones que sean aconsejables para su propia seguridad, y adoptar las precauciones que sean recomendables para proteger a todo personal o propiedad de terceros que pueda sufrirle manipulación, utilización del mismo. Al la venta de los agentes, GRUPO CORASA S.A., declina específicamente todas las garantías explícitas o implícitas, incluyendo garantías de comercialización e instalación que se produzcan por el vendedor, producidos por el vendedor o uso de los productos UNIFIX, declina específicamente cualquier responsabilidad por daños, como consecuencia o incidentes de cualquier tipo, incluyendo la pérdida de ganancias. Recomendamos a cada posible usuario que pruebe la aplicación propiamente antes de su utilización habitual empleando como guía los datos aquí.



SEALANT HIGH RESISTANCE

Product specially used to work permanently spiral pieces with high resistance and big bond gap. Let to reuse the worn elements and its chemist resistance make reliable as a sealant in connections that lead fluids as corrosives.

SELLANTE FUERZA ALTA

GASTOP Fue desarrollada para ser utilizada en conexiones roscadas, el cual se caracteriza por endurecer y sellar en ausencia de aire cuando queda aunado entre las piezas montadas.

Especialmente apto para el montaje de acoples de contacto metal-metal. Por su fuerza alta no se puede desmontar sino con llaves especiales . Su tiempo de curado parcial es de 30 minutos y su curado total a las 24 horas.



ANEXO I. FICHA TÉCNICA AISLANTE AW



TÉRMICO

LANA AW

Aislamiento Térmico para servicio en caliente

DESCRIPCIÓN:

La Lana AW de FiberGlass es un aislamiento térmico hecho con lana de fibras de vidrio inorgánicas y elásticas, aglomeradas con resina termo-resistente, presentada en rollos.

USOS:

La Lana AW está diseñada para ser empleada en aplicaciones como aislamiento térmico de equipos y electrodomésticos que trabajan a temperaturas hasta de 540°C (1000°F) con el espesor recomendado. Este aislamiento es ampliamente utilizado en sistemas de paneles, recubrimientos flexibles, hornos industriales o superficies irregulares.

BENEFICIOS:

- **Excelente Funcionamiento Térmico**
La eficiencia térmica de la Lana AW contribuye a reducir las pérdidas de calor y el consumo de combustibles.
- **Peso Liviano**
El bajo peso de la fibra de vidrio facilita la instalación y manipulación del aislamiento, incluso cuando se trabaja con grandes cantidades.
- **Elasticidad**
Su elasticidad garantiza llenar completamente todos los espacios con el aislamiento asegurándose alta eficiencia en el funcionamiento de los artefactos.
- **Rápido y Fácil de Instalar**
Su presentación en rollos permite cubrir grandes áreas rápidamente, eliminando el trabajo tedioso de colocar lámina por lámina.

"Líderes en ahorro y conservación de energía".



AISLAMIENTO INDUSTRIAL

- Incombustible
- Resiste la vibración sin deformarse
- Inorgánico
- No genera ni acelera la corrosión sobre acero, hierro, cobre o aluminio.
- No absorbe humedad ambiental.

ESPECIFICACIONES TECNICAS

- Conductividad Térmica: 0.039 w^oC.m² Valor típico (0.27 BTU.in/hr.^oF.ft²).
- Características de Quemado Superficial: ASTM E84 Propagación de llama 25.
- Temperatura de aplicación: Máx 540°C (1000°F).
- Empaque: Bolsas de polietileno
- Unidad: Rollos

DIMENSIONES:

	LONGITUD	ANCHO	ESPESOR
600" X 48" X 1"	15.24m	1219 mm	25.4 mm
300" X 48" X 1"	7.62 m	1219 mm	25.4 mm
600" X 48" X 1 1/2"	15.24 m	1219 mm	50.8 mm

ESPESORES RECOMENDADOS

Espeor	Ts Tq	1000°F (538°C)	850°F (454°C)	700°F (371°C)	550°F (288°C)	400°F (288°C)	250°F (121°C)
1"	Ts	250	228	204	180	154	125
	Q	203	168	134	100	67	34
2"	Ts	187	173	159	144	128	110
	Q	110	91	73	55	37	19
3"	Ts	161	151	140	129	117	104
	Q	76	63	50	38	25	13
4"	Ts	146	138	129	120	111	-
	Q	58	48	39	29	20	-
5"	Ts	137	130	122	-	-	-
	Q	47	39	31	-	-	-
6"	Ts	130	124	-	-	-	-
	Q	139	33	-	-	-	-

Cálculos realizados para: Velocidad de viento - 0
 Emisividad Exterior - 0.2
 Temperatura ambiente - 86°F (30°C)

Ts = Temperatura Superficial en °F
 Q = Pérdidas de Calor en BTU/h.ft²

Unidad de Servicio Técnico: llame gratis al 01 800 09 167 97
 Bogotá al 235 6297 internet www.fiberglasscolombia.com
 E-mail: contacto@fiberglasscolombia.com.co

"La información en este documento está sujeta a cambio sin previo aviso".
 "Para obtener información detallada sobre las especificaciones técnicas de este producto, solicite y consulte la EDC (Especificación del Cliente)".



Fecha: Octubre de 2003

ANEXO J. FICHA TÉCNICA BOMBA IWAKI

IWAKI

Serie
MD

Bombas Centrífugas de Acople Magnético

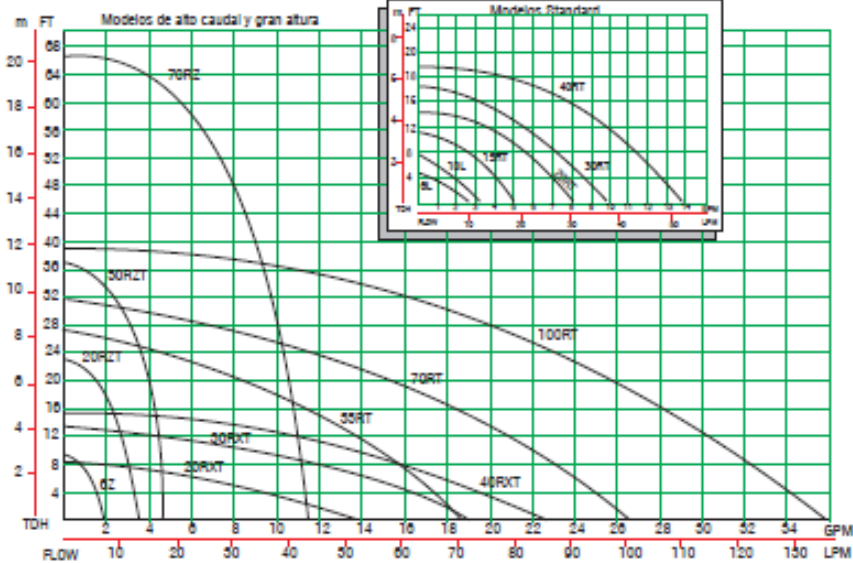


Iwaki América, el líder mundial en tecnología de bombas centrífugas de acople magnético ofrece la línea más completa y diversificada de bombas magnéticas de tamaño pequeño.

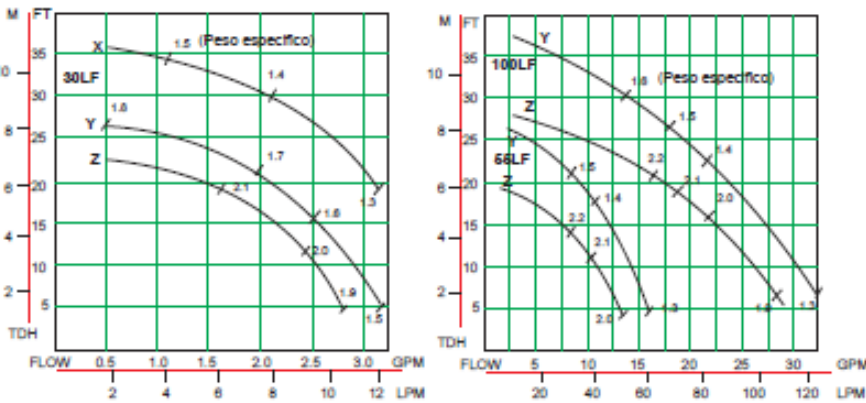
- **Excelente compatibilidad química** – Fabricadas con los mejores materiales resistentes a la corrosión incluyendo Polipropileno, ETFE, SiC o Cerámica Alúmina para manejar los más agresivos químicos y aplicaciones de alta pureza.
- **Opciones de motor** - Seleccione motores de alta eficiencia premium en voltajes AC o DC.
- **Múltiples opciones de impulsores** - Seleccione impulsores semi-abiertos, abiertos o cerrados para asegurar una combinación perfecta con su aplicación.
- **Sistema de cojinete doble** - Asegura una larga vida útil de la bomba.
- **Eje rotativo** - Reduce la fricción y la generación de calor.
- **Magneto conductor balanceado dinámicamente** – Reduce las cargas desbalanceadas del eje del motor asegurando una larga vida útil del motor.
- **Circuito de enfriamiento interno único** – Permite bajar la temperatura de operación de la bomba.
- **Orificios del impulsor balanceados** – Minimiza las fuerzas axiales para una mejor eficiencia hidráulica.



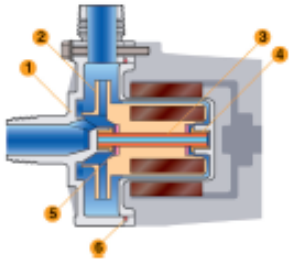
Modelos Polipropileno



Modelos Fluoro-plásticos



Materiales Partes Húmedas



Parte	Polipropileno	Fluoro-plástico
1 Carcasa	GFRPP	CFRETPE
2 Turbina	GFRPP o CFRPP	CFRETPE
3 Eje	Cerámica Alumina	Carburo de Silicio
4 Cojinete	PTFE o PPS	Carburo de Silicio
5 Aro de empuje	Cerámica Alumina o PE	Carburo de Silicio
6 O-ring*	FKM or EPDM	FKM

* Otros materiales están disponible bajo pedido

ANEXO K. FICHA TÉCNICA MANGUERA PARKER SERIES 7093



Manguera Agua Aire para servicios generales



Una manguera económica y versátil para propósitos generales, la cual es excelente para servicios de aire / agua, así como muchos productos químicos agrícolas incluidos herbicidas. El tubo de caucho EPDM y su cobertura resisten el calor, la luz del sol, el ozono y otras condiciones climáticas. La manguera GST II supera RMA clase C y resistencia mediana al petróleo. Apto para aplicaciones como aceites lubricantes para líneas aéreas, pero no indicada para la transferencia de productos derivados del petróleo. Su refuerzo textil de alta resistencia a la tracción ofrece una excelente retención al acoplamiento y excelente resistencia. Factor de seguridad 1:4 (rotura = presión de trabajo x4).

Tubo Interno: Goma negra EPDM

Exterior: EPDM

Refuerzo: Doble espiral textil

Temperatura: -40° a 100°C

Largos: Los rollos son en su 90% de un solo tramo y en un 10% vienen en 2 tramos. Largo mínimo de 15.24mts. Largo máximo 223mts.

En stock continuo
7093 NEGRA

A pedido
7092 ROJA
7057 AZUL
7096 AMARILLA
7031 VERDE

Multipropósito
Para conducir
derivados del
petróleo.
7094 NEGRA
7095 ROJA

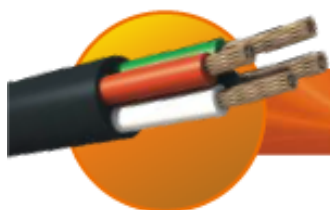
CODIGO	DIAMETRO INT. (mm)	DIAMETRO EXT. (mm)	CANT. TELAS	RADIO CURV.	PRESION Kg/cm ²
19200	5	11.1	2	2.0	15
25200	6	12.7	2	2.5	15
31200	8	15.1	2	3.3	15
38200	10	16.7	2	3.5	15
50200	13	20.7	2	4.5	15
63200	16	24.6	2	5.5	15
75200	19	28.2	2	6.0	15
100200	25	35.7	2	7.0	15
125204	32	45.2	2	9.0	15
150204	38	51.6	2	10.0	15

Exceptuando 32mm y 38mm todas estas mangueras se proveen también en 20kg/cm² de presión y los códigos cambian solo la centena, por ej. 19300, 25300, 31300, etc.

Dr. Nicolás Repette 2017 - Buenos Aires (1416) - Argentina | Tel/Fax: 011-4581-8603 Líneas Ret.
web: www.gomafiltros.com | email: gomafiltros@gomafiltros.com | Nextel: 160*2005 | 15-4992-9036

ANEXO L. FICHA TÉCNICA CABLE 2X18

Nexans



CABLE FLEXIBLE MULTIPOLAR ENCAUCHETADO

DESCRIPCIÓN: Conductores de cableado clase k (hilos calibre 30 AWG 0.254 mm) cobre electrolítico suave (recocido). Conductores aislados en PVC,

NORMA APLICABLE

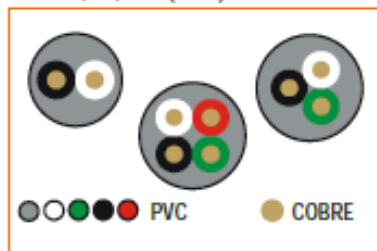
NTC 2356 UL 62

NTC 1817

RETIE: 02402

APLICACIONES: Conexión de aparatos eléctricos e industriales, herramientas portátiles y en equipos pesados con alta exigencia de movimiento.

COD: 72, 73, 74+(AWG)



FORMA DE EMPAQUE:

Bipolar: Colores Negro y Blanco.

Tripolar: Colores Negro, Blanco y Verde.

TEMP. DE OPERACIÓN: 75°C

VOLTAJE: 600 Voltios

menú

9.1 CABLES FLEXIBLES MULTIPOLARES "ENCAUCHETADOS" TIPO SJT 300 VOLTIOS

CODIGO	CONDUCTOR				AISLAMIENTO			CHAQUETA		PESO Kg/Km			CAPAC. DE CORRIENTE
	DUCT	AWG	N° HILOS	# CONDUCT.	DIAM. (mm)	ESP. (mm)	DIAM. mm	ESP. (mm)	DIAM. Mm	COBRE	PVC	TOTAL APROX	
7210		10	104	2	3,00	1,14	5,28	1,52	14,35	95,6	202,4	298,0	25
7310		10	104	3	3,00	1,14	5,28	1,52	15,22	143,4	219	362,4	25
7410		10	104	4	3,00	1,14	5,28	1,52	16,67	191,1	253,9	445,0	25
7212		12	65	2	2,36	0,76	3,94	1,14	10,62	59,7	109,3	169,0	20
7312		12	65	3	2,36	0,76	3,94	1,14	11,26	89,6	118,4	208,0	20
7412		12	65	4	2,36	0,76	3,94	1,14	12,32	119,5	135,5	255,0	20
7214		14	41	2	1,88	0,76	3,44	0,76	8,76	37,7	75,8	113,5	15
7314		14	41	3	1,88	0,76	3,44	0,76	9,32	56,5	83,4	139,9	15
7414		14	41	4	1,88	0,76	3,44	0,76	10,24	75,4	100,2	175,6	15

CODIGO	CONDUCTOR				AISLAMIENTO			CHAQUETA		PESO Kg/Km			CAPAC. DE CORRIENTE AMPERIOS
	AWG	N° HILOS	# CONDUCT.	DIAM. (mm)	ESP. (mm)	DIAM. (mm)	ESP. (mm)	DIAM. (mm)	COBRE	PVC	TOTAL APROX		
7216	16	26	2	1,50	0,76	3,04	0,76	7,82	23,89	61,44	85,33	10	
7316	16	26	3	1,50	0,76	3,04	0,76	8,3	35,84	67,7	103,54	10	
7416	16	26	4	1,50	0,76	3,04	0,76	9,11	47,79	81,15	128,94	10	
7218	18	16	2	1,19	0,76	2,74	0,76	7,26	14,7	53,1	67,8	7	
7318	18	16	3	1,19	0,76	2,74	0,76	7,70	22,05	58,7	80,75	7	
7418	18	16	4	1,19	0,76	2,74	0,76	8,43	29,41	70,24	99,65	7	

Nota:* Tres conductores transportando corriente

ANEXO M. FICHA TÉCNICA CABLE VEHICULO



CABLE TIPO VEHICULO Y BATERÍA

DESCRIPCIÓN: Conductor cableado clase k (hilos calibre 30 AWG 0,254 mm). Cobre electrolítico suave (recocido). Aislado en PVC de 60°C (TFF), 75°C (THW) y 105°C.

NORMA APLICABLE

NTC 2356	UL 62
NTC 1817	SAE J1127/2005
NTC 1116	SAE J1128/2005
NTC 1995	NTC: 00929
RETIE: 01862	

APLICACIÓN:

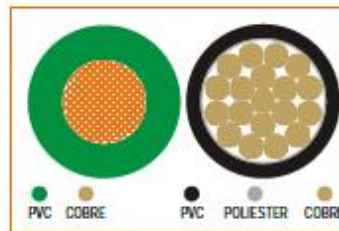
Conexión de tableros y equipos livianos con alto grado de movimiento, conexión de aparatos domésticos e industriales (TFF).

Instalación de baja de vehículos automotores (GPT).

Conexión de luminarias que trabajan a altas temperaturas (AWM).

Alambrado para conexión del sistema de arranque de los motores de combustión interna.

COD: 29, 21+ (AWG o MCM)



EMPAQUE: Rollos de 100, 200 y 300 mts (TFF, THW, GPT) carretas múltiples de 500 mts (SGT).

TEMP. DE OPERACIÓN: 60°C (TFF)
75°C (THW, GPT, SGT), 105°C (Luminarias)

VOLTAJE: 600 Voltios y 50 Voltios (GPT, SGT)

menú

7.1 (CALIBRE 18 Y 16 AWG) 600 VOLTIOS

CODIGO	AWG	# HILOS	DIAM. (mm)	ESP. (mm)	DIAM (mm).	COBRE KG/KM	PVC KG/KM	TOTAL APROX	CAPAC CORR. (AMP)
2022	22	7	0,76	0,51	1,80	2,99	3,3	6,29	6
2020	20	10	0,94	0,76	2,48	4,6	5,9	10,5	8
2018	18	16	1,19	0,76	2,74	7,4	6,9	14,3	10
2016	16	26	1,50	0,76	3,04	11,9	8,1	20	13
2014	14	41	1,88	0,76	3,44	18,8	9,8	28,6	18
2012	12	65	2,36	0,76	3,94	29,9	12,1	42	25
2010	10	104	3,00	0,76	4,54	47,8	14,8	62,6	30

7.2 CABLES TIPO TFFN 600 V. 90 °C

CODIGO	AWG	# HILOS	DIAM. (mm)	ESP. AISLAM (mm)	DIAM (mm).	ESP CHAQ (mm)	DIAM CHAQ. (mm)	COBRE KG/KM	PVC KG/KM	TOTAL APROX
7718	18	16	1,19	0,38	1,97	0,10	2,29	7,4	2,61259	11
7716	16	26	1,50	0,38	2,28	0,10	2,59	11,9	3,12596	16

7.3 CABLE FLEXIBLE TIPO VEHÍCULO (GPT) 50 VOLTIOS

CODIGO	AWG	# HILOS	DIAM. COND (mm)	ESP. (mm)	DIAM AISLAM. (mm).	COBRE KG/KM	PVC KG/KM	TOTAL APROX	RES. ELECT. ohm/Km
2222	22	7	0,76	0,58	1,76	3,2	2,88	6,08	49,58
2220	20	10	0,94	0,58	1,97	4,6	3,53	8,13	34,71
2218	18	16	1,19	0,58	2,23	7,4	4,29	11,69	21,69
2216	16	26	1,5	0,58	2,51	11,9	5,04	16,94	13,35
2214	14	41	1,88	0,58	2,98	18,8	6,79	25,59	8,46
2212	12	65	2,36	0,66	3,62	29,9	9,71	39,61	5,34
2210	10	104	3,00	0,79	4,51	47,8	14,85	62,65	3,34
2208	08	168	3,66	0,94	5,20	77,11	17,48	94,59	2,07

ANEXO N. FICHA TÉCNICA RELEVOS

27 

Relés Miniatura RQ - T



Referencias

Relés RQE - T de 1, 2 y 4 contactos

RQE 1 0N(T)	Relé miniatura estándar, 1, 2 o 4 contactos inversores, 16-10.5 A.	VDC	6/12/24	48-110-115	220
RQE 2 0N(T)		VAC	6/12/24/48	110/120-220/230	
RQE 4 0N(T)					
RQE 1 0L(T)	Relé miniatura estándar, 1, 2 o 4 contactos inversores, 16-10.5 A., con led	VDC	6/12/24	48-110-115	220
RQE 2 0L(T)		VAC	6/12/24/48	110/120-220/230	
RQE 4 0L(T)					

Relés RQS - T de 1, 2 y 4 contactos, con botón de prueba

RQS 1 0N(T)	Relé miniatura estándar, 1, 2 o 4 contactos inversores, 16-10.5 A con botón de prueba.	VDC	6/12/24	48-110/115	220
RQS 2 0N(T)		VAC	6/12/24/48	110/120-220/230	
RQS 4 0N(T)					
RQS 1 0L(T)	Relé miniatura estándar, 1, 2 o 4 contactos inversores, 16-10.5 A. con led y botón de prueba.	VDC	6/12/24	48-110/115	220
RQS 2 0L(T)		VAC	6/12/24/48	110/120-220/230	
RQS 4 0L(T)					

Características

Relé miniatura de potencia de aplicación general. Disponible en 1 y 2 contactos inversores con intensidad máx. 16 A-230 VAC / 30 VDC y 10 A - 250 VAC / 30 VDC y en 4 contactos inversores con intensidad máx 5 A - 250 VAC / 30 VDC. (AC1/DC1). Potencia nominal DC 0.9 W & AC 1.5 VA. Disponible con led para relés AC y DC. Diodo disponible sólo en DC. Pequeño y con alta sensibilidad. Estructura racional y amplitud de aplicaciones. En 1 y 2 contactos patillaje industrial plug-in faston (4.8 mm). En 4 contactos patillaje industrial plug-in faston (2.6 mm). Homologación: CE, UL.

Contactos

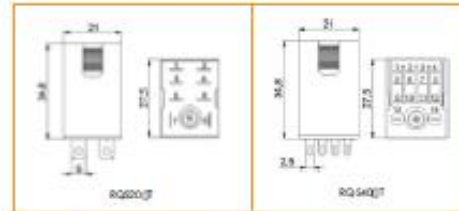
Distribución en contactos	1C, 2C y 4C
Carga máxima	1C: 400 VA / 480 W
	2C: 250 VA / 300 W
	4C: 125 VA / 150 W
Tensión máxima	250 VAC, 30 VDC
Intensidad máxima	16 A, 10 A, 5 A AC1/DC1
Resistencia en contactos	≤ 30 mΩ
Materiales de contactos	Aleación de plata

Tipos de bobina

Volaje nominal VDC	6	12	24	48	115	220
Resistencia (2±2%)	40	140	400	3000	11000	42000
Volaje nominal VAC	6	12	24	48	120	230
Resistencia (2±2%)	11.5	40	140	400	3900	13000

Valores de bobina

	VDC	VAC 50Hz
Campo de funcionamiento	0.75 - 1.1Un	0.8 - 1.1Un
Tensión de desconexión	≥ 10% Un	≥ 30% Un



Especificaciones

Vida eléctrica	≥ 10 ⁶ ciclos
Vida mecánica	≥ 10 ⁷ ciclos
Resistencia de aislamiento	≥ 1000 MΩ (500 VDC)
Tiempo de operación	≤ 20 ms
Tiempo de reposición	≤ 15 ms
Rigidez dieléctrica a 1 mA en 1 y 2 C	2.000 VAC / 1 min. (entre bobina y contactos)
	1.000 VAC / 1 min. (entre contactos abiertos)
Rigidez dieléctrica a 1 mA en 4 C	1.800 VAC / 1 min. (entre bobina y contactos)
	1.000 VAC / 1 min. (entre contactos abiertos)
Resistencia a la vibración	10 - 50 Hz (doble amplitud 1,5 mm)
Resistencia al golpe	10 G
Temperatura de trabajo	-40° C + 65° C
Humedad relativa	35% - 85% RH
Presión atmosférica	86 - 106 kPa
Peso	40 gr.
Unidades de embalaje	20

ANEXO O. FICHA TÉCNICA BOMBA VACIO PROSET

cps

PRO-SET® VACUUM PUMPS

SINGLE AND DOUBLE STAGE VACUUM PUMPS

Dual voltage design vacuum pump operations on 115 VAC or 230 VAC (50 or 60Hz). Advanced two-stage design pulls deep vacuum fast to 15 microns. Single stage design pulls vacuum fast to 100 microns. *Tap into rooftop power with an optional 230VAC jumper cable (VPXJ220).



Model	VP2S	VP3S	VP6S	VP2D	VP3D	VP6D
Free Air Displacement	1.9 CFM @ 60Hz 45 l/m @ 50Hz	3.15 CFM @ 60Hz 75 l/m @ 50Hz	6.25 CFM @ 60Hz 148 l/m @ 50Hz	1.9 CFM @ 60Hz 45 l/m @ 50Hz	3.15 CFM @ 60Hz 75 l/m @ 50Hz	1.9 CFM @ 60Hz 45 l/m @ 50Hz
Motor Dual Voltage (115/230 VAC 50/60 Hz)	1/4hp-1440 rpm (60Hz) 1720 rpm (50Hz)	1/3hp-1440 rpm (60Hz) 1720 rpm (50Hz)	1/2hp-2880 rpm (60Hz) 3440 rpm (50Hz)	1/4hp-1440 rpm (60Hz) 1720 rpm (50Hz)	1/3hp-1440 rpm (60Hz) 1720 rpm (50Hz)	1/2hp-1440 rpm (60Hz) 3440 rpm (50Hz)
Ultimate Vacuum	100 microns	100 microns	100 microns	15 microns	15 microns	15 microns
Intake Ports (male flare)	1/4", 3/8" & 1/2" ACME	1/4", 3/8" & 1/2" ACME	1/4", 3/8" & 1/2" ACME	1/4", 3/8" & 1/2" ACME	1/4", 3/8" & 1/2" ACME	1/4", 3/8" & 1/2" ACME
Oil Capacity	12 oz./350 ml	12 oz./350 ml	17 oz./500 ml	12 oz./350 ml	15 oz./450 ml	15 oz./450 ml
Dimensions	14 x 6.75 x 11.25	14 x 6.75 x 11.25	15.25 x 7 x 11.25	14 x 6.75 x 11.25	15.25 x 7 x 11.25	15.25 x 7 x 11.25
Shipping Weight	14.37 lb	16.58 lb	22.11 lb	19.90 lb	25.42 lb	26.53 lb

ANTI SIPHON VALVE KITS

The CPS patent pending anti-siphon valve is an essential accessory to any vacuum pump application. The anti-siphon valve prevents the cross-contamination of vacuum pump oil and the compressor oil in the A/C or refrigeration system being serviced. Mixing of vacuum pump oil and compressor oil can cause premature failure in the A/C or refrigeration system. CPS makes three models that fit all CPS and other brands of vacuum pumps.



ANEXO P. FICHA TÉCNICA FILTRO DANFOSS 032

21/05/12

023Z5035 - Especificaciones de producto - Danfoss



023Z5035

Optimizado para HFC con aditivos de aceites poliéster (POE) ó polialquiglicol (PAG), 100% Molecular Sieve de 3Å. Rango de temperatura: -40°C - +70°C. Máx. presión de trabajo: 42 bar

> Especificaciones de producto

> Fotos (2)

> Homologaciones y certificaciones (1)

> Selección de códigos

> Etiquetas de producto (3)

Características	Valor
Tipo	DML 032
Peso	0.176 [kg]
Capacidad ácido [g]	0,58 g
Capacidad ácido [oz]	0,021 oz
Homologación	UL
Conexión material	ACERO
Tamaño núcleo	03 cu.in.
EAN number	5702428155786
Filtro/diseño del agujero	0
Tamaño de conexión de entrada [in]	1/4 IN
Tamaño de conexión de entrada [mm]	6 MM
Tipo conex. entrada	Roscar
Máx. presión de trabajo [bar]	46,0 bar
Máx. pres. trabajo	667 psig
Volumen neto [fluid oz]	1,28 foz US
Volumen neto [l]	0,038 l
Tamaño de conexión de salida [in]	1/4 IN
Tamaño de conexión de salida [mm]	6,0 mm
Tipo conex. salida	Roscar
Formato pack	Multi pack
Product description	Filtro secador en línea de líquido
Cantidad por pack	32 pc
Refrigerante(s)	HCFC
Refrigerante(s)	HFC
Volumen de carcasa [foz US]	2,71 foz US
Volumen de carcasa [l]	0,08 l
Superficie de núcleo sólido [cm2]	82 cm2
Superficie de núcleo sólido [in2]	12,71 in2
Solid core volume [cm3]	41 cm3
Solid core volume [in3]	2,50 in3
Rango de temperatura [°C]	-40 - 70 °C
Rango de temperatura [°F]	-40 - 160 °F
Designación tipo	DML 032

ANEXO Q. FICHA TÉCNICA AGUA TIPO 1

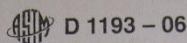


TABLE 1 Processes for Reagent Water Production

Type	Grade	Production Process ^{A,B,C,D}	$\mu\text{S/cm}^E$ (max)	$\text{M}\Omega\text{-cm}^F$ (min)	pH ^G	TOC $\mu\text{g/L}^H$ (max)	Sodium $\mu\text{g/L}^I$ (max)	Chloride $\mu\text{g/L}^J$ (max)	Total Silica $\mu\text{g/L}$ (max)	HBC ^K cfu/mL (max)	Endotoxin, EU/mL ^L (max)
I		Purify to 20 $\mu\text{S/cm}$ by dist. or equiv., followed by mixed bed DI, 0.2 μm filtration ^A	0.0555	18		50	1	1	3		
I	A	Purify to 20 $\mu\text{S/cm}$ by dist. or equiv., followed by mixed bed DI, 0.2 μm filtration ^A	0.0555	18		50	1	1	3	10/1000	0.03
I	B	Purify to 20 $\mu\text{S/cm}$ by dist. or equiv., followed by mixed bed DI, 0.2 μm filtration ^A	0.0555	18		50	1	1	3	10/100	0.25
I	C	Purify to 20 $\mu\text{S/cm}$ by dist. or equiv., followed by mixed bed DI, 0.2 μm filtration ^A	0.0555	18		50	1	1	3	100/10	
II		Distillation ^B	1.0	1.0		50	5	5	3		
II	A	Distillation ^B	1.0	1.0		50	5	5	3	10/1000	0.03
II	B	Distillation ^B	1.0	1.0		50	5	5	3	10/100	0.25
II	C	Distillation ^B	1.0	1.0		50	5	5	3	100/10	
III		Distillation, DI, EDI, and/or RO, followed by 0.45 μm filtration. ^C	0.25	4.0		200	10	10	500		
III	A	Distillation, DI, EDI, and/or RO, followed by 0.45 μm filtration. ^C	0.25	4.0		200	10	10	500	10/1000	0.03
III	B	Distillation, DI, EDI, and/or RO, followed by 0.45 μm filtration. ^C	0.25	4.0		200	10	10	500	10/100	0.25
III	C	Distillation, DI, EDI, and/or RO, followed by 0.45 μm filtration. ^C	0.25	4.0		200	10	10	500	1000/100	
IV		Distillation, DI, EDI, and/or RO. ^D	5.0	0.2	5.0 to 8.0		50	50			
IV	A	Distillation, DI, EDI, and/or RO. ^D	5.0	0.2	5.0 to 8.0		50	50		10/1000	0.03
IV	B	Distillation, DI, EDI, and/or RO. ^D	5.0	0.2	5.0 to 8.0		50	50		10/100	0.25
IV	C	Distillation, DI, EDI, and/or RO. ^D	5.0	0.2	5.0 to 8.0		50	50		100/10	

^A Type I grade of reagent water shall be prepared by distillation or other equal process, followed by polishing with a mixed bed of ion-exchange materials and a 0.2- μm membrane filter. Feed water to the final polishing step must have a maximum conductivity of 20 $\mu\text{S/cm}$ at 298K (25°C). Type I reagent water may be produced with alternate technologies as long as the appropriate constituent specifications are met and that water so produced has been shown to be appropriate for the application where the use of such water is specified.

^B Type II grade of reagent water shall be prepared by distillation using a still designed to produce a distillate having a conductivity of less than 1.0 $\mu\text{S/cm}$ at 298 K (25°C). Ion exchange, distillation, or reverse osmosis and organic adsorption may be required prior to distillation, if the purity cannot be attained by single distillation. Type II reagent water may be produced with alternate technologies as long as the appropriate constituent specifications are met and that water so produced has been shown to be appropriate for the application where the use of such water is specified.

^C Type III grade of reagent water shall be prepared by distillation, ion exchange, continuous electrodeionization, reverse osmosis, or a combination thereof, followed by polishing with a 0.45- μm membrane filter. Type III reagent water may be produced with alternate technologies as long as the appropriate constituent specifications are met and that water so produced has been shown to be appropriate for the application where the use of such water is specified.

^D Type IV grade of reagent water may be prepared by distillation, ion exchange, continuous electrodeionization, reverse osmosis, electro dialysis, or a combination thereof. Type IV reagent water may be produced with alternate technologies as long as the appropriate constituent specifications are met and that water so produced has been shown to be appropriate for the application where the use of such water is specified.

^E Electrical conductivity at 25°C.

^F Electrical resistivity at 25°C.

^G pH at 25°C, not applicable to higher resistivity waters.

^H Total organic carbon.

^I Sodium.

^J Chloride ion.

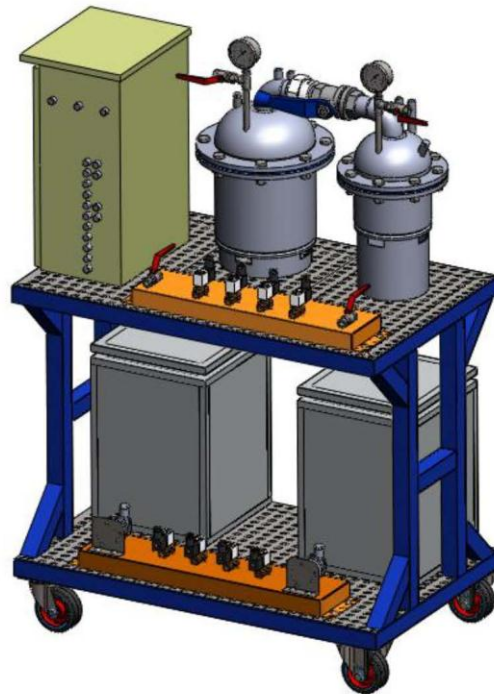
^K Heterotrophic bacteria count.

^L Endotoxin in endotoxin units per mL.

ANEXO R. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

PROTOTIPO MAQUINA REFRIGERACION ABSORTIVA
UTILIZANDO EL PAR BROMURO DE LITIO Y AGUA ($\text{BrLi} + \text{H}_2\text{O}$)



Bucaramanga, Santander 2012



TABLA DE CONTENIDO

1.	INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD	3
1.1.	INSTRUCCIONES GENERALES	3
1.2.	CONDICIONES DE CONEXIÓN	4
1.2.1.	CONEXIONES ELECTRICAS	4
1.2.2.	CONEXION DE AGUA Y DRENAJE	4
2.	ESPECIFICACIONES TECNICAS	4
2.1.	CARACTERISTICAS GENERALES	4
2.2.	DIMENSIONES DEL EQUIPO	5
2.3.	LOCALIZACION DE LOS COMPONENTES EN EL PROTOTIPO	6
2.4.	SUB-SISTEMAS	7
2.4.1.	SUB-SISTEMA DE REFRIGERACION	7
2.4.2.	SUB-SISTEMA FUENTE DE ENERGIA	8
2.4.3.	SUB-SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA	9
2.4.4.	SUB-SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL	9
2.5.	ESQUEMA ELECTRICO	12
2.6.	ESQUEMA HIDRAULICO	14
2.7.	ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO	16
3.	PROCEDIMIENTO DE OPERACION	21
3.1.	INSPECCION DEL EQUIPO	21
3.2.	PUESTA EN MARCHA	22
3.2.1.	ETAPA DE EVAPORACION/ABSORCION	22
3.2.2.	ETAPA DE GENERACION/CONDENSACION	23
3.2.3.	CICLO DE TRANSICION	24
4.	MANTENIMIENTO	24
4.1.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	25
4.1.1.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL TABLERO DE CONTROL	25
4.1.2.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO SISTEMA HIDRÁULICO	25
4.2.	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	26
4.3.	PIEZAS DE RECAMBIO	27

1. INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Es muy importante que antes de operar la maquina se realice la lectura minuciosa del manual de operación y mantenimiento. Si realizamos una adecuada instalación, se lleva a cabo el plan de mantenimiento y se opera según los manuales, la maquina no presentara problemas de ningún tipo.

El plan de mantenimiento va relacionado directamente con la buena operación de la misma, ya que el estudiante deberá entender y conocer las precauciones de seguridad antes de usarla.

1.1. INSTRUCCIONES GENERALES

Verificar que la maquina se encuentre libre de sustancias y artículos extraños para evitar alteraciones en su funcionamiento y fallas.

Estar seguro de que todos los sistemas y componentes se encuentren en su estado y posición óptima para comenzar a operar.

La máquina debe trabajar a temperatura ambiente y sin la presencia de factores externos tales como el contacto directo con la luz solar.

Comprobar que el espacio donde será colocada la maquina cuente con la superficie totalmente plana, ya que de lo contrario esto afectaría a la operación de la misma. Se requiere que el lugar de trabajo cuente con las dimensiones mínimas requeridas que son de 2.00 m de alto, 1.90 m de ancho y 1,55 m de largo.

1.2. CONDICIONES DE CONEXIÓN

1.2.1. CONEXIONES ELECTRICAS

El equipo debe de ser conectado en lo posible sólo a tomas de corriente polarizados. No debe usarse extensiones ni cualquier tipo de adaptador. Revisar que el cable no esté dañado.

El valor medido de la línea de alimentación eléctrica debe ser de 110 voltios a 60 Hz. con toma a tierra.

1.2.2. CONEXION DE AGUA Y DRENAJE

El equipo debe ser conectado a una línea de presión de agua del circuito general, teniendo en cuenta verificarla manguera conectada; el drenaje debe ser en lo posible reutilizable.

De tener la posibilidad de conectar la maquina a un estanque de 1 o más metros cúbicos, realizar la conexión de la forma indicada, permitiendo así la reutilización del agua del drenaje de la máquina.

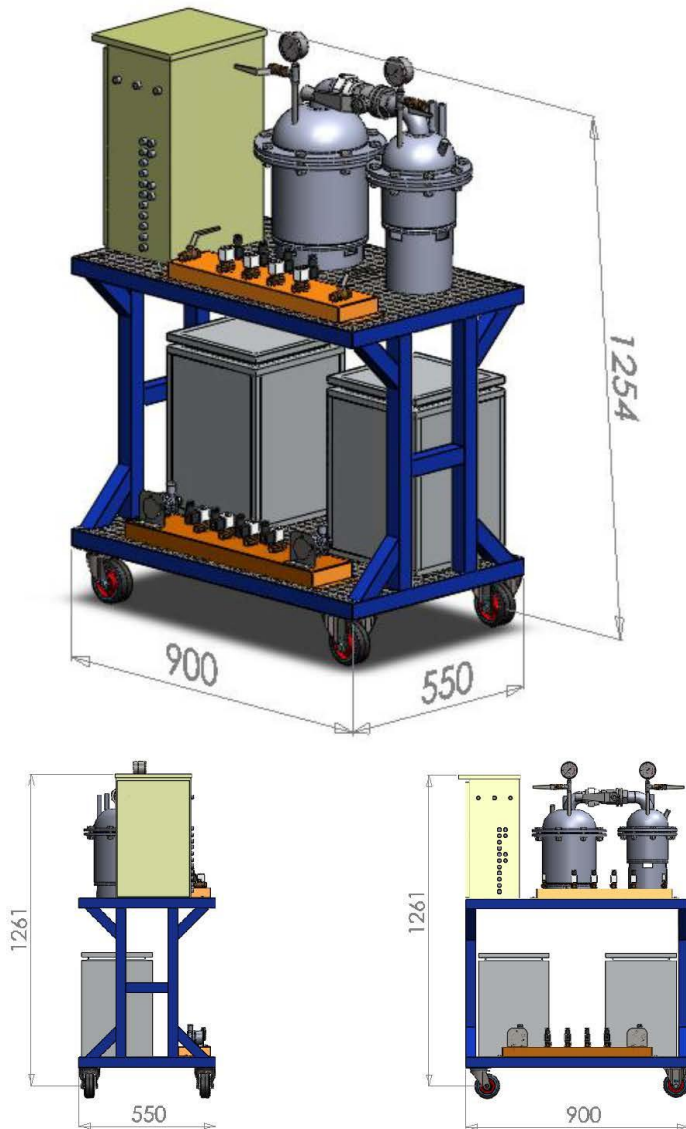
2. ESPECIFICACIONES TECNICAS

2.1. CARACTERISTICAS GENERALES

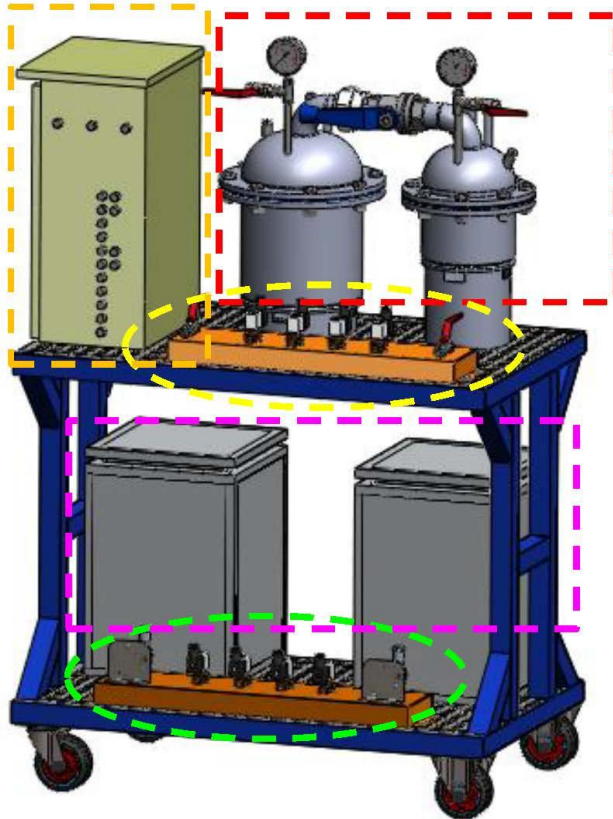
El prototipo cuenta con dos niveles en los cuales se distribuyen los equipos e instrumentos para su manipulación adecuada.

Para la adquisición de datos del equipo se debe contar con un computador en el cual este instalada la plataforma de National Instruments, el programa ADD-RBrLi (programa de adquisición y graficación de datos del prototipo) y configurada la comunicación entre los módulos y el computador. Los módulos utilizados son el FP-1601, FP-TC-120 y el FP-DO-400.

2.2. DIMENSIONES DEL EQUIPO



2.3. LOCALIZACION DE LOS COMPONENTES EN EL PROTOTIPO



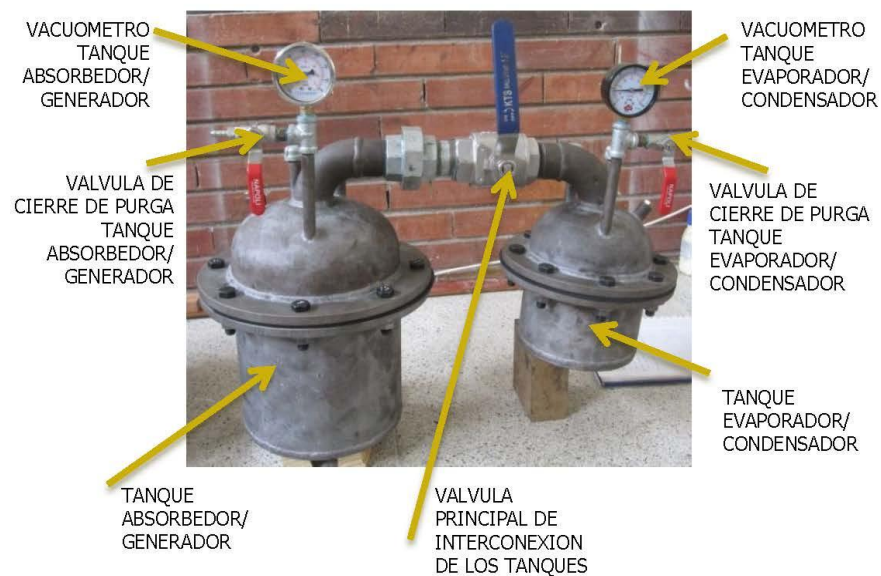
- SUBSISTEMA DE REFRIGERACION
- ENSAMBLE DE VALVULAS NIVEL SUPERIOR
- ENSAMBLE DE VALVULAS NIVEL INFEOR
- TANQUES PROCESO INTERMEDIO - ABASTECIMIENTO DE LOS SERPENTIES
- TABLERO DE CONTROL

2.4. SUB-SISTEMAS

El prototipo se divide en sub-sistemas para así identificar los componentes fundamentales y su importancia en el proceso, estos son:

2.4.1. SUB-SISTEMA DE REFRIGERACION

Compuesto principalmente por los tanques que realizan el proceso de refrigeración, los cuales llevan un aislamiento removible de espuma de polietileno recubierta con una película de polipropileno metalizado. Los tanques se conforman por un cuerpo y una tapa los cuales se montan mediante una brida de 8 tronillos de 1/2"-28 x 2". En las tapas se encuentran los niples de conexión de los diferentes componentes como son, mangueras de serpentín, termopozo y purga de vacío-vacuómetro. Dentro de cada uno de los tanques encontramos los serpentines de cobre son los encargados de conducir el agua que va a ser el trabajo de refrigeración.





Dentro de este sub-sistema se encuentra también la interconexión entre los tanques que proceso principal, compuesta por un niple de 1-1/2" y una unión universal del mismo diámetro.

2.4.2. SUB-SISTEMA FUENTE DE ENERGIA

Su componente es una resistencia eléctrica de 600 W para trabajar a 110V, la cual se encuentra dentro del tanque de almacenamiento de agua del serpentín que circula por el tanque absorbedor/generador, esta es comandada por el Field point y un relé de estado sólido dispuesto en el tablero.



2.4.3. SUB-SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

Son dos tanques, el de almacenamiento de agua del serpentín que circula por el tanque evaporador/condensador y el del serpentín que circula por el tanque absorbedor/generador, compuestos por un recipiente de polietileno de alta densidad, con las conexiones de salida en la parte inferior y de entrada de fluido en la tapa, con CPVC (tubería para altas temperaturas) respectivamente. Llevan un aislamiento térmico y un cuerpo exterior de lámina de aluminio.



2.4.4. SUB-SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL

Los componentes del sistema de monitoreo son:

- los vacuómetros dispuestos en cada uno de los tanques del proceso principal.



- Termopozos: dispuestos en cada uno de los tanques del sistema principal y a su vez en los tanques de almacenamiento de agua.

El sub-sistema de control se constituye por los siguientes elementos:

- Válvulas solenoides: habilitadas de forma que conmuten para realizar cada uno de las etapas del prototipo.
- Tablero de control: caja de conexiones eléctricas donde se encuentra la lógica cableada y se dispone de relevos magnéticos para conmutar la orden de la etapa dispuesta.



En el sub-sistema de control se adjunta la ubicación dispuesta para la configuración de los tres módulos de **Nationals Instruments** (FP-1601; FP-TC-120; FP-DO-400) necesarios para la adquisición de los datos de las Termocuplas y el comando de la resistencia eléctrica del sub-sistema de fuente de calor.



2.5. ESQUEMA ELECTRICO

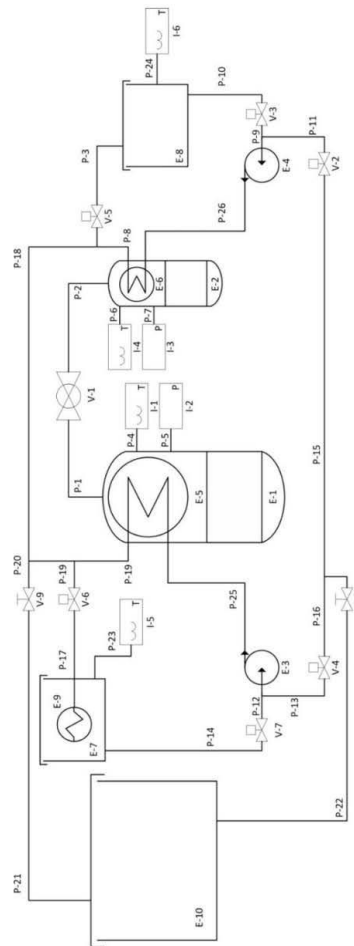
El tablero de conexión cuenta con una entrada de voltaje de 110 v mediante un cable de conexión con un enchufe tipo b.



Lista de equipamiento	
Simbolo	Descripción
S1	Pulsador Star/Stop energizador del tablero
S2	Selector de muletilla para la etapa de refrigeración/absorción
S3	Selector de muletilla para la etapa de generación/condensación
S4	Selector de muletilla para la etapa de transición
K1	Relé electromecánico de 4 contactos inversores
K2	Relé electromecánico de 4 contactos inversores
K3	Relé electromecánico de 4 contactos inversores
K4	Relé electromecánico de 4 contactos inversores
K5	Relé de estado sólido monofásico
V1	Válvula de solenoide
V2	Válvula de solenoide
V3	Válvula de solenoide
V4	Válvula de solenoide
V5	Válvula de solenoide
V6	Válvula de solenoide
V7	Válvula de solenoide
V8	Válvula de solenoide
B1	Bomba hidráulica
B2	Bomba hidráulica
R1	Resistencia eléctrica de 600 w
L1	Luz piloto
L2	Luz piloto
L3	Luz piloto
L4	Luz piloto
L5	Luz piloto
L6	Luz piloto
L7	Luz piloto
L8	Luz piloto
L9	Luz piloto
L10	Luz piloto
L11	Luz piloto
L12	Luz piloto
L13	Luz piloto
L14	Luz piloto
L15	Luz piloto
L16	Luz piloto
L17	Luz piloto
L18	Luz piloto
L19	Luz piloto

2.6. ESQUEMA HIDRAULICO

La interconexión hidráulica de todo el prototipo se realizó con manguera flexible Parker de ¼" de diámetro y racores de acero zincado y bronce según la disposición.



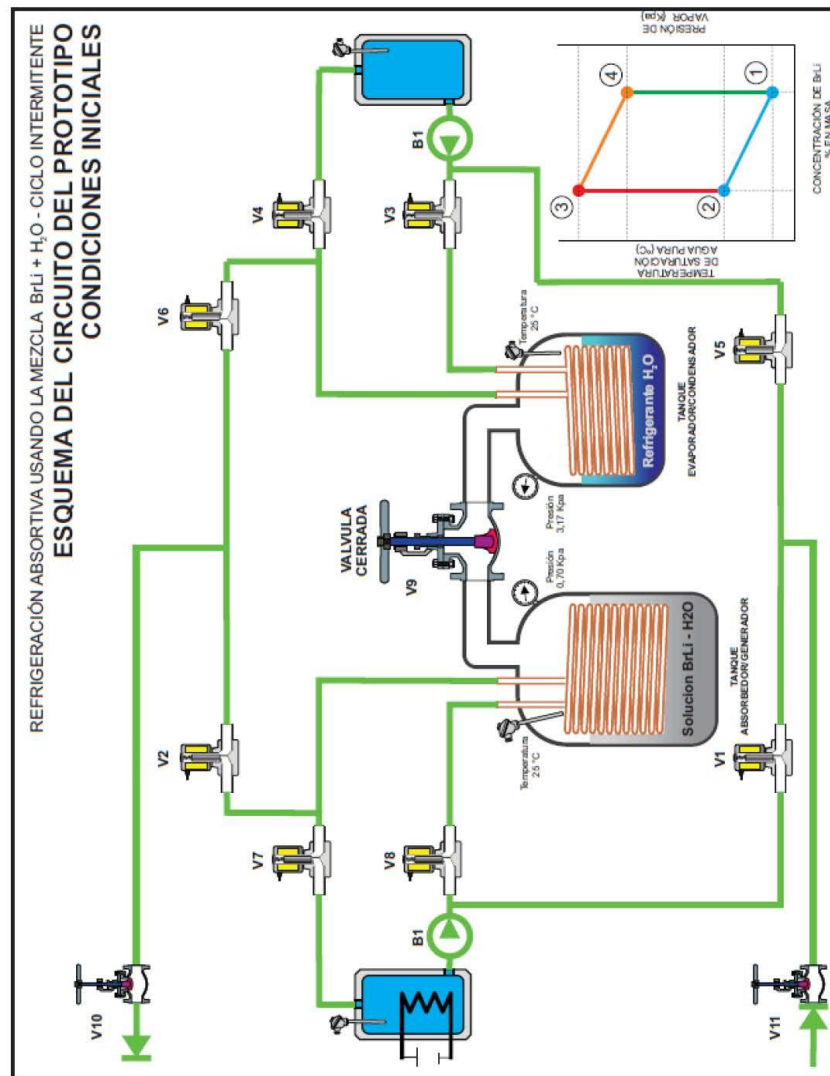
Lista de equipamiento	
Simbolo	Descripción
E-1	Tanque Absorbedor/Generador
E-10	Tanque de suministro general (toma de agua del sistema del lugar)
E-2	Tanque Evaporador/Condensador
E-3	Bomba sistema de abastecimiento del serpentín del absorbedor/generador
E-4	Bomba sistema de abastecimiento del serpentín del evaporador/condensador
E-5	Serpentín del tanque absorbedor/generador
E-6	Serpentín del tanque evaporador/condensador
E-7	Tanque intermedio de abastecimiento del serpentín del absorbedor/generador
E-8	Tanque intermedio de abastecimiento del serpentín del evaporador/condensador
E-9	Resistencia eléctrica de 600 w

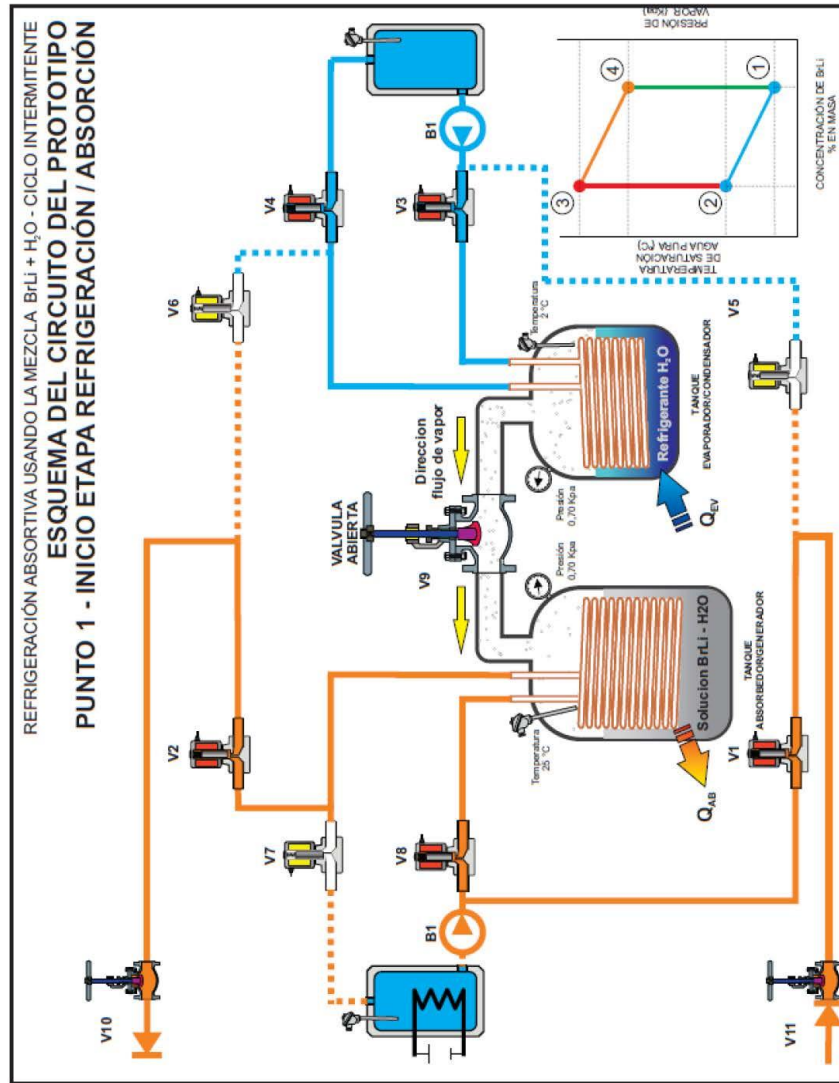
Lista de válvulas			
Simbol o	Descripción	Tamaño de la línea	Clase de válvula
V-1	Valvula principal del proceso	Ø 1-1/2"	Valvula de bola
V-2	Valvula direccionadora según la etapa	Ø 1/4"	Electrovalvula
V-3	Valvula direccionadora según la etapa	Ø 1/4"	Electrovalvula
V-4	Valvula direccionadora según la etapa	Ø 1/4"	Electrovalvula
V-5	Valvula direccionadora según la etapa	Ø 1/4"	Electrovalvula
V-6	Valvula direccionadora según la etapa	Ø 1/4"	Electrovalvula
V-7	Valvula direccionadora según la etapa	Ø 1/4"	Electrovalvula
V-8	Valvula de corte del suministro	Ø 1/4"	Valvula de bola
V-9	Valvula de corte del drenaje	Ø 1/4"	Valvula de bola

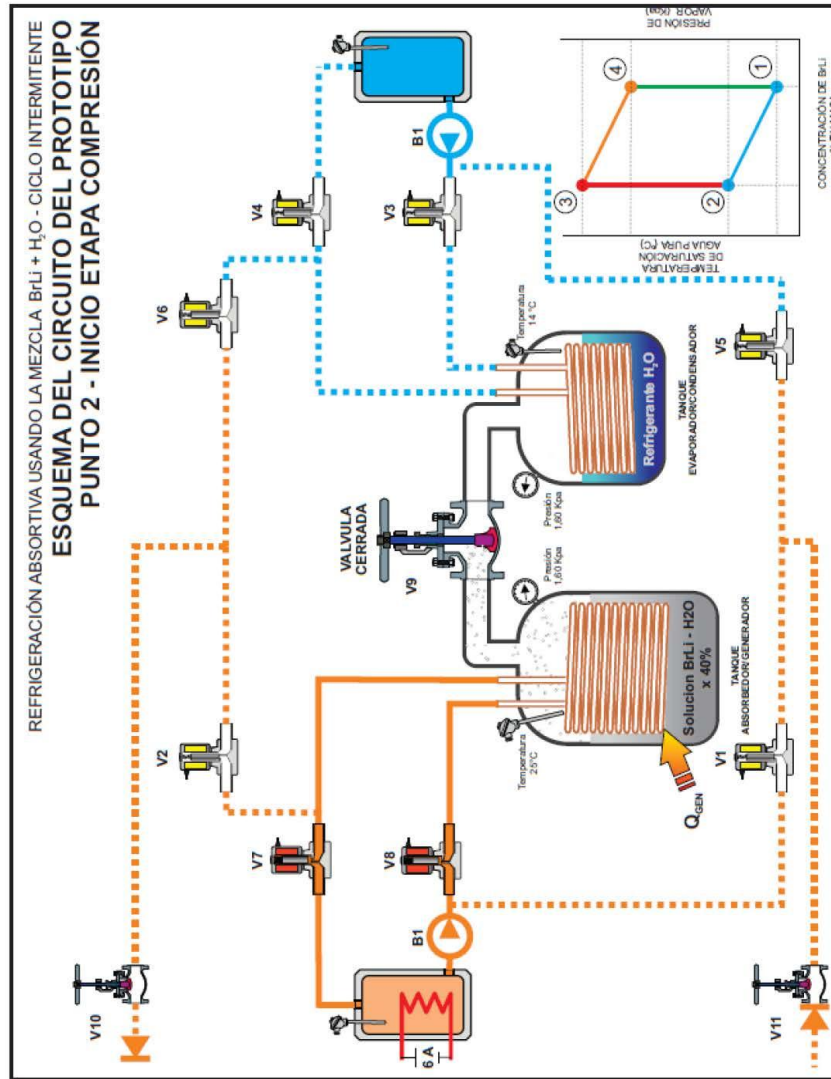
Lista de instrumentos		
Simbolo	Descripción	Ø de conexión
I-1	Termopozo del tanque Absorbedor/generador	Ø 1/4"
I-2	Vacuometro del tanque absorbedor/generador	Ø 1/4"
I-3	Vacuometro del tanque evaporador/condensador	Ø 1/4"
I-4	Termopozo del tanque Evaporador/condensador	Ø 1/4"
I-5	Termopozo tanque abastecimiento del serpentín del evaporador	Ø 1/4"
I-6	Termopozo tanque abastecimiento del serpentín del absorbedor	Ø 1/4"

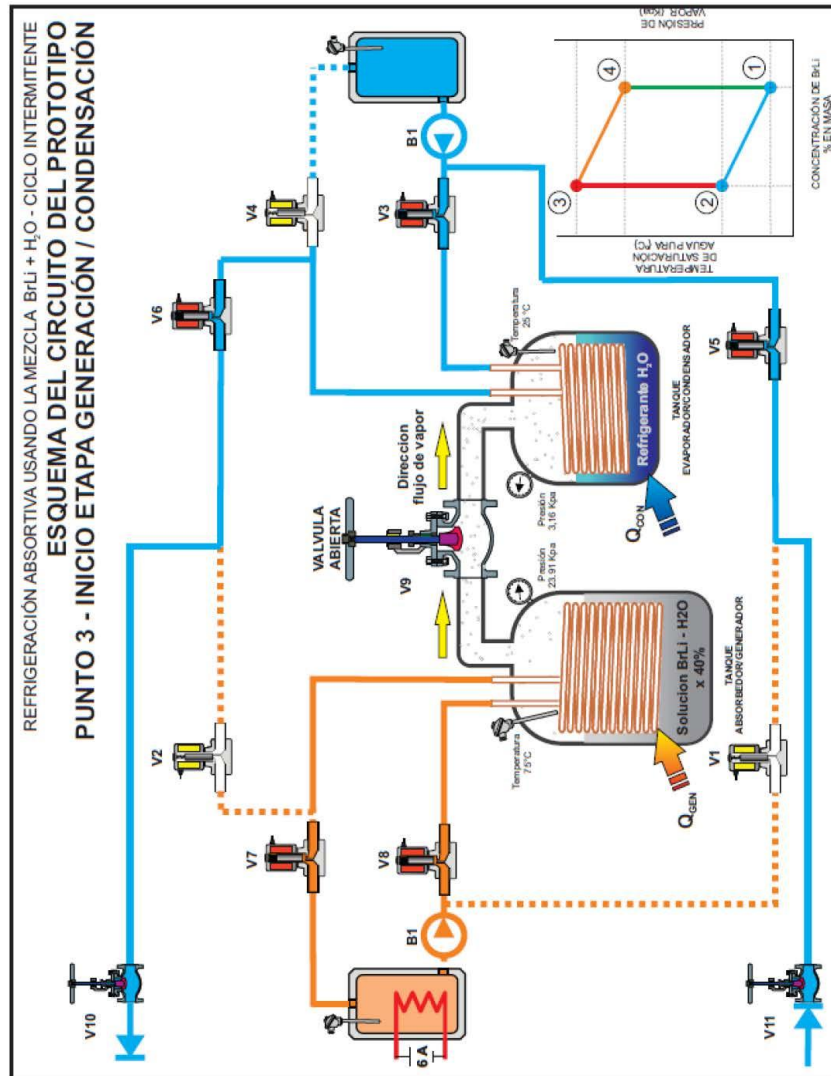
2.7. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

A continuación se muestra los esquemas de operación y proceso de cada una de las etapas del proceso así como su estado en condiciones iniciales.









3. PROCEDIMIENTO DE OPERACION

3.1. INSPECCION DEL EQUIPO

Para comenzar a realizar las pruebas con el prototipo se deben seguir los siguientes pasos de inspección:

- a. Constatar que los frenos de las ruedas del prototipo estén puestos.
- b. Verificar las conexiones de las mangueras y el ajuste de las abrazaderas metálicas en cada punto.
- c. Revisar la posición de la válvula principal que esta se encuentre totalmente cerrada.
- d. Cerciorarse de que tanto el tanque evaporador/condensador como el absorbedor/generador se encuentren sellados, con todos los tornillos de su brida ajustados y el aislante en su lugar.
- e. Observar que ninguno de los selectores de etapa este accionado y que los interruptores de las bombas estén apagados.
- f. Realizar la conexión de alimentación de 12 v del Fieldpoint modulo **FP-1601**.
- g. Confirmar que todas las Termocuplas estén en su puesto y que estén conectadas al Fieldpoint modulo **FP-TC-120** de la siguiente manera:
 - Termopozo del Tanque evaporador/condensador 0-1
 - Termopozo del Tanque absorbedor/generador 2-3
 - Termocupla del Tanque del serpentín absorbedor/generador 4-5
 - Termocupla del Tanque del serpentín evaporador/condensador 6-7
- h. Constatar la conexión del relevo de estado sólido al Fieldpoint modulo **FP-DO-400**.
- i. Revisar los niveles de agua de los tanques de almacenamiento.
- j. Revisar el estado de la bomba de vacío, verificando el nivel de aceite y la ubicación de los filtros en la línea de succión.

3.2. PUESTA EN MARCHA

Con el prototipo de máquina de refrigeración por absorción se realizan las siguientes acciones para su puesta en marcha:

- a. Conectar el tablero de control a la toma de corriente de 110v y energizar el tablero accionando el pulsador principal (S1).
- b. Verificar el cierre de la válvula que conecta los tanques del proceso principal.
- c. Realizar la conexión de la bomba de vacío al tanque evaporador/condensador mediante el racor de espiga dentada y ajustar la abrazadera, realizar la purga del sistema durante **10 minutos**, cerrar la válvula de corte de la bomba, desconectar la manguera y repetir la misma operación para el tanque absorbedor/generador.
- d. Iniciar el programa en la plataforma de LabVIEW.
- e. Verificar el funcionamiento del programa y el sentido de las termocúplas.
- f. Ubicar el set point de la temperatura de operación de la resistencia eléctrica.

3.2.1 ETAPA DE EVAPORACION/ABSORCION

- Tomar los datos de la presión en los vacuómetro del tanque evaporador/condensador y el tanque absorbedor /generador respectivamente.
- Elegir en los selectores de etapa la de refrigeración/absorción, verificando el encendido de las electroválvulas del proceso (ver diagrama adjunto).
- Dar apertura a la válvula de suministro de agua para que circule por el serpentín del tanque absorbedor/generador.
- Abrir la válvula principal para que conecte los tanques principales y así dar inicio al proceso.
- Revisar el estado de los vacuómetro y temperaturas durante el proceso.

- Dar en el programa de LabVIEW el set point de 80 °C a la temperatura de la fuente de calor y así comenzar el proceso de elevar la temperatura del tanque del serpentín del tanque absorbedor/generador.
- Terminado el proceso:
 - Cerrar la válvula principal de interconexión de los tanques.
 - Retroceder el selector de la etapa de refrigeración/absorción.
 - Tomar los datos de la presión en los vacuómetros.
 - Cerrar la válvula de suministro de agua.

3.2.2. ETAPA DE GENERACION/CONDENSACION

- Tomar los datos de la presión en los vacuómetro del tanque evaporador/condensador y el tanque absorbedor /generador respectivamente.
- Elegir en los selectores de etapa la de generación/condensación, verificando el encendido de las electroválvulas del proceso (ver diagrama adjunto).
- Encender la bomba número 2, la encargada de hacer circular el agua que va a la temperatura de 80°C aproximadamente por el serpentín del tanque absorbedor/generador y esperar que la temperatura del tanque absorbedor/generador suba hasta 75°C.
- Dar apertura a la válvula de suministro de agua para que circule por el serpentín del tanque evaporador/condensador.
- Abrir la válvula principal para que conecte los tanques principales y así dar inicio al proceso.
- Revisar el estado del vacuómetro del tanque absorbedor/generador durante el proceso.
- Abrir la válvula principal y tomar los datos de presión en cada uno de los vacuómetro de los tanques.
- Revisar el estado de los vacuómetros y temperaturas durante el proceso.
- Terminado el proceso:
 - Tomar los datos de los vacuómetros en los tanques.

- Apagar la bomba número 2.
- Cerrar la válvula principal de interconexión de los tanques.
- Retroceder el selector de la etapa de refrigeración/absorción.
- Tomar los datos de la presión en los vacuómetros.
- Cerrar la válvula de suministro de agua.

3.2.3. CICLO DE TRANSICION

- Tomar los datos de la presión en los vacuómetro del tanque evaporador/condensador y el tanque absorbedor /generador respectivamente.
- Elegir en los selectores de etapa la de transición, verificando el encendido de las electroválvulas del proceso (ver diagrama adjunto).
- Dar apertura a la válvula de suministro de agua para que circule por los serpentines de los tanques del proceso de refrigeración, dejar que las temperaturas se igualen.
- Revisar el estado de los vacuómetros durante el proceso.
- Terminado el proceso:
 - Tomar los datos de los vacuómetros en los tanques.
 - Retroceder el selector de la etapa de transición.
 - Tomar los datos de la presión en los vacuómetros.
 - Cerrar la válvula de suministro de agua.

4. MANTENIMIENTO

Las recomendaciones dispuestas en este documento contribuyen a la conservación del prototipo, que a su vez con una operación adecuada prolongaran la vida útil del mismo.

4.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Es el destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante realización de revisiones y reparaciones que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad, el mantenimiento preventivo se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento.

- Revisar el estado de las termocúplas, su ubicación y conexión al proceso, el cable debe estar desenredado y no debe tener contacto con ninguna superficie húmeda.
- Realizar una inspección del estado de los empaques de neopreno y constatar que no estén cristalizados, de ser así se debe realizar su cambio.

4.1.1 Mantenimiento preventivo del tablero de control

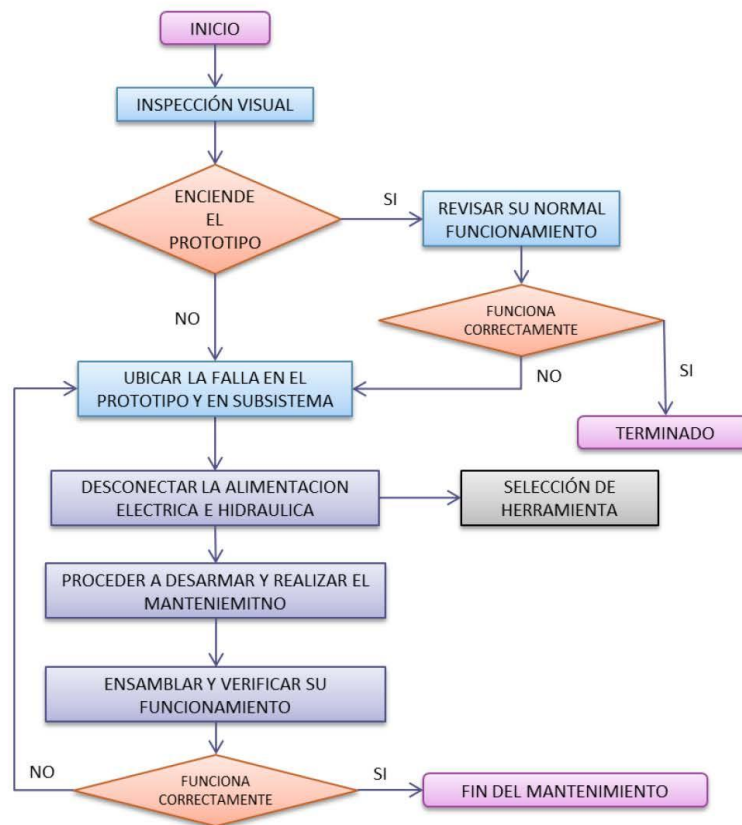
- Se realizara una inspección física corrigiendo el apriete de la tornillería, utilizando la herramienta adecuada para evitar dañar la cabeza de los tornillos. Se debe tener precaución en la fuerza del apriete y el torque adecuado para no dañar las roscas ni los tornillos. Si se detecta algún tornillo dañado debe ser reemplazado en el momento.
- Se debe realizar el acomodo adecuado de los cables en el interior del tablero cuidando que no se raspen o se dañen los aislantes de los mismos, al terminar ubicar la tapa de cada sección de canaleta.
- Se realizara una limpieza interior del tablero con una brocha o sopladora, y para finalizar se verifica la señalización del tablero y una inspección de que no quede ninguna herramienta antes de cerrar el cofre.

4.1.2 Mantenimiento preventivo sistema hidráulico

- Se debe revisar el nivel en forma visual de los tanques de proceso intermedio para detectar disminuciones y posibles fugas. El tanque que contiene la fuente de calor su nivel debe encontrarse sobre el de la resistencia, de ser lo contrario agregar más agua al sistema.
- Se deben inspeccionar de forma física todos los acoples de las mangueras, y corregir el ajuste de los tornillos de apriete de las abrazaderas metálicas.

4.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

En esta sección se busca implementar un diagrama de procedimiento en caso de presentarse una falla o una avería en el prototipo, esta le servirá de guía para la organización de sus acciones durante la ejecución del mantenimiento.



	CAUSA	DESARROLLO
Falta de Hermeticidad	Mal apriete de los tornillos de ensamble de la tapa al cuerpo del tanque	Realizar el apriete adecuado a cada uno de los tornillos de ensamble de la tapa al cuerpo del tanque
	Cristalización o fisuras en el empaque de neopreno	Desmante de la tapa del tanque y cambio del empaque.
	Fugas en uniones roscadas	Realizar la inspección visual, desmontar limpiar las partes y aplicar la traba química para realizar el montaje.
Fugas de Agua en las conexiones	Mal ajuste de las abrazaderas metálicas	Revisar las abrazaderas, su apriete y si es necesario realizar su cambio
	Mal apriete de las uniones roscadas	Desmontar, aplicar teflón en la unión y realizar el apriete.
	Fisuras en la manguera	Realizar el cambio de la línea
Falta de energía en el tablero de control	Cortes en el cable de alimentación eléctrica	Revisión y cambio o empalme de la línea rota
	Desajuste en la toma eléctrica	Desarmar y revisar el ajuste y conexión del cable a los terminales de la toma eléctrica
Emulsificación del aceite de la bomba	Mal funcionamiento de los filtros	Revisar el funcionamiento de los filtro y realizar el cambio del que se encuentre averiado

4.3. PIEZAS DE RECAMBIO

Las piezas que componen todo el prototipo se listan a continuación.

ITEM	DESCRIPCION	CANT	DEN
A SISTEMA ELECTRICO			
1	Electrovalvula Ø 1/4 V110VAC	8	und
2	Rele de 14 pines, 4 contactos conmutables	4	und
3	Base para rele de 14 pines, montaje en riel DIN	4	und
4	Riel DIN 1m x 35mm x 1mm	1	und
5	Selector de muletilla, 2 posiciones	3	und
6	Lampara de señalizacion, tipo LED, Voltaje 220VCA/60Hz, Ø16mm colores	17	und
7	Interruptor STAR/STOP	1	und
8	Prensacables plastico, con contratuerca Tipo PG	11	und
9	Amarres plasticos	1	pqt
11	Tablero caja metalica 50x30x20	1	und
12	Cable encauchetado 2x16	15	m
13	Bomba electrica 110V - caudal de 20 Lpm	2	und
14	Cable encauchetado 2x14	4	m
15	Cable vehiculo Calibre 18	16	m
16	Aisladores electricos tipo soporte	4	und
17	Platina de cobre 12x2	30	cm
18	Terminales aislados de horqueta 1/8"	120	und
19	Terminales de ojo aislados 1/8"	40	und
20	Terminales de punta solida aislados 1/8"	40	und
21	Enchufe tipo b	1	und
22	Tornillos CH 1/4"x1/2" con tuerca y arandela	3	und
23	Canaleta ranurada 25X40	1	und
24	Regletas de conexión	2	und
25	Rele de estado solido 25A	1	und
26	Disipador de rele de estado solido	1	und
27	Canaleta 25x40	1	und
28	Marcadores tipo anillos	1	pqt
B TANQUES DE PROCESO INTERMEDIO			
29	Recipiente plastico □ 24 x 24 x 37 cm con tapa	2	und
30	Lamina aluminio liso 1m x XX Espesor 0.35 mm	1,7	m
31	Lamina Fibra de Vidrio AW aislante 1 m de ancho una cara metalizada	1	und
32	Lamina madera 30 x 30 x 1,5 cm	6	und
33	Tornillo punta de broca 1/4"	50	und
34	Empaque de 25x5	5	m

35	Apoyos tubería madera 3,5 x 3,5 x 2 cm	6	und
36	Adaptador hembra CPVC Ø 1/2" (in/out)	4	und
37	Union CPVC Ø 1/2"	3	und
38	Tubería CPVC Ø 1/2"	300	mm
39	Soldadura líquida Tubería PVC	1	und
40	Limpiador Tubería PVC	1	und
41	Listón de madera □ 15x15 mm x 357 mm	4	und
42	Reducción Ø 1/2" macho a Ø 1/4" hembra Galvanizado	2	und

C	TANQUES DE PROCESO PRINCIPAL		
43	Tubería Ø6" Sch 40 Acero al Carbono	110	mm
44	Tubería Ø8" Sch 40 Acero al Carbono	200	mm
45	Tapon Capa tubería Ø8" Sch 40 Acero al Carbono	1	und
46	Tapon Capa tubería Ø6" Sch 40 Acero al Carbono	1	und
47	Brida tubería Ø6" Lam. CR Cal. 1/2" (Maquinadas)	2	und
48	Brida tubería Ø8" Lam. CR Cal. 1/2" (Maquinadas)	2	und
49	Lamina Cal. 1/2" x Ø 170 mm	1	und
50	Lamina Cal. 1/2" x Ø 200 mm	1	und
51	Codo 90° Radio Corto de Ø 1-1/2" Sch 40 Acero al Carbono	2	und
52	Niple Ø 1-1/2" x 60 mm long (un lado roscado) Acero al Carbono	2	und
53	Niple Ø 1/4" x 60mm long (rosca x1 lado -soldar x otro) Acero al Carbono	2	und
54	Acople hembra Ø 1/4" Acero al Carbono	2	und
55	Niple Ø 3/8" x 150 mm long (rosca en ambos lados) Acero al Carbono	4	und
56	Tee Ø 1/4"	2	und
57	Niple Ø 1/4" todo rosca, Bronce	2	und
58	Valvula bola Ø 1/4"	2	und
59	Tubería flexible de cobre Ø 1/4"	35	m
60	Union Ø 1/4" Cobre (liso)	1	und
61	Tornillos G8 Ø 1/2" X 2" con tuerca y arandela	16	und
62	Valvula de bola Ø 1-1/2" Roscar INOX	1	und
63	Reducción Bronce hembra Ø3/8" a Ø1/4" flexible Cobre	4	und
64	Empaque de Neopreno Ø 6"	1	und
65	Empaque de Neopreno Ø 8"	1	und
66	Soldadura de tanques	2	und
67	Racor de manguera con rosca hembra y espiga dentada	2	und
68	Racor de manguera con rosca macho y espiga dentada	2	und
71	Soldadura de bronce	4	und
D	SISTEMA DE TUBERIAS DE AGUA		
72	Manguera Ø 1/4"	9	m

73	Racor de manguera con rosca y espiga dentada	20	und
74	Reducción Ø1/2" macho a Ø1/4" galvanizada	2	und
75	Tee Ø 1/4" Espiga dentada	4	und
76	Abrasaderas Ø 1/4" metalicas	60	und
77	Valvula de paso Ø 1/4"	2	und
78	Grapas metralicas de 3/8"	4	und
79	Tornillo 1/4"x1/2" con tuerca y arandela	8	und

E	ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO		
80	Lamina Alfajor Aluminio 1000 x 2000 mm Espesor 1mm	1	und
81	Tubo cuadrado 1-1/2" Espesor de 1,5 mm	12	m
82	Rueda fija Ø 60mm	2	und
83	Rueda loca con freno Ø 60mm	2	und
84	Disco de pulir Ø 4"	2	und
85	Disco de lija Ø 4"	1	und
86	Disco de corte Ø 4"	3	und
87	Pintura Electroestratica	1	und
88	Soldadura 6013 3/32	2	kg
89	Soldadura 6013 1/8	0,5	kg
90	Lamina CR. Cal 14 de 230 x 600 mm	1	und
91	Lamina CR. Cal 14 de 230 x 545 mm	1	und
86	Lamina CR. Cal 14 de 68 x 126 mm	4	und
87	Tornillos punta de broca Ø 1/4" x 1/2"	32	und
88	Tornillo CH Ø 1/4"x1/2" con tuerca	16	und

F	INSTRUMENTOS DE MEDICION		
89	Termopozo Ø 1/4" con termocupla Tipo J x Conexión Ø1/4"	2	und
90	Termocupla Tipo J	3	und
91	Vacuometro 4" x Conexión 1/4" NPT	2	und

G	CALENTADOR POR RESISTENCIA ELECTRICA		
92	Resistencia electrica para trabajo sumergido 600W	1	und
93	Empaque de neopreno Ø 1"	1	und
94	Tuerca Ø 1"	1	und

ANEXO S. PLANOS CONSTRUCTIVOS

123456

Estructura Soporte del sistema de refrigeracion.
Esc. 1:10

N.º DE ELEM	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT
1	Pz 1.Perfil Tubular	Tubo □ 1-1/2"x1-1/2" Esp 1,5mm	4
2	Pz 2.Perfil Tubular	Tubo □ 1-1/2"x1-1/2" Esp 1,5mm	4
3	Pz 3.Perfil Tubular	Tubo □ 1-1/2"x1-1/2" Esp 1,5mm	4
4	Pz 4.Perfil Tubular	Tubo □ 1-1/2"x1-1/2" Esp 1,5mm	4
5	Pz 5.Perfil Tubular	Tubo □ 1-1/2"x1-1/2" Esp 1,5mm	2
6	Pz 6.Perfil Tubular	Tubo □ 1-1/2"x1-1/2" Esp 1,5mm	8
7	Piso Nivel 1	Lamina Alfajor(corrugada) Esp 1mm	1
8	Piso Nivel 2	Lamina Alfajor(corrugada) Esp 1mm	1
9	Rueda fija	Rueda Fija	2
10	Rueda giratoria	Rueda loca con freno	2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

TOLERANCIAS: ± 0.1 MM
LINEAL: ± 0.1 MM
ANGULAR: ± 0.1°

MATERIAL INDICADO: _____

ACABADO INDICADO: _____

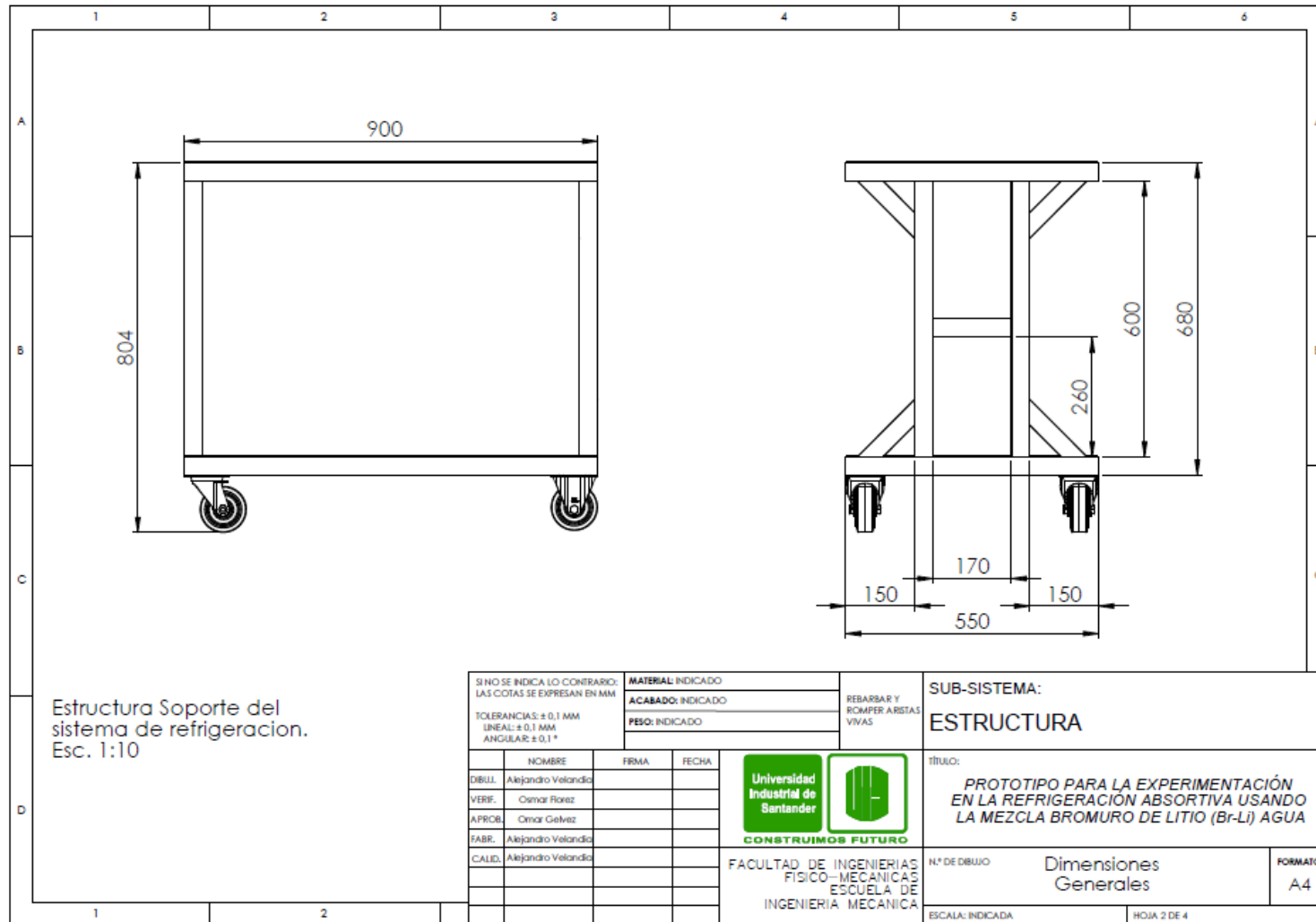
PESO INDICADO: _____

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

SUB-SISTEMA:
ESTRUCTURA

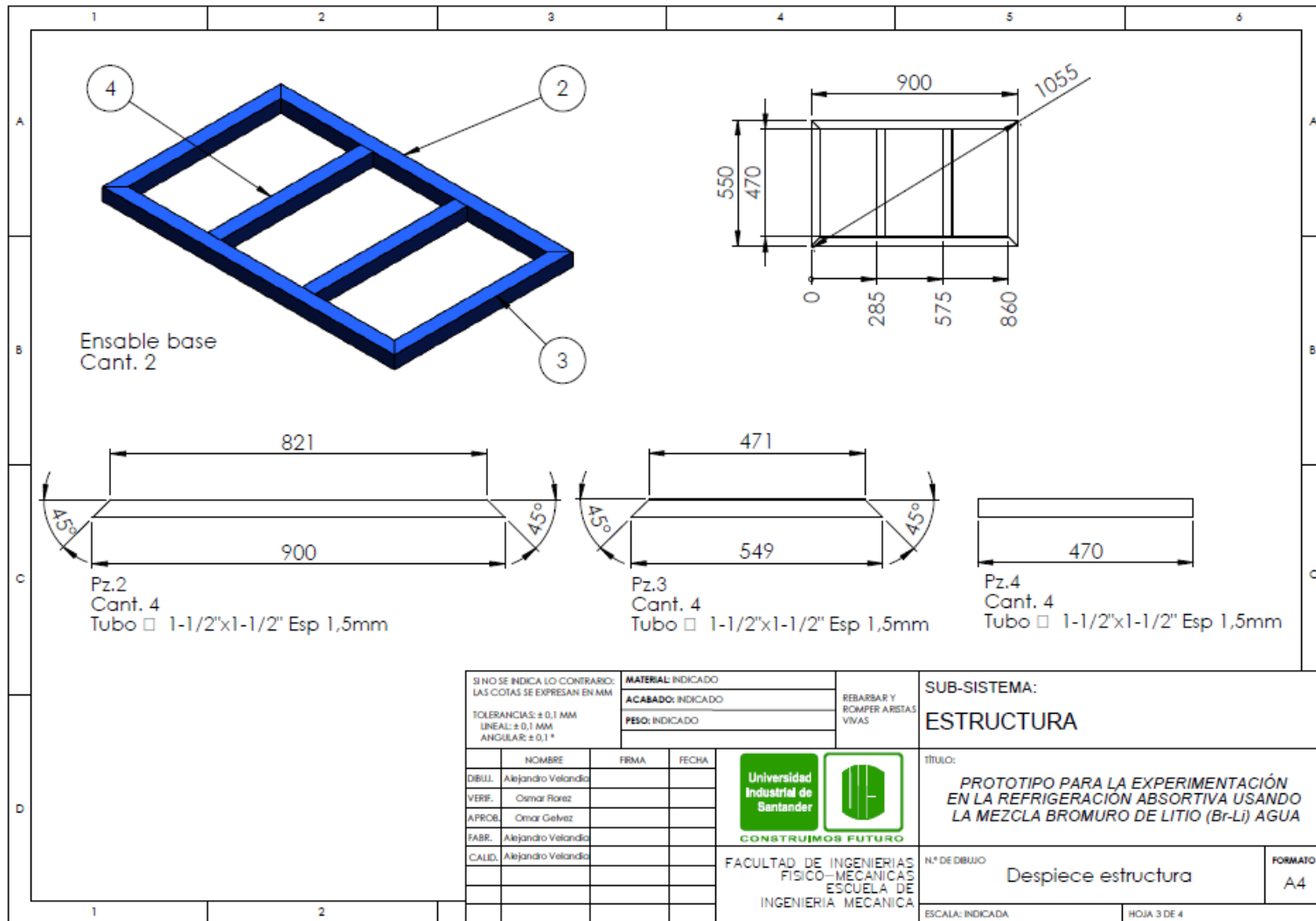
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">NOMBRE</th> <th style="width: 10%;">FIRMA</th> <th style="width: 10%;">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DBUL: Alejandro Velandía</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERF: Omar Flores</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB: Omar Gelvez</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR: Alejandro Velandía</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CAUD: Alejandro Velandía</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DBUL: Alejandro Velandía			VERF: Omar Flores			APROB: Omar Gelvez			FABR: Alejandro Velandía			CAUD: Alejandro Velandía			<p>CONSTRUIAMOS FUTURO</p>	<p>TITULO: PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACION ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA</p>
NOMBRE	FIRMA	FECHA																		
DBUL: Alejandro Velandía																				
VERF: Omar Flores																				
APROB: Omar Gelvez																				
FABR: Alejandro Velandía																				
CAUD: Alejandro Velandía																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">NOMBRE</th> <th style="width: 10%;">FIRMA</th> <th style="width: 10%;">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	NOMBRE	FIRMA	FECHA													<p>FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA</p>	<p>Nº DE DIBUJO: Vista General y lista de componentes</p>			
NOMBRE	FIRMA	FECHA																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">NOMBRE</th> <th style="width: 10%;">FIRMA</th> <th style="width: 10%;">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	NOMBRE	FIRMA	FECHA													<p>ESCALA: INDICADA</p>	<p>HOJA 1 DE 4</p>			
NOMBRE	FIRMA	FECHA																		

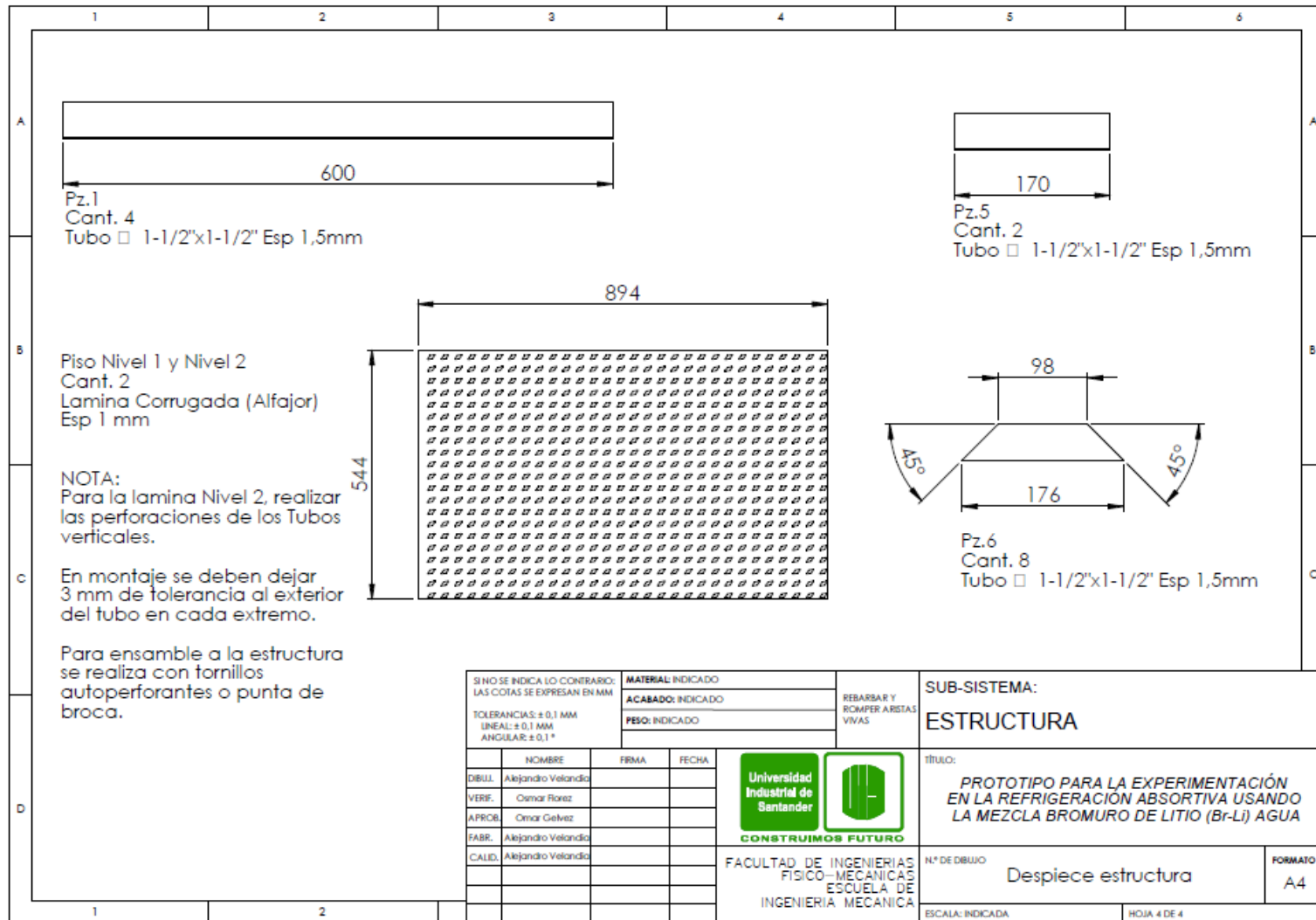
12



Estructura Soporte del sistema de refrigeración.
Esc. 1:10

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			MATERIAL INDICADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA:		
TOLERANCIAS: ± 0,1 MM LINEAL: ± 0,1 MM ANGULAR: ± 0,1 °			ACABADO: INDICADO			ESTRUCTURA		
			PESO: INDICADO					
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	 CONSTRUIMOS FUTURO		TÍTULO:		
DIBUJ.	Alejandro Velando					PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA		
VERIF.	Omar Flores							
APROB.	Omar Gelvez							
FABR.	Alejandro Velando							
CAJID.	Alejandro Velando			FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		N.º DE DIBUJO	Dimensiones Generales	FORMATO
				ESCALA: INDICADA		HOJA 2 DE 4		A4




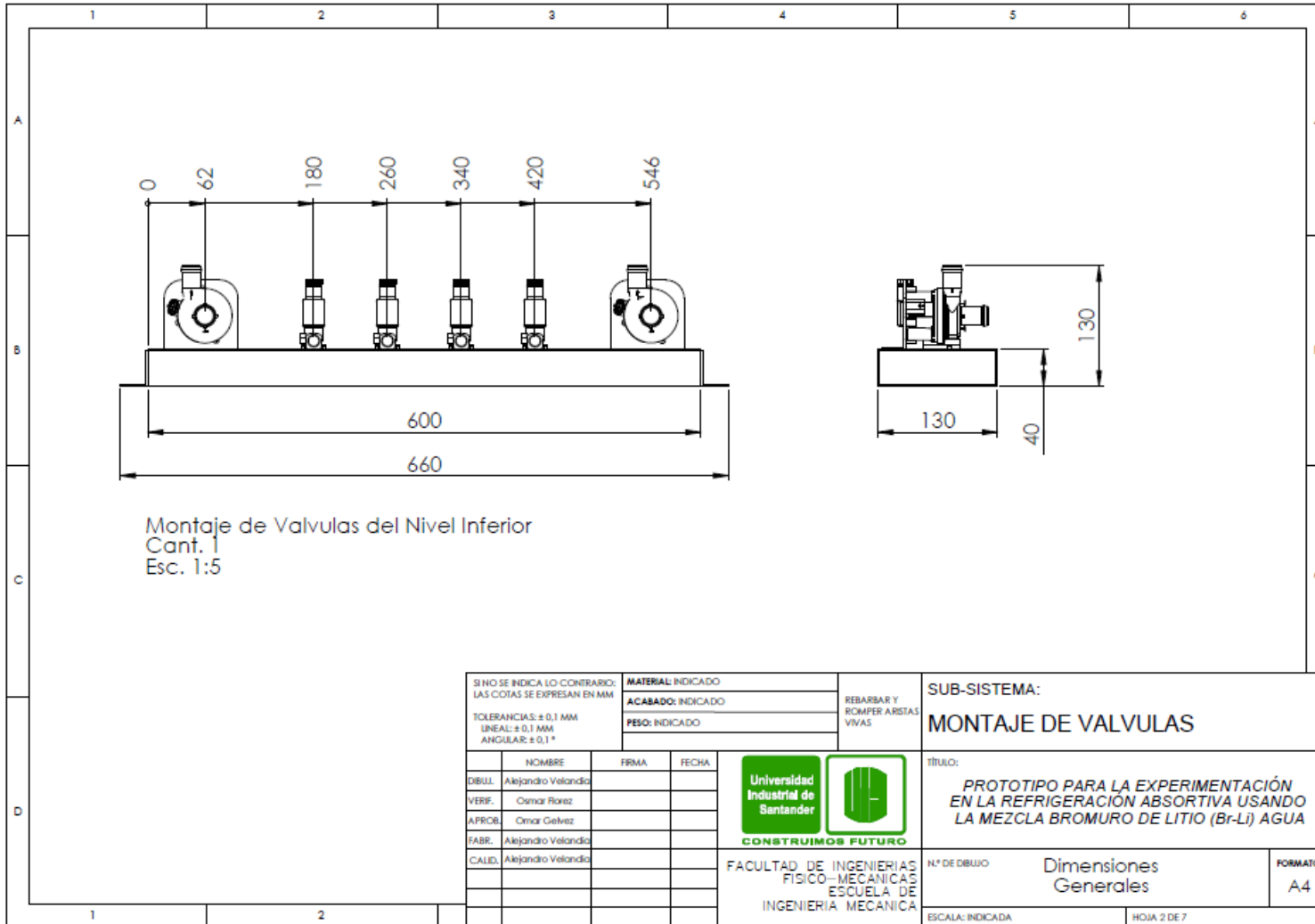



SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL INDICADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA: ESTRUCTURA		
TOLERANCIAS: ± 0,1 MM LINEAL: ± 0,1 MM ANGULAR: ± 0,1°		ACABADO: INDICADO					
		PESO: INDICADO					
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER CONSTRUIAMOS FUTURO FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			
DIBUJ.	Alejandro Velandic					TITULO: PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA	
VERIF.	Omar Rios						
APROB.	Omar Gelvez						
FABR.	Alejandro Velandic						
CALD.	Alejandro Velandic						
				Nº DE DIBUJO Despiece estructura	FORMATO A4		
				ESCALA: INDICADA	HOJA 4 DE 4		

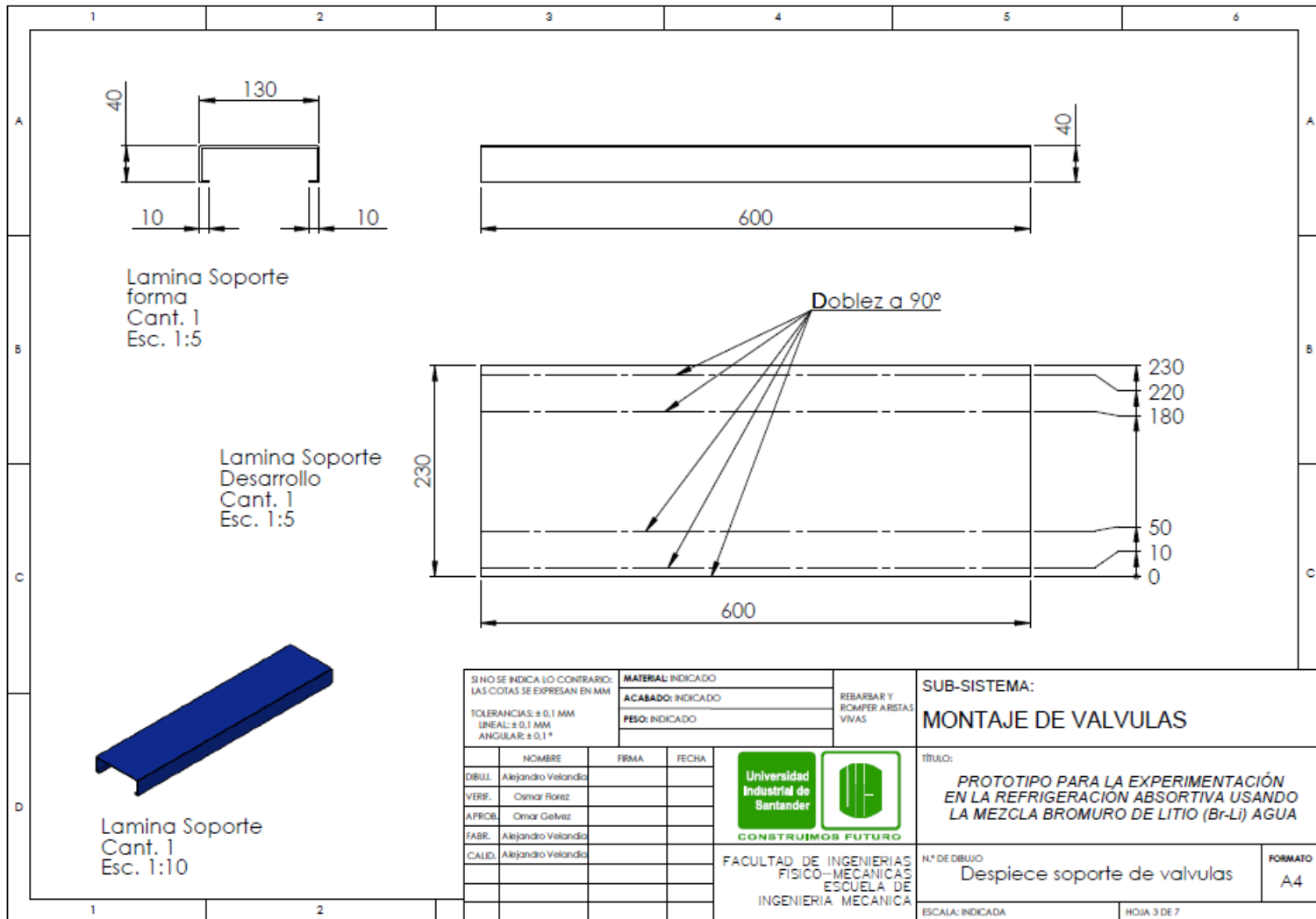
Montaje de Valvulas del Nivel Inferior
Cant. 1
Esc. 1:5

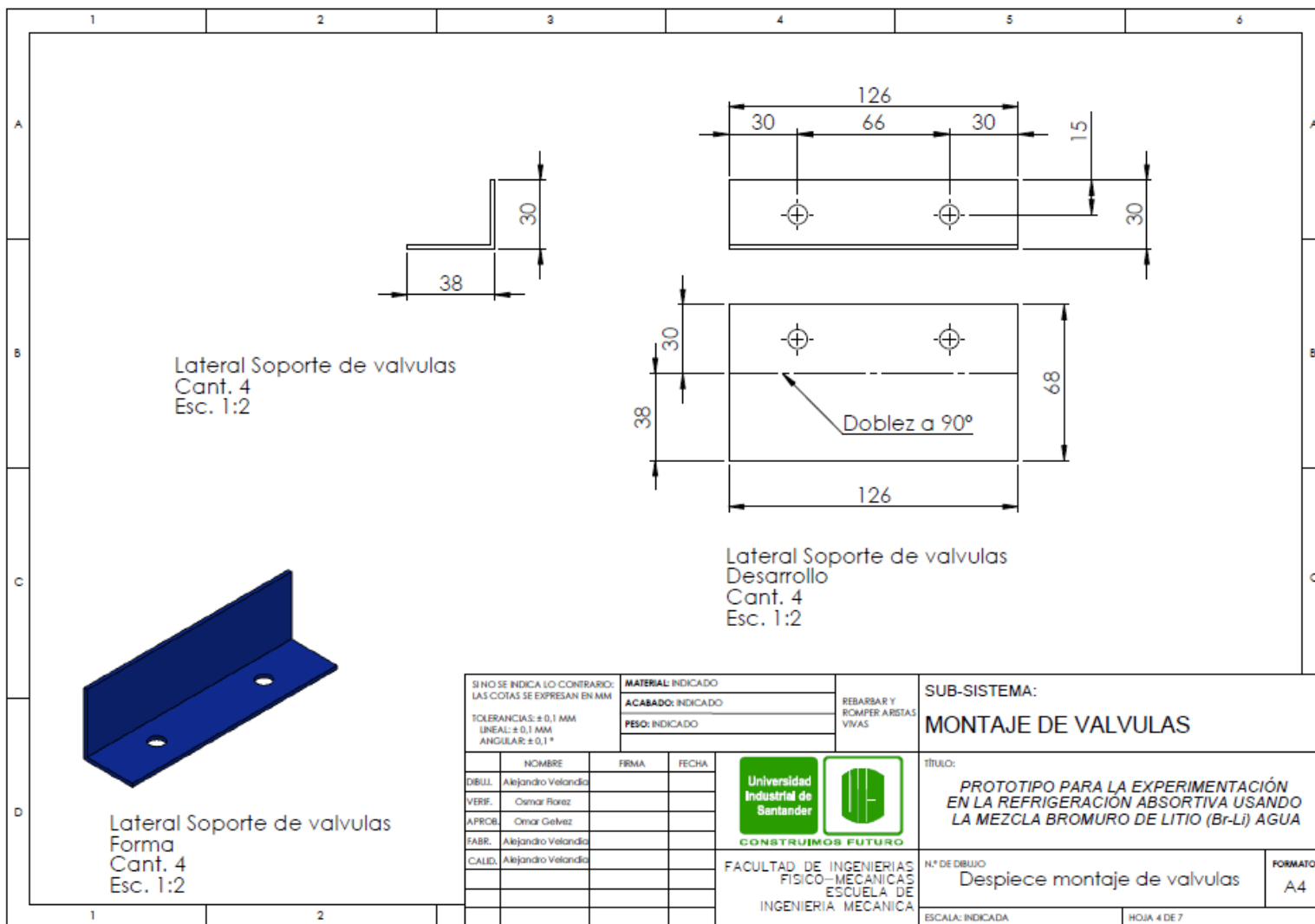
N.º DE ELEM	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT
1	Lamina soporte	Lamina CR Cal. 14	1
2	Electrovalvula	EBCHQ □ Ref. 91111 Ø 1/4"	4
3	Lateral soporte valvulas	Lamina CR Cal. 14	2
4	Lamina soporte de bombas	Lamina CR Cal. 14	2
5	Bomba	Bomba hidraulica. Bajo caudal a 110 v	2
6	Tornillo Ensamble Bomba	Cabeza Hexagonal M3-48x3/4" + Arandela y Tuerca	6
7	Tornillo Ensamble Soporte de Bomba	Cabeza Hueca Abombada 5/16"-18x1/2" + Arandela y Tuerca	4
8	Tornillo Ensamble a estructura	Cabeza Hueca Abombada 5/16"-18x1/2" + Arandela y Tuerca	4

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL INDICADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA: MONTAJE DE VALVULAS
TOLERANCIAS: ± 0,1 MM LINEAL: ± 0,1 MM ANGULAR: ± 0,1°		ACABADO: INDICADO			
		PESO: INDICADO			
	NOMBRE	FRMA	FECHA	 CONSTRUIBIMOS FUTURO	TÍTULO: PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA
DIBUJ.	Alejandro Velando				
VERIF.	Omar Flores				
APROB.	Omar Gelvez				
FABR.	Alejandro Velando				
CALED.	Alejandro Velando			FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	N.º DE DIBUJO: Vista General y lista de componentes FORMATO: A4



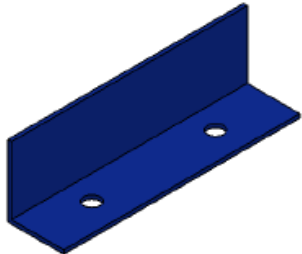
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL: INDICADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA:		
TOLERANCIAS: ± 0,1 MM LINEAL: ± 0,1 MM ANGULAR: ± 0,1°		ACABADO: INDICADO			MONTAJE DE VALVULAS		
		PEÑO: INDICADO			TÍTULO:		
	NOMBRE	FRMA	FECHA	 CONSTRUIMOS FUTURO	<i>PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA</i>		
DIBUJ.	Alejandro Velando				FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	N.º DE DIBUJO	Dimensiones Generales
VERE.	Omar Rólez					ESCALA: INDICADA	HOJA 2 DE 7
APROB.	Omar Gelvez					FORMATO	A4
FABR.	Alejandro Velando						
CALID.	Alejandro Velando						







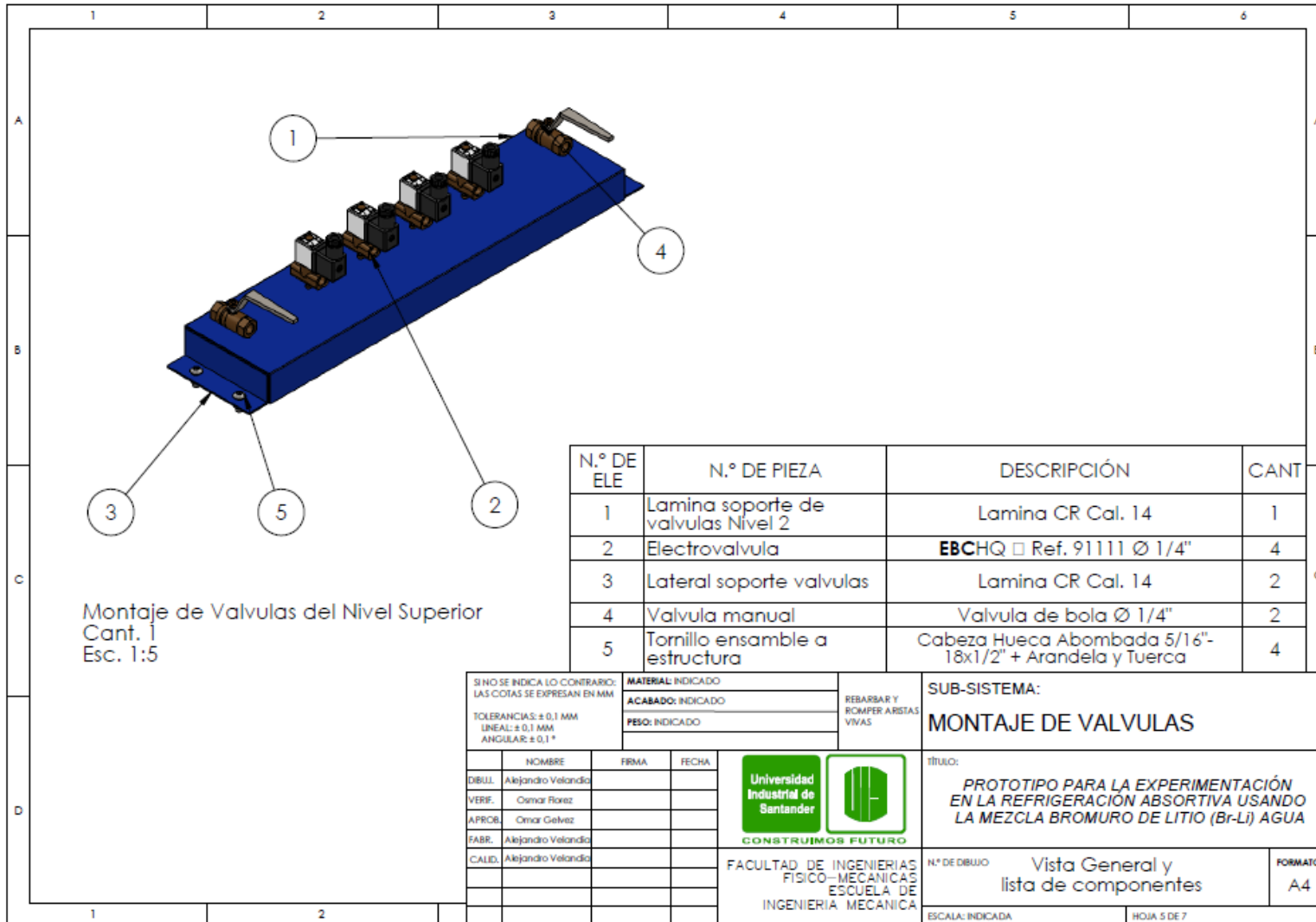
Lateral Soporte de valvulas
Cant. 4
Esc. 1:2

Lateral Soporte de valvulas
Desarrollo
Cant. 4
Esc. 1:2



Lateral Soporte de valvulas
Forma
Cant. 4
Esc. 1:2

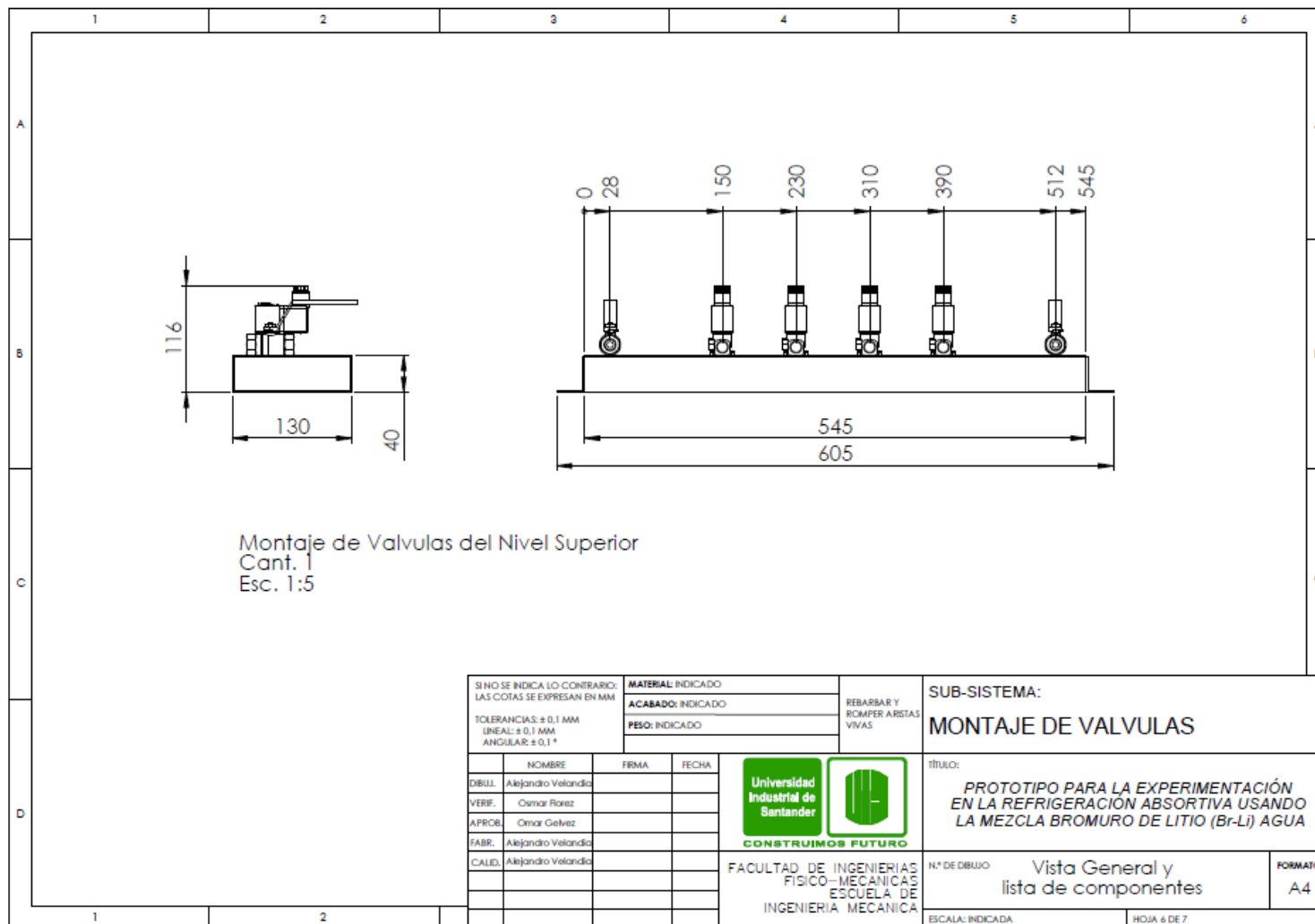
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL INDICADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA:		
TOLERANCIAS: ± 0,1 MM LINEAL: ± 0,1 MM ANGULAR: ± 0,1 °		ACABADO: INDICADO			MONTAJE DE VALVULAS		
		PESO: INDICADO					
	NOMBRE	FRMA	FECHA	  CONSTRUIMOS FUTURO	TITULO:		
DIBUJ.	Alejandro Velandía				PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA		
VERIF.	Omar Florez						
APROB.	Omar Gelvez						
FABR.	Alejandro Velandía						
CALID.	Alejandro Velandía						
				FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Nº DE DIBUJO Despiece montaje de valvulas	FORMATO A4
				ESCALA: INDICADA		HOJA 4 DE 7	




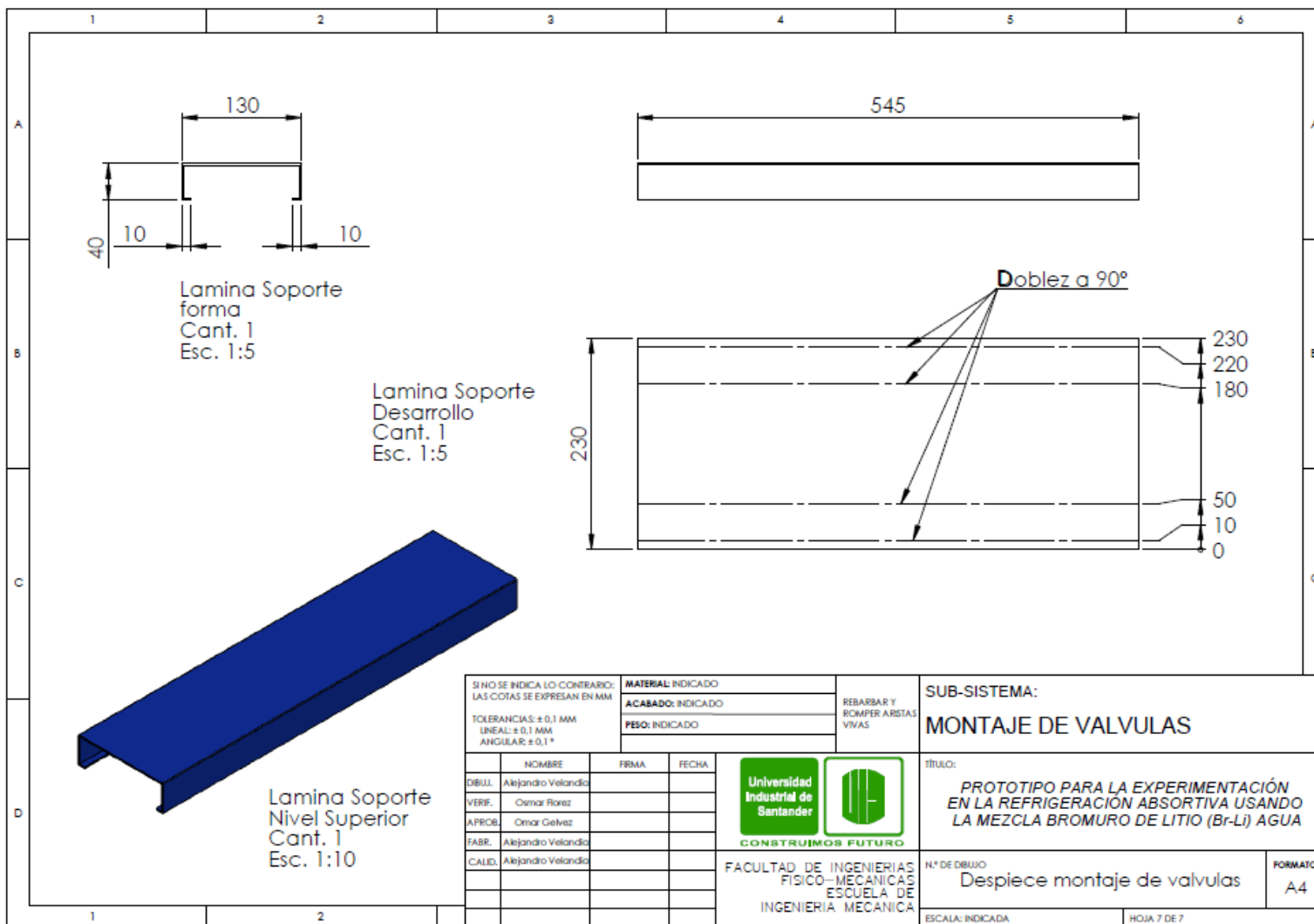
Montaje de Valvulas del Nivel Superior
Cant. 1
Esc. 1:5

N.º DE ELE	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT
1	Lamina soporte de valvulas Nivel 2	Lamina CR Cal. 14	1
2	Electrovalvula	EBCHQ □ Ref. 91111 Ø 1/4"	4
3	Lateral soporte valvulas	Lamina CR Cal. 14	2
4	Valvula manual	Valvula de bola Ø 1/4"	2
5	Tornillo ensamble a estructura	Cabeza Hueca Abombada 5/16"-18x1/2" + Arandela y Tuerca	4

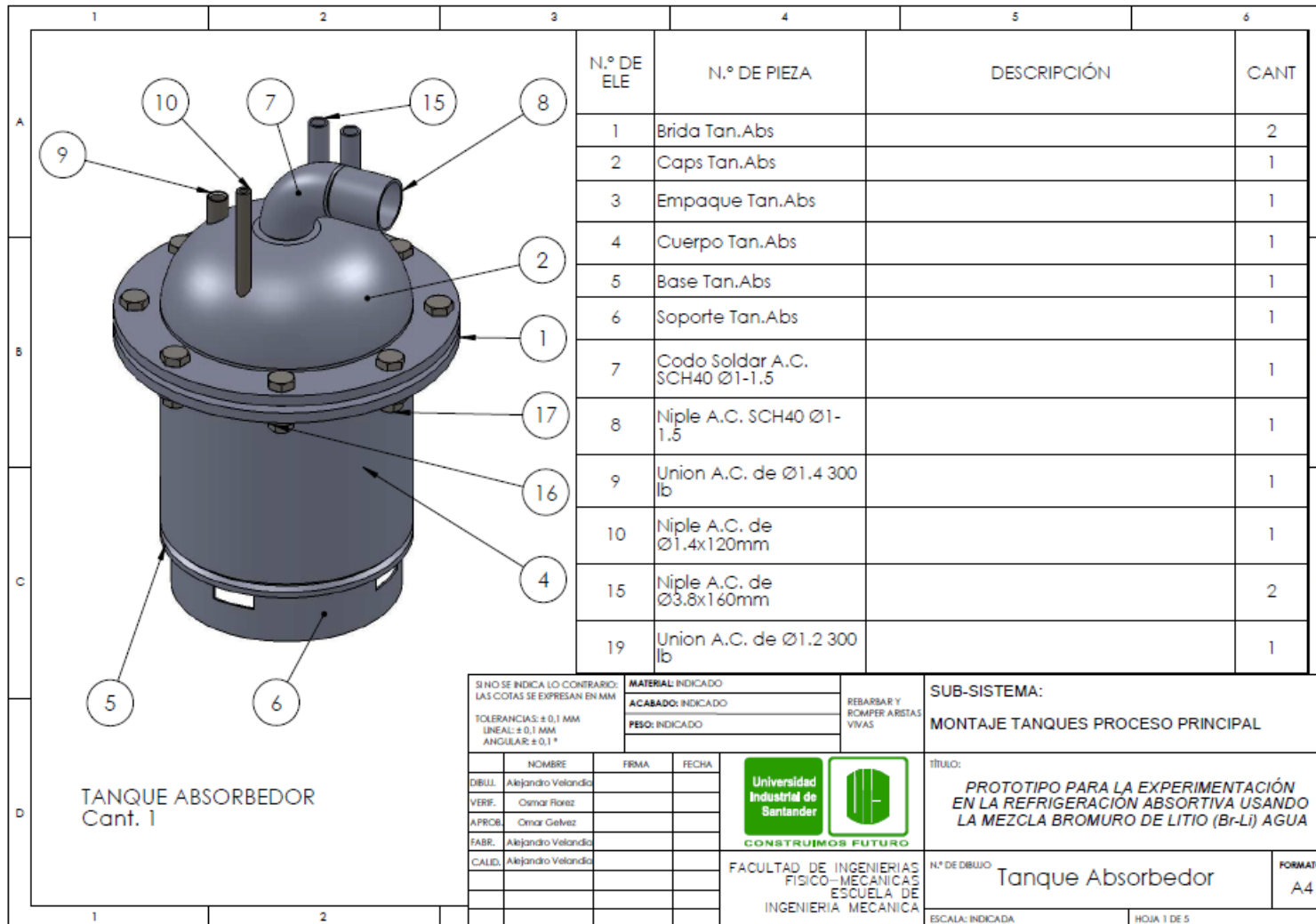
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL INDICADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA:						
TOLERANCIAS: ± 0.1 MM LINEAL: ± 0.1 MM ANGULAR: ± 0.1 °		ACABADO: INDICADO			MONTAJE DE VALVULAS						
		PESO: INDICADO									
	NOMBRE	FRMA	FECHA	 CONSTRUIAMOS FUTURO		TÍTULO:					
DIBUL.	Alejandro Velandic					PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA		N.º DE OBJETO			
VERIF.	Omar Flores							Vista General y lista de componentes		FORMATO	
APROB.	Omar Gelvez									A4	
FABR.	Alejandro Velandic										
CALD.	Alejandro Velandic			FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		ESCALA: INDICADA					
						HOJA 5 DE 7					

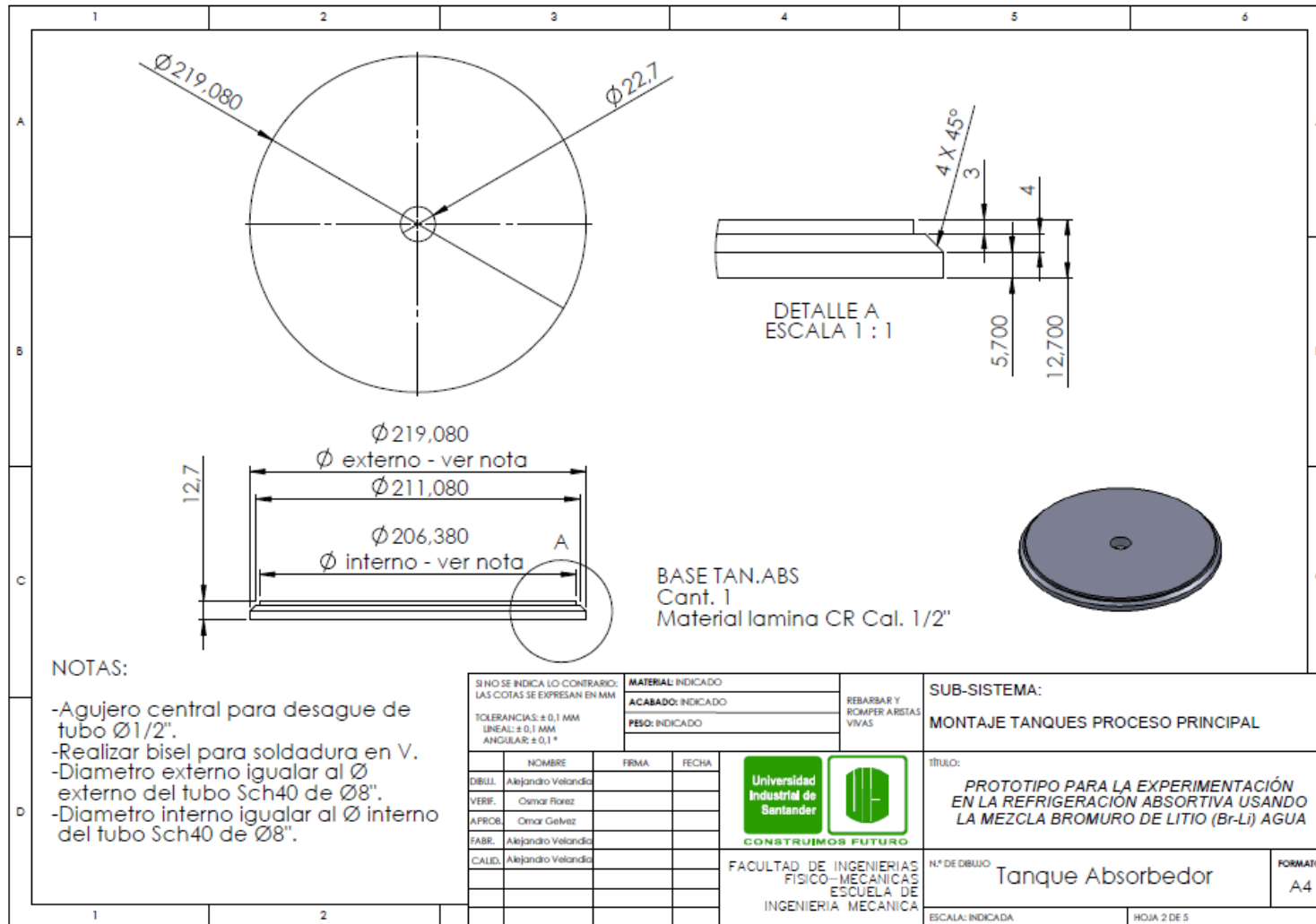


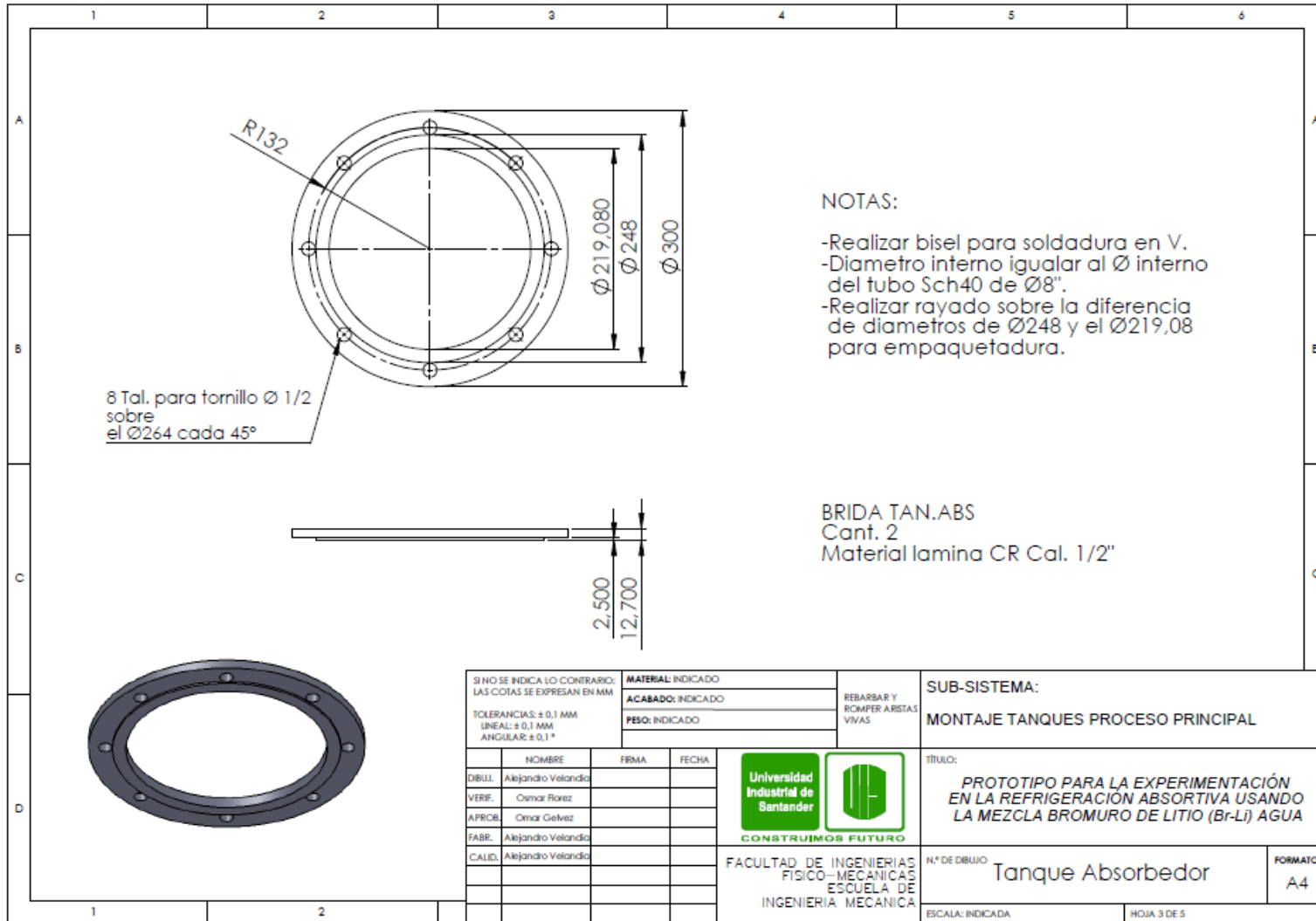
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			MATERIAL: INDICADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA:		
TOLERANCIAS: ± 0,1 MM LINEAL: ± 0,1 MM ANGULAR: ± 0,1°			ACABADO: INDICADO			MONTAJE DE VALVULAS		
			PESO: INDICADO			TÍTULO:		
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	 CONSTRUIMOS FUTURO		PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA		
DIBUJ.	Alejandro Velando					N° DE DIBUJO		FORMATO
VERIF.	Cesar Flores					Vista General y lista de componentes		A4
APROB.	Omar Gelvez					FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		
FABR.	Alejandro Velando					ESCALA: INDICADA		HOJA 6 DE 7
CAUD.	Alejandro Velando							



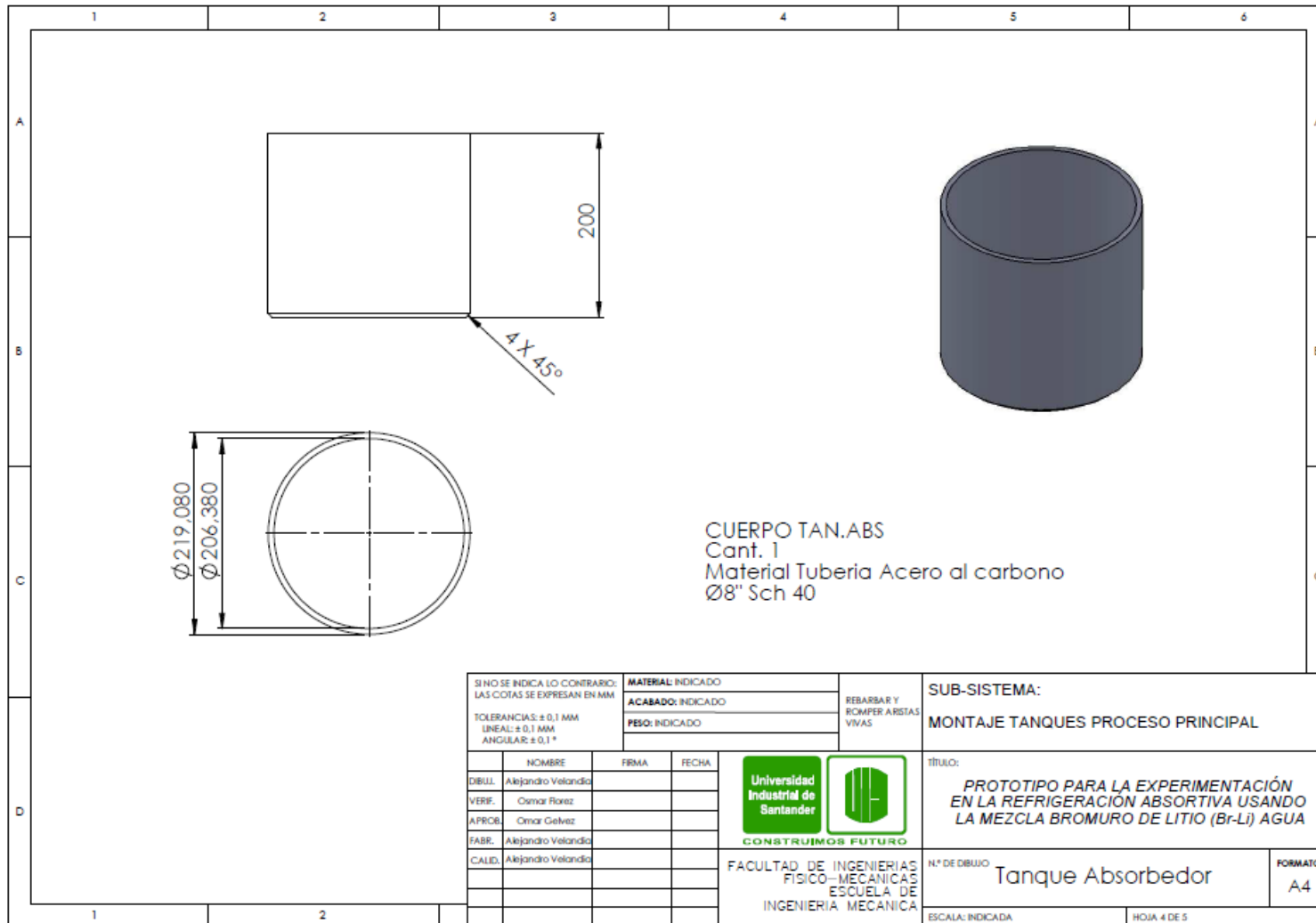
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			MATERIAL INDICADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA:		
TOLERANCIAS: ± 0,1 MM LINEAL: ± 0,1 MM ANGULAR: ± 0,1°			ACABADO: INDICADO			MONTAJE DE VALVULAS		
			PESO: INDICADO			TÍTULO:		
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	 CONSTRUIAMOS FUTURO		<i>PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA</i>		
DIBUJ.	Alejandro Velando					N° DE DBUJO		FORMATO
VERIF.	Osmar Flores					Despiece montaje de valvulas		A4
APROB.	Omar Gelvez					ESCALA: INDICADA		HOJA 7 DE 7
FABR.	Alejandro Velando					FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		
CALID.	Alejandro Velando							






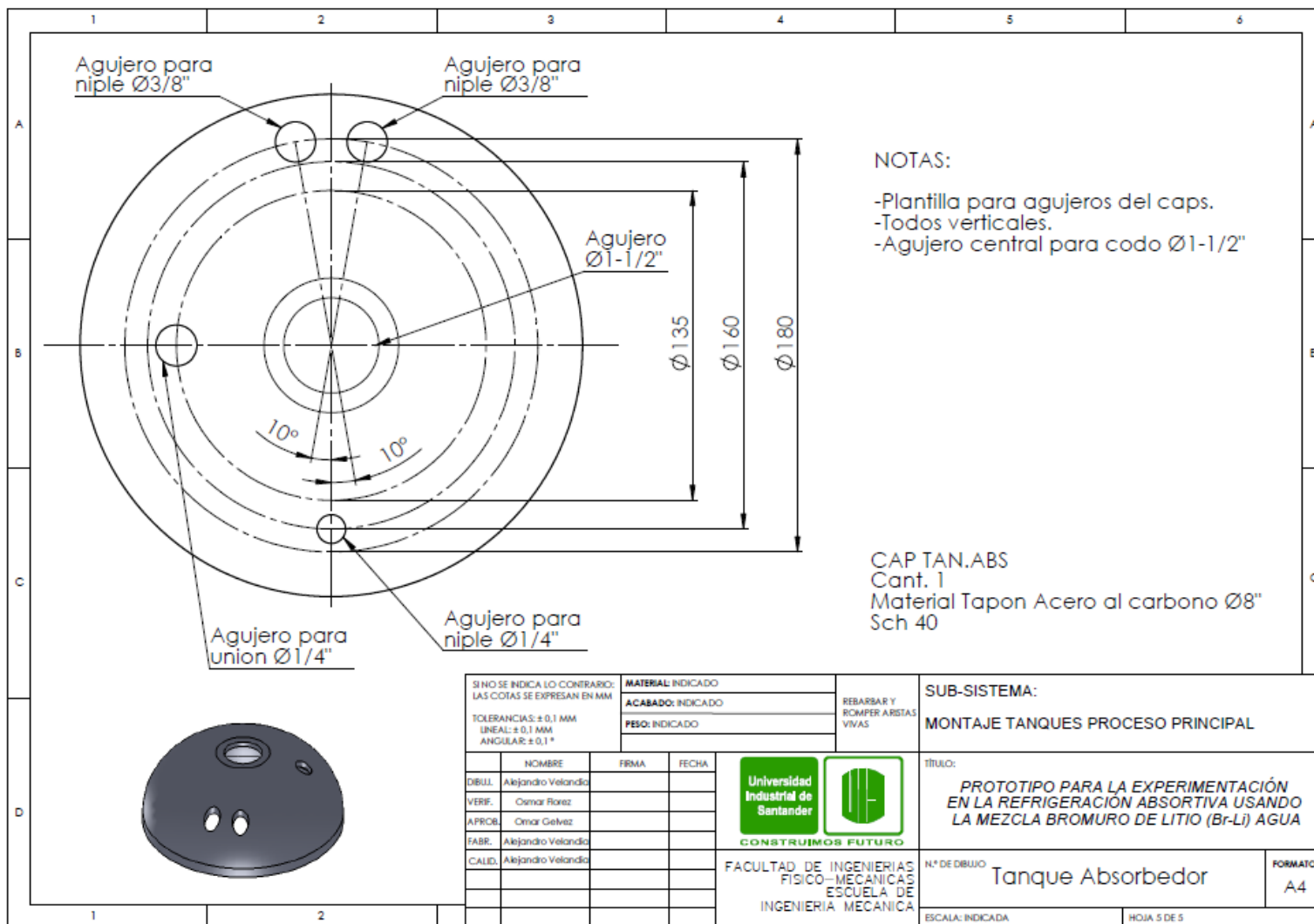


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL INDICADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA:	
TOLERANCIAS: ± 0,1 MM LINEAL: ± 0,1 MM ANGULAR: ± 0,1°		ACABADO: INDICADO			MONTAJE TANQUES PROCESO PRINCIPAL	
		PESO: INDICADO			TÍTULO:	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	 CONSTRUIAMOS FUTURO		PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA
DIBUJ.	Alejandro Velandio					
VERIF.	Omar Flores					
APROB.	Omar Gelvez					
FABR.	Alejandro Velandio					
CALID.	Alejandro Velandio			FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		N° DE DIBUJO Tanque Absorbedor
				ESCALA: INDICADA		FORMATO A4
				HOJA 3 DE 5		



CUERPO TAN.ABS
 Cant. 1
 Material Tuberia Acero al carbono
 Ø8" Sch 40

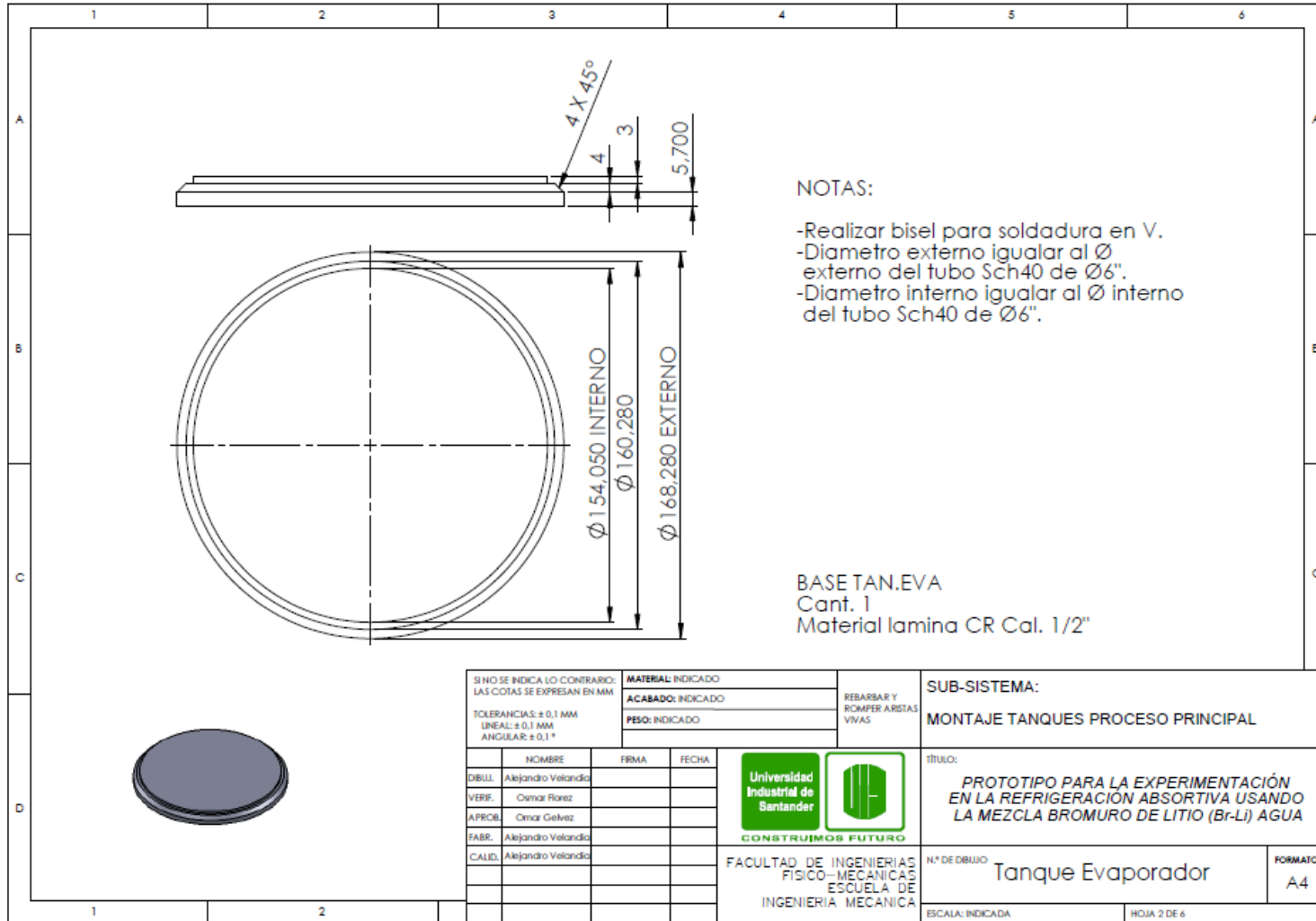
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL INDICADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA: MONTAJE TANQUES PROCESO PRINCIPAL	
TOLERANCIAS: ± 0.1 MM LINEAL: ± 0.1 MM ANGULAR: ± 0.1°		ACABADO: INDICADO				
		PESO: INDICADO				
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	 CONSTRUIMOS FUTURO	TÍTULO: <i>PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACION ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA</i>	
DIBUJ.	Alejandro Velando				FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	N° DE DIBUJO Tanque Absorbedor
VERIF.	Omar Flores					FORMATO A4
APROB.	Omar Galvez					ESCALA: INDICADA
FABR.	Alejandro Velando					HOJA 4 DE 5
CALID.	Alejandro Velando					



1	2	3	4	5	6
A					A
B					B
C					C
D					D
1	2				

N.º DE ELE	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT
1	Cuerpo Tan.Eva		1
2	Base Tan.Eva		1
3	Soporte Tan.Eva		1
4	Brida Tan.Eva.		2
5	Empaque Tan.Eva		1
6	Caps Tan.Eva		1
7	Codo Soldar A.C. SCH40 Ø1-1.5		1
8	Niple A.C. SCH40 Ø1-1.5		1
9	Niple A.C. de Ø3.8x160mm		2
10	Niple A.C. de Ø1.4x120mm		1
12	Union A.C. de Ø1.4 300 lb		1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: ± 0,1 MM LINEAL: ± 0,1 MM ANGULAR: ± 0,1 °	MATERIAL INDICADO ACABADO: INDICADO PESO: INDICADO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA: MONTAJE TANQUES PROCESO PRINCIPAL																		
TANQUE EVAPORADOR Cant. 1			TÍTULO: <i>PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA</i>																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">NOMBRE</th> <th style="width: 10%;">FIRMA</th> <th style="width: 10%;">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>DIBUJ. Alejandro Velando</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>VERIF. Omar Flores</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>APROB. Omar Gelvez</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>FABR. Alejandro Velando</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>CALID. Alejandro Velando</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DIBUJ. Alejandro Velando			VERIF. Omar Flores			APROB. Omar Gelvez			FABR. Alejandro Velando			CALID. Alejandro Velando			 CONSTRUIMOS FUTURO	FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	N.º DE DIBUJO: Tanque Evaporador FORMATO: A4 ESCALA: INDICADA HOJA 1 DE 6
NOMBRE	FIRMA	FECHA																			
DIBUJ. Alejandro Velando																					
VERIF. Omar Flores																					
APROB. Omar Gelvez																					
FABR. Alejandro Velando																					
CALID. Alejandro Velando																					

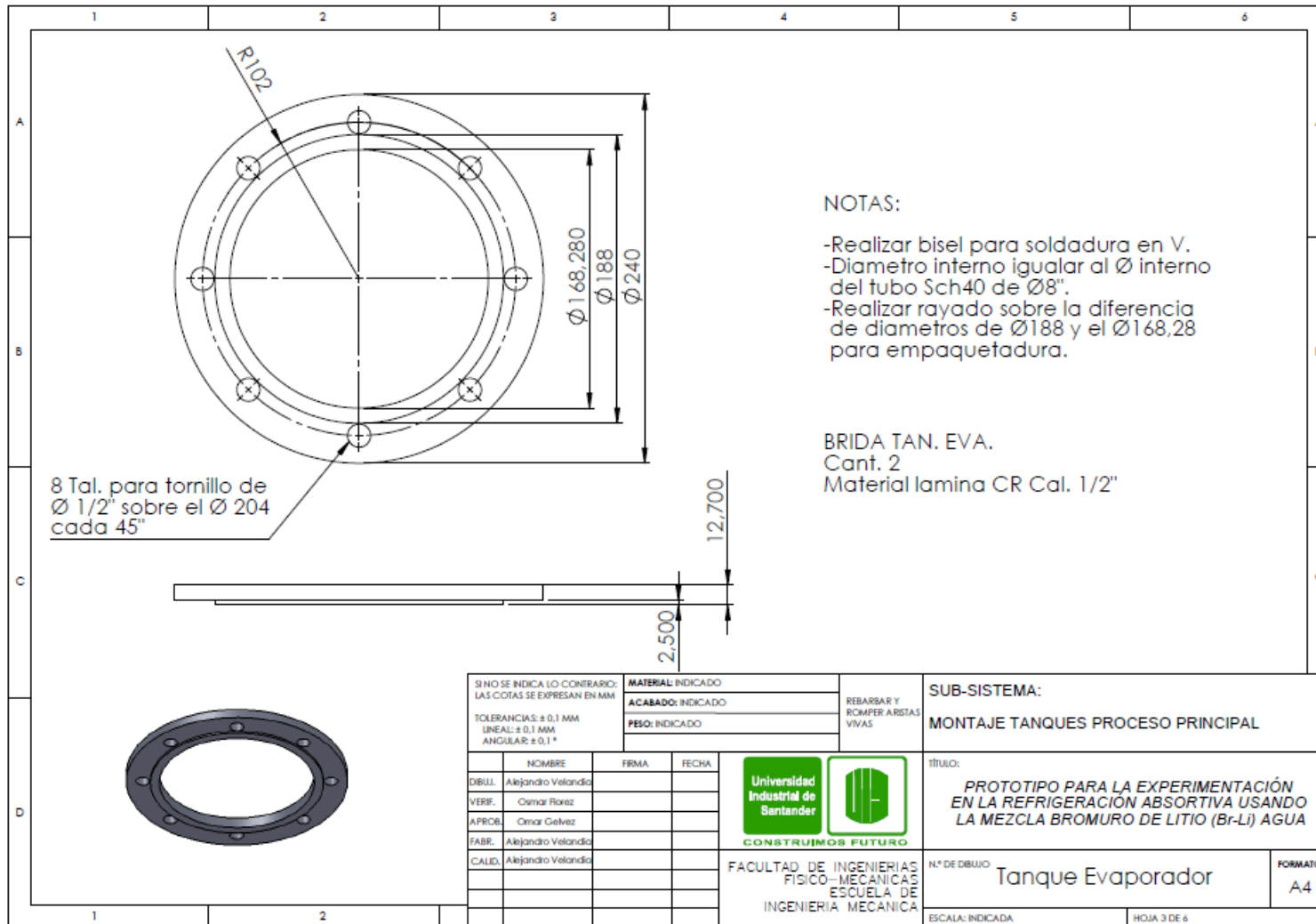


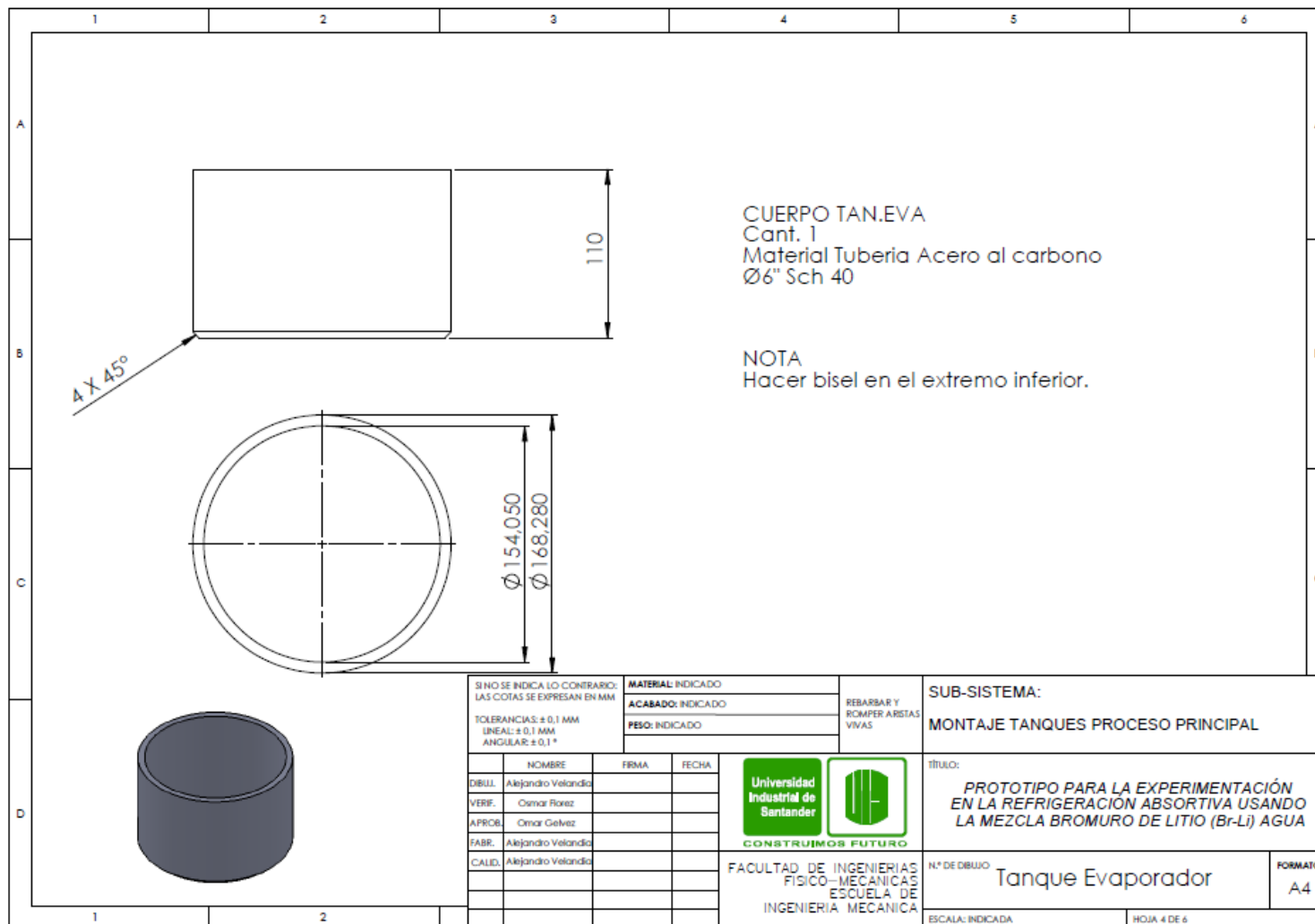
NOTAS:

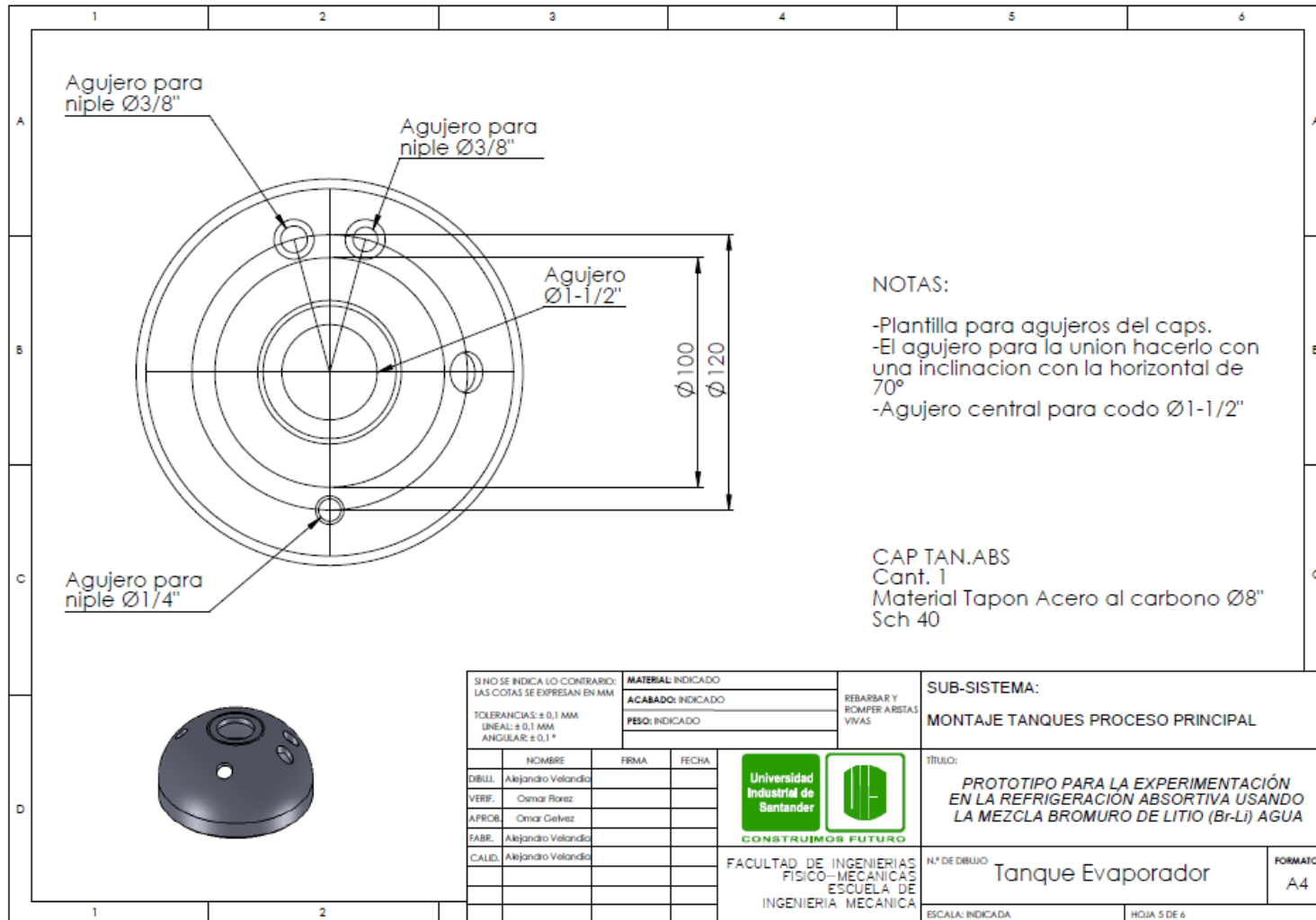
- Realizar bisel para soldadura en V.
- Diámetro externo igualar al Ø externo del tubo Sch40 de Ø6".
- Diámetro interno igualar al Ø interno del tubo Sch40 de Ø6".

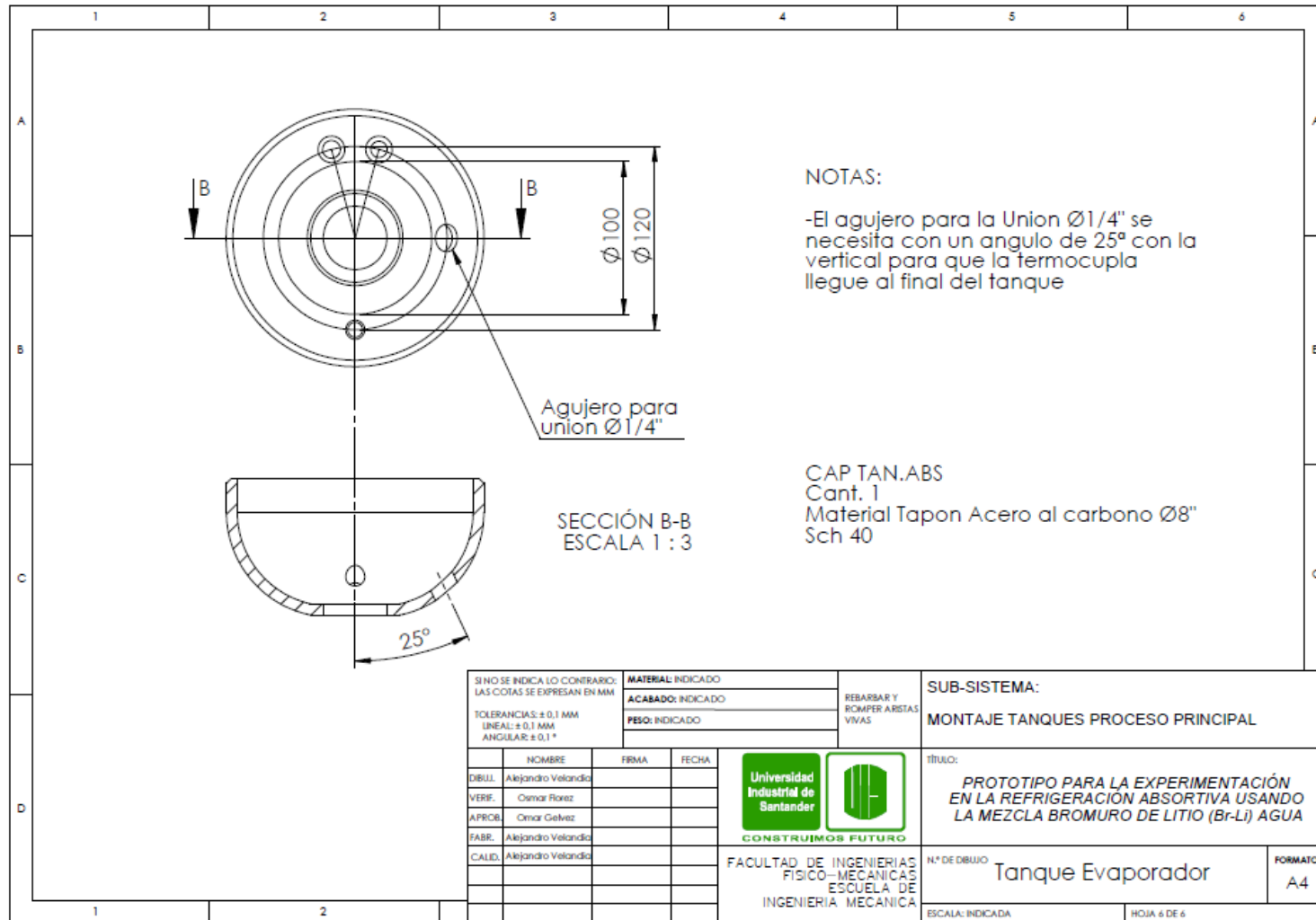
BASE TAN.EVA
 Cant. 1
 Material lamina CR Cal. 1/2"

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL: INDICADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA:	
TOLERANCIAS: ± 0,1 MM LINEAL: ± 0,1 MM ANGULAR: ± 0,1 °		ACABADO: INDICADO			MONTAJE TANQUES PROCESO PRINCIPAL	
		PESO: INDICADO			TÍTULO:	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	 CONSTRUIMOS FUTURO	PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA	
DIBUJ.	Alejandro Velando				N.º DE DIBUJO	
VERIF.	Omar Rólez				Tanque Evaporador	
APROB.	Omar Gelvez				FORMATO	
FABR.	Alejandro Velando				A4	
CALID.	Alejandro Velando			ESCALA: INDICADA		
				HOJA 2 DE 6		









SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL: INDICADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUB-SISTEMA: MONTAJE TANQUES PROCESO PRINCIPAL	
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ MM LINEAL: $\pm 0,1$ MM ANGULAR: $\pm 0,1^\circ$		ACABADO: INDICADO			TÍTULO: <i>PROTOTIPO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA REFRIGERACIÓN ABSORTIVA USANDO LA MEZCLA BROMURO DE LITIO (Br-Li) AGUA</i>	
		PESO: INDICADO			N.º DE DIBUJO Tanque Evaporador	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		FORMATO A4
	DIBUJ. Alejandro Velando			UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER CONSTRUIMOS FUTURO		ESCALA: INDICADA
	VERIF. Omar Florez					HOJA 6 DE 6
	APROB. Omar Gelvez					
	FABR. Alejandro Velando					
	CALID. Alejandro Velando					